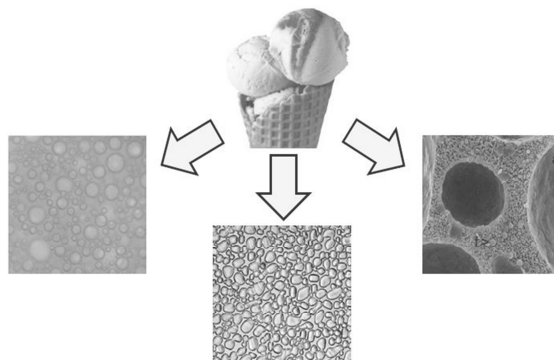




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ IV: ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ



ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΡΗΣΤΟΥ ΣΟΥΚΟΥΛΗ

ΑΘΗΝΑ 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ IV: ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΡΗΣΤΟΥ ΣΟΥΚΟΥΛΗ

ΑΘΗΝΑ 2009

Η παρούσα διατριβή χρηματοδοτήθηκε πλήρως μέσω υποτροφίας του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών (Ι.Κ.Υ.) και μερικώς (Φεβρουάριος 2007-Σεπτέμβριος 2009) μέσω του Ευρωπαϊκού Προγράμματος “MONIQA: ”

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανωτάτη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

(Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ στο χρονικό διάστημα Δεκεμβρίου 2004 - Ιουλίου 2009 υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας Κωνσταντίνας Τζιά. Αναμφίβολα το διάστημα της εργασίας μου στο εργαστήριο αποτέλεσε ένα σημαντικό κομμάτι της ζωής μου. Για το λόγο αυτό θα ήθελα να αναφερθώ πολύ σύντομα αλλά ουσιαστικά σε ορισμένα άτομα τα οποία συνέβαλαν στην επιτυχή διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια κα. Κωνσταντίνα Τζιά, όχι μόνο για την καθοριστική της συμβολή της ως επιβλέπουσα, στην εκπόνηση της παρούσας διατριβής, αλλά κυρίως για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξή της, όλα αυτά τα χρόνια. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής, την Καθηγήτρια κ. Βάσω Ωραιοπούλου για την άριστη συνεργασία που είχαμε, για τις ευκαιρίες συνεργασίας και την εμπιστοσύνη που μου παρείχε όλο αυτό διάστημα, και την Καθηγήτρια κ. Αγγελική Μουσατάσου για την άψογη συνεργασία και την πολύτιμη συνδρομή της στις απαιτούμενες μετρήσεις που διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Φυσικών Μεθόδων Ανάλυσης.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επικούρη Καθηγήτρια ΕΜΠ κ. Μάγδα Κροκίδα για την παραχώρηση του εξοπλισμού του Εργαστηρίου Τεχνικής Φυσικών Διεργασιών, συμβολή η οποία αναμφίβολα επισφράγισε επιτυχώς τη διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής. Ευχαριστώ επίσης την Υ. Διδάκτορα Ανδριάννα Λάζου για την συνεισφορά τις στις μετρήσεις DSC αλλά κυρίως για την φιλική της στάση και την υπομονή της καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους Ιάσονα Χανδρινό, Γιώργο Παπαευσταθίου, Πόπη Γιαννοπούλου, Άννα Κάντα, Ελένη Λυρώνη και Εύη Ροντόγιαννη για τη άψογη και φιλική συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης των διπλωματικών τους εργασιών. Ελπίζω ότι η συνδρομή μου να ήταν ουσιαστική και πάνω απ' όλα ανθρώπινη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και φίλους Μαρία Τσεβδού, Δήμητρα Λεμπέση, Μαριλένα Προύντζου, Πόπη Γιαννοπούλου, Μαρία Χατζή, Χαρά Δημάκου, Δημήτρη Σαμπάνη, Φανή Τσιρώνη, Βάσω Ψιμούλη, για τη συμπαράστασή τους, τη βοήθειά τους, τις ατέλειωτες συζητήσεις και πάνω από όλα για τη φιλία τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη του εργαστηρίου για την συνεισφορά και τη βοήθειά τους.

Χρήστος Σούκουλης

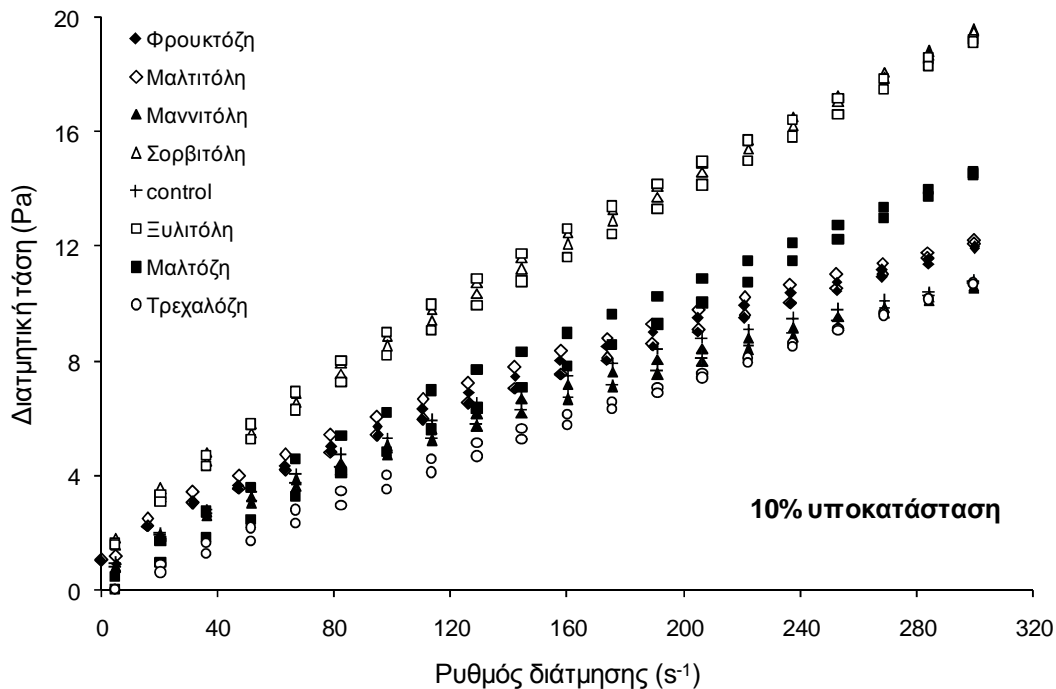
Αθήνα, Ιούλιος 2009

6.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ ΚΑΙ ΟΛΙΓΟΣΑΚΧΑΡΙΤΩΝ (ΣΑΚΧΑΡΑ, ΠΟΛΥΟΛΕΣ, ΑΜΥΛΟΣΙΡΟΠΙΑ) ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

6.2.1 Ρεολογικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού

Τα απλά σάκκαρα, οι πολυόλες και τα αμυλοσιρόπια υψηλού ισοδύναμου δεξτρόζης ($DE > 28$) εντάσσονται στην κατηγορία των γλυκαντικών υλών. Οι υπόλοιπες ενώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (για τη μεταβολή της θερμικής συμπεριφοράς και της θερμοδυναμικής σταθερότητας των δειγμάτων παγωτού) με ταυτόχρονη ρύθμιση της έντασης της γλυκύτητας, αλλά και ως υποκατάστατα των λιπαρών. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η μερική υποκατάσταση σε ποσοστό 10 και 30% (τυπικά ποσοστά υποκατάστασης της σακχαρόζης σε τυπικά συστήματα παγωτού από σύνθετα σάκκαρα), προκειμένου να μελετηθεί η άμεση επίδραση των συστατικών, χωρίς να επηρεάζονται τα ολικά στερεά των συστημάτων (η οποία έχει άμεσο αντίκτυπο στη θερμική συμπεριφορά των μιγμάτων).

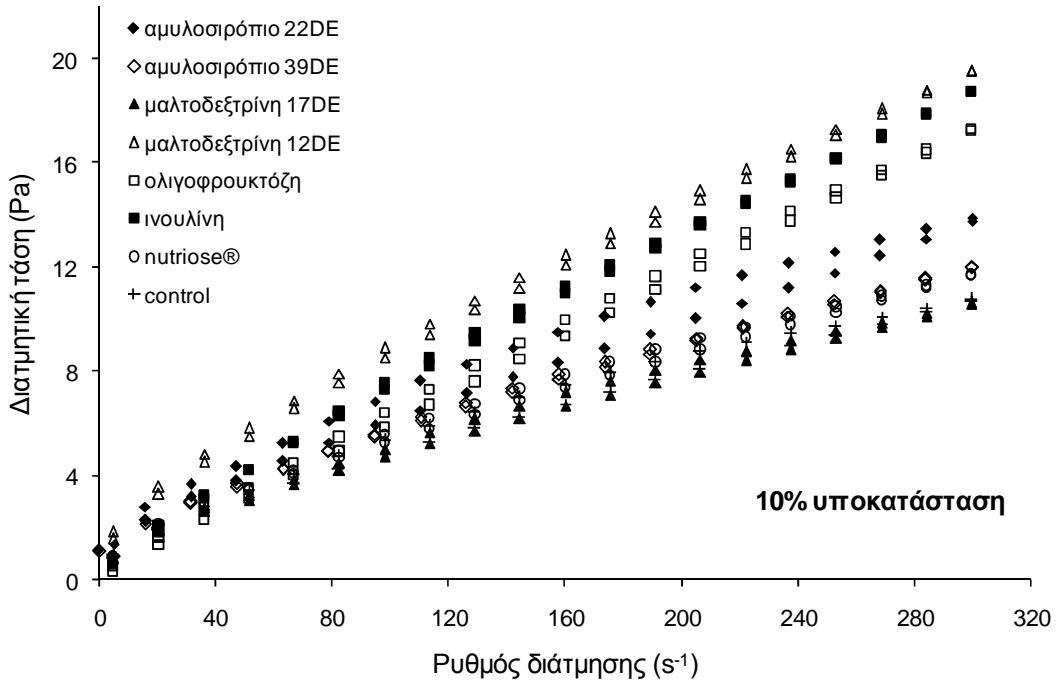
Στα σχήματα 6.2.1 έως 6.2.4 παρουσιάζονται τα ρεογράμματα των μιγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, το σύνολο των μιγμάτων εμφάνισαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά. Οι ρεολογικές παράμετροι των μιγμάτων παγωτού παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2.1.



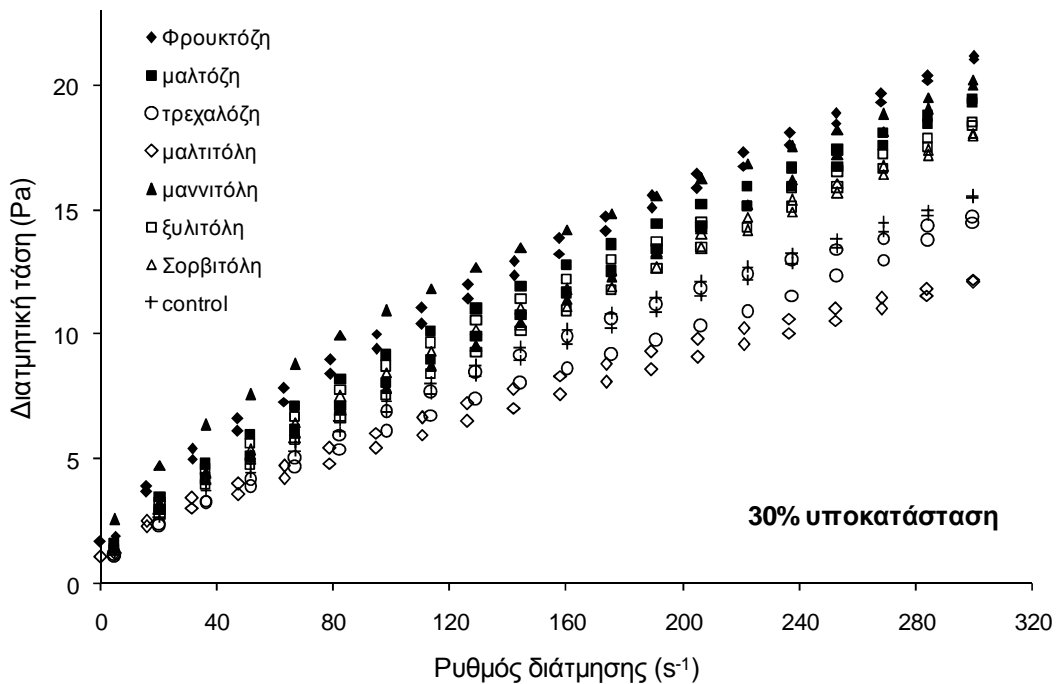
Σχήμα 6.2.1 Επίδραση των σακκάρων και πολυολών στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (10% υποκατάσταση της σακχαρόζης) ωριμασμένων στους 4 °C για 18h

Το είδος και η αναλογία των υδατανθρακικών συστατικών επηρέασαν σημαντικά τη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού ($p < 0.01$). Γενικά, η προσθήκη των γλυκαντικών υλών (πολυόλες και απλά σάκκαρα) δεν μετέβαλε σημαντικά τις τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας των μιγμάτων. Η προσθήκη των πολυολών (μαννιτόλη, μαλιτιόλη, και ξυλιτόλη) και της μαλτόζης δεν μετέβαλε σημαντικά τις τιμές του K , ενώ μόνο τα δείγματα

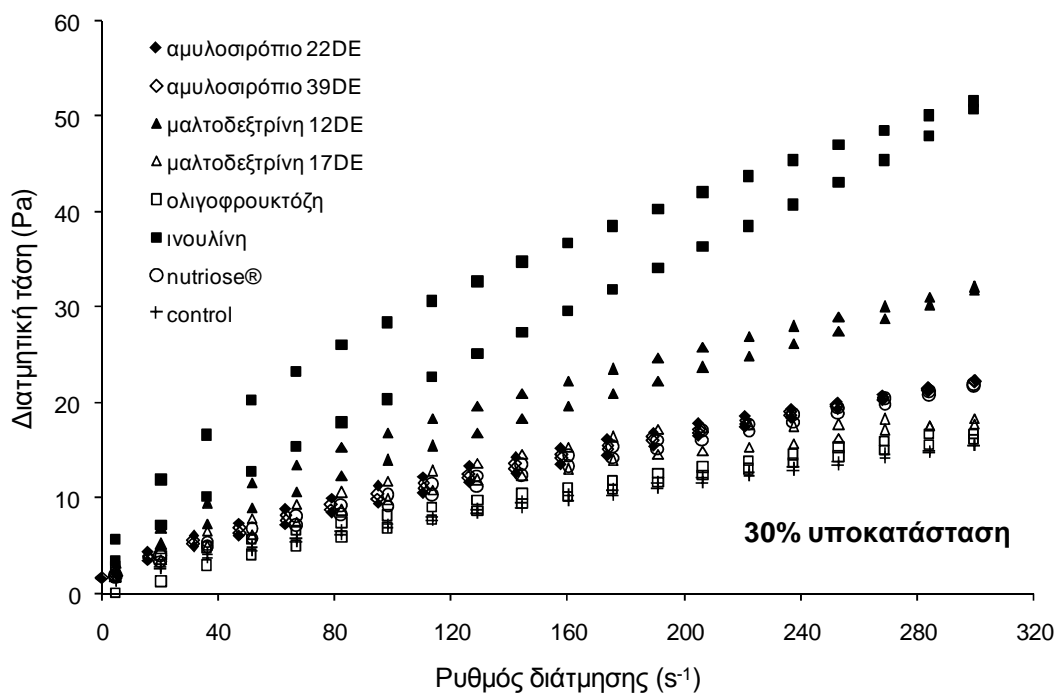
με φρουκτόζη και η σορβιτόλη εμφάνισαν τιμές K σημαντικά υψηλότερες από το control. Αντίθετα, η τρεχαλόζη επέφερε σημαντική ελάττωση του συντελεστή συνεκτικότητας των μιγμάτων παγωτού. Οι επιδράσεις των αμυλοσιροπίων και των ολιγοσακχαριτών στις τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας ήταν εμφανώς πιο έντονες. Τα μίγματα με ολιγοφρουκτόζη και Nutriose® εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές K , ενώ τα μίγματα με μαλτοδεξτρίνη 12DE και ινουλίνη τις υψηλότερες.



Σχήμα 6.2.2 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και των αμυλοσιροπίων στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (10% υποκατάσταση της σακχαρόζης) ωριμασμένων στους 4 °C για 18h



Σχήμα 6.2.3 Επίδραση των σακκάρων και πολυολών στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (30% υποκατάσταση της σακχαρόζης) ωριμασμένων στους 4 °C για 18h



Σχήμα 6.2.4 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και των αμυλοσιροπίων στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (30% υποκατάσταση της σακχαρόζης) ωριμασμένων στους 4° C για 18h

Η επίδραση των γλυκαντικών υλών και των ολιγοσακχαριτών στα ρεολογικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων παγωτού είναι σημαντική και σε ορισμένες περιπτώσεις ισοδύναμη με εκείνη των βιοπολυμερών - πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες (Marshall et al., 2003). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργικότητά τους είναι το μοριακό βάρος, η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, η υγροσκοπικότητά τους, ο βαθμός διακλάδωσης των μορίων τους, το ισοδύναμο δεξτρόζης, και η συνέργεια με τα βιοπολυμερή (Marshall et al., 2003; Miller-Livney & Hartel 1997; Hagiwara & Hartel 1996; Muse & Hartel 2004; El-Nagar et al., 2002; Karaca et al., 2002; Blanchard et al., 2006). Τα αποτελέσματα της επίδρασης του είδους των υδατανθράκων στο συντελεστή συνεκτικότητας είναι σε συμφωνία με την παραπάνω παρατήρηση. Τα απλά σάκχαρα και οι πολυόλες χαρακτηρίζονται από σημαντικά χαμηλότερα μοριακά βάρη σε σχέση με τους σύνθετους υδατάνθρακες, αλλά της ίδιας τάξης μεγέθους με τη σακχαρόζη. Συνεπώς οι μικρές διαφορές στις τιμές του K φαίνεται να προέρχονται από την υγροσκοπικότητα, αλλά και από την πιθανή τους συνέργεια με τα βιοπολυμερή. Από τα απλά σάκχαρα η φρουκτόζη εμφανίζει την υψηλότερη υγροσκοπικότητα, και από τις πολυαλκοόλες η μαλιτιόλη και η σορβιτόλη. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι αποκλίσεις στις τιμές του K των μιγμάτων παγωτού με πολυόλες σε σχέση με τα control είναι αρκετά σημαντική, εξαιτίας του σημαντικά χαμηλότερου μοριακού τους βάρους (εκτός από την περίπτωση της μαλιτιόλης). Ένας ακόμη παράγοντας ο οποίος εξηγεί την αύξηση της τιμής του συντελεστή συνεκτικότητας των μιγμάτων παγωτού με πολυόλες σε σχέση με τα control, είναι η συνέργεια ή η ασυμβατότητα ορισμένων πολυολών (σορβιτόλη) με τους πολυσακχαρίτες και τις πρωτεΐνες (Chanasattru et al., 2008; Lazaridou et al., 2008). Σε ότι αφορά την επίδραση των αμυλοσιροπίων/ολιγοσακχαριτών στις τιμές του K, τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα. Η μείωση του ισοδύναμου δεξτρόζης (DE) στην περίπτωση των συστατικών υδρόλυσης αμύλου, και η αύξηση του αριθμού πολυμερισμού (DP) στην περίπτωση των ολιγοσακχαριτών οδήγησαν σε αύξηση του K. Η μείωση του DE συνεπάγεται την αύξηση του μοριακού βάρους και την ύπαρξη δεξτρινικών συστατικών εκτεταμένης ανθρακικής αλύσου, γεγονός που αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, αλλά και την ικανότητα δημιουργίας πλεγμάτων και πηγμάτων (Miller-Livney & Hartel 1997, Muse & Hartel 2004; Blanchard & Katz 2006). Επιπλέον, η αύξηση του βαθμού πολυμερισμού στην περίπτωση της

ινουλίνης δεν επιφέρει μόνο αύξηση του μοριακού βάρους αλλά συμβάλλει και στην ικανότητα δημιουργίας μικροκρυσταλλικών πηγμάτων, γεγονός που επιφέρει την ενίσχυση του ιξώδους σε σχέση με την ολιγοφρουκτόζη και τη Nutriose® που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο ποσοστό φρουκτοολιγοσακχαριτών μικρού DP και μοριακού βάρους (Franck 2006; Coussement & Franck 2001; Akalin et al., 2008).

Δείγμα	K (Pa*s ⁻ⁿ)	n	Ιξώδες Kokini (Pa*s)	% θιξοτροπία
Control	0.31 ± 0.021 ^{C,a}	0.622 ± 0.018 ^{A,d}	0.087 ± 0.003 ^{D,b}	8.4 ± 0.8 ^{F,c}
10% ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ				
Φρουκτόζη	0.309 ± 0.015 ^C	0.639 ± 0.032 ^B	0.075 ± 0.004 ^C	2.8 ± 0.1 ^A
Μαλτόζη	0.212 ± 0.031 ^B	0.720 ± 0.036 ^E	0.071 ± 0.004 ^{BC}	11.5 ± 0.9 ^H
Τρεχαλόζη	0.089 ± 0.004 ^A	0.789 ± 0.039 ^E	0.039 ± 0.002 ^A	5.2 ± 0.4 ^D
Μαλτιτόλη	0.417 ± 0.021 ^D	0.588 ± 0.019 ^A	0.083 ± 0.004 ^D	10.6 ± 0.4 ^G
Ξυλιτόλη	0.264 ± 0.013 ^B	0.646 ± 0.024 ^C	0.120 ± 0.006 ^F	9.5 ± 0.7 ^F
Σορβιτόλη	0.583 ± 0.033 ^E	0.604 ± 0.034 ^{AB}	0.124 ± 0.006 ^F	5.2 ± 0.3 ^D
Μαννιτόλη	0.264 ± 0.029 ^{BC}	0.646 ± 0.026 ^C	0.066 ± 0.003 ^B	5.9 ± 0.5 ^D
Αμυλοσιρόπιο 39DE	0.310 ± 0.016 ^C	0.636 ± 0.032 ^{BC}	0.075 ± 0.004 ^C	4.0 ± 0.1 ^C
Αμυλοσιρόπιο 22DE	0.461 ± 0.023 ^D	0.593 ± 0.017 ^A	0.094 ± 0.005 ^E	19.9 ± 1.1 ^J
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	0.580 ± 0.019 ^E	0.605 ± 0.030 ^{AB}	0.124 ± 0.006 ^F	13.5 ± 1.1 ^I
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	0.718 ± 0.036 ^F	0.595 ± 0.030 ^{AB}	0.147 ± 0.011 ^G	13.7 ± 0.4 ^I
Ινουλίνη	0.689 ± 0.034 ^F	0.603 ± 0.037 ^{AB}	0.146 ± 0.007 ^G	11.5 ± 0.3 ^H
Ολιγοφρουκτόζη	0.427 ± 0.021 ^D	0.624 ± 0.016 ^B	0.098 ± 0.005 ^E	6.7 ± 0.4 ^E
Nutriose®	0.279 ± 0.014 ^C	0.653 ± 0.012 ^C	0.072 ± 0.004 ^B	3.2 ± 0.4 ^B
30% ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ				
Φρουκτόζη	0.647 ± 0.048 ^{ef}	0.604 ± 0.032 ^d	0.128 ± 0.006 ^e	7.8 ± 0.9 ^c
Μαλτόζη	0.533 ± 0.038 ^d	0.625 ± 0.024 ^{de}	0.115 ± 0.002 ^d	14.7 ± 1.2 ^e
Τρεχαλόζη	0.322 ± 0.018 ^a	0.649 ± 0.012 ^e	0.081 ± 0.003 ^a	6.2 ± 0.3 ^b
Μαλτιτόλη	0.423 ± 0.032 ^{bc}	0.584 ± 0.034 ^d	0.077 ± 0.009 ^a	10.3 ± 0.8 ^d
Ξυλιτόλη	0.504 ± 0.055 ^{cd}	0.646 ± 0.042 ^e	0.108 ± 0.011 ^{bc}	14.8 ± 0.8 ^e
Σορβιτόλη	0.465 ± 0.024 ^c	0.635 ± 0.012 ^{de}	0.103 ± 0.002 ^c	4.8 ± 0.3 ^a
Μαννιτόλη	0.442 ± 0.032 ^{bc}	0.647 ± 0.024 ^e	0.147 ± 0.003 ^f	31.9 ± 2.6 ⁱ
Αμυλοσιρόπιο 39DE	0.607 ± 0.045 ^e	0.625 ± 0.034 ^d	0.131 ± 0.004 ^e	6.1 ± 0.3 ^b
Αμυλοσιρόπιο 22DE	0.688 ± 0.032 ^f	0.608 ± 0.021 ^d	0.143 ± 0.009 ^f	18.1 ± 1.1 ^f
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	1.091 ± 0.082 ^g	0.510 ± 0.018 ^a	0.153 ± 0.008 ^f	21.5 ± 1.4 ^g
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	1.247 ± 0.099 ^h	0.567 ± 0.009 ^c	0.223 ± 0.014 ^g	22.4 ± 0.3 ^g
Ινουλίνη	2.365 ± 0.118 ⁱ	0.540 ± 0.013 ^b	0.391 ± 0.017 ^h	37.0 ± 3.3 ^h
Ολιγοφρουκτόζη	0.402 ± 0.023 ^b	0.648 ± 0.020 ^e	0.095 ± 0.008 ^b	15.2 ± 1.2 ^e
Nutriose®	0.592 ± 0.045 ^e	0.627 ± 0.023 ^d	0.129 ± 0.003 ^e	13.9 ± 2.1 ^e

Πίνακας 6.2.1: Ρεολογικές παράμετροι των μιγμάτων παγωτού ωριμασμένων στους 4°C για 18h με διαφορετικά είδη συστατικών υδατανθρακικής προέλευσης (απλά σάκχαρα, πολυόλες, ολιγοσακχαρίτες, αμυλοσιρόπια) προστιθέμενα σε δύο διαφορετικές αναλογίες 10 και 30% (επί του ολικού ποσοστού υδατανθράκων).

^{A-J, a-i} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδηλώνει σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Duncan's post hoc comparison test

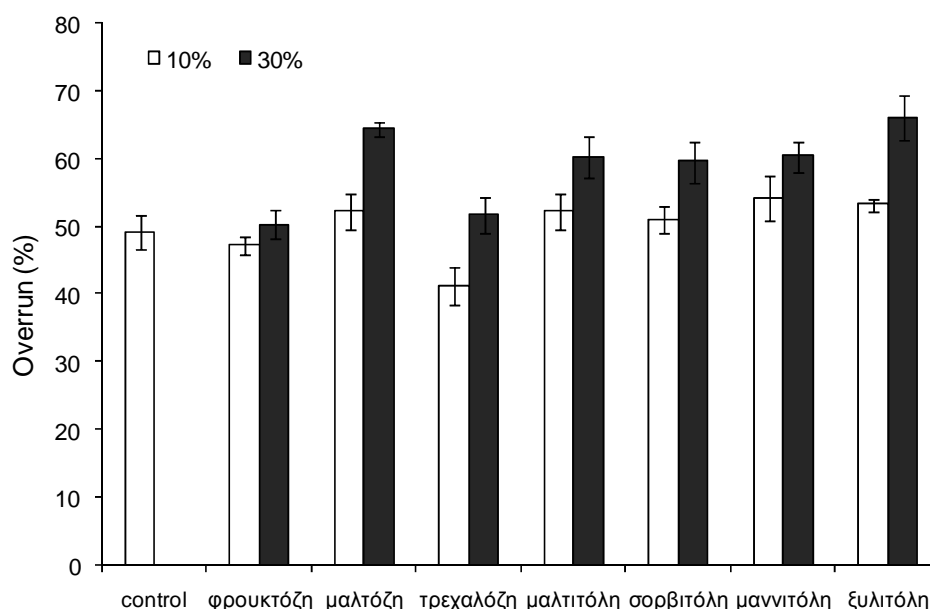
Η επίδραση του είδους των υδατανθρακικών συστατικών ήταν σημαντική (p<0.05), με τις πιο αξιόλογες επιδράσεις να αφορούν στους ολιγοσακχαρίτες και τα αμυλοσιρόπια. Τα μίγματα παγωτού με ινουλίνη και μαλτοδεξτρίνη 12DE εμφάνισαν τη μεγαλύτερη απόκλιση από τη νευτωνική συμπεριφορά (0.571 και 0.557 αντίστοιχα). Αντίθετα, η προσθήκη του αμυλοσιροπίου 39DE, της ολιγοφρουκτόζης και της Nutriose® οδήγησε σε συμπεριφορά ισοδύναμη με εκείνη των πολυολών και του control δείγματος. Αναφορικά με την επίδραση

των γλυκαντικών υλών, τα μίγματα με σορβιτόλη εμφάνισαν την πιο έντονη ψευδοπλαστική συμπεριφορά, ενώ τα μίγματα με τρεχαλόζη εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς. Τα δεδομένα που αφορούν στη ρεολογική συμπεριφορά είναι σε συμφωνία με όσα αναφέρθηκαν για τις επιδράσεις στο συντελεστή συνεκτικότητας. Το μοριακό βάρος, και σε μεγαλύτερο βαθμό ο βαθμός πολυμερισμού και το ισοδύναμο δεξτρόζης τα οποία είναι ενδεικτικά για την παρουσία μεγαλομοριακών ενώσεων με ικανότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ τους, αλλά και προσανατολισμού της ανθρακικής τους αλυσού υπό την επιβολή της διατμητικής τάσης. Έτσι οι μεγαλομοριακές ενώσεις (χαμηλού DE και υψηλού DP) παρουσιάζουν εντονότερη ψευδοπλαστική συμπεριφορά σε σχέση με τις μικρομοριακές (χαμηλού μοριακού βάρους και DP, υψηλού DE). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από τους [Muse & Hartel \(2004\)](#), [Miller-Livney & Hartel 1997](#); [Adapa et al., \(2000\)](#), [Akalin et al., \(2008\)](#).

Η επίδραση του ποσοστού προσθήκης των υδανθρακικών συστατικών σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργικότητά τους: οι μεγαλομοριακές ενώσεις οδήγησαν σε μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή συνεκτικότητας και του ιξώδους, ενώ οι πολυόλες σε μικρότερη. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της θιξοτροπικής συμπεριφοράς. Τα δείγματα με 30% αμυλοσιρόπιο, μαλτοδεξτρίνη ή ολιγοσακχαρίτες παρουσίασαν πιο έντονη θιξοτροπική συμπεριφορά σε σχέση με τα μίγματα που περιείχαν πολυόλες. Η συμπεριφορά αυτή σχετίζεται με τη μεγαλύτερη ανθρακική αλυσού και τον υψηλό βαθμό διακλάδωσης των ενώσεων αυτών, οι οποίες σταδιακά αναδιατάσσονται στο χώρο, αποκτώντας μία κανονική διάταξη των ανθρακικών τους αλυσών ([Soukoulis et al., 2009](#)).

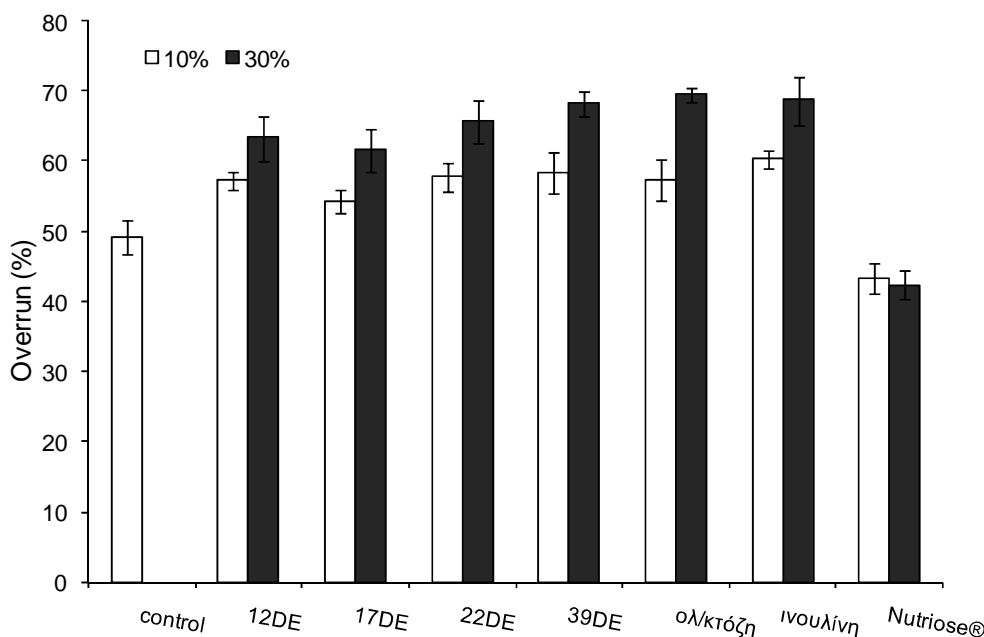
6.2.2 Overrun

Στα σχήματα 6.2.5 και 6.2.6 παρουσιάζονται οι επιδράσεις των υδατανθρακικών συστατικών στις τιμές του overrun των δειγμάτων παγωτού. Επιπλέον, στο σχήμα 6.2.7 απεικονίζεται η μικροδομή των δειγμάτων παγωτού αμέσως μετά τη διεργασία κατάψυξης στους -5°C . Τα δείγματα με φρουκτόζη, τρεχαλόζη και Nutriose® εμφάνισαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές overrun ($p < 0.05$) σε σχέση με τα control δείγματα.



Σχήμα 6.2.5 Επίδραση των σακκάρων και πολυολών στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα (overrun) των δειγμάτων παγωτού

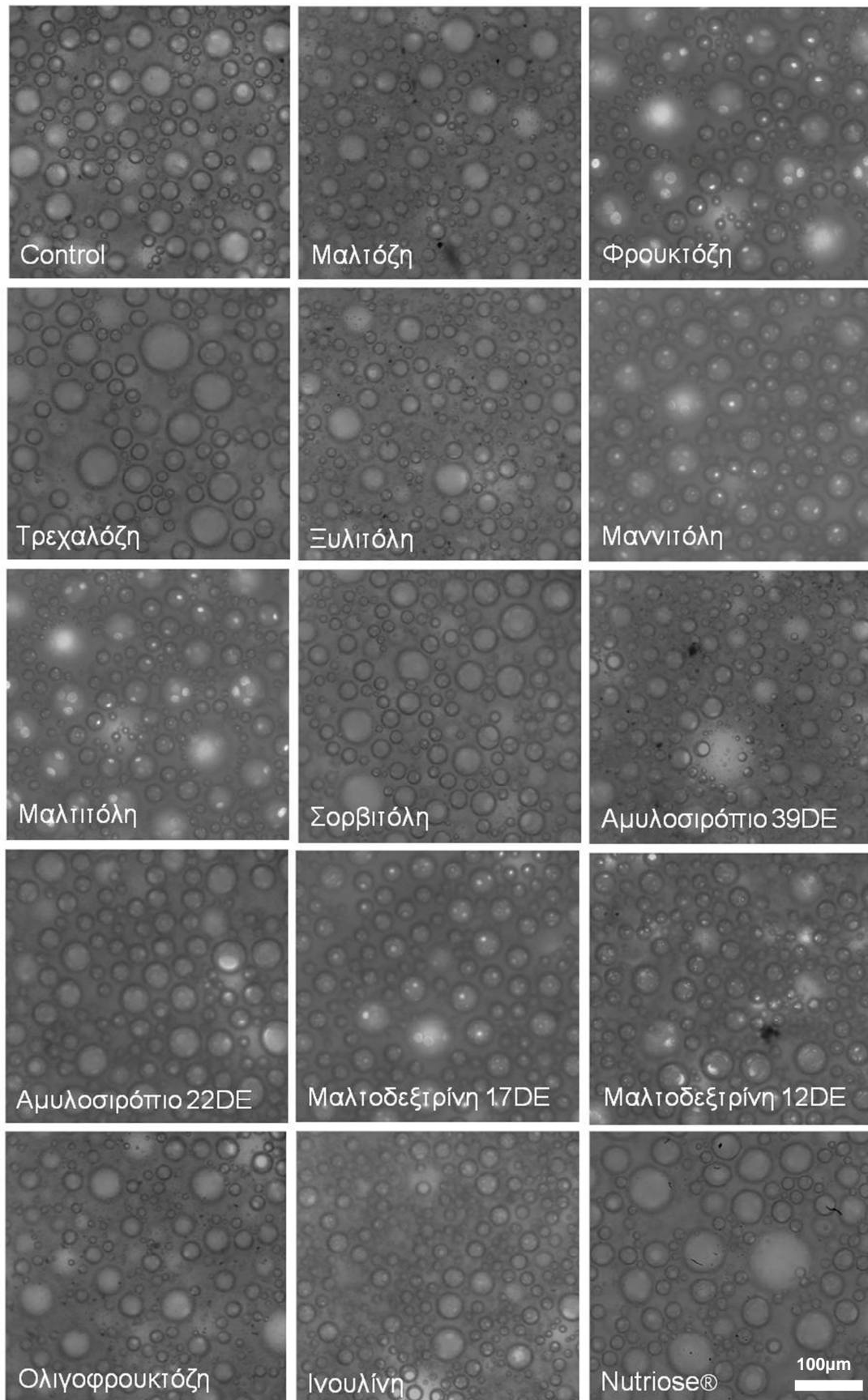
Αντίθετα, τα δείγματα με μαλτόζη, πολυόλες, αμυλοσιρόπια, μαλτοδεξτρίνες και ολιγοσακχαρίτες εμφάνισαν σημαντικά βελτιωμένη ικανότητα απόδρασης και ενσωμάτωσης αέρα. Αναμφίβολα, η ικανότητα απόδρασης των μιγμάτων παγωτού σχετίζεται με την επιφανειοενεργότητα των υλικών που ενσωματώνονται στο μίγμα. Για το λόγο αυτό οι γαλακτωματοποιητές και οι πρωτεΐνες αποτελούν τις βασικές ενώσεις που επηρεάζουν καθοριστικά το overrun των δειγμάτων (Zhang & Goff 2004; Goff 1997; Goff 1998). Οι γλυκαντικές υλές (σάκχαρα και πολυόλες) δεν χαρακτηρίζονται από αξιόλογη επιφανειοενεργότητα και κατά συνέπεια οι επιδράσεις τους στο overrun σχετίζονται με παράγοντες που έμμεσα επηρεάζουν το overrun (ιξώδες, σταθεροποίηση των σχηματισμένων φυσαλίδων αέρα κ.α.).



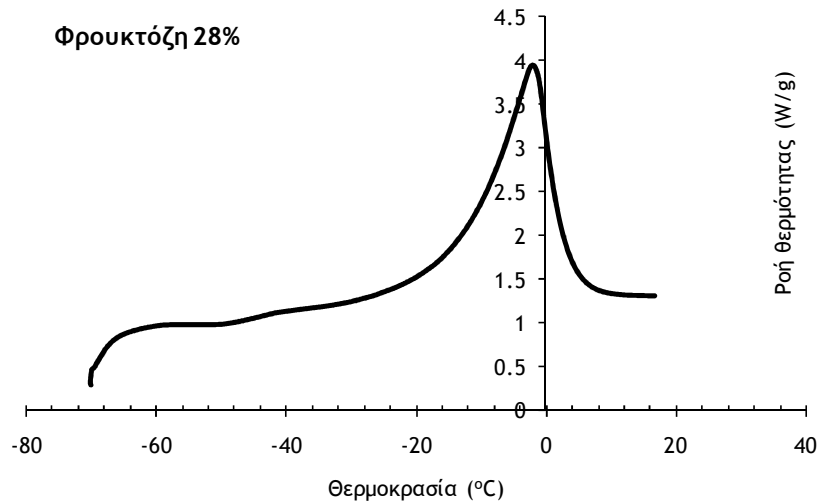
Σχήμα 6.2.6 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και των αμυλοσιροπίων στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα των (overrun) δειγμάτων παγωτού

6.2.3 Θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού

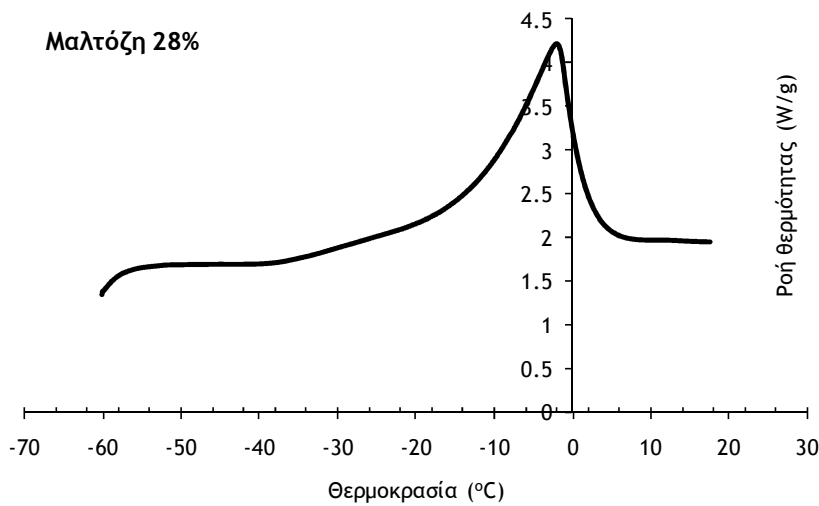
Στα σχήματα 6.2.8 - 6.2.37 απεικονίζονται οι καμπύλες τήξης των πρότυπων διαλυμάτων υδατανθράκων (28% w/w) και των μιγμάτων παγωτού (30% υποκατάσταση της σακχαρόζης - 4.8% w/w). Οι καμπύλες τήξης χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των μιγμάτων παγωτού (Πίνακες 6.2.2 - 6.2.4). Λόγω των έντονων φαινομένων θερμικής υστέρησης, ο υπολογισμός της θερμοκρασίας του σημείου πήξης έγινε με βάση τις καμπύλες κατάψυξης, όπως έχει προταθεί από τους Miller-Livney et al., (2004), Whelan et al., (2008). Το σύνολο των μιγμάτων παγωτού επηρεάστηκε σημαντικά ($p < 0.01$) από το είδος των υδατανθρακικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Αναφορικά με τις επιμέρους επιδράσεις τους στις θερμοφυσικές ιδιότητες διακρίνονται 3 κύριες κατηγορίες συστατικών: οι μακρομοριακοί υδατάνθρακες που προκαλούν σημαντική ανύψωση της θερμοκρασίας του σημείου πήξης, οι πολυαλκοόλες που επιφέρουν σημαντική ταπείνωση του σημείου πήξης και τα σάκχαρα τα οποία ανυψώνουν ή ταπεινώνουν τη θερμοκρασία του σημείου πήξης ανάλογα με το μοριακό τους βάρος (μαλτόζη και φρουκτόζη), αλλά και τη λειτουργικότητά τους (τρεχαλόζη - ίσου μοριακού βάρους με τη σακχαρόζη, αλλά σημαντικά διαφορετική ως προς τη θερμική της συμπεριφορά). Ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει τις θερμοκρασίες του σημείου πήξης των μιγμάτων παγωτού είναι και ο βαθμός υποκατάστασης της σακχαρόζης. Τα αποτελέσματα στην παρούσα μελέτη δεν εμφανίζουν την επίδραση, αλλά η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης γενικά δεν ακολουθεί κατ' ανάγκη αναλογική πορεία.



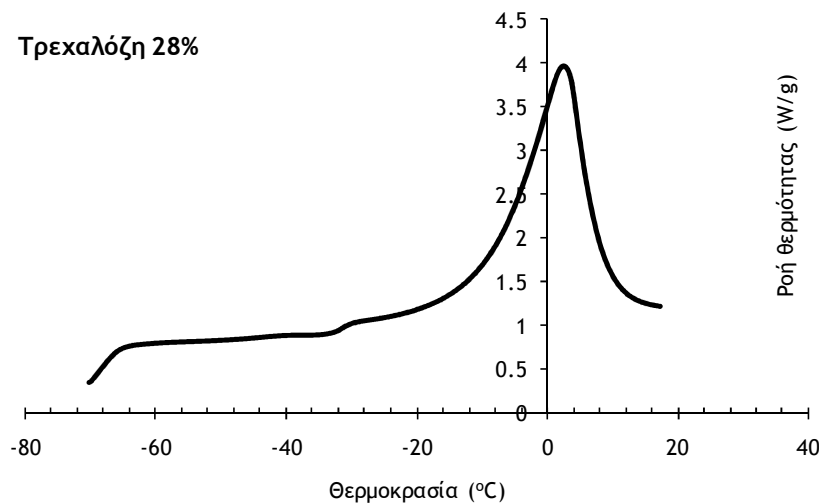
Σχήμα 6.2.7: Επίδραση του είδους των σακχάρων, πολυολών, ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπίων στο μέσο μέγεθος των φυσαλίδων αέρα των δειγμάτων παγωτού. Το control δείγμα αναφέρεται σε παγωτό αποκλειστικά με σακχαρόζη. Στα υπόλοιπα δείγματα η σακχαρόζη έχει υποκατασταθεί σε ποσοστό 30%. Η κλίμακα αναφέρεται σε 100µm.



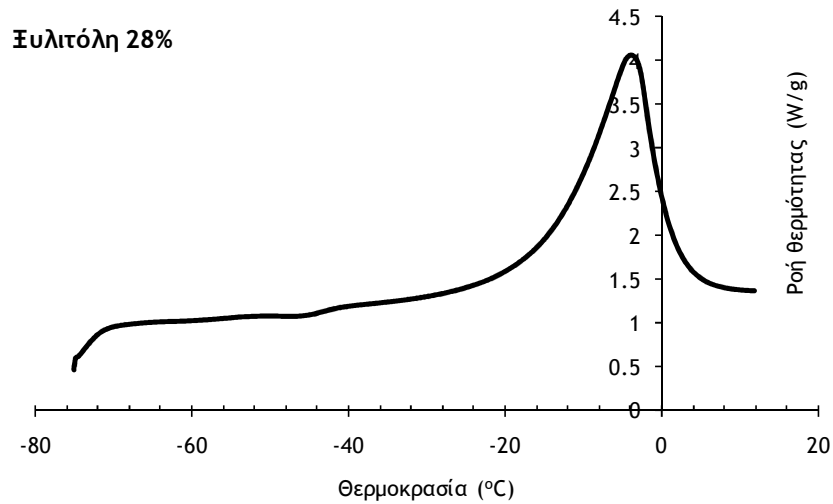
Σχήμα 6.2.8: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος φρουκτόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



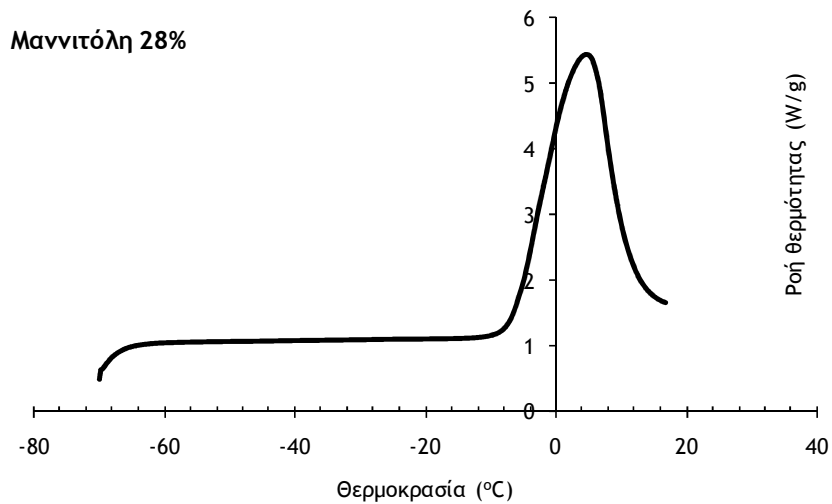
Σχήμα 6.2.9: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαλτόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



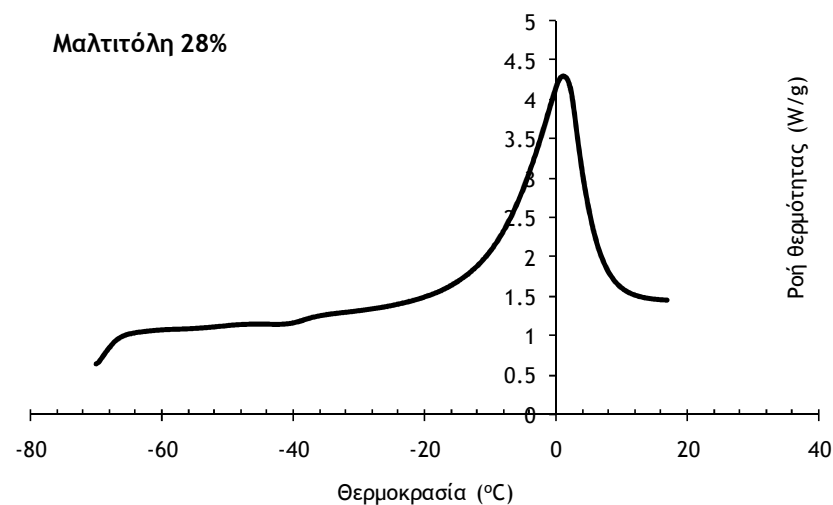
Σχήμα 6.2.10: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος τρεχαλόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



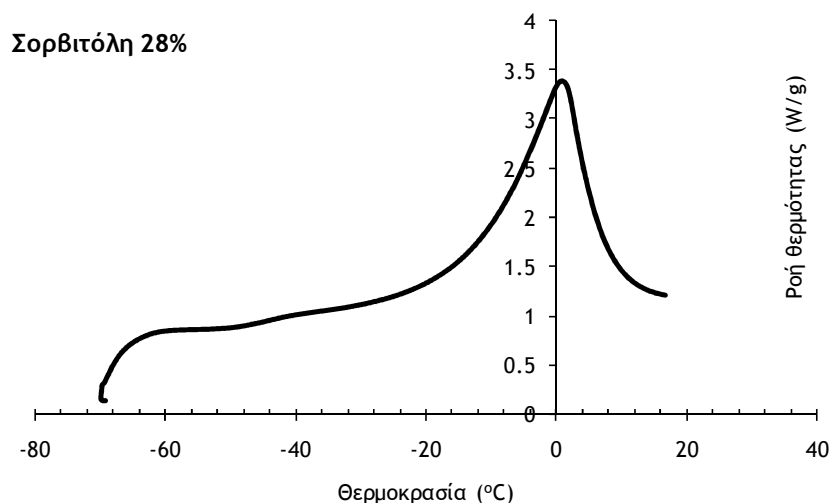
Σχήμα 6.2.11: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος ξυλιτόλης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



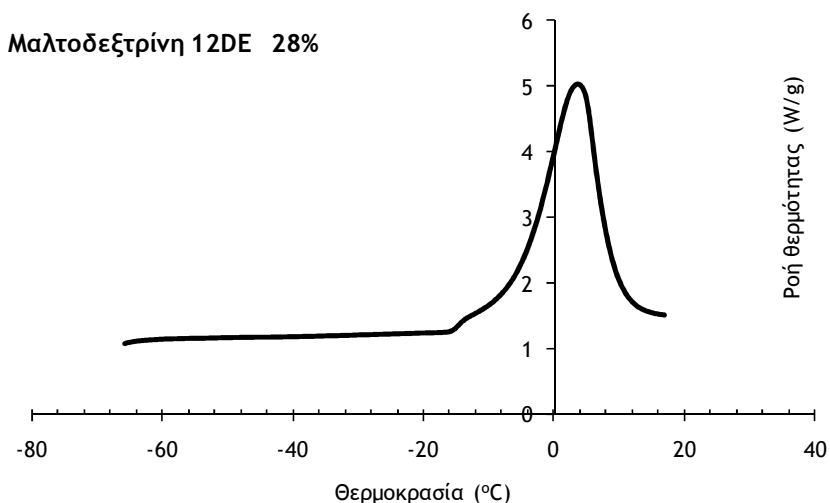
Σχήμα 6.2.12: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαννιτόλης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



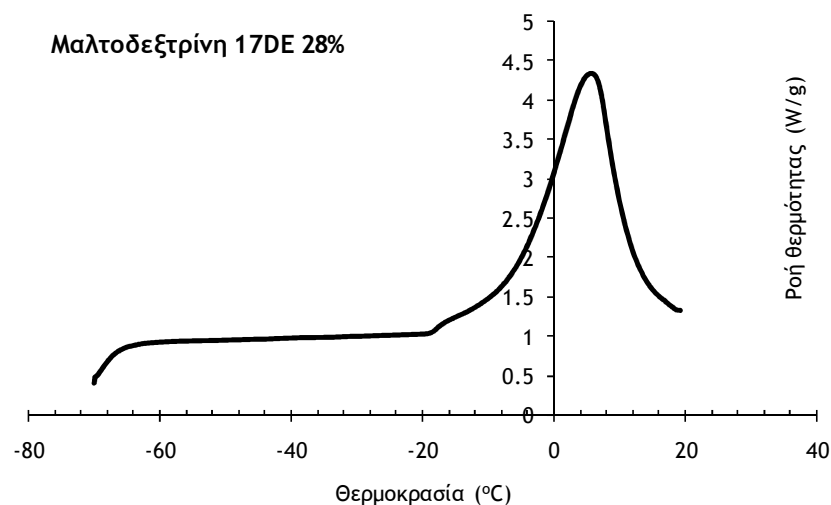
Σχήμα 6.2.13: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαλιτιτόλης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



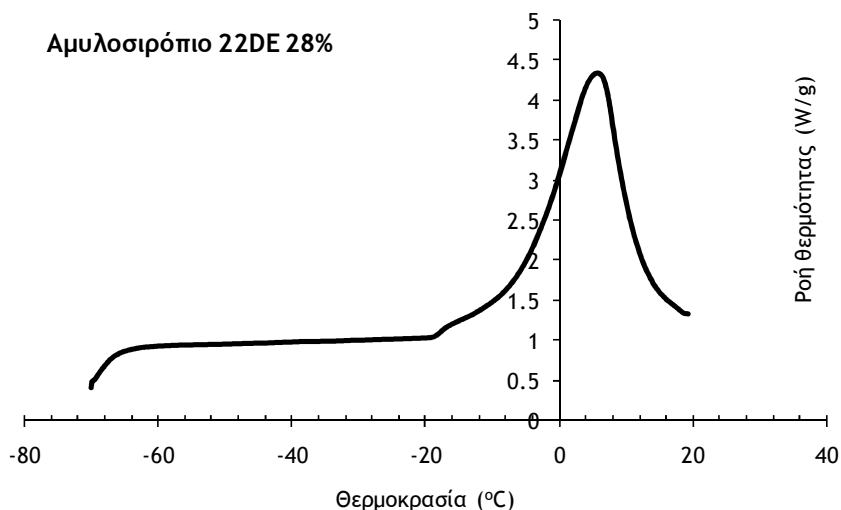
Σχήμα 6.2.14: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος σορβιτόλης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



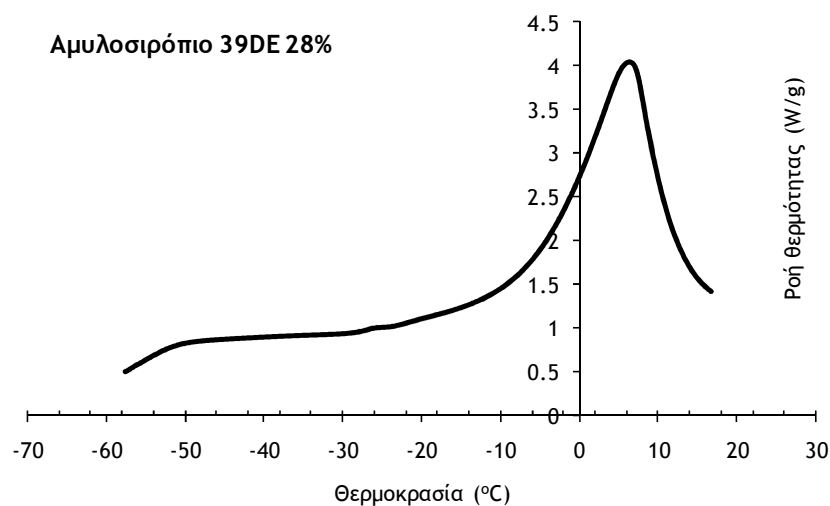
Σχήμα 6.2.15: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαλτοδεξτρίνης 12DE 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



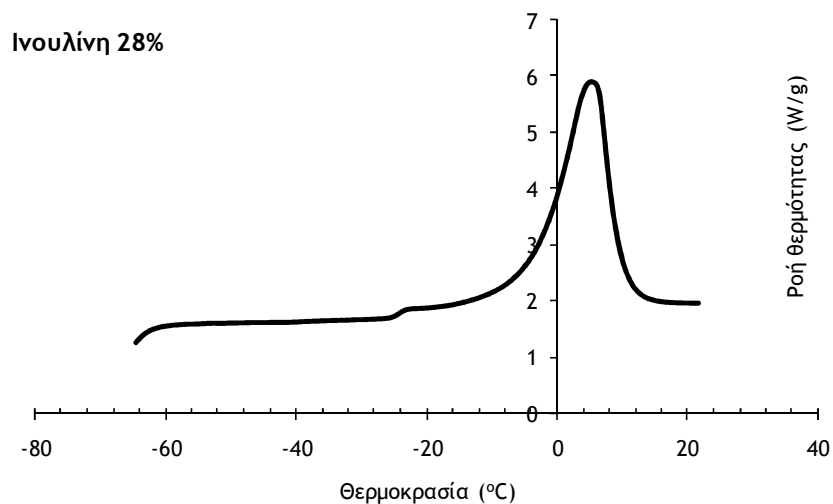
Σχήμα 6.2.16: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαλτοδεξτρίνης 17DE 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



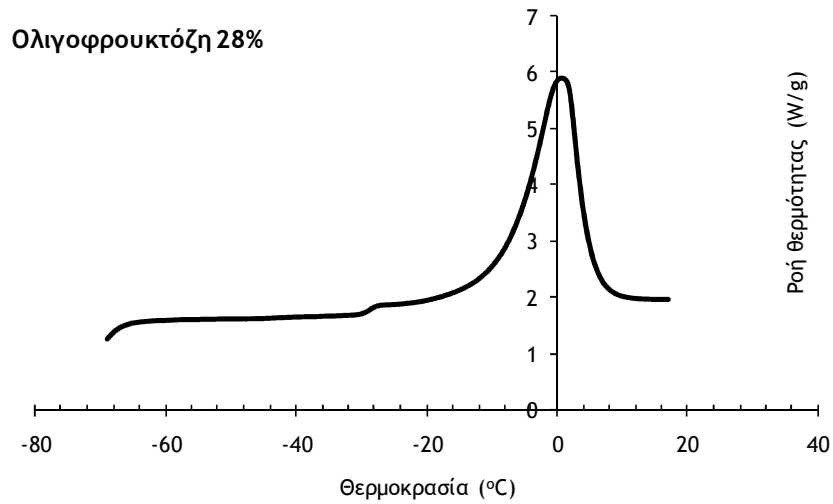
Σχήμα 6.2.17: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος αμυλοσιρόπιου 22DE 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



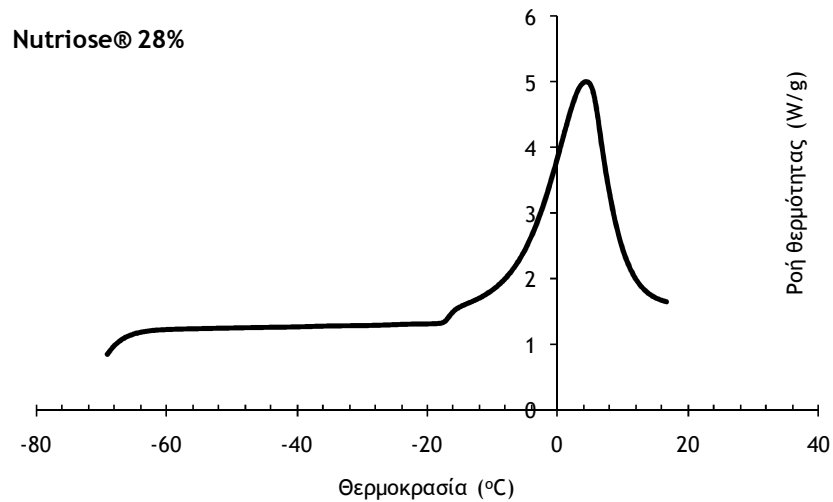
Σχήμα 6.2.18: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος αμυλοσιρόπιου 39DE 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



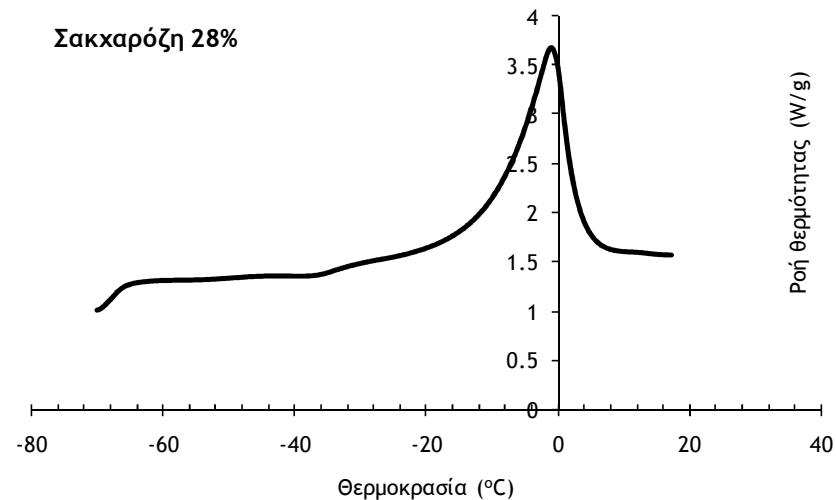
Σχήμα 6.2.19: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος ινουλίνης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



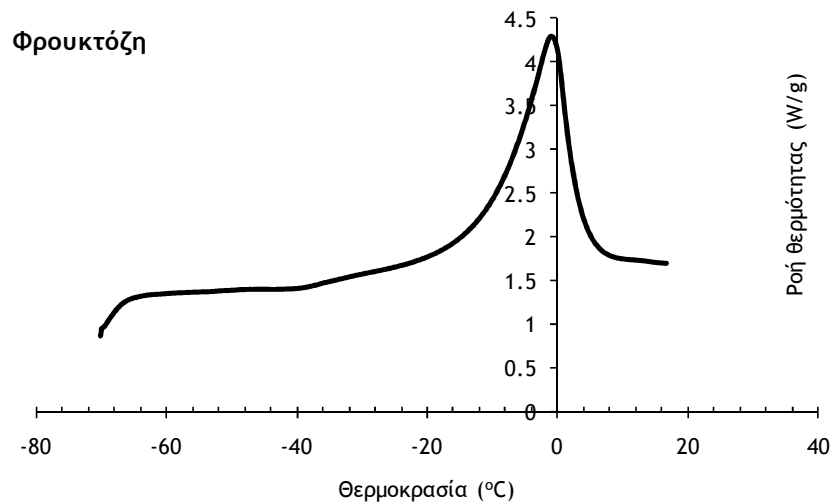
Σχήμα 6.2.20: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος ολιγοφρουκτόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



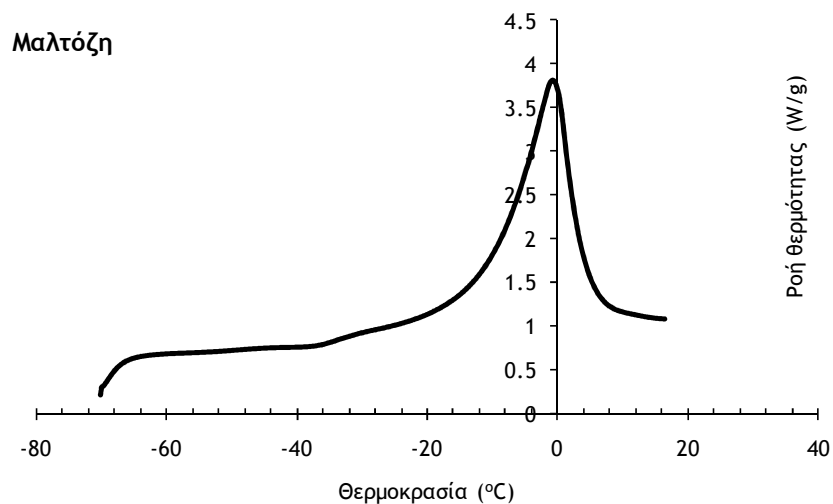
Σχήμα 6.2.21: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος Nutriose® 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



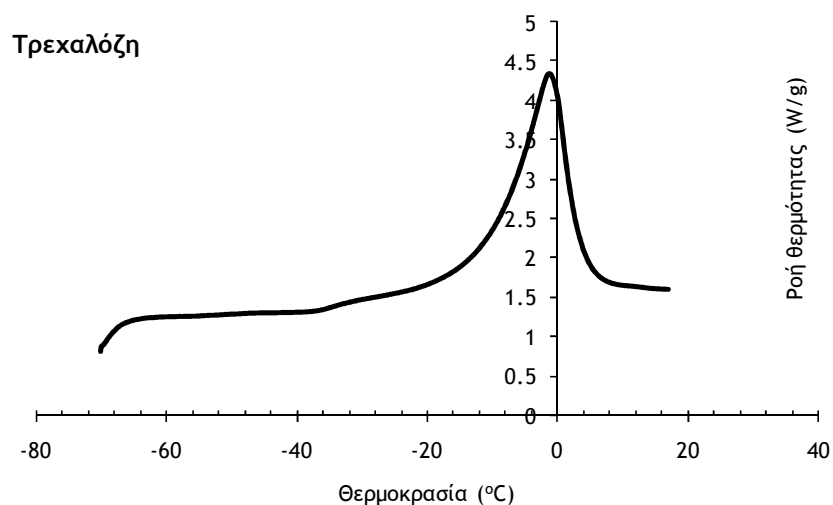
Σχήμα 6.2.22: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος σακχαρόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC



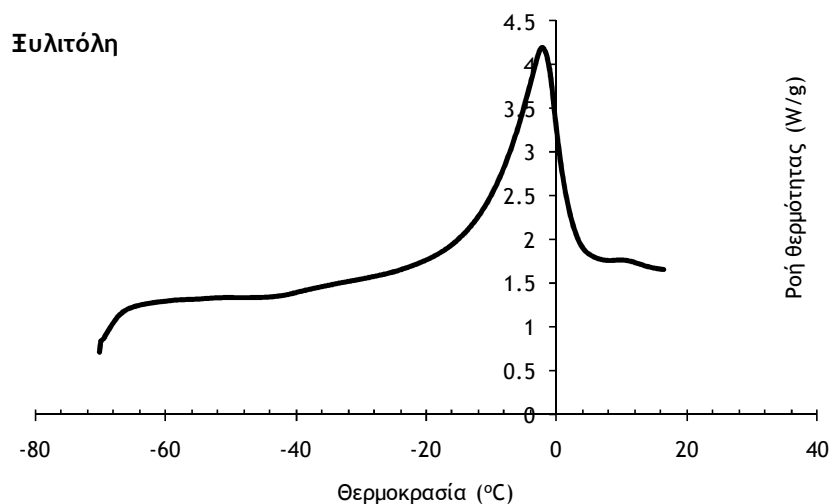
Σχήμα 6.2.23: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με φρουκτόζη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



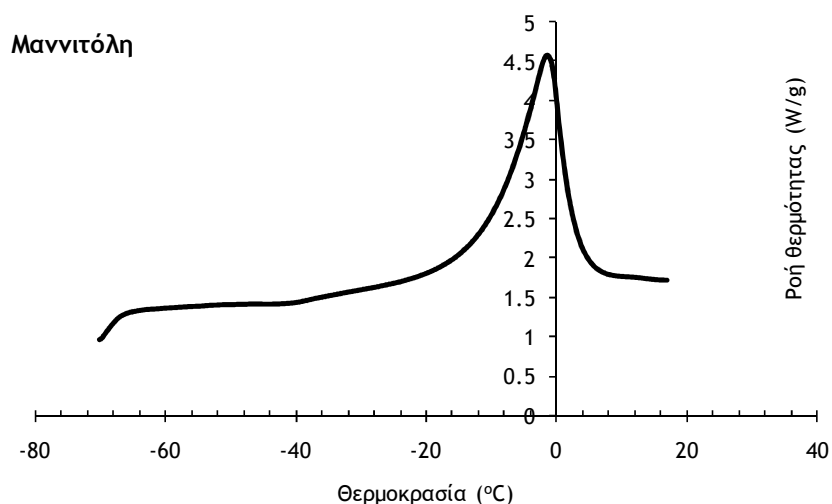
Σχήμα 6.2.24: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαλτόζη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



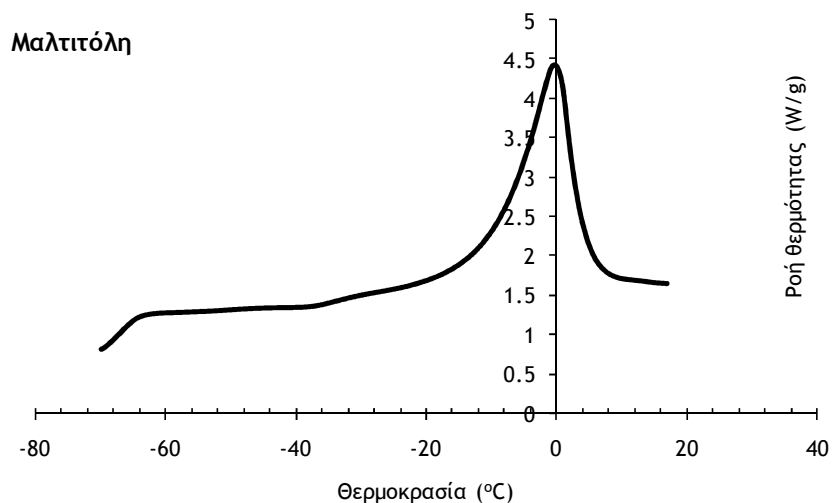
Σχήμα 6.2.25: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με τρεχαλόζη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



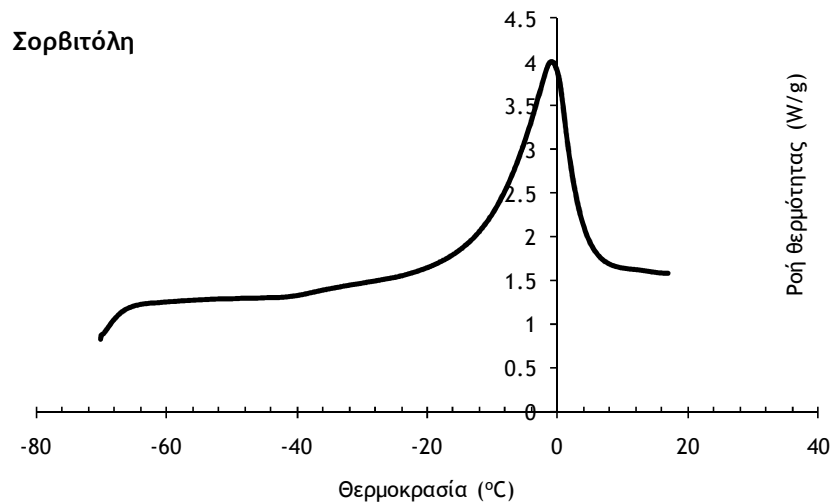
Σχήμα 6.2.26: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με ξυλιτόλη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



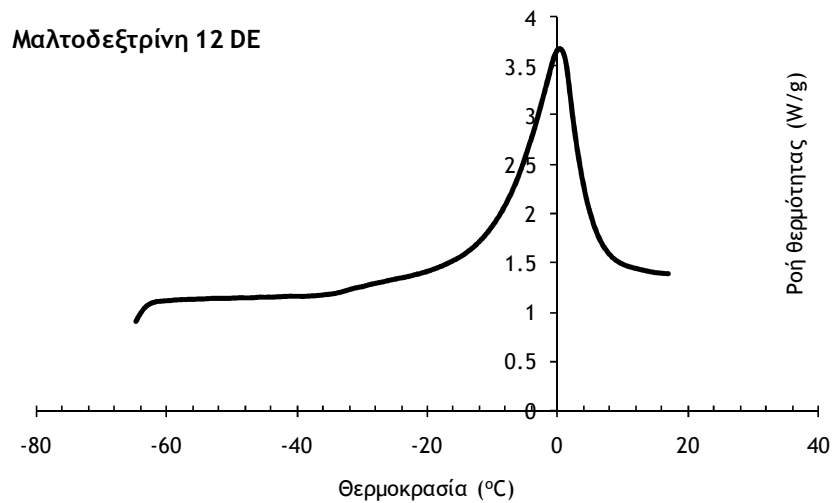
Σχήμα 6.2.27: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαννιτόλη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



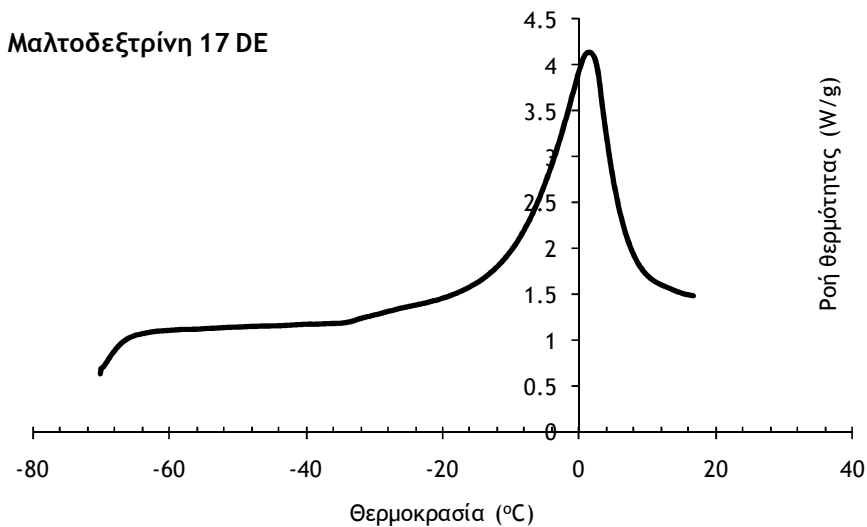
Σχήμα 6.2.28: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαλτιτόλη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



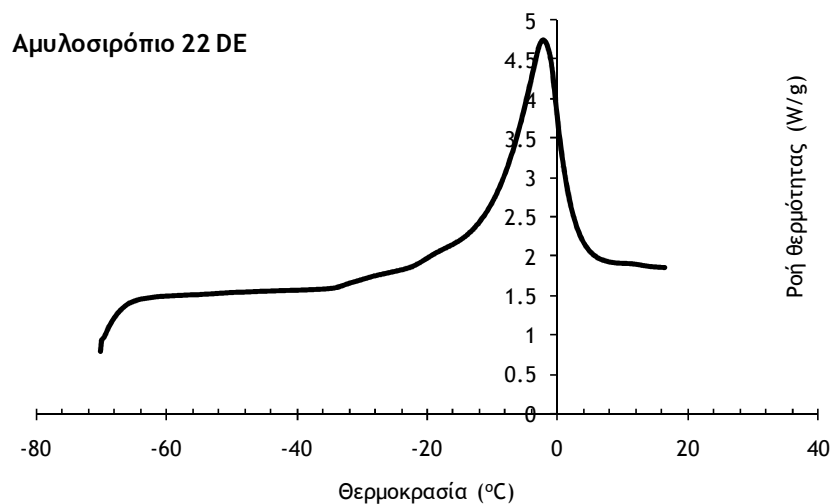
Σχήμα 6.2.29: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σορβιτόλη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



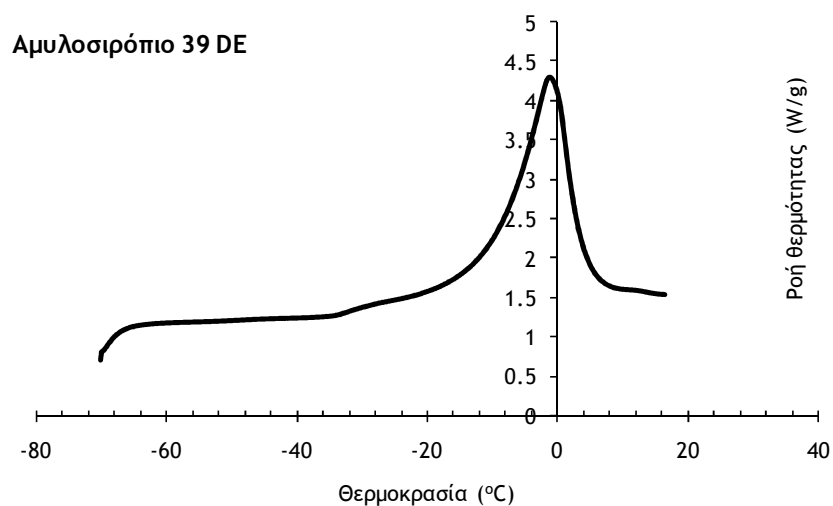
Σχήμα 6.2.30: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαλτοδεξτρίνη 12DE ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



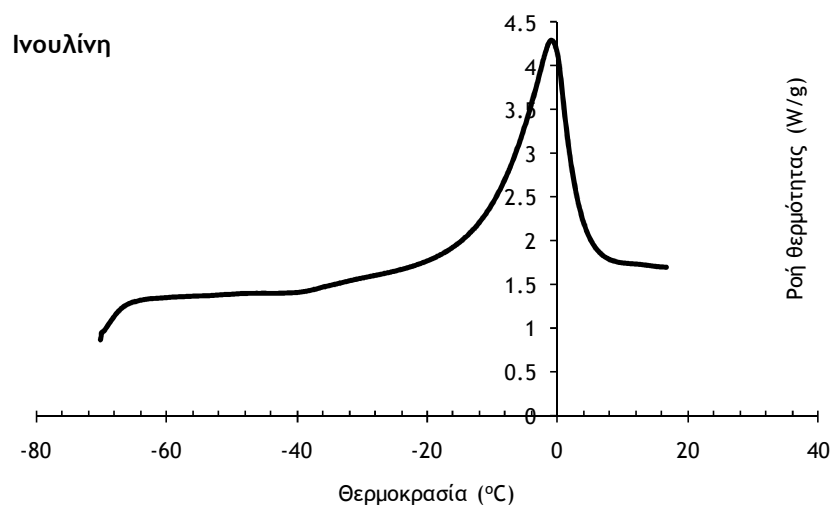
Σχήμα 6.2.31: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαλτοδεξτρίνη 17DE ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



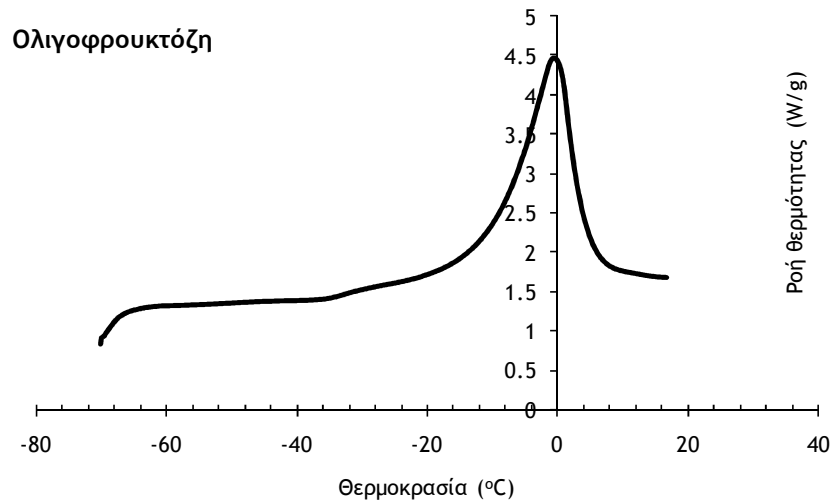
Σχήμα 6.2.32: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με αμυλοσιρόπιο 22DE ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



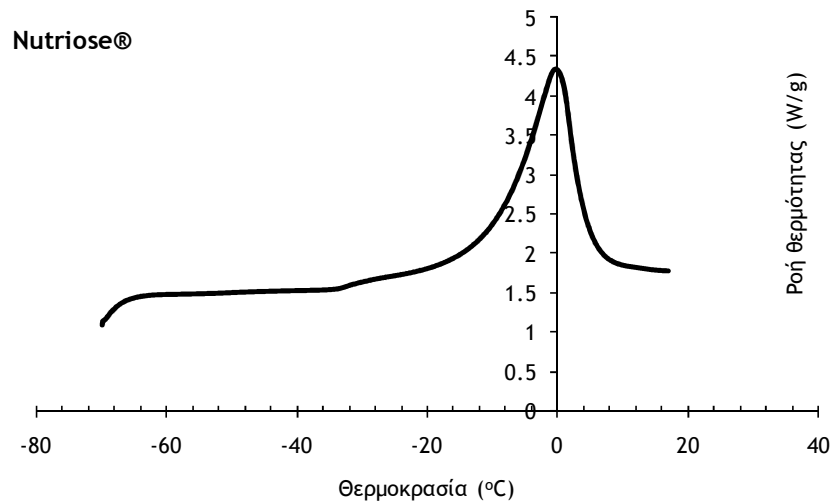
Σχήμα 6.2.33: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με αμυλοσιρόπιο 39DE ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



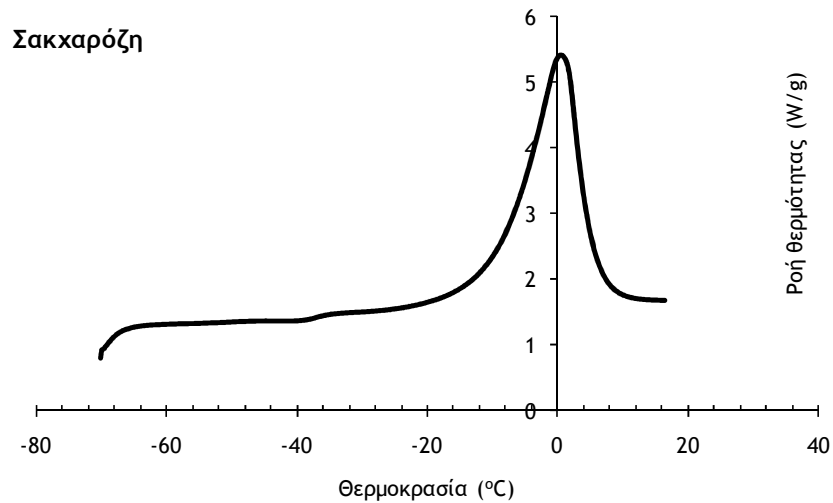
Σχήμα 6.2.34: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με ινουλίνη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



Σχήμα 6.2.35: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με ολιγοφρουκτόζη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



Σχήμα 6.2.36: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με Nutriose® ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)



Σχήμα 6.2.37: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σακχαρόζη όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	Θερμοκρασία σημείου πήξης T_f (°C)	Αποτελεσματικό μοριακό βάρος (g/mol ⁻¹)	Θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης νερού T_{ice} (°C)
Σακχαρόζη	-2.52 ± 0.09 ^E	373.1 ± 13.6 ^C	-23.01 ± 0.17 ^C
Φρουκτόζη	-3.96 ± 0.23 ^G	262.5 ± 14.9 ^B	-24.78 ± 0.48 ^D
Μαλτόζη	-2.41 ± 0.11 ^E	437.8 ± 15.3 ^E	-24.01 ± 0.11 ^D
Τρεχαλόζη	-2.21 ± 0.03 ^D	477.6 ± 6.3 ^E	-22.41 ± 0.09 ^B
Ξυλιτόλη	-5.06 ± 0.18 ^I	203.5 ± 7.6 ^A	-27.88 ± 1.11 ^E
Μαννιτόλη	-4.18 ± 0.17 ^H	356.8 ± 10.6 ^D	-26.48 ± 0.88 ^E
Μαλτιτόλη	-2.94 ± 0.18 ^F	234.9 ± 18.3 ^B	-23.07 ± 0.71 ^B
Σορβιτόλη	-4.89 ± 0.21 ^I	210.8 ± 9.3 ^A	-26.99 ± 0.87 ^E
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	-1.33 ± 0.06 ^A	837.8 ± 36.5 ^G	-21.71 ± 1.91 ^{ABC}
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	-1.86 ± 0.12 ^B	532.9 ± 37.5 ^F	-22.18 ± 1.78 ^{ABC}
Αμυλοσιρόπιο 22DE	-2.01 ± 0.22 ^{BC}	499.2 ± 59.3 ^{EF}	-21.32 ± 0.83 ^A
Αμυλοσιρόπιο 39DE	-2.37 ± 0.11 ^D	464.7 ± 21.1 ^E	-22.19 ± 0.89 ^{AB}
Ινουλίνη	-2.01 ± 0.01 ^C	523.4 ± 2.7 ^F	-21.45 ± 0.07 ^A
Ολιγοφρουκτόζη	-2.12 ± 0.04 ^C	471.6 ± 9.6 ^E	-21.89 ± 0.13 ^A
Nutriose®	-2.16 ± 0.14 ^{CD}	488.9 ± 32.4 ^E	-21.77 ± 0.42 ^A

Πίνακας 6.2.2: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στο σημείο πήξης (T_f), το αποτελεσματικό μοριακό βάρος (M_w) και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης του νερού των μιγμάτων παγωτού (ολικό ποσοστό στερεών γλυκαντικών υλών 16% w/w). Οι υδατάνθρακες χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%

^{A-I} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

Δείγμα	ΔH (J/g)	Ποσότητα κρυσταλλωμένου νερού (g/g δείγματος)	Ποσοστό μη κρυσταλλώσιμου νερού (%)	ΔT (°C)
Σακχαρόζη	187.0 ± 4.2 ^C	0.560 ± 0.021 ^{CD}	13.33 ± 0.67 ^{EF}	50.6 ± 2.1 ^C
Φρουκτόζη	177.3 ± 3.8 ^B	0.531 ± 0.014 ^B	17.83 ± 0.43 ^I	53.9 ± 1.7 ^D
Μαλτόζη	189.1 ± 7.3 ^C	0.566 ± 0.029 ^D	12.36 ± 1.01 ^{EF}	50.4 ± 1.2 ^C
Τρεχαλόζη	186.0 ± 3.5 ^C	0.557 ± 0.014 ^C	13.79 ± 0.39 ^F	49.3 ± 2.3 ^{BC}
Ξυλιτόλη	163.5 ± 4.9 ^A	0.490 ± 0.016 ^A	24.22 ± 0.54 ^K	57.0 ± 2.2 ^F
Μαννιτόλη	189.9 ± 6.8 ^{CD}	0.569 ± 0.023 ^D	11.99 ± 0.87 ^E	54.7 ± 1.7 ^D
Μαλτιτόλη	185.4 ± 4.1 ^C	0.555 ± 0.018 ^C	14.07 ± 0.62 ^G	50.1 ± 2.4 ^C
Σορβιτόλη	166.6 ± 3.4 ^A	0.499 ± 0.009 ^A	22.79 ± 0.50 ^J	55.8 ± 0.6 ^E
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	192.1 ± 6.2 ^{CD}	0.575 ± 0.020 ^{CD}	10.97 ± 0.89 ^E	47.7 ± 1.1 ^B
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	197.6 ± 3.1 ^{DE}	0.592 ± 0.007 ^E	8.42 ± 0.32 ^B	47.8 ± 0.9 ^B
Αμυλοσιρόπιο 22DE	199.7 ± 2.1 ^E	0.598 ± 0.005 ^E	7.45 ± 0.28 ^A	47.3 ± 0.4 ^B
Αμυλοσιρόπιο 39DE	182.5 ± 4.1 ^C	0.546 ± 0.015 ^{BC}	15.42 ± 0.56 ^H	48.2 ± 1.0 ^B
Ινουλίνη	195.1 ± 3.2 ^E	0.584 ± 0.011 ^D	9.58 ± 0.21 ^C	46.0 ± 1.4 ^A
Ολιγοφρουκτόζη	194.1 ± 3.9 ^E	0.581 ± 0.011 ^D	10.04 ± 0.21 ^D	47.6 ± 1.5 ^{AB}
Nutriose®	182.5 ± 2.1 ^C	0.546 ± 0.008 ^{BC}	15.42 ± 0.18 ^H	50.2 ± 1.2 ^C

Πίνακας 6.2.3: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στην ενθαλπία τήξης, το ποσοστό κρυσταλλωμένου και μη κρυσταλλώσιμου νερού και το θερμοκρασιακό εύρος της καμπύλης τήξης των μιγμάτων παγωτού (ολικό ποσοστό στερεών γλυκαντικών υλών 16% w/w). Οι υδατάνθρακες χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%

^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	T _{on} (°C)	T _g (°C)	T _{off} (°C)	T _m
<u>ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ</u>				
Σακχαρόζη	-56.5 ± 0.1	-47.88 ± 0.18 ^I	-43.3 ± 0.4	-34.12 ± 0.13 ^I
Φρουκτόζη	-	(-66) ±	-	-45.69 ± 0.41 ^L
Μαλτόζη	-52.9 ± 0.3	-46.28 ± 0.21 ^H	-40.1 ± 0.3	-33.08 ± 0.24 ^H
Τρεχαλόζη	-49.8 ± 0.2	-45.03 ± 0.34 ^G	-38.7 ± 0.5	-31.58 ± 0.43 ^G
Ξυλιτόλη	-	(-72)	-	-48.98 ± 0.73 ^M
Μαννιτόλη	-	(N/A)	-	-42.47 ± 0.25 ^K
Μαλιτιτόλη	-58.1 ± 0.4	-51.21 ± 0.33 ^J	-44.3 ± 0.7	-38.52 ± 0.24 ^J
Σορβιτόλη	-	(-63)	-	-45.49 ± 0.32 ^L
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	-33.0 ± 0.4	-31.24 ± 0.47 ^B	-28.9 ± 0.9	-14.53 ± 0.42 ^A
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	-35.4 ± 0.5	-32.23 ± 0.23 ^C	-30.2 ± 0.2	-17.80 ± 0.31 ^B
Αμυλοσιρόπιο 22DE	-31.7 ± 0.2	-30.41 ± 0.26 ^A	-27.4 ± 0.6	-19.12 ± 0.27 ^C
Αμυλοσιρόπιο 39DE	-47.1 ± 0.6	-42.52 ± 0.55 ^E	-38.7 ± 0.8	-27.24 ± 0.54 ^E
Ινουλίνη	-45.2 ± 0.3	-41.75 ± 0.22 ^E	-36.0 ± 0.7	-26.45 ± 0.24 ^D
Ολιγοφρουκτόζη	-46.7 ± 0.7	-43.25 ± 0.14 ^F	-37.4 ± 0.8	-28.80 ± 0.32 ^F
Nutriose®	-37.1 ± 0.6	-32.91 ± 0.25 ^D	-28.1 ± 0.5	-16.90 ± 1.10 ^B
<u>ΜΙΓΜΑΤΑ ΠΑΓΩΤΟΥ</u>				
Σακχαρόζη	-54.2 ± 0.9	-47.23 ± 0.23 ^G	-42.3 ± 0.6	-34.24 ± 0.17 ^F
Φρουκτόζη	-52.4 ± 0.2	-48.09 ± 0.18 ^H	-42.2 ± 0.2	-36.82 ± 0.21 ^G
Μαλτόζη	-52.7 ± 0.5	-46.62 ± 0.32 ^F	-42.8 ± 0.1	-33.64 ± 0.23 ^E
Τρεχαλόζη	-50.7 ± 0.3	-43.86 ± 0.18 ^C	-41.2 ± 0.4	-33.49 ± 0.15 ^E
Ξυλιτόλη	-57.5 ± 0.4	-50.21 ± 0.45 ^J	-45.5 ± 0.4	-39.67 ± 0.34 ^J
Μαννιτόλη	-57.9 ± 0.4	-49.81 ± 0.49 ^I	-45.9 ± 0.3	-37.63 ± 0.33 ^H
Μαλιτιτόλη	-57.4 ± 0.5	-47.83 ± 0.22 ^H	-44.3 ± 0.3	-34.33 ± 0.21 ^F
Σορβιτόλη	-58.2 ± 0.3	-49.78 ± 0.09 ^I	-44.4 ± 0.1	-38.68 ± 0.08 ^I
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	-47.4 ± 0.4	-42.33 ± 0.05 ^B	-40.9 ± 0.7	-32.81 ± 0.00 ^C
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	-44.4 ± 0.2	-41.98 ± 0.14 ^A	-37.9 ± 0.2	-32.74 ± 0.09 ^C
Αμυλοσιρόπιο 22DE	-48.5 ± 0.5	-43.11 ± 0.18 ^C	-38.6 ± 0.4	-32.25 ± 0.21 ^B
Αμυλοσιρόπιο 39DE	-54.9 ± 0.9	-46.02 ± 0.07 ^F	-41.2 ± 0.4	-33.17 ± 0.12 ^D
Ινουλίνη	-48.0 ± 0.1	-44.25 ± 0.24 ^D	38.6 ± 0.2	-31.55 ± 0.27 ^A
Ολιγοφρουκτόζη	-49.2 ± 0.4	-45.34 ± 0.34 ^E	-39.2 ± 0.3	-32.64 ± 0.21 ^C
Nutriose®	-48.3 ± 0.8	-45.42 ± 0.22 ^E	-38.5 ± 0.3	-32.78 ± 0.09 ^C

Πίνακας 6.2.4: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στις θερμοκρασίες του σημείου υαλώδους μετάπτωσης (T_g) και έναρξης της τήξης (T_m) των μιγμάτων παγωτού (ολικό ποσοστό στερεών γλυκαντικών υλών 16% w/w). Οι υδατάνθρακες χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%

^{A-M} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά (p<0.05) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

Για παράδειγμα, οι [Whelan et al., \(2008\)](#) ανέφεραν μεταβολές τις τάξης του 0.1 έως 0.3°C σε μίγματα παγωτού με 15% ολικά στερεά γλυκαντικών υλών, όπου η τρεχαλόζη χρησιμοποιήθηκε ως υποκατάστατο της σακχαρόζης σε ποσοστά 0-100%. Γενικά, οι μεταβολές στις θερμοκρασίες του σημείου πήξης επηρεάζονται από το μοριακό βάρος, αλλά και από την αλληλεπίδραση των γλυκαντικών υλών με τα υπάρχοντα βιοπολυμερή στην υδατική φάση.

Σύμφωνα με τις τιμές του αποτελεσματικού μοριακού βάρους η προσθήκη της μαλτοδεξτρίνης 12 DE επέφερε τη μεγαλύτερη αύξηση, ενώ οι πολυόλες (ξυλιτόλη, σορβιτόλη) τη χαμηλότερη. Στην περίπτωση των πολυολών η μείωση του αποτελεσματικού μοριακού

μοριακού βάρους σχετίζεται άμεσα με το μοριακό τους βάρος. Η μείωση που επιφέρουν επηρεάζει και τη διαθεσιμότητα του νερού της φάσης ορού στα φαινόμενα κρυστάλλωσης και ανακρυστάλλωσης των παγοκρύσταλλων. Αντίθετα, στην περίπτωση των μεγαλομοριακών συστατικών η αύξηση σχετίζεται εκτός από το υψηλό τους μοριακό βάρος, από το βαθμό διακλάδωσης και πολυμερισμού. Έτσι οι μαλτοδεξτρίνες και η ινουλίνη επιφέρουν σημαντικότερη αύξηση του αποτελεσματικού μοριακού βάρους σε σχέση με τα λιγότερο διακλαδισμένα και μακρομοριακά αμυλοσιρόπια και ολιγοφρουκτόζη. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι, συγκρίνοντας το αποτελεσματικό μοριακό βάρος του control μίγματος (373.1 gmol^{-1}) με εκείνο της σακχαρόζης (342 gmol^{-1}), διαπιστώνεται ότι τα βιοπολυμερή του μίγματος (πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες) ευθύνονται για την παρατηρούμενη αύξηση. Η αύξηση αυτή παρατηρείται στο σύνολο των μιγμάτων και αναμένεται να είναι πιο σημαντική στα συστήματα με μικρομοριακά γλυκαντικά υλικά (π.χ. σάκχαρα και πολυόλες).

Με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις καμπύλες τήξης διαπιστώνεται ότι το ποσοστό της κρυσταλλώσιμης υγρασίας, αλλά και το ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας σχετίζονται περισσότερο με την επίδραση των γλυκαντικών υλών στα φαινόμενα ταπείνωσης της θερμοκρασίας του σημείου πήξης. Έτσι, τα μίγματα με πολυόλες εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά μη κρυσταλλωμένου νερού με την εφαρμογή του συγκεκριμένου πρωτόκολλου κατάψυξης. Η παρατήρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική, αν ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι τα δείγματα υποβλήθηκαν σε ανόπτηση (annealing) στους -35°C και συνεπώς οι θερμοφυσικές παράμετροι έχουν προσδιοριστεί υπό συνθήκες μέγιστης κρυστάλλωσης του νερού. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας στα δείγματα που περιείχαν τα μακρομοριακά υδατανθρακικά συστατικά, η προσθήκη της Nutriose® οδήγησε στο υψηλότερο ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας παρά το γεγονός ότι παρουσίασε παρόμοια θερμική συμπεριφορά με την ολιγοφρουκτόζη. Η δράση αυτή φαίνεται να σχετίζεται με την ικανότητα της Nutriose® να σχηματίζει πήγματα, και συνεπώς να συγκρατεί σημαντικά ποσά υγρασίας.

Τα δεδομένα του θερμοκρασιακού εύρους της καμπύλης τήξης (ΔT) υποδεικνύουν ότι η προσθήκη των πολυολών (σορβιτόλη, μαννιτόλη, ξυλιτόλη) και της φρουκτόζης επέφεραν την υψηλότερη απόκλιση μεταξύ των θερμοκρασιών έναρξης και τερματισμού της καμπύλης τήξης του πάγου. Αντίθετα, τα μακρομοριακά υλικά οδήγησαν σε σημαντική μείωση της τιμής του ΔT . Με βάση τις ανωτέρω παρατηρήσεις η χρήση των πολυολών και της φρουκτόζης οδηγεί στο σχηματισμό μεγάλου μεγέθους παγοκρύσταλλων με χαμηλό βαθμό ομοιογένειας ως προς τη μέση διάμετρό τους. Κατά συνέπεια τα συγκεκριμένα δείγματα είναι τα πλέον ευπαθή σε φαινόμενα ανακρυστάλλωσης, αφού η υγρασία που σχηματίζεται κατά την τήξη των μικροσκοπικών παγοκρύσταλλων έχει την ευχέρεια κρυστάλλωσης στην επιφάνεια των ογκωδέστερων παγοκρύσταλλων. Τα δείγματα με ολιγοσακχαρίτες και τρεχαλόζη παρουσίασαν σημαντική μείωση της τιμής του ΔT , γεγονός που υποδεικνύει το περιορισμένο εύρος της κατανομής του μέσου μεγέθους των παγοκρύσταλλων στα συγκεκριμένα δείγματα. Τέλος, η μαλτόζη και η μαλτιτόλη δεν εμφάνισαν αξιόλογες αποκλίσεις από τα δείγματα που περιείχαν αποκλειστικά σακχαρόζη. Τα δεδομένα είναι σε συμφωνία με τους [Hagiwara & Hartel \(1996\)](#); [Miller-Linvey & Hartel \(1997\)](#); [Whelan et al., \(2008\)](#); [Herrera et al., \(2007\)](#); [Hagiwara et al., \(2006\)](#).

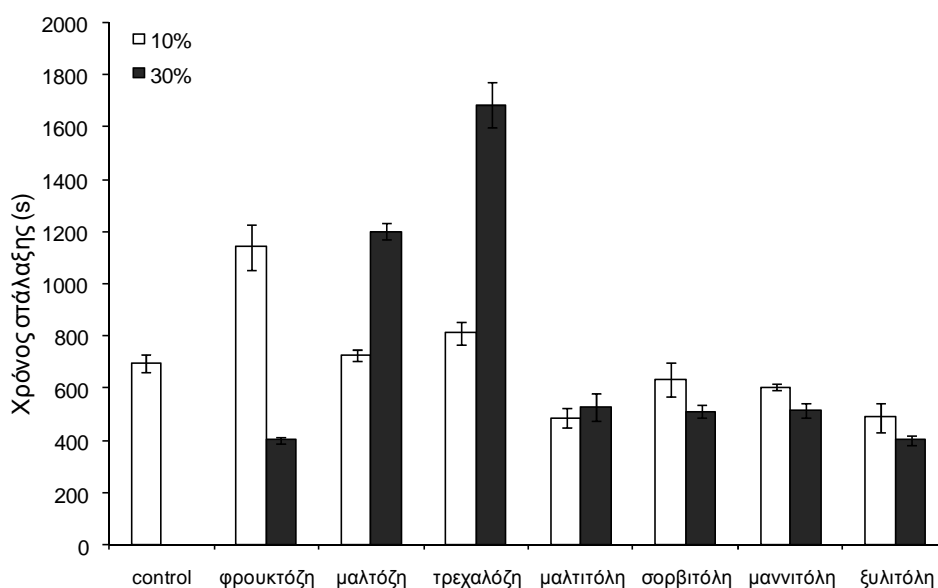
Τα αποτελέσματα της επίδρασης των γλυκαντικών υλών στην υαλώδη μετάπτωση των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων και των μιγμάτων παγωτού είναι σε συμφωνία τόσο μεταξύ τους όσο και με τις επιδράσεις στη θερμοκρασία του σημείου πήξης των μιγμάτων παγωτού. Αναφορικά με τα υδατικά συστήματα υδατανθράκων, διαπιστώνεται ότι η μαλτοδεξτρίνη 12DE και η Nutriose® οδήγησαν στη μεγαλύτερη ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και έναρξης του σημείου πήξης. Στον αντίποδα βρίσκονται τα δείγματα που περιείχαν πολυόλες και φρουκτόζη. Η συσχέτιση των θερμοκρασιών υαλώδους μετάπτωσης με το μοριακό βάρος, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος, το βαθμό πολυμερισμού και διακλάδωσης, την ικανότητα

αλληλεπίδρασης των βιοπολυμερών και την ικανότητα σχηματισμού διαμορφώσεων ή πηγμάτων στην υδατική φάση ορού είναι προφανής (Hartel 2001; Goff 1992; Whelan et al., 2008; Herrera et al., 2007; Hagiwara et al., 2006; Soukoulis et al., 2009). Επιπλέον οι τιμές στα σημεία υαλώδους μετάπτωσης και έναρξης της τήξης είναι σε συμφωνία με τα δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας (Roos 2006; Karel & Roos 1991; Soukoulis et al., 2009; Whelan et al., 2008; Hagiwara et al., 2006; Hagiwara & Hartel 1996; Slade & Levine 1991; Slade & Levine 1992). Τυχόν αποκλίσεις στις τιμές οι οποίες ήταν μικρότερες της τάξης του 0.5°C και αποδίδονται σε διαφοροποιήσεις ως προς τη συγκέντρωση των υδατικών συστημάτων ή του εφαρμοζόμενου πρωτόκολλου κατάψυξης - θέρμανσης, συμπεριλαμβανομένου και του σταδίου ανόπτωσης.

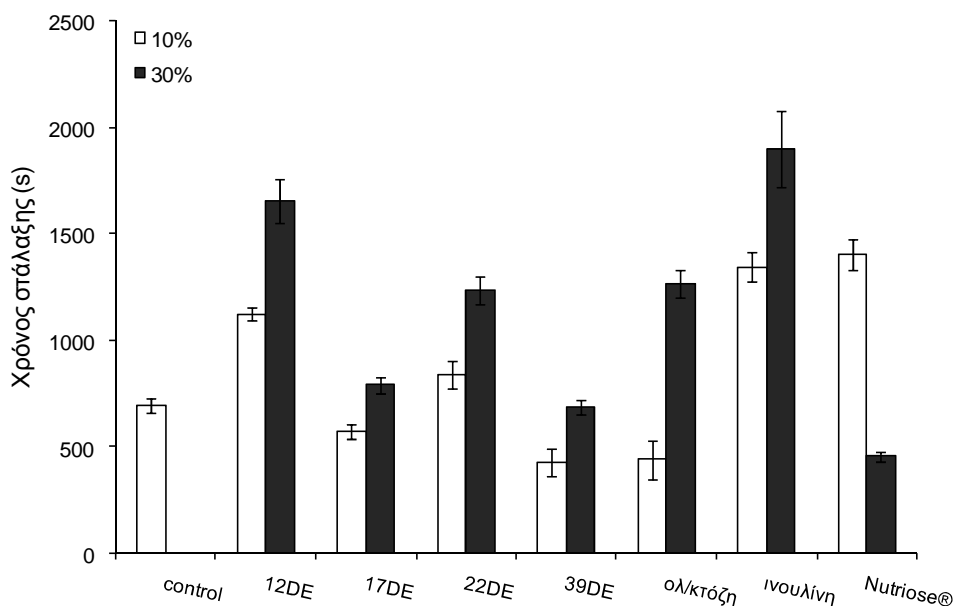
Αναφορικά με την επίδραση των γλυκαντικών υλών στην υαλώδη μετάπτωση των μιγμάτων παγωτού, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν τις μαλτοδεξτρίνες και την ινουλίνη ως τα συστατικά που επέφεραν τη μεγαλύτερη ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης. Αντίθετα, τα δείγματα με πολυόλες και φρουκτόζη εμφάνισαν σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες των σημείων υαλώδους μετάπτωσης ($p < 0.05$). Επομένως η χρήση των μακρομοριακών υδατανθράκων μπορεί να προσφέρει μία αποτελεσματική κρυστοπροστατευτική δράση, αφού συμβάλλει στη μείωση της μοριακής κινητικότητας του μη κρυσταλλωμένου νερού της υδατικής φάσης από και προς την επιφάνεια των παγοκρύσταλλων υπό συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας αποθήκευσης. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα των μορίων του νερού κατά την υποβολή των δειγμάτων παγωτού σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις είναι μικρότερη στην περίπτωση των δειγμάτων με ολιγοσακχαρίτες, λόγω της επίδρασής τους στα φαινόμενα ταπείνωσης της θερμοκρασίας του σημείου πήξης (σε δεδομένη θερμοκρασία τα ποσοστά μη κρυσταλλωμένης υγρασίας διαφέρουν σημαντικά).

6.2.4 Χαρακτηριστικά τήξης

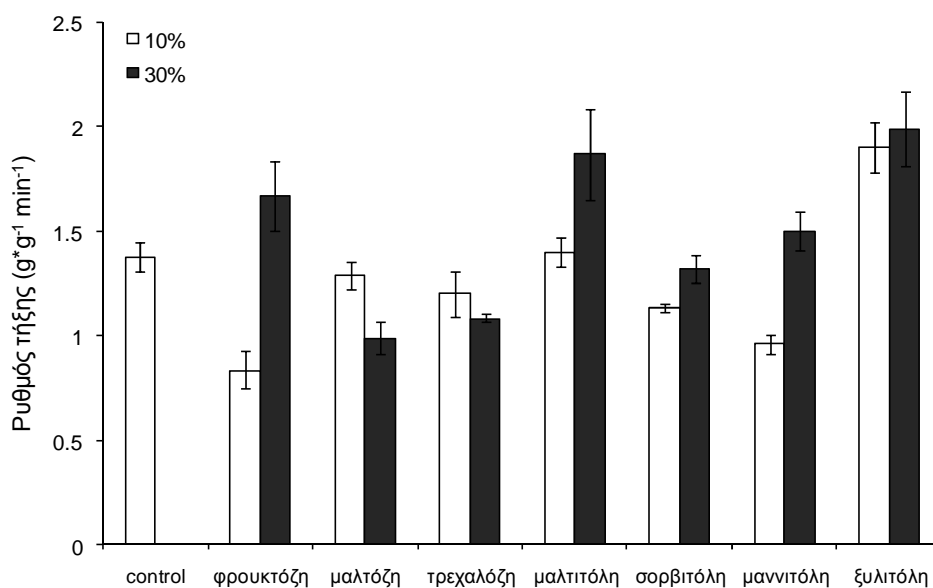
Στα σχήματα 6.2.38 - 6.2.41 απεικονίζονται οι επιδράσεις των γλυκαντικών υλών στα χαρακτηριστικά τήξης των δειγμάτων παγωτού. Το είδος των γλυκαντικών υλών επηρέασε σημαντικά το χρόνο στάλαξης και το ρυθμό τήξης ($p < 0.05$). Οι πολυόλες οδήγησαν στα πιο εύτηκτα δείγματα (μικρός χρόνος στάλαξης, υψηλός ρυθμός τήξης), ενώ τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη 12DE, αμυλοσιρόπιο 22DE και Nutriose® στα πιο δύστηκτα. Τα δείγματα με ινουλίνη, μαλτοδεξτρίνη 17DE και τρεχαλόζη εμφάνισαν σχεδόν ισοδύναμη συμπεριφορά (ρυθμοί τήξης 1.16, 1.13 και 1.22 αντίστοιχα).



Σχήμα 6.2.38 Επίδραση των σακχάρων και πολυολών στο χρόνο πτώσης της 1^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού



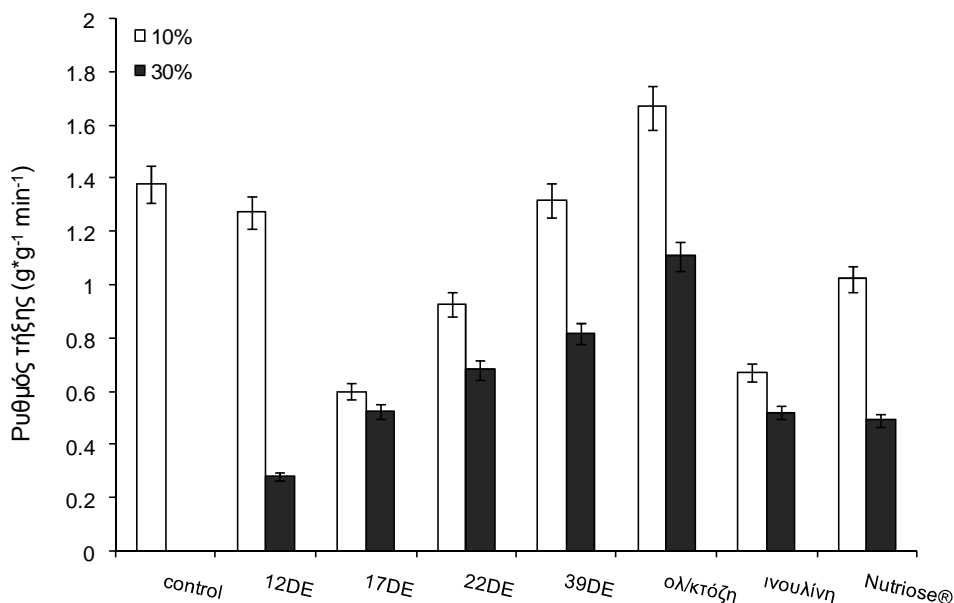
Σχήμα 6.2.39 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπίων στο χρόνο πτώσης της 1^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού



Σχήμα 6.2.40: Επίδραση των σακχάρων και πολυολών στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού

Από τα αποτελέσματα των χαρακτηριστικών τήξης είναι φανερό ότι η επίδραση των γλυκαντικών υλών στη θερμική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού επηρεάζει σημαντικά και τη συμπεριφορά τους κατά την τήξη. Ειδικότερα, τα δείγματα με χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας σημείου πήξης (όπως αυτά που περιέχουν πολυόλες και φρουκτόζη) ευνοούν τη διείσδυση της θερμότητας, ενώ η τήξη των παγοκρυσταλλών αρχίζει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (T_m). Κατά συνέπεια η φάση ορού των δειγμάτων αραιώνεται ταχύτερα καθώς τήκονται οι παγοκρυσταλλοί, με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου στάλαξης και την αύξηση του ρυθμού τήξης (Muse & Hartel 2004; Miller-Livney & Hartel 1997). Στην περίπτωση των δειγμάτων που περιέχουν ολιγοσακχαρίτες, τα χαρακτηριστικά τήξης δεν επηρεάζονται μόνο από την ανύψωση των θερμοκρασιών του σημείου πήξης και έναρξης τήξης του πάγου, αλλά

και από την ικανότητα των συστατικών να σχηματίζουν υδατανθρακικές διαμορφώσεις και πήγματα ή να αλληλεπιδρούν με τα υπόλοιπα βιοπολυμερή, δημιουργώντας έτσι ένα φυσικό φραγμό στην ελεύθερη μετακίνηση της σχηματιζόμενης υγρασίας διαμέσου των καναλιών της πορώδους δομής του παγωτού. Έτσι ο χρόνος στάλαξης αυξάνει και ο ρυθμός τήξης του παγωτού ελαττώνεται καθοριστικά. Παρόμοιες επιδράσεις έχουν αναφερθεί και από άλλους ερευνητές (Whelan et al., 2006; Whelan et al., 2008; Muse & Hartel 2004; Akalin et al., 2008; Karaca et al., 2008; El-Nagar et al., 2002; Adapa et al., 2000).



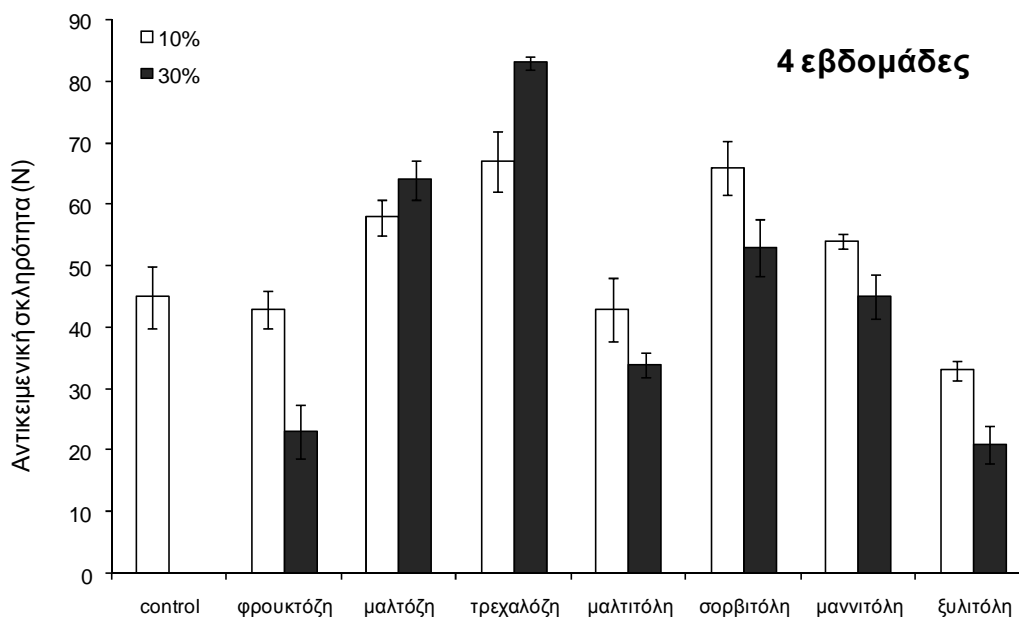
Σχήμα 6.2.41 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπίων στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού

Αναφορικά με την επίδραση του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης από τα υδατανθρακικά συστατικά, η αύξηση του βαθμού υποκατάστασης επηρέασε σημαντικά μόνο το χρόνο στάλαξης. Τα δείγματα με 30% λιγότερη σακχαρόζη προσδιορίστηκαν ως περισσότερο δύστηκτα σε σχέση με τα control στην περίπτωση των ολιγοσακχαριτών και της τρεχαλόζης, ενώ ως περισσότερο εύτηκτα στην περίπτωση των πολυολών και της φρουκτόζης. Οι επιδράσεις είναι οι αναμενόμενες σύμφωνα με όσα ήδη αναφέρθηκαν.

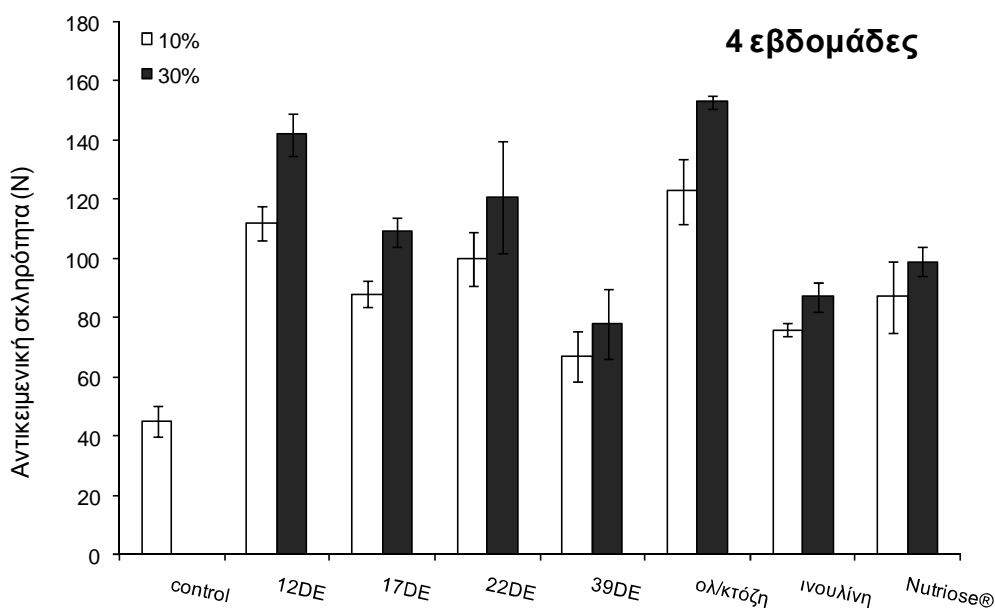
6.2.5 Αντικειμενική σκληρότητα

Στα σχήματα 6.2.42 - 6.2.45 παρουσιάζονται οι επιδράσεις των γλυκαντικών υλών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού μετά από 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης στους -26°C . Η αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού επηρεάστηκε σημαντικά από το είδος των γλυκαντικών υλών ($p < 0.05$). Τα δείγματα που περιείχαν ξυλιτόλη, σορβιτόλη και φρουκτόζη χαρακτηρίζονται από σημαντικά χαμηλότερη σκληρότητα σε σχέση με τα control δείγματα, ενώ το σύνολο των δειγμάτων με ολιγοσακχαρίτες και τρεχαλόζη προσδιορίστηκαν ως πιο σκληρά από τα control. Η αντικειμενική σκληρότητα συνδέεται κατά κύριο λόγο με τα θερμικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού, αλλά και με τα δομικά τους χαρακτηριστικά π.χ. μέγεθος φυσαλίδων αέρα, μέσο μέγεθος παγοκρύσταλλων, δίκτυο αποσταθεροποιημένων λιποσφαιρίων, κρυσταλλωμένα λιποσφαίρια κ.α. Λαμβάνοντας υπόψη τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά και τις τιμές overrun των δειγμάτων παγωτού, τα δείγματα με μικρό μέγεθος φυσαλίδων (πιο συνεκτικής δομής) και υψηλές τιμές σημείων πήξης και υαλώδους μετάπτωσης χαρακτηρίζονται από υψηλότερη σκληρότητα. Επιπλέον, η συνεκτική - σκληρή δομή των δειγμάτων παγωτού φαίνεται επίσης να ενισχύεται και από τη δημιουργία

πλεγμάτων - αλληλοσυνδέσεων μεταξύ των ολιγοσακχαριτικών μορίων και τη δημιουργία πηγμάτων. Κατά συνέπεια, η αντικειμενική σκληρότητα μπορεί να αποτελέσει μία έμμεση μέτρηση των φαινομένων ανακρυστάλλωσης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των δειγμάτων παγωτού.



Σχήμα 6.2.42 Επίδραση των σακχάρων και πολυολών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στους -15°C (χρόνος αποθήκευσης 4 εβδομάδες)

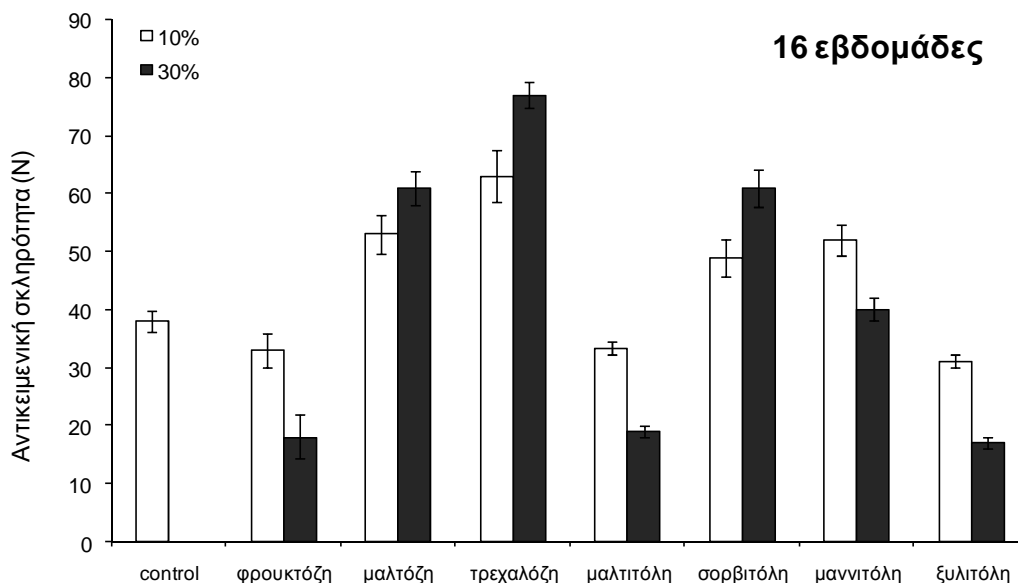


Σχήμα 6.2.43 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπιών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στους -15°C (χρόνος αποθήκευσης 4 εβδομάδες)

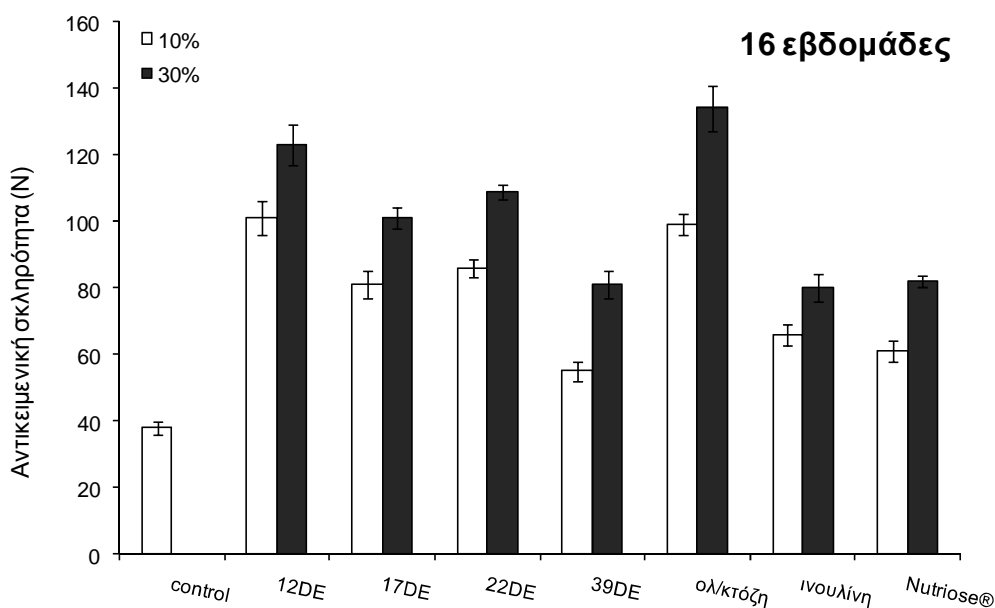
Η αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού μετά από 16 εβδομάδες αποθήκευσης επηρεάστηκε σημαντικά από το είδος των γλυκαντικών υλών και από το ποσοστό υποκατάστασης της σακχαρόζης ($p < 0.05$). Οι επιδράσεις του είδους των γλυκαντικών υλών ήταν παρόμοιες με αυτές που ήδη αναφέρθηκαν. Αναφορικά με την επίδραση του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης, η σκληρότητα των δειγμάτων με ξυλιτόλη,

σορβιτόλη και φρουκτόζη ελαττώθηκε με αύξηση του βαθμού υποκατάστασης της σακχαρόζης, ενώ στην περίπτωση του συνόλου των ολιγοσακχαριτών και της τρεχαλόζης αυξήθηκε.

Συγκρίνοντας τις τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας με τη μέθοδο του T-test προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης, διαπιστώθηκε ότι η αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού ελαττώθηκε σημαντικά ($p < 0.001$). Η παρατήρηση αυτή υποδεικνύει ότι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης η δομή των δειγμάτων παγωτού γίνεται λιγότερο συνεκτική, γεγονός που συνδέεται με την ανάπτυξη παγοκρυστάλλων φοριδωτής διαμόρφωσης και την αποσταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα λόγω των διαφορών του δυναμικού Laplace.



Σχήμα 6.2.44 Επίδραση των σακχάρων και πολυολών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στους -15°C (χρόνος αποθήκευσης 16 εβδομάδες)



Σχήμα 6.2.45 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπίων στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στους -15°C (χρόνος αποθήκευσης 16 εβδομάδες)

6.2.6 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στους πίνακες 6.2.5 - 6.2.8 παρατίθενται οι μέσοι όροι των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων παγωτού μετά από 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης. Στον πίνακα 6.2.9 παρουσιάζονται οι κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων (είδος γλυκαντικής ύλης, ποσοστό υποκατάστασης της σακχαρόζης) και του χρόνου αποθήκευσης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού. Το είδος της γλυκαντικής ύλης είναι ο πιο βασικός σχεδιαστικός παράγοντας ο οποίος επηρέασε το σύνολο των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.

Δείγμα	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα Βανίλιας	Σκληρό (Κ)	Τραχύ (Κ)	Εύθρυπτο	Κομμώδες (Κ)
Σακχαρόζη	7.3 ± 0.2	6.5 ± 0.3	5.2 ± 0.2	6.0 ± 0.2	5.5 ± 0.1	5.0 ± 0.3	3.2 ± 0.4
Φρουκτόζη	7.7 ± 0.1	7.6 ± 0.2	7.8 ± 0.2	4.5 ± 0.3	3.1 ± 0.5	4.2 ± 0.2	3.7 ± 0.1
Μαλτόζη	6.8 ± 0.2	6.9 ± 0.1	5.2 ± 0.1	5.8 ± 0.4	4.1 ± 0.5	4.2 ± 0.2	4.0 ± 0.2
Τρεχαλόζη	7.4 ± 0.5	7.2 ± 0.2	6.6 ± 0.3	6.8 ± 0.2	3.4 ± 0.2	4.8 ± 0.4	4.3 ± 0.2
Ξυλιτόλη	7.0 ± 0.3	7.2 ± 0.3	7.5 ± 0.2	4.1 ± 0.5	5.0 ± 0.1	4.2 ± 0.4	3.4 ± 0.3
Μαννιτόλη	8.3 ± 0.1	7.7 ± 0.2	7.8 ± 0.4	3.6 ± 0.6	2.4 ± 0.2	4.2 ± 0.2	3.7 ± 0.1
Μαλιτιτόλη	5.8 ± 0.5	7.3 ± 0.2	4.6 ± 0.2	6.9 ± 0.2	5.0 ± 0.6	4.1 ± 0.4	3.4 ± 0.0
Σορβιτόλη	6.8 ± 0.2	7.2 ± 0.1	7.1 ± 0.1	4.2 ± 0.2	5.9 ± 0.5	5.2 ± 0.2	3.8 ± 0.4
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	7.2 ± 0.2	6.6 ± 0.2	6.3 ± 0.6	9.0 ± 0.4	2.4 ± 0.4	5.2 ± 0.3	4.4 ± 0.1
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	7.7 ± 0.2	6.1 ± 0.2	5.0 ± 0.2	8.1 ± 0.2	3.2 ± 0.6	5.1 ± 0.2	3.8 ± 0.2
Αμυλοσιρόπιο 22DE	6.3 ± 0.3	5.7 ± 0.2	6.1 ± 0.2	6.8 ± 0.3	3.1 ± 0.2	3.6 ± 0.3	4.9 ± 0.3
Αμυλοσιρόπιο 39DE	6.7 ± 0.4	6.5 ± 0.2	4.4 ± 0.5	5.3 ± 0.4	3.8 ± 0.3	4.8 ± 0.2	4.1 ± 0.3
Ινουλίνη	7.0 ± 0.5	6.6 ± 0.4	6.0 ± 0.2	7.2 ± 0.2	3.8 ± 0.2	3.8 ± 0.1	3.3 ± 0.2
Ολιγοφρουκτόζη	7.5 ± 0.6	7.4 ± 0.1	6.5 ± 0.1	4.6 ± 0.4	3.2 ± 0.4	4.3 ± 0.2	3.7 ± 0.1
Nutriose®	9.1 ± 0.2	5.1 ± 0.2	5.0 ± 0.5	8.1 ± 0.5	1.5 ± 0.4	4.0 ± 0.2	5.0 ± 0.5
	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Υδαρές	Κομμώδες	Κρεμώδες	Λιπαρό
Φρουκτόζη	7.1 ± 0.2	2.2 ± 0.3	4.3 ± 0.1	6.6 ± 0.1	2.8 ± 0.3	5.8 ± 0.1	2.1 ± 0.2
Μαλτόζη	7.3 ± 0.1	3.7 ± 0.1	5.8 ± 0.2	6.9 ± 0.2	2.6 ± 0.1	5.3 ± 0.2	3.3 ± 0.1
Τρεχαλόζη	5.5 ± 0.3	4.0 ± 0.4	3.7 ± 0.3	5.5 ± 0.1	3.0 ± 0.0	6.2 ± 0.2	3.2 ± 0.1
Ξυλιτόλη	4.8 ± 0.3	4.1 ± 0.2	3.1 ± 0.4	4.0 ± 0.2	3.6 ± 0.5	6.8 ± 0.4	2.8 ± 0.2
Μαννιτόλη	6.6 ± 0.4	3.2 ± 0.3	5.0 ± 0.4	5.8 ± 0.4	3.2 ± 0.1	6.1 ± 0.5	3.0 ± 0.3
Μαλιτιτόλη	7.4 ± 0.2	3.3 ± 0.4	4.6 ± 0.2	5.9 ± 0.2	2.6 ± 0.2	6.8 ± 0.2	3.6 ± 0.1
Σορβιτόλη	7.3 ± 0.4	4.8 ± 0.4	4.0 ± 0.3	5.8 ± 0.3	2.6 ± 0.3	5.8 ± 0.1	2.6 ± 0.4
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	7.2 ± 0.2	2.8 ± 0.2	4.8 ± 0.2	6.0 ± 0.1	3.1 ± 0.4	6.0 ± 0.2	2.9 ± 0.2
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	4.8 ± 0.5	5.1 ± 0.2	2.3 ± 0.1	3.9 ± 0.4	3.2 ± 0.2	6.9 ± 0.3	2.9 ± 0.4
Αμυλοσιρόπιο 22DE	5.5 ± 0.1	5.0 ± 0.4	4.1 ± 0.2	4.2 ± 0.2	3.1 ± 0.1	6.1 ± 0.4	3.4 ± 0.1
Αμυλοσιρόπιο 39DE	6.3 ± 0.3	5.1 ± 0.5	3.4 ± 0.3	4.8 ± 0.3	3.3 ± 0.3	6.2 ± 0.0	3.0 ± 0.1
Ινουλίνη	6.8 ± 0.1	4.6 ± 0.1	4.9 ± 0.4	5.8 ± 0.4	3.6 ± 0.2	6.2 ± 0.1	2.3 ± 0.1
Ολιγοφρουκτόζη	4.5 ± 0.2	6.0 ± 0.2	3.8 ± 0.2	4.8 ± 0.5	3.5 ± 0.1	6.4 ± 0.1	3.0 ± 0.0
Nutriose®	5.3 ± 0.3	3.9 ± 0.3	3.9 ± 0.1	4.3 ± 0.1	2.6 ± 0.4	6.5 ± 0.3	3.2 ± 0.2

Πίνακας 6.2.5: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες. Τα υδατανθρακικά συστατικά χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 10%.

Η παρατήρηση είναι λογική, δεδομένου ότι τα υδατανθρακικά συστατικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη γενικότερη λειτουργικότητά τους (ρεολογία, θερμοφυσικές ιδιότητες, ένταση γλυκύτητας,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

επίδραση στο άρωμα, κ.α.). Γενικά οι επιδράσεις των γλυκαντικών υλών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά υφής και ρεολογίας κατά τη διαδικασία μάσησης και σε δύο κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά γεύσης - αρώματος.

Δείγμα	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα βανίλιας	Σκληρό (K)	Τραχύ (K)	Εύθρυπτο	Κομμιώδες (K)
Σακχαρόζη	7.3 ± 0.1	6.5 ± 0.3	5.2 ± 0.2	6.0 ± 0.3	5.5 ± 0.0	5.0 ± 0.0	3.2 ± 0.3
Φρουκτόζη	8.3 ± 0.1	8.5 ± 0.1	7.0 ± 0.2	5.5 ± 0.2	3.5 ± 0.1	4.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0
Μαλτόζη	7.0 ± 0.1	7.1 ± 0.4	5.6 ± 0.4	5.8 ± 0.1	3.6 ± 0.3	4.6 ± 0.2	3.2 ± 0.1
Τρεχαλόζη	7.6 ± 0.2	7.4 ± 0.1	6.8 ± 0.3	7.5 ± 0.4	3.0 ± 0.0	4.1 ± 0.4	4.4 ± 0.2
Ξυλιτόλη	7.2 ± 0.2	7.4 ± 0.2	7.8 ± 0.1	3.4 ± 0.2	6.1 ± 0.1	3.20 ± 0.5	3.0 ± 0.0
Μαννιτόλη	8.8 ± 0.3	6.2 ± 0.4	4.8 ± 0.2	9.0 ± 0.1	5.3 ± 0.2	6.1 ± 0.2	2.7 ± 0.3
Μαλιτιτόλη	6.4 ± 0.4	7.5 ± 0.2	6.5 ± 0.4	5.8 ± 0.5	4.6 ± 0.4	4.1 ± 0.4	3.9 ± 0.2
Σορβιτόλη	6.5 ± 0.5	7.0 ± 0.1	7.5 ± 0.2	4.3 ± 0.2	6.3 ± 0.3	5.5 ± 0.3	3.4 ± 0.1
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	6.5 ± 0.1	6.6 ± 0.3	5.9 ± 0.4	6.5 ± 0.5	4.5 ± 0.4	5.1 ± 0.1	5.5 ± 0.0
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	7.8 ± 0.2	7.0 ± 0.1	6.5 ± 0.2	7.0 ± 0.0	3.8 ± 0.2	4.7 ± 0.5	4.6 ± 0.4
Αμυλοσιρόπιο 22DE	7.3 ± 0.3	7.1 ± 0.4	5.7 ± 0.3	3.8 ± 0.1	2.8 ± 0.5	4.7 ± 0.3	5.6 ± 0.2
Αμυλοσιρόπιο 39DE	8.1 ± 0.4	7.1 ± 0.1	6.3 ± 0.0	6.9 ± 0.2	4.4 ± 0.2	5.0 ± 0.0	4.6 ± 0.3
Ινουλίνη	6.5 ± 0.7	6.3 ± 0.3	5.7 ± 0.1	8.2 ± 0.2	3.7 ± 0.2	3.2 ± 0.1	4.8 ± 0.3
Ολιγοφρουκτόζη	8.1 ± 0.3	7.1 ± 0.1	7.2 ± 0.5	7.4 ± 0.1	4.0 ± 0.0	5.1 ± 0.5	4.1 ± 0.4
Nutriose®	7.2 ± 0.1	6.0 ± 0.2	7.0 ± 0.0	5.2 ± 0.2	3.3 ± 0.4	5.6 ± 0.1	5.0 ± 0.0
	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Υδαρές	Κομμιώδες	Κρεμώδες	Λιπαρό
Φρουκτόζη	7.1 ± 0.1	2.2 ± 0.4	4.3 ± 0.3	6.7 ± 0.2	2.8 ± 0.2	5.8 ± 0.2	2.1 ± 0.1
Μαλτόζη	6.6 ± 0.1	4.3 ± 0.2	6.0 ± 0.0	5.8 ± 0.1	2.6 ± 0.6	5.3 ± 0.2	3.3 ± 0.3
Τρεχαλόζη	4.8 ± 0.2	5.0 ± 0.0	3.8 ± 0.2	3.6 ± 0.1	3.2 ± 0.1	5.8 ± 0.3	4.2 ± 0.4
Ξυλιτόλη	3.8 ± 0.4	5.6 ± 0.2	2.8 ± 0.4	3.9 ± 0.3	3.3 ± 0.2	7.1 ± 0.2	3.0 ± 0.4
Μαννιτόλη	6.8 ± 0.2	2.7 ± 0.3	6.0 ± 0.0	4.8 ± 0.4	4.0 ± 0.0	5.3 ± 0.5	3.1 ± 0.3
Μαλιτιτόλη	5.9 ± 0.4	4.9 ± 0.2	5.5 ± 0.2	5.1 ± 0.2	2.6 ± 0.2	5.0 ± 0.0	3.4 ± 0.2
Σορβιτόλη	5.8 ± 0.2	4.7 ± 0.2	5.1 ± 0.2	4.2 ± 0.1	4.6 ± 0.1	6.5 ± 0.0	5.8 ± 0.3
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	6.2 ± 0.1	3.5 ± 0.1	6.0 ± 0.0	4.1 ± 0.2	3.0 ± 0.0	5.5 ± 0.0	4.4 ± 0.2
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	3.4 ± 0.3	6.3 ± 0.3	2.7 ± 0.5	3.1 ± 0.1	4.6 ± 0.1	6.8 ± 0.4	5.6 ± 0.2
Αμυλοσιρόπιο 22DE	3.7 ± 0.4	6.2 ± 0.2	4.0 ± 0.2	4.0 ± 0.4	3.5 ± 0.0	6.2 ± 0.4	4.6 ± 0.3
Αμυλοσιρόπιο 39DE	3.0 ± 0.2	6.1 ± 0.2	3.0 ± 0.0	3.6 ± 0.4	4.1 ± 0.2	7.0 ± 0.4	3.3 ± 0.2
Ινουλίνη	3.5 ± 0.4	5.8 ± 0.2	4.4 ± 0.5	3.7 ± 0.5	3.4 ± 0.3	6.2 ± 0.5	3.7 ± 0.2
Ολιγοφρουκτόζη	3.2 ± 0.1	7.8 ± 0.3	2.8 ± 0.4	3.8 ± 0.1	4.8 ± 0.3	7.2 ± 0.1	6.1 ± 0.2
Nutriose®	2.5 ± 0.4	6.7 ± 0.4	3.3 ± 0.3	3.4 ± 0.2	3.4 ± 0.1	7.1 ± 0.2	3.2 ± 0.3

Πίνακας 6.2.6: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26 °C για 4 εβδομάδες. Τα υδατανθρακικά συστατικά χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%.

Ειδικότερα, με βάση τα χαρακτηριστικά υφής κατά τον τεμαχισμό και την επεξεργασία των δειγμάτων στο στόμα, οι γλυκαντικές ύλες διαχωρίζονται σε: α) συστατικά που επιφέρουν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

σημαντική αύξηση των τιμών του σημείου πήξης (T_f) και έναρξης της τήξης (T_m) και ενίσχυση του ιξώδους Kokini, β) συστατικά που παρουσιάζουν ομοιότητες με τη σακχαρόζη ως προς τη θερμοφυσική και ρεολογική συμπεριφορά τους, και γ) συστατικά που επιφέρουν σημαντική ταπείνωση των θερμοκρασιών του σημείου πήξης και έναρξης της τήξης. Οι μακρομοριακές ενώσεις (μαλτοδεξτρίνες, αμυλοσιρόπια, ολιγοσακχαρίτες) ανήκουν στην πρώτη κατηγορία συστατικών.

Δείγμα	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα Βανίλιας	Σκληρό (K)	Τραχύ (K)	Εύθρυπτο	Κομμιώδες (K)
Σακχαρόζη	7.0 ± 0.3	6.1 ± 0.3	5.0 ± 0.0	6.6 ± 0.3	6.1 ± 0.2	5.5 ± 0.1	3.0 ± 0.3
Φρουκτόζη	7.0 ± 0.2	7.1 ± 0.1	7.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	3.7 ± 0.3	5.0 ± 0.3	3.3 ± 0.1
Μαλτόζη	6.5 ± 0.2	5.3 ± 0.1	5.2 ± 0.5	5.2 ± 0.2	4.9 ± 0.1	5.0 ± 0.4	3.7 ± 0.2
Τρεχαλόζη	7.1 ± 0.1	6.7 ± 0.1	6.6 ± 0.2	6.0 ± 0.3	3.8 ± 0.2	5.8 ± 0.2	4.1 ± 0.4
Ξυλιτόλη	6.7 ± 0.4	7.1 ± 0.2	6.4 ± 0.1	3.6 ± 0.1	6.0 ± 0.0	5.1 ± 0.3	3.1 ± 0.3
Μαννιτόλη	8.1 ± 0.2	7.4 ± 0.4	7.1 ± 0.2	3.4 ± 0.2	2.9 ± 0.3	5.0 ± 0.0	3.3 ± 0.1
Μαλτιτόλη	5.7 ± 0.1	7.1 ± 0.2	4.7 ± 0.4	6.5 ± 0.3	5.7 ± 0.2	4.6 ± 0.4	3.1 ± 0.6
Σορβιτόλη	6.8 ± 0.2	7.0 ± 0.0	6.8 ± 0.2	3.8 ± 0.3	7.1 ± 0.1	6.2 ± 0.3	3.1 ± 0.2
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	7.1 ± 0.4	6.7 ± 0.2	6.1 ± 0.2	9.8 ± 0.3	2.7 ± 0.3	5.7 ± 0.4	4.5 ± 0.1
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	7.4 ± 0.2	6.2 ± 0.3	5.0 ± 0.0	8.8 ± 0.1	3.5 ± 0.0	5.6 ± 0.5	3.8 ± 0.3
Αμυλοσιρόπιο 22DE	6.1 ± 0.2	5.2 ± 0.2	5.8 ± 0.3	7.4 ± 0.2	3.5 ± 0.1	3.9 ± 0.4	4.6 ± 0.4
Αμυλοσιρόπιο 39DE	6.4 ± 0.3	6.5 ± 0.0	4.5 ± 0.0	5.7 ± 0.2	4.3 ± 0.3	5.2 ± 0.6	3.4 ± 0.5
Ινουλίνη	7.1 ± 0.4	6.1 ± 0.2	6.2 ± 0.2	4.0 ± 0.0	3.9 ± 0.2	4.0 ± 0.4	3.3 ± 0.2
Ολιγοφρουκτόζη	7.1 ± 0.2	7.2 ± 0.2	6.3 ± 0.2	5.0 ± 0.3	3.8 ± 0.3	4.5 ± 0.5	3.5 ± 0.1
Nutriose®	8.4 ± 0.2	5.0 ± 0.0	4.8 ± 0.2	7.1 ± 0.1	1.7 ± 0.3	4.8 ± 0.3	4.0 ± 0.0
	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Υδαρές	Κομμιώδες	Κρεμώδες	Λιπαρό
Φρουκτόζη	7.2 ± 0.2	2.4 ± 0.2	4.8 ± 0.2	6.7 ± 0.2	2.7 ± 0.3	5.5 ± 0.3	2.1 ± 0.2
Μαλτόζη	7.0 ± 0.3	3.4 ± 0.2	6.7 ± 0.1	7.1 ± 0.2	2.1 ± 0.2	4.8 ± 0.4	2.7 ± 0.1
Τρεχαλόζη	6.0 ± 0.2	3.8 ± 0.2	4.2 ± 0.2	5.5 ± 0.4	3.0 ± 0.0	6.0 ± 0.0	2.8 ± 0.1
Ξυλιτόλη	4.1 ± 0.4	4.2 ± 0.3	3.8 ± 0.3	4.3 ± 0.2	3.2 ± 0.3	6.5 ± 0.3	3.0 ± 0.0
Μαννιτόλη	7.0 ± 0.2	3.0 ± 0.0	6.0 ± 0.0	6.1 ± 0.1	2.8 ± 0.2	5.4 ± 0.4	2.4 ± 0.2
Μαλτιτόλη	7.4 ± 0.2	3.0 ± 0.0	5.9 ± 0.2	6.0 ± 0.0	2.2 ± 0.4	6.0 ± 0.0	3.2 ± 0.5
Σορβιτόλη	7.5 ± 0.2	4.2 ± 0.3	5.1 ± 0.2	6.0 ± 0.3	2.5 ± 0.2	5.5 ± 0.3	2.4 ± 0.2
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	7.3 ± 0.4	3.2 ± 0.2	5.9 ± 0.3	6.3 ± 0.2	3.0 ± 0.5	5.7 ± 0.3	2.4 ± 0.2
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	5.0 ± 0.3	5.6 ± 0.2	2.6 ± 0.3	4.0 ± 0.0	3.0 ± 0.2	6.7 ± 0.4	3.1 ± 0.3
Αμυλοσιρόπιο 22DE	6.3 ± 0.2	5.1 ± 0.2	4.2 ± 0.1	4.3 ± 0.3	3.3 ± 0.1	6.0 ± 0.0	3.2 ± 0.4
Αμυλοσιρόπιο 39DE	6.0 ± 0.0	5.1 ± 0.3	3.6 ± 0.4	4.9 ± 0.4	3.0 ± 0.0	6.1 ± 0.4	3.2 ± 0.3
Ινουλίνη	6.2 ± 0.2	4.2 ± 0.2	5.0 ± 0.0	5.0 ± 0.0	3.2 ± 0.3	5.8 ± 0.3	2.8 ± 0.3
Ολιγοφρουκτόζη	4.1 ± 0.2	6.3 ± 0.2	4.0 ± 0.0	5.2 ± 0.2	4.0 ± 0.0	6.9 ± 0.1	4.0 ± 0.3
Nutriose®	5.9 ± 0.1	5.8 ± 0.3	4.2 ± 0.3	4.5 ± 0.1	3.6 ± 0.2	6.6 ± 0.4	3.4 ± 0.4

Πίνακας 6.2.7: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 16 εβδομάδες. Τα υδατανθρακικά συστατικά χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 10%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα Βανίλιας	Σκληρό (Κ)	Τραχύ (Κ)	Εύθρυπτο	Κομμιώδες (Κ)
Σακχαρόζη	7.0 ± 0.2	6.1 ± 0.2	5.0 ± 0.0	6.6 ± 0.1	6.1 ± 0.2	5.5 ± 0.4	3.0 ± 0.3
Φρουκτόζη	8.0 ± 0.1	7.8 ± 0.1	6.8 ± 0.1	5.2 ± 0.3	4.2 ± 0.4	5.6 ± 0.3	2.8 ± 0.41
Μαλτόζη	7.1 ± 0.4	6.8 ± 0.4	5.1 ± 0.3	5.2 ± 0.2	4.3 ± 0.2	4.8 ± 0.4	3.0 ± 0.0
Τρεχαλόζη	7.4 ± 0.2	7.1 ± 0.2	6.4 ± 0.2	7.0 ± 0.0	3.3 ± 0.2	4.3 ± 0.2	3.4 ± 0.3
Ψυλιτόλη	6.8 ± 0.3	7.2 ± 0.1	7.2 ± 0.4	3.2 ± 0.1	7.3 ± 0.4	3.8 ± 0.5	3.2 ± 0.1
Μαννιτόλη	8.5 ± 0.1	6.2 ± 0.2	4.8 ± 0.2	8.4 ± 0.2	6.3 ± 0.3	6.0 ± 0.2	2.8 ± 0.3
Μαλιτιτόλη	6.3 ± 0.2	7.5 ± 0.2	6.3 ± 0.4	5.5 ± 0.1	5.5 ± 0.4	4.6 ± 0.3	3.6 ± 0.4
Σορβιτόλη	6.2 ± 0.3	6.9 ± 0.1	7.1 ± 0.2	4.1 ± 0.4	7.6 ± 0.3	5.6 ± 0.1	3.0 ± 0.0
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	6.2 ± 0.4	6.3 ± 0.3	5.7 ± 0.3	7.1 ± 0.2	5.1 ± 0.3	5.3 ± 0.3	5.6 ± 0.2
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	7.5 ± 0.2	6.1 ± 0.4	6.3 ± 0.4	7.7 ± 0.3	4.3 ± 0.4	5.0 ± 0.0	3.2 ± 0.3
Αμυλοσιρόπιο 22DE	7.0 ± 0.0	7.1 ± 0.2	5.1 ± 0.1	4.2 ± 0.1	3.2 ± 0.5	5.0 ± 0.0	4.6 ± 0.4
Αμυλοσιρόπιο 39DE	7.5 ± 0.2	6.2 ± 0.1	6.1 ± 0.2	7.5 ± 0.2	4.9 ± 0.2	5.5 ± 0.3	4.3 ± 0.2
Ινουλίνη	6.5 ± 0.0	6.4 ± 0.2	5.5 ± 0.0	8.0 ± 0.0	3.8 ± 0.3	3.4 ± 0.4	4.5 ± 0.2
Ολιγοφρουκτόζη	8.0 ± 0.0	7.0 ± 0.0	6.8 ± 0.2	7.0 ± 0.0	4.3 ± 0.3	5.0 ± 0.3	3.5 ± 0.0
Nutriose®	7.0 ± 0.4	6.0 ± 0.0	6.2 ± 0.3	5.1 ± 0.1	4.0 ± 0.0	5.8 ± 0.3	4.1 ± 0.1
	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Υδαρές	Κομμιώδες	Κρεμώδες	Λιπαρό
Φρουκτόζη	7.2 ± 0.3	2.4 ± 0.3	4.8 ± 0.3	6.7 ± 0.2	2.7 ± 0.3	5.5 ± 0.3	2.1 ± 0.3
Μαλτόζη	7.0 ± 0.1	4.0 ± 0.0	3.1 ± 0.1	7.0 ± 0.0	2.6 ± 0.4	4.8 ± 0.4	3.0 ± 0.0
Τρεχαλόζη	4.9 ± 0.3	4.6 ± 0.1	4.0 ± 0.0	3.8 ± 0.1	3.0 ± 0.5	5.5 ± 0.0	4.0 ± 0.0
Ψυλιτόλη	4.1 ± 0.2	5.2 ± 0.2	3.0 ± 0.0	3.8 ± 0.3	3.1 ± 0.2	7.0 ± 0.0	3.4 ± 0.2
Μαννιτόλη	7.2 ± 0.2	2.9 ± 0.3	6.9 ± 0.1	5.1 ± 0.3	3.0 ± 0.0	5.0 ± 0.4	3.0 ± 0.4
Μαλιτιτόλη	6.2 ± 0.2	4.3 ± 0.1	3.5 ± 0.2	5.5 ± 0.4	2.8 ± 0.2	4.7 ± 0.3	3.3 ± 0.3
Σορβιτόλη	5.9 ± 0.1	4.7 ± 0.2	5.9 ± 0.3	4.6 ± 0.2	3.1 ± 0.3	5.5 ± 0.2	3.1 ± 0.3
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	7.1 ± 0.4	3.5 ± 0.3	6.8 ± 0.1	3.3 ± 0.4	3.0 ± 0.0	5.0 ± 0.4	4.0 ± 0.4
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	3.8 ± 0.3	6.0 ± 0.0	3.0 ± 0.5	3.2 ± 0.5	3.2 ± 0.3	6.5 ± 0.3	5.0 ± 0.2
Αμυλοσιρόπιο 22DE	7.2 ± 0.2	6.9 ± 0.1	4.1 ± 0.2	4.3 ± 0.1	3.0 ± 0.4	5.8 ± 0.3	4.0 ± 0.0
Αμυλοσιρόπιο 39DE	3.5 ± 0.2	6.8 ± 0.3	3.3 ± 0.3	3.8 ± 0.2	2.7 ± 0.3	7.1 ± 0.4	3.6 ± 0.1
Ινουλίνη	4.0 ± 0.0	5.5 ± 0.2	5.0 ± 0.1	4.0 ± 0.0	3.9 ± 0.1	5.9 ± 0.3	3.0 ± 0.1
Ολιγοφρουκτόζη	3.1 ± 0.3	7.4 ± 0.2	6.1 ± 0.2	3.8 ± 0.2	4.0 ± 0.3	7.1 ± 0.4	6.0 ± 0.3
Nutriose®	3.2 ± 0.1	6.2 ± 0.3	6.8 ± 0.3	3.1 ± 0.4	3.1 ± 0.4	7.0 ± 0.0	3.4 ± 0.2

Πίνακας 6.2.8: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26 °C για 16 εβδομάδες. Τα υδατανθρακικά συστατικά χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%.

Έτσι τα δείγματα παγωτού με τα συγκεκριμένα συστατικά χαρακτηρίζονταν από υψηλή σκληρότητα, κομμιώδη υφή, χαμηλή τραχύτητα, κρεμώδη και λιπαρή υφή καθώς επίσης και από περιορισμένη υδαρότητα. Τα δείγματα της δεύτερης κατηγορίας περιλαμβάνουν την τρεχαλόζη, τη μαλτόζη και τη μαλιτιτόλη. Τα συστατικά αυτά παρουσίασαν μία ενδιάμεση - ήπια βελτίωση των χαρακτηριστικών των δειγμάτων κατά τη σειρά: τρεχαλόζη> μαλτόζη> σακχαρόζη - μαλιτιτόλη.

Τέλος, τα συστατικά της τρίτης κατηγορίας περιλαμβάνουν τις πολυόλες και τη φρουκτόζη και συνδέονται με τα δείγματα που παρουσίασαν υποβαθμισμένα χαρακτηριστικά ποιότητας (υφής) σε σχέση με τα control δείγματα. Συγκεκριμένα, τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζονταν από χαμηλή σκληρότητα και κομμιώδη υφή, αυξημένη τραχύτητα και ευθρυπτότητα, έντονη αίσθηση παγωμένου και υψηλή υδαρότητα.

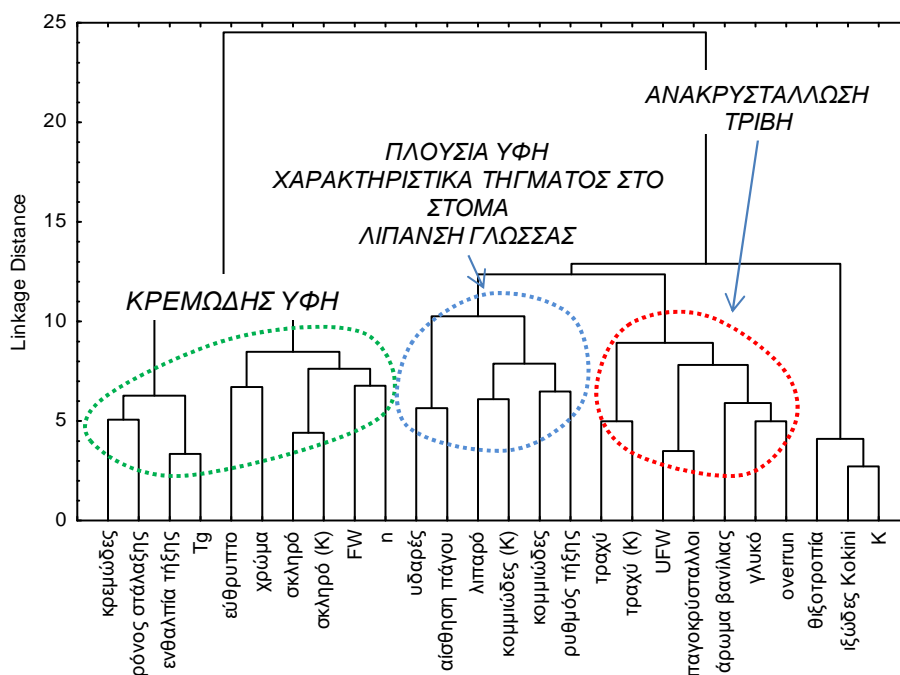
Αναφορικά με τις επιδράσεις στα χαρακτηριστικά γεύσης και αρώματος οι γλυκαντικές ύλες μπορούν να διαχωριστούν σε: α) συστατικά που επιφέρουν ενίσχυση της γλυκιάς γεύσης και της έντασης του αρώματος βανίλιας και β) συστατικά που επιδρούν αρνητικά στη γλυκιά γεύση και επικαλυπτικά στο άρωμα βανίλιας. Στην πρώτη κατηγορία συστατικών ανήκουν κατά κύριο λόγο τα σάκχαρα και οι πολυόλες. Η παρατηρούμενη ενίσχυση της γλυκιάς γεύσης συνδέεται άμεσα με τη σχετική γλυκύτητα των συστατικών (π.χ. η φρουκτόζη επέφερε τις πιο ισχυρές ενισχύσεις της γλυκιάς γεύσης), αλλά και έμμεσα με την επίδραση των χαρακτηριστικών που επιδρούν στην εκτίμηση των χαρακτηριστικών γεύσης π.χ. ιξώδες Κοκίπι, αίσθηση παγωμένου, κομμιώδες, λιπαρή υφή. Επιπλέον, τα συστατικά που επιφέρουν ενίσχυση της γλυκιάς γεύσης συνδέονται και με ενίσχυση του αρώματος βανίλιας δράση που έχει εκτενώς αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Guinard et al., 1996; Guinard et al., 1997; Karaca et al., 2002; Soukoulis et al., 2008). Στη δεύτερη κατηγορία συστατικών ανήκουν κατά κύριο λόγο οι μακρομοριακές υδατανθρακικές ενώσεις (μαλτοδεξτρίνες, αμυλοσιρόπια και ολιγοσακχαρίτες), οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλή γλυκύτητα και σύνθετη μοριακή δομή η οποία έμμεσα επηρεάζει την αποτιμώμενη ένταση του αρώματος βανίλιας. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά της μικροδομής (matrix) των ημιστερεών (semi-solids) επιδόρπιων γάλακτος στα οποία εντάσσεται και το παγωτό επηρεάζουν καθοριστικά το ρυθμό απελευθέρωσης των αρωματικών πτητικών ενώσεων (Sala et al., 2008). Κατά συνέπεια η παρουσία πολυσακχαριτικών ή πρωτεϊνικών πλεγμάτων, η δημιουργία πηγμάτων, οι αλληλοσυνδέσεις μεταξύ των αλύσων των βιοπολυμερών, ο βαθμός πολυμερισμού και διακλάδωσης των βιοπολυμερών κ.α. είναι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τον τρόπο και το ρυθμό απελευθέρωσης των πτητικών αρωματικών παραγόντων.

Οργανοληπτικό χαρακτηριστικό	Είδος γλυκαντικής ύλης	Ποσοστό υποκατάστασης	Χρόνος αποθήκευσης
Χρώμα	++	NS	+
Γλυκό	+++	+	++
Άρωμα βανίλιας	+	+	+
Σκληρό (Κ)	+	NS	NS
Τραχύ (Κ)	+++	++	+++
Εύθρυπτο	++	+	+++
Κομμιώδες (Κ)	++	NS	+++
Αίσθηση πάγου	+++	+++	+
Σκληρό	+++	+++	NS
Τραχύ	++	+	+++
Κομμιώδες	+	++	+
Υδαρές	+++	+++	+++
Κρεμώδες	++	NS	+++
Λιπαρό	+	++	NS

Πίνακας 6.2.9: Κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων (είδος γλυκαντικής ύλης, ποσοστό υποκατάστασης σακχαρόζης) και του χρόνου αποθήκευσης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού

Ο χρόνος αποθήκευσης επηρέασε ένα σημαντικό αριθμό από τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού. Η αύξηση του χρόνου αποθήκευσης συνοδεύτηκε με υποβάθμιση της ποιότητας των δειγμάτων παγωτού η οποία εκδηλώθηκε με αύξηση της τραχύτητας και της ευθρυπτότητας, αύξηση της αίσθησης παγωμένου και της υδαρότητας, μείωση της κρεμώδους και κομμιώδους υφής, ενώ λιγότερο έντονες αλλά σημαντικές ήταν οι επιπτώσεις στο άρωμα και τη γεύση των δειγμάτων. Πρέπει ωστόσο να τονιστεί ότι η υποβάθμιση της ποιότητας των δειγμάτων (η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη θερμοδυναμική αστάθεια που χαρακτηρίζει τα κολλοειδή στοιχεία του προϊόντος) παρουσίασε διακυμάνσεις σε σχέση με το είδος της προστιθέμενης γλυκαντικής ύλης. Έτσι οι πιο έντονες αποκλίσεις από την αρχική ποιότητα των δειγμάτων παρατήρηθηκαν στα δείγματα με πολυόλες και φρουκτόζη τα οποία με βάση τα θερμοφυσικά τους χαρακτηριστικά ήταν και τα πιο ασταθή θερμοδυναμικά (ανοιογένεια στη κατανομή μεγέθους των παγοκρυστάλλων, υψηλό ποσοστό μη κρυσταλλωμένου νερού, υψηλή διαθεσιμότητα και μοριακή κινητικότητα του νερού, χαμηλή θερμοκρασία μετάβασης ελέγχου των φαινομένων διάχυσης από κινητική Arrhenius σε WLF).

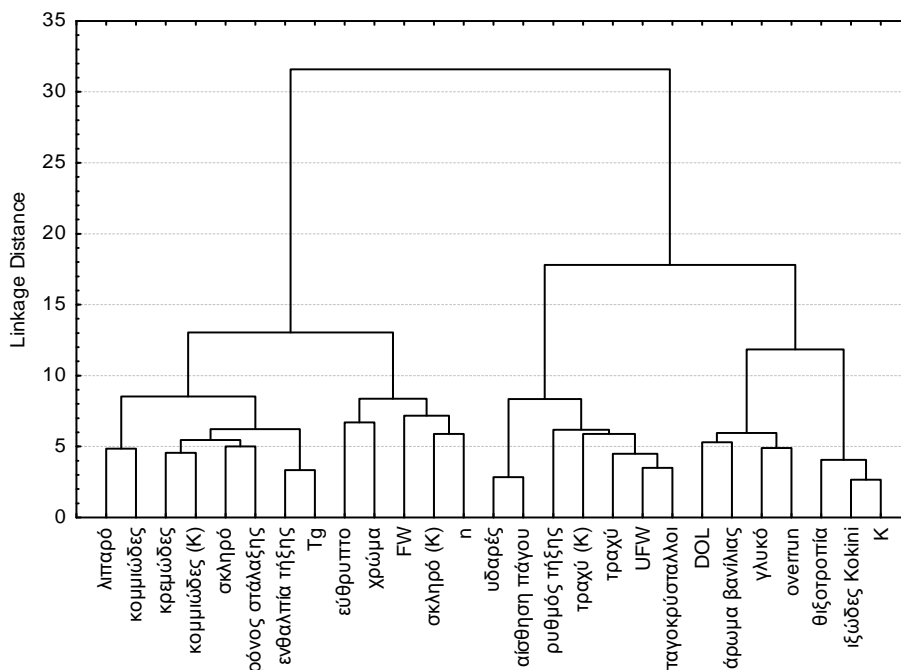
Το σύνολο των αντικειμενικών και οργανοληπτικών μετρήσεων υποβλήθηκε (μετά από προεπεξεργασία) σε τεχνικές πολυμεταβλήτης ανάλυσης, προκειμένου να διερευνηθούν περαιτέρω οι αλληλεπιδράσεις και συσχετίσεις των ρεολογικών, φυσικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών στα συστήματα παγωτού.



6.2.46: Διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των αντικειμενικών και οργανοληπτικών μετρήσεων στα δείγματα παγωτού. Οι οργανοληπτικές ιδιότητες έχουν εκτιμηθεί στους -15°C στα δείγματα παγωτού που αποθηκεύτηκαν για 4 εβδομάδες στους -26°C

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ομαδοποίησης (Σχήματα 6.2.46 και 6.2.47), διακρίνονται τρεις κύριες κατηγοριοποιήσεις ανάμεσα στις ιδιότητες: α) *ιδιότητες που σχετίζονται με κρεμώδη υφή, πλούσια υφή (mouthfeel), συνεκτική/σταθερή δομή* - οι ιδιότητες αυτές έχουν κατά κύριο λόγο θερμοφυσική βάση, γεγονός που υποδεικνύει ότι υλικά μακρομοριακής φύσης (βιοπολυμερή) συμβάλλουν στην ανάπτυξη των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, β) *ιδιότητες που σχετίζονται με τη μείωση της τριβής, με πλούσια υφή, με λίπανση της επιφάνειας της γλώσσας (tongue lubrication)*, - οι ιδιότητες αυτές έχουν τη βάση τους στα φαινόμενα που υπεισέρχονται στην αίσθηση της πλούσιας υφής και της μειωμένης

τριβής π.χ. αποσταθεροποίηση - συσσωμάτωση λιποσφαιρίων, καταστροφή των πρωτεϊνικών - πολυσακχαρικών πλεγμάτων, το ρυθμό τήξης των παγοκρύσταλλων και των κρυσταλλωμένων λιπαρών, τη ρεολογική συμπεριφορά του τήγματος και τη συμβολή των βιοπολυμερών σ' αυτήν κ.α. (Dresselhuys et al., 2009; Vingerhoeds et al., 2008; Wijk et al., 2006;), γ) ιδιότητες που σχετίζονται με την ανάπτυξη και το ρυθμό απελευθέρωσης του αρώματος και την ανακρυστάλλωση - η συσχέτιση με το άρωμα συνδέεται με δύο παράγοντες: τη μοριακή δομή και τη σχετική γλυκαντική ισχύ της πρώτης ύλης. Συνεπώς μικρομοριακές ενώσεις με υψηλή γλυκαντική ισχύ συνδέονται με τις συγκεκριμένες ιδιότητες. Από την άλλη, η συσχέτιση των χαρακτηριστικών γεύσης - αρώματος υποδηλώνει μία θερμοφυσική και ρεολογική βάση η οποία είναι αναμενόμενη σύμφωνα με την προηγούμενη παρατήρηση.

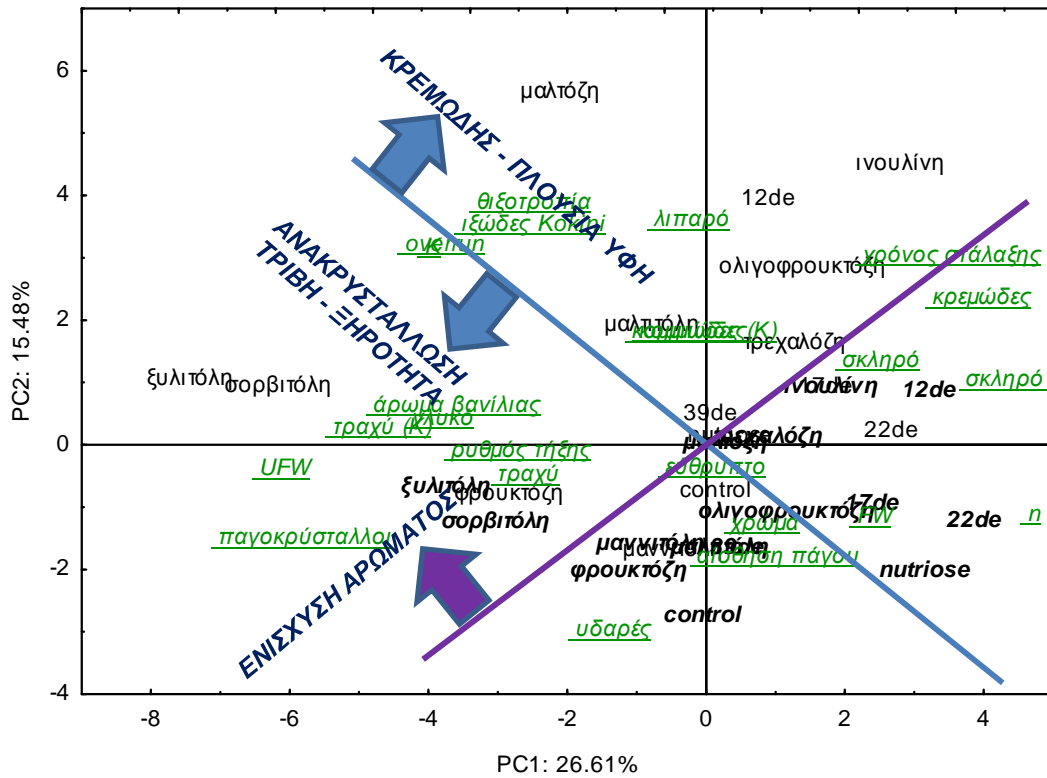


6.2.47: Διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των αντικειμενικών και οργανοληπτικών μετρήσεων καθώς και της ολικής αποδοχής στα δείγματα παγωτού. Οι οργανοληπτικές ιδιότητες έχουν εκτιμηθεί στους -15°C στα δείγματα παγωτού που αποθηκεύτηκαν για 4 εβδομάδες στους -26°C

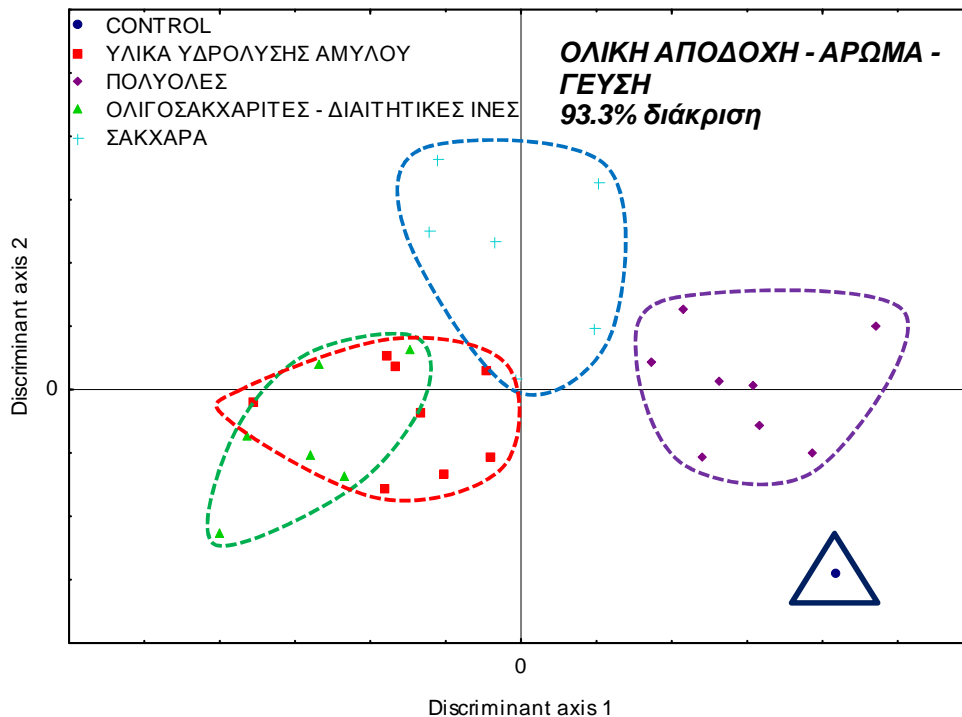
Οι ομαδοποιήσεις των ιδιοτήτων δεν μεταβάλλονται αξιολογικά συμπεριλαμβάνοντας στην επεξεργασία και τις μετρήσεις της ηδονικής ανάλυσης. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι η ολική αποδοχή των δειγμάτων προσδιορίστηκε να έχει μία βάση στο αντιλαμβανόμενο άρωμα και γεύση καθώς και στις ιδιότητες που σχετίζονται με την ανάπτυξη τριβής (friction) κατά τη διάρκεια της μάσησης. Οι παρατηρήσεις συμφωνούν με τα αποτελέσματα των de Wijk et al., (2003); de Wijk et al., (2006), και de Wijk et al. (2005). Επιπλέον, οι μετρήσεις υποδεικνύουν ότι η άμεση συμμετοχή των δομικών συστατικών (παγοκρύσταλλοι, φυσαλίδες αέρα, αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια) φαίνεται να είναι σημαντική στην αποτίμηση της ολικής αποδοχής. Φυσικά θα πρέπει να τονιστεί ότι οι συγκεκριμένες παρατηρήσεις αφορούν στο σύνολο των δειγμάτων και προέρχονται από τις έντονες διαφοροποιήσεις στη λειτουργικότητα των υδατανθρακικών συστατικών. Κατά συνέπεια, διαφορετικές συσχετίσεις μπορεί να αναμένονται αν τα δείγματα αναλυθούν λαμβάνοντας τις ομοιότητες των συστατικών ως προς τη λειτουργικότητά τους. Οι προηγούμενες παρατηρήσεις υποστηρίζονται και από τα αποτελέσματα της ΑΚΣ όπως σαφώς αποτυπώνονται στο σχήμα 6.2.48.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ομαδοποιήσεις των δειγμάτων βάσει των μηχανισμών της κρεμώδους υφής, της αναπτυσσόμενης τριβής - ανακρυστάλλωσης και της ολικής αποδοχής -

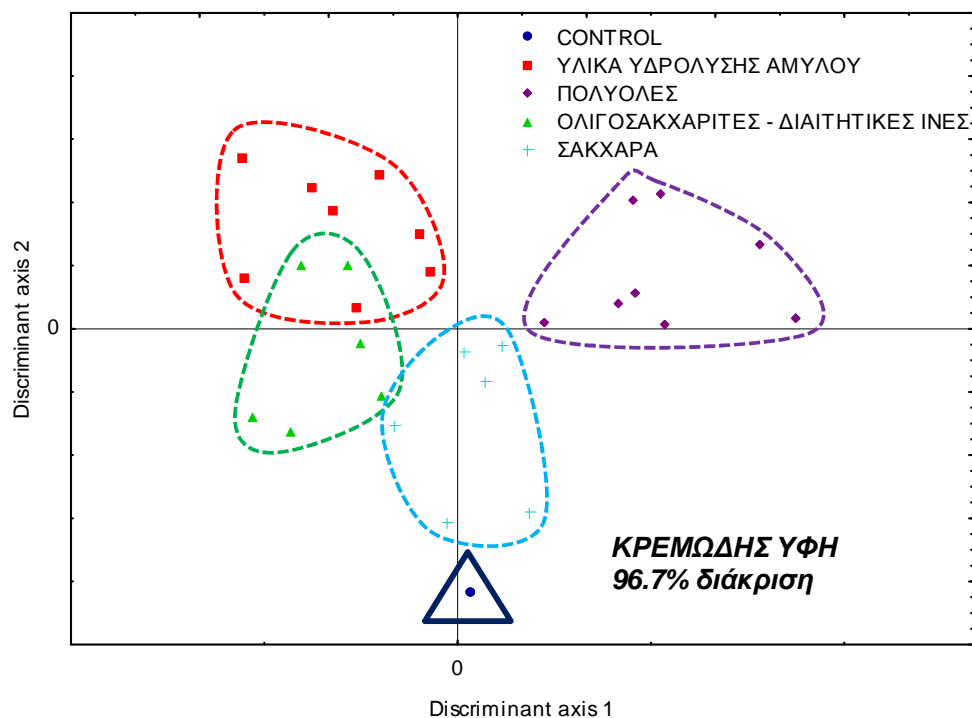
αρώματος - γεύσης, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της ανάλυσης διάκρισης (discriminant analysis), προκειμένου να διερευνηθούν οι ομοιότητες των προστιθέμενων υδατανθράκων.



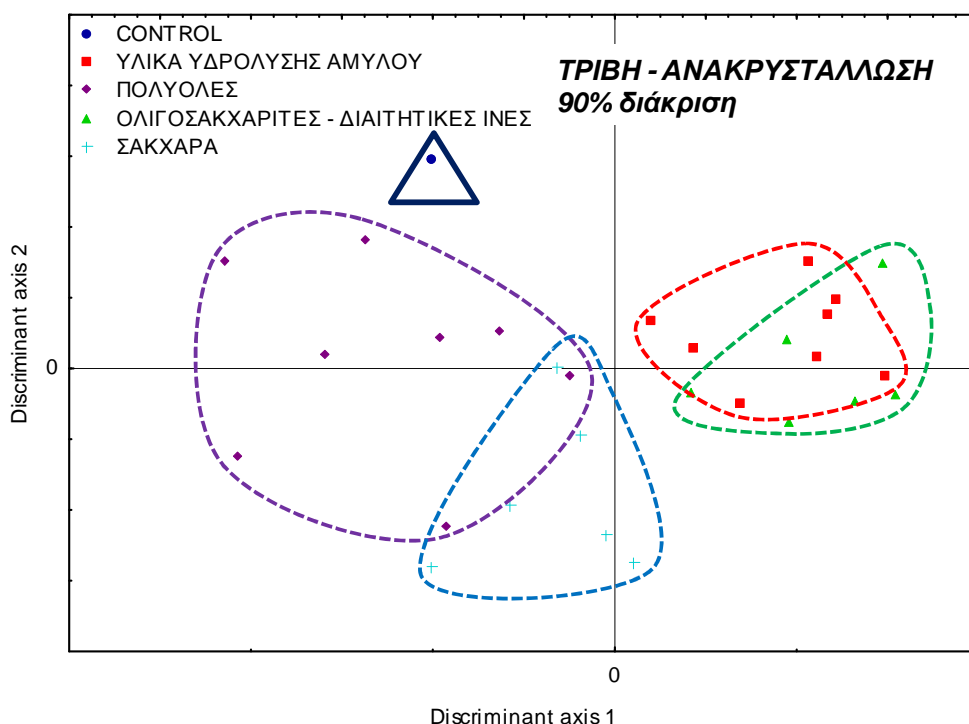
6.2.48: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη υδατανθρακικών υλικών προστιθέμενων σε δύο διαφορετικά ποσοστά 10 και 30%



6.2.49: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδατανθρακικών υλικών ως προς την ικανότητά τους να βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού



6.2.50: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδατανθρακικών υλικών ως προς την ικανότητά τους να βελτιώνουν την κρεμώδη υφή των δειγμάτων παγωτού



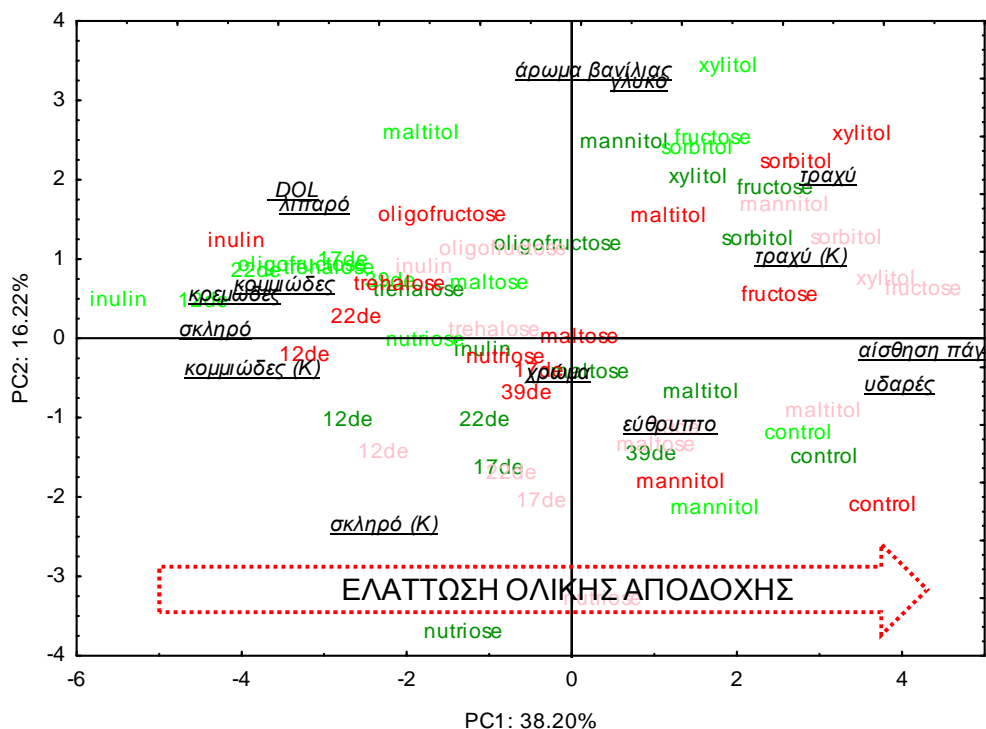
6.2.51: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδατανθρακικών υλικών ως προς την ικανότητά τους να περιορίζουν την τριβή (friction) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάσησης των δειγμάτων παγωτού

Όπως φαίνεται στα σχήματα 6.2.50 - 6.2.52 τα υδατανθρακικά συστατικά διακρίθηκαν σε 4 κύριες κατηγορίες: 1) υλικά υδρόλυσης αμύλου (αμυλοσιρόπια - μαλτοδεξτρίνες), 2) πολυόλες, 3) ολιγοσακχαρίτες - διαιτητικές ίνες και 4) σάκχαρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης διάκρισης, οι πολυόλες, τα υλικά υδρόλυσης αμύλου και οι

ολιγοσακχαρίτες παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διαφορές με βάση τις αποστάσεις Mahalanobis, ανεξάρτητα με το μηχανισμό σύμφωνα με τον οποίο επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παγωτού (22.47, 21.89 και 17.62 για τις διακρίσεις με βάση την ολική αποδοχή, την κρεμώδη υφή και την ανακρυστάλωση-τριβή).

Επιπλέον, τα μακρομοριακά συστατικά δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη λειτουργικότητά τους ανεξάρτητα με το μηχανισμό, αν και οι μεγαλύτερες αποστάσεις Mahalanobis παρατηρήθηκαν στην περίπτωση της κρεμώδους υφής. Η διαφοροποίηση των υλικών ως προς τη μοριακή τους δομή και οι επιδράσεις στις θερμοφυσικές ιδιότητες εξηγεί την τελευταία διάκριση. Όσον αφορά τα σάκκαρα, η λειτουργική τους δράση και στις τρεις περιπτώσεις εντοπίζεται στο ενδιάμεσο των αποστάσεων Mahalanobis των πολυολών και των μακρομοριακών υδατανθράκων. Αξίζει επίσης να τονιστεί ότι τα σάκκαρα παρουσίασαν μεγαλύτερη λειτουργική συνάφεια, με τις πολυόλες όταν εξετάστηκε ο μηχανισμός της τριβής - ανακρυστάλωσης.

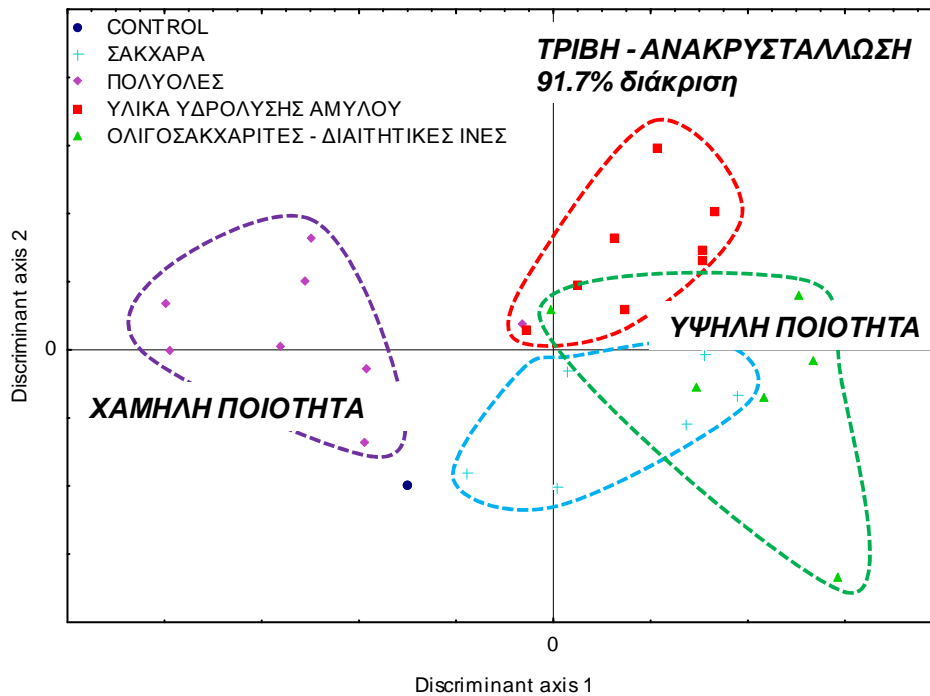
Στο σχήμα 6.2.52 απεικονίζεται η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στις ομοιότητες των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και των δειγμάτων παγωτού με εφαρμογή της ΑΚΣ. Η αύξηση του χρόνου αποθήκευσης των δειγμάτων μετέβαλε σημαντικά τις συσχετίσεις της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού. Η ολική αποδοχή σχετίστηκε θετικά με τα χαρακτηριστικά που παραπέμπουν σε κρεμώδη υφή και ικανοποιητική λίπανση και αρνητικά με τα χαρακτηριστικά που συνδέονται με την ανακρυστάλωση και την αυξημένη τριβή. Κατά συνέπεια η θερμοδυναμική σταθερότητα των δειγμάτων φαίνεται να είναι συνάρτηση των παραμέτρων υφής (οι οποίες κατά συνέπεια παραπέμπουν στα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων) και σε πολύ μικρότερο βαθμό της γλυκύτητας και του αρώματος. Έτσι, ενώ το άρωμα και η γλυκύτητα αποτελούν σημαντικούς παράγοντες συμμετοχής στα DOL των αρχικών (φρέσκων) δειγμάτων, η επίδρασή τους ελαττώνεται καθοριστικά με την πάροδο του χρόνου αποθήκευσης.



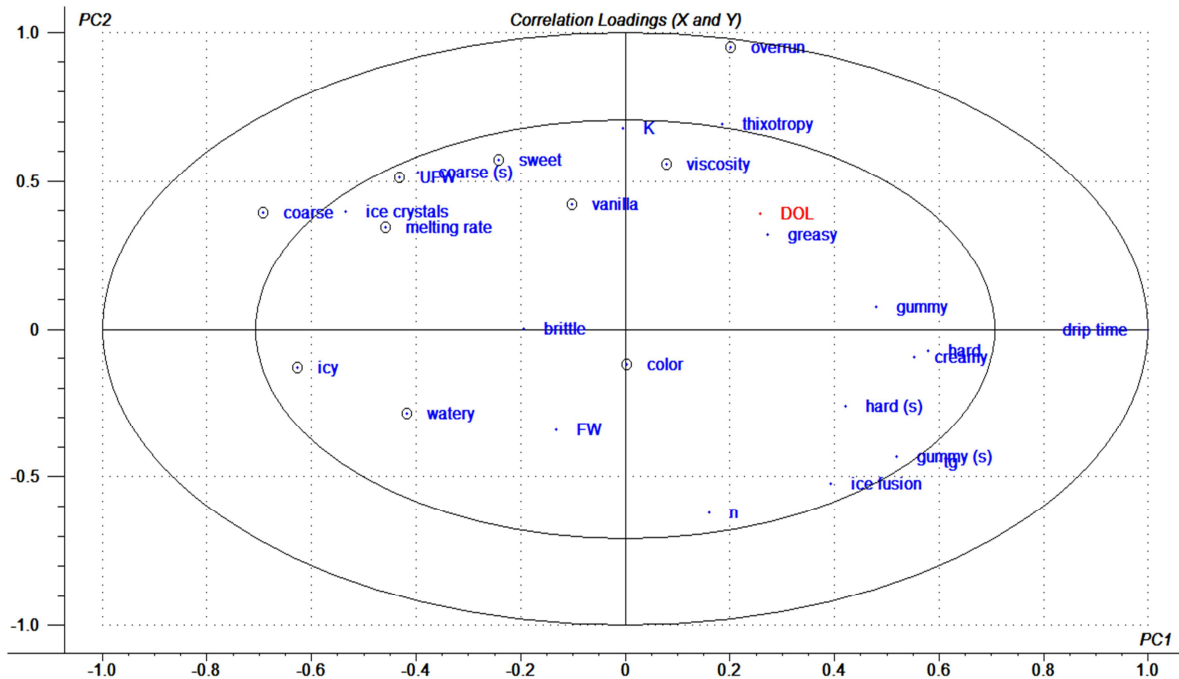
6.2.52: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη υδατανθρακικών υλικών προστιθέμενα σε δύο διαφορετικά ποσοστά (10 και 30%) και αποθηκευμένα στους -26°C για 4 και 16 εβδομάδες

Η τελευταία παρατήρηση βρίσκει επίσης υποστήριξη και στα αποτελέσματα της ανάλυσης διάκρισης (Σχήμα 6.2.53). Οι αποστάσεις Mahalanobis μεταξύ των δειγμάτων με

μακρομοριακά υδατανθρακικά συστατικά αυξήθηκε μετά από 16 εβδομάδες αποθήκευσης, ενώ τα δείγματα με σάκχαρα εμφάνισαν μία μεγαλύτερη συνάφεια με τα δείγματα που περιείχαν ολιγοσακχαρίτες υποδεικνύοντας τη μεγαλύτερη επίδραση στην ολική αποδοχή του παγωτού των σακκάρων που ανυψώνουν τις θερμοκρασίες των σημείων πήξης και έναρξης της τήξης (τρεχαλόζη και μαλτόζη).



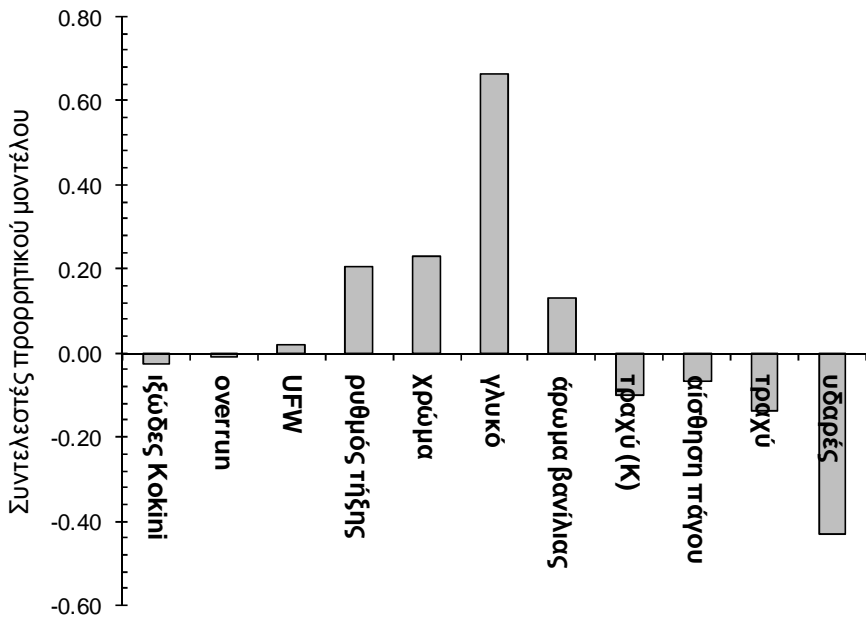
6.2.53: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδατανθρακικών υλικών ως προς την ικανότητά τους να περιορίζουν την τριβή (friction) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάζησης των δειγμάτων παγωτού μετά από χρόνο αποθήκευσης 16 εβδομάδων



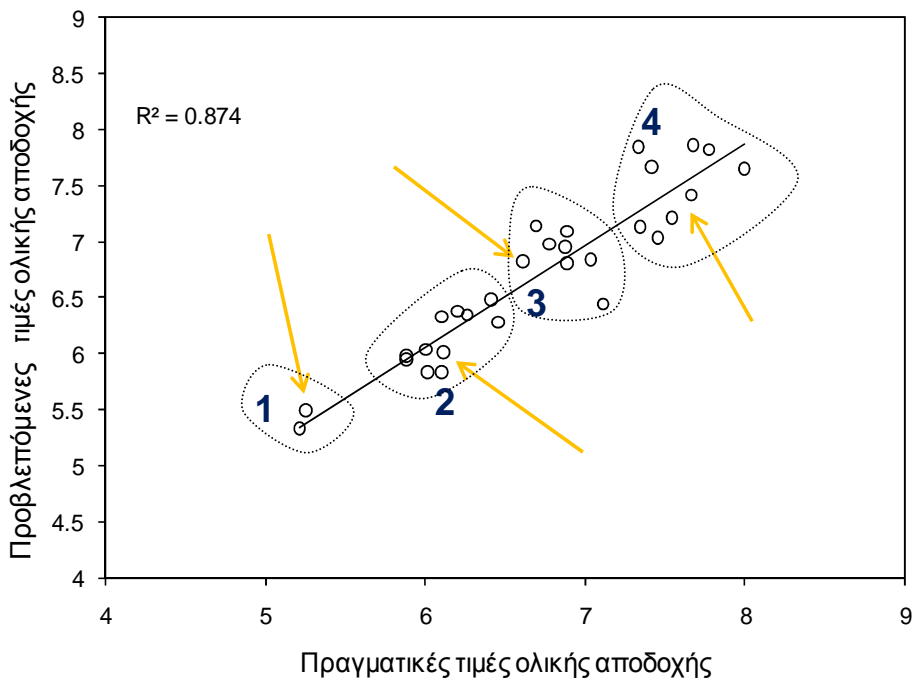
Σχήμα 6.2.54: Επιλογή των μεταβλητών (⊙) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens

6.2.7 Πρόρρηση ολικής αποδοχής

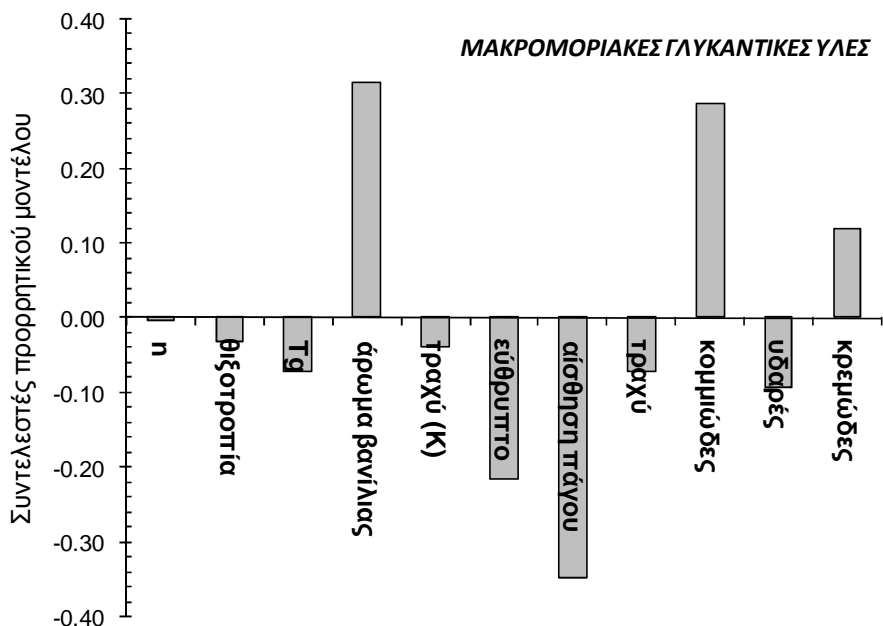
Οι αντικειμενικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός γενικού μαθηματικού μοντέλου πρόρρησης της ολικής αποδοχής κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος με διαφορετικά είδη γλυκαντικών υλών με βάση τη μέθοδο της PLSR. Για την επιλογή των μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόστηκε η τεχνική της ΑΚΣ σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation). Λόγω του περιορισμένου αριθμού δειγμάτων, το μοντέλο βαθμονόμησης και πρόρρησης κατασκευάστηκε με βάση τη μέθοδο που έχει περιγραφεί από τους [Martens & Martens \(2000\)](#) - (cross validation - one-leave-out).



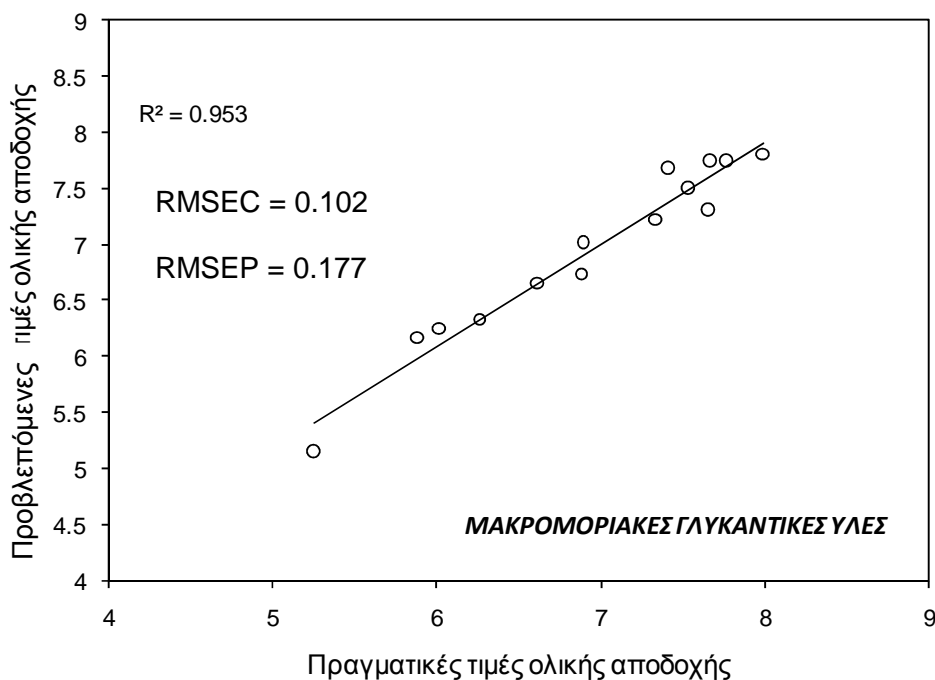
Σχήμα 6.2.55: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)



Σχήμα 6.2.56: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR



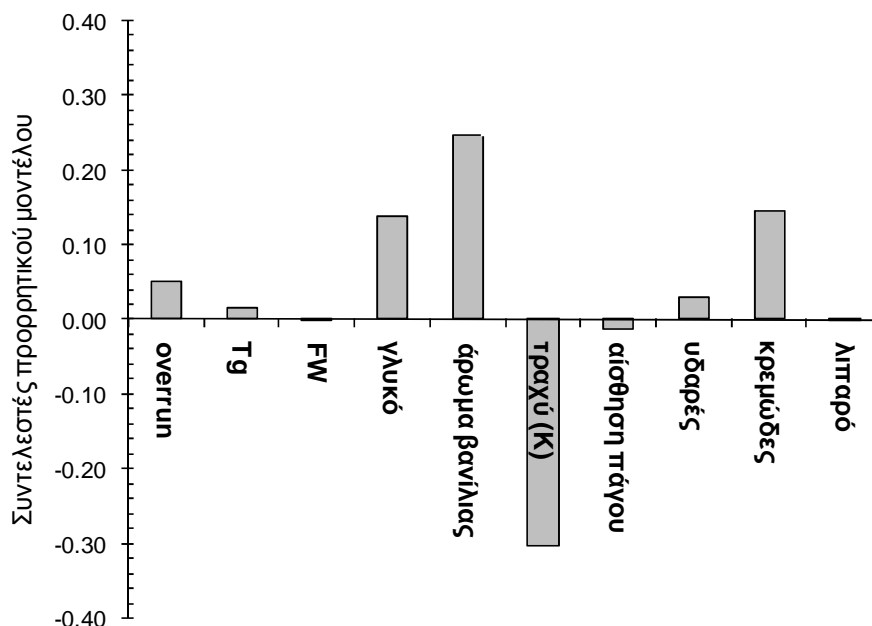
Σχήμα 6.2.57: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης υψηλού μοριακού βάρους, χαμηλού βαθμού DE, και υψηλής τιμής DP (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)



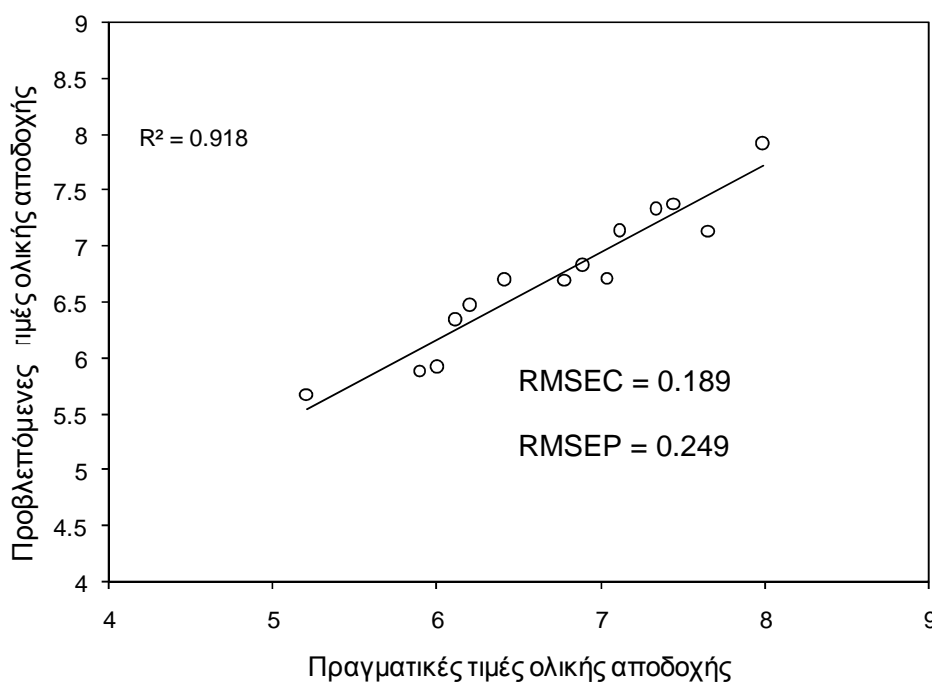
Σχήμα 6.2.58: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης υψηλού μοριακού βάρους, χαμηλού βαθμού DE, και υψηλής τιμής DP σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR

Σύμφωνα με το σχήμα 6.2.54 η ολική αποδοχή του συνόλου των δειγμάτων παγωτού μπορεί να περιγραφεί από 10 αντικειμενικές και οργανοληπτικές μεταβλητές: ιξώδες Kokini, onegun, ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας (UFW), ρυθμός τήξης, τραχύ, χρώμα, γλυκό, άρωμα βανίλιας, υδαρές, τραχύ (κ). Το αρχικό μοντέλο βαθμονομήθηκε και

επανακατασκευάστηκε όπως φαίνεται στα σχήματα 6.2.56 και 6.2.57. Τα σφάλματα των μοντέλων βαθμονόμησης και επικύρωσης ήταν ικανοποιητικά (RMSEC = 0.201 και RMSEP = 0.309) ενώ ικανοποιητικός ήταν και ο συντελεστής προσαρμογής των δεδομένων ($R^2 = 0.874$). Οι 10 μεταβλητές του μοντέλου περιγράφουν το 75.2% της ολικής διακύμανσης και το 93.2% της διακύμανσης της ολικής αποδοχής.



Σχήμα 6.2.59: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρηθικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης χαμηλού μοριακού βάρους π.χ. δισακχαρίτες και μονοσακχαρίτες (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)



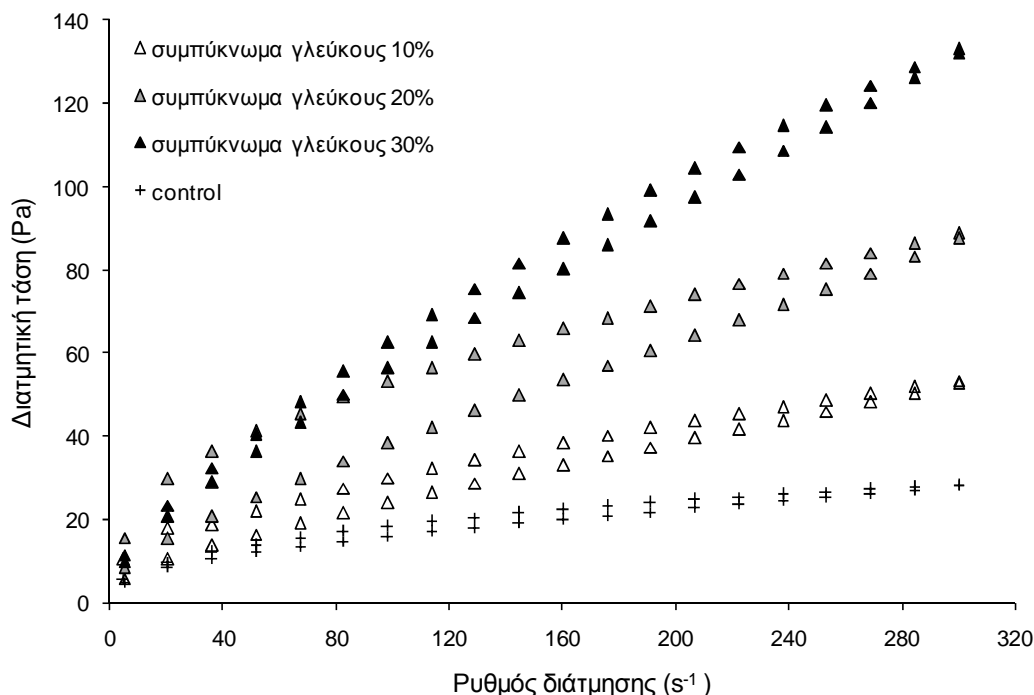
Σχήμα 6.2.60: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης χαμηλού μοριακού βάρους π.χ. δισακχαρίτες και μονοσακχαρίτες σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR

Παρατηρώντας την προσαρμογή των δεδομένων στο PLS γραμμικό μοντέλο διαπιστώνεται ότι τα δείγματα προσαρμόζονται κατά τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν κατά την ανάλυση διάκρισης: 1= σακχαρόζη, 2 = πολυόλες, 3 = σάκχαρα - αμυλοσιρόπιο 39DE, nutriose®, και 4 = ινουλίνη, μαλτοδεξτρίνες, αμυλοσιρόπιο 22DE, ολιγοφρουκτόζη. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη και τις συσχετίσεις των δειγμάτων με βάση τους μηχανισμούς της κρεμώδους υφής και της ανακρυστάλλωσης - τριβής κατασκευάστηκαν επιπλέον 2 γραμμικά μοντέλα ικανά να περιγράψουν την ολική αποδοχή δειγμάτων παγωτού με μεγαλομοριακά γλυκαντικά και δισακχαρίτες ή μονοσακχαρίτες αντίστοιχα (Σχήματα 6.2.57 - 6.2.60)

6.3 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

6.3.1 Ρεολογικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού

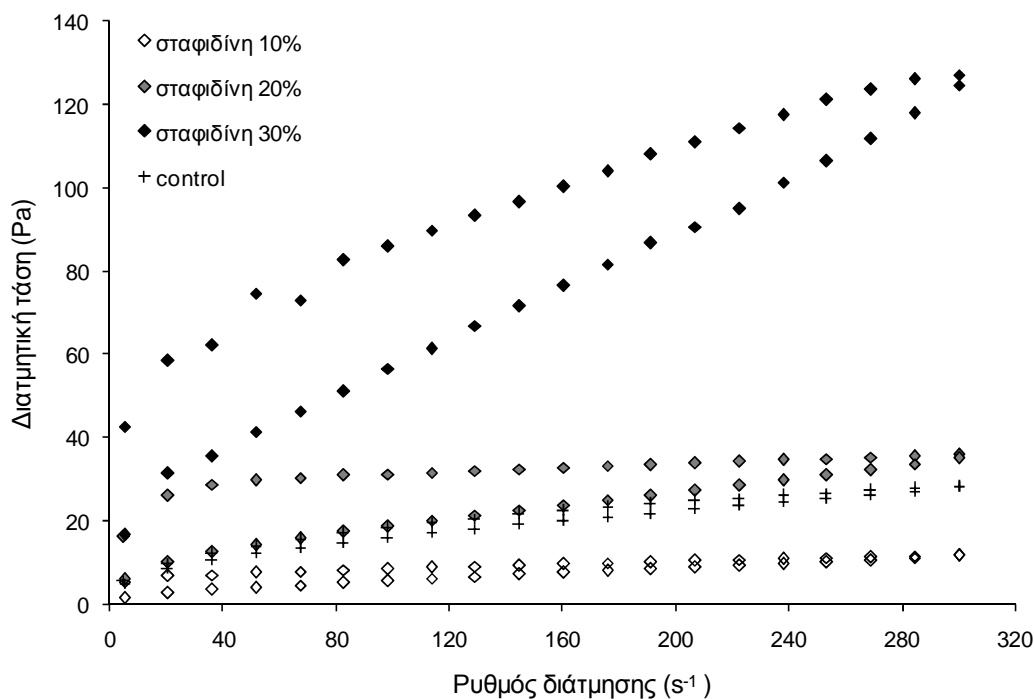
Στα σχήματα 6.3.1 - 6.3.7 παρουσιάζονται η ρεολογική συμπεριφορά και οι τιμές των ρεολογικών παραμέτρων των μιγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκχαρα. Όπως είναι φανερό από τα ρεογράμματα, όλα τα μίγματα παγωτού εμφάνισαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά η οποία επηρεάστηκε σημαντικά από το είδος των εναλλακτικών σακχάρων.



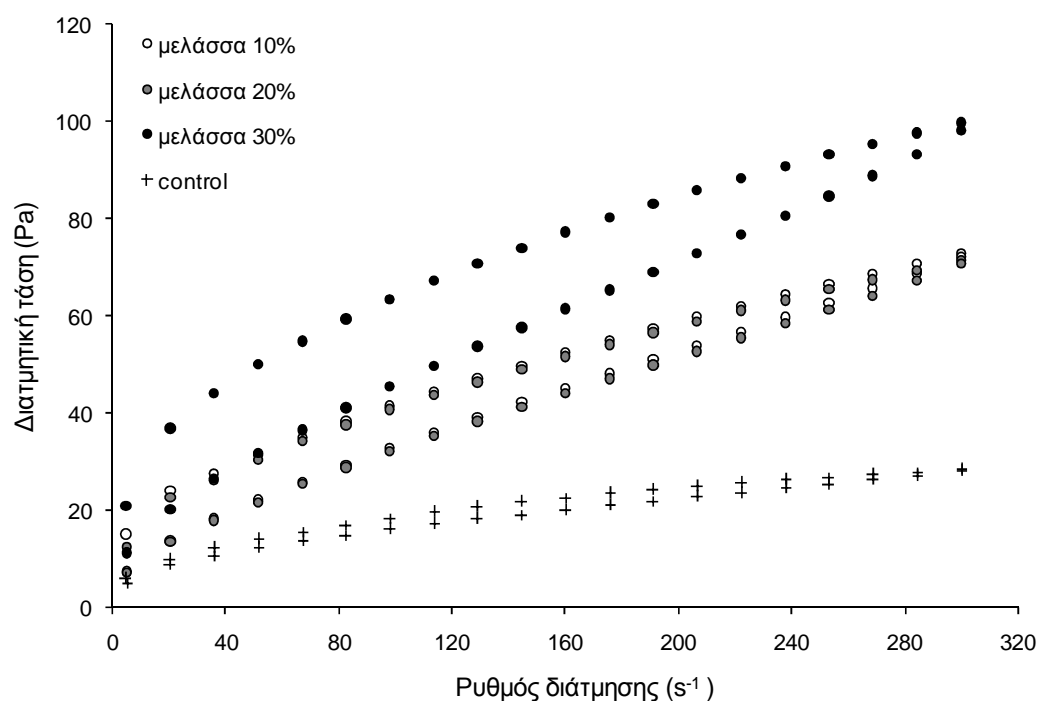
Σχήμα 6.3.1: Ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού με συμπύκνωμα γλεύκους ως μέσο μερικής υποκατάστασης της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)

Ο συντελεστής συνεκτικότητας των μιγμάτων παγωτού επηρεάστηκε σημαντικά τόσο από είδος όσο και από το ποσοστό υποκατάστασης της σακχαρόζης ($p < 0.05$). Ειδικότερα, τα δείγματα που περιείχαν συμπύκνωμα γλεύκους παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερες τιμές K σε σχέση με τα δείγματα με μελάσσα και σταφιδίνη, ενώ τα control δείγματα εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές. Δεδομένου ότι η συμμετοχή της σακχαρόζης στη ρεολογία είναι σχετικά μικρότερη σε σχέση με τη δράση των βιοπολυμερών και των λιπαρών υλών, η ραγδαία αύξηση του συντελεστή συνεκτικότητας στην περίπτωση του συμπυκνώματος γλεύκους μπορεί να αποδοθεί κατά κύριο λόγο στο περιεχόμενο ποσοστό σύνθετων σακχάρων, ολιγοσακχαριτών και δεξτρινών που ενισχύουν τις αλληλεπιδράσεις των βιοπολυμερών στην υδατική φάση.

Το ολιγοσακχαρικό - δεξτρινικό περιεχόμενο της σταφιδίνης και της μελάσσας εξηγούν ανάλογα τις παρατηρούμενες αυξήσεις στα συγκεκριμένα δείγματα. Παρόμοια συμπεριφορά των εναλλακτικών σακχάρων παρατηρήθηκε και στην περίπτωση του ιξώδους Kokini. Οι Sengül et al. (2005) ανέφεραν ότι τα προϊόντα συμπύκνωσης γλεύκους περιέχουν έως και 15% σύνθετους υδατάνθρακες και δεξτρίνες (επί του συνόλου των διαλυτών στερεών), ενώ οι Sopade et al., (2007) ανέφεραν ότι οι μελάσσες χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό σακχαρόζης (32g/100g) αλλά και σημαντικό ποσοστό πολυσακχαριτών και δεξτρινών (έως και 5%).



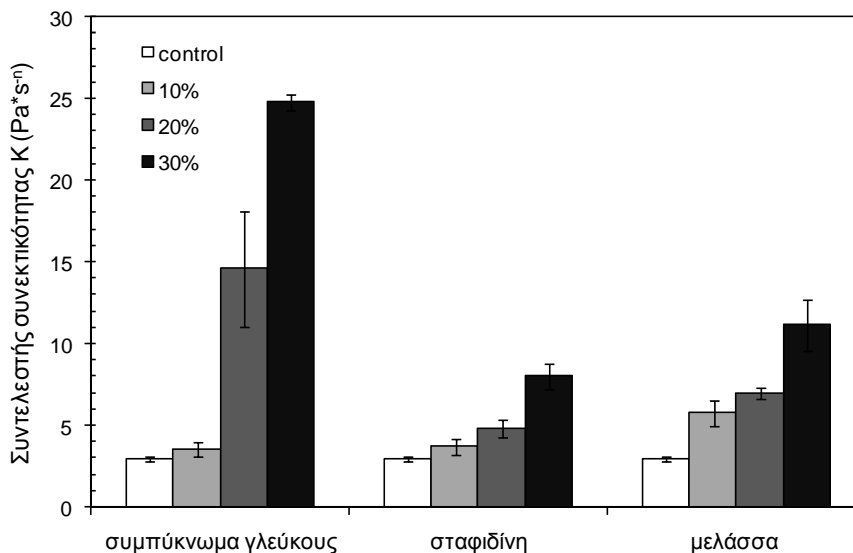
Σχήμα 6.3.2: Ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού με σταφιδίνη ως μέσο μερικής υποκατάστασης της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)



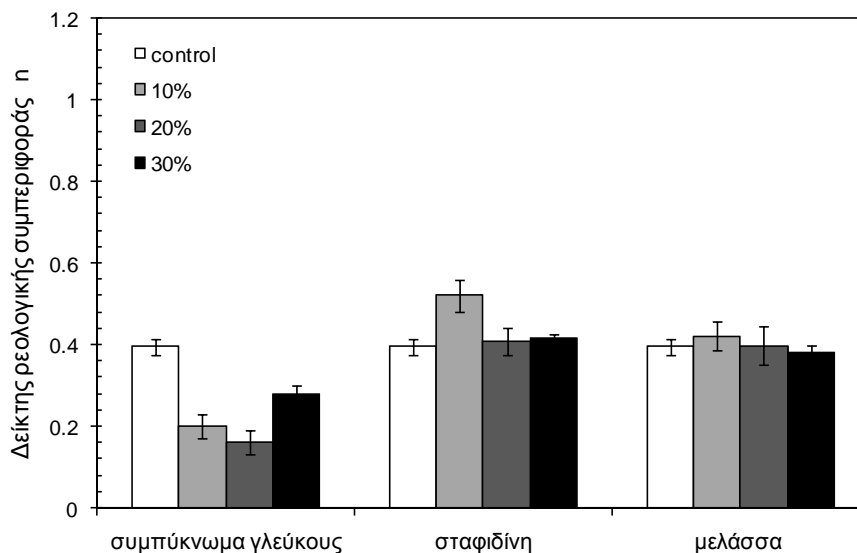
Σχήμα 6.3.3: Ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού με μελάσσα ως μέσο μερικής υποκατάστασης της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)

Η επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων στις τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς ήταν επίσης σημαντική ($p < 0.01$). Οι αποκλίσεις από τη νευτωνική συμπεριφορά ήταν έντονες για το σύνολο των δειγμάτων. Τα δείγματα με συμπύκνωμα γλεύκου εμφάνισαν τον πιο ισχυρό ψευδοπλαστικό χαρακτήρα (0.21), ενώ τα μίγματα με μελάσσα και σταφιδίνη δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα control. Το ποσοστό υποκατάστασης της σακχαρόζης από τα εναλλακτικά σάκχαρα δεν επηρέασε τις τιμές του δείκτη ρεολογικής

συμπεριφοράς. Επιπλέον, θα πρέπει να τονιστεί ότι οι τιμές του n είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σχέση με τις τυπικά αναμενόμενες στα μίγματα παγωτού ($0.9 < n < 0.5$). Η μείωση αυτή δεν οφείλεται μόνο στο αυξημένο ποσοστό των ολικών στερεών των μιγμάτων (κατά 3%), αλλά και στην ιδιαίτερη συμπεριφορά του κακάο η οποία έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία για τα σχετικά προϊόντα παγωτού (Prindiville et al., 1999).

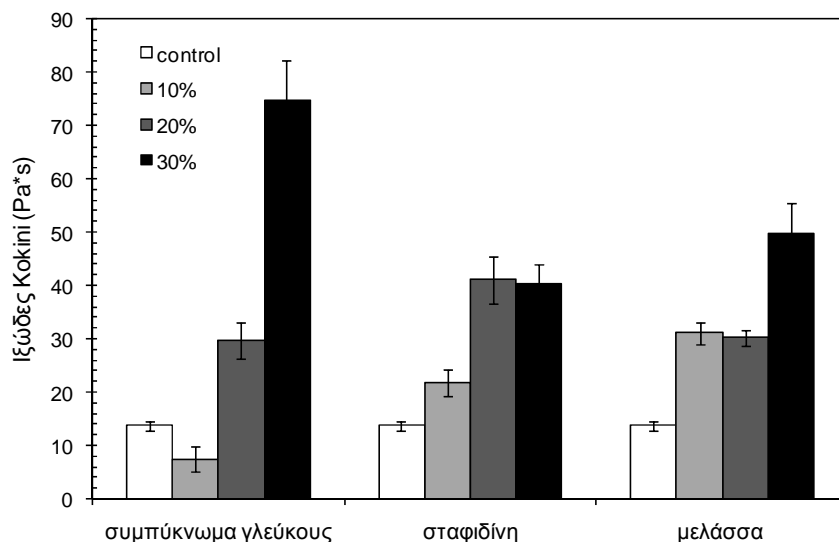


Σχήμα 6.3.4: Τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας των μιγμάτων παγωτού (στους 4°C) με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)

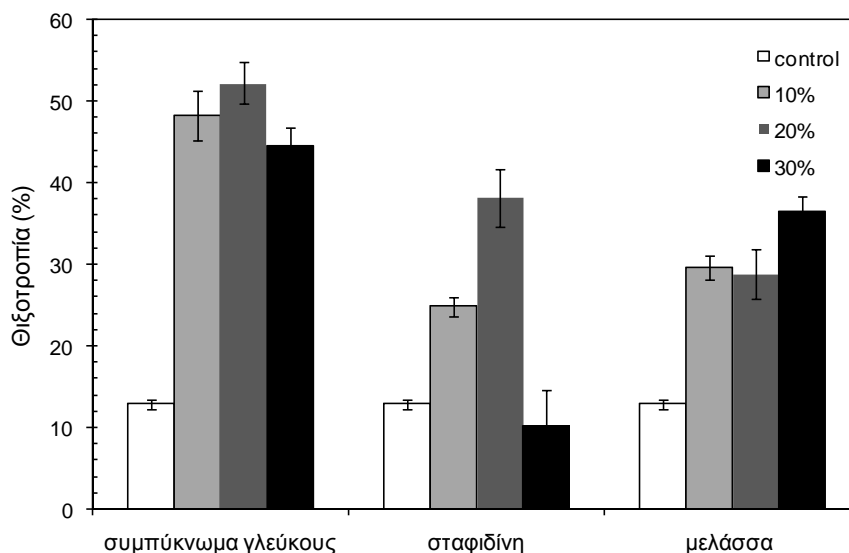


Σχήμα 6.3.5: Τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των μιγμάτων παγωτού (στους 4°C) με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)

Σύμφωνα με το σχήμα 6.3.7, η προσθήκη συμπυκνώματος γλεύκους επέφερε την πιο έντονη θιξοτροπική συμπεριφορά (48.3%), ενώ η προσθήκη της σταφιδίνης τη λιγότερο θιξοτροπική συμπεριφορά (24.4%). Η αναδιαμόρφωση και ο αναπροσανατολισμός των πολυσακχαριτικών αλύσων στο χώρο, αλλά και η καταστροφή των πλεγμάτων που έχουν δημιουργηθεί από τα βιοπολυμερή (πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες και δεξτρίνες) εξηγούν τη συμπεριφορά των εναλλακτικών σακχάρων.



Σχήμα 6.3.6: Τιμές του ιξώδους Kokini (στους $50s^{-1}$) των μιγμάτων παγωτού (στους $4^{\circ}C$) με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)

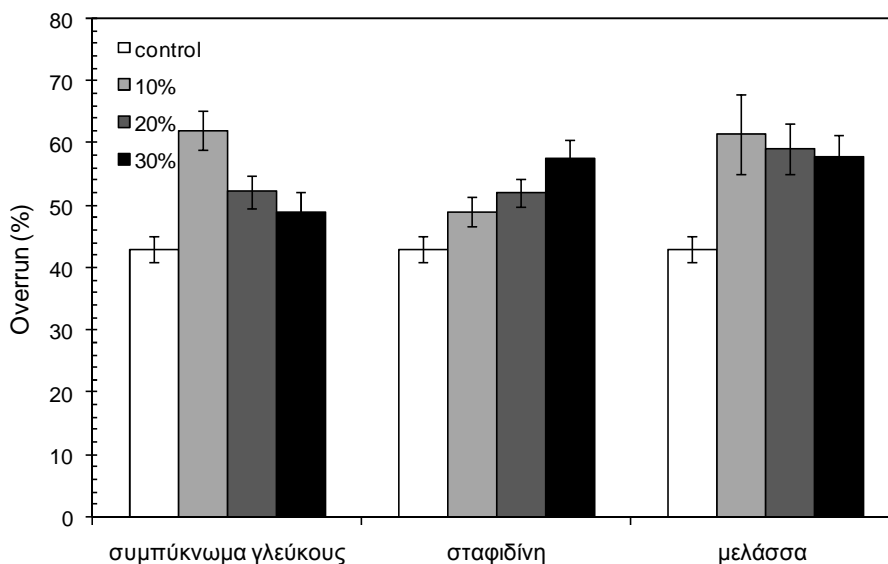


Σχήμα 6.3.7: Τιμές του ποσοστού θιξοτροπίας των μιγμάτων παγωτού (στους $4^{\circ}C$) με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)

6.3.2 Overrun

Στο σχήμα 6.3.8 παρουσιάζονται οι τιμές του ποσοστού ενσωμάτωσης αέρα στα δείγματα παγωτού. Όπως είναι φανερό η χρήση των εναλλακτικών σακχάρων ευνόησε την ενσωμάτωση του αέρα στο σύνολο των δειγμάτων. Παρόλα αυτά, η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης δεν επηρέασε σημαντικά τις τιμές του overrun των δειγμάτων. Αναφορικά με την επίδραση του είδους των εναλλακτικών σακχάρων, η προσθήκη μελάσσας οδήγησε στις υψηλότερες τιμές overrun (59.7%), ενώ το συμπύκνωμα γλεύκους και η σταφιδίνη εμφάνισαν σχεδόν ισοδύναμη συμπεριφορά (52.9 και 53.6% αντίστοιχα). Τα υψηλά ιξώδη των μιγμάτων παγωτού που περιείχαν εναλλακτικά σάκκαρα φαίνεται να σχετίζονται με τις υψηλές τιμές του overrun στα συγκεκριμένα δείγματα σε σχέση με τα control. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο, οι αυξημένοι ρυθμοί διάτμησης ευνοούν την αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων η οποία συμβάλλει στη σταθεροποίηση των

ενσωματωμένων φυσαλίδων αέρα. Οι υψηλές τιμές του overrun συνοδεύτηκαν με μείωση του μέσου μεγέθους των φυσαλίδων αέρα (Σχήμα 6.3.9), γεγονός που συνεπάγεται και τη θερμοδυναμική σταθερότητα της αφρώδους δομής των δειγμάτων παγωτού κατά τα στάδια της σκλήρυνσης και αποθήκευσης (Chang & Hartel 2002; Sofjan & Hartel 2004). Κατά συνέπεια η χρήση των εναλλακτικών σακχάρων μπορεί να προσφέρει και ένα θερμοδυναμικό φραγμό έναντι της συρρίκνωσης του παγωτού.



Σχήμα 6.3.8: Τιμές του ποσοστού ενσωμάτωσης αέρα των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)

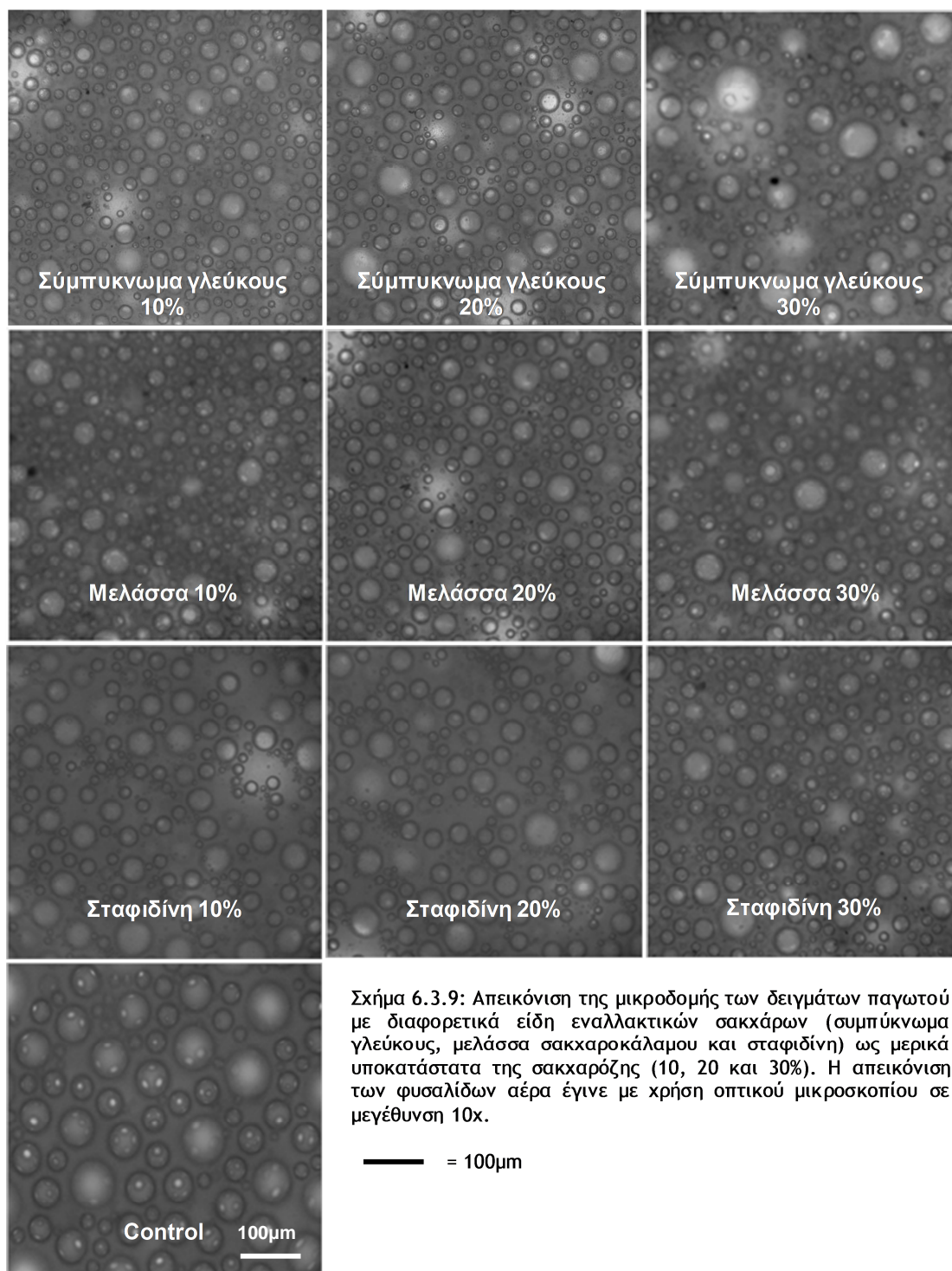
6.3.3 Θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού

Στα σχήματα 6.3.10 - 6.3.20 παρουσιάζονται οι καμπύλες τήξης των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - εναλλακτικών σακχάρων καθώς και των μιγμάτων παγωτού με σακχαρόζη ή εναλλακτικά σάκχαρα σε δύο ποσοστά υποκατάστασης (10 και 30%) όπως ελήφθησαν με εφαρμογή της τεχνικής θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC). Οι τιμές των θερμικών ιδιοτήτων όπως προσδιορίστηκαν από τις καμπύλες τήξης και κατάψυξης παρατίθενται στους πίνακες 6.3.1-6.3.3.

Σύμφωνα με τον πίνακα 6.3.1 τα δείγματα που περιείχαν συμπύκνωμα γλεύκους και σταφιδίνη εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας σημείου πήξης ($p < 0.05$) σε σχέση με το control. Αντίθετα, η προσθήκη μελάσσας δεν οδήγησε σε σημαντικές αλλαγές σε σχέση με το control δείγμα ($p > 0.05$). Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του αποτελεσματικού μοριακού βάρους, το συμπύκνωμα γλεύκους και η σταφιδίνη φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά τη θερμοφυσική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού κατά τρόπο ανάλογο με τα σύνθετα σάκχαρα, δεδομένου ότι οι τιμές του M_w είναι σημαντικά υψηλότερες από τα κύρια τα μοριακά βάρη των κύριων σακχάρων των μιγμάτων (σακχαρόζη και λακτόζη). Αντίθετα, στην περίπτωση της μελάσσας, διαφοροποίηση ως προς το μοριακό βάρος παρατηρείται μόνο στα υψηλά επίπεδα υποκατάστασης της σακχαρόζης. Κατά συνέπεια, η χρήση των εναλλακτικών σακχάρων στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος μπορεί να επηρεάσει τα φαινόμενα κρυστάλλωσης του νερού και την αρχική ποιότητα των κατεψυγμένων προϊόντων.

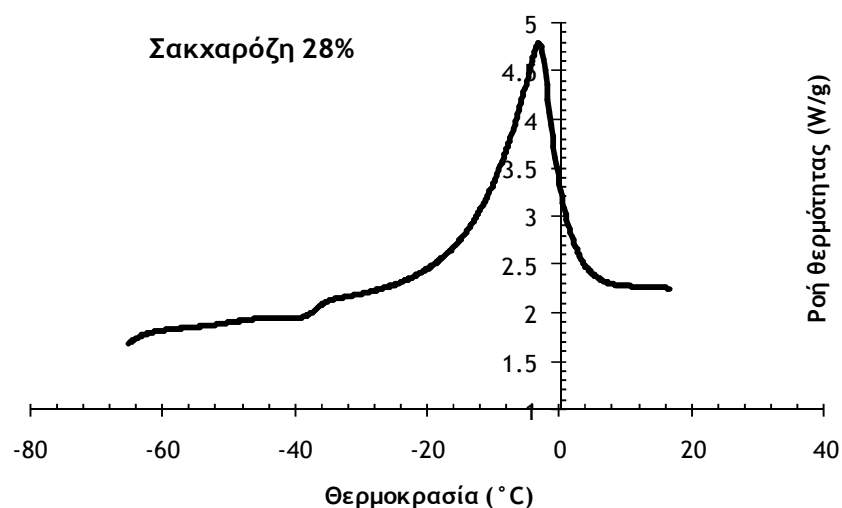
Τα δεδομένα της ενθαλπίας τήξης και των ποσοστών σχηματισμένου πάγου και του μη κρυσταλλώσιμου νερού (Πίνακας 6.3.2) υπέδειξαν ότι τα ποσοστά του κρυσταλλωμένου νερού ήταν σημαντικά υψηλότερα για τη σακχαρόζη στην περίπτωση των πρότυπων διαλυμάτων σε σχέση με τα μίγματα παγωτού. Αντίθετα, στην περίπτωση της σταφιδίνης και του

συμπύκνωματος γλεύκους τα ποσοστά κρυσταλλώσιμης υγρασίας ελαττώθηκαν στην περίπτωση των μιγμάτων.

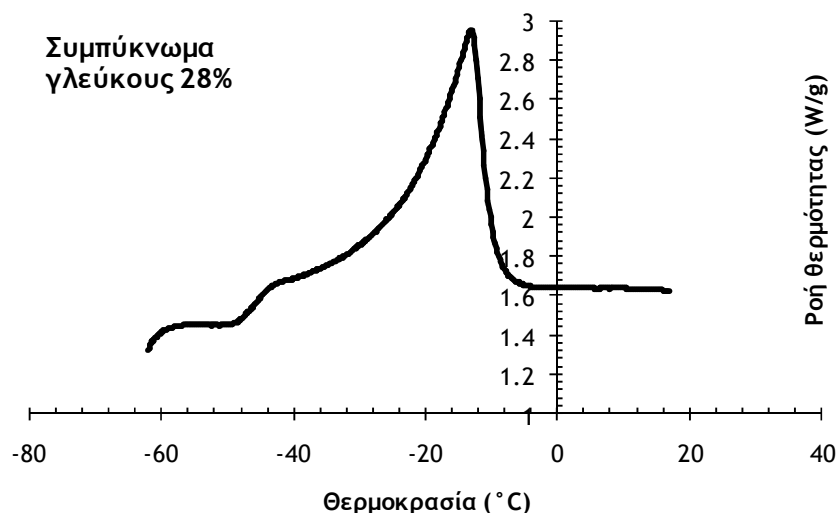


Μη αξιόλογες διαφορές παρατηρήθηκαν για την περίπτωση της μελάσσας. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η παρουσία των δεξτρινών στα εναλλακτικά σάκχαρα μπορεί να επηρεάσει τη θερμική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού, μεταβάλλοντας τα ποσοστά της κρυσταλλώσιμης υγρασίας και του κατεψυγμένου νερού. Παρά το γεγονός ότι τα μίγματα παγωτού με σταφιδίνη και συμπύκνωμα γλεύκους χαρακτηρίζονται από υψηλότερα ποσοστά κρυσταλλωμένου νερού σε σχέση με τα αντίστοιχα με σακχαρόζη ή μελάσσα (γεγονός που συμφωνεί με τις τιμές του σημείου πήξης των μιγμάτων), παρόλα αυτά το ποσοστό της μη

κρυσταλλώσιμης υγρασίας δεν αποτελεί πάντοτε έναν ασφαλή παράγοντα ποσοτικοποίησης της παρεχόμενης κρυσταλλώσιμης υγρασίας από ένα υλικό. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η αύξηση του ποσοστού της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας (η οποία μπορεί να οφείλεται στη δέσμευση νερού από τα υπάρχοντα βιοπολυμερή) δεν υποδεικνύει ελάττωση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης ή περιορισμό της μοριακής κινητικότητας του νερού (Hartel 2001; Herrera et al., 2007). Για το λόγο αυτό, ο προσδιορισμός του σημείου υαλώδους μετάπτωσης αποτελεί τον πιο ασφαλή τρόπο για τον έλεγχο της θερμοδυναμικής σταθερότητας των κατεψυγμένων γαλακτωμάτων με βάση τις θερμοφυσικές τους ιδιότητες.



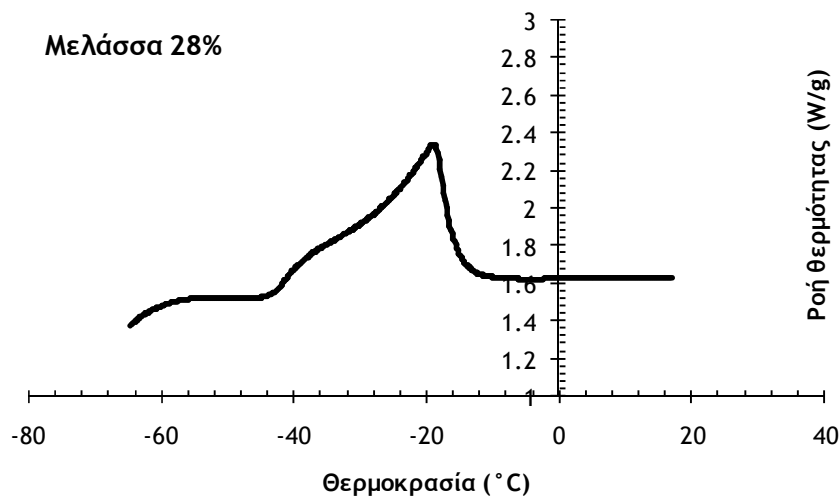
Σχήμα 6.3.10: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος σακχαρόζης 28% (w/w) με εφαρμογή της μεθόδου DSC



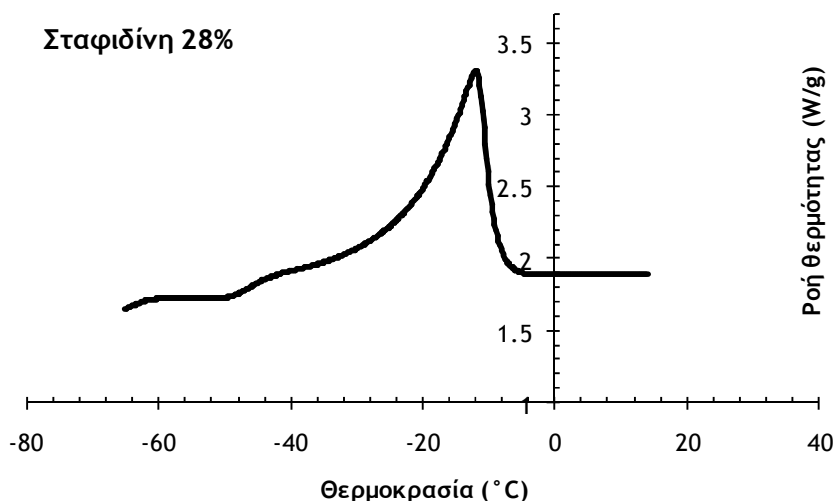
Σχήμα 6.3.11: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος συμπυκνώματος γλεύκους 28% (w/w) με εφαρμογή της μεθόδου DSC

Παρατηρώντας τις επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των εναλλακτικών σακχάρων στις τιμές του θερμοκρασιακού εύρους της καμπύλης τήξης (ΔT), διαπιστώνεται ότι το σύνολο των δειγμάτων παγωτού εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερες τιμές ΔT σε σχέση με το δείγμα που περιείχε σακχαρόζη. Κατά συνέπεια, η χρήση των εναλλακτικών σακχάρων μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση της ομογένειας της κατανομής μεγέθους των παγοκρυσταλλών, γεγονός το οποίο μπορεί να ευνοείται και από την ανύψωση της θερμοκρασίας του σημείου πήξης που παρατηρήθηκε στα συγκεκριμένα δείγματα. Είναι χαρακτηριστικό ότι αυξημένη

ομοιογένεια παγοκρυσταλλων παρατηρήθηκε και στην περίπτωση των πρότυπων διαλυμάτων σακχάρων.



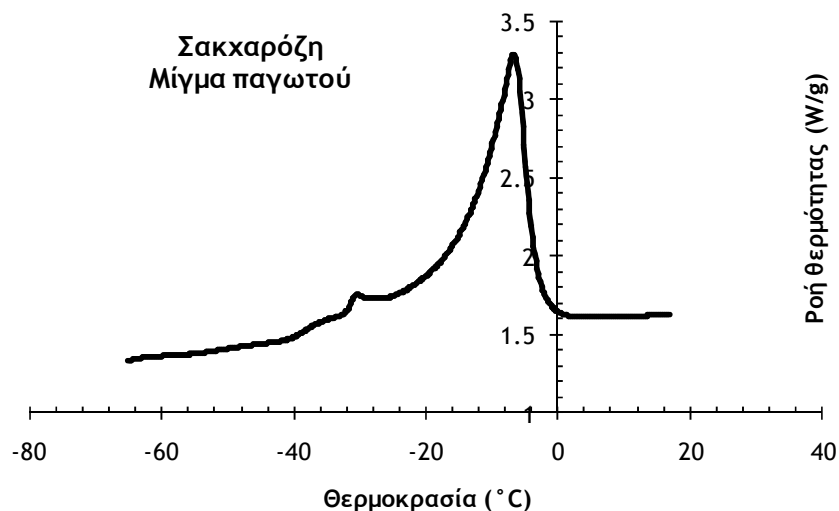
Σχήμα 6.3.12: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος μελάσσας σακχαροκάλαμου 28% (w/w) με εφαρμογή της μεθόδου DSC



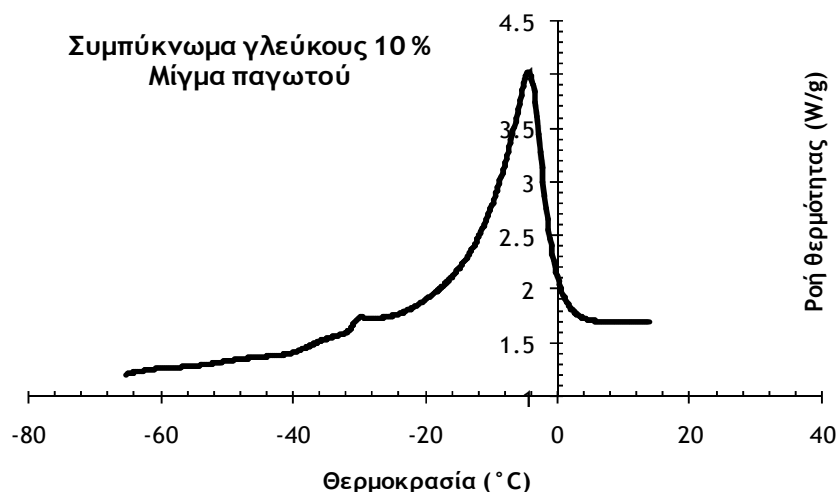
Σχήμα 6.3.13: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος σταφιδίνης 28% (w/w) με εφαρμογή της μεθόδου DSC

Οι επιδράσεις των εναλλακτικών σακχάρων στις θερμοκρασίες του σημείου υαλώδους μετάπτωσης φαίνονται στον πίνακα 6.3.3. Για το συγκεκριμένο πρωτόκολλο που εφαρμόστηκε δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του σημείου υαλώδους μετάπτωσης T_g , και για το λόγο αυτό στον πίνακα παρουσιάζονται μόνο οι τιμές της θερμοκρασίας έναρξης της τήξης (T_g'). Τα υδατικά διαλύματα των εναλλακτικών σακχάρων εμφάνισαν γενικά χαμηλότερα τιμές T_g' σε σχέση με το διάλυμα της σακχαρόζης, λόγω του υψηλού ποσοστού τους σε απλά σάκχαρα (σακχαρόζη, γλυκόζη, ιμβερτοποιημένα σάκχαρα).

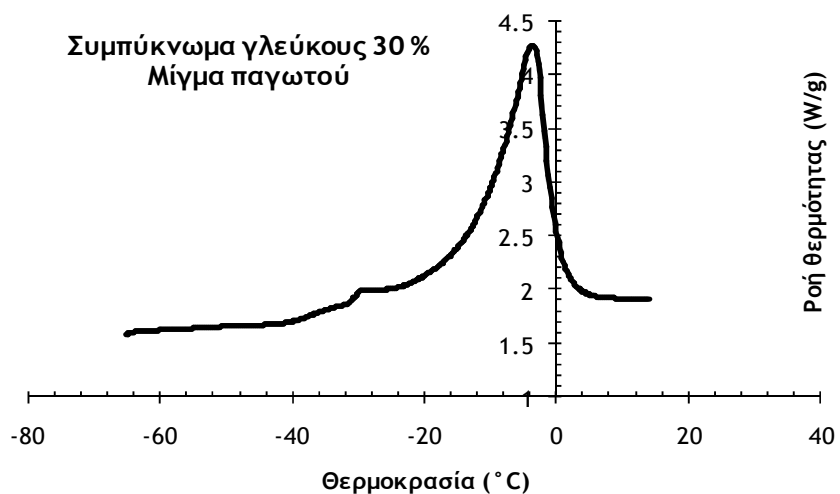
Στα μίγματα παγωτού, όπου το ποσοστό των ολικών σακχάρων ήταν χαμηλότερο, ήταν δυνατός ο προσδιορισμός τόσο του σημείου έναρξης της τήξης όσο και του σημείου υαλώδους μετάπτωσης. Όπως φαίνεται, η προσθήκη σταφιδίνης και συμπυκνώματος γλεύκους επέφεραν σημαντική ($p < 0.05$) άνοδο των τιμών T_g και T_g' . Στην περίπτωση της μελάσσας δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στις τιμές των T_g και T_g' σε σχέση με το control δείγμα.



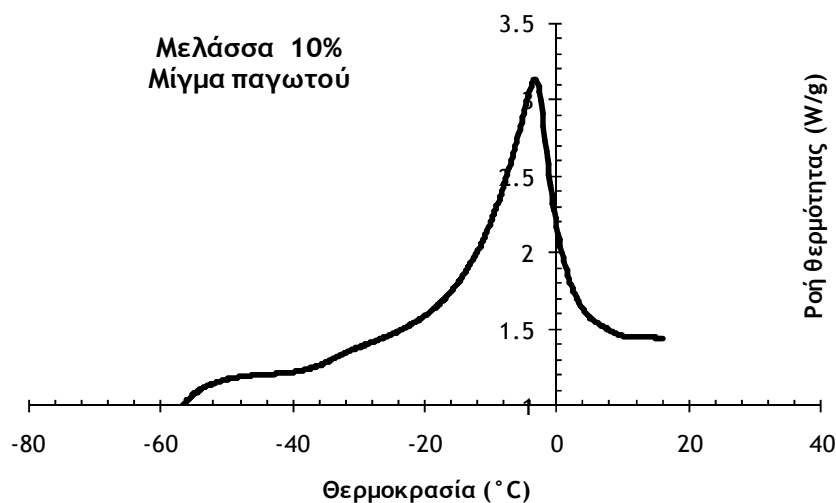
Σχήμα 6.3.14: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σακχαρόζη με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w)



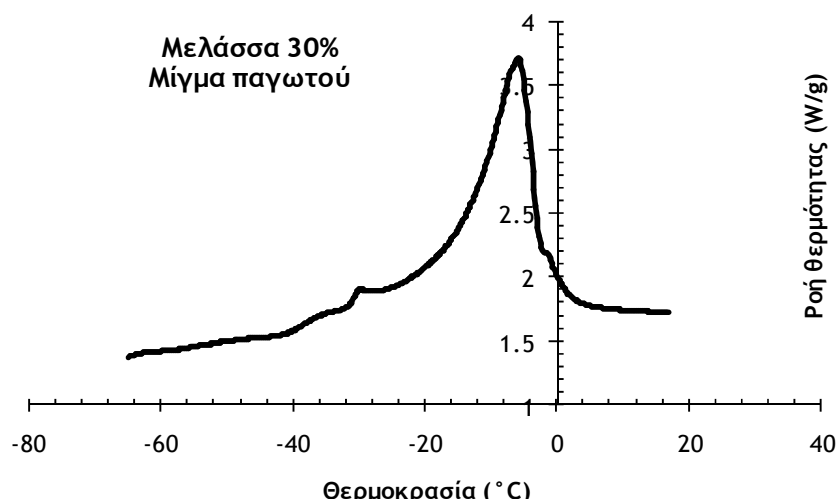
Σχήμα 6.3.15: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με συμπύκνωμα γλεύκους ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 10%)



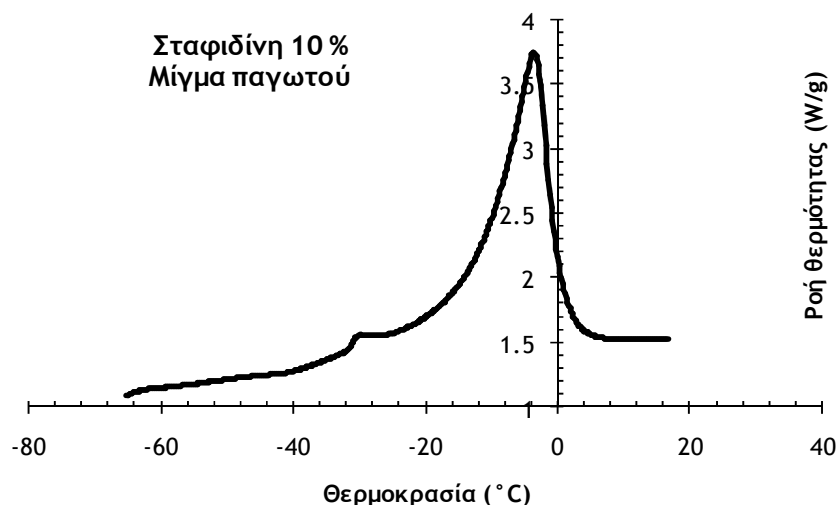
Σχήμα 6.3.16: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με συμπύκνωμα γλεύκους ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 30%)



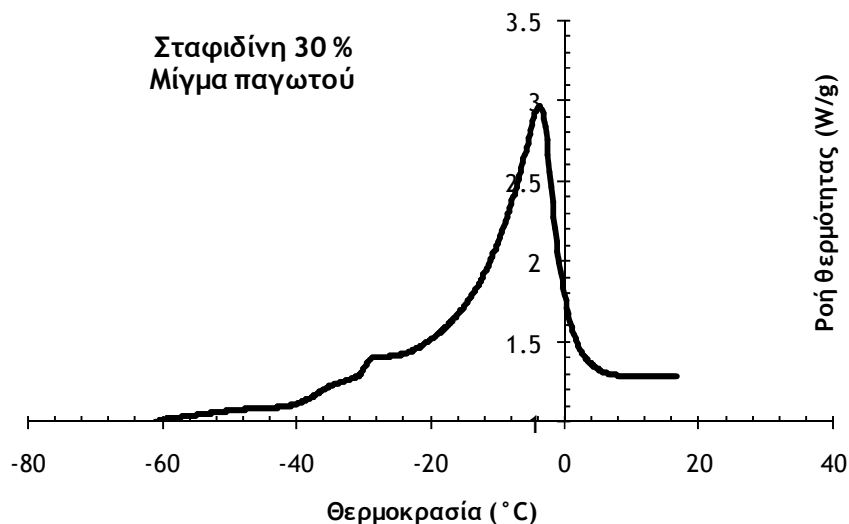
Σχήμα 6.3.17: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μελάσσα σακχαροκάλαμου ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 10%)



Σχήμα 6.3.18: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μελάσσα σακχαροκάλαμου ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 30%)



Σχήμα 6.3.19: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σταφιδίνη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 10%)



Σχήμα 6.3.20: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σταφιδίνη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 30%)

Έτσι, τα εναλλακτικά σάκχαρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δυνητικά υποκατάστατα της σακχαρόζης, αφού δεν επιφέρουν μείωση των θερμοκρασιών υαλώδους μετάπτωσης. Η αύξηση του T_g στην περίπτωση της σταφιδίνης και του συμπυκνώματος γλεύκους υποδεικνύει την αύξηση της θερμοδυναμικής σταθερότητας των συγκεκριμένων δειγμάτων έναντι της ανακρυστάλλωσης.

Δείγμα	Θερμοκρασία σημείου πήξης T _f (°C)	Αποτελεσματικό μοριακό βάρος (kgmol ⁻¹)	Θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης νερού T _{ice} (°C)
Σακχαρόζη 16%	-2.98 ±	342.9 ±	-26.07 ±
Σακχαρόζη/ Συμπ. γλεύκους 9:1	-3.00 ±	358.5 ±	-26.54 ±
Σακχαρόζη/ Συμπ. γλεύκους 7:3	-2.43 ±	469.9 ±	-22.33 ±
Σακχαρόζη/ Σταφιδίνη 9:1	-2.21 ±	489.9 ±	-23.02 ±
Σακχαρόζη/ Σταφιδίνη 7:3	-2.18 ±	524.9 ±	-29.36 ±
Σακχαρόζη/ Μελάσσα 9:1	-3.47 ±	326.1 ±	-28.78 ±
Σακχαρόζη/ Μελάσσα 7:3	-2.67 ±	403.7 ±	-27.18 ±

Πίνακας 6.3.1: Επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10 και 30%) στο σημείο πήξης, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης του νερού.

^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά (p<0.05) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

6.3.4 Χαρακτηριστικά τήξης

Στα σχήματα 6.3.21 και 6.3.22 παρουσιάζονται οι επιδράσεις του είδους των εναλλακτικών σακχάρων στα χαρακτηριστικά τήξης. Είναι φανερό ότι η προσθήκη του συμπυκνώματος γλεύκους και της σταφιδίνης επέφερε σημαντική μείωση (p<0.05) του ρυθμού τήξης (1.25 και 1.14 g*g⁻¹min⁻¹ αντίστοιχα) σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν σακχαρόζη ή μελάσσα (1.44 και 1.41g*g⁻¹min⁻¹ αντίστοιχα). Επιπλέον, ο χρόνος που απαιτείται για την πτώση της πρώτης σταγόνας τήγματος ήταν σημαντικά μεγαλύτερος στα δείγματα με συμπύκνωμα γλεύκους ή σταφιδίνη (1181 και 1208s αντίστοιχα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	ΔΗ (J/g)	Ποσότητα κρυσταλλωμένου νερού (g/g δείγματος)	Ποσοστό μη κρυσταλλωμένου νερού (%)	ΔΤ (°C)
<u>ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ</u>				
Σακχαρόζη 40%	184.1 ^A	0.552 ^C	8.0 ^A	37.3 ^B
Συμπ. γλεύκους 40%	116.5 ^C	0.349 ^A	41.8 ^C	45.0 ^A
Σταφιδίνη 40%	115.4 ^C	0.346 ^A	42.3 ^C	44.9 ^A
Μελάσσα 40%	150.9 ^B	0.452 ^B	24.6 ^B	38.6 ^B
<u>ΜΙΓΜΑΤΑ ΠΑΓΩΤΟΥ</u>				
Σακχαρόζη 16%	141.9 ^D	0.427 ^A	28.4 ^D	36.2 ^A
Σακχαρόζη/Συμπ. γλεύκους 9:1	160.7 ^A	0.481 ^D	19.2 ^A	41.5 ^C
Σακχαρόζη/Συμπ. γλεύκους 7:3	163.3 ^A	0.489 ^D	17.9 ^A	43.8 ^E
Σακχαρόζη/Σταφιδίνη 9:1	152.7 ^B	0.457 ^C	23.3 ^B	41.2 ^{BC}
Σακχαρόζη/Σταφιδίνη 7:3	141.3 ^C	0.423 ^B	29.0 ^B	43.4 ^E
Σακχαρόζη/Μελάσσα 9:1	142.8 ^C	0.427 ^B	28.4 ^B	40.6 ^B
Σακχαρόζη/Μελάσσα 7:3	146.7 ^{BC}	0.439 ^B	26.3 ^B	42.2 ^D

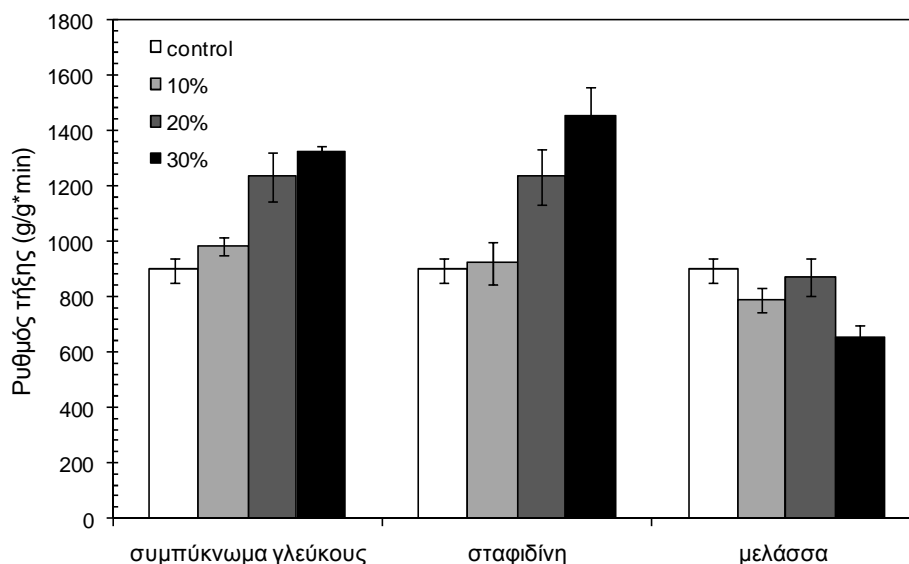
Πίνακας 6.3.2: Επίδραση των εναλλακτικών σακκάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10 και 30%) στην ενθάλπια τήξης, το ποσοστό κρυσταλλωμένου και μη κρυσταλλώσιμου νερού, και το θερμοκρασιακό εύρος της καμπύλης τήξης των μιγμάτων παγωτού και των πρότυπων υδατικών τους διαλυμάτων

^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

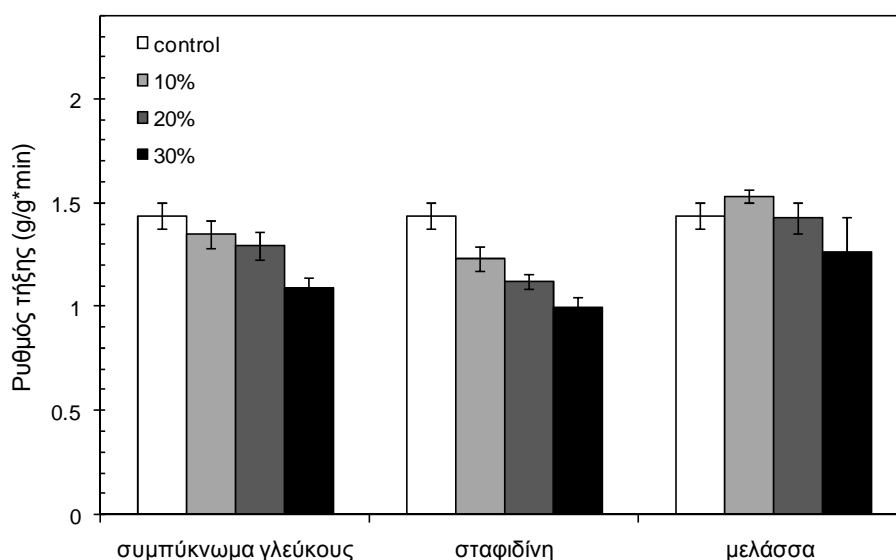
Δείγμα	T _{on} (°C)	T _g (°C)	T _{off} (°C)	T _m
<u>ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ</u>				
Σακχαρόζη 40%	-40.82	-	-33.41	-37.02 ^A ± 0.41
Συμπ. γλεύκους 40%	-50.11	-	-40.36	-45.01 ^C ± 0.08
Σταφιδίνη 40%	-52.88	-	-40.26	-46.31 ^D ± 0.33
Μελάσσα 40%	-47.62	-	-37.48	-41.80 ^B ± 0.58
<u>ΜΙΓΜΑΤΑ ΠΑΓΩΤΟΥ</u>				
Σακχαρόζη 16%	-42.66	-38.69 ^C ± 0.21	-34.87	-31.4 ^D ± 0.2
Σακχαρόζη/Συμπ. γλεύκους 9:1	-41.37	-37.32 ^{AB} ± 0.23	-33.03	-31.0 ^C ± 0.2
Σακχαρόζη/Συμπ. γλεύκους 7:3	-41.74	-37.59 ^B ± 0.12	-33.12	-30.6 ^B ± 0.1
Σακχαρόζη/Σταφιδίνη 9:1	-42.21	-36.44 ^A ± 0.32	-32.43	-30.8 ^{BC} ± 0.1
Σακχαρόζη/Σταφιδίνη 7:3	-42.95	-36.99 ^A ± 0.19	-32.37	-29.9 ^A ± 0.1
Σακχαρόζη/Μελάσσα 9:1	-43.07	-38.18 ^C ± 0.18	-34.98	-31.2 ^{CD} ± 0.2
Σακχαρόζη/Μελάσσα 7:3	-43.54	-38.41 ^C ± 0.23	-34.77	-30.7 ^{BC} ± 0.3

Πίνακας 6.3.3: Επίδραση των εναλλακτικών σακκάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10 και 30%) στις θερμοκρασίες του σημείου υαλώδους μετάπτωσης (T_g) και έναρξης της τήξης (T_m)

^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison



Πίνακας 6.3.21: Τιμές του χρόνου πτώσης της 1^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (σμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)



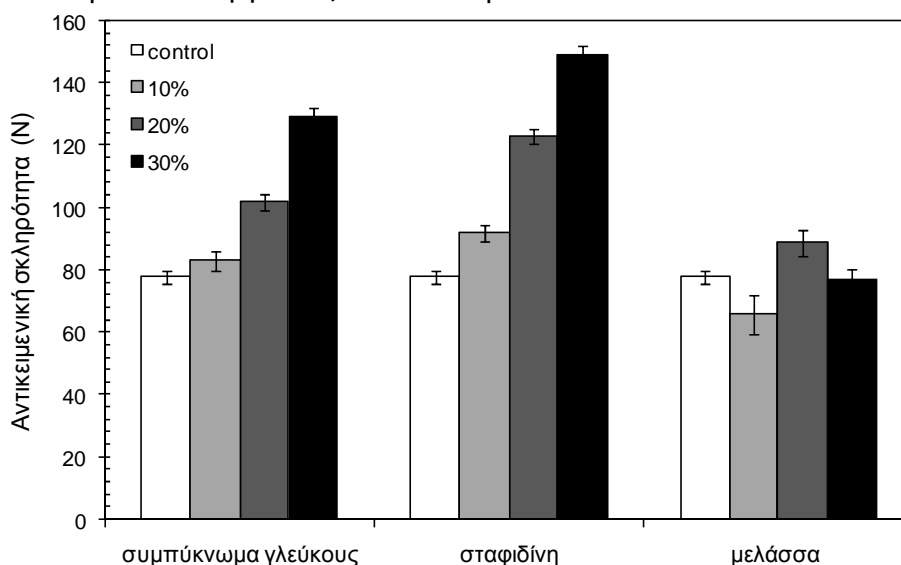
Πίνακας 6.3.22: Τιμές του ρυθμού τήξης των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (σμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)

Αναφορικά με την επίδραση του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης, αυτή ήταν σημαντική μόνο για τους ρυθμούς τήξης ($p < 0.001$). Η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης επέφερε σημαντική μείωση του ρυθμού τήξης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα χαρακτηριστικά τήξης του παγωτού επηρεάζονται καθοριστικά από τα δομικά χαρακτηριστικά του (φουσαλίδες αέρα, αποσταθεροποιημένα λιποσφαιρία) αλλά και από τα θερμικά του χαρακτηριστικά (σημείο πήξης, σημείο έναρξης τήξης και ποσοστό σχηματισμένου πάγου) οι επιδράσεις που παρατηρήθηκαν στην περίπτωση των εναλλακτικών σακχάρων είναι αναμενόμενες. Τα εναλλακτικά σάκχαρα που οδήγησαν σε ανύψωση των τιμών της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης παρουσίασαν την υψηλότερη αντοχή έναντι της τήξης και τους μικρότερους ρυθμούς τήξης.

6.3.5 Αντικειμενική σκληρότητα

Στα σχήματα 6.3.23 και 6.3.24 παρουσιάζονται οι επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των εναλλακτικών σακχάρων στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στις 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης στους -26°C . Τα δείγματα που περιείχαν συμπύκνωμα γλεύκους και σταφιδίνη χαρακτηρίζονταν από σημαντικά υψηλότερες τιμές σκληρότητας (104 και 121N αντίστοιχα) σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν μελάσσα και σακχαρόζη. Η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης οδήγησε σε αύξηση της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού ($p < 0.05$).

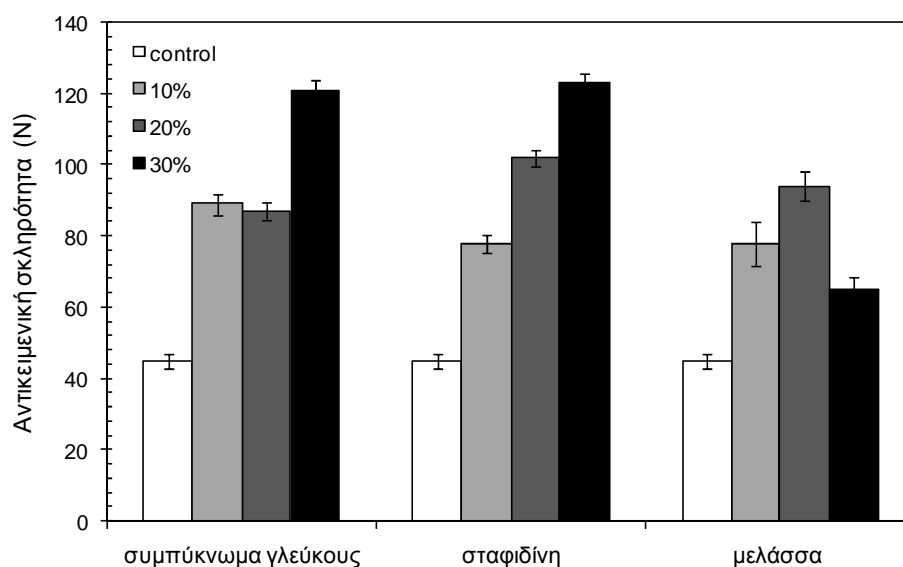
Είναι χαρακτηριστικό ότι οι τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων είναι σημαντικά υψηλότερες από τις τιμές των τυπικών δειγμάτων παγωτού. Η αυξημένη σκληρότητα των προϊόντων παγωτού με την προσθήκη κακάο γενικά έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία (Prindiville et al., 1999; Ji et al., 1998). Η σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού επηρεάζεται από τις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων, αλλά και από το overrun. Στην παρούσα μελέτη η σκληρότητα των δειγμάτων φάνηκε πως επηρεάστηκε περισσότερο από τις θερμικές ιδιότητές τους, παρά από την αφρώδη δομή τους. Επιπλέον, είναι χαρακτηριστικό ότι οι υψηλές τιμές της σκληρότητας στην περίπτωση του παγωτού με εναλλακτικά σάκκαρα σχετίστηκε με αποδεκτά χαρακτηριστικά υφής (βλ. 6.3.6), γεγονός που είναι σε συμφωνία και με τις θερμικές ιδιότητες (T_g' και T_f). Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης συνεπάγεται την αύξηση της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε σύνθετα σάκκαρα και δεξτρίνες, η αυξημένη σκληρότητα των δειγμάτων υποδηλώνει και την αυξημένη κομμωδή υφή τους, παρατήρηση η οποία επιβεβαιώθηκε και από τα αποτελέσματα των οργανοληπτικών δοκιμών.



Πίνακας 6.3.23: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%) αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες

Η αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού μετά από 16 εβδομάδες αποθήκευσης παρουσίασε ελάττωση. Συγκρίνοντας τους μέσους όρους της αντικειμενικής σκληρότητας στις 4 και 16 εβδομάδες με T-test διαπιστώθηκε ότι η σκληρότητα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης ελαττώθηκε σημαντικά ($p < 0.05$). Η μείωση της σκληρότητας των δειγμάτων υποδεικνύει την εμφάνιση φαινομένων ανακρυστάλλωσης τα οποία αυξάνουν την εύθρυπη υφή εξαιτίας της ανάπτυξης φολιδωτών παγοκρυστάλλων. Αναφορικά με την επίδραση του είδους των εναλλακτικών σακχάρων στην αντικειμενική σκληρότητα, το συμπύκνωμα γλεύκους και η σταφιδίνη οδήγησαν σε υψηλότερες τιμές ($p < 0.01$) αντικειμενικής σκληρότητας σε σχέση με τη μελάσσα. Κατά συνέπεια οι μεταβολές της σκληρότητας (ως

έμμεση ένδειξη ανακρυστάλλωσης) συνδέονται με τις ιδιότητες των θερμικών μεταπτώσεων, αλλά και με τις τιμές του θερμοκρασιακού εύρους της καμπύλης τήξης των δειγμάτων παγωτού: τα δείγματα που χαρακτηρίζονταν από υψηλές τιμές T_g , T_g' και ΔT ήταν τα λιγότερο ευπαθή (άρα τα θερμοδυναμικώς σταθερότερα) έναντι της ανακρυστάλλωσης. Στη δράση αυτή συνέβαλαν η μειωμένη μοριακή κινητικότητα του νερού (στα δείγματα με συμπύκνωμα γλεύκους και σταφιδίνη) και η ομοιογένεια μεγέθους των παγοκρυσταλλών (Miller-Linvey & Hartel 1997; Hagiwara and Hartel 1996; Herrera et al., 2007; Alvarez et al., 2005).



Πίνακας 6.3.24: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%) αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες

6.3.6 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Οι επιδράσεις των εναλλακτικών σακχάρων στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 και 16 εβδομάδες παρουσιάζονται στους πίνακες 6.3.4 και 6.3.5 αντίστοιχα. Στον πίνακα 6.3.6 εμφανίζονται οι κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων (είδος σακχάρου, ποσοστό υποκατάστασης και χρόνος αποθήκευσης) στις επιμέρους οργανοληπτικές ιδιότητες. Το είδος του εναλλακτικού σακχάρου που χρησιμοποιήθηκε ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης ήταν ο πιο κρίσιμος παράγοντας που επηρέασε το σύνολο των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Έτσι, η προσθήκη της σταφιδίνης οδήγησε στις υψηλότερες τιμές χρώματος και λιπαρότητας, καθώς και στις χαμηλότερες τιμές σκληρότητας στο κουτάλι και ευθρυπτότητας. Η προσθήκη συμπυκνώματος γλεύκους οδήγησε στις υψηλότερες τιμές κρεμώδους υφής, και στις χαμηλότερες τιμές ξινή γεύσης και αίσθησης πάγου. Επιπλέον, για ένα σημαντικό αριθμό ιδιοτήτων η επίδραση του συμπυκνώματος γλεύκους και της σταφιδίνης ήταν ισοδύναμο (γλυκό, πικρό, άρωμα σοκολάτας, τραχύ, κομμιώδες, υδαρές). Η υποκατάσταση της σακχαρόζης από μελάσσα δεν επέφερε σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά υφής σε σχέση με τα control δείγματα, ενώ οι επιδράσεις στη γεύση ήταν περισσότερο εμφανείς (αυξημένη οξύτητα, υποβαθμισμένο άρωμα σοκολάτας, μείωση της γλυκιάς γεύσης). Το ποσοστό υποκατάστασης της σακχαρόζης επηρέασε επίσης ένα σημαντικό αριθμό ιδιοτήτων υφής και αρώματος. Ο τρόπος επίδρασης του ποσοστού υποκατάστασης συνδέεται με τα επιμέρους ποιοτικά χαρακτηριστικά των καθαρών εναλλακτικών σακχάρων καθώς και με την επίδρασή τους στις φυσικοχημικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΔΕΙΓΜΑ	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα σοκολάτας	Πικρό	Ξινό	Σκληρό (K)	Τραχύ (K)	Εύθρυπτο (K)
Σακκάροζη	5.9 ± 0.2	6.2 ± 0.1	7.1 ± 0.2	2.3 ± 0.2	0.0 ± 0.0	5.1 ± 0.3	3.4 ± 0.2	3.2 ± 0.2
Συμπύκνωμα γλεύκους 10%	5.7 ± 0.2	6.1 ± 0.5	6.6 ± 0.2	3.2 ± 0.2	1.1 ± 0.2	5.0 ± 0.3	2.4 ± 0.2	3.1 ± 0.2
Συμπύκνωμα γλεύκους 20%	6.5 ± 0.1	6.6 ± 0.2	7.2 ± 0.1	3.1 ± 0.3	1.2 ± 0.4	5.2 ± 0.3	2.5 ± 0.2	2.2 ± 0.2
Συμπύκνωμα γλεύκους 30%	8.1 ± 0.3	6.5 ± 0.3	6.8 ± 0.2	4.2 ± 0.3	1.2 ± 0.3	6.8 ± 0.5	2.1 ± 0.1	1.8 ± 0.1
Σταφιδίνη 10%	6.0 ± 0.3	6.1 ± 0.1	6.4 ± 0.3	2.7 ± 0.3	1.7 ± 0.2	5.2 ± 0.2	2.7 ± 0.3	2.1 ± 0.3
Σταφιδίνη 20%	7.4 ± 0.1	6.8 ± 0.2	6.9 ± 0.2	3.8 ± 0.2	1.9 ± 0.1	6.0 ± 0.5	2.1 ± 0.2	2.0 ± 0.4
Σταφιδίνη 30%	8.2 ± 0.2	6.4 ± 0.2	7.6 ± 0.1	4.6 ± 0.4	2.1 ± 0.3	7.1 ± 0.3	2.0 ± 0.3	1.7 ± 0.3
Μελάσσα 10%	5.2 ± 0.3	4.4 ± 0.2	7.0 ± 0.2	2.3 ± 0.2	2.4 ± 0.2	4.8 ± 0.3	6.1 ± 0.1	5.8 ± 0.2
Μελάσσα 20%	6.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	5.7 ± 0.3	2.6 ± 0.3	2.5 ± 0.2	4.7 ± 0.2	6.2 ± 0.2	5.7 ± 0.3
Μελάσσα 30%	7.7 ± 0.3	5.3 ± 0.1	4.3 ± 0.3	2.3 ± 0.1	3.0 ± 0.1	5.8 ± 0.3	6.6 ± 0.3	4.6 ± 0.1
ΔΕΙΓΜΑ	Κομμιώδες (K)	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Υδαρές	Κρεμώδες	Λιπαρό	
Σακκάροζη	3.4 ± 0.2	6.3 ± 0.5	6.4 ± 0.1	4.0 ± 0.0	4.1 ± 0.2	6.4 ± 0.3	4.3 ± 0.1	
Συμπύκνωμα γλεύκους 10%	5.2 ± 0.3	4.0 ± 0.3	4.4 ± 0.2	2.4 ± 0.2	5.0 ± 0.2	7.8 ± 0.3	5.8 ± 0.2	
Συμπύκνωμα γλεύκους 20%	6.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	2.5 ± 0.2	4.7 ± 0.3	7.7 ± 0.2	5.7 ± 0.3	
Συμπύκνωμα γλεύκους 30%	7.7 ± 0.3	5.6 ± 0.1	5.3 ± 0.1	3.0 ± 0.1	4.3 ± 0.3	7.8 ± 0.3	4.6 ± 0.1	
Σταφιδίνη 10%	5.7 ± 0.3	6.1 ± 0.2	4.7 ± 0.1	3.7 ± 0.5	4.2 ± 0.2	6.6 ± 0.3	6.3 ± 0.2	
Σταφιδίνη 20%	6.1 ± 0.2	6.3 ± 0.4	4.2 ± 0.3	3.9 ± 0.3	4.7 ± 0.4	7.3 ± 0.2	6.5 ± 0.3	
Σταφιδίνη 30%	7.1 ± 0.4	6.7 ± 0.3	3.8 ± 0.4	3.6 ± 0.2	4.0 ± 0.0	7.7 ± 0.1	6.4 ± 0.1	
Μελάσσα 10%	3.1 ± 0.2	5.7 ± 0.3	6.1 ± 0.2	4.1 ± 0.1	6.2 ± 0.2	6.0 ± 0.1	3.1 ± 0.2	
Μελάσσα 20%	2.3 ± 0.2	6.6 ± 0.2	6.7 ± 0.1	5.7 ± 0.2	5.0 ± 0.2	6.4 ± 0.3	5.1 ± 0.1	
Μελάσσα 30%	2.1 ± 0.1	6.8 ± 0.2	6.0 ± 0.3	4.1 ± 0.3	5.2 ± 0.3	6.3 ± 0.2	5.9 ± 0.3	

Πίνακας 6.3.4: Επίδραση των εναλλακτικών σακκάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%) στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες

^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά (p<0.05) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

Η αύξηση της πικρής γεύσης των δειγμάτων παγωτού κατά την προσθήκη της σταφιδίνης και του συμπυκνώματος γλεύκους αποδίδεται κατά κύριο λόγο στη σημαντική τους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

περιεκτικότητα σε προϊόντα καρεμελοποίησης που σχηματίζονται κατά τα στάδια συμπύκνωσής τους αλλά και τις ταννίνες (Soukoulis and Tzia 2009; Gogus et al., 1998; Haight & Gump 1995). Έτσι η πικρή γεύση που προέρχεται από τις φαινολικές ενώσεις και τις ταννίνες που περιέχονται φυσικά στο κακάο ενισχύεται περαιτέρω από την παρουσία των συγκεκριμένων εναλλακτικών σακχάρων (Drewnoski & Gomez-Carneros 2000).

ΔΕΙΓΜΑ	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα σοκολάτας	Πικρό	Ξινό	Σκληρό (K)	Τραχύ (K)	Εύθρυπτο (K)
Σακχάρωση	5.9 ± 0.3	6.2 ± 0.3	7.1 ± 0.4	2.3 ± 0.1	0.0 ± 0.0	5.1 ± 0.3	3.4 ± 0.2	3.2 ± 0.2
Συμπύκνωμα γλεύκους 10%	5.7 ± 0.2	6.1 ± 0.5	6.6 ± 0.2	3.2 ± 0.2	1.1 ± 0.2	5.0 ± 0.3	2.4 ± 0.2	3.1 ± 0.2
Συμπύκνωμα γλεύκους 20%	6.5 ± 0.1	6.6 ± 0.2	7.2 ± 0.1	3.5 ± 0.3	1.2 ± 0.4	5.2 ± 0.3	2.5 ± 0.3	2.2 ± 0.2
Συμπύκνωμα γλεύκους 30%	8.1 ± 0.3	6.5 ± 0.3	6.8 ± 0.2	4.2 ± 0.3	1.2 ± 0.3	6.8 ± 0.5	2.1 ± 0.2	1.8 ± 0.1
Σταφιδίνη 10%	6.0 ± 0.0	6.1 ± 0.1	6.4 ± 0.3	2.7 ± 0.3	1.7 ± 0.2	5.2 ± 0.3	2.7 ± 0.4	2.1 ± 0.3
Σταφιδίνη 20%	7.4 ± 0.3	6.8 ± 0.2	6.9 ± 0.2	3.8 ± 0.3	1.9 ± 0.2	6.0 ± 0.2	2.1 ± 0.2	2.0 ± 0.4
Σταφιδίνη 30%	8.2 ± 0.3	6.4 ± 0.3	7.6 ± 0.1	4.6 ± 0.4	2.1 ± 0.3	7.1 ± 0.2	2.0 ± 0.2	1.7 ± 0.3
Μελάσσα 10%	5.2 ± 0.3	4.4 ± 0.2	7.0 ± 0.3	2.3 ± 0.2	2.4 ± 0.2	4.8 ± 0.3	6.1 ± 0.1	5.8 ± 0.3
Μελάσσα 20%	6.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	5.7 ± 0.3	2.6 ± 0.3	2.5 ± 0.3	4.7 ± 0.2	6.2 ± 0.3	5.7 ± 0.3
Μελάσσα 30%	7.7 ± 0.3	5.3 ± 0.1	4.3 ± 0.3	2.3 ± 0.1	3.0 ± 0.1	5.8 ± 0.3	6.6 ± 0.3	4.6 ± 0.1

ΔΕΙΓΜΑ	Κορμιώδες (K)	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Υδαρές	Κρεμώδες	Λιπαρό
Σακχάρωση	3.4 ± 0.2	6.3 ± 0.3	6.4 ± 0.2	4.0 ± 0.2	4.1 ± 0.2	6.4 ± 0.3	4.3 ± 0.2
Συμπύκνωμα γλεύκους 10%	5.2 ± 0.3	4.0 ± 0.3	4.4 ± 0.2	2.4 ± 0.2	5.0 ± 0.2	7.8 ± 0.3	5.8 ± 0.2
Συμπύκνωμα γλεύκους 20%	6.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	2.5 ± 0.2	4.7 ± 0.3	7.7 ± 0.2	5.7 ± 0.3
Συμπύκνωμα γλεύκους 30%	7.7 ± 0.3	5.6 ± 0.1	5.3 ± 0.1	3.0 ± 0.1	4.3 ± 0.3	7.8 ± 0.3	4.6 ± 0.1
Σταφιδίνη 10%	5.7 ± 0.3	6.1 ± 0.2	4.7 ± 0.1	3.7 ± 0.2	4.2 ± 0.5	6.6 ± 0.2	6.3 ± 0.3
Σταφιδίνη 20%	6.1 ± 0.1	6.3 ± 0.2	4.2 ± 0.3	3.9 ± 0.5	4.7 ± 0.2	7.3 ± 0.3	6.5 ± 0.2
Σταφιδίνη 30%	7.1 ± 0.3	6.7 ± 0.3	3.8 ± 0.2	3.6 ± 0.3	4.0 ± 0.3	7.7 ± 0.2	6.4 ± 0.3
Μελάσσα 10%	3.1 ± 0.2	5.7 ± 0.3	6.1 ± 0.2	4.1 ± 0.1	6.2 ± 0.2	6.0 ± 0.2	3.1 ± 0.2
Μελάσσα 20%	2.3 ± 0.2	6.6 ± 0.2	6.7 ± 0.1	5.7 ± 0.2	5.0 ± 0.2	6.4 ± 0.3	5.1 ± 0.1
Μελάσσα 30%	2.1 ± 0.1	6.8 ± 0.2	6.0 ± 0.3	4.1 ± 0.3	5.2 ± 0.3	6.3 ± 0.2	5.9 ± 0.3

Πίνακας 6.3.5: Επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%) στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26 °C για 16 εβδομάδες

^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά (p<0.05) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

Η ενίσχυση της ξινή γεύσης των δειγμάτων κατά την προσθήκη της μελάσσας, αλλά και σε μικρό βαθμό κατά την προσθήκη της σταφιδίνης αποδίδεται στην περιεκτικότητά τους σε οργανικά οξέα: προπιονικό, οξικό, μυρμηκικό, βουτυρικό (Papadakis et al., 1998; Belitz et al., 2004). Η προσθήκη των εναλλακτικών σακχάρων συνέβαλε καθοριστικά στον περιορισμό της τραχιάς υφής. Η επίδραση φαίνεται να συμφωνεί με τις επιδράσεις τους στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού. Αυτό σημαίνει ότι τα εναλλακτικά σάκκαρα μπορούν να περιορίσουν τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης στα δείγματα παγωτού, ενώ η μείωση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης βάσει της οργανοληπτικά αποτιμώμενης τραχύτητας είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση της σταφιδίνης και του συμπυκνώματος γλεύκους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η κρεμώδης υφή των δειγμάτων παγωτού έλαβε τις μεγαλύτερες τιμές στην περίπτωση της προσθήκης του συμπυκνώματος γλεύκους και όχι της σταφιδίνης (όπως πιθανά να αναμενόταν βάσει των θερμικών τους χαρακτηριστικών). Η εξήγηση για τη συγκεκριμένη επίδραση αυτή φαίνεται να βρίσκει βάση στη σύνθετη φύση του τρόπου με τον οποίο η κρεμώδης υφή γίνεται αντιληπτή, ιδιαίτερα σε σύνθετα συστήματα επιδόρπιων γάλακτος που χαρακτηρίζονται από διαφορετικά δομικά χαρακτηριστικά και πολύπλοκη κατατομή αρώματος (de Wijk et al., 2003a; de Wijk et al., 2003b; Soukoulis & Tzia 2009; Prinz et al., 2000; Dresselhuys et al., 2009; Vingerhoeds et al., 2008; de Wijk et al., 2006; Aprea et al., 2006)

Οργανοληπτικό χαρακτηριστικό	Είδος εναλλακτικού σακχάρου	Ποσοστό υποκατάστασης σακχαρόζης	Χρόνος αποθήκευσης
Χρώμα	+++	+++	NS
Γλυκό	+++	+	NS
Άρωμα σοκολάτας	+	NS	NS
Πικρό	+++	+++	NS
Ξινό	+++	+	+
Σκληρό (Κ)	+++	+++	+
Τραχύ (Κ)	+++	NS	++
Εύθρυπτο	+++	+++	++
Κομμώδης (Κ)	+++	+	+
Αίσθηση πάγου	+++	+	+
Σκληρό	++	NS	NS
Τραχύ	++	NS	+
Υδαρές	+++	+	+
Κρεμώδης	+++	++	++
Λιπαρό	+++	+	+

Πίνακας 6.3.6: Κύριες επιδράσεις του είδους των εναλλακτικών σακχάρων, του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης και του χρόνου αποθήκευσης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού

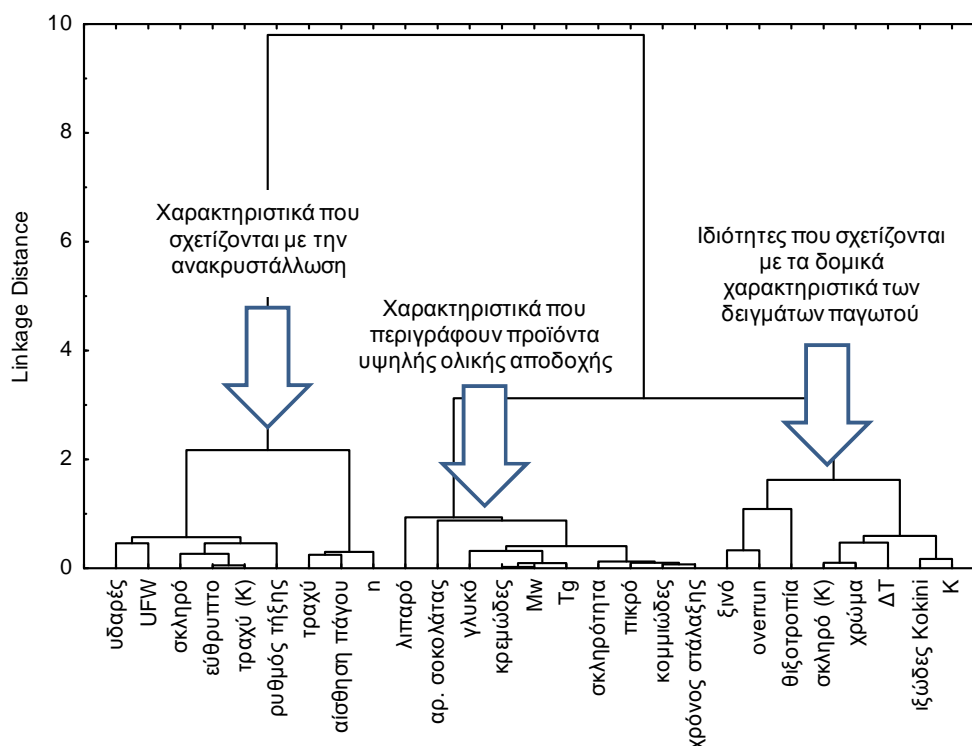
+ = $p < 0.05$, ++ = $p < 0.01$, +++ = $p < 0.001$, NS = μη σημαντική επίδραση

Προκειμένου να διερευνηθούν περαιτέρω οι αλληλεπιδράσεις των χαρακτηριστικών υφής - αρώματος αλλά και η συμμετοχή των φυσικοχημικών και θερμοφυσικών παραγόντων στην εκτιμώμενη ποιότητα των δειγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκκαρα, οι τιμές των αντικειμενικών και των οργανοληπτικών μετρήσεων υποβλήθηκαν σε πολυπαραμετρικές τεχνικές ανάλυσης.

Σύμφωνα με το σχήμα 6.3.25 τα δείγματα με υψηλό ποσοστό μη κρυστάλλωσης υγρασίας, υψηλούς ρυθμούς τήξης και μικρή απόκλιση από τη νευτωνική συμπεριφορά, συνδέονται με τραχιά, εύθρυπτη και υδαρή υφή. Η παρατήρηση αυτή υποδεικνύει έμμεσα την επίδραση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης στη σταθερότητα της ποιότητας των δειγμάτων παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Γενικά, οι χαμηλές τιμές του σημείου υαλώδους μετάπτωσης συνδέονται με δυσκολότερη επίτευξη της μέγιστης κρυστάλλωσης του νερού,

αλλά και με χαμηλή αλληλεπίδραση μεταξύ των βιοπολυμερών (σχηματισμός πλεγμάτων, αλύσων, πηγμάτων) κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης λόγω κατάψυξης (Kasapis 2006).

Οι προηγούμενες παρατηρήσεις βρίσκουν επίσης υποστήριξη στη δεύτερη ομάδα ιδιοτήτων οι οποίες περιλαμβάνουν ένα σημαντικό αριθμό από ποιοτικά χαρακτηριστικά (οργανοληπτικά) τα οποία περιγράφουν ένα προϊόν υψηλής αποδοχής. Είναι φανερό ότι το σημείο υαλώδους μετάπτωσης και η θερμοκρασία του σημείου πήξης (άμεσα σχετιζόμενου με το αποτελεσματικό μοριακό βάρος), αποτελούν τους πλέον κρίσιμους παράγοντες για την εξασφάλιση υψηλής αποδοχής προϊόντων με εναλλακτικά σάκχαρα (κρεμώδες, γεύση σοκολάτας, κομμιώδες). Η γλυκιά και πικρή γεύση συνδέονται επίσης με τις θερμικές ιδιότητες, γεγονός που υποδεικνύει την άμεση εξάρτηση της θερμικής συμπεριφοράς των εναλλακτικών σακχάρων με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

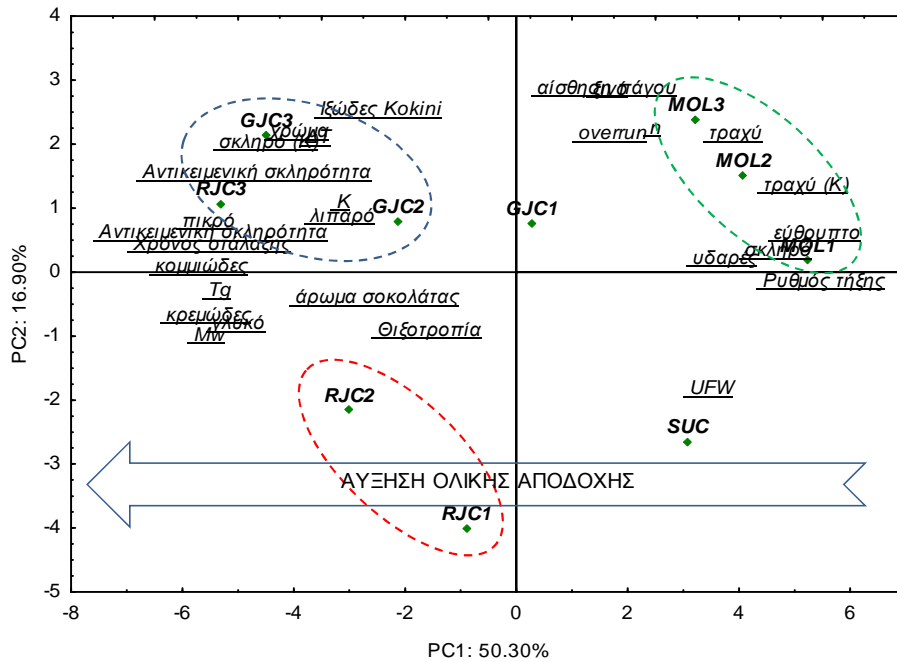


Σχήμα 6.3.25: Ανάλυση ομαδοποίησης (cluster analysis) για το σύνολο δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες, για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των αντικειμενικών μετρήσεων (μιγμάτων και παγωτού) και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

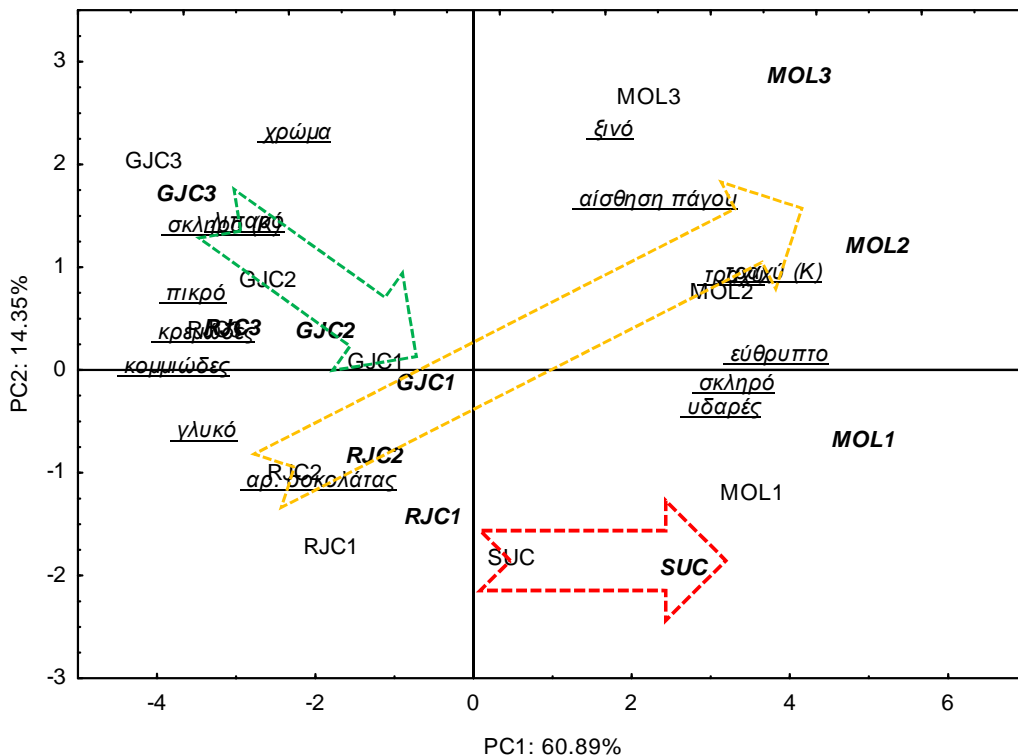
Οι προηγούμενες παρατηρήσεις βρίσκουν επίσης υποστήριξη στη δεύτερη ομάδα ιδιοτήτων οι οποίες περιλαμβάνουν ένα σημαντικό αριθμό από ποιοτικά χαρακτηριστικά (οργανοληπτικά) τα οποία περιγράφουν ένα προϊόν υψηλής αποδοχής. Είναι φανερό ότι, το σημείο υαλώδους μετάπτωσης και η θερμοκρασία του σημείου πήξης (άμεσα σχετιζόμενου με το αποτελεσματικό μοριακό βάρος), αποτελούν τους πλέον κρίσιμους παράγοντες για την εξασφάλιση υψηλής αποδοχής προϊόντων με εναλλακτικά σάκχαρα (κρεμώδες, γεύση σοκολάτας, κομμιώδες). Η γλυκιά και πικρή γεύση συνδέονται επίσης με τις θερμικές ιδιότητες, γεγονός που υποδεικνύει την άμεση εξάρτηση της θερμικής συμπεριφοράς των εναλλακτικών σακχάρων με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Στην τρίτη ομάδα βρίσκονται ιδιότητες οι οποίες σχετίζονται με τα δομικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων και των κατεψυγμένων προϊόντων (μέγεθος φυσαλίδων αέρα, ομοιομορφία κατανομής μεγέθους παγοκρυστάλλων, αλληλεπιδράσεις βιοπολυμερών, ικανότητα επαναπροσανατολισμού των κολλοειδών διαμορφώσεων στο χώρο κ.α.). Είναι χαρακτηριστικό ότι η ξινή γεύση σχετίζεται με τις αντικειμενικές ιδιότητες που περιγράφουν τα

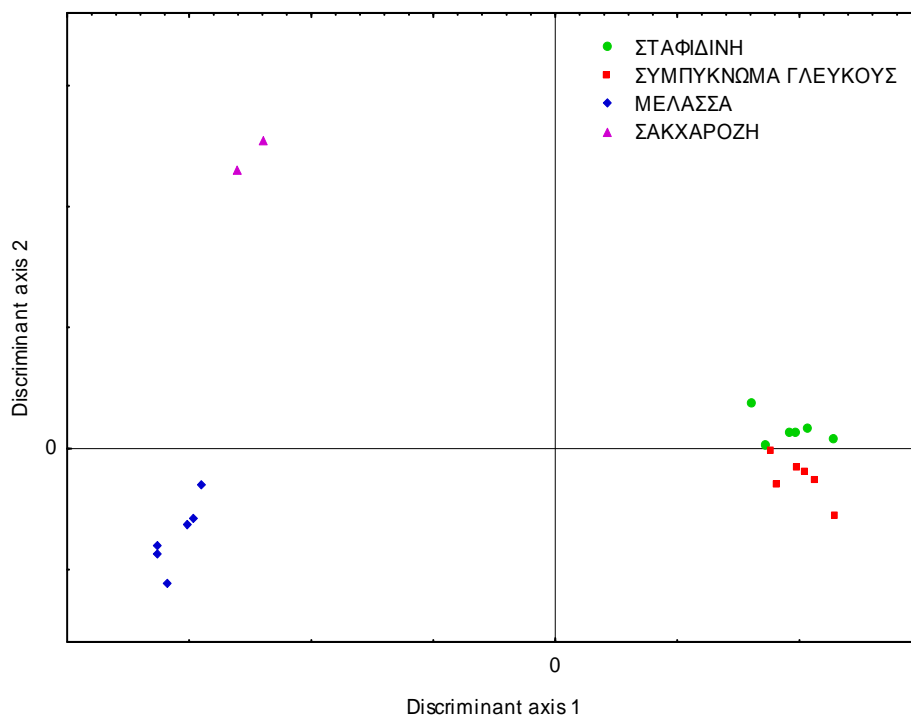
δομικά στοιχεία των προϊόντων. Η συσχέτιση αυτή προκύπτει από την άμεση εξάρτηση του είδους του εναλλακτικού σακχάρου με την επιτυγχάνομενη λειτουργικότητα.



Σχήμα 6.3.26: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για το σύνολο των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες, για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των αντικειμενικών μετρήσεων (μιγμάτων και παγωτού) και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών



Σχήμα 6.3.27: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για το σύνολο των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για τη διερεύνηση του τρόπου μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης



Σχήμα 6.3.28: Ανάλυση διάκρισης (Discriminant analysis) για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των εναλλακτικών σακχάρων ως προς την αποτελεσματικότητα ανάσχεσης της ανακρυστάλλωσης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ΑΚΣ (Σχήμα 6.3.26) τα δείγματα με σταφιδίνη ανεξάρτητα του ποσοστού προσθήκης και τα δείγματα με συμπύκνωμα γλεύκους στις υψηλότερες αναλογίες προσδιορίστηκαν ως τα πιο αποδεκτά. Η σταφιδίνη πλεονεκτεί έναντι του συμπυκνωμένου γλεύκους στο γεγονός ότι περιορίζει την αίσθηση πάγου, ενώ το συμπυκνωμένο γλεύκος συμβάλλει στην ευχερή ενσωμάτωση αέρα. Τα δείγματα με μελάσσα εμφάνισαν παρόμοια συμπεριφορά ως προς την ικανότητα ανάσχεσης της ανακρυστάλλωσης. Παρόλα αυτά, τα δείγματα με μελάσσα χαρακτηρίζονταν από υψηλότερες τιμές overrun σε σχέση με τα control δείγματα. Συμπερασματικά, η χρήση σταφιδίνης και συμπυκνώματος γλεύκους ως υποκατάστατο της σακχαρόζης στα δείγματα παγωτού φαίνεται να είναι πιο πλεονεκτική σε σχέση με την προσθήκη μελάσσας.

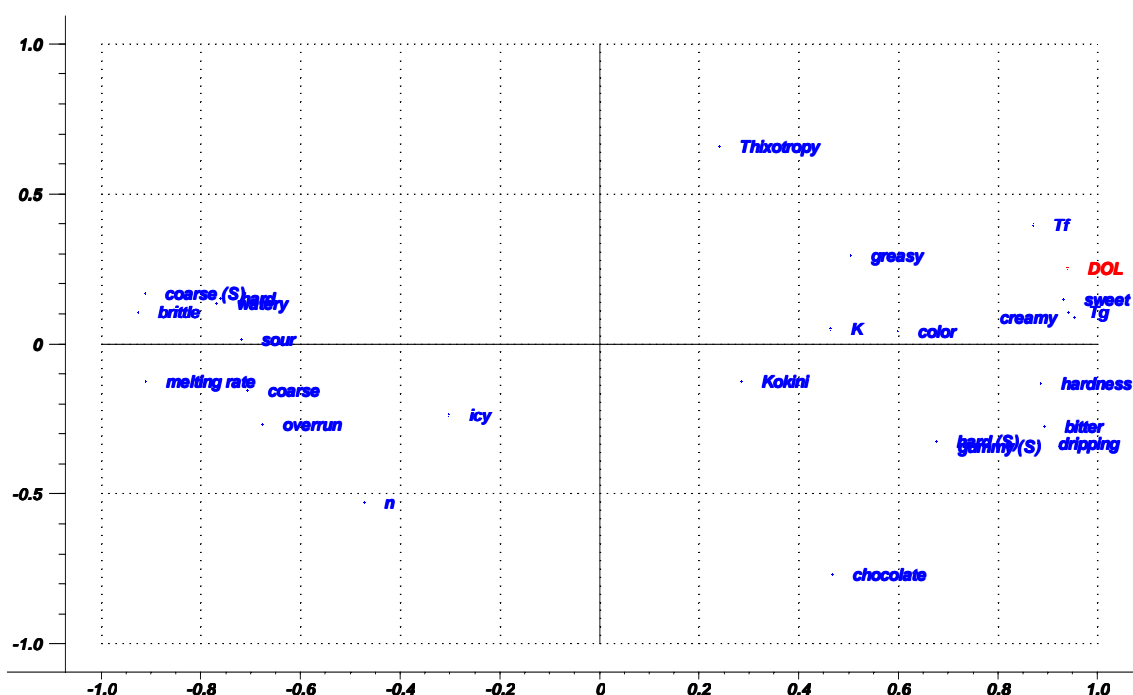
Στο σχήμα 6.3.27 απεικονίζονται οι ποιοτικές αποκλίσεις των δειγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκκαρα κατά τη διάρκεια του χρόνου αποθήκευσης με βάση τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου. Είναι φανερό ότι, ανεξάρτητα του είδους των σακχάρων που χρησιμοποιήθηκε, η σταθερότητα των δειγμάτων παγωτού στις 16 εβδομάδες αποθήκευσης μεταβλήθηκε. Επιπλέον, ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η σταθερότητα των δειγμάτων εξαρτάται από το είδος του εναλλακτικού σακχάρου. Συγκεκριμένα, τα δείγματα με σταφιδίνη και μελάσσα εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά κατά την αποθήκευση: αύξηση της τραχύτητας, της ευθρυπτότητας, της υδαρότητας, της αίσθησης πάγου και της ξινής γεύσης. Η υποβάθμιση της ποιότητας στα δείγματα με συμπύκνωμα γλεύκους λαμβάνει χώρα με αύξηση της τραχύτητας, της ευθρυπτότητας, της σκληρότητας και υποβάθμιση του χρώματος. Τέλος, τα δείγματα της σακχαρόζης παρουσιάζουν μεταβολή μόνο ως προς τα χαρακτηριστικά υφής (τραχύ, σκληρό, εύθρυπτο).

Προκειμένου να εξεταστεί εάν τα δείγματα μετά από 16 εβδομάδες παρουσιάζουν ομοιότητες ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διάκρισης (Σχήμα 6.3.28). Για την ταξινόμηση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι ιδιότητες που εμφανίζουν άμεση συσχέτιση με την εμφάνιση φαινομένων ανακρυστάλλωσης. Όπως είναι φανερό, το ποσοστό της διάκρισης των δειγμάτων ήταν 100% επιτυχές. Τα δείγματα με εναλλακτικά σάκκαρα εμφάνισαν σαφή διάκριση από τα δείγματα με σακχαρόζη. Τα δείγματα

με σταφιδίνη και συμπύκνωμα γλεύκους εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συγγένεια μεταξύ τους (αποστάσεις Mahalanobis 2.75 και 7.45 αντίστοιχα), ενώ τα δείγματα με μελάσσα τη μικρότερη (απόσταση Mahalanobis 25.84 για τα δείγματα με σταφιδίνη και 26.53 για τα δείγματα με συμπύκνωμα γλεύκους).

6.3.7 Πρόρρηση ολικής αποδοχής

Οι αντικειμενικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός γενικού μαθηματικού μοντέλου πρόρρησης της ολικής αποδοχής κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος με εναλλακτικά σάκχαρα με βάση τη μέθοδο της PLSR. Για την επιλογή των μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόστηκε η τεχνική της ΑΚΣ σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation). Λόγω του περιορισμένου αριθμού δειγμάτων, το μοντέλο βαθμονόμησης και πρόρρησης κατασκευάστηκε με βάση τη μέθοδο που έχει από τους Martens & Martens (2000) - (cross validation - one-leave-out).

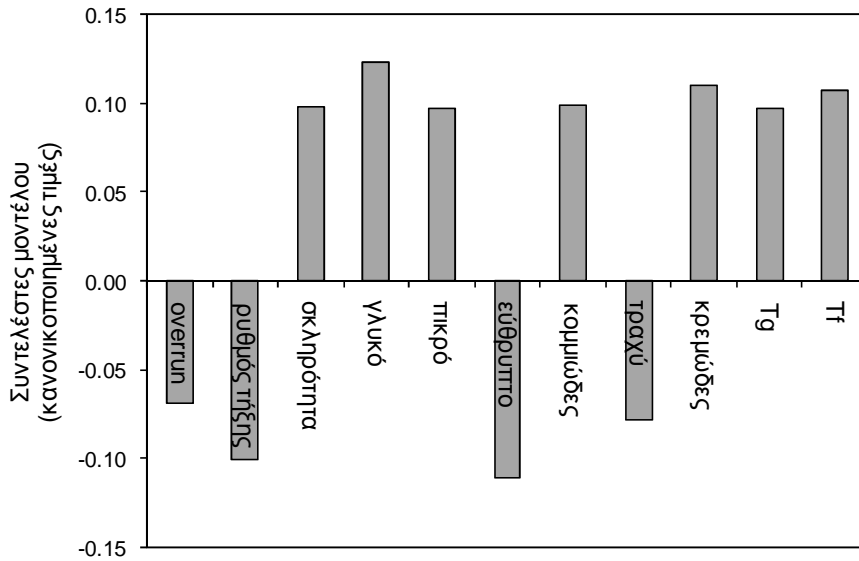


Σχήμα 6.3.29: Επιλογή των μεταβλητών (⊙) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens

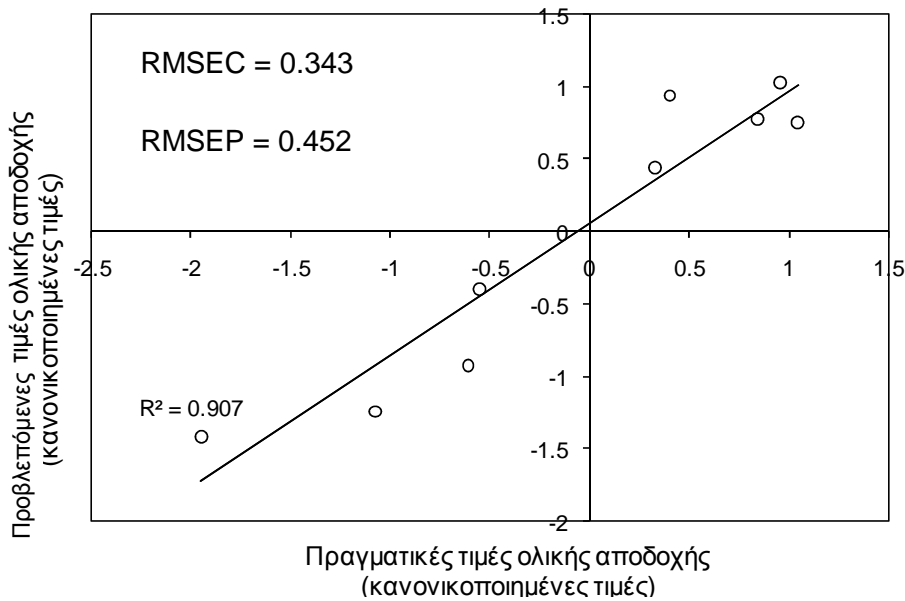
Σύμφωνα με το σχήμα 6.3.29 οι μεταβλητές που σχετίζονται ικανοποιητικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL) είναι 6 αντικειμενικές ιδιότητες (overrun, ρυθμός τήξης, χρόνος στάλαξης, αντικειμενική σκληρότητα, Tg, Tf) και 9 οργανοληπτικές (τραχύ, εύθρυπτο, ξινό, κομμιώδες, σκληρό, πικρό, γλυκό, κρεμώδες, υδαρές). Λόγω του μεγάλου αριθμού των ιδιοτήτων το μοντέλο επαβαθμονομήθηκε και επανακατασκευάστηκε, έτσι ώστε να μειωθεί ο αριθμός των μεταβλητών.

Στα σχήματα 6.3.30 και 6.3.31 φαίνονται οι τιμές των συντελεστών του γραμμικού μοντέλου καθώς και η προσαρμογή των δεδομένων στο συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο. Όπως είναι φανερό, τα δεδομένα προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο μοντέλο. Οι σχετικά υψηλές τιμές σφάλματος στο μοντέλο (RMSEP = 0.452) προέρχονται κατά κύριο λόγο από το γεγονός ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων εναλλακτικών σακχάρων είναι καθοριστικά διαφορετικά από είδος σε είδος. Παρόλα αυτά, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της ολικής αποδοχής κατεψυγμένων επιδόρπιων με

γλυκαντικές ύλες παρόμοιας φύσης π.χ. μέλι, σιρόπι σφενδάμνου, μελάσσα ζαχαρότευτλου, σιρόπι κριθαριού κτλ.



Σχήμα 6.3.30: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκχαρα (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)

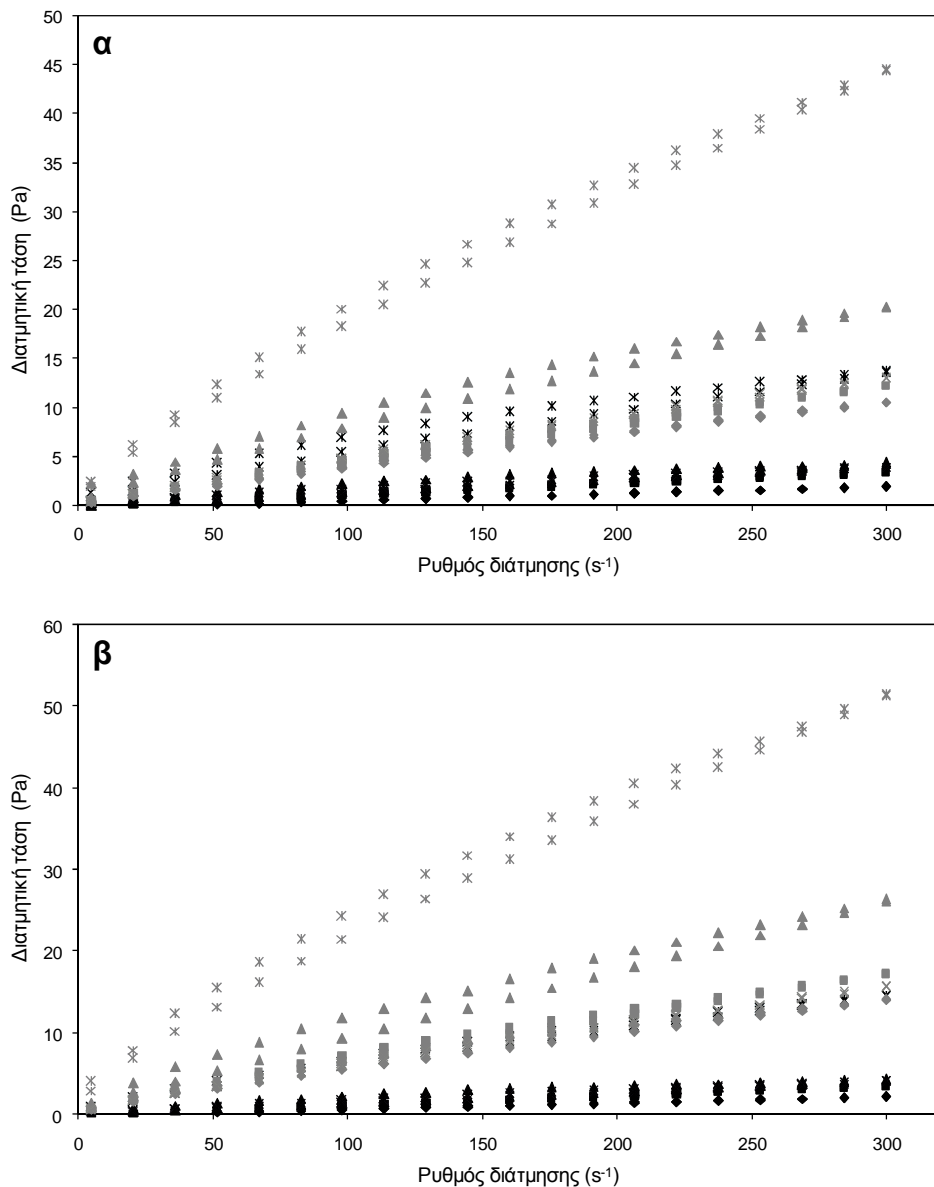


Σχήμα 6.3.31: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκχαρα σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR

6.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

6.4.1 Ρεολογικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού

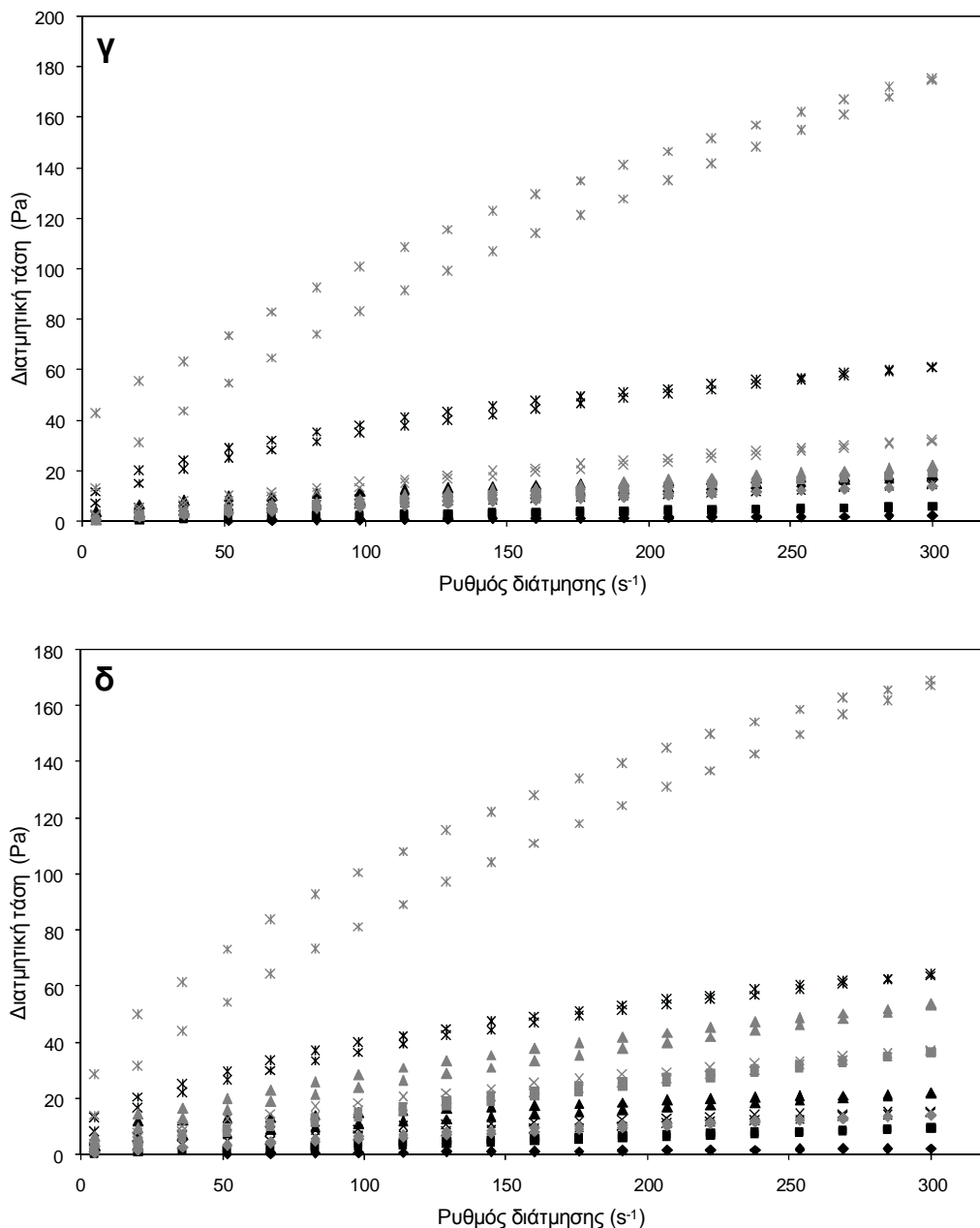
Στα σχήματα 6.4.1 και 6.4.2 απεικονίζονται τα ρεογράμματα των πρότυπων διαλυμάτων σακχαρόζης - διαιτητικών ινών και μιγμάτων παγωτού αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4.1 η προσθήκη των διαιτητικών ινών οδήγησε σε ψευδοπλαστική συμπεριφορά των διαλυμάτων σακχαρόζης. Η ψευδοπλαστικότητα αλλά και οι τιμές του ιξώδους αυξήθηκαν μετά την ωρίμανση των διαλυμάτων, ως αποτέλεσμα της επαρκούς ενυδάτωσης των ινών και της συγκράτησης υγρασίας. Επιπλέον, είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι η σχεδόν νευτωνική συμπεριφορά του τυφλού διαλύματος σακχαρόζης ($n = 0.9$ - η απόκλιση από τη μονάδα οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παρουσία της ξανθάνης) μεταβλήθηκε σε ψευδοπλαστική παρουσία των διαιτητικών ινών.



Σχήμα 6.4.1: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη ρεολογική συμπεριφορά πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - υδροκολλοειδούς (κόμμι γκούάρ/κόμμι ξανθάνης), πριν (α) και μετά (β)

την ωρίμανσή τους στους 4°C. Γκρι χρώμα = 4% προσθήκη, μαύρο χρώμα = 2% προσθήκη, ◇ = control, □ = ίνες βρώμης, △ = ίνες σιταριού, * = ίνες μήλου, × = ινουλίνη

Στην περίπτωση των μιγμάτων παγωτού (Σχήμα 6.4.2), η προσθήκη των διαιτητικών ινών οδήγησε επίσης σε μίγματα με ψευδοπλαστικό χαρακτήρα, ενώ οι τιμές του ιξώδους πριν και μετά την ωρίμανση των μιγμάτων ήταν σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες στα πρότυπα διαλύματα, παρά το γεγονός ότι η περιεκτικότητα σε υγρασία και στις δύο περιπτώσεις ήταν η ίδια. Η τάση αυτή υποδεικνύει ότι η επίδραση των διαιτητικών ινών στα μίγματα παγωτού επηρεάζεται και από την παρουσία των πρωτεϊνών, οι οποίες μαζί με τα υδροκολλοειδή αποτελούν σημαντικούς παράγοντες συγκράτησης υγρασίας και αύξησης της συγκέντρωσης της υδατικής φάσης.



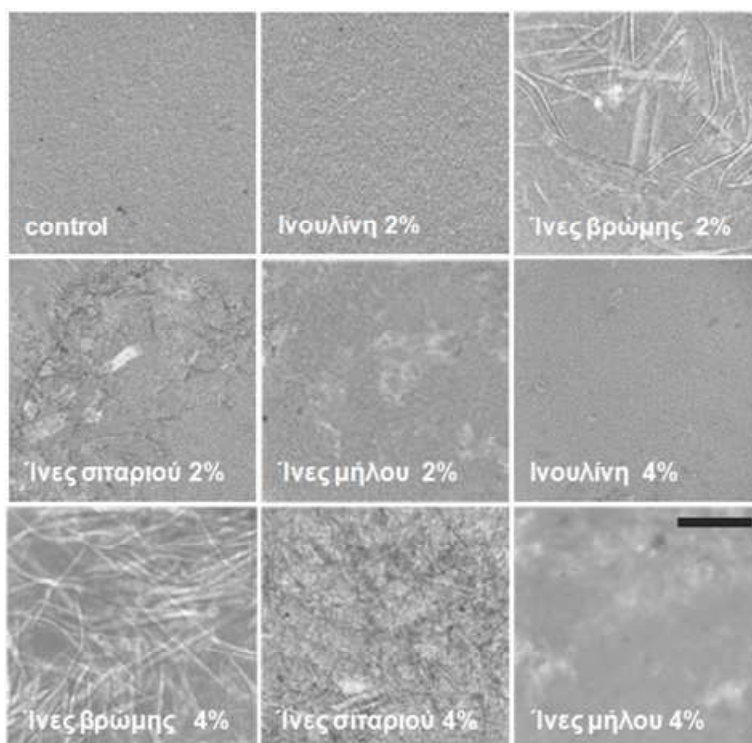
Σχήμα 6.4.2: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη ρεολογική συμπεριφορά μιγμάτων παγωτού πριν (γ) και μετά (δ) την ωρίμανσή τους στους 4°C. Γκρι χρώμα = 4% προσθήκη, μαύρο χρώμα = 2% προσθήκη, ◇ = control, □ = ίνες βρώμης, △ = ίνες σιταριού, * = ίνες μήλου, × = ινουλίνη

	Συντελεστής συνεκτικότητας K (Pa*s ⁻ⁿ)	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς n	Συντελεστής συνεκτικότητας K' (Pa*s ⁻ⁿ)	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς n'	Ιξώδους Kokini n (Pa*s)
Σακχαρόζη	0.01 ^a ± 0.00	1.00 ^f ± 0.00	0.01 ^a ± 0.00	1.00 ^f ± 0.00	0.50 ^a ± 0.00
Ίνες Βρώμης 2%	0.03 ^a ± 0.00	0.85 ^{de} ± 0.02	0.01 ^a ± 0.00	1.00 ^f ± 0.00	0.83 ^{ab} ± 0.02
Ίνες Βρώμης 4%	1.05 ^{bc} ± 0.19	0.46 ^{ab} ± 0.04	0.54 ^c ± 0.08	0.56 ^{ab} ± 0.03	6.35 ^c ± 2.42
Ίνες σιταριού 2%	0.09 ^a ± 0.02	0.63 ^{bc} ± 0.03	0.02 ^a ± 0.00	1.00 ^f ± 0.00	1.06 ^b ± 0.40
Ίνες σιταριού 4%	2.09 ^d ± 0.11	0.38 ^a ± 0.04	0.64 ^c ± 0.09	0.57 ^{ab} ± 0.05	9.24 ^{de} ± 2.13
Ίνες μήλου 2%	0.24 ^a ± 0.04	0.72 ^{cd} ± 0.03	0.10 ^{ab} ± 0.01	0.88 ^e ± 0.04	4.01 ^c ± 1.25
Ίνες μήλου 4%	5.79 ^e ± 0.38	0.41 ^a ± 0.02	3.21 ^f ± 0.24	0.52 ^a ± 0.03	28.79 ^f ± 4.39
Ινουλίνη 2%	0.01 ^a ± 0.00	1.00 ^f ± 0.00	0.01 ^a ± 0.00	1.00 ^f ± 0.00	0.50 ^a ± 0.00
Ινουλίνη 4%	0.09 ^a ± 0.01	0.71 ^{cd} ± 0.02	0.02 ^a ± 0.00	1.00 ^f ± 0.00	1.45 ^b ± 0.29
Σακχαρόζη	0.16 ^a ± 0.04	0.79 ^{de} ± 0.04	0.15 ^{ab} ± 0.02	0.79 ^{cd} ± 0.03	3.52 ^c ± 1.62
Ίνες Βρώμης 2%	0.15 ^a ± 0.03	0.81 ^{de} ± 0.02	0.13 ^{ab} ± 0.03	0.83 ^e ± 0.05	3.57 ^c ± 1.09
Ίνες Βρώμης 4%	1.24 ^c ± 0.12	0.59 ^b ± 0.03	0.69 ^c ± 0.07	0.68 ^{bc} ± 0.02	12.47 ^e ± 2.91
Ίνες σιταριού 2%	0.39 ^{ab} ± 0.05	0.73 ^{cd} ± 0.03	0.21 ^b ± 0.03	0.83 ^e ± 0.03	6.78 ^{cd} ± 1.82
Ίνες σιταριού 4%	2.71 ^d ± 0.23	0.52 ^{ab} ± 0.04	1.43 ^e ± 0.14	0.62 ^b ± 0.01	20.72 ^f ± 5.57
Ίνες μήλου 2%	1.24 ^c ± 0.11	0.65 ^{bcd} ± 0.02	0.80 ^d ± 0.10	0.72 ^{bc} ± 0.04	15.77 ^{ef} ± 2.80
Ίνες μήλου 4%	12.81 ^f ± 0.87	0.45 ^{ab} ± 0.05	4.99 ± 0.47	0.61 ^b ± 0.05	74.49 ^g ± 11.2
Ινουλίνη 2%	0.14 ^a ± 0.02	0.84 ^{de} ± 0.02	0.13 ^{ab} ± 0.01	0.86 ^e ± 0.02	3.76 ^c ± 0.88
Ινουλίνη 4%	0.36 ^{ab} ± 0.03	0.81 ^{de} ± 0.01	0.32 ^{bc} ± 0.02	0.82 ^{de} ± 0.00	8.56 ^d ± 1.08

Πίνακας 6.4.1: Επίδραση των διαιτητικών ινών στις ρεολογικές παραμέτρους των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη και των μιγμάτων παγωτού ωριμασμένων στους 4 °C για 18h

Στον πίνακα 6.4.1 παρατίθενται οι τιμές των ρεολογικών παραμέτρων όπως προσδιορίστηκαν στα πρότυπα διαλύματα και τα μίγματα παγωτού μετά την ωρίμανσή τους. Όπως φαίνεται από τα δεδομένα του συντελεστή συνεκτικότητας K, η προσθήκη των ινών βρώμης, σιταριού και μήλου οδήγησε σε αύξηση των τιμών, ενώ στην περίπτωση της ινουλίνης οι αποκλίσεις από το τυφλό δείγμα ήταν πολύ μικρότερες και σημαντικές (p<0.05) μόνο στην περίπτωση προσθήκης σε ποσοστό 4%. Ανάλογη κλιμάκωση παρουσίασαν και τα δεδομένα του ιξώδους Kokini. Λαμβάνοντας υπόψη τη φύση των διαιτητικών ινών οι ρεολογικές ιδιότητες μπορεί να επηρεαστούν από δύο κύριες παραμέτρους: α) την ικανότητα ενυδάτωσης και συγκράτησης της υγρασίας, και β) την κοκκομετρία και τη μορφή των ινών. Η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας έχει άμεση επίπτωση στη συγκέντρωση της φάσης ορού και συνεπώς στη δημιουργία των στερεοχημικών διαμορφώσεων των βιοπολυμερών στο χώρο. Πράγματι, οι ίνες βρώμης, σιταριού και μήλου χαρακτηριζόμενες από υψηλή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας (4 - 8g νερού ανά g ίνας) επέφεραν σημαντική αύξηση του ιξώδους τόσο των διαλυμάτων όσο και των μιγμάτων παγωτού. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ίνες μήλου οδήγησαν σε αξιολογικά υψηλότερες τιμές του ιξώδους και του συντελεστή συνεκτικότητας σε σχέση με τις ίνες βρώμης και σιταριού, δράση η οποία αποδίδεται στη σημαντική τους περιεκτικότητα σε

πηκτίνη, η οποία έχει την ικανότητα ισχυρών πηγμάτων (Luz Fernandez 2001). Η μικρή επίδραση της ινουλίνης στο ιξώδες των διαλυμάτων σακχαρόζης και των μιγμάτων παγωτού αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην πολύ υψηλή της περιεκτικότητα σε διαλυτές ίνες (>90%), γεγονός που υποδεικνύει ότι ο μόνος τρόπος επίδρασης στα ιξώδη είναι μέσω της αλλαγής της συγκέντρωσης της υδατικής φάσης. Πράγματι, η αύξηση της περιεκτικότητας των συστημάτων που εξετάστηκαν σε ινουλίνη οδήγησε σε σημαντική ($p < 0.05$) αύξηση του ιξώδους τους.



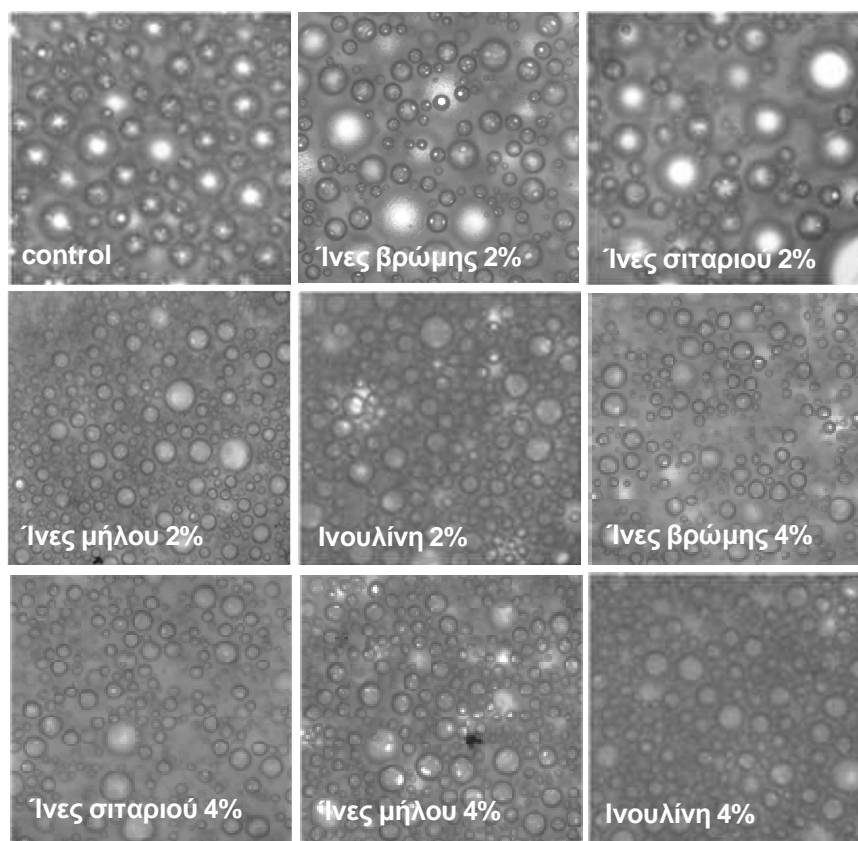
Σχήμα 6.4.3: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη μικροδομή των γαλακτωμάτων παγωτού (ωριμασμένων στους 4°C για 18h) με χρήση οπτικού μικροσκοπίου (40x, κλίμακα = 50μm).

Η ψευδοπλαστική συμπεριφορά (σύμφωνα με τα ρεογράμματα και τα δεδομένα του πίνακα 6.4.1) των μιγμάτων παγωτού ενισχύθηκε τόσο με την προσθήκη των ινών όσο και με την αύξηση της ολικής τους συγκέντρωσης. Η δράση αυτή αποδίδεται στην παρουσία διαμορφώσεων κυτταρινικής και ημικυτταρινικής πρόελευσης οι οποίες κατά τη διάρκεια της διάτμησης προσανατολίζονται προς μία συγκεκριμένη διεύθυνση (Soukoulis et al., 2009). Πράγματι, η χρήση οπτικού μικροσκοπίου για την οπτικοποίηση της μικροδομής των μιγμάτων παγωτού (Σχήμα 6.4.3) απέδειξε ότι το είδος της διαιτητικής ίνας επηρεάζει σημαντικά τη μικροδομή των μιγμάτων παγωτού. Ειδικότερα, η προσθήκη ινών βρώμης ή σιταριού οδηγεί σε ένα τρισδιάστατο δίκτυο από ινώδεις διαμορφώσεις οι οποίες αποτελούνται κατά κύριο λόγο από τα κυτταρινικά και ημικυτταρινικά συστατικά των ινών. Η αύξηση του ποσοστού της διαιτητικής ίνας στο μίγμα παγωτού οδηγεί σε αύξηση της πυκνότητας του δικτύου και επομένως σε αύξηση φαινομένου ιξώδους, της ψευδοπλαστικότητας αλλά και της θιξοτροπικής συμπεριφοράς. Στην περίπτωση της ινουλίνης, η μικροδομή των μιγμάτων παγωτού παραμένει όμοια με εκείνη του control δείγματος, γεγονός που δικαιολογεί επίσης τις πολύ μικρές αποκλίσεις στη ρεολογική συμπεριφορά από τα μίγματα χωρίς διαιτητικές ίνες. Η προσθήκη των ινών μήλου επίσης οδήγησε σε αυξημένη ψευδοπλαστική και θιξοτροπική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού. Η μικροδομή των μιγμάτων παγωτού που περιείχαν τις ίνες μήλου χαρακτηρίζεται από μία συνεκτική και αμμώδη δομή η οποία εμφανίζει ζώνες με χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (υψηλής διαύγειας στο σχήμα), γεγονός που μπορεί να συνδέεται

με διαχωρισμό φάσεων λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας των συγκεκριμένων μιγμάτων σε πηκτίνη, η οποία είναι γνωστή για τη θερμοδυναμική της ασυμβατότητα με τις πρωτεΐνες (Tolstoguzov 2006). Γενικά, γαλακτώματα με κοκκώδη - αμώδη δομή είναι γνωστά για τη θιξοτροπική και ψευδοπλαστική τους συμπεριφορά, ενώ η ψευδοπλαστικότητα των μιγμάτων παγωτού μπορεί να ενισχύεται περαιτέρω από την ικανότητα της πηκτίνης να σχηματίζει ισχυρά πήγματα.

6.4.2 Overrun

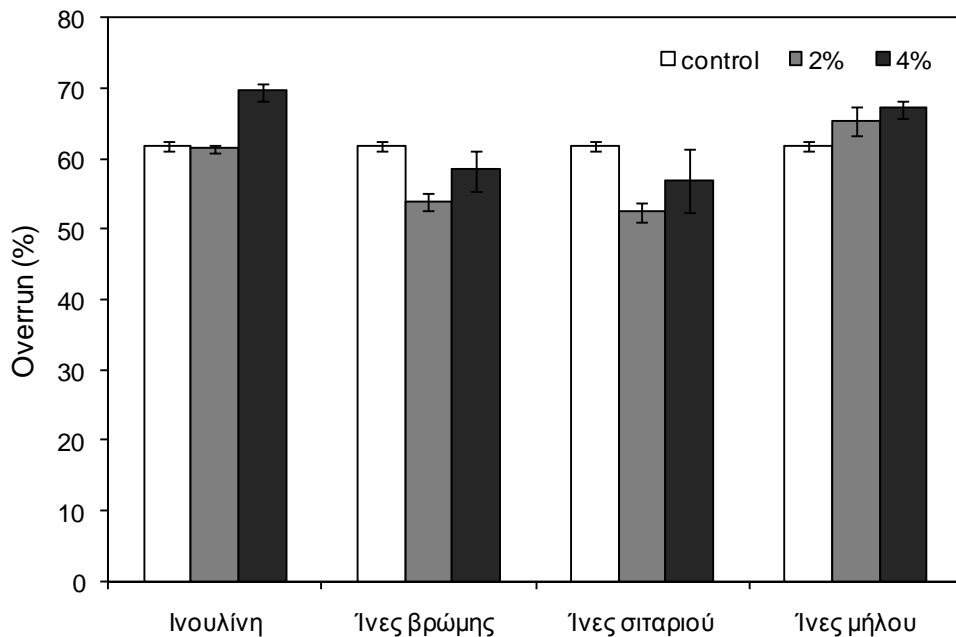
Στα σχήματα 6.4.4 και 6.4.5 απεικονίζονται οι σχηματισμένες φυσαλίδες αέρα και οι τιμές του overrun στα δείγματα παγωτού. Είναι φανερό ότι η προσθήκη των διαιτητικών ινών δεν είχε αρνητικές επιπτώσεις στην ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα. Ειδικότερα, η μέση διάμετρος των φυσαλίδων αέρα στην περίπτωση του τυφλού δείγματος και των δειγμάτων που περιείχαν τις ίνες βρώμης και σιταριού σε ποσοστό 2% ήταν στατιστικά όμοια (αντίστοιχα). Αντίθετα, η χρήση ινών μήλου και ινουλίνης οδήγησε σε μικρότερη μέση διάμετρο φυσαλίδων αέρα στα δείγματα παγωτού, γεγονός που υποδεικνύει ότι η χρήση τους μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της σταθερότητας της αφρώδους δομής του παγωτού (μείωση του δυναμικού πίεσης Laplace) και τον περιορισμό των φαινομένων συρρίκνωσης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους. Η αύξηση του ποσοστού των διαιτητικών ινών οδήγησε σε μείωση της μέσης διαμέτρου των φυσαλίδων αέρα στα δείγματα παγωτού με ίνες βρώμης και σιταριού, ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές στην περίπτωση των ινών μήλου και ινουλίνης.



Σχήμα 6.4.4: Επίδραση των διαιτητικών ινών στο μέγεθος των φυσαλίδων αέρα των δειγμάτων παγωτού με χρήση οπτικού μικροσκοπίου (100x, κλίμακα = 100μm)

Η προσθήκη ινουλίνης και ινών μήλου συνέβαλε στην παρασκευή δειγμάτων παγωτού με υψηλότερες τιμές overrun σε σχέση με το τυφλό δείγμα ($p < 0.05$). Οι τιμές του overrun φαίνονται να συμβαδίζουν με την κατανομή μεγέθους των φυσαλίδων αέρα. Η προσθήκη ινών βρώμης και σιταριού σε ποσοστό 2% οδήγησε σε ελάττωση της τιμής του overrun, ενώ η

περαιτέρω αύξηση του ποσοστού των ινών οδήγησε σε δείγματα με τιμές overrun παρόμοιες με εκείνες του τυφλού δείγματος.

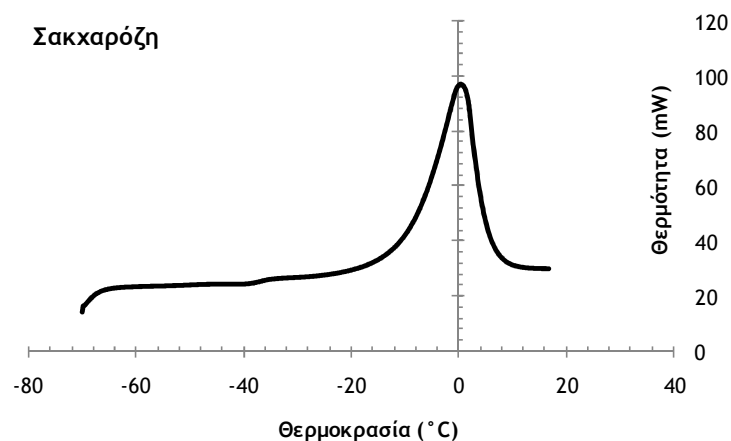


Σχήμα 6.4.5: Επίδραση των διαιτητικών ινών στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα (overrun) στα δείγματα παγωτού

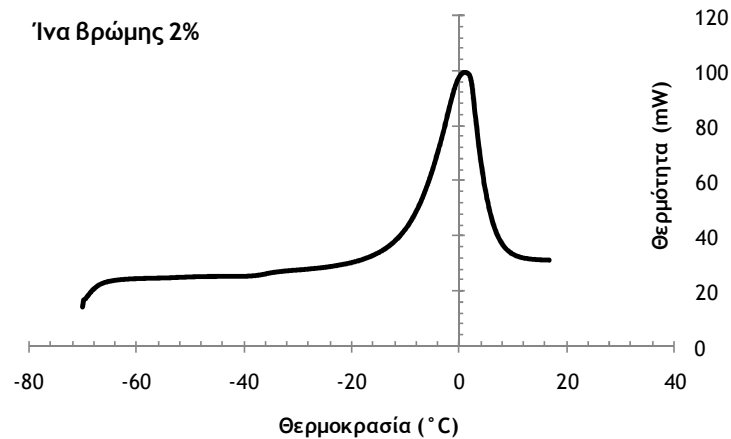
6.4.3 Θερμοφυσικές ιδιότητες

Στα σχήματα 6.4.9 - 6.4.14 απεικονίζονται οι καμπύλες τήξης κατά τη θερμική ανάλυση των πρότυπων διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαριτών παρουσία ή απουσία διαιτητικών ινών. Επιπλέον, στους πίνακες 6.4.2 - 6.4.4 παρατίθενται οι κυριότερες θερμικές ιδιότητες όπως αυτές προσδιορίστηκαν από τις καμπύλες τήξης του DSC. Η προσθήκη των διαιτητικών ινών οδήγησε σε σημαντικές επιδράσεις στη θερμοκρασία του σημείου πήξης. Ειδικότερα, η προσθήκη ινών βρώμης και σιταριού οδήγησε σε σημαντική ταπείνωση του σημείου πήξης ($p < 0.05$), ενώ η προσθήκη ινών μήλου και ινουλίνης σε ανύψωση του σημείου πήξης. Το ποσοστό του υλικού σε διαλυτές ίνες και η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας αποτελούν τους βασικότερους παράγοντες που οδήγησαν στις μεταβολές των θερμοκρασιών του σημείου πήξης στα δείγματα παγωτού.

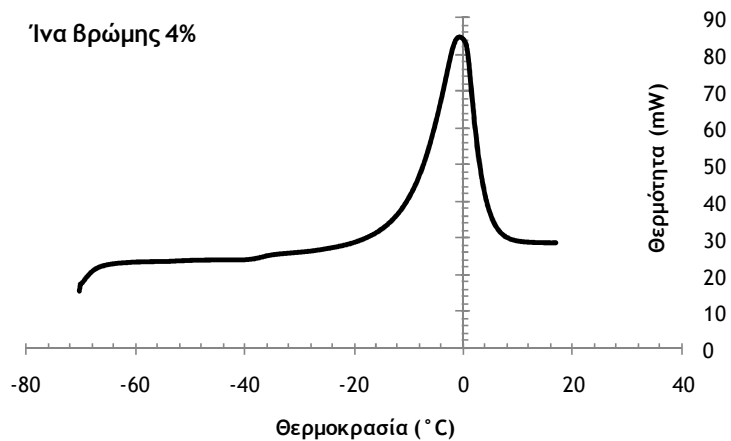
Η προσθήκη ινουλίνης και ινών μήλου συμβάλλει στον εμπλουτισμό της φάσης ορού σε πολυσακχαριτικό υλικό και συνεπώς σε αύξηση του αποτελεσματικού μοριακού βάρους και ανύψωση του σημείου πήξης (Soukoulis et al., 2009).



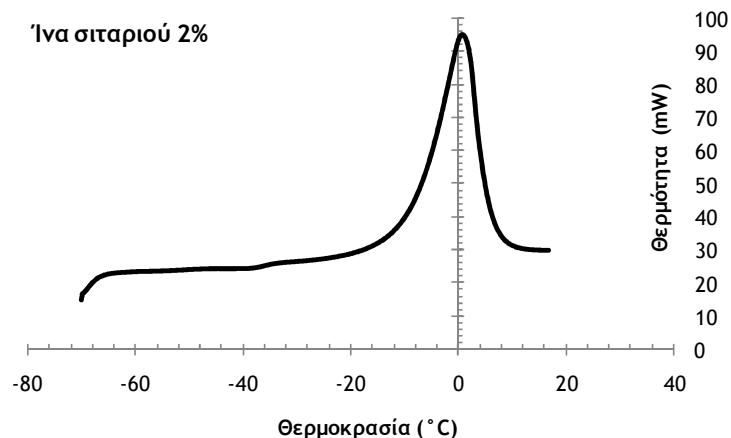
Σχήμα 6.4.6: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη (1:1 μίγμα ξανθάνης - κόμμεος γκουάρ) με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)



Σχήμα 6.4.7: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας βρώμης 2% με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)



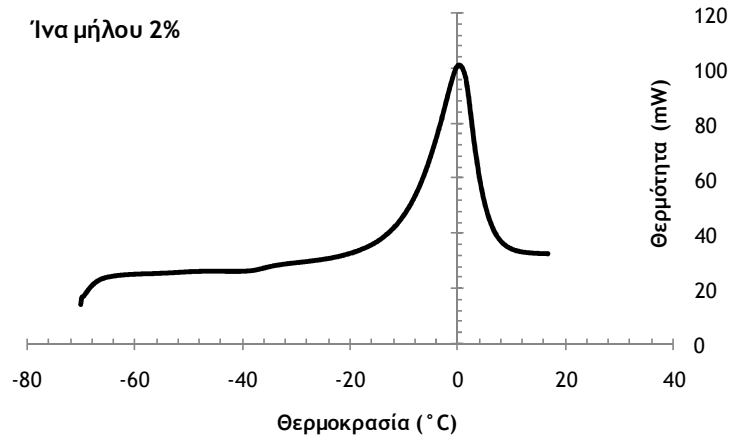
Σχήμα 6.4.8: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας βρώμης 4% με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)



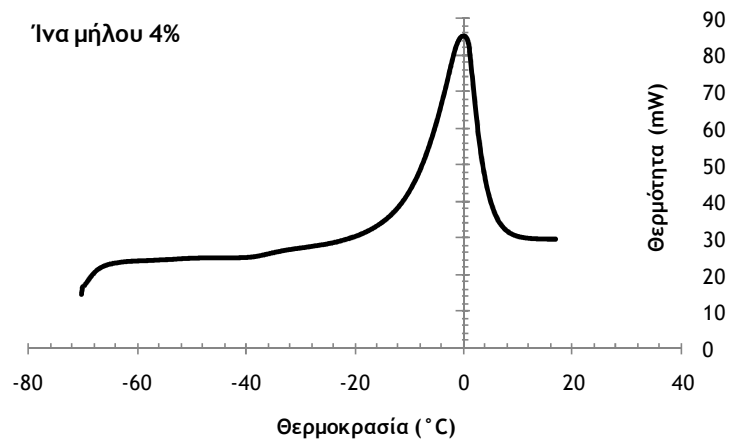
Σχήμα 6.4.9: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας σιταριού 4% με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)

Αντίθετα, στην περίπτωση των μη διαλυτών ινών (ίνες βρώμης και σιταριού) η ελάττωση του σημείου πήξης οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση της συγκέντρωσης της

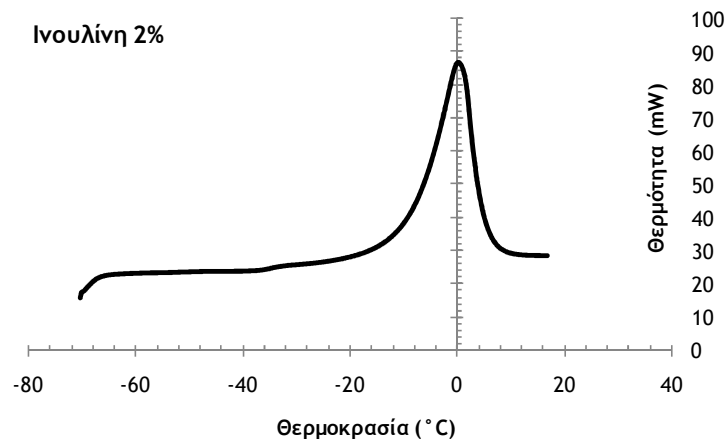
φάσης ορού που προκαλείται από τη σημαντική συγκράτηση υγρασίας. Επιπλέον, ο εμπλουτισμός της φάσης ορού σε πολυσακχαριτικό υλικό στην περίπτωση των ινών βρώμης και σιταριού είναι πολύ περιορισμένος λόγω της χαμηλής τους περιεκτικότητας σε διαλυτές ίνες. Το αποτελεσματικό βάρος του τυφλού δείγματος προσδιορίστηκε ίσο με 342g/mol το οποίο προσεγγίζει τις τιμές των μοριακών βαρών της σακχαρόζης και της λακτόζης.



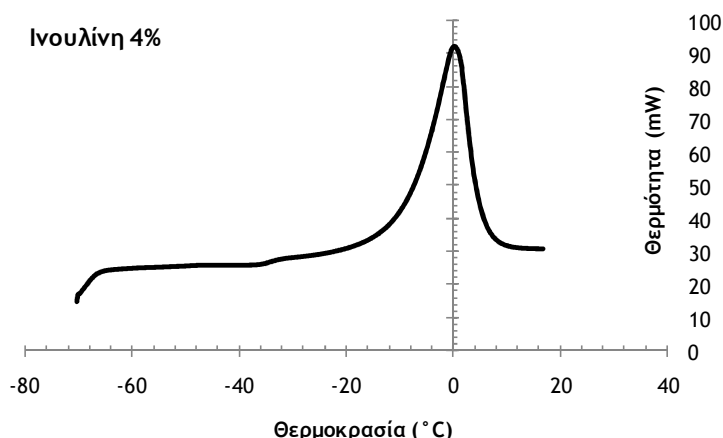
Σχήμα 6.4.10: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας μήλου 2% με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)



Σχήμα 6.4.11: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας μήλου 4% με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)



Σχήμα 6.4.12: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ινουλίνης 2% με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)



Σχήμα 6.4.13: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ινουλίνης 4% με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)

Αντίθετα, στην περίπτωση της ινουλίνης και των ινών μήλου παρατηρήθηκε αύξηση του αποτελεσματικού μοριακού βάρους, γεγονός που υποδηλώνει την επίδραση του πολυσακχαριτικού και πηκτινικού υλικού (ίνες μήλου) στη συγκέντρωση της υδατικής φάσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ανύψωση του σημείου πήξης είναι πολύ σημαντική για την κρυσταλλοστατευτική δράση των διαιτητικών ινών στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος.

Λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις των διαιτητικών ινών στα ποσοστά του κρυσταλλωμένου νερού και της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη ινών βρώμης και σιταριού οδήγησε σε σημαντική αύξηση του ποσοστού κρυσταλλωμένου νερού, ενώ στην περίπτωση των ινών μήλου και της ινουλίνης σε μείωση. Τα ποσοστά της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας κυμάνθηκαν από 10.5 έως 20% ανάλογα με το είδος της διαιτητικής ίνας. Τα συμπεράσματα αυτά, αν και δεν παρουσιάζουν μία σαφή συσχέτιση με τις τιμές της ταπείνωσης του σημείου πήξης, υποδεικνύουν ότι η συγκράτηση υγρασίας από το κυτταρινικό και ημικυτταρινικό υλικό δεν αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την παρεμπόδιση της κρυστάλλωσης τμήματος του συγκρατούμενου νερού. Πράγματι, η υγρασία που συγκρατείται από τις συγκεκριμένες ίνες δεν είναι ισχυρά συνδεδεμένη, κυρίως λόγω της χαμηλής τους περιεκτικότητας σε β-γλυκάνη (Lazaridou et al., 2007).

Σύμφωνα με τις τιμές του θερμοκρασιακού εύρους των καμπυλών τήξης διαπιστώθηκε ότι η χρήση των διαιτητικών ινών οδήγησε σε σημαντική ελάττωση της τιμής του ΔT . Ειδικότερα, τα δείγματα με ινουλίνη παρουσίασαν το πιο στενό θερμοκρασιακό εύρος, γεγονός που υποδεικνύει την ικανότητά της να συμβάλλει στο σχηματισμό ομοιόμορφων παγοκρυστάλλων, το οποίο συνδέεται έμμεσα με τη σταθερότητα των δειγμάτων παγωτού που περιέχουν ινουλίνη έναντι της ανακρυστάλλωσης. Η προσθήκη ινών μήλου αποτελεί επίσης έναν εναλλακτικό τρόπο για τον έλεγχο της κατανομής μεγέθους των παγοκρυστάλλων στα εμπλουτισμένα με ίνες δείγματα παγωτού.

Η προσθήκη των διαιτητικών ινών οδήγησε σε σημαντικές επιδράσεις στις θερμοκρασίες υαλώδους μετάπτωσης (T_g') και έναρξης της τήξης του πάγου (T_m'). Η ανύψωση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης γενικά σχετίζεται με την παρεμπόδιση της μοριακής κινητικότητας του νερού από την υδατική φάση προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων. Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να περιορίζεται η μοριακή κινητικότητα του νερού στα συστήματα παγωτού, λόγω της παρουσίας των διαιτητικών ινών, μπορεί να αποδοθεί σε τρεις πιθανούς μηχανισμούς (Soukoulis et al., 2009): α) μεταβολή της συγκέντρωσης της φάσης ορού κατά τη διάρκεια της κατάψυξης (συμπύκνωση λόγω κατάψυξης), β) δημιουργία πολυσακχαριτικών πλεγμάτων ή πλεγμάτων κυτταρινικής και ημικυτταρινικής πρόελευσης τα οποία δρουν ως στερεοχημικοί παρεμποδιστές των μορίων του

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

νερού στη φάση ορού, και γ) διαχωρισμός φάσεων και αύξηση της τοπικής συγκέντρωσης των θερμοδυναμικά ασύμβατων βιοπολυμερών (πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες αντίστοιχα).

Δείγμα	Θερμοκρασία σημείου πήξης T_f (°C)	Αποτελεσματικό μοριακό βάρος ($kgmol^{-1}$)	Θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης νερού T_{ice} (°C)
Σακχαρόζη	-2.42 ^b ± 0.14	0.377 ^c ± 0.023	-23.0 ^a ± 0.7
Ίνες βρώμης 2%	-4.31 ^d ± 0.23	0.227 ^a ± 0.014	-26.3 ^b ± 0.5
Ίνες βρώμης 4%	-2.96 ^c ± 0.29	0.366 ^{bc} ± 0.040	-25.9 ^b ± 0.9
Ίνες σιταριού 2%	-4.27 ^d ± 0.32	0.219 ^a ± 0.018	-25.5 ^b ± 0.8
Ίνες σιταριού 4%	-2.94 ^c ± 0.13	0.368 ^c ± 0.019	-24.6 ^{ab} ± 0.3
Ίνες μήλου 2%	-2.31 ^b ± 0.09	0.464 ^d ± 0.027	-23.7 ^a ± 0.4
Ίνες μήλου 4%	-1.89 ^a ± 0.21	0.531 ^{de} ± 0.062	-23.3 ^a ± 0.2
Ινουλίνη 2%	-3.11 ^c ± 0.23	0.319 ^b ± 0.026	-29.7 ^c ± 0.9
Ινουλίνη 4%	-1.78 ^a ± 0.14	0.614 ^e ± 0.049	-28.6 ^c ± 0.6

Πίνακας 6.4.2: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη θερμοκρασία πήξης, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη και των μιγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη διαιτητικών ινών.

^{a-e}Γραμμές με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ($p < 0.05$) (Duncan's post hoc comparison test)

Δείγμα	Ενθαλπία τήξης πάγου ΔH (Jg^{-1})	Θερμοκρασιακό εύρος ΔT (°C)	Ποσοστό πάγου IC (%)	Ποσοστό κρυσταλλωμένης υγρασίας FW (%)	Ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας UFW (%)
ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΑΚΧΑΡΟΖΗΣ - ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΗ					
Σακχαρόζη	239.9 ^h ± 5.2	52.3 ^g ± 0.8	71.8 ^e ± 1.6	85.7 ⁱ ± 1.9	12.0
Ίνες βρώμης 2%	233.6 ^{gh} ± 4.5	52.0 ^g ± 0.5	69.9 ^e ± 1.3	85.4 ⁱ ± 1.6	11.9
Ίνες βρώμης 4%	228.1 ^{gh} ± 3.3	49.1 ^{ef} ± 0.6	68.2 ^{de} ± 1.0	85.6 ⁱ ± 1.1	11.6
Ίνες σιταριού 2%	238.2 ^{gh} ± 9.1	51.6 ^g ± 0.4	71.3 ^e ± 2.7	87.2 ⁱ ± 4.2	10.5
Ίνες σιταριού 4%	221.7 ^{gh} ± 8.3	49.0 ^{ef} ± 0.7	66.4 ^{de} ± 2.5	83.2 ^{ef} ± 3.1	12.5
Ίνες μήλου 2%	231.2 ^{gh} ± 8.8	50.8 ^g ± 0.8	69.2 ^{de} ± 2.6	84.6 ^{ef} ± 3.1	12.6
Ίνες μήλου 4%	215.1 ^f ± 6.2	49.2 ^f ± 0.2	64.4 ^d ± 1.9	80.7 ^{cde} ± 2.4	15.4
Ινουλίνη 2%	226.6 ^{fg} ± 4.2	48.9 ^{ef} ± 0.3	67.8 ^{de} ± 1.3	82.9 ^{ef} ± 1.6	14.0
Ινουλίνη 4%	221.5 ^{fg} ± 5.1	47.4 ^{cd} ± 0.5	66.3 ^{de} ± 1.5	83.1 ^{ef} ± 1.9	12.6
ΜΙΓΜΑΤΑ ΠΑΓΩΤΟΥ					
Σακχαρόζη	169.4 ^{cd} ± 4.1	47.2 ^{cd} ± 0.4	50.7 ^c ± 1.2	76.1 ^{bcd} ± 1.8	15.9
Ίνες βρώμης 2%	159.9 ^{bcd} ± 5.6	44.2 ^{ab} ± 0.3	47.9 ^{bc} ± 1.7	74.1 ^{bcd} ± 2.7	16.7
Ίνες βρώμης 4%	164.4 ^{cd} ± 6.6	45.8 ^{bcd} ± 0.5	49.2 ^{bc} ± 2.0	78.6 ^{cde} ± 3.2	13.4
Ίνες σιταριού 2%	167.3 ^{cd} ± 2.3	44.1 ^{ab} ± 0.5	50.1 ^{bc} ± 0.8	75.6 ^{bcd} ± 3.2	14.5
Ίνες σιταριού 4%	170.6 ^d ± 3.7	44.8 ^{abc} ± 0.7	51.1 ^c ± 2.6	81.6 ^{def} ± 4.2	11.5
Ίνες μήλου 2%	161.9 ^{cd} ± 6.4	46.3 ^{cd} ± 0.8	48.5 ^{bc} ± 1.9	67.7 ^a ± 2.2	16.1
Ίνες μήλου 4%	141.5 ^a ± 4.2	45.6 ^{bcd} ± 0.7	42.4 ^a ± 1.3	75.1 ^{bcd} ± 1.5	20.2
Ινουλίνη 2%	148.8 ^{ab} ± 4.1	43.1 ^a ± 0.6	44.6 ^{ab} ± 1.2	69.0 ^{ab} ± 1.9	20.0
Ινουλίνη 4%	152.2 ^{abc} ± 2.9	43.3 ^a ± 0.8	45.6 ^{bc} ± 0.9	72.8 ^{bc} ± 1.5	17.0

Πίνακας 6.4.3: Επίδραση των διαιτητικών ινών στην ενθαλπία τήξης και το ποσοστό κρυσταλλωμένου νερού των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη και των μιγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη διαιτητικών ινών.

^{a-h}Γραμμές με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ($p < 0.05$) (Duncan's post hoc comparison test)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

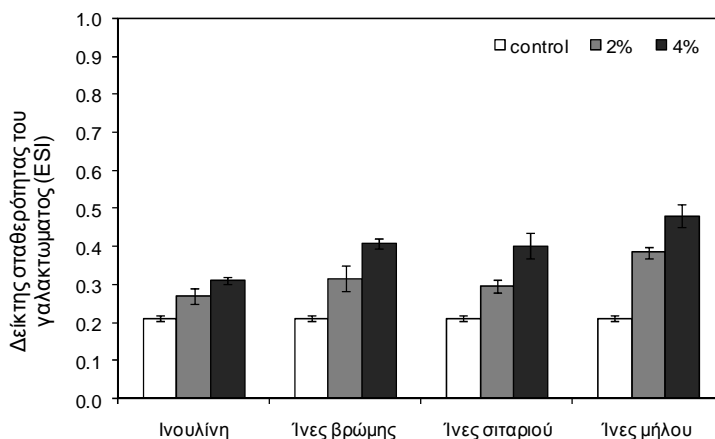
Δείγμα	T _g ' (σημείο υαλώδους μετάπτωσης)				T _m ' (σημείο έναρξης τήξης πάγου)			
	Onset (°C)	Midpoint (°C)	Offset (°C)	ΔT (°C)	Onset (°C)	Midpoint (°C)	Offset (°C)	ΔT (°C)
ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΑΚΧΑΡΟΖΗΣ - ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΗ								
Σακχαρόζη	-54.8 ^{abcd} ± 0.3	-51.3 ^{ab} ± 0.4	-47.8 ^{ab} ± 0.2	7.0	-41.1 ^a ± 0.2	-37.3 ^a ± 0.2	-35.1 ^a ± 0.3	6.0
Ίνες Βρώμης 2%	-54.9 ^{abc} ± 0.4	-50.8 ^{abc} ± 0.2	-47.6 ^{ab} ± 0.3	7.3	-40.6 ^{ab} ± 0.4	-36.6 ^{ab} ± 0.2	-32.4 ^b ± 0.3	8.2
Ίνες Βρώμης 4%	-53.4 ^{efg} ± 0.2	-50.4 ^{bcd} ± 0.3	-47.1 ^{ab} ± 0.2	6.3	-39.1 ^{cdf} ± 0.4	-35.5 ^{de} ± 0.3	-30.5 ^{fg} ± 0.1	8.6
Ίνες σιταριού 2%	-54.9 ^{abc} ± 0.5	-50.6 ^{bcd} ± 0.4	-47.3 ^{ab} ± 0.1	7.6	-39.9 ^{bc} ± 0.2	-36.4 ^{bc} ± 0.3	-31.3 ^{cd} ± 0.2	8.6
Ίνες σιταριού 4%	-55.1 ^{ab} ± 0.6	-49.9 ^{cd} ± 0.3	-47.9 ^a ± 0.4	7.2	-39.5 ^{cd} ± 0.3	-35.7 ^{cd} ± 0.4	-30.4 ^{fg} ± 0.4	9.1
Ίνες μήλου 2%	-55.8 ^a ± 0.4	-51.6 ^a ± 0.1	-46.9 ^{bc} ± 0.3	8.9	-40.7 ^{ab} ± 0.4	-36.1 ^{bcd} ± 0.4	-31.1 ^{de} ± 0.5	9.6
Ίνες μήλου 4%	-55.9 ^a ± 0.7	-51.1 ^{ab} ± 0.1	-47.4 ^{ab} ± 0.2	8.5	-40.0 ^{bc} ± 0.2	-36.0 ^{bcd} ± 0.3	-30.2 ^{fg} ± 0.0	9.8
Ιουλίνη 2%	-53.2 ^{efg} ± 0.4	-50.2 ^{cd} ± 0.2	-45.9 ^{df} ± 0.4	7.3	-39.7 ^c ± 0.2	-34.6 ^{gh} ± 0.2	-30.4 ^{fg} ± 0.1	9.3
Ιουλίνη 4%	-52.6 ± 0.3	-49.7 ^{cd} ± 0.4	-44.7 ^h ± 0.1	7.9	-39.3 ^{cd} ± 0.4	-34.1 ^{ghi} ± 0.1	-30.0 ^g ± 0.2	9.3
ΜΙΓΜΑΤΑ ΠΑΓΩΤΟΥ								
Σακχαρόζη	-53.7 ^{efg} ± 0.4	-50.5 ^{bcd} ± 0.5	-46.2 ^{cd} ± 0.5	7.5	-40.2 ^{abc} ± 0.2	-36.2 ^{bcd} ± 0.3	-31.1 ^{de} ± 0.0	9.1
Ίνες Βρώμης 2%	-52.5 ^{fgh} ± 0.3	-49.8 ^{cd} ± 0.2	-45.7 ^{dfg} ± 0.2	6.8	-40.1 ^{abc} ± 0.6	-35.7 ^{cd} ± 0.2	-32.2 ^{bc} ± 0.3	7.9
Ίνες Βρώμης 4%	-52.4 ^{gh} ± 0.4	-48.6 ^d ± 0.3	-44.8 ^{gh} ± 0.3	7.6	-38.5 ^{df} ± 0.2	-34.8 ^{efg} ± 0.2	-31.5 ^{bcd} ± 0.2	7.0
Ίνες σιταριού 2%	-52.7 ^{fgh} ± 0.2	-49.6 ^c ± 0.2	-45.3 ^{dfgh} ± 0.1	7.4	-40.9 ^{ab} ± 0.7	-35.5 ^{de} ± 0.2	-32.4 ^b ± 0.3	8.5
Ίνες σιταριού 4%	-51.8 ^h ± 0.6	-48.1 ^{fg} ± 0.1	-44.5 ^h ± 0.0	7.3	-40.5 ^{ab} ± 0.5	-34.9 ^{ef} ± 0.1	-31.8 ^{bcd} ± 0.3	8.7
Ίνες μήλου 2%	-53.9 ^{bcd} ± 0.2	-48.4 ^d ± 0.3	-45.9 ^{df} ± 0.2	8.0	-39.9 ^{bc} ± 0.2	-34.4 ^{fgh} ± 0.3	-30.9 ^d ± 0.3	9.0
Ίνες μήλου 4%	-53.6 ^{defg} ± 0.0	-47.7 ^{fg} ± 0.4	-45.2 ^{fgh} ± 0.2	8.4	-38.2 ^f ± 0.4	-34.0 ^{hi} ± 0.1	-30.5 ^{fg} ± 0.5	7.7
Ιουλίνη 2%	-50.4 ⁱ ± 0.1	-47.3 ^g ± 0.2	-44.7 ^h ± 0.1	5.7	-37.2 ^g ± 0.2	-33.4 ^{ik} ± 0.0	-30.2 ^{fg} ± 0.2	7.0
Ιουλίνη 4%	-49.5 ⁱ ± 0.2	-46.6 ⁱ ± 0.0	-43.2 ⁱ ± 0.1	6.3	-36.8 ^g ± 0.1	-32.8 ^k ± 0.1	-29.1 ^h ± 0.6	7.7

Πίνακας 6.4.4: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και τη θερμοκρασία του σημείου έναρξης της τήξης του πάγου των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη και των μιγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη διαιτητικών ινών.

^{a-h}Γραμμές με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά (p<0.05) (Duncan's post hoc comparison test)

Η προσθήκη της ιουλίνης, η οποία οδήγησε στην πιο έντονη ανύψωση (p<0.001) του σημείου υαλώδους μετάπτωσης των συστημάτων που εξετάστηκαν (πρότυπα διαλύματα και μίγματα παγωτού) δρα μέσω της μεταβολής της συγκέντρωσης της υδατικής φάσης και του ελέγχου των φαινομένων διάχυσης νερού στην υδατική φάση. Η υψηλή περιεκτικότητα της ιουλίνης σε διαλυτές ίνες αιτιολογεί τη συμπεριφορά αυτή, όπως συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις της προσθήκης υδατανθρακικών βιοπολυμερών που προστίθενται σε υψηλές συγκεντρώσεις π.χ. μαλτοδεξτρίνες, ολιγοφρουκτόζη κ.α. Ακριβώς λόγω της άμεσης

επίδρασης της ινουλίνης στη συγκέντρωση της υδατικής φάσης οι μεταβολές του ΔC_p είναι αξιόλογες.



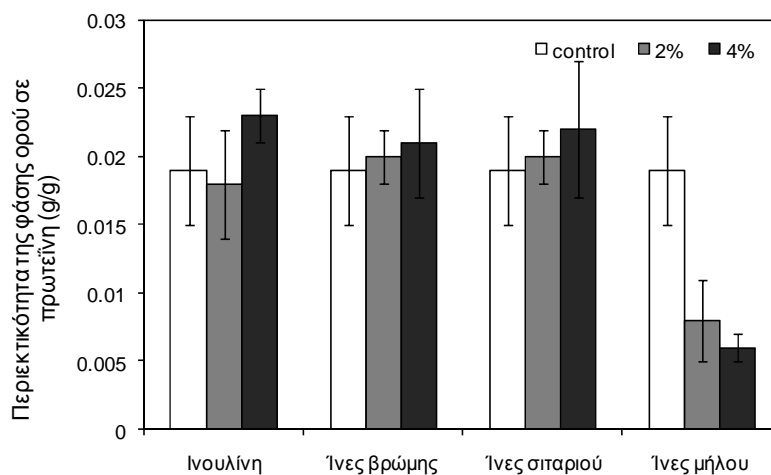
Σχήμα 6.4.14: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη σταθερότητα των γαλακτωμάτων παγωτού ωριμασμένου στους 4 °C για 18h

Η χρήση των ινών βρώμης και σιταριού δεν μετέβαλε σημαντικά τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης στη χαμηλή τους συγκέντρωση, ενώ σε ποσοστό προσθήκης 4% παρατηρήθηκε σημαντική ($p < 0.05$) αύξηση της θερμοκρασίας του σημείου υαλώδους μετάπτωσης. Η συγκράτηση υγρασίας από τις ίνες, αλλά και ο σχηματισμός τρισδιάστατων κυτταρινικών και ημικυτταρινικών πλεγμάτων, όπως αποδείχθηκε και από τη μικροδομή των μιγμάτων παγωτού, φαίνεται να αποτελούν τους στερεοχημικούς παράγοντες που παρεμποδίζουν τη μοριακή κίνηση του νερού. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι η ανύψωση ήταν λίγο πιο έντονη στην περίπτωση των ινών σιταριού, γεγονός που μπορεί να σχετίζεται και με την πιο πυκνή δομή του κυτταρινικού - ημικυτταρινικού δικτύου που παρατηρήθηκε στα αντίστοιχα μίγματα παγωτού.

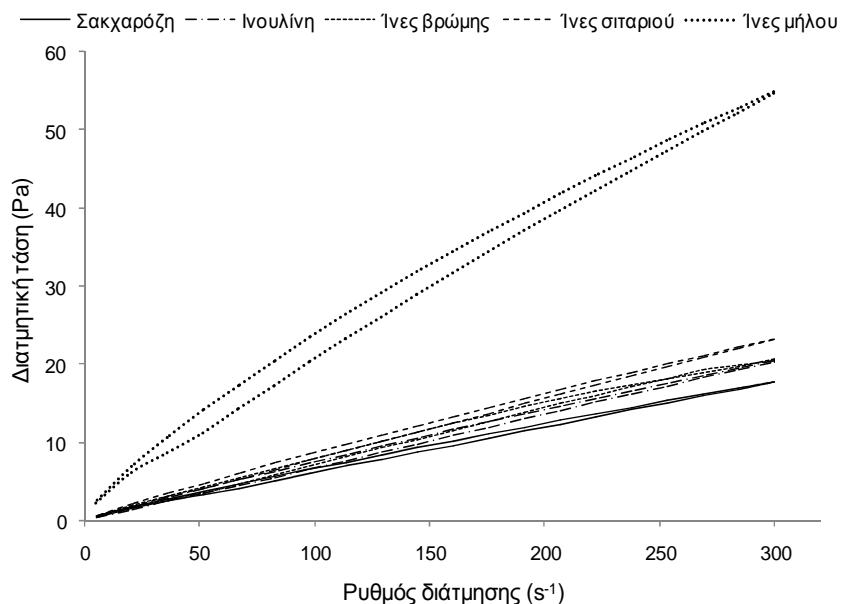
Η περίπτωση των ινών μήλου φαίνεται να είναι περισσότερο σύνθετη: στα πρότυπα υδατικά συστήματα σακχαρόζης δεν παρατηρήθηκε αξιόλογη μεταβολή του σημείου υαλώδους μετάπτωσης σε σχέση με το τυφλό, σε αντίθεση με τα μίγματα παγωτού όπου η αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε ίνες μήλου οδήγησε σε σημαντική ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης ($p < 0.01$). Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία των πρωτεϊνών οι οποίες είναι γνωστές για τη θερμοδυναμική τους ασυμβατότητα, με τις πηκτίνες των ινών μήλου και συνεπώς στα μίγματα παγωτού επέρχεται διαχωρισμός φάσεων (Tolstoguzov 2006). Ο διαχωρισμός φάσεων οδηγεί σε αύξηση των τοπικών συγκεντρώσεων των βιοπολυμερών και σε σημαντικές διαφορές στα ΔC_p των δύο φάσεων οι οποίες επιφέρουν μεταβολή του σημείου υαλώδους μετάπτωσης (Rogers et al., 2006).

Προκειμένου να δοθεί μία πιο σαφής εικόνα για την πιθανότητα διαχωρισμού φάσεων, τα μίγματα παγωτού φυγοκεντρήθηκαν στα 10000g για 15min, προκειμένου να διαχωριστούν τα γαλακτώματα σε μία διαυγή υδατική φάση (πλούσια σε πολυσακχαρίτη) και μία γαλακτώδη υδατική (πλούσια σε πρωτεΐνη). Η λιπαρή φάση διαχωρίστηκε στο πάνω μέρος της πρωτεϊνικής και απομακρύνθηκε προσεκτικά πριν από τις αναλύσεις. Τα αποτελέσματα της σταθερότητας των γαλακτωμάτων και της συγκέντρωσης της διαυγούς υδατικής φάσης απεικονίζονται στα διαγράμματα 6.4.15 και 6.4.16 αντίστοιχα. Επιπλέον, η ρεολογική συμπεριφορά των υδατικών διαλυμάτων απεικονίζεται στο σχήμα 6.4.17. Η προσθήκη των διαιτητικών αύξησε τη σταθερότητα των μιγμάτων παγωτού κατά τη διεργασία φυγοκέντρησης. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη συγκράτηση της υγρασίας από τις ίνες. Εξετάζοντας την περιεκτικότητα της υδατικής φάσης σε πρωτεΐνη, παρατηρήθηκε μία σημαντική ($p < 0.001$) μείωση του πρωτεϊνικού υλικού στην υδατική φάση στην περίπτωση των μιγμάτων παγωτού που περιείχαν τις ίνες μήλου. Η παρατήρηση αυτή υποστηρίζει την

παραδοχή ότι η παρουσία των πρωτεϊνών επιφέρει το διαχωρισμό φάσεων στα συστήματα παγωτού τα οποία δικαιολογούν την ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης. Επιπλέον, προσδιορίζοντας τη ρεολογική συμπεριφορά των υδατικών φάσεων, διαπιστώθηκε μία ραγδαία αύξηση του ιξώδους της υδατικής φάσης στην περίπτωση των μιγμάτων παγωτού που περιείχαν τις ίνες μήλου, ενώ στα υπόλοιπα δείγματα οι διαφορές ήταν μη σημαντικές. Η τελευταία παρατήρηση υποδεικνύει το σχηματισμό πήγματος, λόγω της παρουσίας των πηκτινών, το οποίο μπορεί να αποτελεί έναν επιπλέον παράγοντα μείωσης της μοριακής κινητικότητας του νερού στη φάση ορού (και κατά συνέπεια ανύψωσης της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης).



Σχήμα 6.4.15: Επίδραση των διαιτητικών ινών στην περιεκτικότητα της φάσης ορού σε πρωτεΐνη στα γαλακτώματα παγωτού (ωριμασμένα στους 4 °C για 18h)

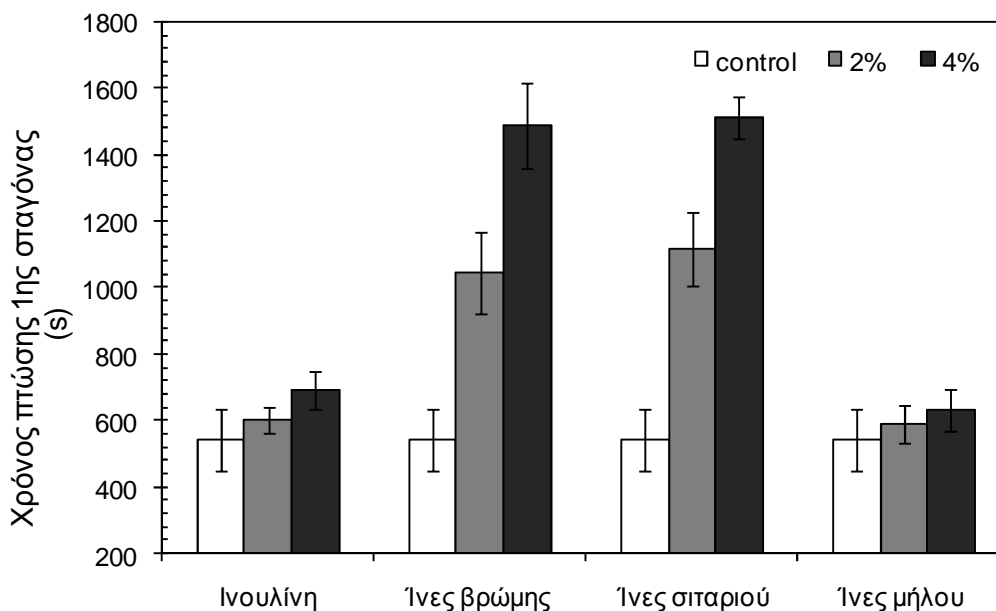


Σχήμα 6.4.16: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη ρεολογική συμπεριφορά της φάσης ορού των γαλακτωμάτων παγωτού

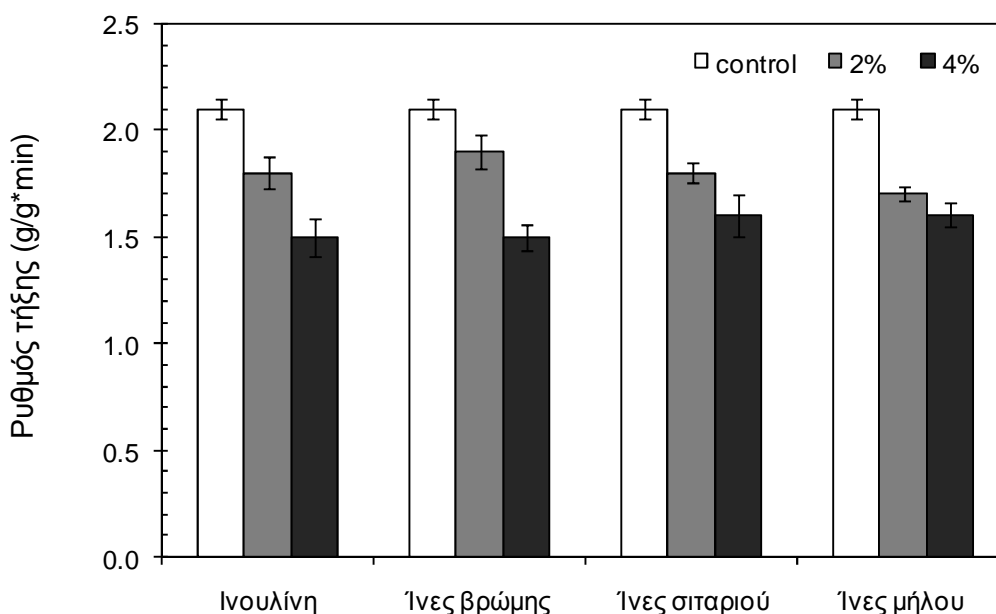
Οι παρατηρήσεις που αφορούν στη δυναμική κρυσταλλοστατευτική δράση των διαιτητικών ινών είναι πολύ σημαντικές, λαμβάνοντας υπόψη ότι η προσθήκη τους στα καταψυγμένα επιδόρπια γάλακτος μπορεί να ενισχύσει τη λειτουργικότητά τους.

6.4.4 Χαρακτηριστικά τήξης

Στο σχήμα 6.4.18 απεικονίζονται οι χρόνοι πτώσης της πρώτης σταγόνας τήγματος, ενώ στο σχήμα 6.4.19 οι ρυθμοί τήξης των δειγμάτων παγωτού με ή χωρίς διαιτητικές ίνες. Η προσθήκη των ινών βρώμης και σιταριού συνέβαλε σε σημαντική αύξηση του χρόνου πτώσης της πρώτης σταγόνας τήγματος ενώ στην περίπτωση των ινών μήλου και της ινουλίνης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με το τυφλό δείγμα.



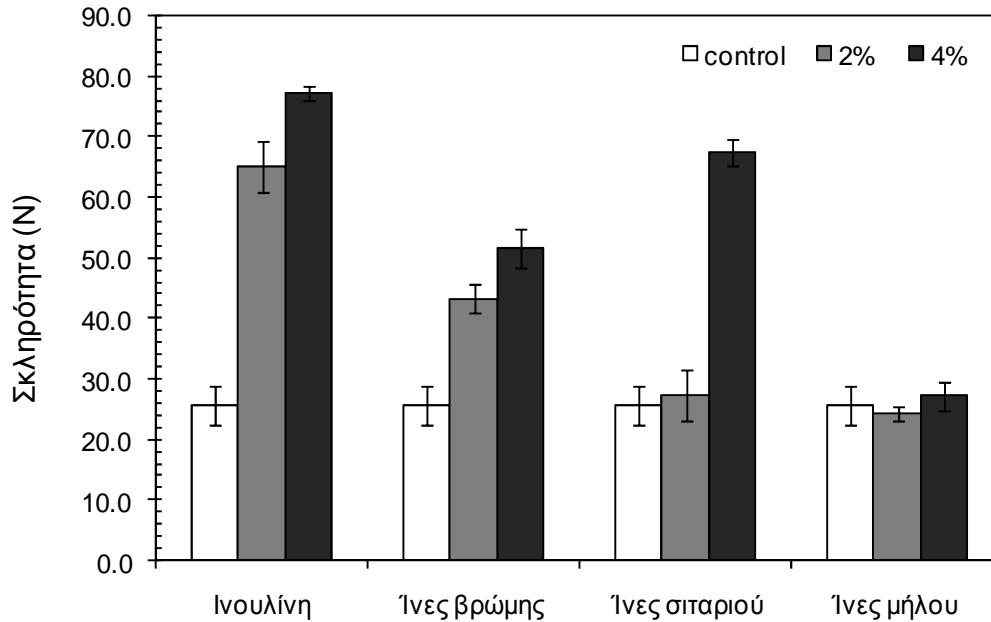
Σχήμα 6.4.17: Επίδραση των διαιτητικών ινών στο χρόνο πτώσης της 1^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού



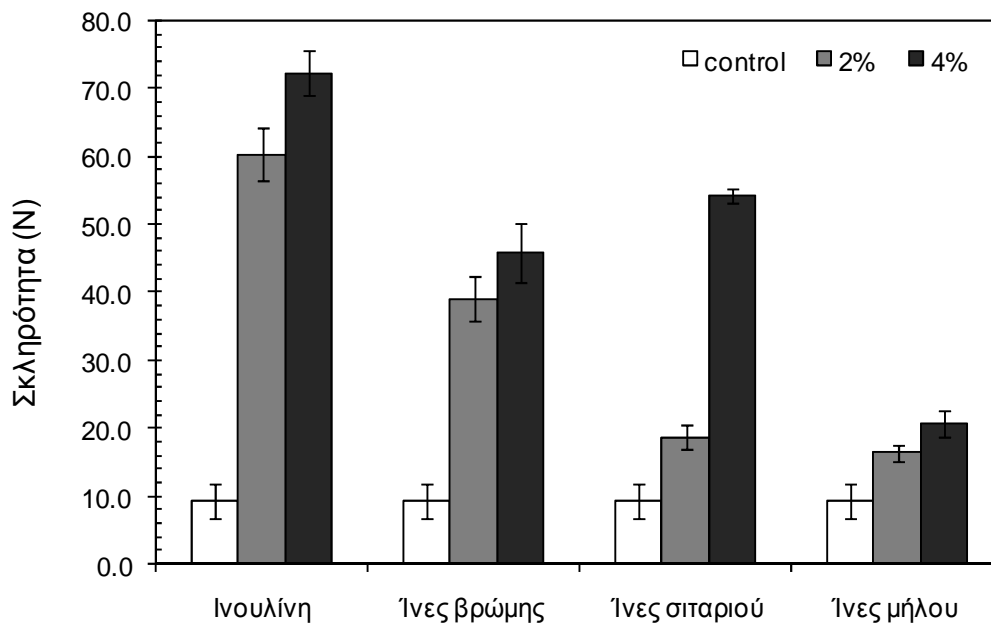
Σχήμα 6.4.18: Επίδραση των διαιτητικών ινών στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού

Η ύπαρξη του κυτταρινικού - ημικυτταρινικού δικτύου στην περίπτωση των ινών βρώμης και σιταριού φαίνεται να αποτελεί τον ανασταλτικό παράγοντα τήξης των δειγμάτων παγωτού. Αν και η τήξη του παγωτού εξαρτάται από τις θερμικές του ιδιότητες (σημείο τήξης, σημείο υαλώδους μετάπτωσης, θερμοκρασία έναρξης τήξης) στην περίπτωση των διαιτητικών

ινών δεν παρατηρήθηκε μία σαφής εξάρτηση. Έτσι οι έντονες διαφορές που παρατηρήθηκαν στους χρόνους στάλαξης των δειγμάτων παγωτού με ίνες βρώμης και σιταριού μπορούν κατά κύριο λόγο να αποδοθούν στη μείωση του ρυθμού διείσδυσης θερμότητας και τη μερική συγκράτηση του νερού που παράγεται από την τήξη των παγοκρυσταλλων από το υπάρχον κυτταρινικό - ημικυτταρινικό δίκτυο. Κατά τον τρόπο αυτό επιβραδύνεται η διαδικασία μείωσης της συγκέντρωσης της φάσης ορού που οδηγεί στην έναρξη της στάλαξης του παγωτού.



Σχήμα 6.4.19: Επίδραση των διατητικών ινών στην αντικειμενική σκληρότητα (στους -15°C) των δειγμάτων παγωτού στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης



Σχήμα 6.4.20: Επίδραση των διατητικών ινών στην αντικειμενική σκληρότητα (στους -15°C) των δειγμάτων παγωτού στις 16 εβδομάδες αποθήκευσης

Εξετάζοντας τις επιδράσεις των διατητικών ινών στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση ($p < 0.01$) σε σχέση με το τυφλό δείγμα. Παρόλα, αυτά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σχετικά με το είδος της διατητικής ίνας. Η

ικανότητα των διαιτητικών ινών να περιορίζουν τους ρυθμούς τήξης των δειγμάτων παγωτού έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία (Cody et al., 2007; Dervisoglu et al., 2006). Η δράση αυτή κατά κύριο λόγο αποδίδεται στην ικανότητα των διαιτητικών ινών να ανυψώνουν τα σημεία υαλώδους μετάπτωσης και τη θερμοκρασία πήξης των μιγμάτων παγωτού (Soukoulis et al., 2009).

6.4.5 Αντικειμενική σκληρότητα

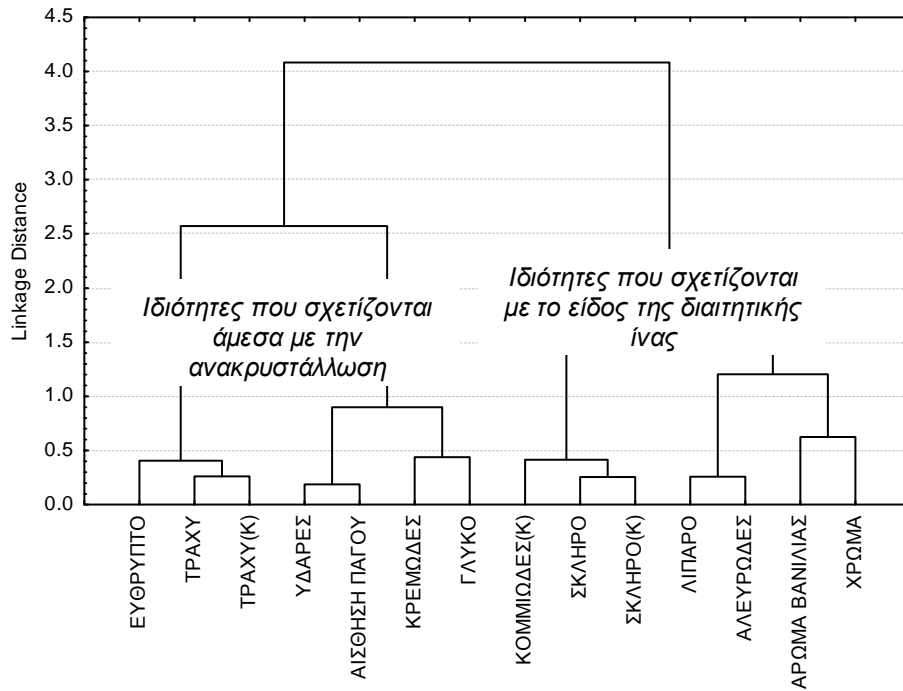
Οι επιδράσεις των διαιτητικών ινών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού για χρόνο αποθήκευσης 4 και 16 εβδομάδων φαίνεται στα σχήματα 6.4.19 και 6.4.20 αντίστοιχα. Η προσθήκη των διαιτητικών ινών οδήγησε σε σημαντική ($p < 0.001$) αύξηση της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων σε σχέση με το τυφλό δείγμα. Η αντικειμενική σκληρότητα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως οι θερμικές ιδιότητες, η μικροδομή, το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης κ.α. Η αυξημένη σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού που περιέχουν τις διαιτητικές ίνες αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και του σημείου πήξης (ίνες μήλου και ινουλίνη) καθώς και στην ύπαρξη του κυτταρινικού - ημικυτταρινικού δικτύου (ίνες βρώμης και σιταριού). Η συνεκτική δομή των δειγμάτων που περιέχουν την ινουλίνη (λόγω της απουσίας των αδιάλυτων ινών), σε συνδυασμό με τη σημαντική επίδραση στις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού σε σχέση με τα άλλα είδη των διαιτητικών ινών, δικαιολογεί τις ιδιαίτερα υψηλές τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας.

Ο χρόνος αποθήκευσης των δειγμάτων παγωτού επέδρασε σημαντικά στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού ($p < 0.05$). Ειδικότερα, η σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης στους -26°C . Η αύξηση της σκληρότητας αποδίδεται στην αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων στα δείγματα λόγω φαινομένων ανακρυστάλλωσης (Soukoulis et al., 2008). Παρατηρώντας τις αποκλίσεις της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού ανά είδος διαιτητικής ίνας στο ενδιάμεσο διάστημα αποθήκευσης των 12 εβδομάδων, διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα παρουσιάστηκαν ιδιαίτερα σταθερά παρουσιάζοντας αύξηση της σκληρότητας από 6.7 έως 48% έναντι του 173% στην περίπτωση του δείγματος της σακχαρόζης. Η μεγαλύτερη μοριακή κινητικότητα του νερού στη φάση ορού στην περίπτωση των δειγμάτων της σακχαρόζης εξηγεί τις αποκλίσεις στη σκληρότητα που έμμεσα συνδέονται με τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης.

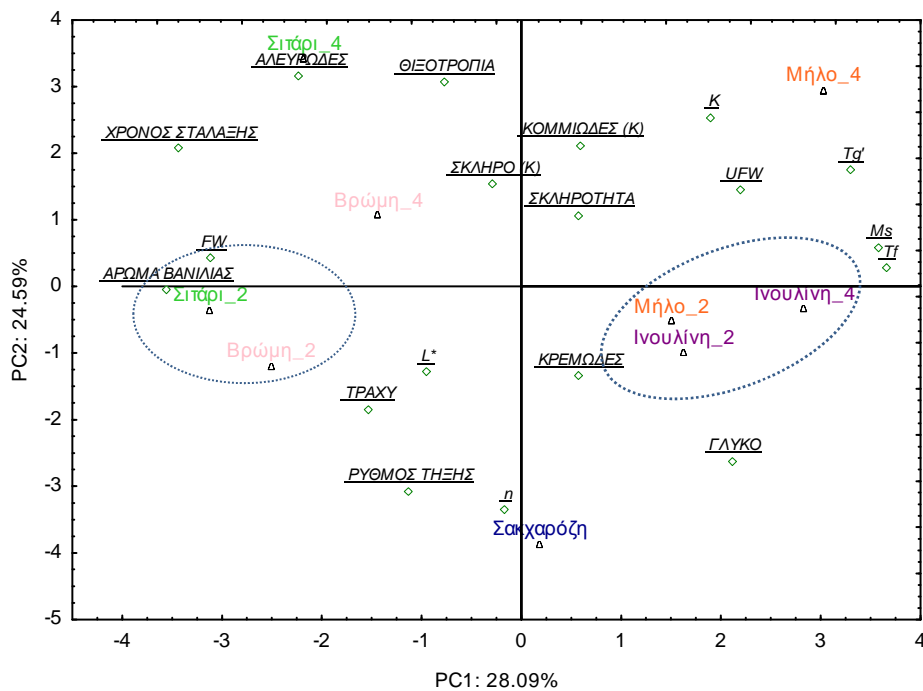
6.4.6 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Στον πίνακα 6.4.5 παρατίθενται τα αποτελέσματα των οργανοληπτικών δοκιμών των δειγμάτων παγωτού μετά από 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης. Σύμφωνα με τα δεδομένα της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA), η προσθήκη των διαιτητικών ινών επηρέασε σημαντικά ($p < 0.05$) το σύνολο των οργανοληπτικών ιδιοτήτων εκτός από τη γλυκιά γεύση. Ειδικότερα, τα δείγματα παγωτού που περιείχαν διαιτητικές ίνες χαρακτηρίστηκαν από ενισχυμένο άρωμα βανίλιας, αυξημένη σκληρότητα και κομμιώδη υφή, κρεμώδη υφή, περιορισμένη τραχιά και υδαρή υφή. Το κυριότερο ελάττωμα το οποίο προκάλεσε η παρουσία των διαιτητικών ινών στα δείγματα παγωτού ήταν η αλευρώδης υφή. Το είδος των διαιτητικών ινών επηρέασε επίσης σημαντικά ($p < 0.05$) το σύνολο των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων παγωτού εκτός από το χρώμα, τη γλυκιά γεύση και την εύθρυπτη υφή. Το άρωμα βανίλιας των δειγμάτων παγωτού ενισχύθηκε κατά την προσθήκη των ινών βρώμης και σιταριού, ενώ η ινουλίνη αποδείχθηκε ως η αποτελεσματικότερη διαιτητική ίνα, αφού περιόρισε την τραχύτητα και την υδαρότητα των δειγμάτων και ενίσχυσε την κρεμώδη και κομμιώδη υφή. Επιπλέον, τα δείγματα με την ινουλίνη χαρακτηρίστηκαν από υψηλότερη σκληρότητα, αλλά και πιο έντονη αίσθηση παγωμένου. Οι ίνες μήλου επίσης βελτίωσαν σημαντικά τα χαρακτηριστικά υφής των

δειγμάτων παγωτού ενώ οι ίνες βρώμης και σιταριού αύξησαν σημαντικά την αλευρώδη υφή η οποία ήταν πολύ έντονη στο υψηλό ποσοστό της προσθήκης τους.



Σχήμα 6.4.21: Μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών στα δείγματα παγωτού με ή χωρίς την προσθήκη διαιτητικών ινών (cluster analysis)



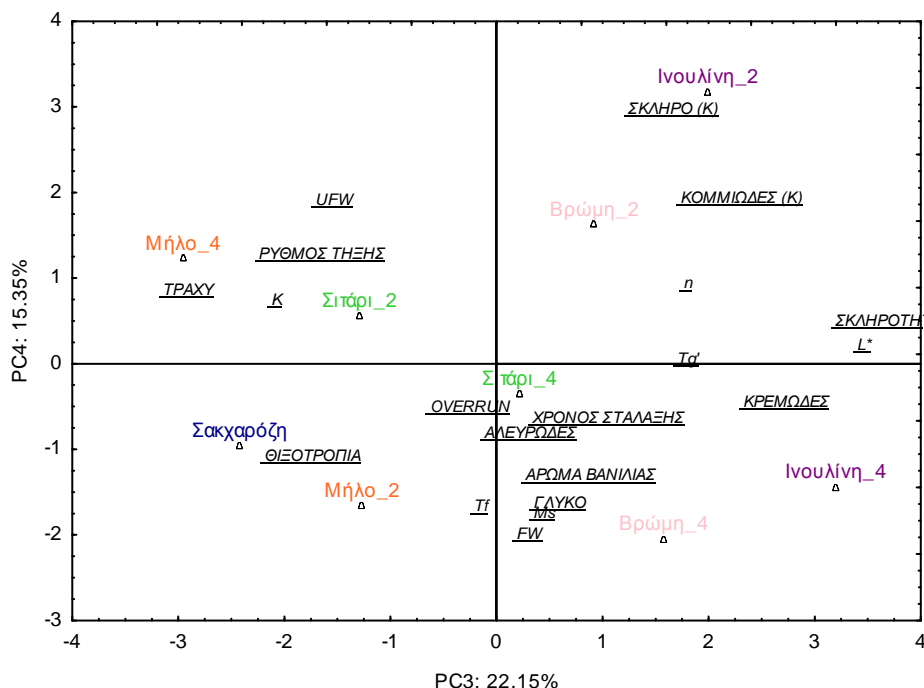
Σχήμα 6.4.22: Μελέτη των συσχετίσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και των αντικειμενικών ιδιοτήτων στα δείγματα παγωτού με ή χωρίς την προσθήκη διαιτητικών ινών με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PC1 - PC2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΔΕΙΓΜΑ	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα Βανίλιας	Σκληρό (Κ)	Τραχύ (Κ)	Εύθρυπτο (Κ)	Κομμιώδες (Κ)	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Αλευρώδες	Υδαρές	Κρεμώδες	Λιπαρό
ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 4 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ														
Σακχαρόζη	7.2 ± 0.1	6.5 ± 0.2	5.2 ± 0.2	2.5 ± 0.2	5.5 ± 0.3	5.0 ± 0.0	3.2 ± 0.2	7.0 ± 0.0	2.2 ± 0.2	5.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	7.3 ± 0.1	4.7 ± 0.4	2.1 ± 0.1
Ίνες βρώμης 2%	7.7 ± 0.2	6.0 ± 0.3	7.0 ± 0.2	6.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	2.7 ± 0.3	5.2 ± 0.1	7.0 ± 0.0	5.5 ± 0.2	4.2 ± 0.2	4.7 ± 0.3	6.5 ± 0.3	6.0 ± 0.0	3.7 ± 0.2
Ίνες βρώμης 4%	7.3 ± 0.2	6.3 ± 0.1	7.0 ± 0.0	4.3 ± 0.2	3.0 ± 0.0	2.6 ± 0.3	4.6 ± 0.1	5.0 ± 0.1	4.0 ± 0.0	2.8 ± 0.3	5.6 ± 0.2	4.3 ± 0.2	7.0 ± 0.0	2.6 ± 0.3
Ίνες σιταριού 2%	7.8 ± 0.2	6.0 ± 0.0	6.6 ± 0.1	4.5 ± 0.3	4.6 ± 0.1	2.1 ± 0.1	5.1 ± 0.3	4.6 ± 0.3	5.3 ± 0.3	5.3 ± 0.2	5.0 ± 0.0	3.6 ± 0.3	4.0 ± 0.3	3.0 ± 0.2
Ίνες σιταριού 4%	7.8 ± 0.1	5.6 ± 0.3	6.1 ± 0.3	5.5 ± 0.2	5.1 ± 0.3	3.8 ± 0.3	5.5 ± 0.3	5.0 ± 0.3	4.3 ± 0.2	3.2 ± 0.3	8.1 ± 0.5	4.0 ± 0.0	3.6 ± 0.3	4.1 ± 0.2
Ίνες μήλου 2%	8.3 ± 0.2	6.3 ± 0.1	6.1 ± 0.2	3.3 ± 0.4	5.1 ± 0.3	3.0 ± 0.0	4.5 ± 0.3	4.3 ± 0.1	3.1 ± 0.2	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	4.5 ± 0.0	5.5 ± 0.6	3.7 ± 0.3
Ίνες μήλου 4%	6.3 ± 0.3	6.0 ± 0.0	4.3 ± 0.1	5.3 ± 0.3	4.3 ± 0.2	3.3 ± 0.3	5.3 ± 0.1	4.3 ± 0.3	4.3 ± 0.3	4.0 ± 0.0	4.6 ± 0.2	3.3 ± 0.1	4.0 ± 0.2	3.7 ± 0.2
Ιουλίνη 2%	8.2 ± 0.4	6.1 ± 0.3	4.5 ± 0.4	7.2 ± 0.1	4.2 ± 0.3	2.7 ± 0.3	6.0 ± 0.3	6.7 ± 0.3	5.2 ± 0.2	3.3 ± 0.3	2.0 ± 0.3	6.5 ± 0.4	6.0 ± 0.2	2.5 ± 0.2
Ιουλίνη 4%	7.7 ± 0.1	6.5 ± 0.2	5.5 ± 0.3	4.2 ± 0.2	3.3 ± 0.1	2.5 ± 0.1	5.7 ± 0.4	7.0 ± 0.4	4.3 ± 0.4	2.7 ± 0.4	4.1 ± 0.3	4.2 ± 0.3	6.0 ± 0.3	2.5 ± 0.2
ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 16 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ														
Σακχαρόζη	6.8 ± 0.1	6.2 ± 0.2	5.0 ± 0.0	4.3 ± 0.1	6.9 ± 0.1	6.8 ± 0.4	2.3 ± 0.2	7.3 ± 0.3	3.2 ± 0.2	6.4 ± 0.1	0.0 ± 0.0	7.4 ± 0.5	4.0 ± 0.0	2.3 ± 0.7
Ίνες βρώμης 2%	7.2 ± 0.2	6.2 ± 0.1	6.6 ± 0.2	6.5 ± 0.3	4.9 ± 0.2	3.8 ± 0.2	5.1 ± 0.1	6.3 ± 0.2	5.9 ± 0.3	4.7 ± 0.3	4.3 ± 0.2	6.2 ± 0.2	5.2 ± 0.3	3.4 ± 0.5
Ίνες βρώμης 4%	7.3 ± 0.4	6.0 ± 0.0	7.0 ± 0.0	5.3 ± 0.1	3.8 ± 0.4	3.2 ± 0.3	4.3 ± 0.2	5.3 ± 0.4	4.5 ± 0.2	3.5 ± 0.0	5.3 ± 0.3	4.4 ± 0.3	6.2 ± 0.3	3.4 ± 0.2
Ίνες σιταριού 2%	7.3 ± 0.2	5.3 ± 0.2	6.7 ± 0.3	5.2 ± 0.3	5.1 ± 0.2	2.8 ± 0.1	4.4 ± 0.3	4.9 ± 0.3	5.2 ± 0.2	5.8 ± 0.2	5.2 ± 0.3	3.4 ± 0.2	3.4 ± 0.2	2.3 ± 0.6
Ίνες σιταριού 4%	7.4 ± 0.2	5.8 ± 0.3	6.5 ± 0.1	6.1 ± 0.2	5.3 ± 0.2	3.8 ± 0.3	5.6 ± 0.2	3.8 ± 0.2	5.0 ± 0.0	4.3 ± 0.1	7.5 ± 0.4	3.3 ± 0.2	3.0 ± 0.0	4.3 ± 0.2
Ίνες μήλου 2%	7.0 ± 0.0	6.2 ± 0.1	4.0 ± 0.4	3.9 ± 0.1	5.9 ± 0.3	3.7 ± 0.1	4.5 ± 0.3	4.6 ± 0.3	4.3 ± 0.3	5.0 ± 0.0	4.9 ± 0.3	4.0 ± 0.0	5.0 ± 0.0	3.3 ± 0.1
Ίνες μήλου 4%	5.9 ± 0.3	5.9 ± 0.3	3.8 ± 0.3	5.3 ± 0.2	3.4 ± 0.1	3.8 ± 0.3	5.0 ± 0.0	4.9 ± 0.2	3.4 ± 0.3	4.7 ± 0.2	4.8 ± 0.3	3.9 ± 0.1	4.4 ± 0.3	3.2 ± 0.2
Ιουλίνη 2%	8.1 ± 0.2	6.0 ± 0.0	4.2 ± 0.3	7.4 ± 0.2	4.2 ± 0.2	2.8 ± 0.1	5.7 ± 0.3	6.3 ± 0.3	5.9 ± 0.2	3.8 ± 0.1	2.4 ± 0.1	6.0 ± 0.0	5.3 ± 0.1	2.4 ± 0.2
Ιουλίνη 4%	7.3 ± 0.3	6.0 ± 0.0	5.2 ± 0.1	4.2 ± 0.4	3.2 ± 0.1	2.9 ± 0.1	5.8 ± 0.2	6.9 ± 0.2	5.3 ± 0.2	3.0 ± 0.0	3.9 ± 0.3	4.5 ± 0.3	6.3 ± 0.0	2.5 ± 0.3

Πίνακας 6.4.5: Επίδραση των διαιτητικών ινών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού όπως προσδιορίστηκαν μετά από 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης στους -26 °C αντίστοιχα

Η διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών γεύσης και υφής στα δείγματα παγωτού με ίνες απέδειξε ότι η παρουσία των διαιτητικών ινών επηρεάζει κατά κύριο λόγο τη σκληρότητα, την κομμώδη και αλευρώδη υφή όπως επίσης το άρωμα και το χρώμα. Η παρατήρηση αυτή υποδηλώνει ότι η παρουσία των διαιτητικών μπορεί να ελέγχει τον τρόπο απελευθέρωσης του αρώματος στα δείγματα παγωτού, δράση η οποία φαίνεται να σχετίζεται αφενός με το ποσοστό διάλυσης της λιπόφιλης βανιλίνης στο λιπαρό κλάσμα των δειγμάτων (συσχέτιση λιπαρής υφής με το άρωμα), αλλά και με τον εκλωβισμό των αρωματικών παραγόντων απευθείας στο κυτταρινικό - ημικυτταρινικό υπόστρωμα (συσχέτιση αλευρώδους υφής - αρώματος) δράσεις οι οποίες οδηγούν στη χρονικά βαθμιαία απελευθέρωση του αρώματος.

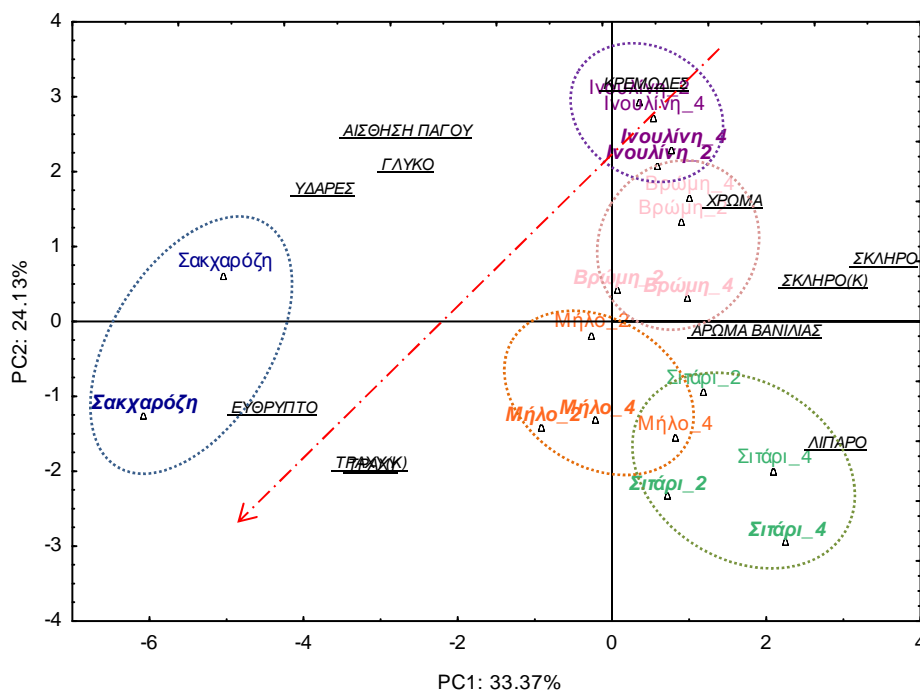


Σχήμα 6.4.23: Μελέτη των συσχετίσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και των αντικειμενικών ιδιοτήτων στα δείγματα παγωτού με ή χωρίς την προσθήκη διαιτητικών ινών με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PC3 - PC4)

Επιπλέον, σύμφωνα με το σχήμα 6.4.21 η τραχύτητα των δειγμάτων παγωτού σχετίστηκε με την ευθρυπτότητά τους, συσχέτιση που υποδηλώνει τη δημιουργία παγοκρύσταλλων φολιδωτής διαμόρφωσης. Επιπλέον, η κρεμώδης υφή των δειγμάτων παγωτού σχετίζεται με την αίσθηση παγωμένου και την υδαρή υφή των δειγμάτων, ιδιότητες οι οποίες συνδέονται με την κατανομή μεγέθους των παγοκρύσταλλων (υψηλή ανομοιογένεια μεγέθους παγοκρύσταλλων υποδεικνύει την εμφάνιση φαινομένων ανακρυστάλλωσης).

Οι ομοιότητες των δειγμάτων παγωτού με ή χωρίς διαιτητικές ίνες σε σχέση με τις αντικειμενικές και τις οργανοληπτικές ιδιότητες εξετάστηκαν με βάση τα διαγράμματα που προέκυψαν από την ΑΚΣ (Σχήματα 6.4.22 και 6.4.23). Οι τέσσερις πρώτοι άξονες (PC1 - PC4) εξηγούν το 90.18% της ολικής διακύμανσης. Ο πρώτος άξονας (PC1) περιγράφεται κατά κύριο λόγο από τις θερμικές ιδιότητες, το άρωμα βανιλίας και το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα, ο δεύτερος άξονας (PC2) από τις ρεολογικές ιδιότητες, τη γλυκιά γεύση, το ρυθμό τήξης και την αλευρώδη υφή (πρόκειται επομένως για τον άξονα που περιγράφει το είδος της διαιτητικής ίνας), ο τρίτος άξονας (PC3) από την τραχιά υφή, τη σκληρότητα, την κρεμώδη και κομμώδη υφή και το αντικειμενικά προσδιορισμένη φωτεινότητα (συνεπώς ο άξονας αναφέρεται στα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης) και ο τέταρτος άξονας από την οργανοληπτικά αντιληπτή

σκληρότητα των δειγμάτων. Σύμφωνα με το σχήμα 6.4.23 τα δείγματα παγωτού με την ινουλίνη και τις ίνες μήλου 2%, παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά σε ότι αφορά τις θερμικές και ρεολογικές τους ιδιότητες. Ανάλογες ομοιότητες εμφανίζουν τα δείγματα με ίνες βρώμης και σιταριού 2%, ενώ καθώς αυξάνει το ποσοστό της ίνας τα συγκεκριμένα δείγματα παρουσιάζουν μία πιο διακριτή συμπεριφορά με εκείνα που περιέχουν τις ίνες σιταριού να χαρακτηρίζονται από υψηλή θιξοτροπία και ιξώδη ενώ τα αντίστοιχα με τις ίνες βρώμης να χαρακτηρίζονται από ανυψωμένες τιμές T_g και T_f .



Σχήμα 6.4.24: Μελέτη των συσχετίσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών στα δείγματα παγωτού με ή χωρίς την προσθήκη διαιτητικών ινών ως συνάρτηση του χρόνου αποθήκευσης με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών

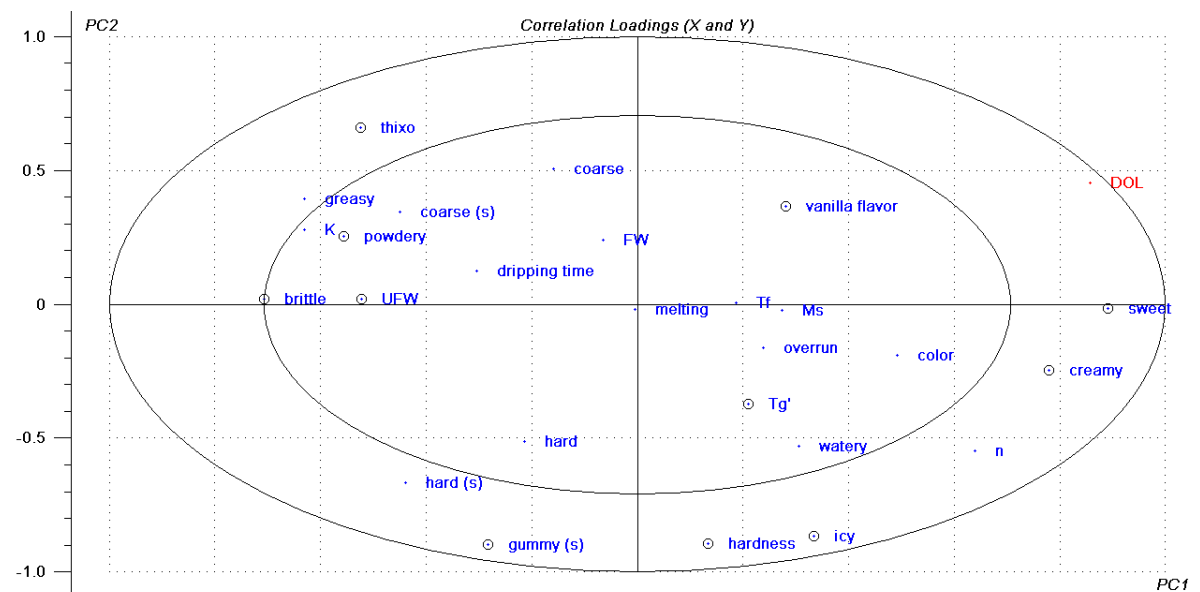
Η διάκριση των δειγμάτων παγωτού σύμφωνα με το σχήμα 6.4.24 ήταν πιο ισχυρή: όλα τα δείγματα παρουσίασαν διαφορετική συμπεριφορά ως προς την ανάπτυξη της κρεμώδους υφής και την πιθανή εμφάνιση φαινομένων ανακρυστάλλωσης. Η υψηλή αναλογία προστιθέμενης διαιτητικής ίνας βελτίωσε σημαντικά την κρεμώδη υφή εκτός από την περίπτωση των ινών μήλου. Η ινουλίνη παρουσίασε την βέλτιστη συμπεριφορά ως προς τον έλεγχο της αύξησης μεγέθους των παγοκρύσταλλων στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης, ενώ εξίσου αποτελεσματική προσδιορίστηκε και η χρήση ινών βρώμης.

Στο σχήμα 6.4.24 απεικονίζεται το διάγραμμα της ΑΚΣ των δειγμάτων παγωτού σε σχέση με τις οργανοληπτικές ιδιότητές τους για διαφορετικούς χρόνους αποθήκευσης. Οι δύο πρώτοι άξονες εξηγούν το 57.5% της ολικής διακύμανσης. Ο πρώτος άξονας (PC1) περιγράφεται από την τραχιά, κομμιώδη, εύθρυπτη και αλευρώδη υφή, και το άρωμα βανίλιας, ενώ ο δεύτερος άξονας (PC2) περιγράφεται από τη γλυκιά γεύση, την αίσθηση παγωμένου και την κρεμώδη υφή. Είναι φανερό ότι η ενίσχυση του παγωτού με διαιτητικές ίνες οδηγεί σε πλήρη διάκριση σε σχέση με τα δείγματα χωρίς ίνες. Η βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής ήταν περισσότερο έντονη στην περίπτωση της ινουλίνης και λιγότερο εμφανής στην περίπτωση των ινών σιταριού. Η σταθερότητα των δειγμάτων παγωτού κατά τη διάρκεια αποθήκευσής τους αποτυπώνεται στο διάγραμμα, με τη μετατόπιση των δειγμάτων προς τις αρνητικές τιμές των αξόνων PC1 και PC2 (όπως υποδεικνύεται από το κόκκινο βέλος). Το σύνολο των δειγμάτων παγωτού εμφάνισε αυτή τη μετατόπιση, γεγονός υποδηλώνει ότι όλα τα δείγματα υποβαθμίστηκαν ποιοτικά μετά από τις 16 εβδομάδες αποθήκευσης. Εντούτοις, λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις μεταξύ των δειγμάτων στις 4 και 16 εβδομάδες

αποθήκευσης, παρατηρείται ότι τα τυφλά δείγματα εμφάνισαν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις και ακολούθως εκείνα με ποσοστό ινών 2%. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ενίσχυση του παγωτού με διαιτητικές ίνες μπορεί να συμβάλλει στον αποτελεσματικό έλεγχο της ποιοτικής υποβάθμισης του παγωτού στη διάρκεια της αποθήκευσής του λόγω της εμφάνισης φαινομένων ανακρυστάλλωσης. Τέλος τονίζεται ότι στην περίπτωση των δειγμάτων με διαιτητικές ίνες δεν εφαρμόστηκε η τεχνική της ανάλυσης διάκρισης, αφού τα δείγματα διαχωρίστηκαν ως προς τις λειτουργικές τους δράσεις ικανοποιητικά στα διαγράμματα της ΑΚΣ.

6.4.7 Πρόρρηση της ολικής αποδοχής

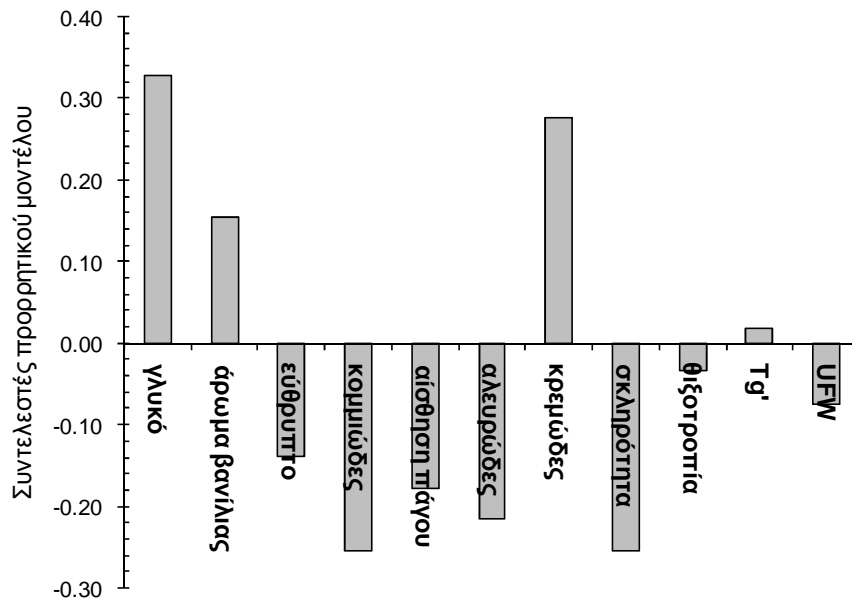
Οι αντικειμενικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός γενικού μαθηματικού μοντέλου πρόρρησης της ολικής αποδοχής κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος με εναλλακτικά σάκχαρα με βάση τη μέθοδο της PLSR. Για την επιλογή των μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόστηκε η τεχνική της ΑΚΣ σε συνδυασμό με πλήρη διασταυρωτική επαλήθευση (full cross validation). Επειδή στην περίπτωση των διαιτητικών ένας περιορισμένος αριθμός δειγμάτων παρασκευάστηκε, η βαθμονόμηση και η επαλήθευση του μοντέλου έγινε λαμβάνοντας υπόψη όχι τους μέσους όρους, αλλά το σύνολο των επαναλήψεων των μετρήσεων σύμφωνα με τους [Martens & Martens \(2000\)](#). Στο σχήμα 6.4.26 παρουσιάζεται το διάγραμμα της ΑΚΣ για την επιλογή των συντελεστών του προρρητικού μοντέλου με βάση το κριτήριο Martens.



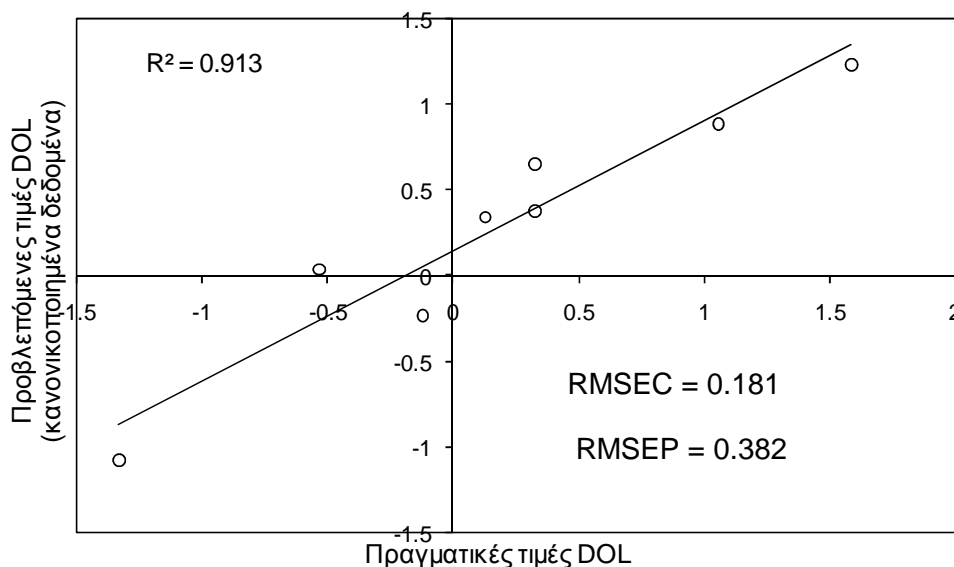
Σχήμα 6.4.25: Επιλογή των μεταβλητών (⊙) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens

Σύμφωνα με το σχήμα 6.4.25, 11 μεταβλητές σχετίστηκαν ικανοποιητικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες, εκ των οποίων 5 αντικειμενικές (θιξοτροπία, σκληρότητα, n , UFW, Tg') και 6 οργανοληπτικές (άρωμα βανίλιας, γλυκιά γεύση, αίσθηση παγωμένου, εύθρυπτο, κρεμώδες, και αλευρώδες). Οι ιδιότητες αυτές περιγράφουν το 77% της ολικής διακύμανσης των μεταβλητών της ομάδας X, και το 89% της ολικής διακύμανσης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων. Στα σχήματα 6.4.26 και 6.4.27 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο PLS. Είναι φανερό ότι η προσαρμογή των δεδομένων είναι ικανοποιητική, αν και όχι εξαιρετικά υψηλή ($R^2 = 0.91$). Ο κυριότερος λόγος που δικαιολογεί

αυτή την παρατήρηση είναι οι σημαντικές διαφοροποιήσεις των διαιτητικών ινών ως προς τις λειτουργικές τους ιδιότητες (π.χ. κοκκομετρία, περιεκτικότητα σε διαλυτές και αδιάλυτες ίνες, ικανότητα συγκράτησης νερού κ.α.). Ωστόσο, τα αποτελέσματα της ανάλυσης PLSR (RMSEP = 0.382) είναι ικανοποιητικά και υποδεικνύουν ότι η ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες μπορεί εύκολα να ποσοτικοποιηθεί με μελέτη των ρεολογικών, θερμοφυσικών και ορισμένων βασικών οργανοληπτικών ιδιοτήτων, που σχετίζονται εξάλλου άμεσα με την ολική ποιότητα των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος (γλυκιά γεύση, άρωμα βανίλιας, κρεμώδης υφή). Τα συγκεκριμένα μοντέλα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αν ληφθεί υπόψη ότι η ενσωμάτωση των διαιτητικών ινών στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος είναι πολύ πρόσφατη και απαιτείται εντατική έρευνα για την κατανόηση όλων των μηχανισμών μέσω των οποίων γίνεται αντιληπτή η ολική τους ποιότητα.



Σχήμα 6.4.26: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρηθικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)

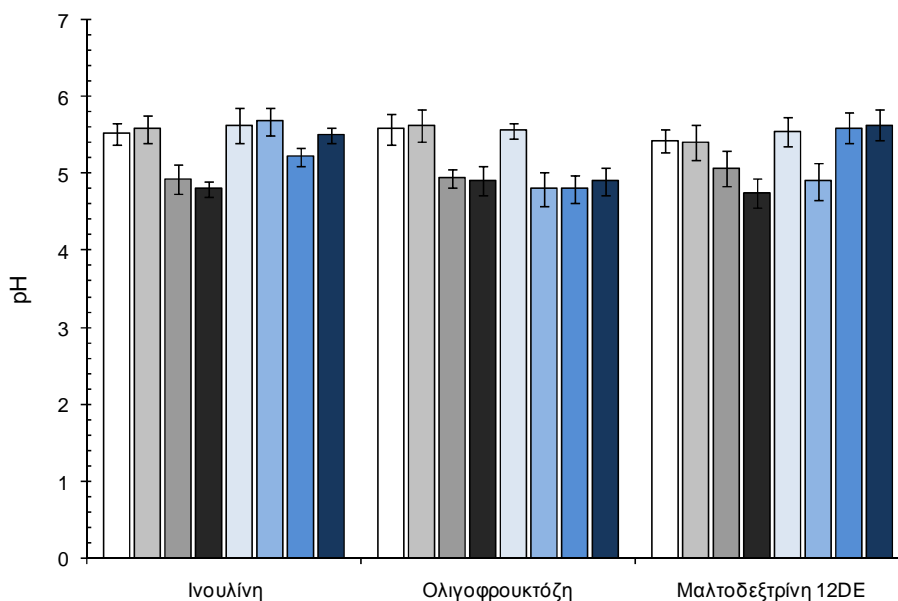


Σχήμα 6.3.27: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR

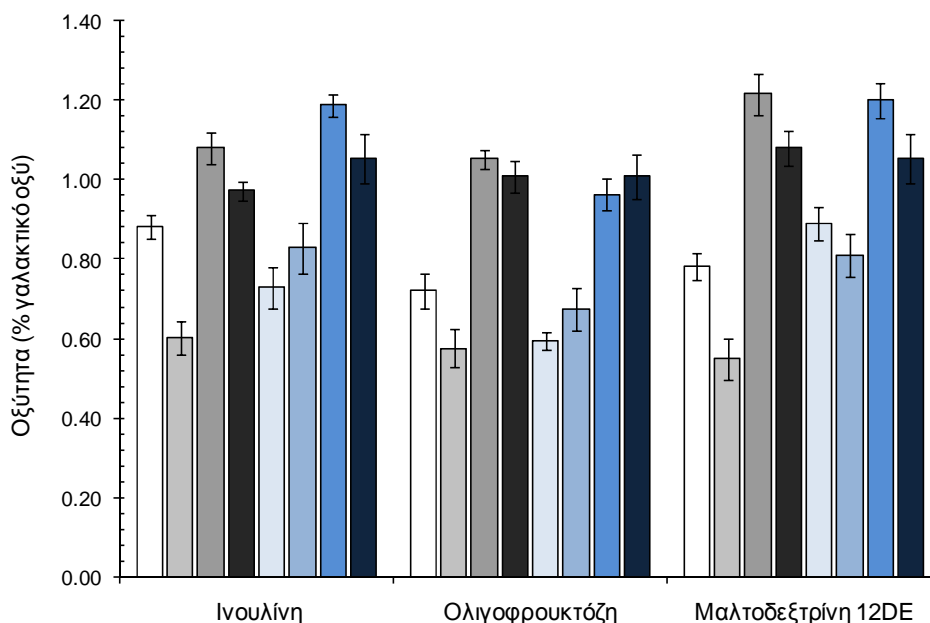
6.5 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΟΛΙΓΟΣΑΚΧΑΡΙΤΩΝ ΣΕ ΖΥΜΩΜΕΝΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

6.5.1 pH και οξύτητα των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού

Οι τιμές του pH και της οξύτητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού φαίνονται στα σχήματα 6.7.1 και 6.7.2 αντίστοιχα.



Σχήμα 6.5.1: Τιμές pH των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4 °C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους

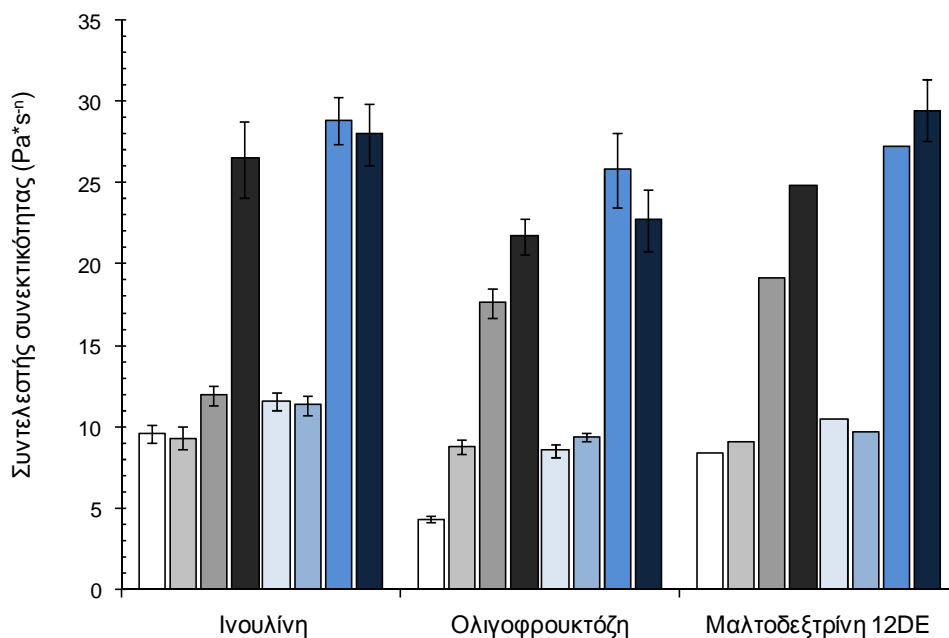


Σχήμα 6.5.2: Τιμές οξύτητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4 °C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.

Το pH των μιγμάτων επηρεάστηκε σημαντικά ($p < 0.01$) μόνο από την περιεκτικότητά τους σε γιαούρτι. Όπως είναι αναμενόμενο η αύξηση της περιεκτικότητας των μιγμάτων σε γιαούρτι οδηγεί σε σημαντική μείωση του pH. Το pH επηρεάζεται γενικά από τους παράγοντες που επιδρούν άμεσα στην ιοντική ισορροπία π.χ. ανόργανα άλατα και πρωτεΐνες. Δεδομένου ότι οι υδατάνθρακες δεν χαρακτηρίζονται από ηλεκτρολυτική συμπεριφορά, η παρουσία τους δεν οδηγεί σε αξιόλογες επιδράσεις στο pH.

Η οξύτητα των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού επηρεάστηκε σημαντικά τόσο από το ποσοστό προσθήκης γιαουρτιού ($p < 0.001$) όσο και από το είδος και το ποσοστό προσθήκης του ολιγοσακχαρίτη. Η αύξηση της περιεκτικότητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού σε γιαούρτι, η προσθήκη ινουλίνης ή μαλτοδεξτρίνης σε ποσοστό 30% επέφεραν σημαντική αύξηση της οξύτητας των δειγμάτων. Σε αντίθεση με το pH το οποίο επηρεάζεται αποκλειστικά από την ιοντική ισορροπία, η οξύτητα μπορεί να επηρεαστεί από τους παράγοντες της σύστασης (Soukoulis & Tzia 2008). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από τους Akin et al. (2007).

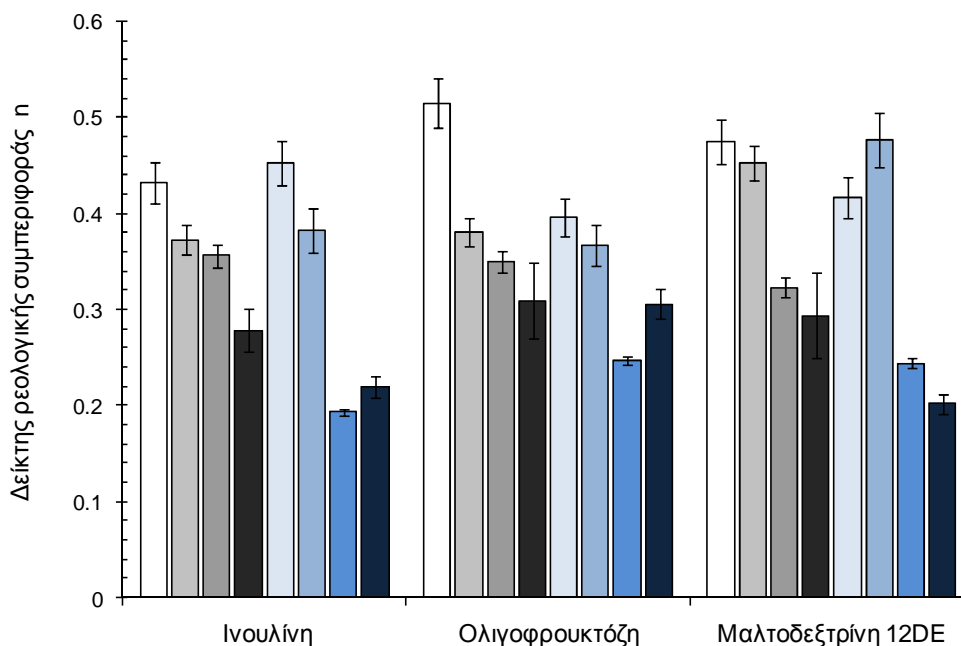
6.5.2 Ρεολογικές ιδιότητες των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού



Σχήμα 6.5.3: Τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4° C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.

Στα σχήματα 6.5.3 - 6.5.5 παρουσιάζονται οι επιδράσεις των ολιγοσακχαριτών και της περιεκτικότητας σε λιπαρά και γιαούρτι στις ρεολογικές ιδιότητες των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού. Ο συντελεστής συνεκτικότητας και τα ιξώδη των μιγμάτων επηρεάστηκαν σημαντικά ($p < 0.01$) από το είδος των ολιγοσακχαριτών. Η αύξηση της περιεκτικότητας των μιγμάτων σε προβιοτικό γιαούρτι και λιπαρά επέφερε σημαντική αύξηση των τιμών του K και του ιξώδους Kokini. Το ιξώδες των μιγμάτων παγωτού επηρεάζεται τόσο από το ποσοστό των ολικών στερεών όσο και από τη λειτουργικότητα των συστατικών του (συγκράτηση υγρασίας, σχηματισμός βιοπολυμερικών διαμορφώσεων, κρυστάλλωση λιπαρών κ.α.). Η αύξηση της περιεκτικότητας των μιγμάτων παγωτού σε λιπαρά αυξάνει αφενός το ποσοστό των ολικών στερεών και αφετέρου την ποσότητα των κρυσταλλωμένων τριγλυκεριδίων (η κρέμα γάλακτος χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό τριγλυκεριδίων που βρίσκονται σε στερεή κατάσταση στη θερμοκρασία ωρίμανσης). Η παρατήρηση αυτή εξηγεί επίσης και τη σημαντική αύξηση της

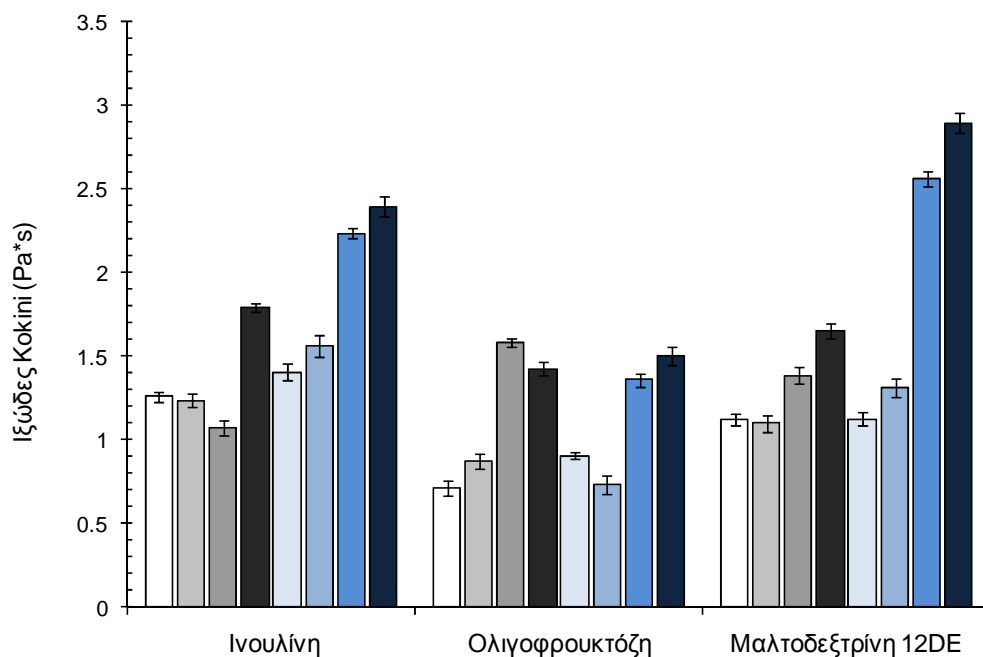
ψευδοπλαστικότητα ($p < 0.001$) στα μίγματα με 6% λιπαρά: οι διαμορφωμένες κρυσταλλικές δομές υπό την επίδραση της διάτμησης καταστρέφονται και οι ανθρακικές αλυσίδες των τριγλυκεριδίων ανακατανέμονται γραμμικά στο χώρο (Bazmi et al., 2008).



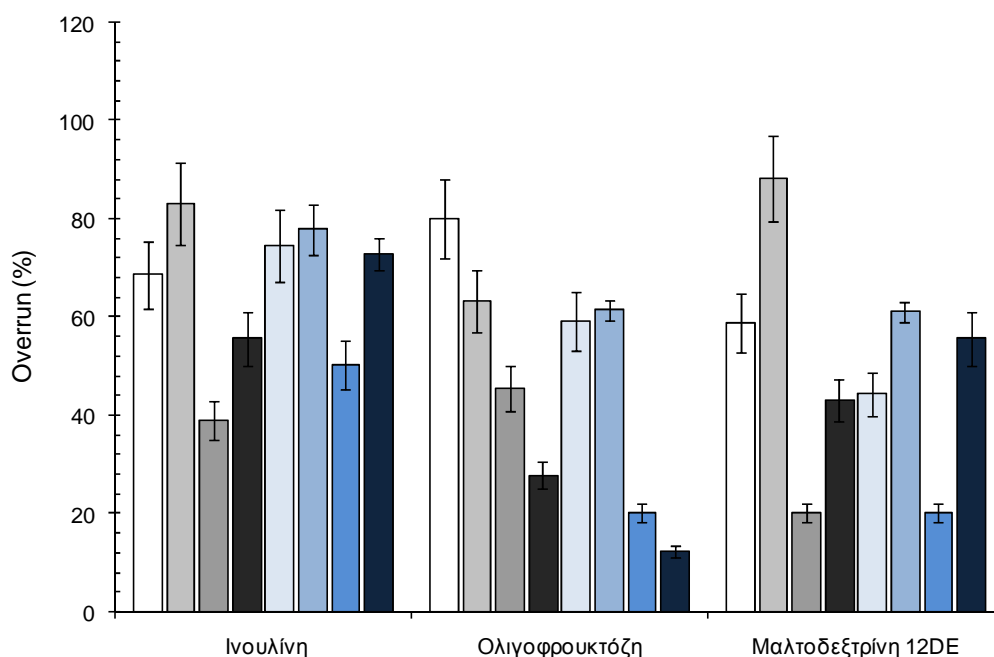
Σχήμα 6.5.4: Τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.

Η προσθήκη του προβιοτικού γιαουρτιού επιδρά στα ιξώδη των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού μέσω του διαμορφωμένου πρωτεϊνικού πλέγματος (πλέγμα σταθεροποιημένο βάσει των σουλφουριλικών διασυνδέσεων των πρωτεϊνών ορού γάλακτος - καζεϊνών). Το πρωτεϊνικό πλέγμα επηρεάζει σημαντικά τη μοριακή κινητικότητα του νερού και συνεπώς τα ιξώδη των μιγμάτων, αλλά και τον τρόπο συμπεριφοράς του μίγματος υπό την επιβολή διάτμησης. Πράγματι, η ψευδοπλαστικότητα των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού είναι σημαντικά υψηλότερη ($p < 0.001$) στα μίγματα με 50% γιαούρτι. Η διατάραξη των πρωτεϊνικών αλυσών του πλέγματος στο γιαούρτι, και ο σταδιακός επαναπροσανατολισμός τους στο χώρο δικαιολογεί τη συγκεκριμένη επίδραση. Επιπλέον, το προστιθέμενο σταθεροποιητικό υλικό (κόμμι ξανθάνης) είναι γνωστό για τη συνεργιστική του δράση στη ρεολογική συμπεριφορά ζυμωμένων προϊόντων γάλακτος, αλλά και για την ισχυρά ψευδοπλαστική του συμπεριφορά (Soukoulis et al., 2007; Soukoulis et al., 2008; Soukoulis & Tzia 2008).

Αναφορικά με την επίδραση του είδους των ολιγοσακχαριτών, η ινουλίνη και η μαλτοδεξτρίνη οδήγησαν σε σημαντικά υψηλότερα ιξώδη και τιμές K από την ολιγοφρουκτόζη. Τα δεδομένα είναι σε συμφωνία με εκείνα που έχουν αναφερθεί στην περίπτωση των μιγμάτων παγωτού. Η ικανότητα της μαλτοδεξτρίνης να δρά ως μέσο συγκράτησης σημαντικής ποσότητας υγρασίας και να αυξάνει το ιξώδες λόγω της διακλαδούμενης πολυμερικής της μορφής έχει αναφερθεί (Blanchard & Katz 2006). Η ινουλίνη δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ως προς την επίδρασή της στα ιξώδη και το K των μιγμάτων σε σχέση με τη μαλτοδεξτρίνη, ενώ η ολιγοφρουκτόζη οδήγησε σε χαμηλότερα ιξώδη. Ο μικρότερος βαθμός πολυμερισμού (DP) και διακλάδωσης της ολιγοφρουκτόζης σε σχέση με την ινουλίνη εξηγεί τη μείωση του συντελεστή συνεκτικότητας K και του ιξώδους των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (Coussement & Frank 2001). Ο χαμηλότερος βαθμός της ολιγοφρουκτόζης σε σχέση με την ινουλίνη δικαιολογεί επίσης και τις υψηλότερες τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς στα συγκεκριμένα μίγματα.



Σχήμα 6.5.5: Τιμές του ιξώδους Kokini των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.



Σχήμα 6.5.6: Τιμές του ποσοστού ενσωμάτωσης αέρα στα δείγματα προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.

6.5.3 Overrun

Στο σχήμα 6.5.6 απεικονίζονται οι επιδράσεις των ολιγοσακχαριτών, της αναλογίας λιπαρών και προβιοτικού γιαουρτιού στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. Η περιεκτικότητα των μιγμάτων σε γιαούρτι, το είδος και το ποσοστό

υποκατάστασης των λιπαρών από τους ολιγοσακχαρίτες επηρέασαν σημαντικά τις τιμές του overrun. Ειδικότερα, η αύξηση του ποσοστού προσθήκης γιαουρτιού επέφερε σημαντική μείωση ($p < 0.001$) του overrun των δειγμάτων παγωτού. Η παρατηρούμενη μείωση του overrun μπορεί να αποδοθεί σε δύο κύρια αίτια: α) στην παρουσία των πρωτεϊνικών αλύσεων του πήγματος του γιαουρτιού και β) στα αυξημένα ιξώδη των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού με 50% γιαούρτι, τα οποία επιφέρουν σημαντική αύξηση του ρυθμού διάτμησης (Smith et al., 2000; Soukoulis & Tzia 2008).

Η προσθήκη της ινουλίνης οδήγησε σε υψηλότερα overrun στα δείγματα παγωτού ($p < 0.01$). Αντίθετα, τα δείγματα που περιείχαν μαλτοδεξτρίνη και ολιγοφρουκτόζη εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές του overrun. Οι Kip et al., (2006) έχουν αναφέρει ότι η προσθήκη ινουλίνης σε ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος οδηγεί σε αφρώδη υφή, λόγω της ικανότητάς της να συνδέεται μέσω δεσμών υδρογόνου με τις πρωτεϊνικές αλυσίδες του πήγματος στο γιαούρτι. Επιπλέον, οι Akalin et al., (2008) ανέφεραν ότι η προσθήκη ινουλίνης ευνοεί την ενσωμάτωση αέρα στο προβιοτικό παγωτό σε σχέση με την ολιγοφρουκτόζη. Η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης των λιπαρών από τους ολιγοσακχαρίτες επέφερε σημαντική αύξηση του overrun ($p < 0.05$).

6.5.4 Επίδραση της προσθήκης γιαουρτιού στα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού

Η θερμική συμπεριφορά των ολιγοσακχαριτών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού έχει ήδη μελετηθεί σε προηγούμενη παράγραφο. Προκειμένου να σχηματιστεί μία καθολική άποψη για την πιθανή επίδραση του ποσοστού προσθήκης γιαουρτιού (για την οποία δεν υπάρχουν δεδομένα στη διεθνή βιβλιογραφία) στις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων προβιοτικού, ενδεικτικά μίγματα παγωτού (με ινουλίνη και ολιγοφρουκτόζη) μετρήθηκαν με θερμιδόμετρο σάρωσης DSC. Η προσθήκη γιαουρτιού αλλάζει όχι μόνο τη μικροδομή των μιγμάτων αλλά και το είδος των πρωτεϊνών καθώς και την περιεκτικότητα σε λακτόζη. Για το λόγο αυτό η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των μιγμάτων παρέχει πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο η προσθήκη του γιαουρτιού με τον οποίο επηρεάζει τη θερμοδυναμική σταθερότητα των κατεψυγμένων προϊόντων. Οι καμπύλες τήξης των μιγμάτων παγωτού με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι φαίνονται στα σχήματα 6.5.7 - 6.5.10. Από τις καμπύλες τήξης είναι φανερό ότι για δεδομένο είδος ολιγοσακχαριτών η αύξηση της περιεκτικότητας του γιαουρτιού δεν επηρέασε σημαντικά τις τιμές της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης και έναρξης της τήξης του πάγου (Πίνακας 6.5.1). Παρόλα αυτά οι επιδράσεις του είδους των ολιγοσακχαριτών στα T_g και T_g' είναι σε συμφωνία με αυτές που έχουν ήδη αναφερθεί.

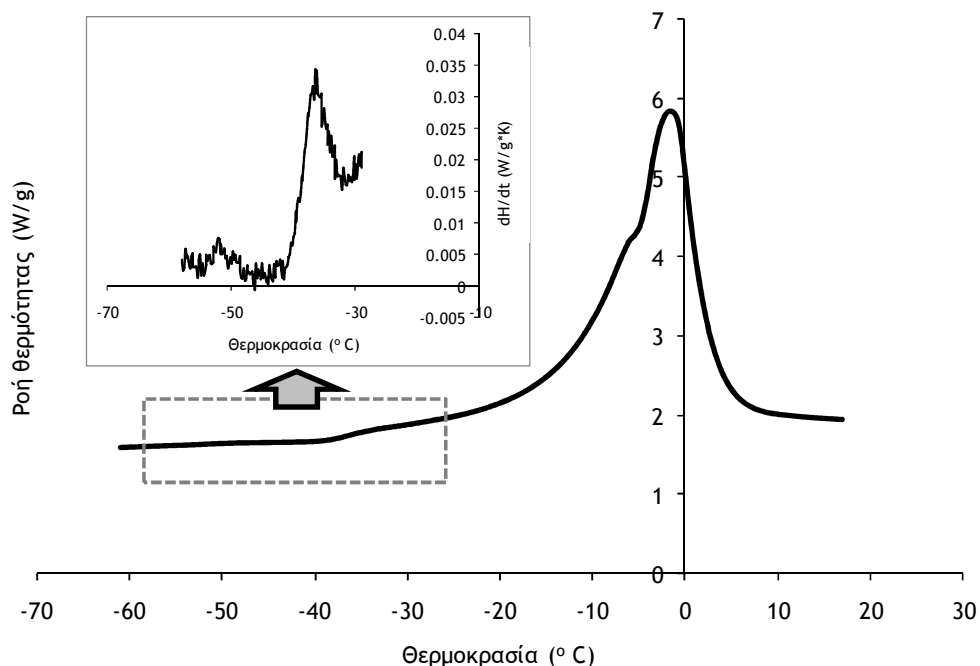
Δείγμα	T_g	$T_{off} - T_{on}$	T_g'	$T_{off} - T_{on}$
Ολιγοφρουκτόζη - 25 % γιαούρτι	-51.9 ± 0.3^A	8.3 ± 0.5^{AB}	-36.3 ± 0.3^A	7.7 ± 0.3
Ολιγοφρουκτόζη - 50 % γιαούρτι	-51.5 ± 0.4^A	9.3 ± 0.8^{BC}	-36.1 ± 0.2^A	8.2 ± 0.4
Ινουλίνη - 25% γιαούρτι	-50.4 ± 0.2^B	8.1 ± 0.2^A	-35.7 ± 0.1^B	8.6 ± 0.4
Ινουλίνη - 50% γιαούρτι	-50.7 ± 0.3^B	9.7 ± 0.7^C	-35.5 ± 0.3^B	8.9 ± 0.2

Πίνακας 6.5.1: Επίδραση της περιεκτικότητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού σε γιαούρτι στις θερμικές ιδιότητές τους

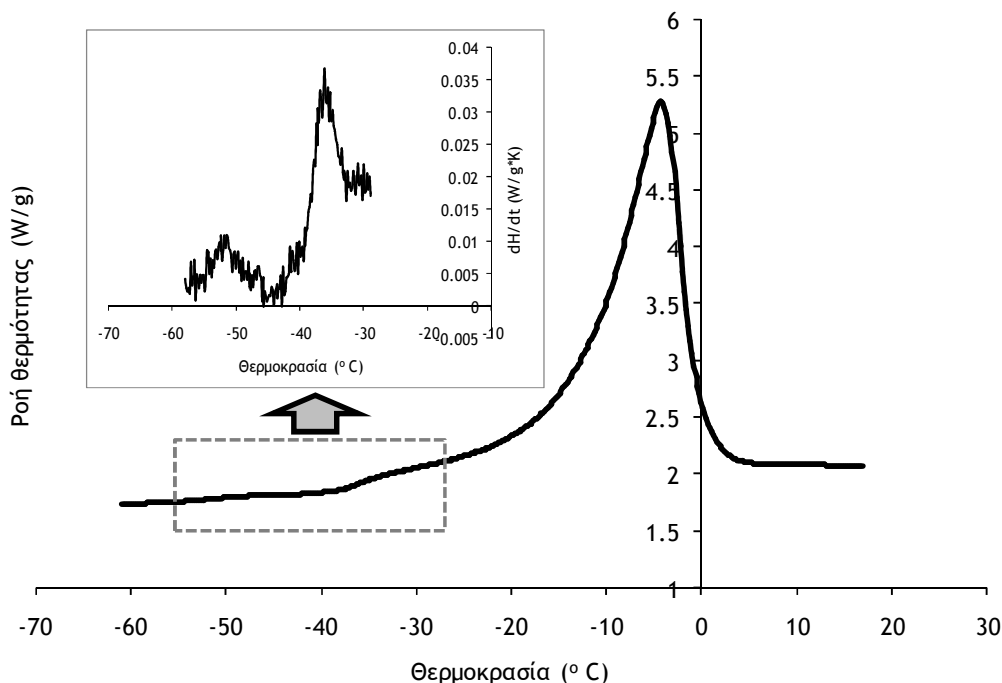
6.5.5 Χαρακτηριστικά τήξης

Στα σχήματα 6.5.11 και 6.5.12 εμφανίζονται οι τιμές των χαρακτηριστικών τήξης των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. Το είδος και το ποσοστό προσθήκης των ολιγοσακχαριτών καθώς και η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε λιπαρά επηρέασαν σημαντικά το χρόνο

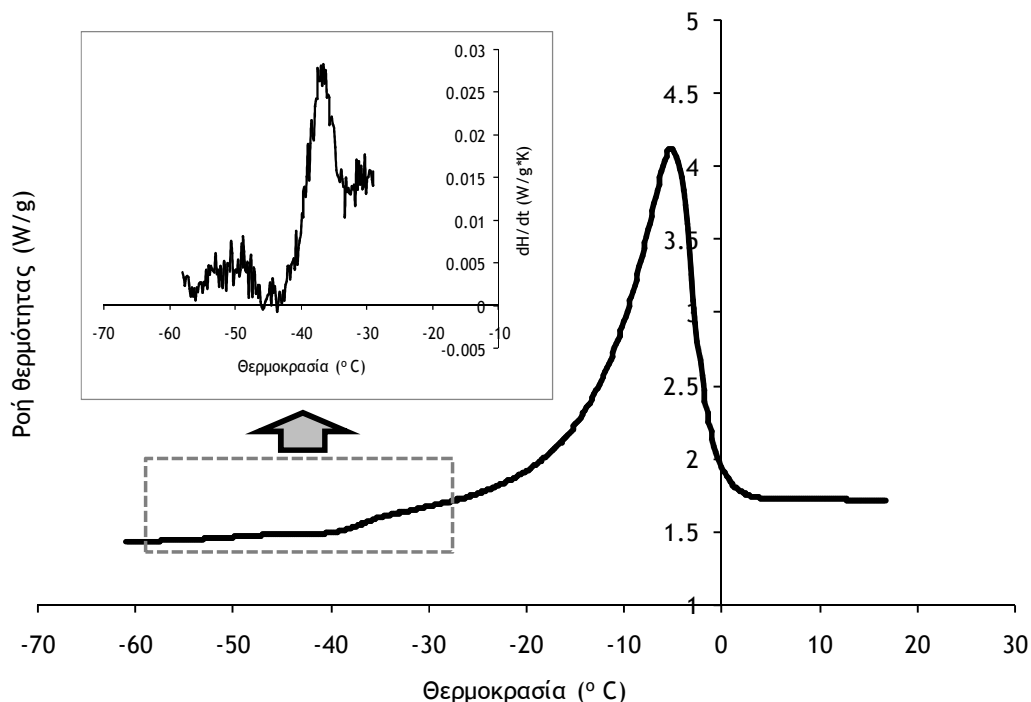
στάλαξης και το ρυθμό τήξης τους. Η αύξηση της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε λιπαρά οδήγησε σε σημαντική αύξηση του χρόνου στάλαξης και του ρυθμού τήξης.



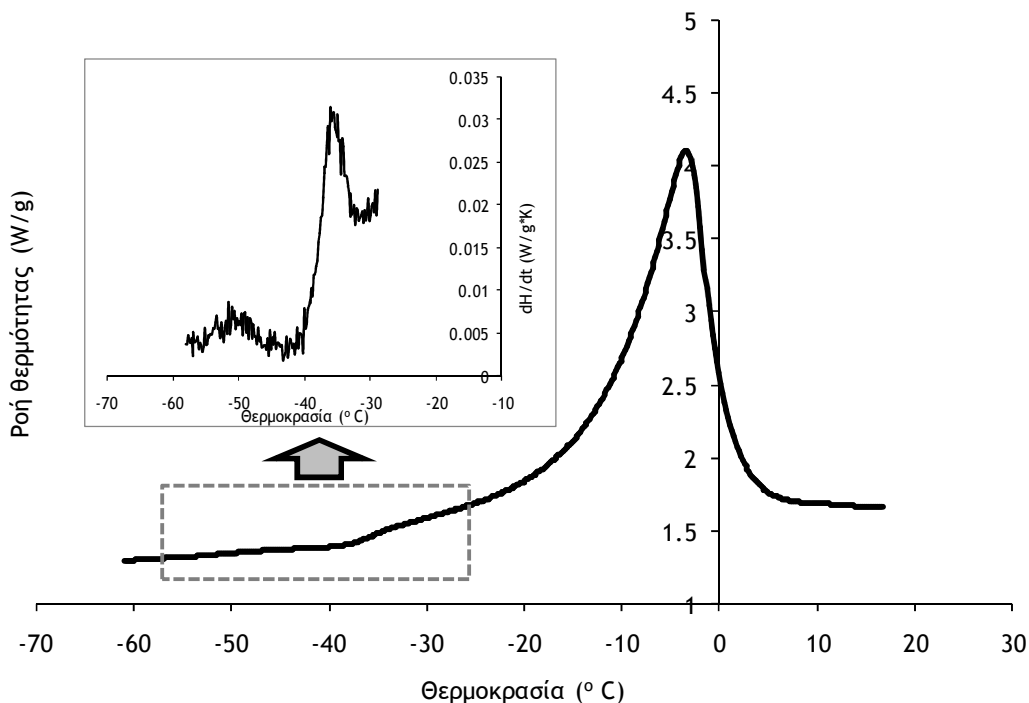
Σχήμα 6.5.7: Καμπύλη τήξης μίγματος προβιοτικού παγωτού με ολιγοφρουκτόζη ως υποκατάστατο των λιπαρών (6% λιπαρά, 30% υποκατάσταση, 50% γιαούρτι). Στο πλαίσιο απεικονίζεται η 1η παράγωγος του τμήματος της καμπύλης όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταπτώσεις (σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο έναρξης τήξης)



Σχήμα 6.5.8: Καμπύλη τήξης μίγματος προβιοτικού παγωτού με ολιγοφρουκτόζη ως υποκατάστατο των λιπαρών (6% λιπαρά, 30% υποκατάσταση, 25% γιαούρτι). Στο πλαίσιο απεικονίζεται η 1η παράγωγος του τμήματος της καμπύλης όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταπτώσεις (σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο έναρξης τήξης)



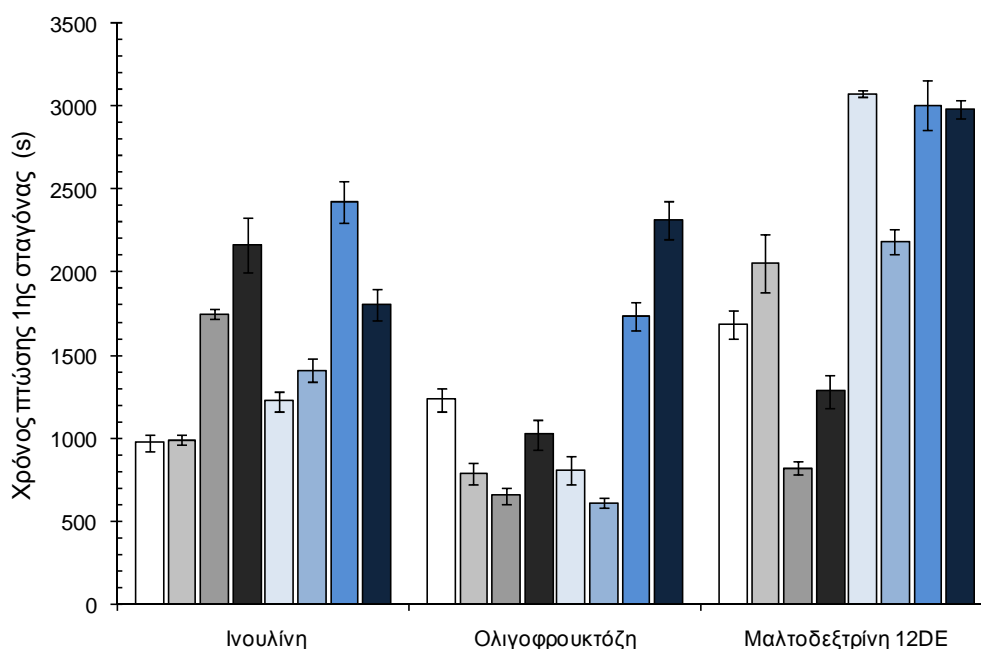
Σχήμα 6.5.9: Καμπύλη τήξης μίγματος προβιοτικού παγωτού με ινουλίνη ως υποκατάστατο των λιπαρών (6% λιπαρά, 30% υποκατάσταση, 25% γιαούρτι). Στο πλαίσιο απεικονίζεται η 1η παράγωγος του τμήματος της καμπύλης όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταπτώσεις (σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο έναρξης τήξης)



Σχήμα 6.5.10: Καμπύλη τήξης μίγματος προβιοτικού παγωτού με ινουλίνη ως υποκατάστατο των λιπαρών (6% λιπαρά, 30% υποκατάσταση, 50% γιαούρτι). Στο πλαίσιο απεικονίζεται η 1η παράγωγος του τμήματος της καμπύλης όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταπτώσεις (σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο έναρξης τήξης)

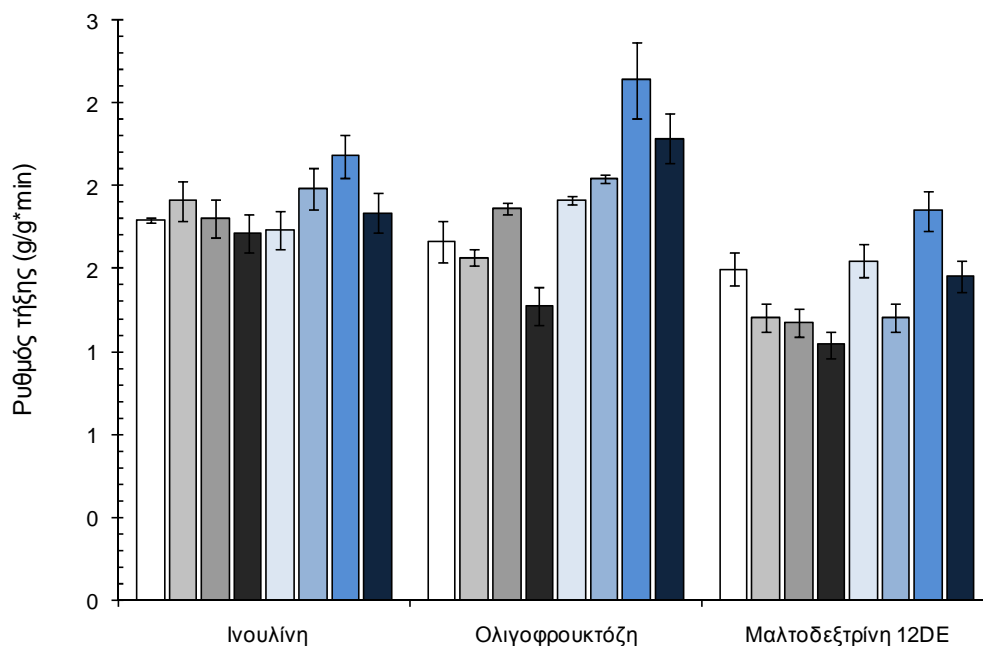
Γενικά, τα λιπαρά μειώνουν τους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας από το περιβάλλον προς το προϊόν λόγω της χαμηλής τιμής του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση του χρόνου που απαιτείται για τη διείσδυση θερμότητας (χρόνος στάλαξης). Η αύξηση του ρυθμού τήξης στα δείγματα με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά αποδίδεται στην αύξηση των ολικών στερεών στα συγκεκριμένα δείγματα. Οι [Li et al., \(1997\)](#), [Roland et al., \(1999\)](#) και [El-Nagar et al., \(2002\)](#) έχουν αναφέρει αντίστοιχα αποτελέσματα αναφορικά με την επίδραση των λιπαρών γάλακτος στα χαρακτηριστικά τήξης του παγωτού και του παγωτού-γιαούρτι.

Η προσθήκη της μαλτοδεξτρίνης επέφερε τη μεγαλύτερη αύξηση του χρόνου στάλαξης και μείωση του ρυθμού τήξης. Η επίδραση της μαλτοδεξτρίνης στις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού αιτιολογεί τις συγκεκριμένες παρατηρήσεις. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έχουν αναφερθεί στην παράγραφο 6.2.4. η μαλτοδεξτρίνη προκαλεί σε σχέση με την ινουλίνη και την ολιγοφρουκτόζη την υψηλότερη ανύψωση του σημείου έναρξης τήξης. Έτσι η διείσδυση της θερμότητας ευνοείται σε μεγαλύτερο βαθμό στα δείγματα με ινουλίνη και ολιγοφρουκτόζη. Επιπλέον, τα δείγματα με ινουλίνη και ολιγοφρουκτόζη δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές ως προς την επίδρασή τους στο ρυθμό τήξης (1.77 και 1.87g/g*min αντίστοιχα), ενώ η ινουλίνη αύξησε σημαντικά το χρόνο στάλαξης (1542 και 1173s αντίστοιχα). Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τα θερμικά δεδομένα (η ινουλίνη παρουσιάζει μικρή ανύψωση του σημείου τήξης σε σχέση με την ολιγοφρουκτόζη).



Σχήμα 6.5.11: Τιμές του χρόνου πτώσης της 1ης σταγόνας τήγματος στα δείγματα προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά.

Η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης των λιπαρών από τους ολιγοσακχαρίτες οδήγησε σε σημαντική αύξηση του χρόνου στάλαξης ($p < 0.01$) και μείωση του ρυθμού τήξης ($p < 0.001$). Η δράση αυτή αποδίδεται στην ικανότητα των ολιγοσακχαριτών να σχηματίζουν πήγματα τα οποία παρεμποδίζουν την ελεύθερη μοριακή κινητικότητα του νερού της φάσης ορού ([El-Nagar et al., 2002](#); [Akalin et al., 2008](#)). Επιπλέον, η αύξηση του ποσοστού των ολιγοσακχαριτών οδηγεί σε μεταβολή των θερμικών ιδιοτήτων των μιγμάτων παγωτού.



Σχήμα 6.5.12: Τιμές του ρυθμού τήξης των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά.

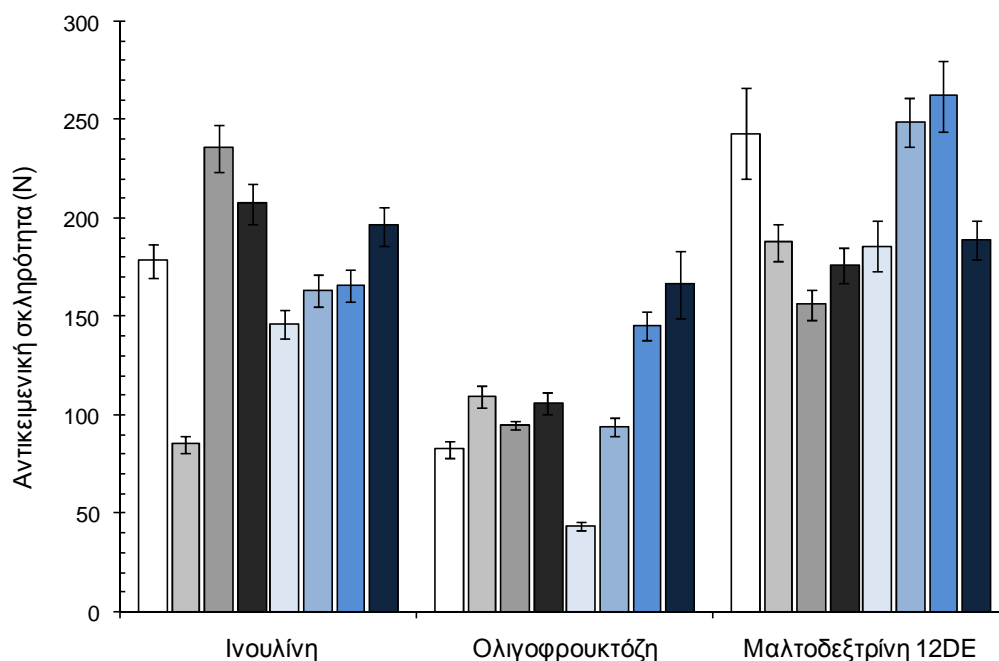
6.5.6 Αντικειμενική σκληρότητα

Οι τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού παρουσιάζονται στα σχήματα 6.5.14 και 6.5.15. Οι παράγοντες που επηρέασαν σημαντικά τη σκληρότητα των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού είναι το είδος των ολισακχαριτών και η περιεκτικότητα σε γιαούρτι και λιπαρά. Η προσθήκη της μαλτοδεξτρίνης οδήγησε στις υψηλότερες τιμές σκληρότητας (ανεξάρτητα από τη διάρκεια της αποθήκευσης), ενώ η προσθήκη της ολιγοφρουκτόζης στις χαμηλότερες. Η σκληρότητα, όπως έχει αναφερθεί, εξαρτάται από τα θερμικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων. Στην παρούσα μελέτη, η μαλτοδεξτρίνη επέφερε την υψηλότερη ανύψωση του σημείου έναρξης τήξης και του σημείου πήξης των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού, με αποτέλεσμα τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη να χαρακτηρίζονται από περισσότερο κρυσταλλωμένο νερό στη θερμοκρασία της ανάλυσης υψής και κατά συνέπεια από υψηλότερες τιμές σκληρότητας. Η θεώρηση με βάση τις θερμικές ιδιότητες είναι επίσης λογική και για την περίπτωση της ινουλίνης, η οποία οδήγησε σε υψηλότερες τιμές σκληρότητας από την ολιγοφρουκτόζη.

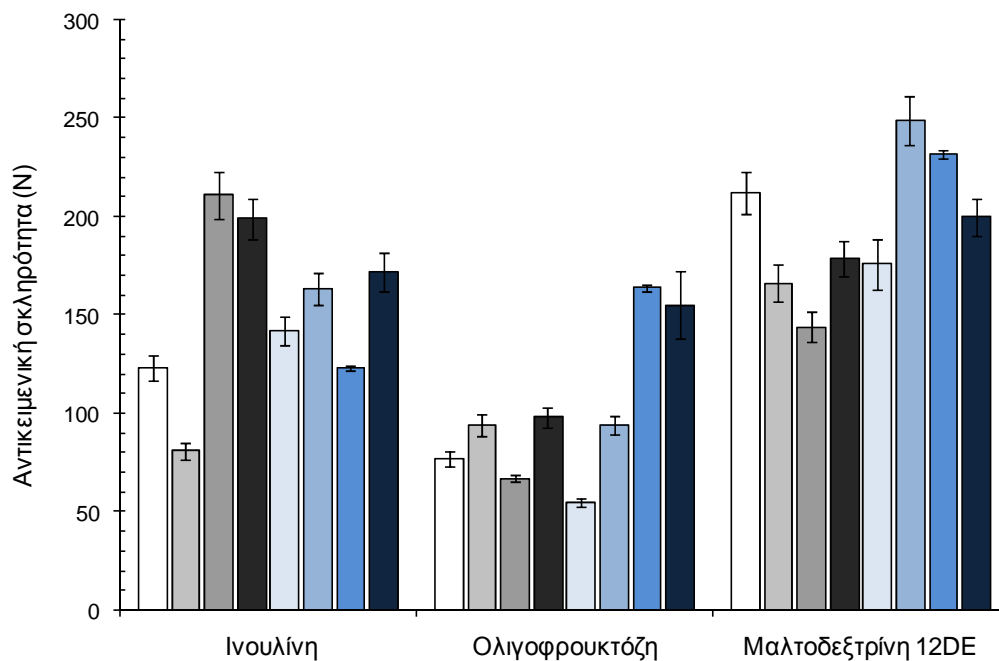
Αναφορικά με την επίδραση της περιεκτικότητας σε γιαούρτι, τα δείγματα με 50% γιαούρτι χαρακτηρίζονταν από σημαντικά υψηλότερη σκληρότητα ($p < 0.05$). Δεδομένου ότι η προσθήκη του γιαουρτιού δεν επηρεάζει σημαντικά τις θερμικές ιδιότητες των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού, η παρατηρούμενη αύξηση της σκληρότητας μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία των πρωτεϊνικών πλεγμάτων τα οποία, σε συνέργεια με τα πλέγματα των πολυσακχαριτών και των ολιγοσακχαριτών, αυξάνουν τη συνεκτικότητα των κατεψυγμένων δειγμάτων (Soukoulis & Tzia 2008).

Η περιεκτικότητα των δειγμάτων παγωτού σε λιπαρά επηρέασε σημαντικά ($p < 0.05$) την αντικειμενική τους σκληρότητα μόνο στις 16 εβδομάδες αποθήκευσης. Οι Roland et al., (1999) ανέφεραν ότι η σκληρότητα των δειγμάτων άπαχου και light παγωτού αποθηκευμένων για 1 εβδομάδα δεν επηρεάστηκε από το ποσοστό των λιπαρών. Στις 16 εβδομάδες αποθήκευσης τα δείγματα με 6% λιπαρά εμφάνισαν υψηλότερες τιμές σκληρότητας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η θερμοδυναμική αστάθεια των δειγμάτων παγωτού οδηγεί στο σταδιακό σχηματισμό παγοκρύσταλλων φολιδωτής διαμόρφωσης οι οποίοι έχουν επίπτωση στη συνεκτικότητα της μικροδομής και τη σταθερότητα των φυσαλίδων αέρα, η επερχόμενη ανακρυστάλλωση

εκδηλώνεται με μείωση της σκληρότητας των δειγμάτων. Η παρατήρηση αυτή βρίσκει υποστήριξη, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μέσων όρων των τιμών της σκληρότητας με T-test: η αύξηση του χρόνου αποθήκευσης των δειγμάτων συνοδεύεται με καθολική ελάττωση της σκληρότητας των δειγμάτων.



Σχήμα 6.5.13: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%) αποθηκευμένα στους -26 °C για 4 εβδομάδες. Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά.



Σχήμα 6.5.14: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%) αποθηκευμένα στους -26 °C για 16 εβδομάδες. Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά.

Έτσι, η αύξηση της περιεκτικότητας των λιπαρών δείχνει να προσφέρει κρυσπρόστασία (έστω και σε μικρότερη έκταση σε σχέση με τους ολιγοσακχαρίτες), δράση η οποία έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία (Guinard et al., 1997; Guinard et al., 1996; Li et al., 1997; Roland et al., 1999; El-Nagar et al., 2002).

6.5.7 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Οι μέσοι όροι των οργανοληπτικών ελέγχων στα δείγματα προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 και 16 εβδομάδες αντίστοιχα, παρουσιάζονται στους πίνακες 6.5.2 και 6.5.3. Στον πίνακα 6.5.4 φαίνονται οι κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων στα επιμέρους οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε γιαούρτι και το είδος των προστιθέμενων ολιγοσακχαριτών ήταν οι πιο βασικοί παράγοντες που επηρέασαν σημαντικά ένα μεγάλο πλήθος οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Η αύξηση του ποσοστού γιαουρτιού στα δείγματα επέφερε μείωση της έντασης της γλυκύτητας, του αρώματος γάλακτος και του αρώματος βανίλιας, ενώ το όξινο και στυφό άρωμα ενισχύθηκαν. Η αύξηση της οξύτητας των δειγμάτων και της συγκέντρωσης των πτητικών αρωματικών που σχετίζονται με την όξινη και στυφή γεύση (ακεταλδεΐδη, γαλακτικό οξύ, ακετοΐνη, διακετύλιο κ.α.) αιτιολογούν την επικάλυψη του αρώματος και της γλυκιάς γεύσης των δειγμάτων (Ott et al., 1998; Soukoulis et al., 2009). Τα δείγματα με 50% γιαούρτι χαρακτηρίζονταν επίσης από τραχιά υφή, υψηλή σκληρότητα και υδαρότητα, καθώς και από περιορισμένη λιπαρότητα.

Η αρνητική επίδραση της προσθήκης του γιαουρτιού στα χαρακτηριστικά υφής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού μπορεί να αποδοθεί στους εξής παράγοντες: α) την ευπάθεια των συγκεκριμένων δειγμάτων στην ανακρυστάλλωση, λόγω του γεγονότος ότι το ποσοστό της υγρασίας που βρίσκεται εγκλωβισμένο στο πρωτεϊνικό πήγμα του γιαουρτιού κρυσταλλώνεται δυσκολότερα σε σχέση με το νερό της κύριας υδατικής φάσης - φάση ορού (Soukoulis & Tzia 2008), β) η ανάπτυξη τραχιάς υφής (λόγω της παρουσίας μεγάλου μεγέθους παγοκρυστάλλων) συνοδεύεται με απότομη τήξη των παγοκρυστάλλων κατά τη διάρκεια της μάσησης και συνεπώς με την ανάπτυξη υδαρότητας (Soukoulis et al., 2008), γ) η αυξημένη οξύτητα και οι πτητικές αρωματικές ουσίες όπως η ακεταλδεΐδη, έχουν την ιδιότητα να αυξάνουν την ξηρότητα στην επιφάνεια της γλώσσας και να αυξάνουν την τριβή κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης του προϊόντος (de Wijk et al., 2003; Prinz et al., 2000;), δ) η μείωση της γλυκιάς γεύσης και της λιπαρής υφής καθώς και η αυξημένη υδαρότητα σχετίζονται αρνητικά με την αντιλαμβανόμενη κρεμώδη υφή (Kokini 2006; Kilcast & Clegg 2002; de Wijk et al., 2006; Soukoulis & Tzia 2009).

Αναφορικά με την επίδραση του είδους των ολιγοσακχαριτών, η προσθήκη της μαλτοδεξτρίνης αποδείχθηκε ως το πιο αποτελεσματικό συστατικό για τον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης στα συστήματα παγωτού, αφού περιόρισε την τραχιά και υδαρή υφή, ενώ βελτίωσε την κρεμώδη και λιπαρή υφή. Επιπλέον, η προσθήκη της μαλτοδεξτρίνης συνέβαλε στην ενίσχυση του αρώματος βανίλιας και της έντασης της γλυκύτητας, ενώ επικάλυψε το όξινο και στυφό άρωμα. Η μαλτοδεξτρίνη είναι γνωστή για την ικανότητά της να ελέγχει την απελευθέρωση του αρώματος καθώς και να βελτιώνει τα χαρακτηριστικά υφής των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος (Akhtar et al., 2006; Prindiville et al., 2000; Adapa et al., 2000). Η ινουλίνη επίσης προσέφερε μία ικανοποιητική δράση στα δείγματα προβιοτικού παγωτού η οποία ήταν σημαντικά χαμηλότερη από εκείνη της μαλτοδεξτρίνης για την περίπτωση της τραχιάς, υδαρούς, λιπαρής και κρεμώδους υφής, ενώ η επίδρασή της στα χαρακτηριστικά γεύσης και αρώματος ήταν σχεδόν ισοδύναμη με εκείνη της μαλτοδεξτρίνης. Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός ερευνητών που έχουν αναφέρει την ικανοποιητική δράση της ινουλίνης ως μέσο κρυσπρόστασίας στα δείγματα παγωτού, παγωτού-γιαούρτι και προβιοτικού παγωτού (El-Nagar et al., 2002; Akalin et al., 2008; Karaca et al., 2009; Schaller-Povolny & Smith 1997). Η ολιγοφρουκτόζη παρείχε τη μικρότερη κρυσπρόστασία στα δείγματα προβιοτικού παγωτού σε σχέση με την ινουλίνη και τη μαλτοδεξτρίνη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ -ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

	Χρώμα	Γλυκό	Πικρό	Όξινο	Στυφό	Άρωμα Βανίλιας	Άρωμα γάλακτος	Σκληρό (Κ)	Τραχύ (Κ)	Εύθρυπτο	Κομμιώδες (Κ)	Σκληρό	Τραχύ	Κομμιώδες	Υδαρές	Κρεμώδες	Λιπαρό
LI30INU	6.0±0.2	5.0±0.2	1.7±0.1	3.2±0.3	2.1±0.2	4.8±0.2	3.1±0.2	6.5±0.1	3.7±0.4	4.5±0.0	3.2±0.3	3.7±0.3	2.4±0.2	3.2±0.4	4.2±0.2	6.5±0.0	1.5±0.0
LI30OLIG	7.5±0.1	6.2±0.1	1.2±0.1	3.4±0.1	4.1±0.4	3.3±0.2	3.4±0.2	5.2±0.4	4.0±0.0	5.5±0.0	2.8±0.3	3.6±0.2	3.0±0.0	2.3±0.2	6.0±0.0	5.5±0.0	2.0±0.0
LI30MAL	6.0±0.4	6.4±0.3	2.2±0.2	2.2±0.1	3.6±0.3	5.2±0.1	1.8±0.1	6.3±0.3	3.1±0.2	4.2±0.3	3.0±0.0	4.1±0.3	2.3±0.2	3.1±0.3	4.1±0.2	6.7±0.4	2.8±0.2
LI50INU	7.0±0.2	5.3±0.1	2.0±0.0	1.6±0.1	3.4±0.2	5.0±0.0	2.3±0.2	6.2±0.4	4.2±0.3	3.5±0.0	4.2±0.1	3.4±0.3	3.2±0.3	3.4±0.4	5.0±0.0	5.1±0.2	2.5±0.1
LI50OLIG	7.7±0.3	5.1±0.2	3.5±0.0	3.4±0.3	5.4±0.4	3.0±0.0	3.2±0.2	6.0±0.0	3.7±0.4	3.0±0.0	5.5±0.0	4.2±0.3	3.4±0.2	3.0±0.0	5.6±0.3	4.5±0.0	2.2±0.3
LI50MAL	8.2±0.3	7.4±0.3	1.5±0.0	1.2±0.1	2.0±0.0	5.7±0.3	1.4±0.1	7.4±0.3	2.2±0.2	2.5±0.0	5.9±0.6	3.6±0.4	2.0±0.0	4.0±0.0	3.2±0.2	6.9±0.3	2.9±0.2
LG30INU	4.1±0.5	4.8±0.4	2.8±0.3	3.3±0.4	5.2±0.3	3.7±0.2	1.6±0.1	6.9±0.4	5.5±0.0	5.5±0.0	3.2±0.2	6.1±0.2	5.5±0.0	2.0±0.0	5.1±0.4	5.0±0.0	1.3±0.1
LG30OLIG	6.3±0.6	5.0±0.0	3.4±0.4	3.1±0.3	6.0±0.0	4.0±0.0	2.0±0.0	5.2±0.2	6.0±0.0	5.4±0.3	2.1±0.2	4.6±0.3	6.7±0.4	1.6±0.2	6.2±0.2	4.5±0.2	1.0±0.0
LG30MAL	4.2±0.2	4.8±0.1	3.1±0.2	3.4±0.2	3.5±0.0	3.6±0.3	0.8±0.1	7.0±0.0	5.1±0.3	5.2±0.4	2.6±0.2	4.2±0.2	4.2±0.3	2.4±0.3	4.4±0.3	5.5±0.0	1.6±0.1
LG50INU	5.0±0.2	4.4±0.2	3.9±0.3	3.6±0.2	5.1±0.3	3.0±0.0	1.3±0.2	6.3±0.5	6.1±0.4	6.7±0.3	2.4±0.3	6.2±0.4	5.7±0.5	1.2±0.3	6.2±0.3	4.9±0.4	1.0±0.0
LG50OLIG	6.0±0.1	4.3±0.3	3.2±0.2	3.1±0.3	6.0±0.0	1.5±0.0	1.0±0.0	5.0±0.0	7.6±0.4	6.9±0.6	2.0±0.0	6.4±0.4	6.8±0.2	1.0±0.0	6.8±0.4	5.0±0.0	0.8±0.1
LG50MAL	7.2±0.3	5.8±0.2	3.2±0.3	4.7±0.3	5.3±0.2	4.0±0.0	1.3±0.2	5.4±0.4	6.0±0.0	5.2±0.2	2.4±0.4	5.6±0.2	6.0±0.0	1.7±0.1	5.6±0.5	5.2±0.3	1.2±0.2
HI30INU	6.5±0.2	7.0±0.0	1.2±0.1	2.1±0.2	2.8±0.3	5.2±0.3	2.7±0.1	6.8±0.2	2.4±0.3	3.1±0.4	6.2±0.2	3.4±0.3	3.0±0.0	3.8±0.2	4.2±0.2	6.7±0.4	2.8±0.2
HI30OLIG	8.0±0.3	6.7±0.3	1.5±0.0	2.6±0.2	2.6±0.1	5.4±0.4	4.2±0.2	7.1±0.3	2.9±0.2	3.6±0.2	5.8±0.3	3.4±0.2	3.1±0.2	4.0±0.0	5.0±0.0	5.9±0.2	3.2±0.2
HI30MAL	5.7±0.6	7.3±0.2	1.2±0.1	1.5±0.1	5.4±0.3	6.1±0.3	2.8±0.2	6.8±0.2	2.1±0.2	2.4±0.3	6.8±0.4	4.1±0.3	2.8±0.3	3.9±0.4	3.1±0.2	6.9±0.5	3.6±0.3
HI50INU	7.0±0.2	5.8±0.1	1.7±0.3	1.0±0.0	3.6±0.3	4.9±0.2	2.6±0.3	6.7±0.4	2.6±0.2	3.3±0.4	6.1±0.3	3.1±0.2	2.7±0.4	3.0±0.0	3.7±0.3	7.0±0.0	3.8±0.2
HI50OLIG	7.5±0.1	5.5±0.0	1.2±0.2	3.0±0.0	6.1±0.4	4.2±0.6	3.9±0.2	6.3±0.2	3.1±0.3	3.4±0.2	5.5±0.0	3.0±0.0	3.0±0.0	3.4±0.3	4.2±0.2	7.0±0.0	3.5±0.0
HI50MAL	6.1±0.2	6.7±0.3	2.7±0.2	3.1±0.1	2.4±0.2	5.4±0.2	2.9±0.3	7.8±0.4	2.8±0.2	2.8±0.3	5.8±0.5	5.2±0.3	2.4±0.2	4.0±0.0	3.0±0.0	7.3±0.2	4.0±0.0
HG30INU	6.2±0.2	5.4±0.3	2.3±0.2	2.7±0.2	2.6±0.3	4.7±0.3	2.1±0.4	4.3±0.2	5.0±0.0	5.9±0.3	3.0±0.0	5.3±0.4	4.0±0.0	2.7±0.2	3.7±0.4	5.6±0.4	2.1±0.2
HG30OLIG	7.1±0.1	5.1±0.2	2.3±0.2	3.1±0.3	4.7±0.2	3.1±0.3	2.4±0.2	4.5±0.0	5.2±0.4	5.1±0.4	2.8±0.2	3.7±0.2	2.5±0.0	2.8±0.3	5.2±0.5	5.4±0.2	2.3±0.3
HG30MAL	5.2±0.5	5.2±0.1	3.4±0.2	3.2±0.2	5.0±0.0	3.6±0.4	1.5±0.0	7.1±0.3	4.7±0.2	5.5±0.0	3.0±0.0	4.5±0.0	3.1±0.4	2.9±0.4	4.8±0.2	5.9±0.3	2.8±0.2
HG50INU	5.3±0.2	5.4±0.2	2.1±0.1	2.5±0.0	4.5±0.0	4.7±0.2	1.6±0.2	6.4±0.4	4.7±0.5	6.5±0.0	3.2±0.1	5.7±0.3	3.8±0.5	2.4±0.2	4.5±0.0	5.1±0.2	2.3±0.2
HG50OLIG	7.1±0.1	4.5±0.0	2.0±0.0	3.0±0.0	3.2±0.3	3.2±0.2	2.2±0.1	4.3±0.2	5.1±0.2	4.9±0.3	3.0±0.0	4.2±0.4	3.4±0.3	2.6±0.3	5.9±0.2	5.2±0.4	1.8±0.1
HG50MAL	5.7±0.2	5.4±0.3	3.1±0.1	3.8±0.4	3.7±0.3	4.3±0.1	1.0±0.0	6.3±0.2	4.4±0.3	4.4±0.4	3.1±0.3	5.5±0.0	3.2±0.2	2.9±0.2	5.0±0.0	5.9±0.2	2.4±0.3

Πίνακας 6.5.2: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των ολιγοσακχαριτών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες.

H = 6% λιπαρά, L = 4% λιπαρά, I = 25% προβιοτικό γιαούρτι, G = 50% προβιοτικό γιαούρτι, MAL = μαλτοδεξτρίνη 12DE, INU = ινουλίνη και OLIG = ολιγοφρουκτόζη, 30 = 30% υποκατάσταση των λιπαρών και 50 = 50% υποκατάσταση των λιπαρών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ -ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

	Χρώμα	Γλυκό	Πικρό	Όξινο	Στυφό	Άρωμα Βανίλιας	Άρωμα γάλακτος	Σκληρό (K)	Τραχύ (K)	Εύθρυπτο	Κομμώδες (K)	Σκληρό	Τραχύ	Κομμώδες	Υδαρές	Κρεμώδες	Λιπαρό
LI30INU	5.2±0.1	5.3±0.4	2.1±0.4	4.3±0.2	2.6±0.2	4.6±0.4	2.9±0.4	6.8±0.4	4.5±0.0	2.8±0.2	3.8±0.2	3.3±0.3	3.1±0.3	4.8±0.2	5.7±0.3	1.5±0.0	2.8±0.2
LI30OLIG	7.2±0.4	6.1±0.2	1.4±0.2	4.6±0.3	5.2±0.3	3.1±0.2	3.2±0.2	5.5±0.2	5.3±0.2	2.5±0.0	3.7±0.3	4.1±0.2	2.2±0.2	6.4±0.3	4.8±0.2	1.9±0.2	2.5±0.0
LI30MAL	5.6±0.1	6.4±0.3	2.6±0.3	3.0±0.0	4.6±0.2	4.9±0.3	1.7±0.3	6.7±0.4	4.1±0.2	2.6±0.2	4.4±0.2	3.1±0.3	3.0±0.0	4.4±0.4	5.9±0.3	2.3±0.1	2.6±0.2
LI50INU	7.0±0.0	5.3±0.4	3.0±0.0	2.2±0.2	4.4±0.4	4.7±0.4	2.2±0.3	6.6±0.2	5.5±0.0	3.7±0.3	3.2±0.4	4.4±0.4	3.3±0.2	5.5±0.0	4.5±0.0	2.4±0.3	3.7±0.4
LI50OLIG	7.3±0.2	5.5±0.0	4.5±0.0	4.6±0.2	6.1±0.2	2.8±0.2	3.0±0.0	6.3±0.4	5.2±0.3	4.9±0.4	4.3±0.2	4.7±0.2	2.9±0.3	6.2±0.3	4.2±0.1	2.1±0.2	4.9±0.2
LI50MAL	7.3±0.3	7.1±0.2	1.5±0.0	1.7±0.1	2.5±0.0	5.5±0.0	1.3±0.1	7.9±0.5	2.7±0.2	5.3±0.2	3.7±0.2	2.7±0.2	3.9±0.4	3.7±0.2	6.1±0.3	2.9±0.4	5.3±0.4
LG30INU	4.1±0.4	5.2±0.2	3.3±0.3	4.5±0.0	6.3±0.3	3.5±0.0	1.5±0.2	7.3±0.6	7.3±0.3	2.8±0.3	6.3±0.4	6.8±0.3	1.9±0.2	5.7±0.3	4.4±0.2	1.2±0.1	2.8±0.3
LG30OLIG	6.0±0.0	5.1±0.3	4.1±0.4	4.2±0.3	7.4±0.2	3.8±0.3	1.9±0.2	5.5±0.2	7.8±0.2	1.9±0.2	4.7±0.2	7.1±0.4	1.5±0.0	6.8±0.4	4.0±0.0	0.9±0.1	1.9±0.2
LG30MAL	4.1±0.2	4.3±0.2	3.7±0.2	4.6±0.2	4.5±0.0	3.6±0.3	0.8±0.1	7.4±0.4	6.0±0.0	2.3±0.2	4.3±0.3	5.1±0.5	2.3±0.2	5.1±0.2	4.8±0.4	1.6±0.1	2.3±0.2
LG50INU	5.5±0.0	5.5±0.0	4.8±0.6	4.8±0.4	6.5±0.0	2.9±0.2	1.2±0.2	6.6±0.5	7.8±0.2	2.1±0.4	6.4±0.2	6.9±0.2	1.2±0.3	7.0±0.0	4.7±0.1	0.9±0.1	2.1±0.1
LG50OLIG	6.8±0.3	7.2±0.4	3.8±0.2	4.2±0.2	7.2±0.3	1.4±0.4	0.9±0.1	5.3±0.2	7.9±0.3	1.8±0.2	6.5±0.0	7.1±0.6	0.9±0.4	7.9±0.3	4.4±0.2	0.8±0.1	1.8±0.1
LG50MAL	7.0±0.0	5.6±0.2	3.9±0.2	6.4±0.3	6.7±0.4	3.8±0.2	1.2±0.1	5.7±0.2	7.4±0.4	2.1±0.1	5.7±0.3	7.1±0.2	1.7±0.2	6.5±0.0	4.6±0.3	1.1±0.2	2.1±0.2
HI30INU	6.0±0.0	5.6±0.3	1.4±0.1	2.8±0.3	3.5±0.0	4.9±0.3	2.6±0.3	7.3±0.4	3.3±0.5	5.5±0.0	3.5±0.0	4.0±0.0	3.7±0.3	4.8±0.3	5.9±0.4	2.8±0.4	5.5±0.0
HI30OLIG	7.6±0.3	7.0±0.0	1.8±0.1	3.5±0.0	3.3±0.3	5.1±0.2	4.0±0.0	7.5±0.0	3.9±0.2	5.2±0.3	3.5±0.0	4.1±0.3	3.8±0.2	5.8±0.4	5.2±0.2	2.9±0.1	5.2±0.3
HI30MAL	5.9±0.4	4.8±0.3	1.5±0.0	2.0±0.0	6.7±0.5	5.8±0.3	2.7±0.2	7.3±0.3	2.9±0.1	6.1±0.4	4.2±0.2	3.8±0.2	3.8±0.4	3.6±0.2	6.1±0.3	3.5±0.0	6.1±0.0
HI50INU	6.3±0.2	5.2±0.5	2.1±0.3	1.3±0.2	4.4±0.3	4.7±0.4	2.4±0.2	7.1±0.2	3.5±0.0	5.4±0.2	3.8±0.3	3.8±0.4	2.9±0.2	4.3±0.3	6.1±0.3	3.7±0.3	5.4±0.4
HI50OLIG	7.5±0.0	6.5±0.0	1.4±0.2	4.0±0.0	7.5±0.0	4.0±0.0	3.7±0.3	6.7±0.2	4.1±0.2	4.9±0.4	3.3±0.2	4.1±0.2	3.3±0.3	4.8±0.2	6.1±0.2	3.4±0.2	4.9±0.2
HI50MAL	5.8±0.5	5.1±0.3	3.2±0.2	4.2±0.3	3.0±0.0	5.1±0.2	2.8±0.4	8.3±0.3	3.8±0.2	5.2±0.2	5.4±0.3	3.3±0.3	3.9±0.2	3.4±0.3	6.5±0.0	3.9±0.1	5.2±0.5
HG30INU	5.2±0.3	5.3±0.1	2.8±0.2	3.7±0.3	3.2±0.3	4.5±0.0	2.5±0.2	4.5±0.0	6.1±0.3	2.6±0.3	5.5±0.0	5.1±0.3	2.6±0.3	4.4±0.2	5.0±0.0	2.0±0.0	2.6±0.2
HG30OLIG	6.8±0.4	5.1±0.2	2.8±0.3	4.2±0.2	6.0±0.0	2.9±0.3	2.3±0.2	4.7±0.4	6.2±0.2	2.5±0.0	3.8±0.4	3.3±0.4	2.7±0.2	5.9±0.4	5.1±0.4	2.2±0.3	2.5±0.0
HG30MAL	5.2±0.2	5.0±0.0	4.2±0.2	4.3±0.2	6.2±0.4	3.4±0.4	1.4±0.3	7.5±0.0	5.8±0.4	2.6±0.2	4.7±0.2	4.0±0.0	2.9±0.1	5.6±0.2	5.2±0.2	2.7±0.2	2.6±0.3
HG50INU	5.3±0.6	5.3±0.3	2.6±0.4	3.3±0.2	5.6±0.2	4.1±0.2	1.6±0.1	6.8±0.2	5.7±0.4	2.8±0.2	5.9±0.3	5.0±0.0	2.3±0.1	5.2±0.3	4.7±0.3	2.2±0.2	2.8±0.4
HG50OLIG	6.8±0.2	4.7±0.4	2.4±0.2	4.0±0.0	4.0±0.0	3.0±0.0	2.1±0.2	4.6±0.2	6.0±0.0	2.6±0.3	4.3±0.3	4.4±0.2	2.5±0.0	6.5±0.0	4.8±0.3	1.8±0.3	2.6±0.2
HG50MAL	5.6±0.2	5.3±0.3	3.7±0.3	5.2±0.3	4.6±0.4	4.1±0.3	1.2±0.1	6.6±0.3	5.5±0.0	2.7±0.3	5.6±0.4	4.0±0.0	2.9±0.3	5.8±0.4	5.2±0.4	2.3±0.2	2.7±0.3

Πίνακας 6.5.3: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των ολιγοσακχαριτών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες.

H = 6% λιπαρά, L = 4% λιπαρά, I = 25% προβιοτικό γιαούρτι, G = 50% προβιοτικό γιαούρτι, MAL = μαλτοδεξτρίνη 12DE, INU = ινουλίνη και OLIG = ολιγοφρουκτόζη, 30 = 30% υποκατάσταση των λιπαρών και 50 = 50% υποκατάσταση των λιπαρών

Χαρακτηριστικό	Περιεκτικότητα σε λιπαρά	Περιεκτικότητα σε γιαούρτι	Ποσοστό υποκατάστασης	Είδος ολιγοσακχαριτών	Χρόνος αποθήκευσης
Χρώμα	NS	+++	+++	+++	NS
Γλυκό	NS	+++	NS	+	NS
Πικρό	++	+++	+	NS	+
Στυφό	++	+++	NS	+	+++
Όξινο	NS	+++	NS	+	+
Άρωμα Βανίλιας	+++	+++	+	+++	NS
Άρωμα γάλακτος	+++	+++	++	+++	NS
Σκληρό (Κ)	NS	+++	NS	+++	+
Τραχύ (Κ)	+++	+++	+	+++	+++
Εύθρυπτο	NS	NS	NS	+	+
Κομμιώδες (Κ)	+	NS	+	+	+
Σκληρό	+++	+++	+++	NS	NS
Τραχύ	+++	+++	+++	+	+++
Κομμιώδες	++	+++	NS	+++	+
Υδαρές	+++	++	NS	+++	+
Κρεμώδες	+++	+++	+++	+++	+++
Λιπαρό	+++	+++	NS	+	++

Πίνακας 6.5.4: Κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού

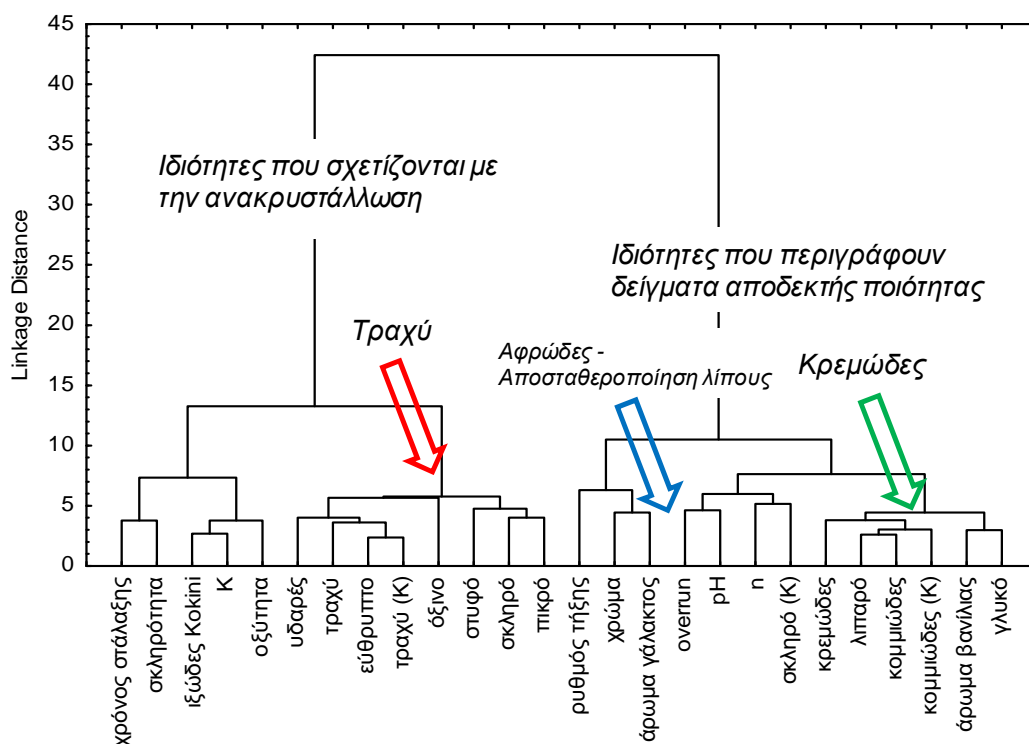
Επιπλέον, η ολιγοφρουκτόζη περιόρισε σε μικρότερο βαθμό την όξινη και στυφή γεύση, με αποτέλεσμα το σημαντικά επικαλυμμένο άρωμα βανίλιας και γάλακτος στα συγκεκριμένα δείγματα. Τα δεδομένα του οργανοληπτικού ελέγχου που αφορούν στην παρεχόμενη κρυσταλλοπροστασία από τους ολιγοσακχαρίτες συμφωνούν με τα αποτελέσματα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων. Η μαλτοδεξτρίνη και η ινουλίνη προκαλώντας μεγαλύτερη ανύψωση της θερμοκρασίας του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και πήξης, παρέχουν καλύτερη κρυσταλλοπροστασία σε σχέση με την ολιγοφρουκτόζη. Πρέπει ωστόσο να τονιστεί, ότι η απόδοση της ολιγοφρουκτόζης (με βάση τους μέσους όρους της τραχιάς, κρεμώδους και υδαρούς υφής) είναι σαφώς πιο ικανοποιητική ως μέσο κρυσταλλοπροστασίας σε σχέση με πολυσακχαρίτες όπως π.χ. το αλγινικό νάτριο και το κόμμι γκουάρ, όπως θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Η αύξηση του ποσοστού των ολιγοσακχαριτών συνέβαλε στη βελτίωση της υφής των δειγμάτων παγωτού (αύξηση κρεμώδους υφής και μείωση της σκληρότητας, υδαρότητας και τραχιάς υφής). Επιπλέον, η υποκατάσταση των λιπαρών από τους ολιγοσακχαρίτες συνοδεύτηκε από μείωση της έντασης του όξινου και στυφού αρώματος, αλλά και του αρώματος βανίλιας, δράση η οποία έχει αναφερθεί και από τους [Povolny & Smith \(1997\)](#).

Η αύξηση του ποσοστού των λιπαρών οδήγησε στον περιορισμό του όξινου και στυφού αρώματος, αλλά και στην ενίσχυση του αρώματος βανίλιας και γάλακτος. Η ικανότητα των λιπαρών να λειτουργούν ως υπόστρωμα στο οποίο διαλύονται οι λιποφιλικές-άπολες αρωματικές ενώσεις όπως η βανιλίνη, συνδέεται με τη χρονικά ελεγχόμενη απελευθέρωση του αρώματος η οποία οδηγεί στην καλύτερη αποτίμησή του ([de Wijk et al., 2003](#); [Akhtar et al., 2006](#); [Stampanoni-Koeflerli et al., 1996](#); [Bom Frost et al., 2005](#)). Επιπλέον, τα λιπαρά λειτουργούν ως φυσικός φραγμός στην απελευθέρωση των πτητικών αρωματικών ενώσεων (π.χ. ακεταλδεΐδη, διακετύλιο κ.α.). Η αύξηση των ολικών στερεών λιπαρών επέφερε επίσης βελτίωση της κρεμώδους υφής και περιορισμό της τραχιάς και υδαρούς υφής. Η κρεμώδης υφή ενισχύεται με μείωση της τριβής και περιορισμό των εσωτερικών παραμέτρων που

μειώνουν το στρώμα του λιπόφιλου υλικού στην επιφάνεια της γλώσσας (Dresselhuis et al. 2008; de Wijk 2006). Η αύξηση του ποσοστού των λιπαρών αφενός παρέχει λίπανση της γλώσσας μειώνοντας την τριβή, και αφετέρου αυξάνει την αίσθηση της πλούσιας και παχύρρευστης υφής, με αποτέλεσμα την ελάττωση της υδαρότητας (Bom Frost et al., 2001; Mela et al., 1994; Stampanoni- Koeflerli et al., 1996).

Ο χρόνος αποθήκευσης επηρέασε επίσης σημαντικά ένα σημαντικό αριθμό οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Σχεδόν το σύνολο των χαρακτηριστικών υφής μεταβλήθηκαν στο διάστημα των 16 εβδομάδων αποθήκευσης. Η κρεμώδης υφή των δειγμάτων ελαττώθηκε σημαντικά, γεγονός που υποδηλώνει την εμφάνιση φαινομένων ανακρυστάλλωσης. Η παρατήρηση υποστηρίζεται επίσης και από την αύξηση των τιμών της τραχιάς, εύθρυπτης και υδαρούς υφής. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι εκτός από το στυφό, όξινο άρωμα και την πικρή γεύση τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά γεύσης δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Έτσι, η συγκεκριμένη δράση μπορεί να υποδηλώνει την έμμεση συσχέτιση της ανακρυστάλλωσης με τις μεταβολές των χαρακτηριστικών αρώματος που σχετίζονται με αυξημένη τριβή κατά τη διάρκεια της μύσησης (Dresselhuis et al., 2008; Vingerhoeds et al., 2009; de Wijk et al., 2006; Soukoulis et al., 2009).

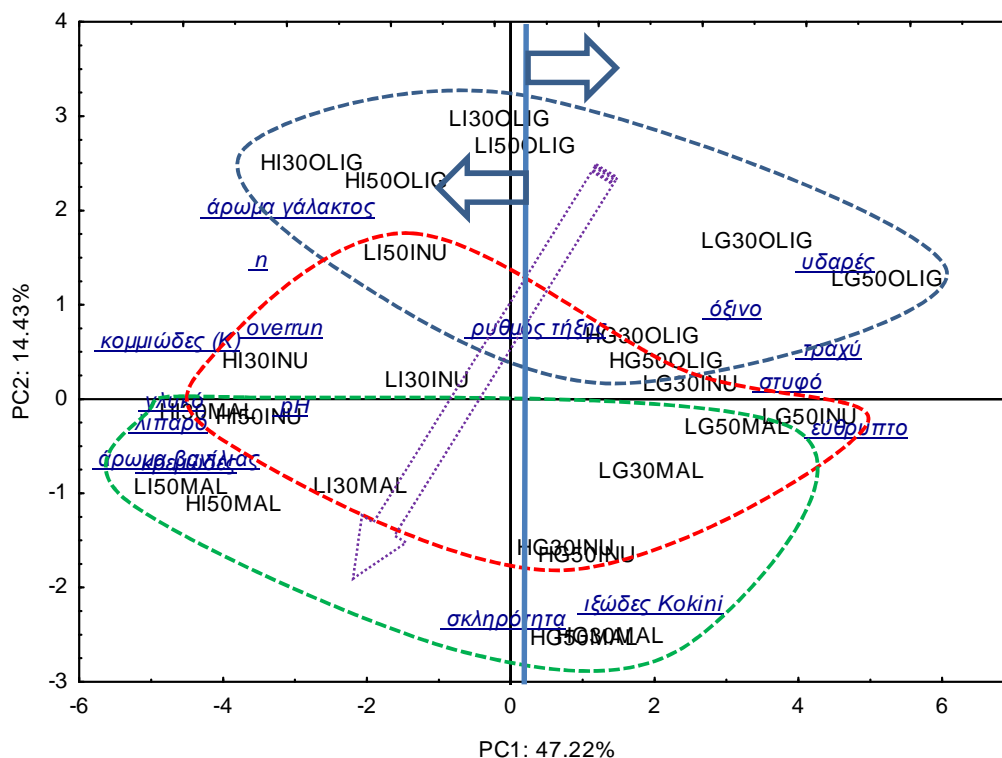
Προκειμένου να διερευνηθούν οι πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οργανοληπτικών και αντικειμενικών μετρήσεων, οι μέσοι όροι των μετρήσεων (στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης) υποβλήθηκαν σε ανάλυση ομαδοποίησης (cluster analysis). Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5.15, τα χαρακτηριστικά αρώματος που σχετίζονται με τις αρωματικές ενώσεις που σχηματίζονται κατά την οξυγαλακτική ζύμωση εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση με τη θερμοδυναμική σταθερότητα του παγωτού και την εμφάνιση φαινομένων ανακρυστάλλωσης.



Σχήμα 6.5.15: Ανάλυση ομαδοποίησης για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών με τις αντικειμενικές μετρήσεις και τη σύνδεσή τους με τη λειτουργική δράση των παραγόντων σύστασης στα δείγματα προβιοτικού παγωτού.

Επιπλέον, το pH αποτελεί σημαντικό παράγοντα ελέγχου της ικανότητας ενσωμάτωσης αέρα των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού, αλλά και ελέγχου του ρυθμού τήξης. Η αποδοχή των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού φαίνεται να σχετίζεται με τη λιπαρή υφή, την

κομμιώδη υφή, τη γλυκιά γεύση, και το άρωμα βανίλιας. Τα αποτελέσματα είναι σε πλήρη συμφωνία με τις σχετικές έρευνες των Guinard et al., (1994), Stampanoni-Koeflerli et al., (1996), de Wijk et al., (2003), Soukoulis et al., (2008), Soukoulis et. al., (2009).

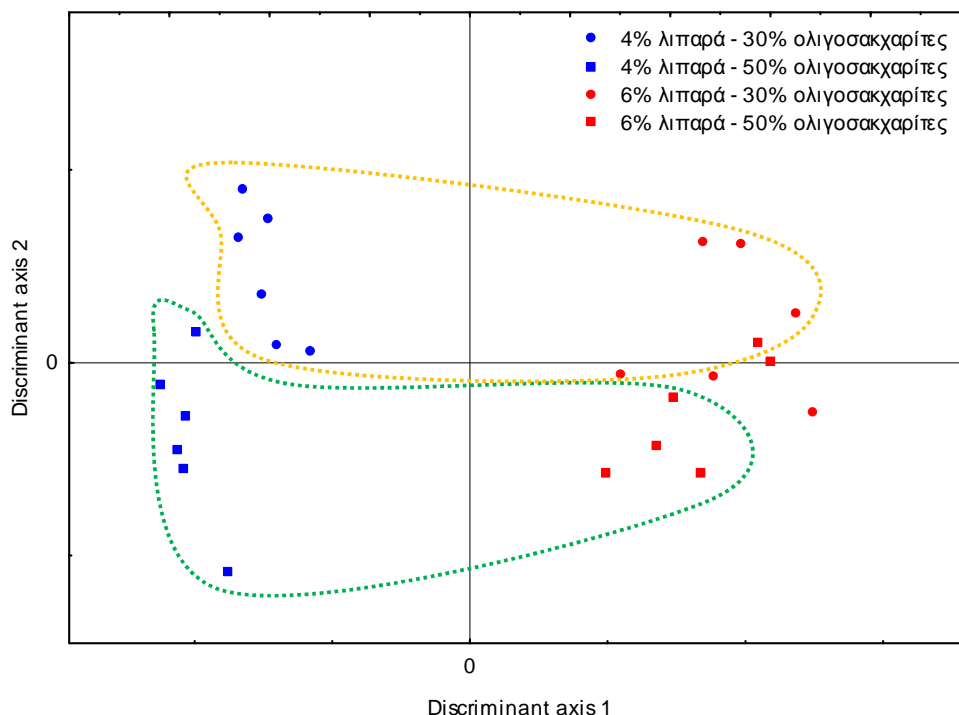


Σχήμα 6.5.16: Ανάλυση κυρίων συνιστωσών των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και των αντικειμενικών ιδιοτήτων των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες στους -26°C .

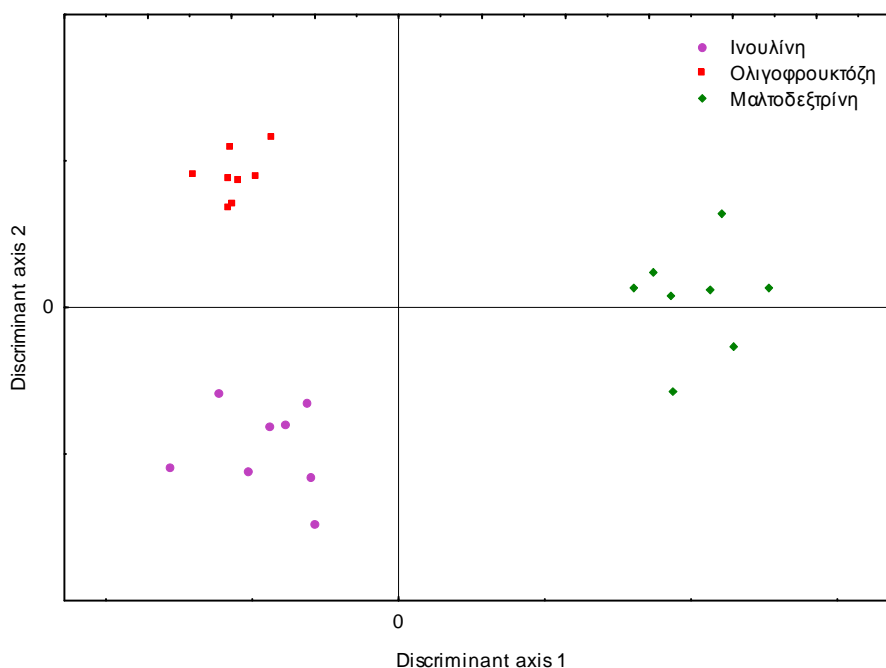
Λαμβάνοντας υπόψη τις συσχετίσεις οργανοληπτικών - αντικειμενικών ιδιοτήτων, οι μέσοι όροι ενός μειωμένου αριθμού ιδιοτήτων υποβλήθηκαν σε ΑΚΣ (Σχήμα 6.5.16). Όπως φαίνεται πραγματοποιήθηκε μία ικανοποιητική διάκριση των δειγμάτων με βάση το είδος των ολιγοσακχαριτών. Η ταξινόμηση των δειγμάτων έγινε κατά τη φορά του βέλους, με τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη να βρίσκονται στο υψηλότερο σημείο του διαγράμματος, ενώ τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη στο χαμηλότερο. Τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη χαρακτηρίζονται τραχιά, εύθρυπτα, με υδαρή υφή, εύηκτα, χαμηλού ιξώδους και αντικειμενικής σκληρότητας, με όξινο και στυφό άρωμα. Αντίθετα, τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη χαρακτηρίζονται κρεμώδη, κομμιώδη, δύστηκτα, με έντονο άρωμα βανίλιας και γλυκιά γεύση, υψηλού ιξώδους και αντικειμενικής σκληρότητας.

Ικανοποιητική διάκριση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε και ως προς την περιεκτικότητά τους σε γιαούρτι. Τα δείγματα προβιοτικού παγωτού με χαμηλή περιεκτικότητα σε γιαούρτι (βέλος με κατεύθυνση προς τα αριστερά) χαρακτηρίζονται ως κρεμώδη, κομμιώδη, υψηλής λιπαρότητας, υψηλού ονεγγυ, με έντονο άρωμα βανίλιας και γλυκιά γεύση, με ελεγχόμενη όξινη και στυφή γεύση.

Η διάκριση των δειγμάτων ως προς την περιεκτικότητά τους σε ολιγοσακχαρίτες και λιπαρά δεν ήταν δυνατή με την εφαρμογή της ΑΚΣ. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της ανάλυσης διάκρισης, προκειμένου να διερευνηθούν οι ομοιότητες των δειγμάτων με βάση τις σχεδιαστικές παραμέτρους (Σχήμα 6.5.17). Το ποσοστό της επιτυχούς διάκρισης των δειγμάτων ήταν 95.3%. Τα δείγματα με διαφορετική περιεκτικότητα σε λιπαρά παρουσιάζουν καθολική διαφορετικότητα (100% διάκριση - μεγιστοποίηση των αποστάσεων Mahalanobis).



Σχήμα 6.5.17: Ανάλυση διάκρισης (discriminant analysis) για τη διάκριση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με βάση την περιεκτικότητά τους σε λιπαρά και ολιγοσακχαρίτες. Το ποσοστό επιτυχούς διάκρισης είναι 95.3%.

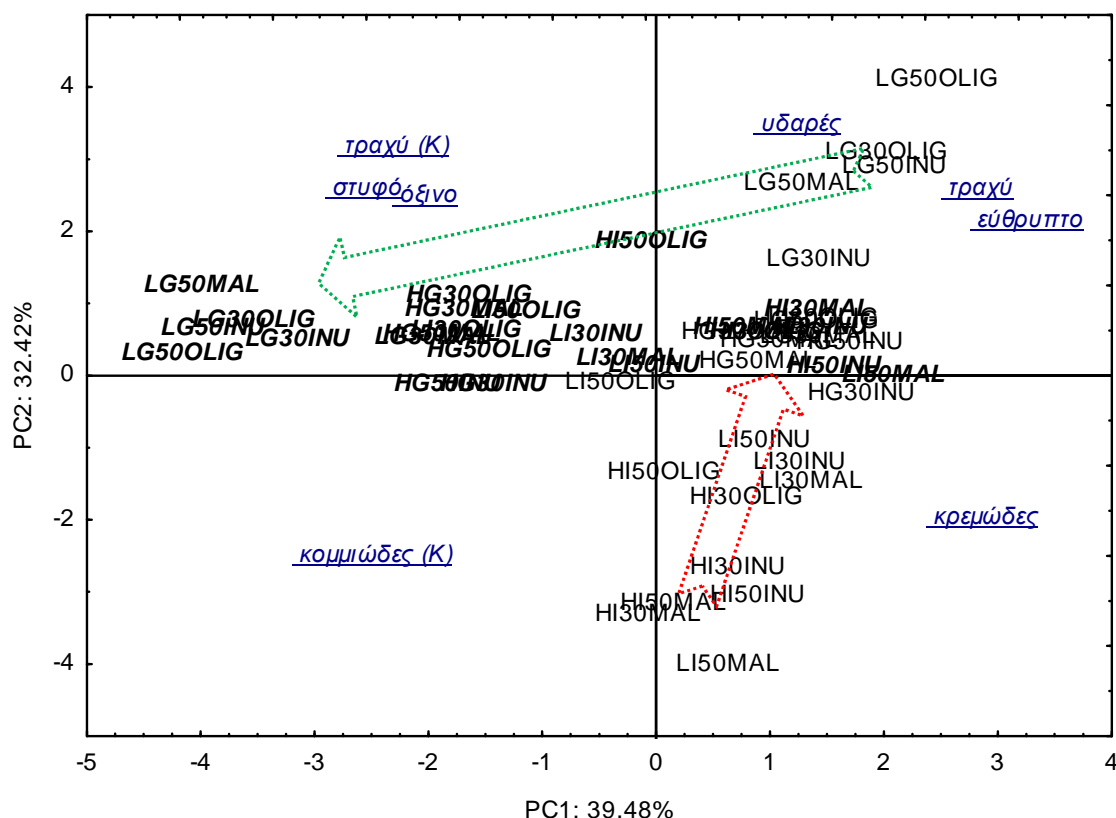


Σχήμα 6.5.18: Ανάλυση διάκρισης (discriminant analysis) για τη διάκριση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με βάση το είδος των ολιγοσακχαριτών. Το ποσοστό της διάκρισης είναι 100%.

Αντίθετα, η διάκριση των δειγμάτων με ολιγοσακχαρίτες ήταν επιτυχής κατά 83.3%. Επιπλέον, οι αποστάσεις Mahalanobis μεταξύ των δύο ομάδων ελαττώθηκαν σημαντικά. Αυτό δείχνει ότι τα δείγματα με διαφορά ως προς το ποσοστό υποκατάστασης των λιπαρών παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνάφεια σε σχέση με τα χαρακτηριστικά υφής, γεύσης, αρώματος, overrun και ρεολογίας.

Τέλος, χρησιμοποιώντας την ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των ολιγοσακχαριτών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη (Σχήμα 6.5.18), παρατηρήθηκε ότι τα συγκεκριμένα υλικά παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τη λειτουργικότητά τους στα συστήματα προβιοτικού παγωτού. Η διάκριση των δειγμάτων ήταν κατά 100% επιτυχής. Τα δείγματα με ινουλίνη και ολιγοφρουκτόζη παρουσίασαν τις μικρότερες αποστάσεις Mahalanobis και συνεπώς την υψηλότερη (αν και διακριτή) ποιοτική συνάφεια.

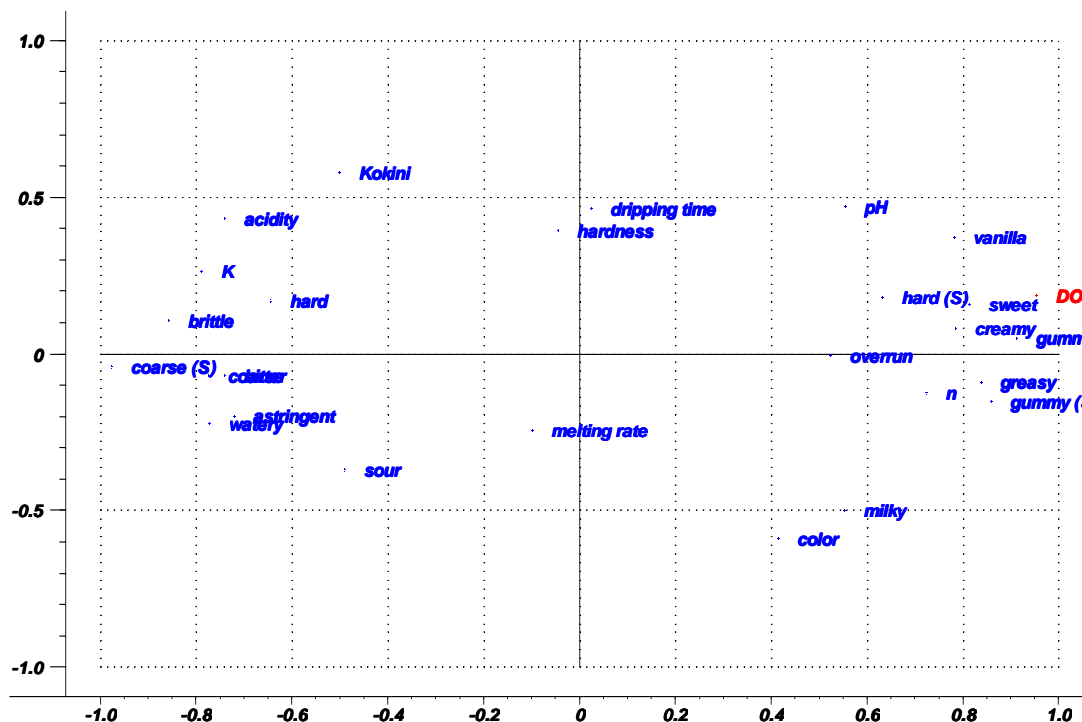
Η συμπεριφορά των δειγμάτων προβιοτικού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους μελετήθηκε με εφαρμογή της μεθόδου ΑΚΣ (Σχήμα 6.5.19). Όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα, αν και το σύνολο των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού εμφανίζουν μεταβολές λόγω ανακρυστάλλωσης, ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται δεν είναι ταυτόσημος για το σύνολο των δειγμάτων. Ειδικότερα, τα δείγματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε γιαούρτι ή μαλτοδεξτρίνη παρουσιάζουν μία μετατόπιση προς τα θετικά του άξονα PC2. Αντίθετα, τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη ή με υψηλή περιεκτικότητα σε γιαούρτι παρουσιάζουν μία μετατόπιση προς τα δεξιά του άξονα PC1. Τα δείγματα με ινουλίνη παρουσιάζουν μικτό τρόπο μετατόπισης στο διάγραμμα. Ο βασικότερος λόγος για τον οποίο παρατηρείται αυτή η συμπεριφορά φαίνεται να προκύπτει από την ισχυρή διαφοροποίηση των δειγμάτων παγωτού ως προς τα χαρακτηριστικά ποιότητας (κρεμώδης - κομμώδης υφή). Έτσι τα δείγματα με υψηλές βαθμολογίες κρεμώδους υφής εμφανίζουν μετατόπιση κατά την πορεία του άξονα PC2, ενώ τα δείγματα με ενδιάμεσες και χαμηλές τιμές κρεμώδους υφής παρουσιάζουν μετατόπιση κατά τον άξονα PC1.



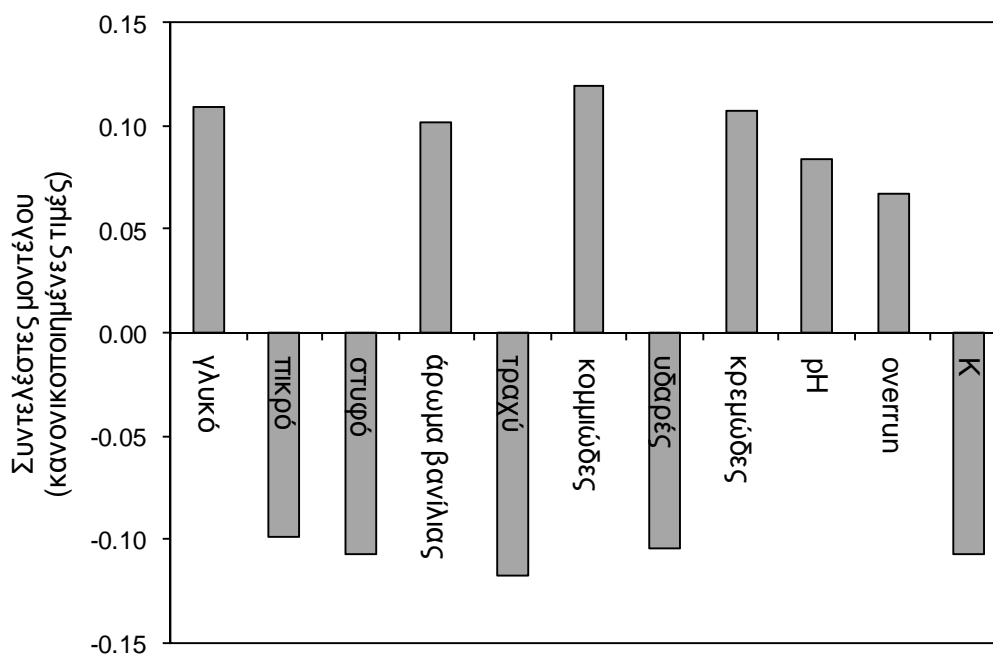
Σχήμα 6.5.19: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για τη μελέτη της συμπεριφοράς των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των 16 εβδομάδων. Για την κατασκευή του διαγράμματος χρησιμοποιήθηκαν οι οργανοληπτικές ιδιότητες που σχετίζεται με την ανακρυστάλλωση

6.5.8 Πρόρρηση της ολικής αποδοχής

Οι αντικειμενικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός γενικού μαθηματικού μοντέλου πρόρρησης της ολικής αποδοχής προϊόντων προβιοτικού παγωτού με βάση τη μέθοδο της PLSR.



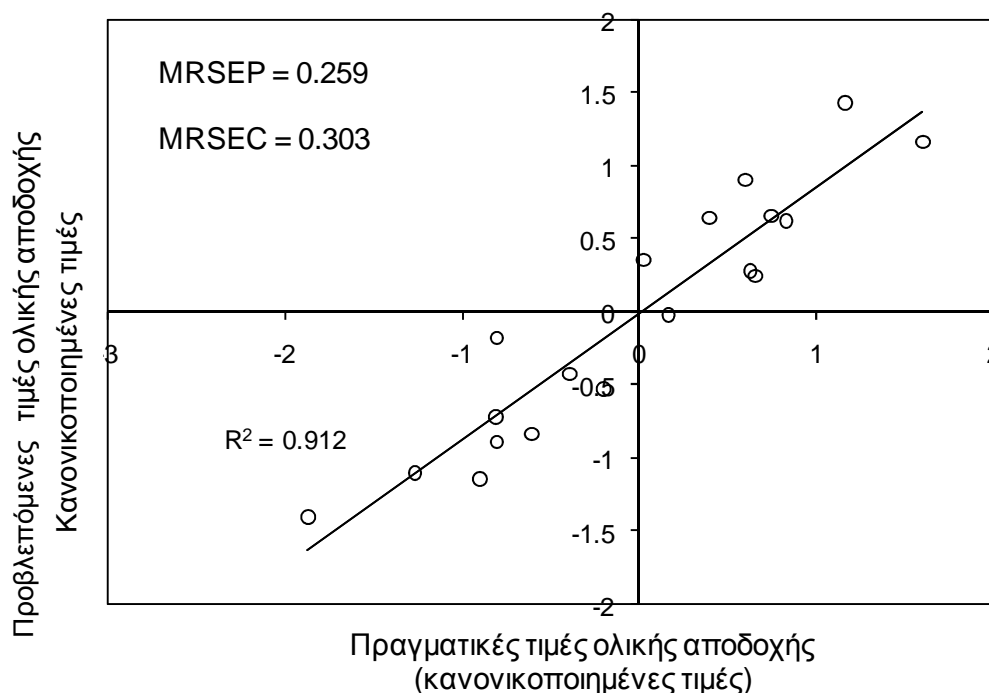
Σχήμα 6.5.20: Ανάλυση κύριων συστασιών (με cross-validation και εφαρμογή του κριτηρίου Martens) για τον προσδιορισμό των αντικειμενικών και οργανοληπτικών ιδιοτήτων που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού.



Σχήμα 6.5.21: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)

Τα αποτελέσματα της ΑΚΣ (cross-validation: leave-one-out/κριτήριο Martens) έδειξαν ότι 19 οργανοληπτικές και αντικειμενικές ιδιότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την

κατασκευή του προρρητικού γραμμικού μοντέλου. Λαμβάνοντας υπόψη και τις συσχετίσεις των μεταβλητών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ομαδοποίησης ο αριθμός των μεταβλητών ελαττώνεται σε 11 μεταβλητές (3 αντικειμενικές και 8 οργανοληπτικές ιδιότητες), οι οποίες εξηγούν το 60.8% της ολικής διακύμανσης και το 91.3% της διακύμανσης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων. Στα σχήματα 6.5.21 και 6.5.22 φαίνονται οι τιμές των συντελεστών του γραμμικού μοντέλου καθώς και η προσαρμογή των δεδομένων στο συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο. Όπως είναι φανερό, τα δεδομένα προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο μοντέλο. Τα σφάλματα των μοντέλων βαθμονόμησης και πρόρρησης είναι ικανοποιητικά (0.259 και 0.303 επί της κανονικοποιημένης βάσης). Το μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την πρόρρηση της ολικής αποδοχής ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος (προβιοτικό παγωτό αλλά και παγωτό γιαούρτι) με υποκατάστατα λιπαρών υδατανθρακικής φύσης.



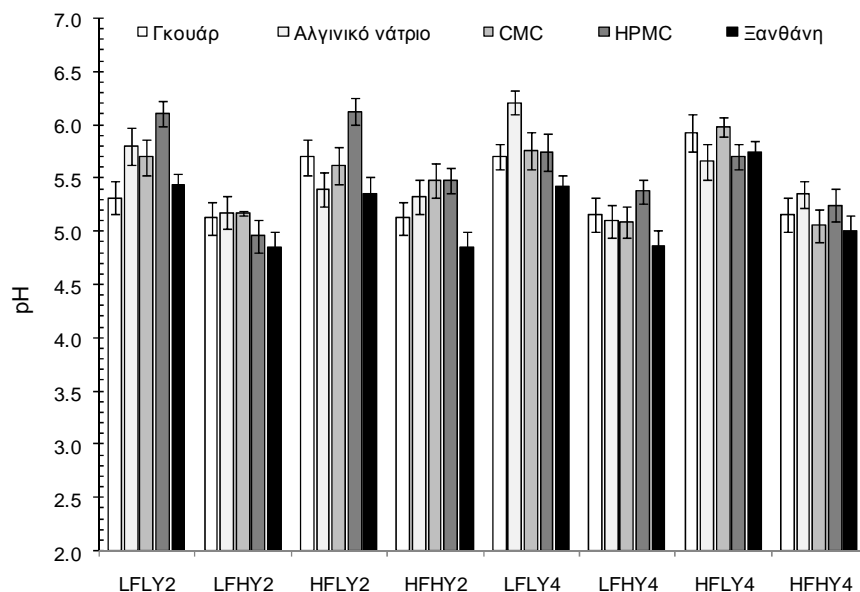
Σχήμα 6.5.22: Προσαρμογή των πραγματικών και προρρημένων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR

6.6 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΙΔΩΝ ΣΕ ΖΥΜΩΜΕΝΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

6.6.1 pH και οξύτητα των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού

Οι τιμές του pH και της οξύτητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού δίνονται στα διαγράμματα 6.6.1 και 6.6.2 αντίστοιχα. Το pH των μιγμάτων παγωτού επηρεάστηκε σημαντικά ($p < 0.001$) από το είδος του υδροκολλοειδούς και την περιεκτικότητά τους σε γιαούρτι. Όπως είναι αναμενόμενο, η αύξηση της περιεκτικότητας των μιγμάτων σε γιαούρτι οδηγεί σε μείωση του pH, όπως επίσης και η χρήση της ξανθάνης. Αντίθετα, η προσθήκη της CMC, του αλγινικού νατρίου και της HPMC οδήγησαν σε αύξηση της τιμής του pH. Η ξανθάνη όπως και το κόμμι γκουάρ είναι ουδέτερα υδροκολλοειδή και συνεπώς επηρεάζουν λιγότερο την ιοντική ισορροπία σε σχέση με τα ανιονικά υδροκολλοειδή (CMC, HPMC και αλγινικό νάτριο). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επίσης παρατηρηθεί και στην περίπτωση του παγωτού-γιαούρτι (Soukoulis & Tzia 2008).

Η οξύτητα των δειγμάτων παγωτού επηρεάστηκε σημαντικά από το ποσοστό του προστιθέμενου γιαουρτιού ($p < 0.001$), από το είδος του υδροκολλοειδούς ($p < 0.05$) και το ποσοστό των λιπαρών ($p < 0.05$). Τα δείγματα με ξανθάνη και κόμμι γκουάρ εμφάνισαν τις υψηλότερες οξύτητες σε σχέση με τα αντίστοιχα ανιονικά υδροκολλοειδή. Επίσης, η αύξηση των λιπαρών οδήγησε σε σημαντική μείωση της οξύτητας των μιγμάτων παγωτού. Η εξάρτηση της οξύτητας από τους παράγοντες σύστασης (υδροκολλοειδή και λιπαρά γάλακτος) έχει αναφερθεί σε σχετικές μελέτες (Soukoulis & Tzia 2008; Soukoulis et al., 2007).

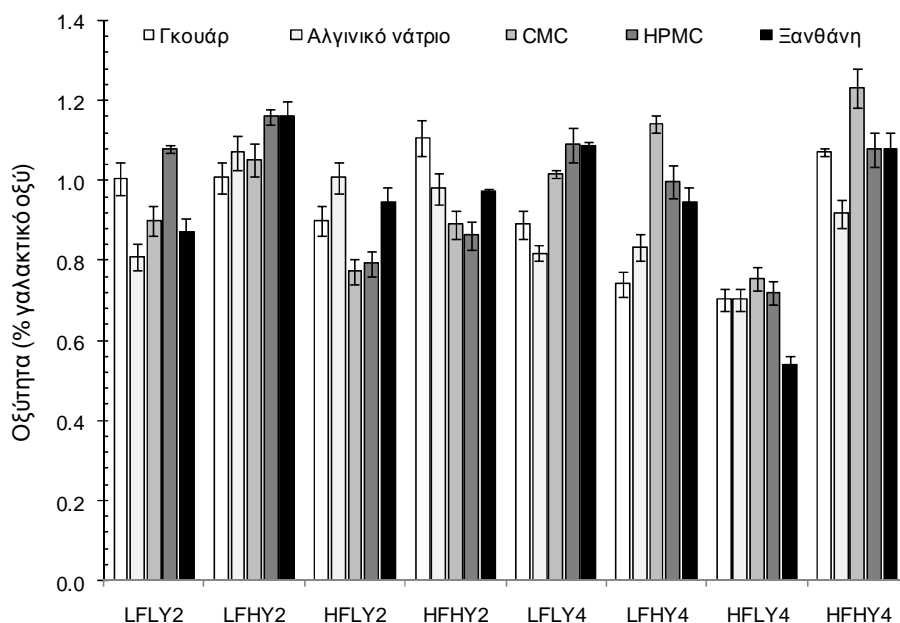


Σχήμα 6.6.1: Τιμές pH των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

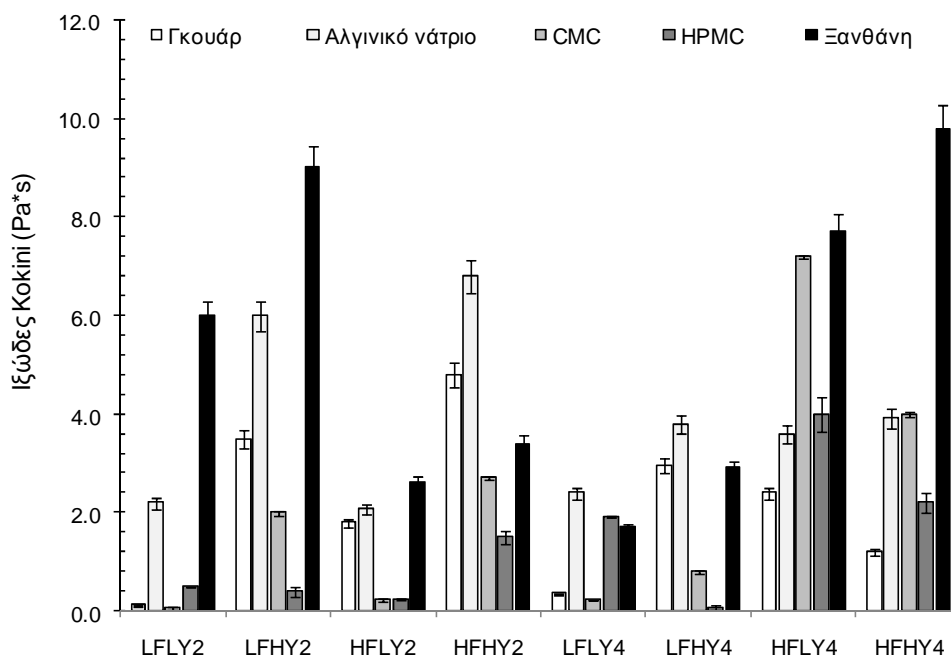
6.6.2 Ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού

Η ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού προσδιορίστηκε ως ψευδοπλαστική (οι τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς κυμάνθηκαν από 0.54 έως 0.82). Η ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού προσδιορίστηκε ως ψευδοπλαστική (οι τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς κυμάνθηκαν από 0.54 έως

0.82). Τα δείγματα που περιείχαν ξανθάνη ήταν τα πλέον ψευδοπλαστικά, ενώ τα δείγματα που περιείχαν κόμμι γκουάρ και CMC παρουσίασαν τις μικρότερες αποκλίσεις από τη νευτωνική συμπεριφορά. Οι τιμές του ιξώδους Κοκίνι των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού παρουσιάζονται στο διάγραμμα 6.6.3.



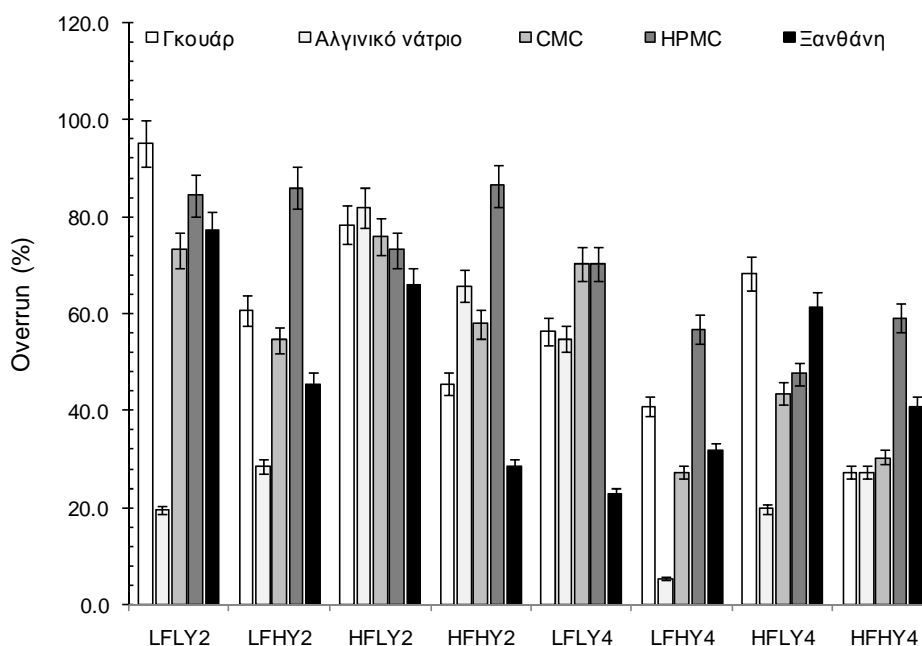
Σχήμα 6.6.2: Τιμές οξύτητας (% γαλακτικό οξύ) των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές



Σχήμα 6.6.3: Τιμές ιξώδους Κοκίνι (στα 50s⁻¹) των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

6.6.3 Ιξώδη Kokini των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού

Τα ιξώδη των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού επηρεάστηκαν σημαντικά ($p < 0.01$) από το είδος και την αναλογία των υδροκολλοειδών καθώς και από την περιεκτικότητά τους σε προβιοτικό γιαούρτι και λιπαρά. Ειδικότερα, τα ιξώδη των μιγμάτων αυξήθηκαν σύμφωνα με τη σειρά: HPMC < CMC - γκουάρ < αλγινικό νάτριο < ξανθάνη. Η ικανότητα της ξανθάνης να σχηματίζει ισχυρές πολυσακχαρικές διπλές αλυσίδες οδηγεί στο σχηματισμό ασθενών πηγμάτων. Η παρατήρηση αυτή δικαιολογεί και την υψηλή ψευδοπλαστικότητα των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού που περιείχαν ξανθάνη. Επιπλέον, η δράση της ξανθάνης να βελτιώνει τα ιξώδη των μιγμάτων παγωτού έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία (Soukoulis et al., 2008; Soukoulis & Tzia 2008). Το αλγινικό νάτριο επίσης μέσω της ικανότητάς του να σχηματίζει πολυσακχαρικές αλυσίδες παρουσία ιόντων Ca^{2+} (βλ. κεφ. 2) ευνοεί το σχηματισμό πολυσακχαρικών πηγμάτων τα οποία εγκλωβίζουν υγρασία και αυξάνουν τη συγκέντρωση της υδατικής φάσης. Αντίθετα, η CMC, το κόμμι γκουάρ και η HPMC ακολουθούν τη διαμόρφωση τυχαίας σπείρας η οποία συμβάλλει στην αύξηση του ιξώδους και εμφάνιση ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς αλλά σε μικρότερη κλίμακα σε σχέση με τα άλλα υδροκολλοειδή (Wielinga 2000; Murrey 2000; Soukoulis et al., 2008). Με βάση τη συσχέτιση του ιξώδους με τις πολυσακχαρικές διαμορφώσεις στη φάση ορού, η αύξηση του ιξώδους που παρατηρήθηκε με αύξηση του ποσοστού του υδροκολλοειδούς αποδίδεται στην αύξηση της πυκνότητας των πολυσακχαρικών πλεγμάτων - διαμορφώσεων στην υδατική φάση.



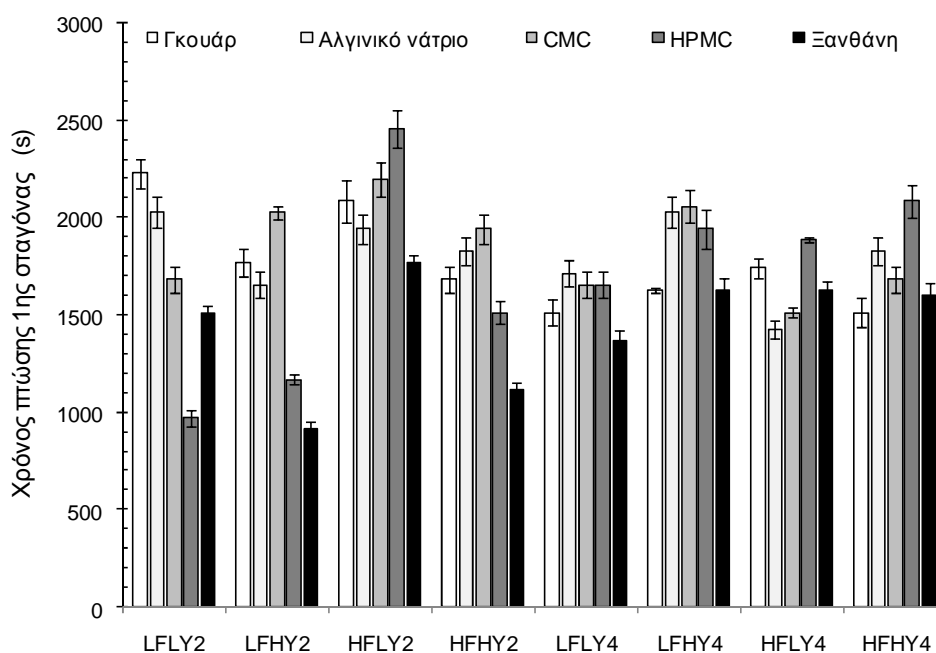
Σχήμα 6.6.4: Τιμές overrun των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

Η αύξηση της περιεκτικότητας των μιγμάτων σε γιαούρτι οδήγησε σε σημαντική αύξηση των τιμών του ιξώδους. Το πρωτεϊνικό πλέγμα, που δημιουργείται από τις -S-H-σουλφυδριλικές συνδέσεις των πρωτεϊνών ορού γάλακτος και της καζεΐνης στην περίπτωση των ζυμωμένων προϊόντων γάλακτος, συμβάλλει ενισχυτικά στο φαινόμενο ιξώδες των μιγμάτων. Είναι γνωστό ότι η παρουσία σταθερών πρωτεϊνικών πηγμάτων σχετίζεται με ενισχυμένα ιξώδη στα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος, ενώ η παρουσία υδροκολλοειδών δρα συνεργιστικά τόσο στη σταθερότητα των πρωτεϊνικών πλεγμάτων όσο και στα ιξώδη τους (Soukoulis et al., 2007; Fizman et al., 1999; Everett et al., 2005). Η προηγούμενη παρατήρηση εξηγεί και την υψηλότερη ψευδοπλαστική συμπεριφορά των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού με υψηλότερα ποσοστά γιαουρτιού.

Τέλος, η αύξηση της περιεκτικότητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού επέφερε σημαντική αύξηση του ιξώδους των δειγμάτων παγωτού. Η δράση αυτή μπορεί να αποδοθεί κατά κύριο λόγο στην αύξηση των ολικών στερεών των μιγμάτων (και συνεπώς της συγκέντρωσης της φάσης ορού) όπως επίσης και στην αύξηση του ποσοστού κρυσταλλωμένου λίπους (λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των λιπαρών γάλακτος σε τριγλυκερίδια υψηλού σημείου τήξης) στη θερμοκρασία ωρίμανσης των μιγμάτων παγωτού (Bazmi et al., 2008).

6.6.3 Overrun

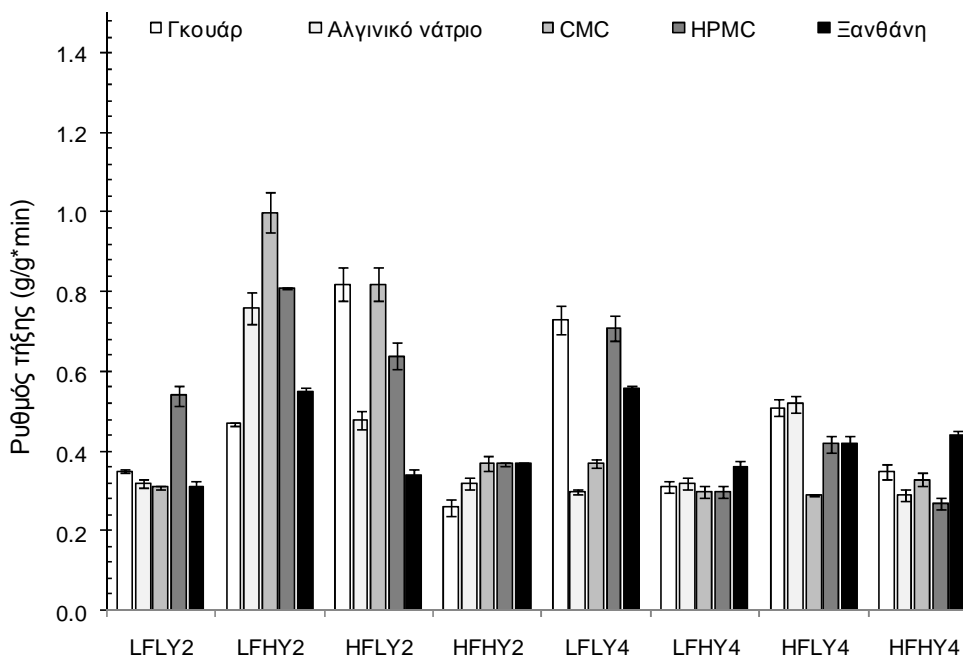
Στο σχήμα 6.6.4 εμφανίζονται οι τιμές του overrun των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα επηρεάστηκε σημαντικά ($p < 0.001$) από το είδος και την αναλογία των υδροκολλοειδών όπως επίσης και από το ποσοστό προσθήκης γιαουρτιού. Οι τιμές του overrun αύξηθηκαν σύμφωνα με την ακολουθία: αλγινικό νάτριο < ξανθάνη < CMC - γκουάρ < HPMC. Όπως έχει αναφερθεί, ο σχηματισμός και η σταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, με κυριότερο τη συμμετοχή των πρωτεϊνών στη διεπιφάνεια αέρα - υδατικής φάσης όπως επίσης και την αποσταθεροποίηση των σχηματιζόμενων φυσαλίδων αέρα λόγω π.χ. της πρόσβασης των μη κρυσταλλωμένων λιπιδίων στην επιφάνεια των φυσαλίδων (Zhang & Goff 2004a,b; van Aken 2001). Επιπλέον, δευτερογενείς παράγοντες όπως το ιξώδες, το pH, η ιοντική ισχύς κ.α. μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα σε συστήματα γαλακτωμάτων όπως τα μίγματα παγωτού (Zhang & Goff 2004). Οι σταθεροποιητές μπορούν, όπως αναφέρθηκε και στο κεφ. 6.1.3, να επηρεάσουν την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα είτε μέσω της ασθενούς τους επιφανειοενεργότητας ή μέσω του ελέγχου της τάσης αποσταθεροποίησης των φυσαλίδων μέσω σχηματισμού πολυσακχαριτικών διασυνδέσεων που θωρακίζουν τις σχηματιζόμενες φυσαλίδες αέρα.



Σχήμα 6.6.5: Τιμές των χρόνων πτώσης 1ης σταγόνας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

Σε αντίθεση με τις παρατηρήσεις στην περίπτωση των τυπικών δειγμάτων παγωτού, στα δείγματα προβιοτικού παγωτού η προσθήκη αλγινικού νατρίου και ξανθάνης οδήγησε σε ελάττωση του overrun, ενώ η HPMC και η CMC σε αύξηση. Λαμβάνοντας τη φύση των υδροκολλοειδών, αλλά και των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (χαμηλό pH, υψηλά ιξώδη, ύπαρξη αποσταθεροποιημένης - μη μυκκηλιακής καζεΐνης) μπορεί κανείς να καταλήξει στα

εξής συμπεράσματα: α) η επιφανειοενεργότητα του υδροκολλοειδούς είναι σημαντικός παράγοντας που ευνοεί την ενσωμάτωση του αέρα - έτσι η CMC και η HPMC ως αρκετά επιφανειοενεργά υδροκολλοειδή συνέβαλαν στη συγκεκριμένη δράση (Huang et al., 2001), β) η επίδραση του υδροκολλοειδούς στο ιξώδες των μιγμάτων φαίνεται επίσης να επηρεάζει το overrun - τα αυξημένα ιξώδη στην περίπτωση του αλγινικού νατρίου και της ξανθάνης επιφέρουν μείωση του overrun λόγω της ανάπτυξης υψηλών διατμητικών τάσεων (Smith et al., 2000). Η τελευταία παρατήρηση είναι πολύ σημαντική, αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι τα ιξώδη των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού ήταν έως και 770% υψηλότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα των μιγμάτων παγωτού. Στην τελευταία παρατήρηση συνηγορεί και το γεγονός ότι η αύξηση του ποσοστού των υδροκολλοειδών (η οποία όπως αναφέρθηκε συνεπάγεται τη σημαντική αύξηση του ιξώδους) επιφέρει σημαντική ελάττωση του ιξώδους. Τέλος, η αύξηση του ποσοστού προσθήκης προβιοτικού γιαουρτιού επέφερε σημαντική ελάττωση των τιμών του overrun. Η δράση αυτή φαίνεται αφενός να συνδέεται με τις υψηλές τιμές ιξώδους των δειγμάτων παγωτού με υψηλή περιεκτικότητα σε γιαούρτι, και επιπλέον με την παρουσία των πρωτεϊνικών πλεγμάτων τα οποία παρεμποδίζουν την ευχερή ενσωμάτωση του αέρα στα δείγματα (Soukoulis & Tzia 2008).



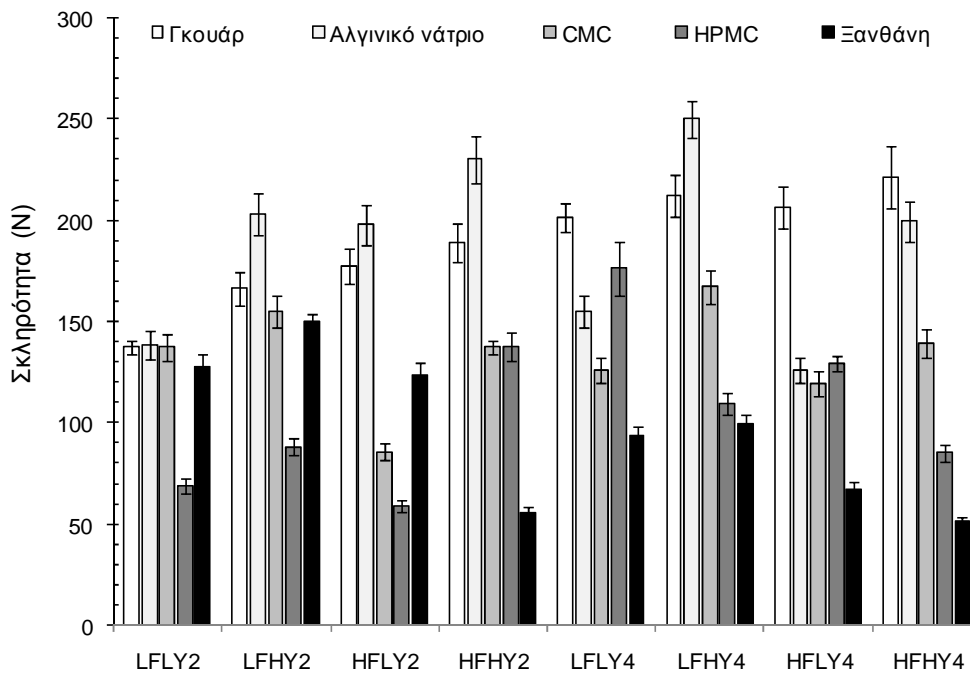
Σχήμα 6.6.6: Τιμές του ρυθμού τήξης των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

6.6.4 Χαρακτηριστικά τήξης

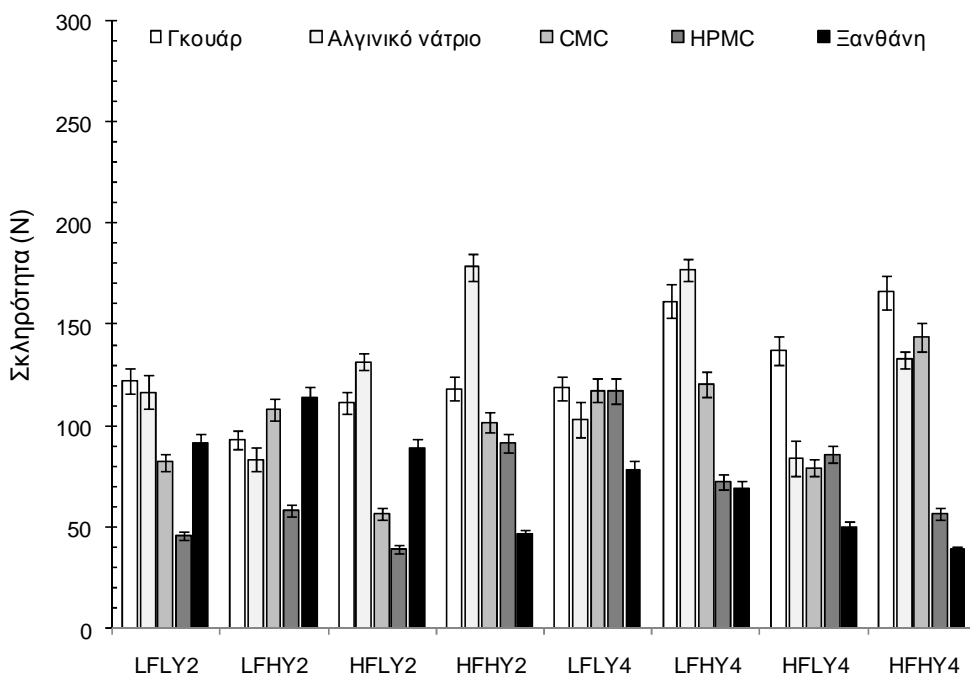
Στα σχήματα 6.6.5 και 6.6.6 παρουσιάζονται οι τιμές των χαρακτηριστικών τήξης των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. Ο χρόνος πτώσης της 1^{ης} σταγόνας επηρεάστηκε σημαντικά ($p < 0.05$) από το είδος του υδροκολλοειδούς και από την περιεκτικότητά τους σε λιπαρά γάλακτος. Έτσι, τα δείγματα που περιείχαν ξανθάνη εμφάνισαν τους μικρότερους χρόνους πτώσης 1^{ης} σταγόνας, ενώ τα δείγματα που περιείχαν αλγινικό νάτριο και CMC τους υψηλότερους. Επιπλέον, η αύξηση της περιεκτικότητας των λιπαρών γάλακτος επέφερε σημαντική αύξηση του χρόνου πτώσης 1^{ης} σταγόνας.

Οι ρυθμοί τήξης επηρεάστηκαν σημαντικά ($p < 0.05$) από το ποσοστό του υδροκολλοειδούς και την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε λιπαρά. Ειδικότερα, η αύξηση του ποσοστού του υδροκολλοειδούς και των λιπαρών γάλακτος συνέβαλε στην ελάττωση του

ρυθμού τήξης. Η αύξηση του ποσοστού της συγκρατούμενης ποσότητας νερού, που παράγεται από την τήξη των παγοκρύσταλλων, από τα υδροκολλοειδή εξηγεί τη συγκεκριμένη επίδραση.



Σχήμα 6.6.7: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές



Σχήμα 6.6.8: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού στις 16 εβδομάδες αποθήκευσης. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

Έτσι, ο ρυθμός αραίωσης της φάσης ορού κατά τη διάρκεια της τήξης ελαττώνεται, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται και ο ρυθμός αποστράγγισης της υδατικής φάσης διαμέσου της πορώδους δομής των δειγμάτων παγωτού. Επιπλέον, η αυξημένη συγκέντρωση της φάσης

ορού, λόγω της παρουσίας των πυκνών πολυσακχαριτικών διαμορφώσεων επιφέρει μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού και κατά συνέπεια μείωση του ρυθμού αποστράγγισης. Αναφορικά με την επίδραση των λιπαρών γάλακτος, η παρατηρούμενη επίδραση αποδίδεται κατά κύριο λόγο στη μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των δειγμάτων με υψηλό ποσοστό λιπαρών και συνεπώς στην παρεμπόδιση της διείσδυσης θερμότητας από το περιβάλλον προς το θερμικό κέντρο των δειγμάτων παγωτού (μέσω συναγωγής και αγωγής αντίστοιχα). Η μείωση του ρυθμού τήξης του παγωτού καθώς αυξάνει η περιεκτικότητά του σε λιπαρά έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία (Muse & Hartel 2004; Roland et al., 1999; Adapa et al., 2000)

6.6.5 Αντικειμενική σκληρότητα

Στα σχήματα 6.6.7 και 6.6.8 παρουσιάζονται οι τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού μετά από 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης. Η σκληρότητα των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού σε χρόνο αποθήκευσης 4 εβδομάδων επηρεάστηκε σημαντικά ($p < 0.05$) από το είδος του υδροκολλοειδούς και την περιεκτικότητά τους σε γιαούρτι. Ειδικότερα, τα δείγματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε γιαούρτι που περιείχαν ξανθάνη ή ΗΡΜC εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές σκληρότητας. Αντίθετα, τα δείγματα που περιείχαν αλγινικό νάτριο ή κόμμι γκουάρ εμφάνισαν τις υψηλότερες σκληρότητες. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν αναφερθεί και στην περίπτωση του παγωτού-γιαούρτι (Soukoulis & Tzia 2008).

Μετά από 16 εβδομάδες αποθήκευσης η αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων επηρεάστηκε και πάλι από το είδος του υδροκολλοειδούς και την περιεκτικότητά τους σε γιαούρτι ($p < 0.001$ και $p < 0.05$ αντίστοιχα). Είναι χαρακτηριστικό ότι η αύξηση του χρόνου αποθήκευσης συνοδεύτηκε με αύξηση της διακριτότητας της λειτουργικής δράσης των υδροκολλοειδών (η ξανθάνη οδήγησε σε χαμηλότερες τιμές αντικειμενικής σκληρότητας, ενώ το αλγινικό νάτριο σε υψηλότερες).

6.6.6 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

α) Επίδρασεις των παραγόντων σύστασης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Στους πίνακες 6.6.1 - 6.6.6 παρατίθενται οι τιμές των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών όπως εκτιμήθηκαν στις 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης, ενώ στον πίνακα 6.6.7 οι κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων στις οργανοληπτικές ιδιότητες των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. Τα χαρακτηριστικά γεύσης και αρώματος των δειγμάτων επηρεάστηκαν κατά κύριο λόγο από το είδος του υδροκολλοειδούς και την περιεκτικότητά τους σε γιαούρτι. Η προσθήκη ξανθάνης ή ΗΡΜC συνέβαλε στην ενίσχυση του αρώματος βανίλιας και της έντασης της γλυκύτητας, ενώ περιόρισε την όξινη και στυφή γεύση. Αντίθετα, η αύξηση της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και η προσθήκη αλγινικού νατρίου, κόμμιος γκουάρ ή CMC οδήγησε σε δείγματα με έντονο όξινο και στυφό flavor, υποβαθμισμένο άρωμα βανίλιας και χαμηλή ένταση γλυκύτητας. Το ποσοστό του υδροκολλοειδούς δεν χαρακτηρίζεται ως καθοριστικής σημασίας παράγοντας ελέγχου της αρωματικής κατατομής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού, ενώ η αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε λιπαρά περιόρισε την όξινη και στυφή γεύση, βελτίωσε το άρωμα βανίλιας και αύξησε το άρωμα γάλακτος. Είναι γνωστό ότι η παρουσία των υδροκολλοειδών είναι δυναμικά μία παράμετρος ελέγχου του τρόπου και ρυθμού απελευθέρωσης των αρωματικών παραγόντων (Cook 2006). Γενικά, τα υδροκολλοειδή είναι ικανά να περιορίζουν την απελευθέρωση των πτητικών αρωματικών ενώσεων π.χ. ακεταλδεΐδη, διακετύλιο, γαλακτικό οξύ, ενώ επιπλέον η επίδρασή τους στα χαρακτηριστικά υφής μπορεί να δρά συνεργιστικά στον τρόπο με τον οποίο το άρωμα των επιδόρπιων γάλακτος γίνεται αντιληπτό (de Wijk et al., 2003; Vingerhoeds et al., 2009; Soukoulis et al., 2009; Soukoulis et al., 2008). Πράγματι, η επίδραση αυτή παρατηρείται στην περίπτωση των πτητικών αρωματικών ενώσεων που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του όξινου, στυφού flavor και της πικρής μετάγευσης, ενώ η βελτίωση του αρώματος βανίλιας δεν σχετίζεται μόνο με τον έλεγχο της απελευθέρωσης της βανιλίνης κατά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

την τήξη του παγωτού, αλλά και με τη γενικότερη επίδραση των υδροκολλοειδών στα χαρακτηριστικά υψής. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι τα υδροκολλοειδή που βελτίωσαν το άρωμα συνέβαλαν θετικά και στα εκτιμώμενα χαρακτηριστικά υψής (κομμώδη και κρεμώδη, περιορισμένη τραχύτητα και υδαρότητα).

Δείγμα	Χρώμα	Γλυκό	Πικρό	Στυφό	Όξινο	Άρωμα Βανίλιας	Άρωμα γάλακτος
H25G2	7.1 ± 0.2	7.2 ± 0.1	3.9 ± 0.1	1.8 ± 0.4	2.1 ± 0.2	5.3 ± 0.4	3.5 ± 0.4
H50G2	7.6 ± 0.1	5.4 ± 0.4	2.6 ± 0.2	2.6 ± 0.1	2.9 ± 0.1	6.2 ± 0.2	5.2 ± 0.4
L25G2	7.1 ± 0.3	3.8 ± 0.3	1.6 ± 0.1	3.7 ± 0.2	5.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	3.1 ± 0.3
L50G2	3.3 ± 0.2	5.0 ± 0.0	1.8 ± 0.3	4.6 ± 0.3	2.5 ± 0.0	3.6 ± 0.4	4.3 ± 0.1
H25G4	5.0 ± 0.3	5.9 ± 0.2	4.1 ± 0.2	1.8 ± 0.1	1.9 ± 0.2	5.3 ± 0.2	4.3 ± 0.2
H50G4	4.2 ± 0.1	3.8 ± 0.4	3.5 ± 0.2	4.6 ± 0.2	4.9 ± 0.4	3.6 ± 0.3	3.5 ± 0.7
L25G4	5.0 ± 0.0	4.7 ± 0.6	2.6 ± 0.1	3.1 ± 0.1	3.8 ± 0.2	5.1 ± 0.4	4.3 ± 0.2
L50G4	2.5 ± 0.3	3.8 ± 0.6	3.5 ± 0.3	4.1 ± 0.3	4.3 ± 0.3	3.6 ± 0.2	4.3 ± 0.1
H25A2	3.3 ± 0.2	4.2 ± 0.4	2.7 ± 0.4	1.9 ± 0.4	2.9 ± 0.4	4.6 ± 0.4	2.2 ± 0.2
H50A2	5.0 ± 0.4	3.3 ± 0.6	2.6 ± 0.2	6.0 ± 0.0	4.1 ± 0.3	4.5 ± 0.0	1.8 ± 0.4
L25A2	5.9 ± 0.3	5.2 ± 0.1	3.5 ± 0.3	1.8 ± 0.1	3.0 ± 0.0	5.1 ± 0.4	3.1 ± 0.2
L50A2	5.9 ± 0.4	3.4 ± 0.3	5.2 ± 0.4	5.6 ± 0.2	5.9 ± 0.4	4.1 ± 0.2	3.5 ± 0.0
H25A4	6.7 ± 0.5	3.2 ± 0.2	3.9 ± 0.2	5.2 ± 0.4	6.5 ± 0.0	5.8 ± 0.4	3.5 ± 0.0
H50A4	5.0 ± 0.0	4.2 ± 0.3	2.7 ± 0.3	3.5 ± 0.0	3.3 ± 0.4	4.7 ± 0.2	2.6 ± 0.2
L25A4	6.7 ± 0.3	5.4 ± 0.1	3.5 ± 0.2	2.6 ± 0.1	3.4 ± 0.6	3.6 ± 0.4	7.0 ± 0.0
L50A4	5.0 ± 0.4	4.6 ± 0.4	1.8 ± 0.4	3.5 ± 0.0	3.8 ± 0.4	4.9 ± 0.3	2.6 ± 0.4
H25C2	6.7 ± 0.2	6.3 ± 0.2	3.9 ± 0.2	1.9 ± 0.1	2.5 ± 0.2	6.4 ± 0.4	4.3 ± 0.2
H50C2	5.0 ± 0.3	3.3 ± 0.5	3.5 ± 0.2	3.5 ± 0.4	4.6 ± 0.3	3.6 ± 0.5	1.8 ± 0.1
L25C2	7.6 ± 0.2	6.7 ± 0.2	3.1 ± 0.1	1.5 ± 0.0	1.6 ± 0.1	6.0 ± 0.0	2.6 ± 0.1
L50C2	5.9 ± 0.2	3.4 ± 0.3	6.0 ± 0.6	5.2 ± 0.2	5.8 ± 0.2	3.8 ± 0.4	3.1 ± 0.7
H25C4	6.7 ± 0.2	5.9 ± 0.4	3.5 ± 0.2	2.3 ± 0.4	3.6 ± 0.4	6.2 ± 0.3	3.9 ± 0.8
H50C4	5.4 ± 0.2	4.2 ± 0.2	2.6 ± 0.1	3.1 ± 0.3	3.5 ± 0.3	3.9 ± 0.1	3.5 ± 0.0
L25C4	6.1 ± 0.3	5.6 ± 0.3	3.5 ± 0.1	2.6 ± 0.2	3.3 ± 0.4	5.8 ± 0.4	5.2 ± 0.4
L50C4	5.4 ± 0.3	4.8 ± 0.4	2.5 ± 0.2	3.2 ± 0.4	3.4 ± 0.2	5.1 ± 0.2	3.5 ± 0.5
H25H2	5.9 ± 0.4	6.7 ± 0.2	2.7 ± 0.3	1.7 ± 0.1	4.2 ± 0.3	6.2 ± 0.1	4.3 ± 0.2
H50H2	5.0 ± 0.0	7.1 ± 0.2	2.2 ± 0.1	1.9 ± 0.3	1.2 ± 0.4	7.9 ± 0.2	2.6 ± 0.1
L25H2	5.9 ± 0.1	5.4 ± 0.6	4.8 ± 0.1	2.0 ± 0.0	2.9 ± 0.3	5.3 ± 0.1	4.3 ± 0.3
L50H2	2.5 ± 0.2	3.3 ± 0.1	2.6 ± 0.4	3.5 ± 0.5	5.9 ± 0.1	3.6 ± 0.2	2.2 ± 0.1
H25H4	6.7 ± 0.1	3.8 ± 0.2	3.1 ± 0.2	2.0 ± 0.0	4.8 ± 0.2	5.1 ± 0.1	2.9 ± 0.1
H50H4	5.9 ± 0.3	3.3 ± 0.3	1.8 ± 0.1	2.1 ± 0.4	2.5 ± 0.0	5.3 ± 0.1	2.6 ± 0.2
L25H4	6.3 ± 0.2	5.4 ± 0.1	1.7 ± 0.3	2.4 ± 0.3	3.8 ± 0.4	5.2 ± 0.2	3.9 ± 0.3
L50H4	5.9 ± 0.3	4.6 ± 0.1	1.8 ± 0.4	1.9 ± 0.4	4.6 ± 0.2	6.2 ± 0.1	3.5 ± 0.0
H25X2	7.8 ± 0.2	6.3 ± 0.3	1.9 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.4 ± 0.1	7.0 ± 0.0	3.7 ± 0.1
H50X2	6.7 ± 0.2	3.8 ± 0.4	2.6 ± 0.1	2.3 ± 0.1	1.6 ± 0.2	4.9 ± 0.2	3.9 ± 0.1
L25X2	7.8 ± 0.1	6.3 ± 0.2	3.9 ± 0.3	1.6 ± 0.3	1.5 ± 0.0	7.0 ± 0.0	3.7 ± 0.2
L50X2	6.7 ± 0.4	6.1 ± 0.2	3.5 ± 0.1	2.0 ± 0.0	3.8 ± 0.4	4.7 ± 0.3	3.5 ± 0.0
H25X4	6.7 ± 0.2	5.4 ± 0.3	2.4 ± 0.4	2.3 ± 0.4	1.7 ± 0.2	7.0 ± 0.0	3.1 ± 0.1
H50X4	3.3 ± 0.3	3.8 ± 0.2	2.2 ± 0.2	2.4 ± 0.3	4.2 ± 0.2	4.0 ± 0.0	3.5 ± 0.5
L25X4	7.6 ± 0.5	6.0 ± 0.0	1.9 ± 0.1	2.7 ± 0.1	2.3 ± 0.3	5.8 ± 0.4	3.5 ± 0.1
L50X4	5.9 ± 0.2	4.2 ± 0.2	3.5 ± 0.1	2.7 ± 0.2	2.5 ± 0.4	4.5 ± 0.6	2.6 ± 0.3

Πίνακας 6.6.1: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύσης και αρώματος) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες. Η = 4% λιπαρά, L = 2% λιπαρά, 25 = 25% προβιοτικό γιαούρτι, 50 = προβιοτικό γιαούρτι, G = γκούαρ, A = αλγινικό νάτριο, C = CMC, H = HPMC, X = ξανθάνη, 2 = 0.2% υδροκολλοειδές και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	Σκληρό (Κ)	Τραχύ (Κ)	Εύθρυπτο	Κομμιώδες (Κ)
H25G2	6.0 ± 0.3	1.2 ± 0.4	3.2 ± 0.1	5.4 ± 0.3
H50G2	4.4 ± 0.1	1.4 ± 0.2	2.6 ± 0.2	4.1 ± 0.4
L25G2	6.5 ± 0.0	3.1 ± 0.3	3.1 ± 0.2	1.6 ± 0.2
L50G2	6.6 ± 0.1	4.7 ± 0.4	3.3 ± 0.1	3.2 ± 0.2
H25G4	3.4 ± 0.2	4.6 ± 0.2	6.2 ± 0.2	2.8 ± 0.4
H50G4	6.5 ± 0.4	3.1 ± 0.4	3.2 ± 0.1	3.2 ± 0.3
L25G4	5.6 ± 0.3	3.7 ± 0.3	5.8 ± 0.3	2.8 ± 0.2
L50G4	6.5 ± 0.0	3.0 ± 0.0	3.2 ± 0.4	4.2 ± 0.4
H25A2	3.9 ± 0.4	6.5 ± 0.0	7.5 ± 0.0	1.8 ± 0.2
H50A2	3.1 ± 0.2	4.8 ± 0.4	6.4 ± 0.2	1.6 ± 0.2
L25A2	3.9 ± 0.3	3.3 ± 0.4	4.9 ± 0.4	2.0 ± 0.0
L50A2	7.3 ± 0.5	5.6 ± 0.4	5.8 ± 0.5	2.0 ± 0.0
H25A4	4.4 ± 0.2	4.8 ± 0.5	4.1 ± 0.2	2.4 ± 0.5
H50A4	5.6 ± 0.4	4.4 ± 0.3	4.1 ± 0.3	2.2 ± 0.2
L25A4	3.3 ± 0.2	4.2 ± 0.1	5.8 ± 0.5	2.0 ± 0.0
L50A4	6.0 ± 0.0	4.3 ± 0.2	3.7 ± 0.1	1.6 ± 0.1
H25C2	6.3 ± 0.4	3.5 ± 0.0	3.2 ± 0.3	4.9 ± 0.2
H50C2	4.8 ± 0.2	3.9 ± 0.1	5.1 ± 0.2	2.4 ± 0.4
L25C2	3.1 ± 0.4	1.8 ± 0.2	3.2 ± 0.6	2.8 ± 0.3
L50C2	5.2 ± 0.2	4.5 ± 0.2	5.8 ± 0.2	2.4 ± 0.3
H25C4	4.8 ± 0.4	3.9 ± 0.3	3.7 ± 0.1	3.2 ± 0.4
H50C4	5.6 ± 0.6	4.8 ± 0.2	4.1 ± 0.2	2.4 ± 0.5
L25C4	3.5 ± 0.1	2.7 ± 0.4	4.3 ± 0.3	3.3 ± 0.2
L50C4	6.9 ± 0.2	5.6 ± 0.2	4.1 ± 0.4	2.4 ± 0.2
H25H2	3.0 ± 0.0	1.8 ± 0.1	6.2 ± 0.5	3.0 ± 0.0
H50H2	3.1 ± 0.2	2.8 ± 0.2	2.6 ± 0.3	5.8 ± 0.8
L25H2	2.2 ± 0.2	1.8 ± 0.1	3.9 ± 0.2	1.6 ± 0.2
L50H2	7.3 ± 0.4	3.9 ± 0.2	3.2 ± 0.3	4.9 ± 0.4
H25H4	6.0 ± 0.0	3.5 ± 0.0	6.2 ± 0.4	2.8 ± 0.2
H50H4	5.6 ± 0.3	3.1 ± 0.3	3.7 ± 0.5	1.6 ± 0.1
L25H4	4.4 ± 0.4	3.9 ± 0.1	4.7 ± 0.6	3.2 ± 0.2
L50H4	3.1 ± 0.2	3.9 ± 0.4	5.8 ± 0.2	2.0 ± 0.0
H25X2	2.2 ± 0.4	1.0 ± 0.0	2.4 ± 0.4	3.7 ± 0.5
H50X2	3.5 ± 0.0	3.5 ± 0.0	6.6 ± 0.2	1.6 ± 0.1
L25X2	2.2 ± 0.3	1.0 ± 0.0	2.4 ± 0.2	4.1 ± 0.2
L50X2	5.6 ± 0.2	3.1 ± 0.5	3.7 ± 0.1	2.7 ± 0.4
H25X4	2.2 ± 0.1	1.0 ± 0.0	3.2 ± 0.2	3.9 ± 0.3
H50X4	4.8 ± 0.4	4.4 ± 0.4	3.7 ± 0.3	2.6 ± 0.4
L25X4	3.5 ± 0.0	1.6 ± 0.2	2.8 ± 0.4	3.0 ± 0.0
L50X4	5.6 ± 0.3	3.9 ± 0.6	2.5 ± 0.0	2.6 ± 0.4

Πίνακας 6.6.2: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χαρακτηριστικά υψής κατά τον τεμαχισμό των δειγμάτων παγωτού με το κουτάλι) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες. Η = 4% λιπαρά, L = 2% λιπαρά, 25 = 25% προβιοτικό γιαούρτι, 50 = προβιοτικό γιαούρτι, G = γκουάρ, A = αλγινικό νάτριο, C = CMC, H = HPMC, X = ξανθάνη, 2 = 0.2% υδροκολλοειδές και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

Η επίδραση του γιαουρτιού είναι ακριβώς η αναμενόμενη: η αύξηση της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε γιαούρτι συνδέεται με αυξημένες συγκεντρώσεις πτητικών αρωματικών ουσιών (ακεταλδεΐδη, διακετύλιο, ακετοΐνη, γαλακτικό οξύ) που επιφέρουν μείωση της έντασης της γλυκιάς γεύσης και του αρώματος γάλακτος και αύξησης της έντασης του όξινου και στυφού flavor.

Η βελτίωση του αρώματος των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με υψηλό ποσοστό λιπαρό σχετίζεται αφενός με τη μερική κάλυψη (masking) των όξινων αρωματικών ενώσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

και αφετέρου με τη διάλυση της λιπόφιλης βανιλίνης στο λιπαρό - άπολο υπόστρωμα, με αποτέλεσμα τη σταδιακή αποδέσμευση και την αύξηση του χρόνου που απαιτείται για την ελαχιστοποίηση της έντασης του αρώματος βανίλιας (de Wijk et al., 2003; Bom Frost et al., 2001; Soukoulis et al., 2007)

Δείγμα	Σκληρό	Τραχύ	Κομμιώδες	Υδαρές	Κρεμώδες	Λιπαρό
H25G2	4.2 ± 0.2	2.5 ± 0.0	2.9 ± 0.4	2.2 ± 0.4	7.5 ± 0.0	4.1 ± 0.4
H50G2	3.8 ± 0.4	2.3 ± 0.1	2.6 ± 0.2	2.7 ± 0.2	6.7 ± 0.1	2.8 ± 0.2
L25G2	5.0 ± 0.0	4.4 ± 0.5	3.2 ± 0.5	4.8 ± 0.2	4.6 ± 0.4	3.2 ± 0.4
L50G2	5.0 ± 0.0	5.0 ± 0.0	2.4 ± 0.3	5.5 ± 0.0	3.6 ± 0.3	4.0 ± 0.0
H25G4	4.2 ± 0.1	4.2 ± 0.6	3.2 ± 0.4	2.9 ± 0.1	4.7 ± 0.4	3.2 ± 0.6
H50G4	5.4 ± 0.4	5.0 ± 0.0	2.7 ± 0.2	3.1 ± 0.4	5.4 ± 0.3	2.5 ± 0.0
L25G4	5.0 ± 0.0	3.5 ± 0.0	3.2 ± 0.2	5.9 ± 0.2	3.8 ± 0.4	3.2 ± 0.4
L50G4	5.4 ± 0.1	4.0 ± 0.0	2.3 ± 0.1	4.0 ± 0.0	5.4 ± 0.2	2.6 ± 0.3
H25A2	3.8 ± 0.3	6.0 ± 0.0	1.6 ± 0.4	6.0 ± 0.0	2.1 ± 0.2	3.2 ± 0.4
H50A2	4.2 ± 0.1	5.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	5.6 ± 0.1	2.5 ± 0.0	2.3 ± 0.2
L25A2	3.8 ± 0.2	2.9 ± 0.4	2.8 ± 0.3	3.9 ± 0.4	5.9 ± 0.6	4.1 ± 0.5
L50A2	5.9 ± 0.4	5.4 ± 0.5	1.9 ± 0.2	6.5 ± 0.0	2.1 ± 0.2	2.2 ± 0.2
H25A4	5.4 ± 0.2	6.1 ± 0.6	1.9 ± 0.1	5.6 ± 0.5	3.3 ± 0.4	3.2 ± 0.3
H50A4	5.0 ± 0.0	4.2 ± 0.1	1.8 ± 0.1	4.8 ± 0.3	3.9 ± 0.2	2.4 ± 0.4
L25A4	3.8 ± 0.1	3.3 ± 0.2	3.5 ± 0.0	4.4 ± 0.4	4.6 ± 0.4	2.7 ± 0.3
L50A4	5.0 ± 0.0	3.8 ± 0.2	2.1 ± 0.1	6.4 ± 0.6	2.7 ± 0.6	2.6 ± 0.2
H25C2	4.6 ± 0.1	2.9 ± 0.2	2.8 ± 0.4	4.0 ± 0.0	6.1 ± 0.4	3.7 ± 0.4
H50C2	5.0 ± 0.0	3.3 ± 0.3	1.6 ± 0.3	5.6 ± 0.4	3.7 ± 0.2	3.2 ± 0.4
L25C2	2.9 ± 0.4	2.1 ± 0.2	2.5 ± 0.0	2.7 ± 0.4	7.1 ± 0.3	4.1 ± 0.3
L50C2	5.0 ± 0.0	3.3 ± 0.1	1.7 ± 0.2	2.2 ± 0.3	6.3 ± 0.4	4.9 ± 0.2
H25C4	5.9 ± 0.6	3.8 ± 0.4	2.3 ± 0.1	4.9 ± 0.5	4.2 ± 0.2	3.7 ± 0.4
H50C4	4.2 ± 0.4	4.2 ± 0.3	2.0 ± 0.0	5.9 ± 0.4	2.9 ± 0.3	1.6 ± 0.1
L25C4	3.3 ± 0.2	2.5 ± 0.0	3.2 ± 0.4	3.4 ± 0.2	5.9 ± 0.1	4.3 ± 0.3
L50C4	5.9 ± 0.3	5.9 ± 0.1	2.3 ± 0.2	6.3 ± 0.4	3.1 ± 0.3	1.5 ± 0.0
H25H2	2.1 ± 0.1	2.1 ± 0.4	2.2 ± 0.4	3.4 ± 0.3	6.7 ± 0.4	3.2 ± 0.3
H50H2	4.2 ± 0.1	2.7 ± 0.3	1.6 ± 0.2	2.7 ± 0.2	7.1 ± 0.8	2.8 ± 0.4
L25H2	4.6 ± 0.4	4.4 ± 0.1	2.2 ± 0.3	5.0 ± 0.0	4.6 ± 0.2	3.6 ± 0.3
L50H2	4.3 ± 0.5	4.2 ± 0.4	3.2 ± 0.2	5.6 ± 0.1	3.8 ± 0.4	3.2 ± 0.1
H25H4	4.3 ± 0.4	3.3 ± 0.2	2.7 ± 0.5	2.7 ± 0.2	5.0 ± 0.0	3.2 ± 0.3
H50H4	4.2 ± 0.5	2.5 ± 0.0	2.4 ± 0.4	2.2 ± 0.3	4.6 ± 0.2	2.2 ± 0.4
L25H4	4.2 ± 0.4	3.5 ± 0.0	2.9 ± 0.4	3.2 ± 0.4	5.9 ± 0.3	4.1 ± 0.3
L50H4	4.6 ± 0.3	3.3 ± 0.4	2.4 ± 0.2	3.3 ± 0.2	6.5 ± 0.4	2.5 ± 0.0
H25X2	2.5 ± 0.0	1.2 ± 0.2	1.7 ± 0.2	2.5 ± 0.0	8.0 ± 0.0	4.1 ± 0.1
H50X2	4.2 ± 0.4	3.5 ± 0.0	2.0 ± 0.0	2.2 ± 0.4	4.6 ± 0.1	2.8 ± 0.4
L25X2	2.5 ± 0.4	1.2 ± 0.2	1.9 ± 0.2	2.5 ± 0.0	8.0 ± 0.0	4.2 ± 0.3
L50X2	5.0 ± 0.0	3.8 ± 0.4	3.1 ± 0.2	3.2 ± 0.4	4.2 ± 0.4	3.2 ± 0.4
H25X4	2.5 ± 0.0	1.2 ± 0.3	3.2 ± 0.1	1.8 ± 0.2	7.5 ± 0.2	3.2 ± 0.3
H50X4	4.6 ± 0.4	3.3 ± 0.1	3.1 ± 0.4	4.0 ± 0.0	4.4 ± 0.3	2.6 ± 0.4
L25X4	3.5 ± 0.0	1.6 ± 0.1	4.0 ± 0.0	3.7 ± 0.4	5.9 ± 0.1	4.7 ± 0.5
L50X4	4.6 ± 0.4	3.8 ± 0.1	3.7 ± 0.1	4.3 ± 0.3	4.7 ± 0.3	3.3 ± 0.6

Πίνακας 6.6.3: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χαρακτηριστικά υψής κατά την κατανάλωση των δειγμάτων) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες. H = 4% λιπαρά, L = 2% λιπαρά, 25 = 25% προβιοτικό γιαούρτι, 50 = προβιοτικό γιαούρτι, G = γκούαρ, A = αλγινικό νάτριο, C = CMC, H = HPMC, X = ξανθάνη, 2 = 0.2% υδροκολλοειδές και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

Το είδος του υδροκολλοειδούς επηρέασε σημαντικά όλα τα χαρακτηριστικά υψής που εξετάστηκαν. Η χρήση ξανθάνης ή HPMC φάνηκε να προσφέρει μία ικανοποιητική

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

σταθεροποιητική δράση στα συστήματα προβιοτικού παγωτού. Τα συγκεκριμένα δείγματα χαρακτηρίζονταν από κρεμώδη και κομμώδη υφή, και περιορισμένη τραχύτητα, ευθρυπτότητα, και υδαρότητα. Τα δεδομένα της υφής υποδεικνύουν ότι η ξανθάνη και το ΗΡΜC αποτελούν συστατικά αξιόλογης κρυσταλλοποιητικής δράσης σε ζυμωμένα ή οξεισμένα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος. Επιπλέον, παρατηρείται συμφωνία ανάμεσα στα δεδομένα του αναλυτή υφής και των οργανοληπτικών ελέγχων.

Δείγμα	Χρώμα	Γλυκό	Πικρό	Στυφό	Όξινο	Άρωμα βανίλιας	Άρωμα γάλακτος
H25G2	6.4 ± 0.2	7.1 ± 0.2	3.4 ± 0.4	2.3 ± 0.4	3.2 ± 0.4	4.8 ± 0.4	3.1 ± 0.4
H50G2	7.4 ± 0.4	5.4 ± 0.1	3.0 ± 0.0	2.8 ± 0.4	3.4 ± 0.4	5.3 ± 0.5	5.1 ± 0.3
L25G2	6.9 ± 0.6	3.8 ± 0.4	2.1 ± 0.3	4.2 ± 0.4	6.0 ± 0.0	3.4 ± 0.4	3.1 ± 0.1
L50G2	3.9 ± 0.3	5.0 ± 0.0	2.2 ± 0.4	4.9 ± 0.3	3.4 ± 0.3	3.2 ± 0.4	3.4 ± 0.3
H25G4	5.1 ± 0.4	5.9 ± 0.4	3.8 ± 0.2	2.4 ± 0.4	2.3 ± 0.2	5.2 ± 0.4	3.5 ± 0.4
H50G4	4.1 ± 0.2	3.8 ± 0.2	3.1 ± 0.3	4.3 ± 0.3	5.3 ± 0.4	3.4 ± 0.6	3.9 ± 0.3
L25G4	4.8 ± 0.4	4.7 ± 0.6	2.8 ± 0.4	4.5 ± 0.0	3.8 ± 0.3	4.9 ± 0.4	3.2 ± 0.4
L50G4	2.2 ± 0.1	3.8 ± 0.2	3.7 ± 0.5	4.5 ± 0.0	4.5 ± 0.0	3.2 ± 0.6	3.0 ± 0.0
H25A2	3.2 ± 0.6	4.2 ± 0.4	3.0 ± 0.0	2.3 ± 0.4	3.4 ± 0.3	4.9 ± 0.4	2.0 ± 0.0
H50A2	4.2 ± 0.2	3.3 ± 0.3	3.0 ± 0.0	5.4 ± 0.2	5.1 ± 0.3	4.5 ± 0.3	2.0 ± 0.0
L25A2	5.5 ± 0.3	5.2 ± 0.4	3.8 ± 0.1	3.2 ± 0.4	3.5 ± 0.0	5.3 ± 0.5	2.7 ± 0.3
L50A2	5.3 ± 0.4	3.4 ± 0.5	5.5 ± 0.0	5.6 ± 0.5	6.1 ± 0.4	3.4 ± 0.1	3.4 ± 0.1
H25A4	6.9 ± 0.2	3.2 ± 0.2	4.5 ± 0.0	5.8 ± 0.3	6.2 ± 0.5	4.9 ± 0.2	3.1 ± 0.2
H50A4	4.3 ± 0.3	4.9 ± 0.4	3.2 ± 0.4	4.2 ± 0.4	3.5 ± 0.0	4.3 ± 0.3	2.3 ± 0.4
L25A4	6.4 ± 0.2	5.3 ± 0.3	4.0 ± 0.0	3.4 ± 0.2	4.0 ± 0.0	3.4 ± 0.1	6.4 ± 0.8
L50A4	4.8 ± 0.4	4.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	4.2 ± 0.4	4.0 ± 0.0	4.2 ± 0.5	2.5 ± 0.0
H25C2	6.4 ± 0.2	6.6 ± 0.4	4.3 ± 0.6	2.3 ± 0.3	3.1 ± 0.3	6.0 ± 0.0	4.2 ± 0.3
H50C2	5.0 ± 0.0	3.1 ± 0.2	3.8 ± 0.4	4.2 ± 0.1	4.5 ± 0.0	3.4 ± 0.3	2.0 ± 0.0
L25C2	7.6 ± 0.2	6.6 ± 0.6	3.4 ± 0.8	3.2 ± 0.3	2.3 ± 0.4	6.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0
L50C2	5.9 ± 0.3	3.2 ± 0.2	5.3 ± 0.2	6.0 ± 0.0	6.0 ± 0.0	3.5 ± 0.0	3.4 ± 0.2
H25C4	6.9 ± 0.4	5.6 ± 0.4	4.1 ± 0.1	3.5 ± 0.0	4.0 ± 0.0	6.1 ± 0.2	4.0 ± 0.0
H50C4	5.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	3.8 ± 0.1	3.9 ± 0.4	3.4 ± 0.3	4.0 ± 0.0
L25C4	6.0 ± 0.0	5.2 ± 0.6	3.1 ± 0.3	2.3 ± 0.3	3.7 ± 0.4	5.2 ± 0.4	5.1 ± 0.3
L50C4	5.2 ± 0.7	4.2 ± 0.2	3.0 ± 0.0	3.4 ± 0.4	4.0 ± 0.0	5.0 ± 0.0	3.2 ± 0.4
H25H2	6.3 ± 0.3	6.5 ± 0.0	3.1 ± 0.2	2.0 ± 0.0	4.5 ± 0.0	6.0 ± 0.0	4.1 ± 0.2
H50H2	5.2 ± 0.5	7.4 ± 0.4	2.2 ± 0.2	1.9 ± 0.2	2.0 ± 0.0	7.3 ± 0.3	2.4 ± 0.3
L25H2	5.6 ± 0.4	5.3 ± 0.2	4.2 ± 0.3	2.1 ± 0.1	3.5 ± 0.0	5.2 ± 0.4	4.6 ± 0.4
L50H2	3.9 ± 0.3	3.0 ± 0.0	3.1 ± 0.4	3.2 ± 0.3	5.2 ± 0.4	3.2 ± 0.3	2.4 ± 0.3
H25H4	6.1 ± 0.5	3.2 ± 0.4	3.2 ± 0.5	2.0 ± 0.0	4.3 ± 0.7	5.2 ± 0.5	3.1 ± 0.2
H50H4	5.2 ± 0.1	3.4 ± 0.2	2.4 ± 0.2	2.3 ± 0.2	3.0 ± 0.0	5.2 ± 0.3	3.4 ± 0.4
L25H4	6.0 ± 0.0	5.2 ± 0.3	1.3 ± 0.4	2.5 ± 0.3	3.2 ± 0.3	5.5 ± 0.4	2.4 ± 0.3
L50H4	5.4 ± 0.6	4.6 ± 0.4	1.5 ± 0.4	2.0 ± 0.0	4.5 ± 0.0	6.3 ± 0.2	3.4 ± 0.4
H25X2	8.0 ± 0.0	6.0 ± 0.0	2.2 ± 0.3	1.8 ± 0.1	2.0 ± 0.0	7.1 ± 0.3	3.9 ± 0.3
H50X2	7.0 ± 0.0	4.2 ± 0.1	2.4 ± 0.3	2.0 ± 0.0	2.3 ± 0.6	5.2 ± 0.2	3.4 ± 0.4
L25X2	7.2 ± 0.1	6.1 ± 0.2	4.3 ± 0.4	2.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	6.4 ± 0.4	3.4 ± 0.3
L50X2	6.9 ± 0.3	6.4 ± 0.3	3.2 ± 0.5	2.3 ± 0.4	4.2 ± 0.4	4.3 ± 0.3	3.5 ± 0.0
H25X4	6.8 ± 0.5	5.0 ± 0.0	2.4 ± 0.4	2.1 ± 0.3	2.3 ± 0.5	6.7 ± 0.4	4.2 ± 0.2
H50X4	4.0 ± 0.3	4.0 ± 0.0	1.6 ± 0.2	2.5 ± 0.0	4.8 ± 0.6	4.1 ± 0.3	3.5 ± 0.0
L25X4	7.9 ± 0.4	6.2 ± 0.3	2.2 ± 0.3	3.0 ± 0.0	3.4 ± 0.4	5.5 ± 0.0	3.9 ± 0.5
L50X4	6.3 ± 0.3	4.2 ± 0.2	4.5 ± 0.4	3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	4.2 ± 0.3	3.0 ± 0.0

Πίνακας 6.6.4: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύση και αρώματος) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες. Η = 4% λιπαρά, L = 2% λιπαρά, 25 = 25% προβιοτικό γιαούρτι, 50 = προβιοτικό γιαούρτι, G = γκούαρ, A = αλγινικό νάτριο, C = CMC, H = ΗΡΜC, X = ξανθάνη, 2 = 0.2% υδροκολλοειδές και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	Σκληρό (Κ)	Τραχύ (Κ)	Εύθρυπτο	Κομμιώδες (Κ)
H25G2	6.1 ± 0.2	2.3 ± 0.2	3.8 ± 0.3	5.5 ± 0.0
H50G2	4.8 ± 0.4	2.8 ± 0.3	3.4 ± 0.4	4.0 ± 0.0
L25G2	7.3 ± 0.6	3.4 ± 0.4	4.0 ± 0.0	1.8 ± 0.4
L50G2	7.4 ± 0.2	5.9 ± 0.2	4.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0
H25G4	4.2 ± 0.1	5.2 ± 0.3	6.3 ± 0.3	2.5 ± 0.0
H50G4	7.0 ± 0.0	4.8 ± 0.5	4.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0
L25G4	6.0 ± 0.0	4.5 ± 0.0	4.3 ± 0.5	2.3 ± 0.6
L50G4	6.9 ± 0.6	3.7 ± 0.4	4.2 ± 0.2	4.0 ± 0.3
H25A2	4.3 ± 0.2	4.2 ± 0.2	7.2 ± 0.3	1.7 ± 0.1
H50A2	3.4 ± 0.1	4.1 ± 0.3	7.0 ± 0.0	1.5 ± 0.0
L25A2	4.5 ± 0.0	4.2 ± 0.4	5.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0
L50A2	7.0 ± 0.0	6.2 ± 0.5	6.3 ± 0.3	2.1 ± 0.3
H25A4	4.5 ± 0.0	5.4 ± 0.2	4.8 ± 0.4	2.1 ± 0.4
H50A4	6.2 ± 0.4	4.2 ± 0.3	5.4 ± 0.2	2.0 ± 0.0
L25A4	4.0 ± 0.0	4.5 ± 0.0	6.0 ± 0.0	1.7 ± 0.3
L50A4	6.8 ± 0.6	4.8 ± 0.4	4.2 ± 0.3	1.7 ± 0.2
H25C2	7.0 ± 0.0	3.4 ± 0.3	3.8 ± 0.2	4.5 ± 0.0
H50C2	5.0 ± 0.0	3.7 ± 0.4	5.8 ± 0.3	2.3 ± 0.2
L25C2	3.4 ± 0.2	2.2 ± 0.3	3.9 ± 0.4	2.8 ± 0.3
L50C2	6.0 ± 0.0	5.3 ± 0.4	6.0 ± 0.0	2.1 ± 0.4
H25C4	5.2 ± 0.4	3.4 ± 0.2	4.0 ± 0.0	3.4 ± 0.5
H50C4	6.2 ± 0.2	5.2 ± 0.3	4.8 ± 0.5	2.3 ± 0.4
L25C4	4.2 ± 0.3	2.4 ± 0.2	4.0 ± 0.0	3.4 ± 0.5
L50C4	6.3 ± 0.4	5.2 ± 0.3	3.7 ± 0.3	2.7 ± 0.3
H25H2	3.4 ± 0.3	2.0 ± 0.0	5.5 ± 0.4	3.4 ± 0.4
H50H2	4.0 ± 0.0	2.6 ± 0.3	2.3 ± 0.3	5.3 ± 0.5
L25H2	3.0 ± 0.0	2.8 ± 0.4	4.0 ± 0.0	3.4 ± 0.3
L50H2	6.4 ± 0.5	4.0 ± 0.0	3.8 ± 0.3	3.2 ± 0.3
H25H4	6.3 ± 0.2	4.0 ± 0.0	5.5 ± 0.0	4.2 ± 0.4
H50H4	6.0 ± 0.0	3.2 ± 0.4	4.4 ± 0.4	2.3 ± 0.2
L25H4	5.0 ± 0.0	3.5 ± 0.0	5.0 ± 0.0	3.4 ± 0.4
L50H4	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	5.5 ± 0.0	2.3 ± 0.3
H25X2	2.4 ± 0.2	1.0 ± 0.0	2.7 ± 0.3	3.1 ± 0.2
H50X2	3.5 ± 0.3	3.4 ± 0.3	6.0 ± 0.0	2.3 ± 0.4
L25X2	2.2 ± 0.3	1.2 ± 0.4	2.8 ± 0.3	4.0 ± 0.0
L50X2	5.2 ± 0.4	3.1 ± 0.3	4.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0
H25X4	2.3 ± 0.4	1.3 ± 0.4	4.0 ± 0.0	3.7 ± 0.3
H50X4	4.2 ± 0.2	4.4 ± 0.2	3.2 ± 0.3	2.8 ± 0.2
L25X4	3.2 ± 0.4	2.3 ± 0.3	2.8 ± 0.3	3.0 ± 0.0
L50X4	5.8 ± 0.3	4.0 ± 0.0	2.4 ± 0.1	2.4 ± 0.5

Πίνακας 6.6.5: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χαρακτηριστικά υψής κατά τον τεμαχισμό των δειγμάτων παγωτού με το κουτάλι) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες. H = 4% λιπαρά, L = 2% λιπαρά, 25 = 25% προβιοτικό γιαούρτι, 50 = προβιοτικό γιαούρτι, G = γκουάρ, A = αλγινικό νάτριο, C = CMC, H = HPMC, X = ξανθάνη, 2 = 0.2% υδροκολλοειδές και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

Η χρήση αλγινικού νατρίου, κόμμεος γκουάρ και CMC δεν συνέβαλε σε επαρκή έλεγχο της ανακρυστάλλωσης, δεδομένου ότι τα συγκεκριμένα δείγματα χαρακτηρίζονταν από υψηλή τραχύτητα και ευθρυπτότητα. Το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι επίσης ένδειξη του σχηματισμού φολιδωτών παγοκρυστάλλων (Soukoulis et al., 2008).

Επιπλέον, τα δείγματα που είχαν υποβαθμισμένη υψή χαρακτηρίζονταν επίσης από υψηλή υδαρότητα, και αρνητικά χαρακτηριστικά αρώματος (όξινο και στυφό flavor). Η ανομοιογένεια των σχηματισμένων παγοκρυστάλλων οδηγεί σε υδαρή αίσθηση του τήγματος,

ενώ αυξάνει την τριβή και ελαττώνει την πλούσια αίσθηση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάζησης (de Wijk et al., 2003). Η ανάπτυξη τριβής λόγω ανεπαρκούς λίπανσης της γλώσσας έχει αποδειχθεί ότι σχετίζεται άμεσα με συγκεκριμένους παράγοντες αρώματος όπως είναι το στυφό flavor (Prinz et al., 2000). Η αύξηση του ποσοστού συνέβαλε στη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής, αν και η κατάλληλη επιλογή του σταθεροποιητικού υλικού είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα του προβιοτικού παγωτού.

Δείγμα	Σκληρό	Τραχύ	Κομμιώδες	Υδαρές	Κρεμώδες	Λιπαρό
H25G2	5.1 ± 0.3	3.2 ± 0.4	2.7 ± 0.3	2.1 ± 0.4	6.1 ± 0.4	4.1 ± 0.2
H50G2	4.2 ± 0.4	3.0 ± 0.0	2.5 ± 0.2	4.3 ± 0.4	6.3 ± 0.3	2.8 ± 0.3
L25G2	5.4 ± 0.5	4.7 ± 0.3	2.8 ± 0.2	4.2 ± 0.3	4.0 ± 0.0	3.2 ± 0.4
L50G2	5.7 ± 0.2	5.5 ± 0.4	3.0 ± 0.0	6.0 ± 0.0	3.2 ± 0.4	4.8 ± 0.4
H25G4	4.2 ± 0.2	4.7 ± 0.2	3.3 ± 0.1	3.1 ± 0.2	3.4 ± 0.3	3.3 ± 0.3
H50G4	6.0 ± 0.0	5.5 ± 0.3	2.2 ± 0.3	4.2 ± 0.4	5.0 ± 0.0	2.7 ± 0.2
L25G4	5.5 ± 0.0	4.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	6.2 ± 0.3	3.4 ± 0.4	3.4 ± 0.4
L50G4	5.8 ± 0.4	4.5 ± 0.0	2.8 ± 0.2	4.5 ± 0.0	5.1 ± 0.6	2.8 ± 0.3
H25A2	4.0 ± 0.0	7.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	7.0 ± 0.0	2.4 ± 0.3	3.3 ± 0.3
H50A2	4.3 ± 0.3	5.5 ± 0.0	2.0 ± 0.0	5.9 ± 0.4	2.0 ± 0.0	2.3 ± 0.2
L25A2	4.0 ± 0.0	3.5 ± 0.4	2.3 ± 0.2	4.5 ± 0.0	5.1 ± 0.4	3.3 ± 0.2
L50A2	5.5 ± 0.0	6.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	7.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	2.2 ± 0.3
H25A4	5.8 ± 0.3	6.4 ± 0.3	2.1 ± 0.1	6.2 ± 0.3	3.0 ± 0.0	3.4 ± 0.1
H50A4	5.8 ± 0.4	4.7 ± 0.2	2.0 ± 0.0	5.2 ± 0.4	3.4 ± 0.3	2.4 ± 0.3
L25A4	4.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	3.1 ± 0.3	5.0 ± 0.0	4.2 ± 0.4	2.2 ± 0.4
L50A4	5.8 ± 0.5	4.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	6.0 ± 0.0	2.4 ± 0.3	2.3 ± 0.2
H25C2	5.0 ± 0.0	3.4 ± 0.4	2.7 ± 0.3	4.5 ± 0.0	5.5 ± 0.0	3.6 ± 0.2
H50C2	5.3 ± 0.5	3.7 ± 0.4	1.2 ± 0.2	6.0 ± 0.0	3.4 ± 0.2	3.0 ± 0.0
L25C2	3.4 ± 0.3	2.3 ± 0.2	2.4 ± 0.3	3.1 ± 0.3	7.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0
L50C2	5.0 ± 0.0	3.7 ± 0.2	2.2 ± 0.3	3.2 ± 0.4	6.3 ± 0.3	4.5 ± 0.0
H25C4	6.4 ± 0.4	4.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	5.1 ± 0.5	4.5 ± 0.0	3.2 ± 0.4
H50C4	4.2 ± 0.3	4.6 ± 0.3	2.0 ± 0.0	6.1 ± 0.5	2.8 ± 0.4	1.6 ± 0.3
L25C4	3.7 ± 0.4	2.8 ± 0.2	3.1 ± 0.3	4.1 ± 0.6	5.5 ± 0.3	4.2 ± 0.3
L50C4	6.0 ± 0.4	6.0 ± 0.0	2.4 ± 0.4	6.7 ± 0.4	3.0 ± 0.0	1.8 ± 0.2
H25H2	2.7 ± 0.3	2.7 ± 0.1	2.2 ± 0.3	4.2 ± 0.3	6.3 ± 0.3	3.0 ± 0.0
H50H2	4.5 ± 0.4	3.3 ± 0.3	2.0 ± 0.0	3.4 ± 0.5	6.8 ± 0.4	3.2 ± 0.3
L25H2	4.0 ± 0.0	5.0 ± 0.0	2.1 ± 0.3	4.5 ± 0.0	4.5 ± 0.3	3.1 ± 0.4
L50H2	4.7 ± 0.3	5.0 ± 0.0	3.2 ± 0.2	6.0 ± 0.0	4.3 ± 0.3	3.0 ± 0.0
H25H4	4.5 ± 0.4	3.7 ± 0.1	3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	5.0 ± 0.0	3.1 ± 0.3
H50H4	4.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	2.4 ± 0.3	2.8 ± 0.4	4.2 ± 0.3	2.0 ± 0.0
L25H4	4.5 ± 0.1	4.1 ± 0.3	3.0 ± 0.0	3.4 ± 0.6	5.5 ± 0.4	4.0 ± 0.0
L50H4	4.4 ± 0.3	3.4 ± 0.2	3.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	6.3 ± 0.6	2.2 ± 0.3
H25X2	2.3 ± 0.4	2.2 ± 0.2	2.0 ± 0.0	3.2 ± 0.3	8.3 ± 0.3	4.3 ± 0.1
H50X2	4.5 ± 0.0	3.7 ± 0.3	2.0 ± 0.0	3.1 ± 0.4	5.6 ± 0.7	2.3 ± 0.3
L25X2	2.3 ± 0.2	2.3 ± 0.1	2.1 ± 0.3	2.3 ± 0.6	7.8 ± 0.3	4.0 ± 0.0
L50X2	5.0 ± 0.0	3.4 ± 0.3	3.3 ± 0.4	3.4 ± 0.4	5.4 ± 0.4	3.2 ± 0.3
H25X4	2.5 ± 0.0	2.0 ± 0.0	3.4 ± 0.3	2.3 ± 0.5	7.7 ± 0.6	3.1 ± 0.1
H50X4	4.5 ± 0.0	4.0 ± 0.0	3.3 ± 0.5	5.0 ± 0.0	5.3 ± 0.4	3.4 ± 0.2
L25X4	2.3 ± 0.3	1.8 ± 0.2	4.2 ± 0.6	4.3 ± 0.4	6.3 ± 0.3	3.7 ± 0.3
L50X4	3.4 ± 0.4	3.4 ± 0.3	4.2 ± 0.1	5.1 ± 0.6	4.4 ± 0.1	3.1 ± 0.3

Πίνακας 6.6.6: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χαρακτηριστικά υφής κατά την κατανάλωση των δειγμάτων) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες. Η = 4% λιπαρά, L = 2% λιπαρά, 25 = 25% προβιοτικό γιαούρτι, 50 = προβιοτικό γιαούρτι, G = γκουάρ, A = αλγινικό νάτριο, C = CMC, H = ΗΡΜC, X = ξανθάνη, 2 = 0.2% υδροκολλοειδές και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

Οργανοληπτικό χαρακτηριστικό	Χρόνος αποθήκευσης	Είδος υδροκολλοειδούς	Ποσοστό υδροκολλοειδούς	Ποσοστό γιαουρτιού	Ποσοστό λιπαρών
ΧΡΩΜΑ	NS	+++	+	+++	NS
ΓΛΥΚΟ	NS	+	+	+++	NS
ΠΙΚΡΟ	NS	++	+	NS	NS
ΣΤΥΦΟ	+	+++	NS	+++	+
ΟΞΙΝΟ	+	++	NS	+	+
ΑΡΩΜΑ					
ΒΑΝΙΛΙΑΣ	NS	+++	NS	+++	+++
ΑΡΩΜΑ					
ΓΑΛΑΚΤΟΣ	NS	NS	+	++	+
ΣΚΛΗΡΟ (Κ)	+	+++	NS	+++	+
ΤΡΑΧΥ (Κ)	+	+++	++	+++	NS
ΕΥΘΡΥΠΤΟ	NS	+++	NS	NS	+
ΚΟΜΜΙΩΔΕΣ (Κ)	NS	+++	+	+	+
ΣΚΛΗΡΟ	+	+++	+	+++	NS
ΤΡΑΧΥ	+	+++	NS	++	NS
ΚΟΜΜΙΩΔΕΣ	NS	+++	+++	+++	++
ΥΔΑΡΕΣ	+	+++	+	++	+
ΚΡΕΜΩΔΕΣ	+	+++	++	+++	+
ΛΙΠΑΡΟ	NS	+++	+++	+++	+++

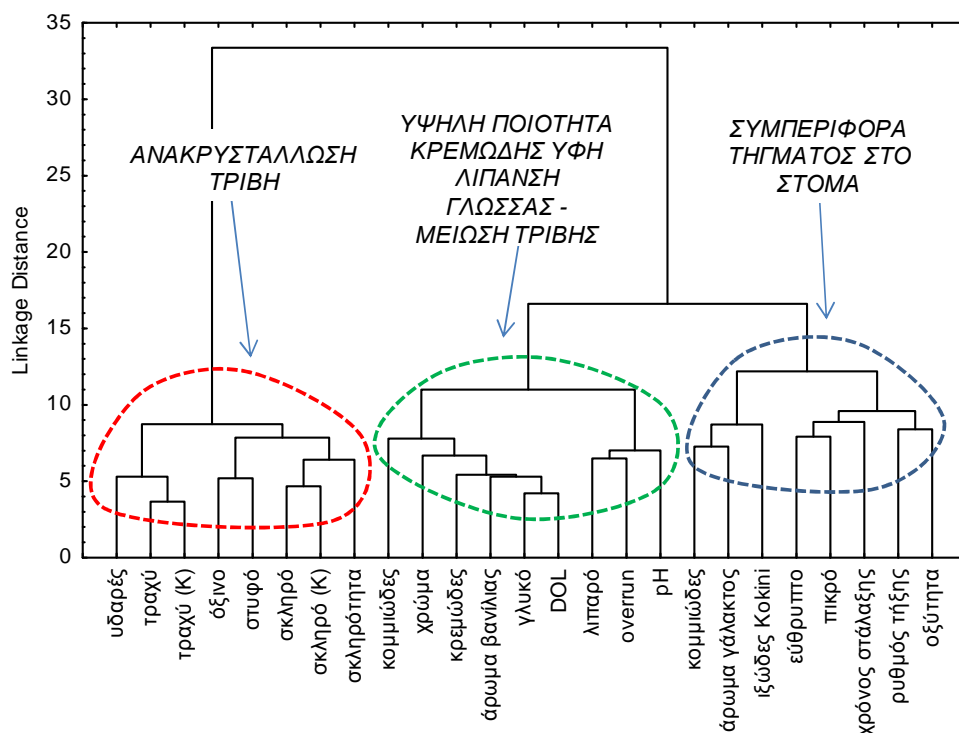
Πίνακας 6.6.7: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χαρακτηριστικά υφής κατά την κατανάλωση των δειγμάτων) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες. Η = 4% λιπαρά, L = 2% λιπαρά, 25 = 25% προβιοτικό γιαούρτι, 50 = προβιοτικό γιαούρτι, G = γκούαρ, A = αλγινικό νάτριο, C = CMC, H = HPMC, X = ξανθάνη, 2 = 0.2% υδροκολλοειδές και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές

Η περιεκτικότητα των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού σε γιαούρτι είναι επίσης μία βασική παράμετρος που επηρεάζει την υφή τους. Ειδικότερα, η αύξηση του ποσοστού γιαουρτιού οδηγεί σε σημαντική υποβάθμιση της κρεμώδους υφής, ενώ αυξάνει την τραχιά, σκληρή και υδαρή υφή των δειγμάτων. Η δράση αυτή μπορεί να αποδοθεί σε τρεις κύριους παράγοντες: α) η προσθήκη του γιαουρτιού συνεπάγεται την ενσωμάτωση πρωτεϊνικού πήγματος στο οποίο υπάρχει εγκλωβισμένη σημαντική ποσότητα νερού η οποία καταψύχεται αργά σε σχέση με το νερό της φάσης ορού στα τυπικά μίγματα παγωτού, β) η αύξηση του όξινου και στυφού αρώματος οδηγεί σε αντίστροφες επιπτώσεις στην αντιλαμβανόμενη υφή των δειγμάτων όπως ήδη αναφέρθηκε, και γ) το όξινο περιβάλλον των συστημάτων προβιοτικού παγωτού δρά αποσταθεροποιητικά στη λειτουργική (κρυσταλλοστατευτική) δράση των υδροκολλοειδών λόγω υδρολύσεων.

Τέλος, η αύξηση της περιεκτικότητας των λιπαρών των δειγμάτων συνέβαλε επίσης στη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής. Η βελτίωση της οργανοληπτικής ποιότητας του παγωτού, ως αποτέλεσμα της αύξησης του ποσοστού λίπους, έχει αναφερθεί σε πλήθος ερευνών (Roland et al., 1999a,b; Adapa et al., 2000; Abd-El-Rahman et al., 1997; Guinard et al., 1997). Η επίδραση αυτή αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση της λίπανσης της γλώσσας κατά τη διάρκεια της μάσησης και τη μείωση της τριβής, στην αποσταθεροποίηση των λιπαρών κατά την τήξη και αραίωση του παγωτού με σάλιο, στην ελεγχόμενη αποδέσμευση των άπολων αρωματικών ενώσεων, την αύξηση του ιξώδους κ.α. Γενικά, η αύξηση της περιεκτικότητας των ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος σε λιπαρά αυξάνει την αποδοχή τους από τους καταναλωτές (Guinard et al., 1994).

β) Διερεύνηση των συσχετίσεων οργανοληπτικών - αντικειμενικών ιδιοτήτων

Προκειμένου να αποκτηθεί μια σαφής άποψη για τον τρόπο με τον οποίο οι μετρηθείσες αντικειμενικές ιδιότητες σχετίζονται με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε ανάλυση ομαδοποίησης (Σχήμα 6.6.9).



Σχήμα 6.6.9: Ανάλυση ομαδοποίησης (cluster analysis) για το σύνολο των δειγμάτων παγωτού αποθευμένων στους -26 °C για 4 εβδομάδες, για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των αντικειμενικών μετρήσεων (μιγμάτων και παγωτού) και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

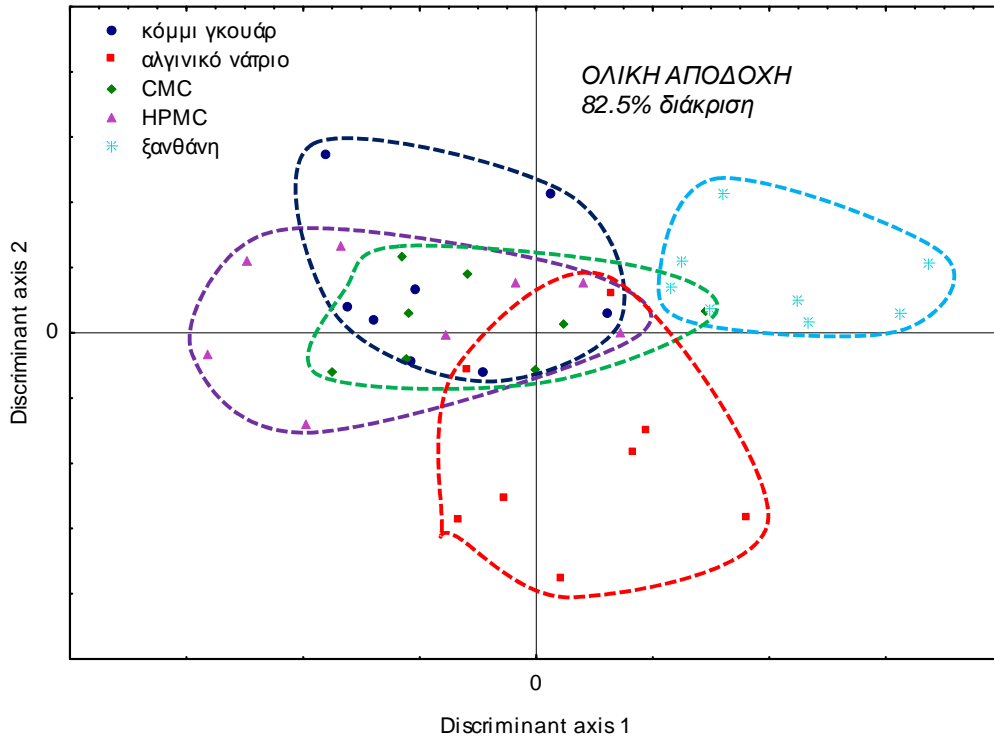
Σύμφωνα με το σχήμα, διακρίνονται τρεις κύριες ομάδες: α) ιδιότητες που περιγράφουν τα δείγματα υψηλής αποδοχής, β) ιδιότητες που σχετίζονται με την εμφάνιση φαινομένων ανακρυστάλλωσης, γ) ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τη δημιουργία υδαρούς τήγματος. Όσα αναφέρθηκαν στον τρόπο δράσης των παραγόντων σύστασης φαίνονται να επιβεβαιώνονται στην περίπτωση της ανάλυσης ομάδων: η κρεμώδης υφή είναι συνάρτηση του αρώματος βανίλιας, του όξινου και στυφού flavon, της τραχιάς και υδαρούς υψής. Από την άλλη, είναι ενδιαφέρουσα η συσχέτιση του ιξώδους με συγκεκριμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά όπως η κομμιώδης υφή, το αφρώδες, το άρωμα γάλακτος κ.α. Οι συσχετίσεις αυτές μπορούν να προσφέρουν μία χρήσιμη ανασκόπηση του τρόπου με τον οποίο οι ενόργανες μετρήσεις εκτιμούν την ποιότητα και δυνητικά την αποδοχή από τους καταναλωτές των ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδορπίων γάλακτος.

γ) Συσχετίσεις αντικειμενικών - οργανοληπτικών ιδιοτήτων με τα δείγματα παγωτού

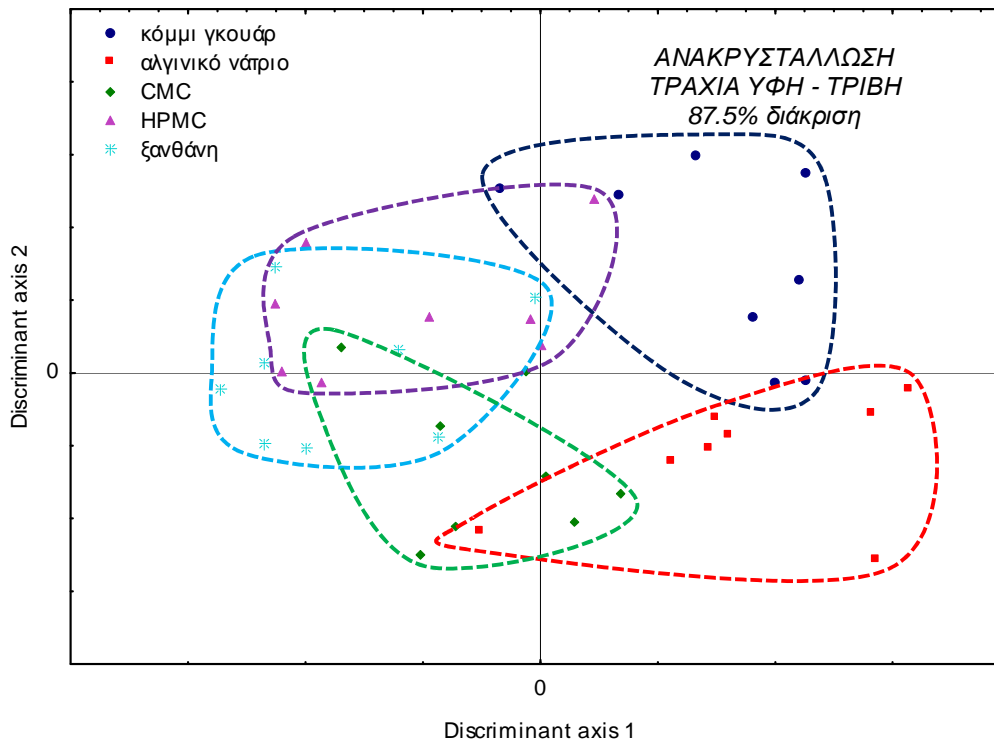
Προκειμένου να ομαδοποιηθούν τα δείγματα προβιοτικού παγωτού σύμφωνα με την κοινή τους συμπεριφορά αρχικά χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της παραγοντικής ΑΚΣ (Σχήμα 6.6.10). Όπως φαίνεται από το σχήμα, οι δύο πρώτοι κύριοι άξονες εξήγησαν μόνο το 44.43% ενώ για τους υπόλοιπους άξονες η συμμετοχή στο ποσοστό της δικαιολογίσιμης διακύμανσης ήταν πολύ χαμηλό (<9% για κάθε επιπλέον άξονα). Για το λόγο αυτό, από το σύνολο των ιδιοτήτων επιλέχθηκαν εκείνες που άμεσα ή έμμεσα συνδέονται με την αποτελεσματικότητα των παραγόντων σύστασης να ελέγχουν την εμφάνιση φαινομένων ανακρυστάλλωσης και την ποιοτική υποβάθμιση των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, και οι τυποποιημένες τιμές τους υποβλήθηκαν σε ανάλυση διάκρισης (Σχήματα 6.6.11, 6.6.12).

Η ανάλυση διάκρισης συνέβαλε στην επιτυχή ταξινόμηση του 82.5% των δειγμάτων αναφορικά με την επίδραση των υδροκολλοειδών στην ολική αποδοχή των δειγμάτων. Όπως φαίνεται, τα δείγματα ξανθάνης είναι τα μόνα τα οποία διαφοροποιούνται σε ποσοστό 100% από τα υπόλοιπα. Η ξανθάνη διαφοροποιήθηκε κατά 100% από τα υπόλοιπα υδροκολλοειδή.

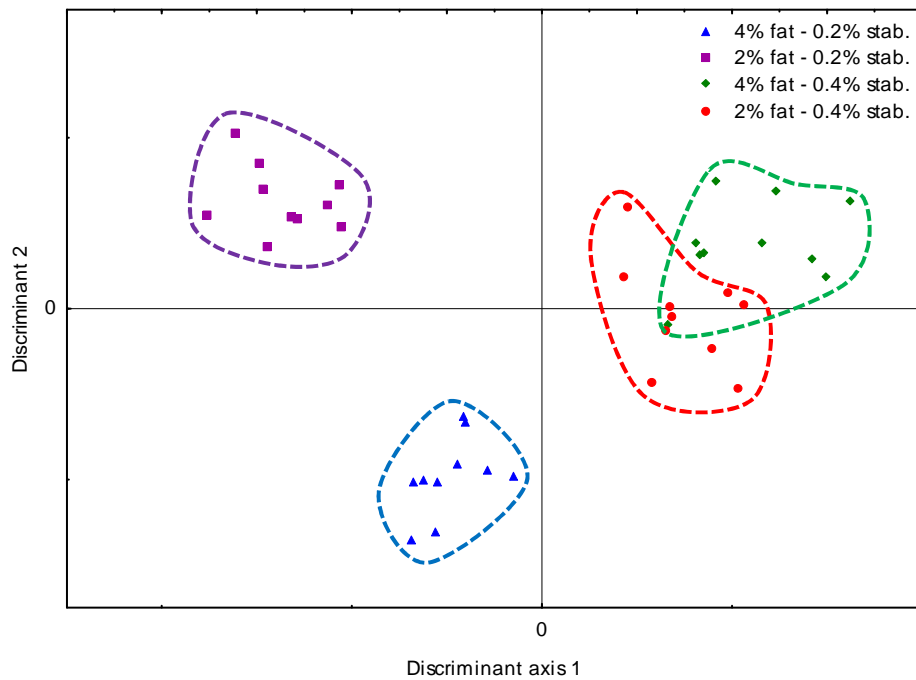
υποδεικνύει ότι ο συγκεκριμένος συνδυασμός σύστασης παρουσιάζει πολύ κοντινή κρουπροστατευτική δράση.



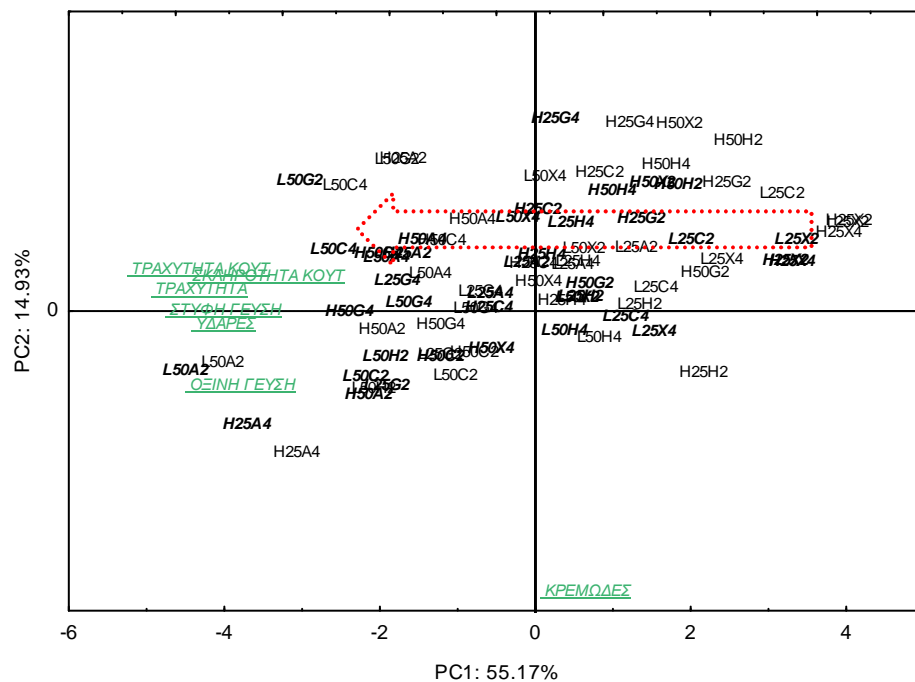
Σχήμα 6.6.11: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδροκολλοειδών ως προς την αποτελεσματικότητα βελτίωσης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων



Σχήμα 6.6.12: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδροκολλοειδών ως προς την αποτελεσματικότητα ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης των δειγμάτων



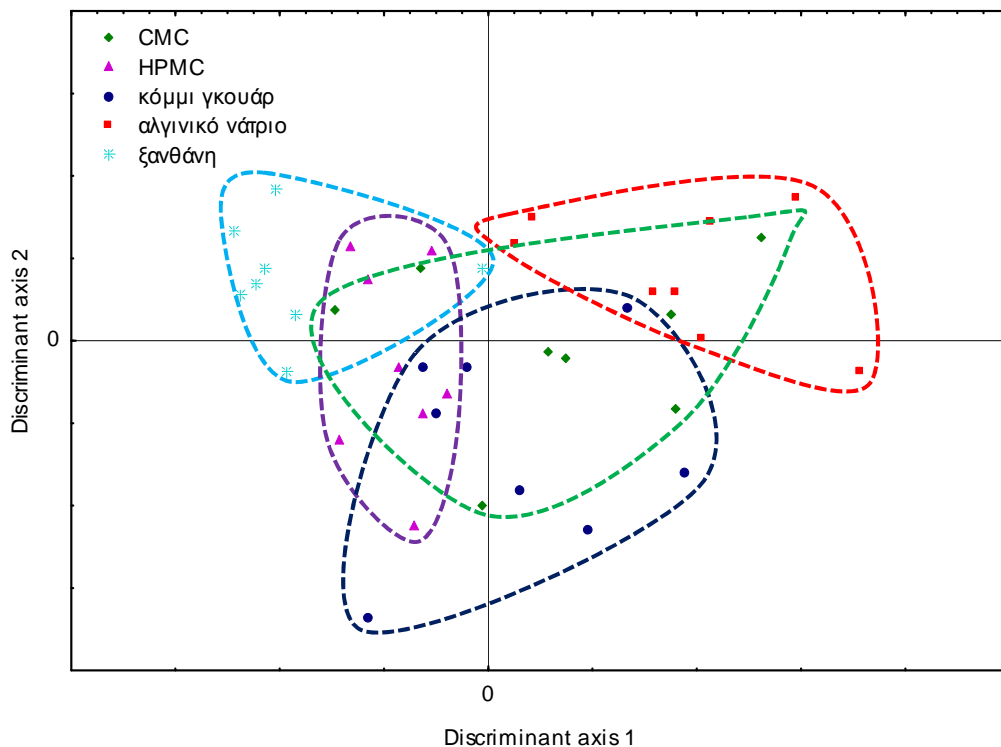
Σχήμα 6.6.13: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των πιθανών ομοιοτήτων της αναλογίας των λιπαρών και του ποσοστού προσθήκης υδροκολλοειδών ως προς την παρεχόμενη κρυσταλλοστατευτική δράση (95% επιτυχής διάκριση)



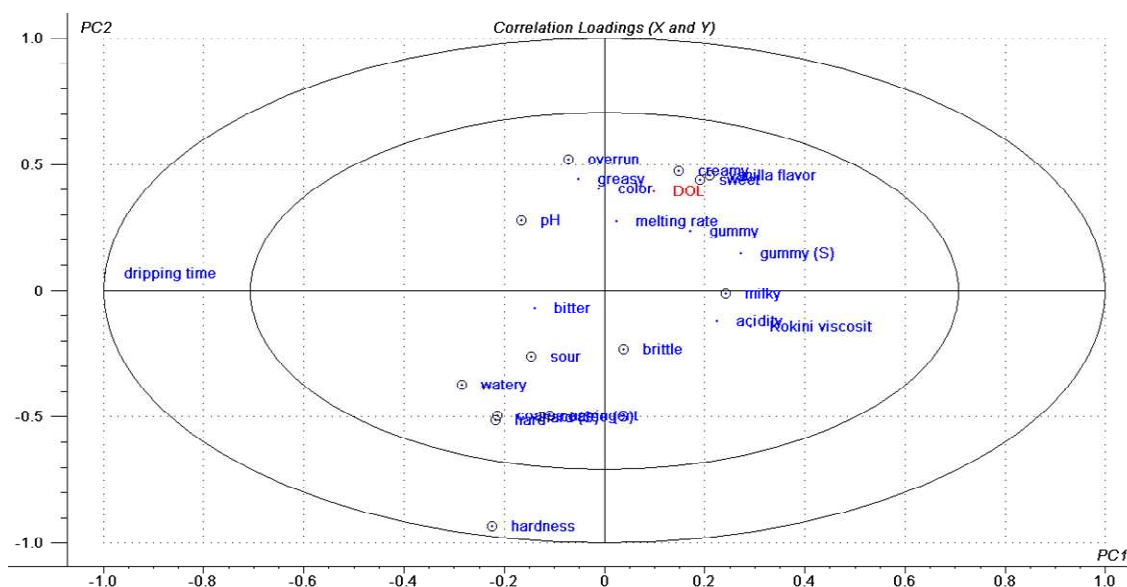
Σχήμα 6.6.14: Ανάλυση κυρίων συνιστωσών των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με την προσφερόμενη κρυσταλλοστατευτική δράση για τα δείγματα παγωτού αποθηκευμένα για 4 και 16 εβδομάδες

Τέλος, προκειμένου να εξεταστεί ο πιθανός διαχωρισμός των δειγμάτων παγωτού σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης, επιλέχθηκαν οι κυριότερες οργανοληπτικές ιδιότητες που σύμφωνα με την ANOVA επηρεάστηκαν από το χρόνο αποθήκευσης και σχετίζονται με την κρυσταλλοστατευτική δράση των παραγόντων σύστασης, και υποβλήθηκαν σε ΑΚΣ (Σχήμα

6.6.14). Οι δύο πρώτοι άξονες εξήγησαν το 70.2% της ολικής διακύμανσης (ενώ στους 3 πρώτους εξηγείτο το 90%), με τον άξονα 1 να σχετίζεται αρνητικά με τις ιδιότητες που υποδεικνύουν υποβάθμιση ποιότητας, και τον άξονα 2 να σχετίζεται αρνητικά με την κρεμώδη υφή. Ο χρόνος αποθήκευσης οδήγησε σε μία μετατόπιση του συνόλου των δειγμάτων προς τα αριστερά (όπως υποδηλώνει το κόκκινο βέλος) γεγονός που αποδεικνύει τη θερμοδυναμική αστάθεια των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.



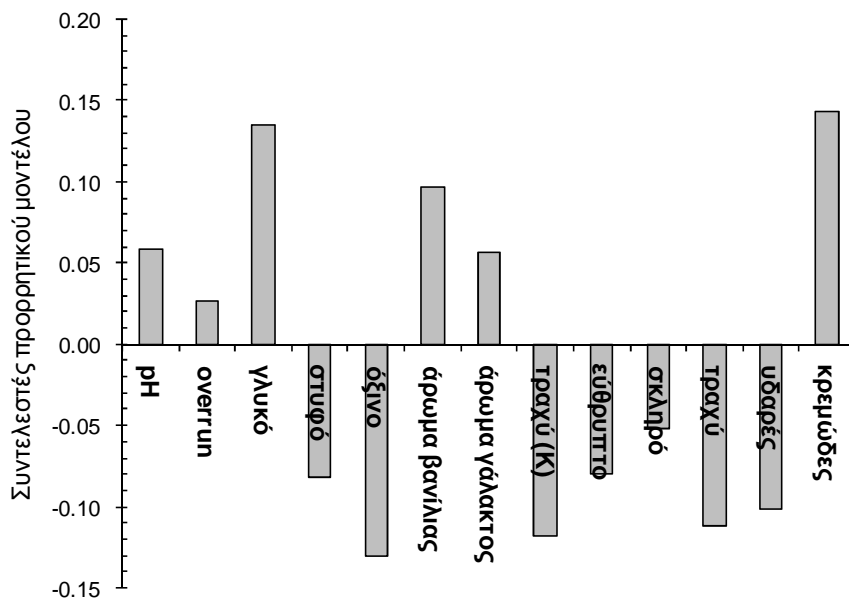
Σχήμα 6.6.15: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση της κρουπροστατευτικής δράσης των υδροκολλοειδών μετά απο 16 εβδομάδες αποθήκευσης



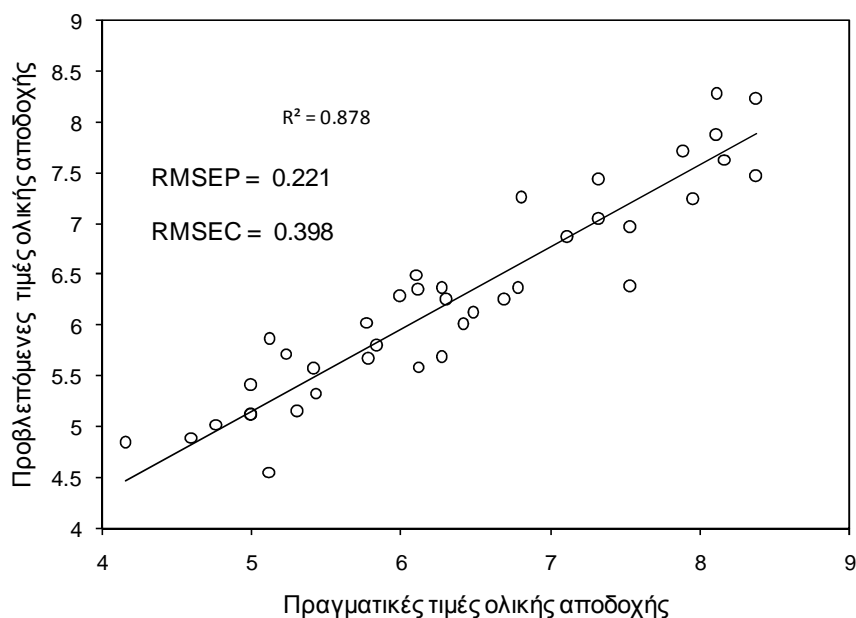
Σχήμα 6.6.16: Επιλογή των μεταβλητών (⊗) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens

6.6.7 Πρόρρηση ολικής αποδοχής

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πλήρους διασταυρωτικής επαλήθευσης (cross validation) ο βέλτιστος αριθμός των παραγόντων που απαιτείται για την πρόρρηση της ολικής αποδοχής είναι 4 παράγοντες ενώ για την κατασκευή του προρρητικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν 9 οργανοληπτικές μεταβλητές και 3 αντικειμενικές ιδιότητες (Σχήμα 6.6.16).



Σχήμα 6.6.17: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με διαφορετικά υδροκolloειδή (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)



Σχήμα 6.6.18: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR

Οι συνολικά 12 μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου εξηγούν το 78% της ολικής διακύμανσης στους 2 πρώτους άξονες (PC1 - PC2) και το 87% της ολικής διακύμανσης της μεταβλητής Y (ολική αποδοχή - DOL). Το μοντέλο εμφανίζει ικανοποιητική προρρητική ικανότητα ($R^2 = 0.878$, $RMSEP = 0.22$, $RMSEC = 0.38$) και μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό ζυμωμένων επιδορπίων γάλακτος με διαφορετικά είδη σταθεροποιητών. Λόγω των διαφορετικών λειτουργικών χαρακτηριστικών των υδροκολλοειδών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, ξεχωριστά μοντέλα για το κάθε είδος υδροκολλοειδούς ή και κοινά μοντέλα για τα υδροκολλοειδή με υψηλή συνάφεια ως προς τη λειτουργικότητά τους π.χ. CMC και HPMC. Τέτοια μοντέλα βασισμένα αποκλειστικά σε οργανοληπτικά χαρακτηριστικά έχουν επιτυχώς κατασκευαστεί ([Soukoulis et al., 2009](#)).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κολλοειδής δομή του παγωτού και η θερμοδυναμική αστάθεια των δομικών του στοιχείων (φουσαλίδες αέρα, παγοκρύσταλλοι) καθιστούν απαραίτητο τον έλεγχο των συνθηκών της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά και τον προσεκτικό σχεδιασμό της σύστασής του. Η χρήση υλικών που έχουν την ικανότητα ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης είναι απαραίτητη για την αύξηση της ολικής ποιότητας των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Η ικανότητα ενός υλικού να ελέγχει τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης μπορεί να συνδέεται με διαφορετικούς μηχανισμούς που αφορούν τις επιδράσεις στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων, τα φαινόμενα διάχυσης υγρασίας από την υδατική (μη κρυσταλλωμένη) φάση στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων, τη μοριακή κινητικότητα του νερού, το σχηματισμό πολυσακχαριτικών πλεγμάτων και πηγμάτων στην υδατική φάση, τη δημιουργία κρυστοπηγμάτων, τη δημιουργία στερεοχημικών φραγμών λόγω της ασυμβατότητας των βιοπολυμερών κ.α. Ωστόσο, η κρυστοπροστατευτική δράση, αν και είναι πρωτεύουσας σημασίας για την ποιότητα των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος, δεν είναι η μοναδική λειτουργική ιδιότητα που θα πρέπει να χαρακτηρίζει ένα συστατικό του μίγματος παγωτού. Ανάλογα με τη χημική τους φύση, τα συστατικά των μιγμάτων παγωτού θα πρέπει να είναι ικανά να αυξάνουν το ιξώδες και να σταθεροποιούν τα μίγματα (γαλακτώματα) παγωτού, να διευκολύνουν τη διεργασία απόδρασης επιτρέποντας την ευχερή ενσωμάτωση αέρα, να βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά τήξης και διατήρησης του σχήματος των κατεψυγμένων προϊόντων, και ασφαλώς να βελτιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους τα οποία αποτελούν ίσως το σημαντικότερο παράγοντα αποδοχής τους από τον καταναλωτή.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή ένας σημαντικός αριθμός από υλικά υδατανθρακικής προέλευσης εξετάστηκαν ως προς την κρυστοπροστατευτική τους δράση, αλλά και την επίδρασή τους σε μία σειρά από λειτουργικά (ρεολογία, ενσωμάτωση αέρα, συμπεριφορά τήξης, αντικειμενική σκληρότητα) και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Παράγοντες όπως το μοριακό βάρος, η ικανότητα συγκράτησης και δέσμευσης υγρασίας, ο βαθμός διακλάδωσης και πολυμερισμού, το ισοδύναμο δεξτρόζης, η συνεργιστική δράση ή η θερμοδυναμική ασυμβατότητα με άλλα βιοπολυμερή, η γλυκαντική ισχύς, η διατροφική αξία, η φυσιολογική δράση, η σταθερότητα σε όξινες συνθήκες, αλλά και ο ρόλος τους στους μηχανισμούς που εμπλέκονται κατά τη διάρκεια της οργανοληπτικής αποτίμησης των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος από τους καταναλωτές, αποτέλεσαν τη βάση για την επιλογή των συγκεκριμένων υλικών. Επιπλέον, η επικουρική συμβολή των εργαλείων πολυμεταβλητής ανάλυσης προσδιορίστηκε ως πολύ σημαντική για την κατανόηση των διαφοροποιήσεων των υδατανθρακικών υλικών ως προς τη λειτουργικότητά τους και την αποτελεσματικότητά τους κατά τη διάρκεια αποθήκευσης των δειγμάτων παγωτού. Τέλος, η εφαρμογή της πολυμεταβλητής μεθόδου παλινδρόμησης PLSR για την πρόρρηση της ολικής αποδοχής των προϊόντων από τους καταναλωτές, χρησιμοποιώντας έναν περιορισμένο αριθμό από αντικειμενικές μετρήσεις, κρίθηκε ως πολύ χρήσιμη για την κατανόηση των συγκεκριμένων συστημάτων.

Η χρήση αλγινικού νατρίου ως κύριο σταθεροποιητικό μέσο των μιγμάτων παγωτού οδήγησε στις υψηλότερες τιμές ιξώδους, συντελεστή συνεκτικότητας και θιξοτροπίας καθώς και στη μεγαλύτερη απόκλιση από τη νευτωνική συμπεριφορά, σε αντίθεση με τα δείγματα που περιείχαν CMC ή κόμμι γκουάρ. Η ξανθάνη επίσης προσδιορίστηκε ως ένα ικανοποιητικό υλικό ενίσχυσης των ρεολογικών χαρακτηριστικών των μιγμάτων. Η ικανότητα πάχυνσης των υδροκολλοειδών ενισχύθηκε κατά την προσθήκη κ-καραγενάνης λόγω της ικανότητας της να συνεργάζεται με τα υπόλοιπα υδροκολλοειδή, αυξάνοντας της συγκέντρωση της υδατικής φάσης (πάνω από την κρίσιμη c^*) και να αλληλεπιδρά με τις πρωτεΐνες γάλακτος. Το αυξημένο ιξώδες των μιγμάτων παγωτού βρέθηκε να σχετίζεται με την αυξημένη ικανότητα απόδρασης

των μιγμάτων παγωτού, ως αποτέλεσμα του αυξημένου, λόγω της επιβαλλόμενης διατμητικής τάσης ποσοστού αποσταθεροποίησης, αλλά και λόγω της σταθεροποίησης των φυσαλίδων αέρα στο πολυσακχαρικό πλέγμα. Αν και η προσθήκη των υδροκολλοειδών βρέθηκε ότι επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες που σχετίζονται με την κρυσταλλοποίηση (τραχύτητα, ρυθμός τήξης, αίσθηση παγωμένου, κρεμώδης υφή, υδαρότητα), ωστόσο η επιδράσή τους στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων δεν προσδιορίστηκε σημαντική, εκτός από την περίπτωση της κ-καραγενάνης. Η προσθήκη του αλγινικού νατρίου συνέβαλε στη μεγαλύτερη αντοχή των δειγμάτων παγωτού έναντι του θερμικού σοκ καθώς και στον αποτελεσματικότερο έλεγχο της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων. Το αλγινικό νάτριο, και σε μικρότερο βαθμό η ξανθάνη και το ΗΡΜC βελτίωσαν το σύνολο των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους για 16 εβδομάδες. Η ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού βρέθηκε να επηρεάζεται θετικά από τα χαρακτηριστικά γεύσης - αρώματος, την κρεμώδη και λιπαρή υφή και αρνητικά από την τραχύτητα και την υδαρότητα. Η χρήση του αλγινικού νατρίου και της ξανθάνης σε ποσοστό 0.2% και η προσθήκη της κ-καραγενάνης επηρέασαν τον τρόπο αποδέσμευσης του αρώματος, γεγονός που υποδεικνύει ότι το πολυσακχαρικό πλέγμα αποτελεί παράγοντα ελέγχου των χαρακτηριστικών γεύσης και αρώματος στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τις συσχετίσεις της ολικής αποδοχής των δειγμάτων με τις οργανοληπτικές και αντικειμενικές ιδιότητες, έγινε σαφές ότι τα δομικά χαρακτηριστικά, αλλά και φαινόμενα όπως η ρεολογική συμπεριφορά του τήγματος, η επικάλυψη της γλώσσας από αποσταθεροποιημένο λίπος, ο εγκλωβισμός των αρωματικών παραγόντων στα υπάρχοντα πολυσακχαρικά - πρωτεϊνικά πλέγματα είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τον τρόπο αποτίμησης της ολικής ποιότητας των συγκεκριμένων προϊόντων.

Η λειτουργικότητα των υδροκολλοειδών στην περίπτωση του προβιοτικού παγωτού εμφανίστηκε σαφώς διαφοροποιημένη. Οι όξινες συνθήκες του συγκεκριμένου προϊόντος επηρέασε σε σημαντικό βαθμό τη λειτουργικότητα των υδροκολλοειδών. Το αλγινικό νάτριο, λόγω της υψηλής του αστάθειας στις χαμηλές τιμές pH προσδιορίστηκε ως ανεπαρκές υλικό σταθεροποίησης των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού και ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης, ακόμη και μετά από τις 4 εβδομάδες αποθήκευσης. Αντίθετα, η ξανθάνη και το ΗΡΜC συνέβαλαν στην αποτελεσματική ενίσχυση των ρεολογικών παραμέτρων και την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού. Επιπλέον, τα συγκεκριμένα υδροκολλοειδή βελτίωσαν την αντοχή των δειγμάτων στο θερμικό σοκ και περιόρισαν τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης. Ωστόσο, η λειτουργικότητα των υδροκολλοειδών φάνηκε να επηρεάζεται και από τις επιδράσεις του ποσοστού προσθήκης τους, από την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε λιπαρά γάλακτος και προβιοτικό γιαούρτι, καθώς και από το χρόνο αποθήκευσης των προϊόντων. Ο τρόπος αποτίμησης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με διαφορετικά υδροκολλοειδή βρέθηκε να είναι πιο σύνθετος σε σχέση με εκείνο του παγωτού. Αυτό οφείλεται, αφενός στην πιο σύνθετη δομή των συγκεκριμένων δειγμάτων και αφετέρου στην καθοριστική συμμετοχή του μεγάλου αριθμού των αρωματικών παραγόντων στην εκτίμηση της ολικής ποιότητας. Έτσι η ολική αποδοχή των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού βρέθηκε ότι προσδιορίζεται από τρεις βασικούς μηχανισμούς: *α) κρεμώδης υφή - ιξώδες και ρεολογική συμπεριφορά στο στόμα - αποσταθεροποίηση λιπαρών και κάλυψη της γλώσσας από μερικώς συσσωματωμένα λιποσφαίρια, β) τραχιά υφή - αύξηση της τριβής λόγω της απελευθέρωσης των αρωματικών παραγόντων που σχετίζονται με αυξημένη υφή - υδαρότητα και υποβάθμιση του αρώματος βανίλιας, γ) συσχέτιση αφρώδους δομής με το άρωμα γάλακτος.* Οι παρατηρήσεις αυτές είναι πολύ σημαντικές για την κατανόηση σύνθετων συστημάτων όπως τα ζυμωμένα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος

Η χρήση των πολυολών συνέβαλε στη βελτίωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών των μιγμάτων και την ικανότητα απόδρασή τους. Ωστόσο, εκτός από την περίπτωση της

μαλιτόλης η οποία εμφάνισε παρόμοια συμπεριφορά με τη σακχαρόζη, οι υπόλοιπες πολυόλες οδήγησαν σε σημαντική ταπείνωση της θερμοκρασίας του σημείου πήξης των μιγμάτων παγωτού (έως και 2.5°C), καθώς και σε μείωση της θερμοκρασίας του σημείου υαλώδους μετάπτωσης (έως και 3°C). Η επίδραση αυτή οδήγησε σε δείγματα παγωτού με μειωμένη αντικειμενική σκληρότητα, (γεγονός που σημαίνει ότι μπορούν να τεμαχίζονται εύκολα στη χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης), αλλά ταυτόχρονα με αυξημένη θερμοδυναμική αστάθεια και υψηλή ευπάθεια στην τήξη. Έτσι τα δείγματα με πολυόλες χαρακτηρίζονται από σύντομους χρόνους στάλαξης (έως και 42% στην περίπτωση της ξυλιτόλης) και υψηλούς ρυθμούς τήξης (έως και 50% στην περίπτωση της ξυλιτόλης). Επιπλέον, τα δείγματα με πολυόλες ήταν τα πιο ευπαθή στην ανακρυστάλλωση και παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, ανεξάρτητα από το χρόνο αποθήκευσης σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης διάκρισης).

Οι δισακχαρίτες της ομάδας της σακχαρόζης, αν και δεν διαφοροποιήθηκαν ιδιαίτερα ως προς την επίδρασή τους στα ρεολογικά χαρακτηριστικά (η προσθήκη της τρεχαλόζης επέφερε μείωση του ιξώδους) και τα χαρακτηριστικά απόδρασης, εντούτοις επέδρασαν θετικά στα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων παγωτού. Η μαλτόζη οδήγησε σε ανύψωση του σημείου πήξης κατά 0.11°C, ενώ η προσθήκη της τρεχαλόζης οδήγησε σε πιο αξιόλογη ανύψωση του σημείου πήξης κατά 0.31°C. Παρόμοια επίδραση παρατηρήθηκε και σε ότι αφορά τις θερμοκρασίες του σημείου υαλώδους μετάπτωσης όπου η τρεχαλόζη επέφερε αύξηση του T_g κατά 0.7°C. Τα δείγματα με μαλτόζη και τρεχαλόζη παρουσίασαν υψηλότερη αντικειμενική σκληρότητα, αλλά και βελτιωμένα χαρακτηριστικά τήξης. Η τρεχαλόζη βελτίωσε τα χαρακτηριστικά υψής των δειγμάτων παγωτού, ενίσχυσε το άρωμα βανίλιας και την ένταση της γλυκύτητας, ενώ αύξησε και τη σταθερότητα των δειγμάτων παγωτού.

Η χρήση μεγαλομοριακών γλυκαντικών υλών, αποδείχθηκε ως ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την παροχή κρυσταλλοστασίας και τη βελτίωση των λειτουργικών ιδιοτήτων στα συστήματα παγωτού. Η προσθήκη της μαλτοδεξτρίνης 12DE και της ινουλίνης οδήγησε στη μεγαλύτερη αύξηση του ιξώδους των μιγμάτων, καθώς και σε βελτιωμένη ικανότητα απόδρασης σε σχέση με τα δείγματα παγωτού που περιείχαν σακχαρόζη. Η χρήση της Nutriose® δεν συνέβαλε στην ικανοποιητική απόδραση των δειγμάτων παγωτού, ενώ η χρήση της ολιγοφρουκτόζης οδήγησε στις υψηλότερες τιμές overrun. Η επίδραση των μεγαλομοριακών γλυκαντικών υλών ήταν πολύ σημαντική στην περίπτωση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων. Το σύνολο των συστατικών που χρησιμοποιήθηκαν επέφερε σημαντική ανύψωση της θερμοκρασίας των σημείων πήξης και υαλώδους μετάπτωσης, με τις μαλτοδεξτρίνες, την ινουλίνη και το αμυλοσιρόπιο 22DE να επιτυγχάνουν τη μεγαλύτερη ανύψωση στις τιμές των T_f και T_g κατά 0.5 - 1.2°C, και 4.1 - 5.2°C αντίστοιχα. Η δράση αυτή των μεγαλομοριακών ενώσεων συνοδεύτηκε με αύξηση της αντικειμενικής σκληρότητας (έως και 238% στην περίπτωση της ολιγοφρουκτόζης) και με σημαντική μείωση του ρυθμού τήξης των δειγμάτων (έως και 75% στην περίπτωση της μαλτοδεξτρίνης 12DE). Η οργανοληπτική ποιότητα των δειγμάτων παγωτού διατηρήθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό σταθερή, ενώ η προσθήκη της ινουλίνης αν και ευνόησε τα χαρακτηριστικά υψής, εντούτοις μείωσε σημαντικά την γλυκύτητα των δειγμάτων.

Εξετάζοντας τον τρόπο εκτίμησης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με γλυκαντικές ύλες διαπιστώθηκαν δύο κυρίες επιδράσεις: α) την αύξηση της γλυκαντικής ισχύος με ταυτόχρονη υποβάθμιση των χαρακτηριστικών υψής και τήξης, και β) την ελάττωση της γλυκαντικής ισχύος και την επικάλυψη του αρώματος με ταυτόχρονη βελτίωση της κρεμώδους υψής και μείωση της τραχύτητας και της υδαρότητας. Οι επιδράσεις αυτές σχετίστηκαν με τις διαφοροποιήσεις των γλυκαντικών υλών ως προς τη γλυκαντική τους ισχύ, και τη μοριακή δομή (μοριακό βάρος, DE, DP, και βαθμός διακλάδωσης). Η χρήση της μεθόδου PLSR ήταν ικανή για την κατασκευή ενός γενικού μοντέλου πρόρρησης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού. Ωστόσο, η κατασκευή χωριστών μοντέλων που βασίζονται στις

επιμέρους λειτουργικές δράσεις των γλυκαντικών υλών προσδιορίστηκε ως ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την αύξηση της ικανότητας πρόρρησης των γραμμικών μοντέλων με βάση τις αντικειμενικές και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Επιλεγμένα είδη ολιγοσακχαριτών (μαλτοδεξτρίνη 12 DE, ινουλίνη και ολιγοφρουκτόζη) χρησιμοποιήθηκαν σε συστήματα προβιοτικού παγωτού. Η κρουπροστατευτική τους ικανότητα ήταν παρόμοια με αυτή που παρατηρήθηκε στα τυπικά δείγματα (μη οξινοσμένα) παγωτού. Η προσθήκη της μαλτοδεξτρίνης 12DE η οποία χαρακτηρίζεται από τον υψηλότερο βαθμό πολυμερισμού και διακλάδωσης, αύξησε σημαντικά τα ιξώδη των μιγμάτων παγωτού και βελτίωσε τα χαρακτηριστικά τήξης τους. Η αύξηση του ποσοστού προβιοτικού γιαουρτιού στα δείγματα παγωτού, επέφερε σημαντική μείωση της οργανοληπτικής ποιότητας λόγω της μείωσης της γλυκιάς γεύσης και της ανάπτυξης όξινου και στυφού αρώματος, αλλά και εξαιτίας της ανάπτυξης τραχιάς, εύθρυπτης και υδαρούς υφής. Η αύξηση των ολικών στερεών λιπαρών γάλακτος συνέβαλε στον περιορισμό της τριβής κατά τη διάρκεια της μάζησης, βελτίωσε την κρεμώδη υφή και τον τρόπο απελευθέρωσης του αρώματος.

Η χρήση εναλλακτικών πηγών σακχάρων (μελάσσα, σταφιδίνη και συμπύκνωμα γλεύκους) στην παρασκευή παγωτού, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού αυξάνει τη διατροφική και ελαττώνει τη θερμιδική του αξία, ενώ παράλληλα βελτιώνει πολλά λειτουργικά του χαρακτηριστικά. Η προσθήκη των εναλλακτικών σακχάρων οδήγησε σε σημαντική αύξηση του ιξώδους και της θιξοτροπικής συμπεριφοράς των μιγμάτων. Η χρήση του συμπυκνώματος γλεύκους επέφερε τις πιο έντονες μεταβολές στο ιξώδες (έως και 400%), τη θιξοτροπική (έως και 324%) και την ψευδοπλαστική συμπεριφορά (έως και 112%). Η ικανότητα απόδρασης των μιγμάτων παγωτού βελτιώθηκε σημαντικά με την προσθήκη των εναλλακτικών πηγών σακχάρων, ως αποτέλεσμα του αυξημένου ιξώδους τους.

Η προσθήκη των εναλλακτικών πηγών σακχάρων οδήγησε σε ήπια κρουπροστατευτική δράση, όταν αυτά προστέθηκαν σε ποσοστό 30%. Η επίδραση στις θερμοφυσικές ιδιότητες ήταν περισσότερο έντονες στην περίπτωση του συμπυκνώματος γλεύκους. Η υψηλή περιεκτικότητα των συγκεκριμένων υλικών σε ολιγοσακχαρίτες φαίνεται να αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που οδήγησε στην ανύψωση της τιμής των T_f και T_g .

Τα χαρακτηριστικά τήξης και η αντικειμενική σκληρότητα μεταβλήθηκαν κατά τρόπο ανάλογο με τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων. Η σκληρότητα και οι χρόνοι στάλαξης αυξήθηκαν, ενώ ο ρυθμός τήξης των δειγμάτων ελαττώθηκε. Η μελάσσα προσδιορίστηκε ως το πιο αποτελεσματικό συστατικό ελέγχου του ρυθμού τήξης.

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού επηρεάστηκαν καθοριστικά από το είδος και την αναλογία των εναλλακτικών πηγών σακχάρων. Τα δείγματα με σταφιδίνη και συμπύκνωμα γλεύκους βελτίωσαν σημαντικά τα χαρακτηριστικά υφής (κρεμώδης, λιπαρή, κομμώδης υφή), ενώ ενίσχυσαν το άρωμα σοκολάτας των δειγμάτων. Η χρήση της μελάσσας δεν συνέβαλε στον περιορισμό της τραχιάς, εύθρυπτης και υδαρούς υφής, ενώ η αύξηση της περιεκτικότητάς της στα δείγματα παγωτού επέφερε και αύξηση της όξινης γεύσης τους η οποία επικάλυψε τη γλυκιά γεύση και το άρωμα σοκολάτας.

Ο τρόπος με τον οποίο τα εναλλακτικά σάκχαρα επηρέασαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά γεύσης απέδειξε μεγαλύτερη συγγένεια μεταξύ του συμπυκνώματος γλεύκους και της σταφιδίνης, ενώ οι μηχανισμοί που εμπλέκονται κατά την οργανοληπτική αποτίμηση της ποιότητας των δειγμάτων παγωτού σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης PLSR βρέθηκε ότι βασίζονται: α) στις θερμοφυσικές ιδιότητες των δειγμάτων (αρχικό μέγεθος και θερμοδυναμική σταθερότητα των παγοκρύσταλλων, β) στη συμπεριφορά τους κατά την τήξη, η οποία συνδέεται και με τον τρόπο απελευθέρωσης των αρωματικών χαρακτηριστικών, γ) στην αναπτυσσόμενη τριβή κατά τη διάρκεια της μάζησης και στο βαθμό λίπανσης της γλώσσας.

Ο εμπλουτισμός των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση της διατροφικής τους αξίας και την ενίσχυση της φυσιολογικής τους δράσης. Επιπλέον, η προσθήκη διαιτητικών ινών στα συστήματα παγωτού αποδείχθηκε ότι μπορεί να

επιφέρει σημαντική κρυσταλλοποιητική δράση. Η προσθήκη των διαλυτών διαιτητικών ινών π.χ. ινουλίνη επέφερε τη μεγαλύτερη ανύψωση της θερμοκρασίας των σημείων πήξης και υαλώδους μετάπτωσης. Οι ίνες σιταριού και βρώμης χαρακτηρίστηκαν από ήπια κρυσταλλοποιητική δράση τόσο στα υδατικά συστήματα σακχαρόζης και παγωτού, ενώ οι ίνες μήλου παρουσίασαν σημαντική κρυσταλλοποιητική δράση κυρίως στα μίγματα παγωτού. Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης DSC διαπιστώθηκε ότι οι διαλυτές ίνες επιδρούν στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού μέσω της συμμετοχής στο περιεχόμενο της φάσης ορού σε διαλυμένα συστατικά, ενώ οι αδιάλυτες ίνες μέσω της ικανότητά τους να συγκρατούν υγρασία και να συμπυκνώνουν τη φάση ορού καθώς και μέσω της ικανότητάς τους να σχηματίζουν πλέγματα ημικυτταρινικής και κυτταρινικής προέλευσης. Στην περίπτωση των ινών μήλου η παρουσία των πρωτεϊνών αποδείχθηκε σημαντικός παράγοντας μεταβολής των θερμοφυσικών ιδιοτήτων, γεγονός που υποδεικνύει ότι η κρυσταλλοποιητική δράση τους συνδέεται με το φαινόμενο του διαχωρισμού φάσεων λόγω της ασυμβατότητας των πηκτινών (που περιέχονται σε σημαντικό ποσοστό στις ίνες μήλου) με τις πρωτεΐνες.

Επιπλέον, ο εμπλουτισμός των συστημάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες βρέθηκε ότι συμβάλλει στον αποτελεσματικό έλεγχο των χαρακτηριστικών τήξης. Οι ίνες σιταριού και βρώμης αύξησαν έως και 192% το χρόνο που απαιτείται για τη στάλαξη των δειγμάτων παγωτού, ενώ σημαντική ήταν και η επίδραση των ινών μήλου και ινουλίνης. Η μεγαλύτερη μείωση του ρυθμού τήξης εμφανίστηκε στην περίπτωση της ινουλίνης και των ινών βρώμης (έως και 30%).

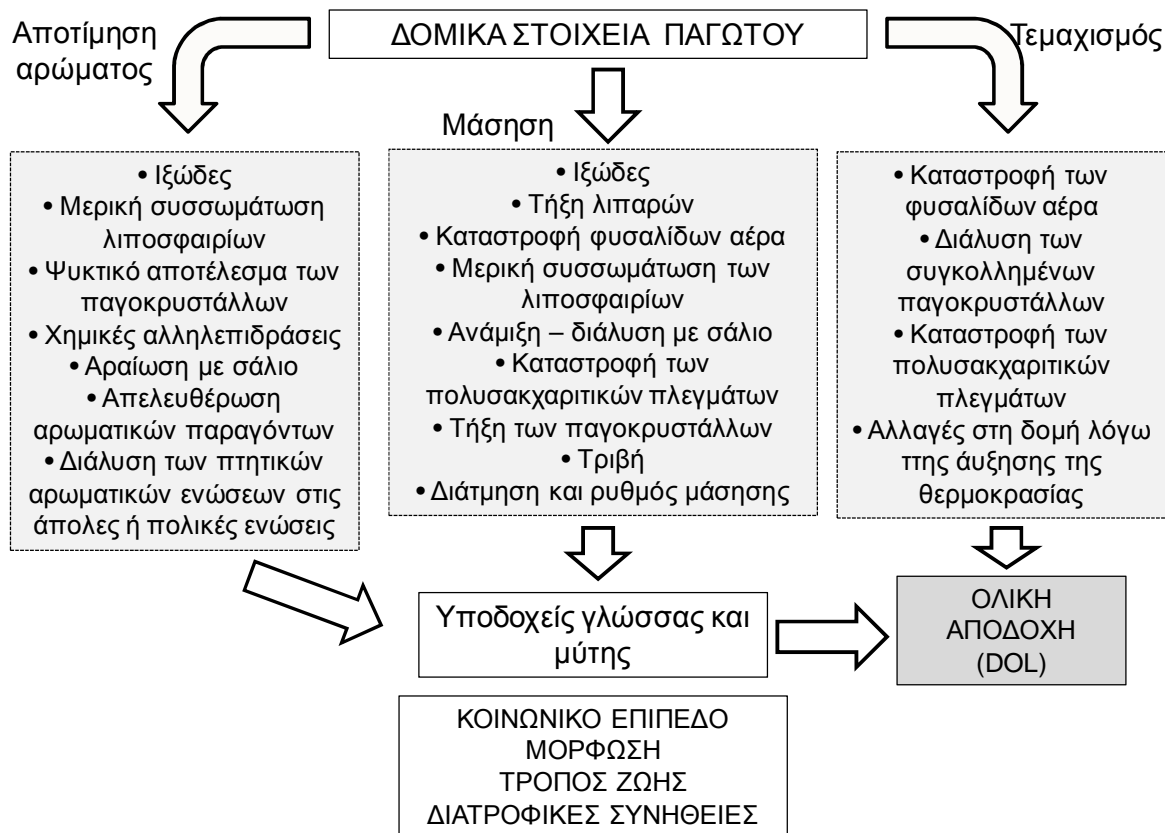
Η χρήση διαλυτών ινών βελτίωσε σημαντικά τα χαρακτηριστικά υψής των δειγμάτων παγωτού (κρεμώδης και λιπαρή υφή, περιορισμένη τραχιά και υδαρής υφή), ενώ η χρήση των αδιάλυτων διαιτητικών ινών (ίνες βρώμης και σιταριού) ενίσχυσαν σημαντικά το άρωμα των δειγμάτων παγωτού. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης PLSR απέδειξαν ότι παράγοντες όπως η επίδραση στις θερμοφυσικές ιδιότητες, η διαλυτότητα και η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, η κοκκομετρία, αλλά και ο τρόπος επίδρασης των ινών στην απελευθέρωση του αρώματος, αποτελούν τις βασικότερες παραμέτρους που επηρεάζουν την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες.

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής, αντικείμενα με ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα είναι τα ακόλουθα:

- *Μελέτη των επιμέρους μηχανισμών που εμπλέκονται στην αποτίμηση της ολικής αποδοχής των κατεψυγμένων προϊόντων γάλακτος.* Δεδομένου ότι η ολική αποδοχή των καταναλωτών γίνεται αντιληπτή μέσω ενός συνόλου από διαφορετικής φύσης μηχανισμούς (Σχήμα 7.1), η διερεύνηση των μηχανισμών που εμπλέκονται κατά τη διάρκεια της αποτίμησης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το σχεδιασμό καινοτομικών προϊόντων. Έτσι η χρήση τεχνικών όπως η GC-MS, GC-PTR, GC-OLF κ.α. μπορεί να ποσοτικοποιήσει την απελευθέρωση του αρώματος ανάλογα με τη σύσταση των δειγμάτων, αλλά και σε σχέση με τις συνθήκες αποθήκευσης. Η χρήση τεχνικών όπως οι light scattering, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων στο στομα ως συνάρτηση των συνθηκών μάσησης και της σύστασης των δειγμάτων. Η προσομείωση της μάσησης (κινήσεις γλώσσας, ρυθμός διάτμησης, ανάμιξη με τεχνητό σάλιο, προσθήκη α-αμυλάσης) μπορεί να δώσει επίσης πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο τα δομικά - κολλοειδή συστατικά του παγωτού αποδομούνται στο στόμα, και τον τρόπο συσχέτισής τους με την αποτιμώμενη κρεμώδη υφή ή την τριβή.
- *Μελέτη της αλληλοσύνδεσης μεταξύ της ολικής αποδοχής και του κοινωνικού - διατροφικού προφίλ των καταναλωτών.* Η ενσωμάτωση υλικών με συγκεκριμένα διατροφικά χαρακτηριστικά είναι αναμφίβολα μία πρόκληση της σύγχρονης

Βιομηχανίας παγωτού, αλλά παράλληλα και ένας δύσκολος στόχος, δεδομένου ότι η αποδοχή των προϊόντων παγωτού επηρεάζεται από τον τρόπο ζωής και το κοινωνικό status του καταναλωτή.



Σχήμα 7.1: Απεικόνιση των μηχανισμών που καθορίζουν την αποδοχή των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος από τους καταναλωτές

- *Μελέτη των χαρακτηριστικών μικροδομής στα λειτουργικά συστήματα παγωτού.* Η προσθήκη προβιοτικών και οξυγαλακτικών βακτηρίων, διαιτητικών ινών, εναλλακτικών σακχάρων, η ενζυματική σύνδεση των πρωτεϊνών (TGase) είναι καινοτομικές, και αυξάνουν τη λειτουργικότητα του παγωτού. Ωστόσο, λόγω της περιορισμένης έρευνας που έχει έως τώρα πραγματοποιηθεί, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη της επίδρασης των παραπάνω συστατικών στη μικροδομή του κατεψυγμένου προϊόντων π.χ. με cryo-SEM ή κρυο-οπτική μικροσκοπία φθορισμού. Επιπλέον, οι ίδιες τεχνικές όπως και η NMR θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη των φαινομένων ανακρυστάλλωσης στα συγκεκριμένα συστήματα
- *Ενσωμάτωση καινοτομικών συστατικών.* Η χρήση κρυοπρωτεϊνών (ISPs) στο παγωτό είναι πρόσφατη, και επιπλέον έρευνα απαιτείται, αφενός για την κατανόηση των μηχανισμών που εμπλέκονται στα φαινόμενα κρυστάλλωσης και ανακρυστάλλωσης και αφετέρου στην επίδρασή τους στα επιμέρους λειτουργικά χαρακτηριστικά του παγωτού συμπεριλαμβάνοντας και τα οργανοληπτικά. Επιπλέον, από τα συστατικά που απαντώνται στις διαιτητικές ίνες, η β-γλυκάνη λόγω της ικανότητάς της να σχηματίζει κρυσπήγματα θα μπορούσε να αποτελέσει ένα δυνητικό μέσο κρυοπροστασίας στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος.

BIBΛIOΓPAΦIA

- Abd El-Salam M.H., El-Etriby H., Sayed A.F., (1997). Evaluation of some stabilizers in the manufacture of ice cream, *Egyptian Journal of Dairy Science*, 25, 157-163
- Abd-El-Rahman A.M., Madkor S.A., Ibrahim F.S., & Kilara A., (1997a). Physical characteristics of frozen desserts made with cream, anhydrous milk fat, or milk fat fractions. *Journal of Dairy Science*, 80, 1926-1935
- Abd-El-Rahman, A.M., Shalabi S.I., Hollender R., & Kilara A. (1997b). Effect of milk fat fractions on the sensory evaluation of frozen desserts. *Journal of Dairy Science*, 80, 1936-1940
- Ablett S., Clarke C.J., Izzard M.J. & Martin D.R. (2002). Relationship between ice recrystallization rates and the glass transition in frozen sugar solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1855-1859.
- Abou C. (2000). Heat treatments - their effects on fermented milks. *Danone Newsletters*, 20.
- Adapa S., Schmidt K.A., Jeon I.J., Herald T.J. & Flores R.A. (2000). Mechanisms of ice crystallization and recrystallization in ice cream. *Food Reviews International* 16 (3), 259-271.
- Akalin A., Karagozlu C., & Unal G. (2007). Rheological properties of reduced fat and low fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*, 227, 889-895
- Akalin A.S., & Erisir D. (2008). Effects of inulin and Oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. *Journal of Food Science*, 73, M184-M188
- Akhtar, M., Murray, B. S., & Dickinson, E. (2006). Perception of creaminess of model oil-in-water dairy emulsions: influence of the shear-thinning nature of a viscosity-controlling hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 20, 839-847.
- Akin M.B., Akin M.S., & Kirmaci Z. (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice cream. *Food Chemistry*, 104, 93-99
- Akin S.A., (2005). Effects of inulin and different sugar levels on viability of probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics of probiotic fermented ice cream. *Milchwissenschaft*, 60, 297-300
- Alamprese C., Foschino R., Rossi M., Pompei C., & Corti S. (2005). Effects of *Lactobacillus rhamnosus* GG in ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 58, 200-206
- Alamprese C., Foschino R., Rossi M., Pompei C., & Savani L. (2002). Survival of *Lactobacillus johnsonii* La1 and influence of its addition in retail-manufactured ice cream produced with different sugar and fat concentrations. *International Dairy Journal*, 12, 201-208
- Aleong J.M., Frochot S., & Goff H.D., (2008). Ice recrystallization inhibition in ice cream by propylene glycol monostearate. *Journal of Food Science*, 73, E463-E468
- Alonso S., & Setser C., (1995). Functional replacements for sugars in food. *Trends in Food Science and Technology*, 5,
- Alvarez V.B., Wholters C.L., Vodovotz Y. & Ji T., (2005). Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *Journal of Dairy Science*, 88, 862-871
- Apra E., Biasioli F., Gasperi F., D. Märk T., & van Ruth S. (2006). In vivo monitoring of strawberry flavour release from model custards: effect of texture and oral processing. *Flavour and Fragrance Journal*, 21, 53 - 58
- Arany C.B., Hackney C.R., Duncan S.E., Kator H., Webster J., Pierson M., Boling J.W., & Eigel W.N. (1995). Improved recovery of stressed *Bifidobacterium* from water and frozen yogurt. *Journal of Food Protection* 58, 1142-1146.
- Awad T., & Sato K. (2002). Fat crystallization in o/w emulsions controlled by hydrophobic emulsifier additives. In: Marangoni A.G., & Narine S.S., Ed., *Physical properties of lipids*, Marcel Dekker Inc., New York

- Aykan V., Sezgin E., Guzel-Seydim Z.B., (2008). Use of fat replacers in the production of reduced calorie vanilla ice cream. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110, 516-520
- Baer R.J., & Keating K.R. (1987). Determination of ice cream mix freezing points: A comparison of methods. *Journal of Dairy Science*, 70, 555-558
- Baer R.J., Krisnawamy N., & Kasperson K.M. (1999). Effect of emulsifiers and food gum on nonfat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 82, 1416-1424
- Barfod N.M., Da Lio M., Christensen F.H., (2005). Process for the production of a frozen food product, Danisco A/S, assignee, International Patent WO2005/060763 A1.
- Barfod N.M., Krog N., Larsen G., & Buchheim W., (1991). Effects of emulsifiers on protein fat interaction in ice cream during ageing. I: Quantitative analyses. *Fat Science and Technology*, 93, 24-29
- Basygit, G., Kuleasan, H., & Karahan, A. G., (2006). Viability of human-derived probiotic lactobacilli in ice-cream with sucrose and aspartame. *Journal of Industrial Microbiology and Technology*, 33, 796-800
- Bazmi A., Duquenoy A., & Relkin P., (2007). Aeration of low fat dairy emulsions: Effects of saturated - unsaturated triglycerides. *International Dairy Journal*, 17, 1021 -1027
- Bazmi A., Launay B., Cuvelier G., & Relkin P. (2008). Impact of the crystalline milkfat on rheological properties of ice cream mix emulsions during aging time at 4C. *Journal of Texture Studies*, 39, 309-325
- Belitz H.D., Grosch W. and Shieberle P. 2004. *Food Chemistry*, 3rd ed., New York:Springer
- Benjamins J., Vingerhoeds M.H., Zoet F.D., de Hoog E.H.A., van Aken G.A. (2008). Partial coalescence as a tool to control sensory perception of emulsions. *Food Hydrocolloids*,
- Ben-Yoseph E., & Hartel R.W. (1998). Computer simulation of ice recrystallization in ice cream during storage. *Journal of Food Engineering*, 38, 309-329
- Berger, K.G., (1997). Ice cream. In: *Food emulsions*, Friberg S.E., & Larsson K. (Eds.), 3rd ed., New York: Marcel Dekker, (pp. 413-490)
- Bielecka M., Przewozna A. & Kowalczyk J. (1998). Survival rate of yogurt cultures during production and storage of yogurt ice cream. *Acta Alimentaria Polonica*, 14, 163-168.
- Birch G.G. (1999). Modulation of sweet taste. *BioFactors*, 9, 73-80
- Blanchard P.H., & Katz F.R., (2006). Starch hydrolysates. In: *Food Polysaccharides and their applications*. Stephen A.M., Philips G.O., & Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Blanshard J.M.V. (1995). The glass transition, its nature and significance in food processing. In: *Physicochemical aspects of food processing*, Ed. Beckett S.T., Blackie Academic & Professional Ltd., Glasgow, UK
- Blond G. (1986). Nucleation behavior of water in macromolecular systems. *Cryoletters*, 7, 95-102
- Blond G. (1988). Velocity of linear crystallization of ice in macromolecular systems. *Cryobiology*, 25, 61-66
- Blond G. (1994). Mechanical properties of frozen model solutions. *Journal of Food Engineering*, 22, 253-269
- Bodyfelt F.W., Tobias J, & Trout G.M. (1988). *The sensory evaluation of dairy products*. New York: Van Nostrand Reinhold
- Bolliger S., Kornburst B., Goff H.D., Tharp B.W., & Windhab E.J., (2000a). Influence of emulsifiers on ice cream produced by conventional freezing and low-temperature extrusion processing. *International Dairy Journal*, 10, 497-504
- Bolliger S., Wildmoser H., Goff H.D., & Tharp B.W., (2000a). Relationships between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream. *International Dairy Journal*, 10, 791-797

- Bom Frøst M., Heymann H., Bredie W.L.P., Dijksterhuis G.B., & Martens M. (2005). Sensory measurement of dynamic flavour intensity in ice cream with different fat levels and flavourings. *Food Quality and Preference*, 16, 305-314
- Boode, K., & Walstra, P. (1993). Partial coalescence in oil-in-water emulsions.1. Nature of the aggregation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 81, 121-137
- Boode, K., Walstra, P., & de Groot-Mostert, A.E., (1993). Partial coalescence in oil-in-water emulsions.2. Influence of the properties of the fat. *Colloids and Surfaces A*, 81, 139-151
- Bordi P., Cranage D., Stokols J., Palchak T., & Powell L., (2004). Effect of polyols versus sugar on the acceptability of ice cream among a student and adult population. *Foodservice Research International*, 15, 41-50
- Bourriot, S., Garnier, C., & Doublier, J. L. (1999a). Phase separation, rheology and structure of micellar casein-galactomannan mixtures. *International Dairy Journal*, 9, 353-357
- Bourriot, S., Garnier, C., & Doublier, J. L. (1999b). Micellar casein-k-carrageenan mixtures. I. Phase separation and ultrastructure. *Carbohydrate Polymers*, 40, 145-157
- Bradford M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254
- Bradley R.L. Jr. & Smith K. (1983). Finding the freezing points of frozen desserts. *Dairy Record*, 84, 114-115.
- Bradley R.L. Jr. (1984) Plotting freezing curves for frozen desserts. *Dairy Record*, 85, 86-87.
- Britten M., & Giroux H.J. (1991). Emulsifying properties of whey protein and casein composite blends. *Journal of Dairy Science*, 74, 3318-3325
- Brooker, B.E., Anderson, M. & Andrews, A.T., (1986). The development of structure in whipped cream. *Food Structure*, 5, 277-285
- Budiaman E.R., & Fennema O. R.,(1987a). Linear rate of water crystallization as influenced by temperature of hydrocolloid suspensions. *Journal of Dairy Science*, 70, 543-546.
- Budiaman E.R., & Fennema, O.R., (1987b). Linear rate of water crystallization as influenced by viscosity of hydrocolloid suspensions. *Journal of Dairy Science*, 70, 547-554.
- Buyong, N., & Fennema, O. (1988). Amount and size of ice crystals in frozen samples as influenced by hydrocolloids. *Journal of Dairy Science*, 71, 2630-2639.
- Byass, L.J., (1998). Frozen confectionery product containing plant antifreeze protein. Unilever, assignee. Eur. Pat. No. WO 98/04148.
- Caillet A., Cogne C., Andrieu J., Laurent P., & Rivoire A. (2003). Characterization of ice cream structure by direct optical microscopy. Influence of freezing parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 36, 743-749
- Caldwell K.B., Goff H.D., Stanley D.W., (1992). A low temperature scanning electron microscopy study of ice cream. II. Influence of selected ingredients and processes. *Food Structure* 11, 11-23.
- Campbell S.D., Goff H.D., & Rousseau D., (2002). Comparison of crystallization properties of a palm stearin/canola oil blend and lard in bulk and emulsified form. *Food Research International*, 35, 935-944
- Carrington K.A., Goff H.D., & Stanley D.W. (1996). Structure and stability of glassy state in rapidly and slowly cooled carbohydrate solutions. *Food Research International*, 29, 207-213
- Casiraghi E., Rossi M., & Bravo L. (2002). Influence of fat content and mix aging on some chemical and physical characteristics of retail-manufactured ice cream. *Milchwissenschaft*, 57, 149 -152
- Champagne, C. P., Gardner, N. J., & Roy, D. (2005). Challenges in the addition of probiotic cultures to foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 61-84
- Chang Y., & Hartel R.W. (2002). Development of air cells in a batch ice cream freezer. *Journal of Food Engineering*, 55, 71-78

- Chang Y., & Hartel R.W. (2002a). Stability of air cells during hardening and storage. *Journal of Food Engineering*, 55, 59-70
- Chang Y., & Hartel R.W. (2002b). Measurement of air cell distributions in dairy foams. *International Dairy Journal*, 12, 463-472
- Chen C.S. (1986). Effective molecular weight of aqueous solutions and liquid foods calculated from the freezing point depression. *Journal of Food Science* 51, 1537-1553
- Childs J. (1993). An Identity for frozen yogurt. *Cultured Dairy Products Journal*, 2-18.
- Christiansen P.S., Madeira A.I.M.R., & Edelsten D., (1999). The use of ropy milk as stabilizer in the manufacture of ice cream. *Milchwissenschaft*, 54, 138-141
- Christiansen, P. S., Edelsten, D., Kristiansen, J. R., & Nielsen, E. W. (1996). Some properties of ice cream containing *Bifidobacterium bifidum* and *Lactobacillus acidophilus*. *Milchwissenschaft*, 51, 502-504.
- Chung S.J., Heymann H., & Grün I.U. (2003). Application of GPA and PLSR in correlating sensory and chemical data sets. *Food Quality and Preference*, 14, 485-495
- Chung S.J., Heymann H., & Grun I.U., (2003). Application of GPA and PLSR in correlating sensory and chemical data sets. *Food Quality and Preference*, 14, 485-495
- Clare K. (1993). In: *Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives*, Ed. Whistler R.L., & BeMiller J.N., 3rd ed., Academic Press Inc., San Diego, USA
- Clarke C. (2004). *The science of ice cream*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK
- Clementi F. Flavor production in ice cream mix cultured with a citrate fermenting strain of *Lactococcus lactis*. *Milchwissenschaft*, 46, 696-699
- Clemmings, J.F., Zoerb H.F., Rosenwald D.R., and Huang V.T., (1997). Method of making ice cream. The Pillsbury Co., assignee. U.S. Pat. No. 5,620,732.
- Codex (1993). *Codex Alimentarius Commission Report (Report of the 14th session of the codex committee on fats and oils) September, London, Alinorm 95/17*
- Cody T.L., Olabi A., Pettingell A.G., Tong P.S., & Walker J.H. (2007). Evaluation of rice flour for use in vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*, 90, 4575-4585
- Cogné C., Andrieu J., Laurent P., Besson A., & Nocquet J. (2003). Experimental data and modeling of thermal properties of ice cream. *Journal of Food Engineering*, 58, 331-341
- Cogné C., Andrieu J., Laurent P., Besson A., & Nocquet J. (2003a). Experimental data and modelling of thermal properties of ice creams. *Journal of Food Engineering*, 58, 331-341
- Cogné C., Laurent P., Andrieu J., & Ferrand J. (2003b). Experimental data and modelling of ice cream freezing. *Trans IChemE, Part A*, 81, 1129 - 1135
- Conforti F. (1994). Effect of fat content and corn sweeteners on selected sensory attributes and shelf stability of vanilla ice cream. *Journal of the Society of Dairy Technology*, 47, 69-75
- Cook D. (2006). Hydrocolloids-sweetener interactions in food products. In: *Optimizing sweet taste in foods*. Cambridge, Woodhead Publishing Ltd.
- Cooper J.M., (2006). Sucrose. In: *Optimizing sweet taste in foods*. Woodhead Publishing Ltd., London, UK
- Corn Refiners Association (1980). *Standard analytical methods of the member companies of corn industries research foundation*, 6th ed., Washington D.C.,
- Cottrell J., Pass G., & Phillips G., (1979). Assessment of polysaccharides as ice cream stabilizers. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 30, 1085-1088
- Coudray C., Bellanger I., Castiglia-Delavaud C., Remesy C., Vermorel M., & Rayssiguier Y. (1997). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on adsorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51, 375-380
- Coussement P., & Franck A. (2001). Inulin and Oligofructose. In: *Handbook of Dietary Fiber*. Sungsoo Cho S. & Dreher S.M., (Eds.), Taylor and Francis LCC Inc., New York
- Crittenden R.G., & Playne M.J., (1996). Production, properties and applications of food - grade oligosaccharides. *Trends in Food Science and Technology*, 7, 353-361

- Crowe J.H., Leslie S.B., & Crowe L.M., (1994). Is vitrification sufficient to preserve liposomes during freeze - drying? *Cryobiology*, 31, 355-366
- Cruz A.G., Antunes A.E.C., Sousa A.L.O.P., Faria J.A.F. & Saad S.M.I. (2009). Ice cream as a probiotics food carrier. *Food Research International*, doi 10.1016/j.foodres.2009.03.020
- Dalgleish, D. G., & Morris, E. R. (1988). Interactions between carrageenans and casein micelles: electrophoretic and hydrodynamic properties of the particles. *Food Hydrocolloids*, 2, 311-320
- Damodaran S., & Sengupta T. (2003). Dynamics of Competitive Adsorption of α -Casein and β -Casein at Planar Triolein–Water Interface: Evidence for Incompatibility of Mixing in the Interfacial Film. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, 1658-1665
- Damodaran S., (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. *Journal of Food Science*, 70, R54-R66
- Darling et al., (2001). Frozen food product, Good Humor - Breyers Ice Cream, division of Conopco, U.S. Pat. No 6,200,622
- Dave R.I., & Shah N.P., (1997). Viability of yoghurt and probiotic bacteria in yoghurts made from commercial starter cultures. *International Dairy Journal*, 7, 31-41
- Davidson M., Maki K., Synecki C., Torri S.A., & Drennan K.B., (1998). Effects of dietary inulin on serum lipids in men and women with hypercholesterolemia. *Nutrition Research*, 18, 503-517
- Davidson R.H., Duncan S.E., Hackney C.R., Eigel W.N., & Boling J.W. (2000). Probiotic culture survival and implications in fermented frozen yogurt characteristics. *Journal of Dairy Science*, 83, 666-673
- Davies, E., Dickinson, E., & Bee, R.D., (2001). Orthokinetic destabilization of emulsions by saturated and unsaturated monoglycerides. *International Dairy Journal*, 11, 827-836
- De Leenheer L. (1996). Production and use of inulin: Industrial reality with a promising future. In: *Carbohydrates as Organic Raw Materials*, Van Bekkum, Roper H., Voragen AGJ., (Eds.), VCH Publishers Inc., New York
- De Leenheer L., & Hoebregs H., (1994). Progress in the elucidation of the composition of chicory inulin. *Starch*, 46(5), 193-196
- de Man L., de Man J.M., & Blackman B. (1991). Physical and textural properties of some North American shortenings. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68, 63-69
- de Vrese M., Stegelmann A., Richter B., Fenselau S., Laue C., & Schrezenmeir J., (2001). Probiotics – compensation for lactase insufficiency, *American Journal of Clinical Nutrition*, 73, S421-S429
- De Wijk R., Terpstra M.E.J., Janssen A.M., & Prinz J.F., (1995). Perceived creaminess of semi solid foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17, 412-422
- De Wijk R.A., Rasing F., & Wilkinson C.L., (2003b). Sensory flavor-texture interactions for custards. *Journal of Texture Studies*, 34, 131-146
- de Wijk R.A., van Gemert L.J., Terpstra M.E.J., & Wilkinson C.L. (2003a). Texture of semi-solids; sensory and instrumental measurements on vanilla custard desserts. *Food Quality and Preference*, 14, 305-317
- Demirozu B., Sokmen M., Ucak A., Yilmaz H., & Gulderen S., (2002). Variation of copper, iron, and zinc levels in pekmez products. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 69, 330-334
- Dervisoglu M., & Yazici F. (2006). The effect of citrus fibre on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. *Food Science and Technology International*, 12, 159-164.
- DeVries A.L., Komatsu S.K., & Feeney R. E., (1970) Chemical and physical properties of freezing point-depressing glycoproteins from Antarctic fishes. *Journal of Biological Chemistry*, 245, 2901-2908
- Dickinson E., (1999). Adsorbed protein layers at fluid interfaces: interactions, structure and surface rheology. *Colloids Surfaces B: Biointerfaces*, 15, 161-176

- Dickinson E., Evison J., Owusu R.K., & Zhu Q. (1993). *Food Colloids and Polymers: Stability and Mechanical Properties*, Dickinson E., & Walstra P., (Eds.), Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK
- Dogan M., & Kayacier A. (2007). The effect of ageing at a low temperature on the rheological properties of kahranmaras type ice cream mix. *International Journal of Food Properties*, 10, 19-24
- Donhowe D.P., & Hartel R.W. (1996a). Recrystallization of ice in ice cream during accelerated storage studies. *International Dairy Journal*, 6, 1191-1208
- Donhowe D.P., & Hartel R.W. (1996b). Recrystallization of ice during bulk storage of ice cream. *International Dairy Journal*, 6, 1209-1221
- Doxy A.C., Yaish M.W., Griffith M., McConkey B.J., (2006). Ordered surface carbons distinguish antifreeze proteins and their ice-binding regions. *Nature Biotechnology*, 24, 852-855
- Dragnet K.I., (2000). Alginates. In: *Handbook of Hydrocolloids*, Philips G.O., Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Dragnet K.I., Moe S.T., Skjåk-Bræk G., Smidsrod O., (2006). Alginates. In: *Food Polysaccharides and their applications*. Stephen A.M., Philips G.O., & Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Dreher M. (1999). Food sources and uses of dietary fiber. In: Marcel Dekker Inc., New York
- Dresselhuis D.M., de Hoog E.H.A., Cohen Stuart M.A., Vingerhoeds M.H., & van Aken G.A. (2008). The occurrence of in-mouth coalescence of emulsion droplets in relation to perception of fat. *Food hydrocolloids*, 22, 1170-1183
- Drewett E.M., & Hartel R.W. (2007). Ice crystallization in a scraped surface freezer. *Journal of Food Engineering*, 78, 1060-1066
- Drewnoski A. and Gomez-Carneros C., 2000. Bitter taste, micronutrients and the consumer: A review. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72, 1424-1435
- Dunne C., Murphy L., Flynn, S., O'Mahony L., O'Halloran S., Feeney M., Morrissey D., Thornton G., Fitzgerald G., Daly C., Kiely B., Quigley E.M.M., O'Sullivan G.C., Shanahan F. & Kevin J. (1999). Probiotics: from myth to reality. Demonstration of functionality in animal models of disease and in human clinical trials. *Antonie van Leeuwenhoek*, 76, 279-292
- Duthie a.H., Duthie A.E., Nilson K.M.& Atherton H.V. (1982). Ice cream with a bacterial twist. *Modern Dairy*, 61, 10-11.
- Eisner M.D., Wildmoser H., Windhab E.J., (2005). Air cell microstructuring in a high viscous ice cream matrix. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 263, 390
- Ellegard L., Andersson H., Bosaeus I. (1997). Inulin and oligofructose do not influence the absorption of cholesterol, and the excretion of cholesterol, Fe, Ca, Mg, and bile acids, but increase energy excretion in man. A blinded controlled cross over study in ileostomy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51, 1-5
- Elmore J.R., Heymann H., Johnson J., & Hewett J.E. (1999). Preference mapping: relating acceptance of "creaminess" to a descriptive sensory map of a semi-solid. *Food Quality and Preference*, 10, 465-475
- El-Nagar G., Clowes G., Tudorica C.M., Kuri V., & Brennan C.S. (2002). Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55, 89-93
- El-Neshawy, A. A., Abdel Baky A.A., Rabie A.M., & Metwally S.A., (1988). Organoleptic and physical properties of ice cream made from hydrolyzed lactose reconstituted milk. *Food Chemistry* 27, 83-89
- El-Sharef N.K., Ghengesh S., Abognah Y.S., Gnan S.O., & Rahouma A., (2006). Bacteriological quality of ice cream in Tripoli-Libya. *Food Control*, 17, 637-641
- Embuscado M.E., (2006). Polyols. In: *Optimizing sweet taste in foods*. Woodhead Publishing Ltd., London, UK

Euston S.E., Singh H., Munro P.A. and Dalglish D.G., (1995). Competitive adsorption between sodium caseinate and oil-soluble and water-soluble surfactants in oil-in-water emulsions. *Journal of Food Science*, 60, 1124-1131

Faegermand M., & Krog N., (2003). Using emulsifiers to improve food texture. In: *Texture in Foods, Vol 1., Semi-solids*, McKenna B.M., (Ed.). CRC Press, Boca Raton

Favaro-Trindade C.S., Bernardi S., Barbosa Bodini R., De Carvalho Balieiro J.C., De Almeida E. (2006). Sensory acceptability and stability of probiotic microorganisms and vitamin C in fermented acerola (*Malpighia emarginata* DC.) ice cream. *Journal of Food Science*, 71, S492-S495

Favaro-Trindade, C. S., Balieiro, J. C. C., Dias, P. F., Sanino, F. A., & Boschini, C., (2007). Effects of culture, pH and fat concentration on melting rate and sensory characteristics of probiotic fermented yellow mombin (*Spondias mombin* L) ice creams. *Food Science and Technology International*, 13, 285-291

Faydi E., Andrieu J., Laurent P., & Peczalski R., (2001). Experimental study and modelling of the ice crystal morphology of model standard ice cream. Part II: Heat transfer data and texture modeling. *Journal of Food Engineering*, 48, 293-300

Federsen R.L., & Thorp S.N., (1993). Sodium carboxymethylcellulose. In: *Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives*, Ed. Whistler R.L., & BeMiller J.N., 3rd ed., Academic Press Inc., San Diego, USA

Ferry A.L., Hort J., Mitchell J.R., Cook D.J., Lagarigue S., and Valles Parnies B., 2006. Viscosity and flavor perception: Why is starch different from hydrocolloids? *Food Hydrocolloids*, 20, 855-862

Flores, A.A., & Goff, H D., (1999a). Ice crystal size distributions in dynamically frozen model solutions and ice cream as affected by stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 82, 1399-1407

Flores, A.A., & Goff, H.D. (1999b). Recrystallization in ice cream after constant and cycling temperature storage conditions as affected by stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 82, 1408-1415

Fooks J.L., Fuller R., & Gibson G.R., (1999). Prebiotics, probiotics and human gut microbiology. *International Dairy Journal*, 9, 53-61

Franck A. (2006). Inulin. In: *Food Polysaccharides and their applications*. Stephen A.M., Philips G.O., & Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York

Franck A., (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87 (Suppl. 2) S287-S291

Frattali V.P., (1982). Fructose- A regulatory perspective. In: *Food Carbohydrates*. Ed. Lineback D.R., & Inglett G.E., AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, USA

Frippiat A. (1998). Inulin based hydrocolloid compositions. Patent Application EP 867,470

Gaafar A.M. (1992). Volatile flavour compounds of yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 27, 87-91

Gaglar E., Kuscü O.O., Kuvvetli S.S., Kavaloglu Cildir S., Sandalli N. & Twetman S., (2008). Short term effect of ice cream containing *Bifidobacterium lactis* Bb-12 on the number of salivary mutans streptococci and lactobacilli

Gardiner G.E., Ross R.P., Kelly P.M., Stanton C., Collins J.K., & Fitzgerald G. (2002). Microbiology of therapeutic milks. In: *Dairy Microbiology Handbook*, Ed. Robinson R.K., 3rd ed., Wiley interscience, Inc., New York, USA

Garti (2002). Food emulsifiers structure reactivity, relationships, design and application. In: *Physical properties of lipids*, Marangoni A.G., Narine S.S. (Eds.), Marcel Dekker, New York

Gelin, J.-L., Poyen, L., Rizzotti, R., Courthaudon, J.-L., & Lorient, D. (1996). Interactions between food components in ice cream. Part 1: unfrozen emulsions. *Food Hydrocolloids*, 10, 385-393

- Gelroth J., & Ranhotra G.S. (2001). Food uses of fiber. In: Sungsoo Cho S., Dreher M.S., Handbook of dietary fiber. ch.23 New York: Taylor and Francis
- Gidley M.J., & Reid J.S. (2006). Galactomannans and other cell wall storage polysaccharides in seeds. In: Food Polysaccharides and their applications. Stephen A.M., Philips G.O., & Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Gill, C. O. (2006). Microbiology of frozen foods. In: S. Da-Wen (Ed.), Handbook of frozen food processing and packaging. CRC Press, Boca Raton
- Gilliland S.E. & Rich C.N. (1990). Stability during frozen and subsequent refrigerated storage of *Lactobacillus acidophilus* grown at different pH. *Journal of Dairy Science*, 73, 1187-1192.
- Godward G., & Kailasapathy K., (2003). Viability and survival of free, encapsulated and co-encapsulated probiotic bacteria in ice cream. *Milchwissenschaft*, 58, 161-164
- Godward, G., Sultana, K., Kailasapathy, K., Peiris, P., Arumugaswamy, R., & Reynolds, N. (2000). The importance of strain selection on the viability of probiotic bacteria in dairy foods. *Milchwissenschaft*, 55, 441-445.
- Goff H.D. (1997). Measurement and interpretation of the glass transition in frozen foods. In: MC Erickson, Y-C Hung, Eds., *Quality in Frozen Food*. New York: Chapman & Hall, pp. 29-50.
- Goff H.D. (1997a). Colloidal aspects of ice cream - A review. *International Dairy Journal*, 7, 363-373
- Goff H.D. (1997b). Instability and partial coalescence in whippable dairy emulsions. *Journal of Dairy Science*, 80, 2620-2630
- Goff H.D. (2002). Formation and stabilization of structure in ice cream and related products. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 7, 432-437
- Goff H.D., & Davidson V.J., (1992). Flow characteristics and holding time calculations of ice cream mixes in HTST holding tubes. *Journal of Food Protection*, 55, 34 - 39
- Goff H.D., & Jordan W.K., (1984) Aspartame and polydextrose in a calorie - reduced frozen dairy dessert. *Journal of Food Science* 49(1), 306-310
- Goff H.D., & Jordan W.K., (1989). Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during the manufacture of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 72, 18-29
- Goff H.D., Caldwell K.B., Stanley D.W., & Maurice T.J. (1993). The influence of polysaccharides on the glass transition in frozen sucrose solutions and ice cream. *Journal of Dairy Science*, 76, 1268-1277
- Goff H.D., Davidson V.J., & Cappi E., (1994). Viscosity of ice cream mix at pasteurization temperatures. *Journal of Dairy Science*, 77, 2207-2213
- Goff H.D., Ferninando D., & Schorsch C. (1999). Fluorescence microscopy to study galactomannan structure in frozen sucrose and milk protein solutions. *Food Hydrocolloids*, 13, 353-362
- Goff H.D., Freslon B., Sahagian M.E., Hauber T.D., Stone A.P., & Stanley D.W. (1995). Structural development in ice cream - dynamic rheological measurements. *Journal of Texture Studies*, 26, 517-536
- Goff H.D., Kinsella J.E., & Jordan W.K., (1989). Influence of various milk protein isolates on ice cream emulsion stability. *Journal of Dairy Science*, 72, 385-397
- Goff H.D., Verespej E., & Jermann D., (2003). Glass transitions in frozen sucrose solutions are influenced by solute inclusions within ice crystals. *Thermochimica acta*, 399, 43-55
- Goff H.D., & Spagnuolo P., (2001). Effect of stabilizers on fat destabilization measurements in ice cream. *Milchwissenschaft* 56, 450- 453
- Goff, H. D. and A. R. Hill. (1993). Dairy Chemistry and Physics. In: *Dairy Science and Technology Handbook*, Vol. 1, Principles and Properties, Hui Y.H., (Ed.), VCH Publishers, New York. pp. 1-81

- Goff, H. D., Ferninando, D., & Schorsch C. (1999). Fluorescence microscopy to study galactomannan structure in frozen sucrose and milk protein solutions. *Food Hydrocolloids*, 13, 353-362.
- Goff, H. D., Liboff, M., Jordan, W.K., & Kinsella, J.E., (1987). The effects of polysorbate 80 on the fat emulsion in ice cream mix: evidence from transmission electron microscopy studies. *Food Microstructure*, 6, 193-198
- Goff, H.D. & Pearson A.M., (1983). Aspartame and corn syrup solids as sweeteners for ice cream. *Modern Dairy*, 62(3), 11
- Goff, H.D., McCurdy R.D., and Gullett E.A., (1990). Replacement of carbon- refined corn syrups with ion-exchanged corn syrups in ice cream formulations. *Journal of Food Science* 55, 827 - 829
- Gogus F., Bozkurt H. and Eren S., (1998). Kinetics of Maillard reactions between the major sugars and amino acids of boiled grape juice. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31, 196-200
- Goh K.T., Nair R.S., & Matia-Merino L. (2008). Exploiting the functionality of lactic acid bacteria in ice cream. *Food Biophysics*, DOI 10.1007/s11483-008-9079-2
- Goh K.K.T., YE A., and Dale N. (2006). Characterization of ice cream containing flaxseed oil. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 946-953
- Gooda E., Attia I.A, Salem S.A., & Kamar M.S., (1993). Effect of pH on storage quality of frozen yoghurt. *Egyptian Journal of Food Science*, 21, 57-63
- Gougouli M., Angelidis A.S. & Koutsoumanis K., (2008). A study on the kinetic behavior of *Listeria monocytogenes* in ice cream under static and dynamic chilling and freezing conditions. *Journal of Dairy Science*, 91, 523-530
- Granger C., Barey P., Combe N., Veschambre P., & Cansell M., (2003). Influence of the fat characteristics on the physicochemical behavior of oil-in-water emulsions based on milk proteins-glycerol esters mixtures. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 32, 353-363
- Granger C., Langendorff V., Renouf N., Barey P., & Cancell M., (2004). Impact of formulation on ice cream microstructures: an oscillation thermo-rheometry study. *Journal of Dairy Science*, 87, 810-812
- Granger C., Leger A., Barey P., Langendorff V., & Cansell M. (2005a). Influence of formulation on the structural networks in ice cream. *International Dairy Journal*, 15, 255-262
- Granger C., Schöppe A., Leger A., Barey P., & Cansell M., (2005b). Influence of formulation on the thermal behavior of ice cream mix and ice cream. *Journal of American Oil Chemists Society*, 82, 427-431
- Green J.L., & Angell C.A. (1989). Phase relations and vitrification in saccharide - water solutions and the trehalose anomaly. *Journal of Physical Chemistry*, 93, 2880-2882
- Griffith M., & Ewart K.V., (1995). Antifreeze proteins and their potential use in frozen foods. *Biotechnology Advances*, 13, 375-402
- Groschner P. (1998). Production of ice cream by using honey instead of sugar. *Deutsch Lebensmittel Rundschefit*, 94, 214-217
- Grover J.A, (1993). Methylcellulose and its derivatives. In: *Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives*, Ed. Whistler R.L., & BeMiller J.N., 3rd ed., Academic Press Inc., San Diego
- Güven M., & Karaca O.B. (2002). The effects of varying sugar content and fruit concentration on the physical properties of vanilla and fruit ice cream-type frozen yogurts. *International Journal of Dairy Technology*, 55, 27-31
- Guinard J.X, Zoumas-Morse C., Mori L., Uatoni B., Panyam D., & Kilara A. (1997). Sugar and fat effects on sensory properties of ice cream. *Journal of Food Science*, 62(5), 1087-1094
- Guinard J.X., Little C, Marty C., & Palchak R.T. (1994). Effect of sugar and acid on the acceptability of frozen yogurt to a student population. *Journal of Dairy Science*, 77, 1232-1238
- Guinard J.X., Zoumas-Morse C., Mori L., Panyam D., & Kilara A., (1996). Effect of sugar and fat on the acceptability of vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*, 79, 1922-1927

- Gunning P.A., Mackie A.R., Gunning A.P., Wilde P.J., & Woodward N.C., & Morris V.J., (2004). The effect of surfactant type on protein displacement from the air-water interface. *Food Hydrocolloids*, 18, 509-515
- Gunning, A. P., Mackie, A. R., Wilde, P. J., & Morris, V. J., (1999). Bursting the bubble; how surfactants destabilize protein foams revealed by atomic force microscopy. *Surface and Interface Analysis*, 27, 433-436
- Gunstone F.D., Harwood J.L., & Padley F.B. (1995). *The lipid handbook*. (2nd ed.), Chapman & Hall Ltd., London
- Guyen M., Karaca O.B., & Kacar A. (2003). The effect of the combined use of stabilizers containing locust bean gum and of the storage time on Kahramanmaran-type ice creams. *International Journal of Dairy Technology*, 56, 223-228
- Hagen M., & Narvhus J.A., (1999). Production of ice cream containing probiotic bacteria. *Milchwissenschaft*, 54, 265-267
- Hagiwara T. & Hartel R.W. (1996). Effects of sweetener, stabilizer and storage temperature on ice recrystallization in ice cream. *Journal of Dairy Science*, 79, 735-744
- Hagiwara T., Hartel R.W., & Matsukawa S., (2006). Relationship between recrystallization rate of ice crystals in sugar solutions and water mobility in freeze-concentrated matrix. *Food Biophysics*, 1, 74-82
- Hagiwara T., Jianzhong M., Suzuki T., & Takai R. (2005). Ice recrystallization in sucrose solutions stored in a temperature range of -21 to -50°C. *Food Science and Technology Research*, 11, 407-411
- Haight K.G., & Gump B.H. (1996). Red and white grape juice concentrate component ranges. *Journal of Food Composition and Analysis*, 8, 71-77
- Hansen, A. P. & Heinis, J. J. (1991). Decrease of vanillin flavor perception in the presence of casein and whey proteins. *Journal of Dairy Science*, 74, 2936-2940
- Hansen, A. P. & Heinis, J. J. (1992). Benzaldehyde, citral and alpha-limonene flavor perception in the presence of casein and whey proteins. *Journal of Dairy Science*, 75, 1211-1215
- Harper E.K., & Shoemaker C.F., (1983). Effect of locust bean gum and selected sweetening agents on ice crystallization rates. *Journal of Food Science*, 48, 1801-1803
- Hartel R.W. (1996). Ice crystallization during the manufacture of ice cream. *Trends in Food Science and Technology*, 7, 315-321
- Hartel R.W. (2001). *Crystallization in foods*. 1st ed. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers Inc.
- Hartel R.W., Muse M., & Sofjan R., (2003). Effects of structural attributes on hardness and melting rate of ice cream. In: *Proceedings of the 2nd IDF ice cream symposium*, Thessaloniki, Greece
- Haynes I.N., & Playne M.J. (2002). Survival of probiotic cultures in low fat ice cream. *Australian Journal of Dairy Technology*, 57(1), 10-14
- Heenan S.P., Dufour J.P., Hamid N., Harvey W., & Delahunty C.M. (2008). The sensory quality of fresh bread: Descriptive attributes and consumer perceptions. *Food Research International*, 41, 989-997
- Hekmat S., & McMahon D.J. (1992). Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* in ice cream for use as probiotic food. *Journal of Dairy Journal*, 75, 1415-1422
- Herald T.J., Aramouni F.D., & Abu-Ghoush M.H., (2008). Comparison study of egg yolks and egg alternatives in french vanilla ice cream. *Journal of Texture Studies*, 39, 284-295
- Herrera
- Herrera M.L., M'Cann J.I., Ferrero C., Zartizky N.E., & Hartel R.W. (2007). Thermal, mechanical and molecular relaxation properties of frozen sucrose and fructose solutions containing hydrocolloids. *Food Biophysics*, 2, 20-28
- Heume M., & Rapaille A., (1997). Versatility of maltitol in different forms as a sugar substitute. In: *Advances in sweeteners*. Blackie Academic & Professional Ltd., London, UK

- Higashiyama T., (2002). Novel functions and applications of trehalose. *Pure Applied Chemistry*, 74, 1263-1269
- Holcomb, J.E., Frank J. & McGregor J.U. (1991). Viability of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* in soft-serve frozen yogurt. *Cultural Dairy Products Journal*, 26, 4-5.
- Homayouni A., Azizi A., Ehsani M.R., Yarmand M.S., & Razavi S.H., (2008). Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of symbiotic ice cream. *Food Chemistry*, 111, 50-55
- Hong S.H., & Marshall R.T. (2001). Natural exopolysaccharides enhance survival of lactic acid bacteria in frozen dairy desserts. *Journal of Dairy Science*, 84, 1367-1374
- Huang X., Kakuda Y., & Cui W. (2001). Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids*, 15, 533-542
- Huon De Kermadec F., Durand J.F., Sabatier R. (1997). Comparison between linear and nonlinear PLS methods to explain overall liking from sensory characteristics, *Food Quality and Preference*, 8, 395-402
- Hwang Y.J., Shyu Y.S., & Hsu C.K. (2009). Grape wine lees improves the rheological and adds antioxidant properties to ice cream. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 312-318
- Hyvönen L., Linna M., Tuorila H., & Dijksterhuis G. (2003). Perception of melting and flavor release of ice cream containing different types and contents of fat. *Journal of Dairy Science*, 86, 1130-1138
- Ikeda S., Morris V.J., & Nishinari K. (2001). Microstructure of aggregated and non aggregated κ-carrageenan helices visualized by atomic force microscopy. *Biomacromolecules*, 34, 1331
- Im J.S., Marshall R.T., & Heymann H., (1994). Frozen dessert attribute changes with increased amounts of unsaturated fatty acids. *Journal of Food Science*, 59, 1222-1226
- Imeson A.P., (2000). Carrageenan. In: *Handbook of Hydrocolloids*, Philips G.O., Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Innocente N., Comparin D., & Corradini C. (2002). Proteose-peptone whey fraction as emulsifier in ice cream preparation. *International Dairy Journal*, 12, 69-74
- Innocente, N., Corradini, C., Blecker, C., & Paquot, M. (1999). Emulsifying properties of the total fraction and the hydrophobic fraction of bovine milk proteose-peptones. *International Dairy Journal*, 8, 981-985
- Inoue K., Ochi H., Taketsuka M., Saitu H., Sakurai K., Hshihashi N., Iwatsuki K., and Kokubo S. (2008). Modeling of the effect of freezer conditions on the principle constituent parameters of ice cream using response surface methodology. *Journal of Dairy Science*, 91, 1722-1732
- Inoue K., Shiota K., Ito T., (1998). Preparation and properties of ice cream type frozen yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 51, 44-50
- James D., (1995). Sugar. In: *Sugar confectionary manufacture*, Ed. Jackson E.B., 2nd ed., Blackie Academic & Professional Ltd. Glasgow, UK
- Jancic S.J., & Grootcholten P.A.M., (1984). *Industrial crystallisation*. The Netherlands: Delft University Press
- Janssen A.M., Terpstra M.J., de Wijk R.A., & Prinz J.F., (2007). Relations between rheological properties saliva induced structure breakdown and sensory texture attributes of custards. *Journal of Texture Studies*, 38, 42-69
- Jimenez-Florez R., Klipfel N.J., & Tobias J. (1993). Ice cream and frozen desserts. In: *Dairy Science and Technology Handbook*. 2. Product Manufacturing Y.H. Hui, (Ed.) VCH Publishers, New York
- Jonkman M.J., Walstra P., van Boekel M.A.J.S. & Cebula D.J. (1999a). Behavior of casein micelles at conditions comparable to those in ice cream. *International Dairy Journal*, 9, 201-205

- Jonkman M.J., Walstra P., van Boekel M.A.J.S. & Cebula D.J., (1999b). Behavior of caseins micelles at conditions comparable to those in frozen yoghurt. *International Dairy Journal*, 9, 385-386
- Jouppila & Roos Y., (1994). Glass transition and crystallization in milk powders. *Journal of Dairy Science*, 77, 2907-2915
- Jouppila K., Kansikas J., & Roos Y.H. (1997). Glass transition, water plasticization, and lactose crystallization in skim milk powder. *Journal of Dairy Science*, 80, 3152-3160
- Kailasapathy K., & Sultana K., (2003). Survival and β -galactosidase activity of encapsulated and free *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* in ice cream. *Australian Journal of Dairy Technology*. 58, 223- 227
- Kambamanoni-Dimou A., (2003). Ice cream microbiology. In: *Encyclopedia of Food Microbiology*, Robinson R.K., Elsevier Ltd., pp. 1083-1087
- Kang K.S., & Pettitt D.J. (1993). Xanthan, gellan, welan and rhamosan. In: *Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives*, Ed. Whistler R.L., & BeMiller J.N., 3rd ed., Academic Press Inc., San Diego, USA
- Karaca O.B., Guven M., Yasar K., Kaya S., & Kahyaoglu T. (2009). The functional, rheological and sensory characteristics of ice cream with various fat replacers. *International Journal of Dairy Technology*, 62, 93-99
- Kasapis S. (2006). Glass transition in frozen foods and biomaterials. In: Da Wen Sun, *Handbook of frozen food processing and packaging*, ch.2 (pp. 33-51), New York: Taylor and Francis Group LCC
- Kasapis S. (2008). Recent advances and future challenges in the explanation and exploitation of the network glass transition of high sugar/biopolymer mixtures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 185-203
- Kaya A. & Belibagli K.B. (2002). Rheology of solid Gaziantep pekmez. *Journal of Food Engineering*, 54, 221-226
- Kaylegian K.E., (1995). Functional characteristics and nontraditional applications of milk lipid components in food and nonfood systems, *Journal of Dairy Science*, 78, 2524-2540
- Kebary K.M.K. (1996). Viability of *Bifidobacterium bifidum* and its effect on quality of frozen Zabady. *Food Research International*, 29, 431-437
- Keenan T.W., & Dylewski D.P., (1995). Intracellular origin of milk lipid globules and the nature of structure of milk fat globule membrane. In: *Advanced dairy chemistry Lipids*, Vol. 2, Fox P.F. (Ed.), Chapman & Hall Ltd., London
- Kemp, S.E. & Beauchamp, G.K. (1994). Flavor modification by sodium chloride and monosodium glutamate. *Journal of Food Science*, 59, 682- 686
- Kilcast D., and Clegg S. 2002. Sensory perception of creaminess and its relationship with food structure. *Food Quality and Preference*, 13, 609-623
- King B.M. (1994). Sensory profiling of vanilla ice cream: Flavour and base interactions. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 27, 450-456
- Kinsella, J.E., Whitehead, D.M., Brady, J. and Bringe, N.A., (1988). Milk proteins: possible relationships of structure and function. In: *Developments in Dairy Chemistry*. 4. *Functional Milk Proteins*, P. F. Fox (Ed.), pp. 55-95, Applied Science Publishers, London, UK
- Kloek W., Walstra P., & van Vliet T., (2000). Nucleation kinetics of emulsified triglyceride mixtures. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77, 389-398
- Knudsen K.E.B., & Hessov I. (1995). Recovery of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in the small intestine of man. *British Journal of Nutrition*, 74, 101-113
- Kokini J., & van Aken G. (2006). Discussion session on food emulsions and foams. *Food Hydrocolloids*, 20, 438-445
- Kokini J.L., and Cussler E.L. 1983. Predicting the texture of liquid and melting semi-solids foods. *Journal of Food Science*, 48(2), 1221-1225

- Kokubo S.K., Sakurai K., Hakamata K., Tomita M., & Yoshida S. (1996). The effect of manufacturing conditions on the de-emulsification of fat globules in ice cream. *Milchwissenschaft*, 51, 262-265
- Kosikowski F.V. (1981). Properties of commercial flavored frozen yogurts, *Journal of Food Protection*, 44, 853-856.
- Koxholt M., McIntosh T., Eisenmann B., (1998). Enhanced stability of ice-cream by using particulated whey proteins. *Eur. Dairy Mag.* (1), 14-15
- Koxholt M.M.R., Eisenmann B., & Hinrichs J., (2001). Effect of fat globules sizes on the meltdown of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 84, 31-37
- Koxholt, M., Eisenmann, B., & Hinrichs, J. (2000). Effect of process parameters on the structure of ice-cream. Possible methods of optimizing freezer technology. *European Dairy Magazine*(January), 27-30
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., & Deeth, H. (2003). Of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *International Dairy Journal*, 13, 3-13.
- Krog N.J., & Sparsø F.V., (2004). Food emulsifiers: their chemical and physical properties. In: Friberg SE, Larrson K, Sjoblom J, (Eds.) *Food emulsions*. 4th ed. Marcel Dekker Inc.,. New York:
- Kus S., Altan A., & Kaya A., (2005). Rheological behavior and time dependent characterization of ice cream mix with different salep content. *Journal of Texture Studies*, 36, 273-288
- Lal S.N.D., O'Connor J.C., & Eyres L., (2006). Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. *Advances in colloid and intersurface science*, 123-126, 433-437
- Laroia S. & Martin J.H. (1991). Effect of pH on survival of *Bifidobacterium bifidum* and *Lactobacillus acidophilus* in frozen fermented desserts. *Cultured Dairy Products Journal*, 11, 13-21.
- Lazaridou A., Biliaderis C.G., & Izydorczyk M.S. (2007). Cereals B-glucans: structures, physical properties and physiological functions. In: Biliaderis C., Izydorczyk M.S., *Functional food carbohydrates*, ch.1 (pp. 1-58). New York: Taylor & Francis Group LCC
- Lee, F.Y., & White, C.H. (1991). Effect of ultrafiltration retentates and whey protein concentrates on ice-cream quality during storage. *Journal of Dairy Science*, 74, 1170-1173
- Lesens et al., (2002). Frozen dessert containing lactic acid bacteria. U.S. Patent, 6,399,124
- Li Z., Marshall R.T., & Heymann H., & Fernando L., (1997). Effect of milk fat content on flavour perception of vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*, 80, 3133-3141
- Lillford, P.J., (1998). Frozen food product containing heat stable antifreeze protein. Unilever, assignee. *Eur. Pat. No. WO 98/04699*.
- Lindamood, J.B., Grooms, D.J., & Hanson, P.M.T., (1989). Effect of hydrolysis of lactose and sucrose on firmness of ice cream. *Food Hydrocolloids* 3, 379-388
- Liou B.K., & Grun I.U., (2007). Effect of fat level on the perception of five flavor chemicals in ice cream with or without fat mimetics by using a descriptive test. *Journal of Food Science*, 72, S595-S604
- Livney Y.D., Donhowe D.P, & Hartel R.W. (1995). Influence of temperature on crystallization of lactose in ice cream. *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 311-320
- Lopez C., Lesieur P., Keller G., & Ollivon M. (2000). Thermal behavior of milkfat 1: Unstable species of cream. *Journal of Colloid and Interface Science*, 22, 62-71
- Lopez M.C., Medina L.M. & Jordano R. (1998). Survival of Lactic Acid Bacteria in Commercial Frozen Yogurt. *Journal of Food Science*, 63, 4, 706-708.
- Lucas T., Le Ray D., Barey P., & Mariette F. (2004). NMR assessment of ice cream: Effect of formulation on liquid and solid fat. *International Dairy Journal*, 15, 1225-1233
- Luz Fernandez M. (2001). Pectin: Composition, chemistry, physicochemical properties, food applications and physiological effects. In: Sungsoo Cho S., Dreher M.S., *Handbook of dietary fiber* ch. 30, New York: Taylor and Francis Group LCC

- MacFie H.J.H., & Hedderley D. (1993). Current practice in relating sensory perception to instrumental measurements. *Food Quality and Preference*, 4, 41-49
- Mackie, A.R., Gunning, A.P., Wilde, P.J., & Morris, V.J. (1999). The orogenic displacement of protein from the air-water interface by surfactant. *Journal of Colloid and Interface Science*, 210, 157-166
- Maia M.C.A., Galvão A.P.G.L.K., Modesta R.C.D., & Pereira Júnior N. (2008). Consumer evaluation of ice cream with xylitol. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 28(2) 341-342
- Maier H., Anderson M., Karl G., Magnuson K., & Whistler R.L., (1993). Guar, locust bean, tara and fenugreek gums. In: *Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives*, Ed. Whistler R.L., & BeMiller J.N., 3rd ed., Academic Press Inc., San Diego, USA
- Majamaa, H. & Isolauri, E. (1997) Probiotics: a novel approach in the management of food allergy. *Journal of Allergy Clinical Immunology*, 99, 179-185
- Marentes E., Griffith M., Mlynarz A., & Brush A.R., (1993). Proteins accumulate in the apoplast of winter rye leaves during cold acclimation. *Plant Physiology*, 87, 499-507
- Mariette F., & Lucas T., (2005). NMR Signal analysis to attribute the components to the solid/liquid phases present in mixes and ice creams. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1317-1327
- Marks J. (2004). Successful probiotic bifidobacteria. In: *Handbook of Functional Dairy Products*, Shortt C., O'Brien J. (Eds.), CRC Press, Boca Raton, US
- Marshall R.T., Goff H.D., & Hartel R.W. (2003). *Ice cream*. 3rd ed. New York: Aspen Publishers
- Marteau P., de Vrese M., Cellier C., & Schrezenmeir J., (2001). Protection from gastrointestinal diseases with the use of probiotics, *American Journal of Clinical Nutrition*, 73, S430-S436
- Martens H., & Martens M., (2000). Modified Jack-knife estimation of parameter uncertainty in bilinear modeling by partial least squares regression (PLSR). *Food Quality and Preference*, 11, 5-16
- Martens M., Bredie W.L.P., & Martens H. (2000). Sensory profiling data studied by partial least squares regression. *Food Quality and Preference*, 11, 147-149
- Martin D.R., Ablett S. & Izzard M.J. (2001) in *Magnetic Resonance in Food Science: a view to the future*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, Ed. Webb G.A., Belton P.S., Gil A.M. & Delgadillo I., 172-177.
- Martin D.R., Ablett S., Darke A., Sutton R.L. & Sahagian M. (1999). Diffusion of aqueous sugar solutions as affected by locust bean gum studied by NMR. *Journal of Food Science*, 64, 46-49.
- Martinez S.B., & Speckman R.A., (1988). β -galactosidase treatment of frozen dairy product mixes containing whey. *Journal of Dairy Science*, 71, 893-900
- Martinou-Voulasiki, I. S., & Zerfiridis G.K., (1990). Effect of some stabilizers on textural and sensory characteristics of yogurt ice cream from sheep's milk. *Journal of Food Science* 55, 703-709
- Mashayekh M. & Brown R.J. (1992). Stability of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* and β -galactosidase activity in frozen cultured ice cream. *Cultured Dairy Products Journal*, 27, 4-8.
- Mastronicolis S.K., Diakogiannis I., Berberi A., Bisbiroulas P., Soukoulis C., & Tzia C., (submitted). Fate of cold adapted and non adapted *Listeria monocytogenes* in different ice cream formulations. *International Journal of Dairy Technology*
- Mc Clements D.J. (1999). *Food Emulsions: principles, practice and techniques*, Boca Raton: CRC Press
- Medina L.M. & Jordano R. (1994). Survival of constitutive microflora in commercially fermented milk containing bifidobacteria during refrigerated storage. *Journal of Food Protection*, 56, 731-733.
- Medina L.M. & Jordano R. (1995). Population dynamics of constitutive microbiota in BAT type fermented milk products. *Journal of Food Protection*, 58(1), 70-76.

- Metin S., & Hartel R.W., (1996). Crystallization behavior of cocoa butter and milk fat or milk fat fractions. *Journal of Thermal Analysis*, 47, 1527-1544
- Metwally A.M.M.E. (2007). Effect of enzymatic cross-linking of milk proteins on properties of ice cream with different composition. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 939-947
- Meunier V., Nicolai T., Durand D., & Parker A. (1999). Light scattering and viscoelasticity of aggregating and gelling κ-carrageenan. *Macromolecules* 32, 2610
- Miettinen M.K., Bjorkroth K.J., & Korkeala H.L., (1999). Characterization of *Listeria monocytogenes* from an ice cream plant by serotyping and pulsed - field gel electrophoresis. *International Journal of Food Microbiology*, 46, 187-192
- Miettinen S.M., Piironen V., Tuorila H., & Hyvonen L., (2002). Electronic and human nose in the detection of aroma differences between strawberry ice cream of varying fat content. *Journal of Food Science*, 67, 425-430
- Miller-Livney T., and Hartel R.W. (1997). Ice recrystallization in ice cream: Interactions between sweeteners and stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 80, 447-456
- Morley R.G. (1984). Frozen yogurt product. U.S. Patent 4,427,701
- Morris V.J., (2006). Bacterial polysaccharides. In: *Food Polysaccharides and their applications*. Stephen A.M., Philips G.O., & Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Motta, L., Blancato, G., Scornavacca, G., De Luca, M., Vasquez, E., Gismondo, M.R., Lo Bue, A. & Chisari, G. (1991). Study on the activity of a therapeutic bacterial combination in intestinal motility disorders in the aged. *Clinical Ter*, 138, 27-35
- Muhr A.H., & Blanshard J.M., (1986a). Effect of polysaccharide stabilizers on the nucleation of ice. *Journal of Food Technology*, 21, 587-603
- Muhr A.H., & Blanshard J.M., (1986b). Effect of polysaccharide stabilizers on the rate of growth of ice. *Journal of Food Technology*, 21, 683-710
- Muhr A.H., & Blanshard J.M.V. (1984). The effect of polysaccharides stabilizers on ice crystal formation. In: *Gums and Stabilizers for the Food Industry*, 2. Application of hydrocolloids, Phillips G.O., Wedlock O.J., & Williams P.A., (Eds.), Pergamon Press, Oxford, UK
- Mullin J. W., (1993). *Crystallization*. London: Butterworth-Heinemann
- Muse M.R., and Hartel R.W. (2004). Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of Dairy Science*, 87, 1-10
- Nabors O.B.L. (2002). *Alternative sweeteners*. Marcel Dekker, New York
- Nazaruddin R., Syaliza A.S., & Wan Rosnani A.I., (2008). The effect of vegetable fat on the physicochemical characteristics of dates ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 63, 265-269
- Nickerson T.A., (1954). Lactose crystallization in ice cream: II. Factors affecting rate and quality. *Journal of Dairy Science*, 39,1342-1350
- Niness K.R., (1999). Nutritional and health benefits of inulin and oligofructose. Inulin and oligofructose: What are they? *The Journal of Nutrition (Suppl.1)*, 1402S-1406S
- Nor Hayati I., Che Man Y.B., Tan C.P., & Nor Aini I., (2007). Stability and rheology of concentrated O/W emulsions based soyabean/palm kernel olein blends. *Food Research International* 40, 1041-1051
- Ogden V. L. (1993). In: Hui Y.H., *Dairy Science and Technology Handbook*, ch.3, New York, VCH Publishers
- Ohmes R.L., Marshall R.T., & Heymann H., (2002). Sensory and physical properties of ice creams containing milk fat and fat replacers. *Journal of Dairy Science*, 81, 1222-1228
- Olson D.W., White C.H., & Watson C.E., (2003). Properties of frozen dairy desserts processed by microfluidization of their mixes. *Journal of Dairy Science*, 86, 1157-1162
- Opdahl, L.J., & Baer R.J., (1991). Composition and consumer acceptance of frozen yogurt utilizing whey protein concentrates. *Journal of Dairy Science*, 74, 4151-4163

- Ordonez G.A., Jeon I.J., & Roberts H.A., (2000). Ultrafiltered milk and probiotic lactic acid bacteria. *Journal of Food Processing Preservation*, 24, 163-176
- Ozdemir C., Dagdemir E., Ozdemir S., & Sagdic O. (2008). The effects of using alternative sweeteners to sucrose on ice cream quality. *Journal of Food Quality*, 31, 415-428
- Ozdemir C., Demirci M., Ozdemir S., & Sagdic O., (2005). Production and some properties of yoghurt ice cream in Turkey. *Milchwissenschaft*, 60, 419-422
- Papademas P., & Bintsis T., (2002). Microbiology of ice cream and related products. In: *Dairy Microbiology Handbook*, Ed. Robinson R.K., 3rd ed., Wiley interscience, Inc., New York, USA
- Parsons J.G., Dybing S.T., Coder D.S., Spurgeon K.R., & Seas S.W., (1985). Acceptability of ice cream made with processed wheys and sodium caseinate. *Journal of Dairy Science*, 68, 2880-2885
- Parsons, J.G., Dybing S.T., Coder D.S., Spurgeon K.R., & Seas S.W., (1985). Acceptability of ice cream made with processed wheys and sodium caseinate. *Journal of Dairy Science*, 68, 2880-2885
- Patel M.R., Baer R.J., & Acharya M.R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 89, 1400-1406
- Patino, J. M. R., & Nino, M. R. R. (1995). Protein adsorption and protein-lipid interactions at the air-aqueous solution interface. *Colloids and Surfaces A*, 103, 91-103
- Patmore J.V., Goff H.D., & Fernandes S. (2003). Cryogelation of galactomannans on ice cream model systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 161-169
- Pearce R.S. (2001). Plant freezing and damage. *Annals Botanic*, 87,417-424
- Pelan B.M.C., Watts K.M., Campbell I.J., & Lips A., (1997). The stability of aerated milk protein emulsions in the presence of small molecule surfactants. *Journal of Dairy Science*, 80, 2631-2638
- Piculle L., (2006). Gelling carrageenans. In: *Food Polysaccharides and their applications*. Stephen A.M., Philips G.O., & Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Piggott J.R. (1988). *Statistical procedures in food research*. England: Elsevier Applied Science Publishers
- Plug H., & Harring P. (1994). The influence of flavor ingredient interactions on flavor perception. *Food Quality and Preference*, 5, 95-102
- Portmann M.O., & Birch G.G. (1997). Sweet taste and solution properties of α -trehalose as a new cryoprotectants sugar. In: *Advances in sweeteners*. Blackie Academic & Professional Ltd., London, UK
- Prescott J., Ripandelli N., and Wakeling I. (2001). Binary taste mixture interactions in PROP non-tasters, medium-tasters, and super-tasters. *Chemical Senses*, 26, 993-1003
- Prindiville E.A., Marshall R.T., & Heymann H., (1999). Effect of milk fat on the sensory properties of chocolate ice cream. *Journal of Dairy Science*, 82, 1425-1432
- Prindiville E.A., Marshall R.T., & Heymann H., (2000). Effect of milk fat, cocoa butter, and whey protein fat replacers on the sensory properties of low fat and nonfat chocolate ice cream. *Journal of Dairy Science*, 83, 2094-2100
- Prinz J.F., & Lucas P.W. (2000). Saliva tannin interactions. *Journal of Oral Rehabilitation*, 27, 991-994
- Pyne A., Surana R. & Suryanarayanan R. (2003). Enthalpic relaxation in frozen aqueous trehalose solutions. *Thermochimica Acta*, 405, 225-234.
- Ranjan S. & Baer R.J., (2005). Effects of milk fat and homogenization on the texture of ice cream. *Milchwissenschaft*, 60, 189-192
- Ravula R.R., & Shah N.P., (1998). Effect of acid casein hydrolysate and cysteine on the viability of yogurt and probiotic bacteria of fermented frozen dairy desserts, *Australian Journal of Dairy Technology* 53,175-178
- Raymond J.A., & DeVries A.L., (1977) Adsorption inhibition as a mechanism of freezing resistance in polar fishes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 74, 2589-2593

- Regand A., & Goff H.D. (2003). Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 95-102
- Regand A., & Goff H.D., (2002). Effects of biopolymers on structure and ice recrystallization in dynamically frozen ice cream model systems. *Journal of Dairy Science*, 85, 2722-2732
- Regand A., & Goff H.D., (2005). Freezing and ice recrystallization properties of sucrose solutions containing ice structuring proteins from cold acclimated winter wheat grass extract. *Journal of Food Science*, 70, E552-E556
- Regand A., & Goff H.D., (2006). Ice recrystallization inhibition in ice cream as affected by ice structuring properties from winter wheat grass. *Journal of Dairy Science*, 89, 49-57
- Relkin P., & Sourdet S. (2005). Factors affecting fat droplet aggregation in whipped frozen protein-stabilized emulsions. *Food Hydrocolloids*, 19, 503-511
- Relkin P., Sourdet S., Smith A.K., Goff H.D., & Cuvelier G., (2006). Effects of whey protein aggregation on fat globule microstructure in whipped-frozen emulsions. *Food Hydrocolloids*, 20, 1050-1056
- Relkin, P., Ait-Taleb, A., Sourdet, S., & Fosseux, P.Y., (2003). Thermal behaviour of fat droplets as related to adsorbed milk proteins in complex food emulsions. A DSC study. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 80, 741-746.
- Relkin, P., Sourdet, S., & Fosseux, P.Y., (2003a). Fat crystallization in complex food emulsions: effects of adsorbed milk proteins and of a whipping process. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 71, 183-191
- Roberfroid M., Van Loo J., Gibson G. (1998). The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *Journal of Nutrition*, 128, 11-19
- Rogers M.A., Roos Y.H., & Goff H.D. (2006). Structural heterogeneity and its effect on glass transition in sucrose solutions containing protein and polysaccharide. *Food Hydrocolloids*, 20, 774-779
- Roland, A. M., Phillips L. G., and Boor K. J., (1999a). Effects of fat replacers on the on the sensory properties, melting, color, and hardness of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 82, 32-38
- Roland, A. M., Phillips L. G., and Boor K. J., (1999b). Effects of fat content on the sensory properties, melting, color, and hardness of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 82, 32-38
- Roos Y. & Karel M., (1991a). Phase transitions of amorphous sucrose solutions. *Journal of Food Science* 56, 256.
- Roos Y. & Karel M., (1991b). Phase transitions of mixtures of amorphous polysaccharides and sugars. *Biotechnology Progress*, 7, 49.
- Roos Y. & Karel M., (1991c). Water and molecular weight effects on glass transitions in amorphous carbohydrates and carbohydrate solutions. *Journal of Food Science*, 56, 1676-1681.
- Roos Y. (2007). *Phase transitions and transformations in food systems*. Taylor and Francis LCC Inc., New York.
- Roquette (2001). *Polyols*. France, Roquette Freres.
- Rousseau D., (2000). Fat crystals and emulsion stability - a review. *Food Research International*, 33, 3-14
- Roy D., (2005). Technological aspects related to the use of bifidobacteria in dairy products. *Lait*, 85, 39-56
- Roy, D. (2005). Technological aspects related to the use of bifidobacteria in dairy products. *Lait*, 85, 39-56
- Ruben Abril J., Stull W.J., Taylor R.R., Angus R.C., & Daniel T.C. (1982). Characteristics of Frozen Desserts Sweetened with Xylitol and Fructose. *Journal of Food Science*, 47, 472-475
- Ruger P.R., Baer R.J., & Kasperson K.M., (2002). Effect of double homogenization and whey protein concentrate on the texture of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 85, 1684-1692

- Russell, A. B., Cheney, P. E., & Wantling, S. D. (1999). Influence of freezing conditions on ice crystallization in ice cream. *Journal of Food Engineering*, 39, 179-191
- Russell, A.B., Burmester, S.S.H., & Winch, P.J., (1997). Characterisation of shear thinning flow within a scraped surface heat exchanger. *Transactions of IChemE - Part C: Food and Bioproducts Processing*, 75, 191-197
- Sahagian M.E., & Goff H.D. (1995). Thermal, mechanical and molecular relaxation properties of stabilized sucrose solutions at sub-zero temperatures. *Food Research International*, 28, 1-8
- Sahagian M.E., & Goff H.D. (1996). Fundamental aspects of the freezing process. In: *Freezing effects on food quality*. Ed. Jeremiah L.E., Marcel Dekker, Inc., New York, USA
- Sahagian M.E., & Goff H.D., (1996). Fundamental aspects of the freezing process. In: Jeremiah L.E., *Freezing effects on food quality*, ch.1 (pp. 1-50) New York: Marcel Dekker
- Sakurai, K., Kokubo, S., Hakamata, K., Tomita, M., & Yoshida, S. (1996). Effect of production conditions on ice cream melting conditions and hardness. *Milchwissenschaft*, 51(8), 451-454
- Salama F.M.M., 2004. The use of some natural sweeteners in ice cream manufacture. *Egyptian Journal of Dairy Science*, 32(2), 355-366
- Salminen S. & Hallikainen A.,(2002). Sweeteners. In: *Food Additives*, 2nd ed., Marcel Dekker, New York
- Salminen S., Playne M., & Kun Lee Y., (2004). Successful probiotic lactobacilli: Human studies on probiotic efficacy. In: *Handbook of Functional Dairy Products*, Shortt C., O'Brien J. (Eds.), CRC Press, Boca Raton, US
- Schaller-Povolny & Smith D.E. (1999). Sensory attributes and storage life of reduced fat ice cream as related to inulin content. *Journal of Food Science*, 64, 555-559
- Schaller-Povolny & Smith D.E. (2001). Viscosity and freezing point of a reduced fat ice cream mix as related to inulin content. *Milchwissenschaft*, 56, 25-28
- Schmidt K.A., & Smith D.E., (1992). Milk reactivity of gum and milk protein solutions. *Journal of Dairy Science*, 75, 3290-3295
- Schmidt K.A. & Smith D.E. (1989). Effects of varying homogenization pressure on the physical properties of vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*, 72, 378-384
- Schmidt K.A., & Smith D.E., (1988). Effects of homogenization on sensory characteristics of vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*, 71, 46-51
- Schorsch, C., Jones, M. G., & Norton, I. T. (2000). Phase behaviour of pure micellar casein/k-carrageenan systems in milk salt ultrafiltrate. *Food Hydrocolloids*, 14, 347-358
- Schorsch, C., Jones, M., & Norton, I. T. (1999). Thermodynamic incompatibility and microstructure of milk protein/locust bean gum/sucrose systems. *Food Hydrocolloids*, 13, 89-99
- Schulbach K.E., Rouseff R.L., & Sims C.A., (2004). Relating descriptive sensory analysis to gas chromatography/olfactometry ratings of fresh strawberries using partial least squares regression. *Journal of Food Science*, 69, S273-S277
- Schwartzberg, H.G., & Liu Y., (1990) Ice crystal growth on chilled scraped surfaces. Paper No. 2g, American Institution of Chemical Engineers Summer National Meeting, San Diego, CA, 19-22 August
- Schwartzberg, H.G., (1990). Food freeze concentration. In: H.G. Schwartzberg, & M.A. Rao, *Biotechnology and food process engineering*, Marcel Dekker, New York
- Segall K.I., & Goff H.D., (2002). Secondary adsorption of milk proteins from the continuous phase to the oil-water interface in dairy emulsions. *International Dairy Journal*, 12, 889-897
- Shah N.P., & Ravula R.R., (2000). Microencapsulation of probiotic bacteria and their survival in frozen fermented dairy desserts. *Australian Journal of Dairy Technology*. 55, 139-144
- Shah, N. P. (1997). Bifidobacteria: Characteristics and potential for application in fermented dairy products. *Milchwissenschaft*, 52, 16-20

- Shanahan, F., 2002, Probiotics and inflammatory bowel disease: from fads and fantasy to facts and future, *British Journal of Nutrition*, 88, 5-9
- Sharma H.K., Prasad K., Jindal S., Sood P., & Pandey H., (2003). Optimization of ingredients for the manufacture of soft-serve ice cream (Softy) by response surface methodology (RSM). *International Journal of Dairy Technology*, 56, 22-25
- Sheu T.Y., Marshall R.T., & Heymann H. (1993). Improving survival of culture bacteria in frozen desserts by microencapsulation. *Journal of Dairy Journal*, 76, 1902-1907
- Shirai Y., Nakanishi K., Matsuno R., & Kamikubo T., (1985). Effects of polymers on secondary nucleation of ice crystals. *Journal of Food Science*, 50, 401 -
- Singh H., (2006). The milk fat globule membrane - A biophysical system for food applications. *Current Opinion in Colloid & Interface*, 11, 154-163
- Slade L., & Levine H. (1991). Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. In: FM Clydesdale, Ed., *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. (pp. 155-360) Boca Raton: CRC Press
- Slade L., & Levine H. (1992). Glass transitions in foods, In: *Physical chemistry of foods*, Ed. Schwartzberg H.G., Hartel R.W., 1st ed., Marcel Dekker Inc., New York, USA
- Smith A.K., Goff H.D., & Kakuda, Y. (2000). Microstructure and rheological properties of whipped cream as affected by heat treatment and addition of stabilizer to the cream. *International Dairy Journal*, 10, 295-301
- Smith C.E., Schwartzberg H.G., (1985). Ice crystal changes during ripening in freeze concentration. *Biotechnology Progress*, 1, 111-117
- Smith D.E., Bakshi A.S. & Lomauro C.J., (1984). Changes in freezing point and rheological properties of ice cream mix as a function of sweetener system and whey substitution. *Milchwissenschaft*, 39, 455-458
- Smits G. & Fripiat A. (1993). Compositions having a creamy structure and containing fructan, preparation method therefore and uses thereof. Patent Application WO 93,06744
- Snoeren, T. H. M., Both, P., & Schmidt, D. G. (1976). An electronmicroscopic study of carrageenan and its interaction with k-casein. *Netherlands Milk Dairy Journal*, 30, 132-141.
- Snoeren, T. H. M., Payens, T. A. J., Jeunink, J., & Both, P. (1975). Electrostatic interaction between k-carrageenan and k-casein. *Milchwissenschaft*, 30, 393-396
- Sodawala S., & Garside J., (1997). Ice nucleation on cold surfaces: application to scraped surface heat exchangers. Paper No. 38f. American Institution of Chemical Engineers Annual Meeting, Los Angeles, California, 16-21 November
- Sofjan R.P., & Hartel R.W. (2004). Effects of overrun on structural and physical properties characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14, 255-262
- Sopade P.A., Lee S.B., Whiter E.T., and Halley P.J., (2007). Glass transition phenomena in molasses. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 1117-1122
- Soukoulis C. & Tzia C. (2009). Mapping of the sensory characteristics and acceptability of chocolate ice cream containing alternative sweetening agents using response surface methodology, *Journal of Sensory Studies*, (accepted- April 4th 2009)
- Soukoulis C., & Tzia C. (2008a). Impact of the acidification process, hydrocolloids and protein fortifiers on the physical and sensory properties of frozen yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 61,170-177
- Soukoulis C., & Tzia C. (2008b). Evaluation of alternative sugar solids ingredients effects on the phase transition phenomena, rheology and texture of ice cream. 1st IDF Greek Conference on milk and its products, October, Athens, Greece
- Soukoulis C., Chandrinis I. & Tzia C., (2008). Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with k-carrageenan on the storage quality of vanilla ice cream. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1816-1827
- Soukoulis C., Lebesi D., & Tzia C., (2009). Enrichment of ice cream with dietary fiber: Effects on the rheological properties, ice crystallization and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 665-671

- Soukoulis C., Lyroni E., & Tzia C. (2009). Sensory profiling of low fat probiotic ice cream containing different hydrocolloids and investigation of the hedonic and descriptive judgements interrelationships using PLSR, *Food Research International* (revised)
- Soukoulis C., Panagiotidis P., Koureli R., & Tzia C., (2007). Industrial yogurt manufacture: Monitoring of the fermentation process and improvement of final product quality. *Journal of Dairy Science*, 90, 2641-2654
- Speck M.I. & Geoffrion J.W. (1980). Lactase and starter culture survival in heated and frozen yogurts. *Journal of Food Protection*, 1, 26-29.
- Speck M.I. & Hansen A. (1983). Properties of frozen non- fruit yogurts. *Cultured Dairy Products Journal*, 11, 6-9.
- Specter S.E., & Setzer C.S. (1994). Sensory and physical properties of a reduced calorie frozen dessert system made with milk fat and sucrose substitutes. *Journal of Dairy Science*, 77, 708-717
- Stampanoni-Koeflerli C.R., Piccinali P., & Sigrist S. (1996). The influence of fat, sugar and non fat milk solids on selected taste, flavor and texture parameters of a vanilla ice cream. *Food Quality and Preference*, 7, 69-79
- Stressmann M., Kita S., Griffith M., Moresoli C., Bravo L.A., & Marangoni A.G. (2004). Calcium interacts with antifreeze proteins and chitinase from cold-acclimated winter rye. *Plant Physiology*, 135, 364-376
- Sutton R.L., Lips A., Piccirillo J. & Sztchlo A. (1996). Kinetics of ice recrystallization in aqueous fructose solutions. *Journal of Food Science*, 61, 741-745.
- Sutton R.L., Wilcox J. (1998a). Thermal, mechanical and molecular relaxation properties of stabilized sucrose solutions at sub-zero temperatures. *Food Research International*, 28, 1-8.
- Sutton R.L., Wilcox J. (1998b). Recrystallization in model ice cream solutions as affected by stabilizer concentration. *Journal of Food Science*, 63, 9-11.
- Sworn G., (2000). Xanthan gum. In: *Handbook of Hydrocolloids*, Philips G.O., Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Tadanori S., Takehiko G. & Arima Y. (2002). Growth rate and morphology of ice crystals growing in a solution of trehalose and water. *Journal of Crystal Growth*, 240, 218-229.
- Tait M.J., Finney D.J., & Narhan S.K., (2003). Ice cream - Dietary importance. In: *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. Caballero B., (Ed.). Elsevier Ltd., pp. 3233-3236
- Talwalkar, A. I., & Kailasapathy, K. A. (2004). A review of oxygen toxicity in probiotic yoghurts: Influence on the survival of probiotic bacteria and protective techniques. *Critical Reviews in Food Science and Safety*, 3, 117-124
- Tamime Y.A., & Robinson R.K. (2007). *Yogurt: Science and Technology*. 3rd ed., Cambridge, Woodhead Publishing Ltd.
- Tanaka, R., Hatakeyama, T., & Hatakeyama, H. (1998). Interaction between polymer molecules in locust bean gum-water systems during cooling and freezing processes. In G. O. Philips & D. J. Wedlock & P. A. Williams (Eds.), (pp. 43). *Gums and stabilisers for the food industry*, 9. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Teh Y.H., Dougherty M.P., & Camire M.E., (2005). Frozen blueberry-soy dessert quality. *Journal of Food Science*, 70, S119-S122
- Tenehaus M., Pages J., Ambroisine L., & Guinot C. (2005). PLS methodology to study relationships between hedonic judgements and product characteristics. *Food Quality and Preference*, 16, 315-325
- Terta M., Blekas G., & Paraskevopoulou A., (2006). Retention of selected aroma compounds by polysaccharide solutions: A thermodynamic and kinetic approach. *Food Hydrocolloids*, 20, 863-871
- The Y.H., Dougherty M.P., & Camire M.E., (2005). Frozen blueberry soy dessert quality. *Journal of Food Science*, 70, S119-S122
- Thebaudin J.Y., Lefebvre A.C., Harrington M., & Bourgeois C.M. (1997). Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 41-49.

- Therkelsen G.H., (1993). Carrageenan. In: Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives, Ed. Whistler R.L., & BeMiller J.N., 3rd ed., Academic Press Inc., San Diego, USA
- Thiebaud M., Dumay E.M., & Cheftel, J.C. (2002). Pressure-shift freezing of o/w emulsions: influence of fructose and sodium alginate on undercooling, nucleation, freezing kinetics and ice crystal size distribution. *Food Hydrocolloids*, 16, 527-545
- Thompson I.D. & Mistry A.N. (1994). Compositional changes in frozen yogurt during fermentation, frozen storage and soft serve freezing. *Cultured Dairy Products Journal*, 29, 12-17
- Thomsen, M., & Holtsborg, J. (1998). The effect of homogenization pressure and emulsifier type on ice cream mix and finished ice cream. In W. Buchheim, Ice cream (pp. 105-111). International Dairy Federation, Special Issue 9803. Brussels, Belgium
- Tieszen K.M. & Baer R.J. (1989). Composition and microbiological quality of frozen yogurts. *Cultured Dairy Products Journal*, 24, 11-14.
- Timms R.E., (1985). Physical properties of oils and mixtures of oils. *Journal of American Oil Chemists Society*, 62, 241-249
- Tolstoguzov V. (2006). Phase behavior of mixed polysaccharide systems. In: Food Polysaccharides and their applications, ch.17 (pp. 589-620). New York: Taylor & Francis Group LCC
- Tolstoguzov V. (2003). Some thermodynamic considerations in food formulation. *Food Hydrocolloids*, 17, 1-23
- Tolstoguzov, V.B., (1991). Functional properties of food proteins and role of protein-polysaccharide interaction. *Food Hydrocolloids*, 4, 429-468
- Tong P.S., Jordan W.K., & Houghton G. (1984). Response surface methodology to study fat destabilization and development of overrun in ice creams produced with polyunsaturated safflower oil and milk fat blends. *Journal of Dairy Science*, 67, 779-793
- Tournier C., Martin C., Guichard E., Issanchou S., & Sulmont-Rosse C. (2007). Contribution to the understanding of consumers' creaminess concept: A sensory and a verbal approach. *International Dairy Journal*, 17, 555-564
- Trgo C., Koxholt M.M.R., & Kessler H.G. (1999). Effect of freezing point and texture regulating parameters on the initial ice crystal growth in ice cream. *Journal of Dairy Science*, 82, 460-465
- Trumbo P., Schlicker S., Yates A., & Poos M. (2002). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. *Journal of the American Dietetic Association* 102(11): 1621-1630.
- Tungland B.C. & Meyer D. (2002). Nondigestible oligo and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 1: 73-92
- Tuorila, H., Somnardahl, C. & Hyvonen, L. (1995). Does fat affect the timing of flavour perception? A case study with yoghurt. *Food Quality and Preference*, 6, 55-58
- Udabage P., & Augustin M.A. (2003). Dairy ingredients in ice cream. *The Australian Journal of Dairy Technology*, 58, 21-25
- Udabage P., Augustin M.A., Cheng L.J., Williams R.P.W. (2005). Physical behavior of dairy ingredients during ice cream processing. *Lait*, 85, 383-394
- Urrutia M.E., Duman J.G., & Knight C.A., (1992). Plant thermal hysteresis proteins. *Biochimica et biophysica acta: International Journal of Biochemistry and Biophysics*. 1121, 199-206
- Van Camp, J., Van Calenberg, S., Van Oostveldt, P., & Huyghebaert, A. (1996). Aerating properties of emulsions stabilized by sodium caseinate and whey protein concentrate. *Milchwissenschaft*, 51, 310-315
- Van den Heuvel E., Muys T., Van Dokkum W., Schaafsma G. (1999). Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69, 544-548

- Van Loo J., Coussement P., De Leenheer L., Hoebregs H., & Smits G. (1995). On the presence of inulin and Oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 525-552
- Vanapalli, S. A., & Coupland, J. N. (2001). Emulsions under shear – The formation and properties of partially coalesced lipid structures. *Food Hydrocolloids*, 15, 507-512
- Varnam A.H., & Sutherland J.P., (1993). *Milk and Milk Products: Technology, Chemistry and Microbiology*, Chapman & Hall, London
- Vasiljevic, T., & Shah, N.P., (2008). Probiotics -From Metchnikoff to bio-actives. *International Dairy Journal*, 18, 714-728
- Vega C. & Goff H.D. (2005). Phase separation in soft-serve ice cream mixes: rheology and microstructure. *International Dairy Journal*, 15, 249-254
- Vega C., Andrew R.A., & Goff H.D., (2004). Serum separation in soft-serve ice cream mixes. *Milchwissenschaft*, 59, 284-287
- Viebke C., Picullel L., & Nilsson S. (1994). On the mechanism of gelation of helix-forming biopolymers. *Macromolecules*, 27, 4160
- Villegas B., & Costell E. (2007). Flow behavior of inulin-milk beverages. Influence of inulin average chain length and of milk fat content. *International Dairy Journal*, 17, 776-781
- Vingerhoeds M.H., Silletti E., de Groot J., Scipper R.G., and van Aken G. 2009. Relating the effect of saliva-induced emulsion flocculation on rheological properties and retention on the tongue surface with sensory perception. *Food Hydrocolloids*, 23, 773-785
- Von Rymon Lipinski G.W., & Hanger L.Y., (2002). Acesulfame K. In: *Alternative sweeteners*, Nabors O.B., (Ed.) Marcel Dekker, New York
- Voragen A.G.J. (1998). Technological aspects of functional food-related carbohydrates. *Trends in Food Science and Technology*, 9, 328-335
- Wallingford L.W., & Labuza T.P., (1983). Evaluation of water binding properties of food hydrocolloids by physical/chemical methods, and in low fat meat emulsion. *Journal of Food Science*, 48, 1-4
- Walstra P., Wouters J.T.M., & Geurts T.M., (2006). *Dairy Science and Technology*, 2nd ed., CRC Taylor & Francis Inc., New York
- Wang G.M. & Haymet A.D.H. (1998). Trehalose and other sugar solutions at low temperature: Modulated differential scanning calorimetry (MDSC). *Journal of Physical Chemistry*, 102, 5341-5347.
- Wang Y.J., (2004). Saccharides: Modifications and applications. In: *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*, Tomasik P., (Ed.). CRC Taylor & Francis LCC, New York
- Welty W.M., Marshall R.T., Grun I.U., & Ellersieck M.R., (2001). Effects of milk fat, cocoa butter or selected fat replacers on flavor volatiles of chocolate ice cream. *Journal of Dairy Science*, 84, 21-30
- Westerbeek J.M.M. (1995). Fermented ice cream products. A healthy challenge to the ice cream industry. *Scandinavian Dairy Information*, 4, 29-31.
- Whelan A. P., Vega C., Kerry J.P. & Goff D.H. (2006). Physicochemical and sensory optimization of a low glycemic index ice cream formulation. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-7
- Whelan A.P., Regand A., Vega C., Kerry J.P. & Goff H.D. (2008). Effects of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 510-516.
- Whitehead W.E., Bodyfelt F.W. & Sandine W.E. (1993). Evaluation of the microbial quality of frozen yoghurt products. *Cultured Dairy Products Journal*, 8, 22-23.
- Wiedmann M., & Jager M., (1997). Synergistic sweeteners. *Food Ingredients International*, Nov-Dec, 51-56
- Wielinga W.C., (2000). Galactomannans. In: *Handbook of Hydrocolloids*, Philips G.O., Williams P.A. (Eds.), CRC Taylor & Francis Inc., New York

- Wierzbicki A., Dalal P., Cheatham T.E., Knickelbein J.E., Haymet A.D.J., Madura J.D., (2007). Antifreeze proteins at the ice/water interface: three calculated discriminating properties for orientation of type I proteins. *Biophysics Journal*, 93, 1442-1451
- Wildmoser H., & Windhab E. J. (2001). Impact of flow geometry and processing parameters in ultra low temperature ice-cream extrusion (ultice) on ice-cream microstructure. *European Dairy Magazine*, 5, 26-31
- Wildmoser H., Jeelani S.A.K., & Windhab E.J., (2004). Serum separation in molten ice creams produced by low temperature extrusion processes. *International Dairy Journal*, 15, 1074-1085
- Wildmoser H., Scheiwiller J., & Windhab E.J., (2004). Impact of disperse microstructure on rheology and quality aspects of ice cream. *LWT-Food Science and Technology*, 37, 881-891
- Willibald-Ettle & Schiweck F. (1997). Isomalt. In: *Advances in sweeteners*, Grenby T.H., Chapman & Hall Ltd., London
- Windhab E., & Bolliger S., (1998). Low temperature ice-cream extrusion technology and related ice cream properties. *European Dairy Magazine*, 10, 24 -28
- Wittinger S. A., & Smith D. E. (1986). Effect of sweeteners and stabilizers on selected sensory attributes and shelf life of ice cream. *Journal of Food Science*, 51, 1463-1467
- Wittinger, S.A., and Smith D.E., (1986). Effect of sweeteners and stabilizers on selected sensory attributes and shelf life of ice cream. *Journal of Food Science*, 51, 1463-1466
- Zegarska Z.A. (2003). Milk lipids. In: *Chemical and Functional Properties of Food Lipids*, Sikorski Z.E. & Kolakowska A., (Eds.), CRC Press LCC, Boca Raton, USA
- Zhang Z., & Goff H.D. (2004). Protein distribution at air interfaces in dairy foams and ice cream as affected by casein dissociation and emulsifiers. *International Dairy Journal*, 14, 647-657
- Zhang Z., & Goff H.D., (2005). On fat destabilization and composition of the air interface in ice cream containing saturated and unsaturated monoglyceride. *International Dairy Journal*, 15, 495-500
- Zhao, X.-H., & Li, D., (2008). A new approach to eliminate stress for two probiotics with chemicals in vitro. *European Food Research and Technology*, 277, 1569-1574.
- Σούκουλης Χ., & Τζιά Κ. (2007). Ζυμωμένα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος. *Γαλακτοκομία*, 17, 48-52

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ABSTRACT	iv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	viii
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	ix
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ - ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	xi
ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	xvi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	1
1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	1
1.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	2
1.3.1 ΓΑΛΑ.....	2
1.3.2 ΛΙΠΑΡΕΣ ΥΛΕΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	3
1.3.3 ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΕΣ ΥΛΕΣ	3
1.3.4 ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ	5
1.3.5 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΕΣ	5
1.3.6 ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΕΣ	6
1.3.7 ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	7
1.3.6.1 ΑΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ.....	7
1.3.6.2 ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ	7
1.3.6.3 ΛΟΙΠΕΣ ΥΛΕΣ	8
1.4 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	8
1.4.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΓΩΤΟΥ	8
1.4.1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΠΑΓΩΤΟΥ.....	8
1.4.1.1.1 ΑΝΑΜΙΞΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ.....	9
1.4.1.1.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	9
1.4.1.1.3 ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ	11
1.4.1.1.4 ΨΥΞΗ - ΩΡΙΜΑΝΣΗ	11
1.4.1.1.5 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ	12
1.4.1.2 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	12
1.4.1.2.1 ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΠΑΓΩΤΟΥ.....	12
1.4.1.2.2 ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ	13
1.4.1.2.3 ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ	14
1.4.1.2.4 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	14
1.4.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΖΥΜΩΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	15
1.5 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΓΩΤΟΥ.....	15
1.5.1 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	15
1.5.1.1 ΠΑΘΟΓΟΝΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	15
1.5.1.2 ΕΥΕΡΓΕΤΙΚΑ ΒΑΚΤΗΡΙΑ.....	17
1.5.2 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	17
1.5.3 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	17
1.5.3.1 ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	17
1.5.3.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ.....	18
1.5.3.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΜΙΓΜΑ	18

1.5.3.4 ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΑΕΡΑ.....	18
1.5.3.5 ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΙΠΑΡΩΝ.....	19
1.5.3.6 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ.....	19
1.5.3.7 ΡΥΘΜΟΣ ΤΗΞΗΣ.....	19
1.5.3.8 ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	19
1.5.3.9 ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ.....	20
1.5.4 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	20
1.5.4.1 ΕΜΦΑΝΙΣΗ.....	20
1.5.4.2 ΓΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΡΩΜΑ.....	20
1.5.4.3 ΥΦΗ.....	21
1.5.4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΞΗΣ.....	21
1.5.5 ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΑΞΙΑ.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2..... 23

2.1 Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ.....	23
2.1.1 ΤΟ ΓΑΛΑ ΚΑΙ ΤΑ ΚΟΛΛΟΕΙΔΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ.....	23
2.1.1.1 ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΑ.....	23
2.1.1.1.1 Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ.....	23
2.1.1.1.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΣ.....	24
2.1.1.1.3 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ - ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ ΑΕΡΑ.....	24
2.1.1.1.4 ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΑ ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΑΝΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.....	25
2.1.1.1.5 ΛΙΠΟΛΥΣΗ.....	25
2.1.1.2 ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ.....	26
2.1.1.2.1 ΚΑΖΕΪΝΙΚΑ ΜΥΚΚΗΛΙΑ.....	26
2.1.1.2.2 ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΟΡΟΥ.....	27
2.1.1.3 ΛΑΚΤΟΖΗ.....	27
2.1.2 ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ.....	29
2.1.2.1 ΑΠΛΑ ΣΑΚΧΑΡΑ.....	29
2.1.2.2 ΟΛΙΓΟΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ.....	31
2.1.2.3 ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ.....	35
2.1.2.3.1 ΑΛΓΙΝΙΚΑ ΑΛΑΤΑ.....	35
2.1.2.3.2 ΚΑΡΡΑΓΕΝΑΝΕΣ.....	37
2.1.2.3.3 ΓΑΛΑΚΤΟΜΑΝΝΑΝΕΣ.....	39
2.1.2.3.4 ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ.....	41
2.1.2.3.5 ΚΟΜΜΙ ΞΑΝΘΑΝΗΣ.....	43
2.1.2.3.6 ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ.....	45
2.1.2.4 ΠΟΛΥΟΛΕΣ.....	46
2.1.2.5 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΑΚΧΑΡΑ.....	48
2.1.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΑΝΕΥ ΛΙΠΟΥΣ (ΣΥΑΛ).....	50
2.1.3.1 ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΟ ΓΑΛΑ.....	50
2.1.3.2 ΣΚΟΝΗ ΑΠΟΒΟΥΤΥΡΩΜΕΝΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	50
2.1.3.3 ΣΚΟΝΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	50
2.1.3.4 ΚΑΖΕΪΝΗ ΚΑΙ ΚΑΖΕΪΝΙΚΑ ΑΛΑΤΑ.....	51
2.1.3.5 ΣΚΟΝΗ ΟΡΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	51
2.1.3.6 ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΑ ΟΡΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	51
2.1.3.7 ΛΑΚΤΑΛΜΠΟΥΜΙΝΗ.....	51
2.1.3.8 ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	51
2.1.4 ΦΥΤΙΚΕΣ ΛΙΠΑΡΕΣ ΥΛΕΣ.....	51
2.1.4.1 ΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ.....	52
2.1.4.2 ΦΟΙΝΙΚΟΠΥΡΗΝΕΛΑΙΟ.....	52
2.1.4.3 ΒΟΥΤΥΡΟ ΚΑΚΑΟ.....	52
2.1.4.4 ΑΡΑΧΙΔΕΛΑΙΟ.....	52
2.1.4.5 ΚΑΡΥΔΕΛΑΙΟ.....	53

2.1.4.6 ΗΛΙΕΛΑΙΟ	53
2.1.4.7 ΑΡΑΒΟΣΙΤΕΛΑΙΟ	53
2.1.5 ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΕΣ	53
2.1.5.1 ΜΟΝΟ-ΔΙΓΛΥΚΕΡΙΔΙΑ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ.....	53
2.1.5.2 ΠΟΛΥΣΟΡΒΙΚΑ (ΕΣΤΕΡΕΣ ΤΗΣ ΣΟΡΒΙΤΑΝΗΣ - ΔΙΘΟΞΥΛΙΩΜΕΝΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ ΤΗΣ ΣΟΡΒΙΤΑΝΗΣ)	54
2.2 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ.....	54
2.2.1 ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΕΣ ΥΛΕΣ.....	54
2.2.2 ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ	57
2.2.3 ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ.....	60
2.2.4 ΛΙΠΑΡΕΣ ΥΛΕΣ	61
2.2.5 ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΕΣ	65
2.2.6 ΕΥΕΡΓΕΤΙΚΑ ΒΑΚΤΗΡΙΑ	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3..... 68

3.1 ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ	68
3.1.1 Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	68
3.1.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ	68
3.1.3 Ο ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ	69
3.1.4 Ο ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΘΡΟΜΒΩΝ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	71
3.1.5 Η ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΤΑΞΗΣ ΑΝΟΔΟΥ ΤΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ	71
3.1.6 ΆΛΛΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	71
3.2 ΩΡΙΜΑΝΣΗ	72
3.2.1 Η ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΤΩΝ ΛΙΠΑΡΩΝ	72
3.2.2 Η ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΩΝ	74
3.2.3 Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ	74
3.3 ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ	76
3.3.1 Η ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	76
3.3.1.1 ΥΠΟΨΥΞΗ.....	76
3.3.1.2 ΠΥΡΗΝΟΓΕΝΕΣΗ	77
3.3.1.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΠΑΓΟΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ	80
3.3.1.4 Η ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΜΙΓΜΑΤΑ ΠΑΓΩΤΟΥ.....	82
3.3.2 ΑΠΟΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΠΑΡΩΝ - ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ ΑΕΡΑ.....	83
3.3.3 ΟΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	86
3.3.3.1 ΚΑΤΑΨΥΚΤΗΣ ΑΠΟΞΕΟΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	86
3.3.3.2 ΚΑΤΑΨΥΚΤΗΣ ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	93
3.4 ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΑΓΩΤΟΥ	94
3.4.1 Η ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΦΑΣΕΩΝ	94
3.4.2 Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΗΝ ΥΑΛΩΔΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	94
3.4.2.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΥΑΛΩΔΗ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗ	96
3.4.2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ	97
3.4.3 Το ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ.....	99
3.4.3.1 ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ	99
3.4.3.1.1 ΟΣΤWALD ΩΡΙΜΑΝΣΗ.....	99
3.4.3.1.2 ΙΣΟΜΑΖΙΚΗ ΑΜΒΛΥΝΣΗ	101
3.4.3.1.3 ΣΥΝΤΗΞΗ.....	102
3.4.3.1.4 ΤΗΞΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ	103
3.4.3.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ.....	104
3.4.3.2.1 Η ΑΡΧΙΚΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	104
3.4.3.2.2 Το ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ	104
3.4.3.2.3 ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	105
3.4.3.2.4 Η ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	105
3.4.4 Η ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΤΗΣ ΛΑΚΤΟΖΗΣ	105
3.4.5 ΑΠΟΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ ΑΕΡΑ - ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4..... 109

4.1 Η ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	109
4.2 ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ (ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΗ)	109
4.2.1 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ	109
4.2.2 Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΡΩΙΜΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ ΣΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ	111
4.2.3 ΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ	113
4.3 ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ	119
4.4 ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	122
4.5 ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ	123
4.6 ΑΝΤΙΨΥΚΤΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ	124
4.6.1 Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΨΥΚΤΙΚΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΣΤΟ ΠΑΓΩΤΟ	125
4.7 ΜΟΝΟΣΤΕΑΤΙΚΗ ΠΡΟΠΥΛΕΝΟΓΛΥΚΟΛΗ	126
4.8 Η ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΖΥΜΩΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	128
4.8.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΥΕΡΓΕΤΙΚΩΝ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	129
4.8.1.1 ΕΝΔΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	129
4.8.1.2 ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	131
4.8.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΥΕΡΓΕΤΙΚΩΝ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	132

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5..... 134

5.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	134
5.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	134
5.2.1 ΥΛΙΚΑ	134
5.2.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ	136
5.2.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΖΥΜΩΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	136
5.2.4 ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ	136
5.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ	137
5.3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ	137
5.3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ	139
5.3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΗ ΚΑΙ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ	140
5.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ	140
5.4.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	140
5.4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΑΕΡΑ (OVERRUN)	140
5.4.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	140
5.4.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ	141
5.4.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΞΗΣ	141
5.4.6 ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ)	141
5.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	143
5.5.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	143
5.5.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	143
5.5.3 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ ..	145
5.5.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	146
5.5.5 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΟΛΙΓΟΣΑΚΧΑΡΙΤΩΝ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	146
5.5.6 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	148
5.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	148
5.6.1 ΑΝΟΝΑ	149
5.6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ - ΑΚΣ (PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS - PCA)	150
5.6.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ (CLUSTER ANALYSIS)	152

5.6.4 ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ (PARTIAL LEAST SQUARES REGRESSION - PLSR)	152
5.6.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΡΙΣΗΣ (DISCRIMINANT ANALYSIS)	155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6..... 156

6.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	156
6.1.1 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ	156
6.1.2 OVERRUN.....	161
6.1.3 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	161
6.1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΞΗΣ	165
6.1.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	168
6.1.6 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	170
6.1.7 ΠΡΟΡΡΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ	175
6.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΩΝ (ΣΑΚΧΑΡΑ, ΠΟΛΥΟΛΕΣ, ΑΜΥΛΟΣΙΡΟΠΙΑ, ΟΛΙΓΟΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ) ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	180
6.2.1 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ	180
6.2.2 OVERRUN.....	184
6.2.3 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	185
6.2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΞΗΣ	200
6.2.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	202
6.2.6 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	204
6.2.7 ΠΡΟΡΡΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ	216
6.3 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	220
6.3.1 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ	220
6.3.2 OVERRUN.....	223
6.3.3 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	224
6.3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΞΗΣ	230
6.3.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	233
6.3.6 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	234
6.3.7 ΠΡΟΡΡΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ	241
6.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	243
6.4.1 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ	243
6.4.2 OVERRUN.....	247
6.4.3 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	248
6.4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΞΗΣ	256
6.4.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	258
6.4.6 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	258
6.4.7 ΠΡΟΡΡΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ	263
6.5 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΟΛΙΓΟΣΑΚΧΑΡΙΤΩΝ ΣΕ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΖΥΜΩΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	265
6.5.1 ΡΗ ΚΑΙ ΟΞΥΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ.....	265
6.5.2 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	265
6.5.3 OVERRUN.....	268
6.5.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ.....	269
6.5.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΞΗΣ.....	270
6.5.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ.....	271
6.5.7 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	275

6.5.8 ΠΡΟΡΡΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ	282
6.6 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ ΣΕ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΖΥΜΩΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	285
6.6.1 ΡΗ ΚΑΙ ΟΞΥΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	285
6.6.2 ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	285
6.6.3 ΙΞΩΔΗ ΚΟΚΙΝΙ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ	287
6.6.4 ΟVERRUN	288
6.6.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΞΗΣ	289
6.6.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	291
6.6.7 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	291
6.6.8 ΠΡΟΡΡΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ	304
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	306
7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	306
7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	310
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	312

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

	Σελ.
Πίνακας Ε.1: Μέση σύσταση διαφόρων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος	viii
Πίνακας 1.1: Προδιαγραφές για την ενσωμάτωση διαφόρων αρωματικών υλών στο παγωτό	7
Πίνακας 1.2: Διάφορες μέθοδοι θερμικής κατεργασίας που εφαρμόζονται στην παραγωγή παγωτού	10
Πίνακας 1.3: Διατροφικά χαρακτηριστικά παγωτού και γάλακτος	21
Πίνακας 5.1: Είδη γλυκαντικών υλών που μελετήθηκαν στα συστήματα παγωτού	135
Πίνακας 5.2: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικές πηγές εναλλακτικών σακχάρων	136
Πίνακας 5.3: Σύσταση και διατροφικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών πηγών σακχάρων	136
Πίνακας 5.4: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτίμηση του αρώματος, της γεύσης και της υφής των δειγμάτων παγωτού και περιγραφή τους	142
Πίνακας 5.5: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά υδροκολλοειδή	144
Πίνακας 5.6: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού σε υδροκολλοειδή	144
Πίνακας 5.7: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικές γλυκαντικές ύλες	145
Πίνακας 5.8: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικές πηγές εναλλακτικών σακχάρων	146
Πίνακας 5.9: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού ενισχυμένων με διαιτητικές ίνες	147
Πίνακας 5.10: Σύσταση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με διαφορετικά είδη υποκατάστατων λιπαρών υδατανθρακικής προέλευσης	147
Πίνακας 5.11: Σύσταση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με διαφορετικά είδη υδροκολλοειδών	148
Πίνακας 5.12: Πίνακας συσχέτισης (correlation matrix) κύριων συνιστωσών - προσδιορισμένων μεταβλητών	151
Πίνακας 6.1.1: Επίδραση των πολυσακχαριτών στο σημείο πήξης, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης του νερού υδατικών συστημάτων πρωτεΐνης - πολυσακχαρίτη	166
Πίνακας 6.1.2: Επίδραση των πολυσακχαριτών στην ενθαλπία τήξης, το ποσοστό σχηματισμένου πάγου, το ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας και το θερμοκρασιακό εύρος των καμπύλων τήξης υδατικών συστημάτων πρωτεΐνης - πολυσακχαρίτη	166
Πίνακας 6.1.3: Επίδραση των πολυσακχαριτών στις θερμοκρασίες του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και έναρξης τήξης του πάγου υδατικών συστημάτων πρωτεΐνης - πολυσακχαρίτη	166
Πίνακας 6.1.4: Επίδραση των πολυσακχαριτών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους	171
Πίνακας 6.1.5: Επίδραση των πολυσακχαριτών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 16 εβδομάδες. Τα δείγματα σταθεροποιήθηκαν θερμοκρασιακά στους -15°C για 12h πριν τη διεξαγωγή των οργανοληπτικών δοκιμών	172
Πίνακας 6.1.6: Κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων (είδος και ποσοστό υδροκολλοειδούς, προσθήκη κ-καραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό) και του χρόνου αποθήκευσης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού	173
Πίνακας 6.2.1: Ρεολογικές παράμετροι των μιγμάτων παγωτού ωριμασμένων στους 4°C για 18h με διαφορετικά είδη συστατικών υδατανθρακικής προέλευσης (απλά σάκχαρα, πολυόλες, ολιγοσακχαρίτες, αμυλοσιρόπια) προστιθέμενα σε δυο διαφορετικές αναλογίες 10 και 30% (επι του ολικού ποσοστού υδατανθράκων).	183
Πίνακας 6.2.2: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στο σημείο πήξης, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης του νερού των μιγμάτων παγωτού (ολικό ποσοστό στερεών γλυκαντικών υλών 16% w/w). Οι υδατάνθρακες χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%	197
Πίνακας 6.2.3: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στο σημείο πήξης, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης του νερού των μιγμάτων παγωτού (ολικό ποσοστό στερεών γλυκαντικών υλών 16% w/w). Οι υδατάνθρακες χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%	197
Πίνακας 6.2.4: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στο σημείο πήξης, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης του νερού των μιγμάτων παγωτού (ολικό ποσοστό στερεών γλυκαντικών υλών 16% w/w). Οι υδατάνθρακες χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%	298
Πίνακας 6.2.5: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες. Τα υδατανθρακικά συστατικά χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 10%.	205
Πίνακας 6.2.6: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες. Τα υδατανθρακικά συστατικά χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά	206

υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%.

Πίνακας 6.2.7: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 16 εβδομάδες. Τα υδατανθρακικά συστατικά χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 10%.	207
Πίνακας 6.2.8: Επίδραση των υδατανθρακικών υλικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 16 εβδομάδες. Τα υδατανθρακικά συστατικά χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης σε ποσοστό 30%.	208
Πίνακας 6.2.9: Κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων (είδος γλυκαντικής ύλης, ποσοστό υποκατάστασης σακχαρόζης) και του χρόνου αποθήκευσης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού	209
Πίνακας 6.3.1: Επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10 και 30%) στο σημείο πήξης, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης του νερού.	230
Πίνακας 6.3.2: Επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10 και 30%) στην ενθαλπία τήξης, το ποσοστό κρυσταλλωμένου και μη κρυσταλλώσιμου νερού, και το θερμοκρασιακό εύρος της καμπύλης τήξης των μιγμάτων παγωτού και των πρότυπων υδατικών τους διαλυμάτων	231
Πίνακας 6.3.3: Επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10 και 30%) στις θερμοκρασίες του σημείου υαλώδους μετάπτωσης (T_g) και έναρξης της τήξης (T_m)	231
Πίνακας 6.3.4: Επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%) στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες	235
Πίνακας 6.3.5: Επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%) στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 16 εβδομάδες	236
Πίνακας 6.3.6: Κύριες επιδράσεις του είδους των εναλλακτικών σακχάρων, του ποσοστού υποκατάστασης της σακχαρόζης και του χρόνου αποθήκευσης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού	237
Πίνακας 6.4.1: Επίδραση των διαιτητικών ινών στις ρεολογικές παραμέτρους των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη και των μιγμάτων παγωτού ωριμασμένων στους 4°C για 18h	245
Πίνακας 6.4.3: Επίδραση των διαιτητικών ινών στην ενθαλπία τήξης και το ποσοστό κρυσταλλωμένου νερού των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη και των μιγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη διαιτητικών ινών.	252
Πίνακας 6.4.4: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και τη θερμοκρασία του σημείου έναρξης της τήξης του πάγου των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη και των μιγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη διαιτητικών ινών.	252
Πίνακας 6.4.5: Επίδραση των διαιτητικών ινών στις θερμοκρασίες υαλώδους μετάπτωσης και έναρξης της τήξης του πάγου των πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη και των μιγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη διαιτητικών ινών.	253
Πίνακας 6.4.6: Επίδραση των διαιτητικών ινών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού όπως προσδιορίστηκαν μετά από 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης στους -26°C αντίστοιχα	260
Πίνακας 6.5.1: Επίδραση της περιεκτικότητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού σε γιαούρτι στις θερμικές ιδιότητες τους	269
Πίνακας 6.5.2: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των ολιγοσακχαριτών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες.	276
Πίνακας 6.5.3: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των ολιγοσακχαριτών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες.	277
Πίνακας 6.5.4: Κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού	278
Πίνακας 6.6.1: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνισης, γεύσης και αρώματος) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες.	292
Πίνακας 6.6.2: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χαρακτηριστικά υψής κατά τον τεμαχισμό των δειγμάτων παγωτού με το κουτάλι) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες.	293
Πίνακας 6.6.3: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χαρακτηριστικά υψής κατά την κατανάλωση των δειγμάτων) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες.	294
Πίνακας 6.6.4: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και	295

του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύσης και αρώματος) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες.

Πίνακας 6.6.5: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών, της περιεκτικότητας σε γιαούρτι και του ολικού ποσοστού σε λιπαρά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χαρακτηριστικά υψής κατά τον τεμαχισμό των δειγμάτων παγωτού με το κουτάλι) των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες. 296

Πίνακας 6.6.6: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών 297

Πίνακας 6.6.7: Επιδράσεις του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών 298

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σελ.

Σχήμα E.1: Μια από τις πρώτες μηχανές παρασκευής παγωτού. Η συγκεκριμένη παγωτομηχανή κατασκευάστηκε από την Agnes Marshall στα μέσα του 19 ^{ου} αιώνα στην Αγγλία	x
Σχήμα E.2: Ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωση παγωτού σε διάφορες χώρες για το έτος 2007 (Πηγή: IDFA 2008)	xi
Σχήμα E.3: Μερίδιο της αγοράς παγωτού στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την Ελβετία το 2008. (Πηγή: Food for Thought, Geneva, Switzerland)	xii
Σχήμα E.4: Μερίδιο διαφόρων κατεψυγμένων προϊόντων γάλακτος στις ΗΠΑ κατά την περίοδο 1996 - 2007 (Πηγή: USDA 2008)	xiii
Σχήμα E.5: Μεταβολή του δείκτη της εποχικής κατανάλωσης παγωτού στις ΗΠΑ κατά τα έτη 1921 - 2001	xiv
Σχήμα E.6: Διάρθρωση της εγχώριας αγοράς παγωτού κατά το 2006 (Πηγή: ICAP 2008)	xv
Σχήμα E.7: Εξέλιξη των πωλήσεων παγωτού (σε χιλιάδες L) στην Ελλάδα κατά τη δεκαετία 1997 - 2006 (ICAP 2008)	xvi
Σχήμα E.8: Διάρθρωση των πωλήσεων παγωτού ανά γεωγραφικό διαμέρισμα (Πηγή IRI 2009)	xvii
Σχήμα E.9: Διάρθρωση των πωλήσεων παγωτού ανά κατηγορία καταστημάτων διανομής. Υ/Μ: >2500τμ, Μεγάλα Σ/Μ: 1000-2500τμ, Μεσαία Σ/Μ: 400-999τμ, Μικρά Σ/Μ: <400τμ (Πηγή: IRI 2009)	xviii
Σχήμα E.10: Διάρθρωση των πωλήσεων παγωτού κατά τη τριετία 2002 - 2004 σύμφωνα με την κλαδική ανάλυση της ICAP A.E. (2005).	xix
Σχήμα 1.1: Η κολλοειδής φύση του παγωτού.	1
Σχήμα 1.2: Ενδεικτικό διάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας του παγωτού	8
Σχήμα 1.3: Ενδεικτικό διάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας προβιοτικού παγωτού ή παγωτού-γιαούρτι με εφαρμογή της μέθοδου άμεσης οξίνισης (direct acidification)	16
Σχήμα 1.4: Ενδεικτικό διάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας προβιοτικού παγωτού ή παγωτού-γιαούρτι με εφαρμογή της μέθοδου έμμεσης οξίνισης (indirect acidification)	16
Σχήμα 2.1: Αλληλεπιδράσεις λιποσφαιρίων (O) με τη διεπιφάνεια υδατικής φάσης (W) - αέρα (A) σε γαλακτώματα ελαίου/νερού ως συνάρτηση της επιφανειακής τάσης	25
Σχήμα 2.2: Διατομή ενός καζεϊνικού μυκκηλίου	26
Σχήμα 2.3: Η μεταστροφή της λακτόζης κατά τη διάρκεια της υπερσυμπύκνωσης της φάσης ορού λόγω κρυστάλλωσης του νερού	28
Σχήμα 2.4: Η δομή των μορίων της ινουλίνης (GF _n) και της ολιγοφρουκτόζης (F _n)	33
Σχήμα 2.5: Η δομή του αλγινικού νατρίου. M = β-D-μαννουρονικό οξύ, G = α-L-γουλουρονικό οξύ	36
Σχήμα 2.6: Η θεωρία της δομής αυγοθήκης (egg-box) που περιγράφει τη χηλική σύνδεση των ιόντων ασβεστίου με το αλγινικό νάτριο	36
Σχήμα 2.7: Η δομή των κυριότερων καρραγενανών που χρησιμοποιούνται στα προϊόντα γάλακτος	37
Σχήμα 2.8: Μηχανισμοί δημιουργίας πήγματος από την κ-καρραγενάνη. A = μορφή συρματοπλέγματος, B = τετραλειτουργικές ελικοειδείς μονάδες, Γ = ινώδες πλέγμα, Δ = πλέγμα γραμμικής διαμόρφωσης	38
Σχήμα 2.9: Η δομή των γαλακτομαννανών (κόμμα γκουάρ και καρουπιού)	39
Σχήμα 2.10: Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας πηγμάτων κόμματος καρουπιού λόγω της ικανότητας αλληλοσύνδεσης των πολυσακχαριτικών του αλύσων	40
Σχήμα 2.11: Μονομερές καρβοξυλομεθυκυτταρινικού κόμματος	42
Σχήμα 2.12: Επίδραση της θερμοκρασίας στο ιξώδες υδατικού διαλύματος μεθυλοκυτταρίνης (2% w/w, Methocel A, The Dow Company)	43
Σχήμα 2.13: Αλλαγή διαμορφώσεων της ξανθάνης ως αποτέλεσμα της μεταβολής της θερμοκρασίας και της ιοντικής ισχύος των διαλυμάτων της. A = μετάβαση από διπλή έλικα σε τυχαία σπείρα, B = μετάβαση από διπλή έλικα σε διμερή ελικοειδή - σπειροειδή διαμόρφωση	44
Σχήμα 2.14: Μικροδομή αποδαρμένων μιγμάτων παγωτού με (α) στεαρίνη λιπαρών γάλακτος, (β) με άνυδρο λίπος γάλακτος και (γ) με ελαϊνή λιπαρών γάλακτος. Με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα λιποσφαίρια και πράσινο οι πρωτεΐνες	63
Σχήμα 2.15: Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης του (α) μεγέθους των λιποσφαιρίων, (β) του ποσοστού λιπαρών, (γ) του μεγέθους σωματιδίων, και (δ) του σχήματος των σωματιδίων στην αντιλαμβανόμενη τριβή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάζησης επιδορπίων γάλακτος	64

Σχήμα 3.1: Μεταβολές που επέρχονται κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης του μίγματος παγωτού	69
Σχήμα 3.2: Η ομογενοποίηση των μιγμάτων παγωτού παρουσία επιφανειοενεργών ενώσεων οδηγεί σε ριζική αλλαγή της σύστασης της μεμβράνης που τα περιβάλλει.	70
Σχήμα 3.3: Μηχανισμοί κρυστάλλωσης των λιποσφαιρίων στα γαλακτώματα παγωτού κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης	72
Σχήμα 3.4: Η προσθήκη των γαλακτωματοποιητών αποτελεί το θερμοδυναμικό παράγοντα που συμβάλλει στην ετερογενή πυρηνογένεση και την ευχέρεια κρυστάλλωσης των λιπαρών	73
Σχήμα 3.5: Ο μηχανισμός ελέγχου του φαινομένου του διαχωρισμού φάσεων από την κ-καρραγενάνη, σε σύστημα πολυσακχαρίτη - πρωτεΐνης με υψηλό βαθμό θερμοδυναμικής ασυμβατότητας	76
Σχήμα 3.6: Εξάρτηση του σχηματισμού των πυρήνων κρυστάλλωσης από τις τιμές ελεύθερης ενέργειας ΔG	77
Σχήμα 3.7: Διαφορετικοί μηχανισμοί πυρηνογένεσης με βάση τη γωνία διαβροχής μεταξύ ενός πυρήνα κρυστάλλωσης νερού και ενός μορίου νερού.	78
Σχήμα 3.8: Μεταβολή του ρυθμού πυρηνογένεσης σε σχέση με την τιμή του δυναμικού θερμοκρασίας στην περίπτωση της ομογενούς και ετερογενούς πυρηνογένεσης	78
Σχήμα 3.9: Μηχανισμός σχηματισμού πυρήνων κρυστάλλωσης στην περίπτωση της δευτερογενούς πυρηνογένεσης.	79
Σχήμα 3.10: Σχηματική απεικόνιση του στρώματος προσρόφησης που εντοπίζεται στην επιφάνεια των αναπτυσσόμενων παγοκρυστάλλων.	80
Σχήμα 3.11: Η πορεία κρυστάλλωσης του νερού προς πάγο σε ένα διφασικό σύστημα.	81
Σχήμα 3.12: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου της μερικής συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων κατά τη διάρκεια της διεργασίας απόδρασης	83
Σχήμα 3.13: Συμμετοχή των πρωτεϊνών (απεικονίζονται ως μικρές κουκκίδες) στη σύσταση της διαπιφάνειας φάσης ορού - αέρα. Οι πρωτεΐνες ορού προσροφώνται δυσκολότερα στη συγκεκριμένη διεπιφάνεια σε σχέση με τις καζεΐνες	84
Σχήμα 3.14: Σταθεροποίηση της κolloειδούς δομής του παγωτού λόγω της αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων σε διαφορετικές συνθήκες παραγωγής του.	85
Σχήμα 3.15: Σχηματική απεικόνιση του καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας που χρησιμοποιείται για την παρασκευή βιομηχανικού παγωτού	86
Σχήμα 3.16: Ο ταχύς ρυθμός κρυστάλλωσης του μίγματος παγωτού στην επιφάνεια του καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας ευνοεί το σχηματισμό παγοκρυστάλλων δενδριτικής μορφής, ο οποίοι μέσω της διάτμησης οδηγούνται στον κύριο όγκο του μίγματος λειτουργώντας ως πυρήνες κρυστάλλωσης (δευτερογενής πυρηνογένεση)	87
Σχήμα 3.17: Απεικόνιση της κατανομής θερμοκρασίας στον κύριο όγκο του καταψυχόμενου μίγματος παγωτού σε καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας ως συνάρτηση του μήκους και της ταχύτητας περιστροφής της διάταξη απόδρασης	89
Σχήμα 3.18: Επίδραση των συνθηκών κατάψυξης στο μέσο μέγεθος των αρχικών παγοκρυστάλλων του παγωτού στην περίπτωση της συνεχούς διεργασίας κατάψυξης.	90
Σχήμα 3.19: Επίδραση της τεχνικής κατάψυξης με εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας (LTE) στο ποσοστό αποσταθεροποιημένων λιποσφαιρίων.	91
Σχήμα 3.20: Επίδραση της τεχνικής κατάψυξης με εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας στα κolloειδή χαρακτηριστικά του παγωτού.	92
Σχήμα 3.21: Επίδραση της τεχνικής κατάψυξης με εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας στη σταθερότητα του παγωτού έναντι της τήξης και τη διατήρηση του σχήματος.	93
Σχήμα 3.22: Διάγραμμα φάσεων υγρού - στερεού στην περίπτωση πρότυπου υδατικού διαλύματος σακχαρόζης	94
Σχήμα 3.23: Μεταβολές στο ιξώδες του παγωτού ως συνάρτηση της μείωσης της θερμοκρασίας. Στο διάγραμμα απεικονίζονται οι θερμοκρασιακές περιοχές στις οποίες η μεταβολή του ιξώδους ελέγχεται από κινητική Arrhenius (ευνοούμενη μοριακή κινητικότητα) και Williams Landel Ferry - WLF (ραγδαία μείωση της μοριακής κινητικότητας)	95
Σχήμα 3.24: Επίδραση των συνθηκών του πρωτόκολλου θέρμανσης στον αριθμό και το μέγεθος των οπών στο εσωτερικό της υαλώδους δομής σε πρότυπα διάλυμα σακχαρόζης 40% w/w	96
Σχήμα 3.25: Τυπική καμπύλη τήξης που λαμβάνεται κατά την εφαρμογή της μεθόδου διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC). Η παραγωγή της καμπύλης τήξης οδηγεί σε δύο κύριες κορυφές: η μεγάλη κορυφή αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του σημείου έναρξης της τήξης (T_m) και η μικρότερη στη θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης T_g	98
Σχήμα 3.26: Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στην κατανομή μεγέθους των παγοκρυστάλλων	99
Σχήμα 3.27: Αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων σε δείγμα παγωτού με βάση το μηχανισμό της ωρίμανσης Ostwald	100
Σχήμα 3.28: Αύξηση της ακτίνας των παγοκρυστάλλων ως συνάρτηση του βαθμού υπόψυξης	101
Σχήμα 3.29: Αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων στο παγωτό με βάση το μηχανισμό της ισομαζικής άμβλυσης	101
Σχήμα 3.30: Επίδραση των διακυμάνσεων θερμοκρασίας (από T_1 σε T_2) (ΔT): στη μεταβολή της συγκέντρωσης της	102

υδατικής φάσης από C_1 σε C_2 , και (B): στη μεταβολή του ποσοστού κρυσταλλωμένου νερού (πάγου) από I_1 σε I_2 σε συστήματα παγωτού

Σχήμα 3.31: Αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων με βάση το μηχανισμό της τήξης και επανακρυστάλλωσης	103
Σχήμα 3.32: Αποσταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του παγωτού, δράση που συνδέεται με φαινόμενα συρρίκνωσης	107
Σχήμα 4.1: Η επίδραση της ζελατίνης (δεξιά) ως σταθεροποιητικό σύστημα σε μίγματα παγωτού. Η ικανότητα της ζελατίνης να σχηματίζει ισχυρά πήγματα δεν εξασφαλίζει a priori την κρυσταλλοστατευτική της δράση	111
Σχήμα 4.2: Η προσθήκη κόμμεος γκουάρ σε πρότυπα διαλύματος σακχαρόζης επιφέρει σημαντική μείωση του χρόνου καλάρωσης και μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού	113
Σχήμα 4.3: Η προσθήκη των υδροκολλοειδών επιφέρει σημαντική μείωση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης σε συστήματα παγωτού. Η δράση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα των υδροκολλοειδών να αυξάνουν το μικροίξώδες της φάσης ορού περιορίζοντας την κινητικότητα των μορίων νερού προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων	113
Σχήμα 4.4: Η αύξηση της συγκέντρωσης της φάσης ορού ως αποτέλεσμα της συμπύκνωσης λόγω κατάψυξης οδηγεί σε αλλαγή της κλίσης της καμπύλης ξηώδους - συγκέντρωσης. Το σημείο στο οποίο παρατηρείται η αλλαγή της κλίσης σχετίζεται με την κρίσιμη συγκέντρωση c^* και την μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού	114
Σχήμα 4.5: Συσχέτιση του κρίσιμου ξηώδους της φάσης ορού με το ρυθμό ανακρυστάλλωσης συστημάτων παγωτού σταθεροποιημένων με κόμμι γκουάρ	114
Σχήμα 4.6: Η κρυσταλλοστατευτική δράση του κόμμεος χαρουπιού βασίζεται στο σχηματισμό κρυστοπηγμάτων όταν το σύστημα σακχαρόζης - υδροκολλοειδούς υποβάλλεται σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης. Το σχηματιζόμενο κρυστοπήγμα παρεμποδίζει την διάχυση υγρασίας και την αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων. Το πήγμα διατηρείται ακόμη και μετά την πλήρη τήξη των παγοκρυστάλλων (D).	115
Σχήμα 4.7: Η κρυσταλλοστατευτική δράση του κόμμεος γκουάρ αν και ανήκει στην ομάδα των γαλακτομαννανών (όπως και το κόμμι χαρουπιού) δε μπορεί να εξηγηθεί με βάση τη θεωρία σχηματισμού κρυστοπηγμάτων. Κατά τη διάρκεια της υποβολής των συστημάτων σακχαρόζης σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης η ανακρυστάλλωση εξελίσσεται ομαλά λόγω της απουσίας του στερεοχημικού φραγμού του κρυστοπήματος (D).	116
Σχήμα 4.8: Μελέτη της ικανότητας διαφόρων υδροκολλοειδών να σχηματίζουν κρυστοπήματα σε υδατικά συστήματα σακχαρόζης που υποβάλλονται σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης	116
Σχήμα 4.9: Μελέτη της ικανότητας διαφόρων υδροκολλοειδών να σχηματίζουν κρυστοπήματα σε υδατικά συστήματα σακχαρόζης - πρωτεΐνης που υποβάλλονται σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης	117
Σχήμα 4.10: Ο διαχωρισμός φάσεων λόγω της ασυμβατότητας των πολυσακχαριτών με τις πρωτεΐνες οδηγεί σε κρυσταλλοστατευτική δράση η οποία μπορεί να συνδέεται είτε με ενίσχυση της ξηώδοελαστικότητας των κρυστοπηγμάτων (2a και 2b) ή με αύξηση της συγκέντρωσης των μικροπεριοχών που περιέχουν τα επιμέρους συστατικά ευνοώντας τα φαινόμενα στερεοχημικής παρεμπόδισης των μορίων νερού (3a και 3b)	118
Σχήμα 4.11: Καμπύλες κατάψυξης δύο δειγμάτων παγωτού (A και B) με διαφορετικές γλυκαντικές ύλες.	119
Σχήμα 4.12: Συσχέτιση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης k (όπως προσδιορίζεται από τη σχέση Gibbs - Thomson) με τους συντελεστές διάχυσης των μορίων του νερού D_1 και διαλυμένης ουσίας D_2 σε πρότυπα υδατικά συστήματα σακχάρων. Ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό και με πιο ξεκάθαρο τρόπο από τα φαινόμενα διάχυσης της υγρασίας	120
Σχήμα 4.13: Εξάρτηση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης με τη θερμοκρασία. Η σχέση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης - θερμοκρασίας δεν ακολουθεί γραμμική πορεία γεγονός που υποδηλώνει σημαντική απόκλιση από την κινητική Arrhenius. Η ενδιάμεση ζώνη ($T_m - T_g$) αποτελεί ζώνη ελέγχου της ανακρυστάλλωσης μέσω κινητικής WLF.	121
Σχήμα 4.14: Η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων σε υδατικά συστήματα χωρίς αντιψυκτικές πρωτεΐνες (A), με αντιψυκτικές πρωτεΐνες χαμηλής ενεργότητας (B), ενδιάμεσης ενεργότητας (C), και υψηλής ενεργότητας (D). Η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων σε διαλύματα χαμηλής συγκέντρωσης σε αντιψυκτικές πρωτεΐνες γίνεται κατά τον α-άξονα (B,C) ενώ σε πυκνά υδατικά διαλύματα αντιψυκτικών πρωτεϊνών η ανάπτυξη γίνεται κατά τον γ-άξονα D	125
Σχήμα 4.15: Η επίδραση των ISPs (B,D) στα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης στους -5°C σε πρότυπα διαλύματα σακχαρόζης (A,B) και συστήματα παγωτού (C,D).	126
Σχήμα 4.16: Η επίδραση της μονοστεατικής προπυλενογλυκόλης (PGMS) στα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης, σε πρότυπα συστήματα σακχαρόζης και παγωτού (A,B). 1 = χωρίς PGMS, 2 = με PGMS	127
Σχήμα 4.17: Μικροδομή των συστημάτων παγωτού, απουσία (A) και παρουσία PGMS (B) με χρήση LT-SEM	128
Σχήμα 4.18: Επίδραση της τεχνικής κατάψυξης στη βιωσιμότητα των οξυγαλακτικών βακτηρίων. Αριστερά κατάψυξη διαλείποντος έργου (batch) και δεξιά κατάψυξη συνεχούς έργου σε περιστροφικό καταψύκτη. Οι απώλειες σε οξυγαλακτικά βακτήρια είναι σημαντικότερες στην περίπτωση της batch κατάψυξης	131
Σχήμα 4.19: Επίδραση της θερμοκρασίας αποθήκευσης στη βιωσιμότητα των οξυγαλακτικών βακτηρίων	132
Σχήμα 4.20: Επίδραση του μικροεγκλεισμού των ευεργετικών βακτηρίων σε καψίδια πολυσακχαρικής προέλευσης στη βιωσιμότητά τους	132
Σχήμα 5.1: Ενδεικτικό διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας των δειγμάτων παγωτού, παγωτού-γιαούρτι ή προβιοτικού παγωτού	137
Σχήμα 5.2: Τυπική καμπύλη ψύξης - θέρμανσης μίγματος παγωτού σε διάταξη DSC	138

Σχήμα 5.3: Τυπική καμπύλη συμπίεσης δείγματος παγωτού με χρήση αναλυτή υφής	141
Σχήμα 5.4: Διάγραμμα ιδιοτιμών (eigenvalue) - αριθμού ιδιοδιανύσματος (eigenvalue number) για την επιλογή των απατούμενων κυρίων συνιστωσών.	151
Σχήμα 5.5: Ενδεικτικό διάγραμμα της ανάλυσης ομαδοποίησης με εφαρμογή του κριτηρίου Ward και προσαρμογή των ευκλείδιων αποστάσεων σε κλίμακα του 100.	152
Σχήμα 5.6: Εφαρμογή της μεθόδου PLSR (Partial Least Squares Regression) για την ποσοτικοποίηση της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού χρησιμοποιώντας οργανοληπτικές και αντικειμενικές μετρήσεις	153
Σχήμα 5.7: Επιλογή των κατάλληλων Χ μεταβλητών για τη βαθμονόμηση και επαλήθευση του PLS μοντέλου με βάση το κριτήριο Martens και την εφαρμογή πλήρους διασταυρωτικής επαλήθευσης (full cross validation). Η εσωτερική και εξωτερική καμπύλη του διαγράμματος αντιστοιχούν σε 50 και 100% εξήγηση της ολικής διακύμανσης των Χ μεταβλητών.	153
Σχήμα 5.8: Γραμμικό μοντέλο βαθμονόμησης και σφάλματα βαθμονόμησης	154
Σχήμα 5.9: Γραμμικό μοντέλο επαλήθευσης και σφάλματα επαλήθευσης	154
Σχήμα 5.10: Διαχωρισμός δύο ομάδων παρατηρήσεων με εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης διάκρισης	155
Σχήμα 6.1.1: Επίδραση της καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης (CMC) και των συνεργιστικών της μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C	156
Σχήμα 6.1.2: Επίδραση του κόμμεος γκουάρ και των συνεργιστικών του μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C	157
Σχήμα 6.1.3: Επίδραση του αλγινικού νατρίου και των συνεργιστικών του μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C. Το βέλος υποδεικνύει τη θραύση του πολυσακχαρικού πήγματος.	157
Σχήμα 6.1.4: Επίδραση της ξανθάνης και των συνεργιστικών της μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C	158
Σχήμα 6.1.5: Επίδραση της υδροξυλοπροπυλομεθυλοκυτταρίνης (HPMC) και των συνεργιστικών της μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C	158
Σχήμα 6.1.6: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο συντελεστή συνεκτικότητας K των μιγμάτων παγωτού στους 4°C	159
Σχήμα 6.1.7: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των μιγμάτων παγωτού στους 4°C	159
Σχήμα 6.1.8: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο ιξώδες Kokini (σε ρυθμό διάτμησης 50s ⁻¹) συμπεριφοράς των μιγμάτων παγωτού στους 4°C	160
Σχήμα 6.1.9: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στη θιζοτροπική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C	161
Σχήμα 6.1.10: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα (overrun) των δειγμάτων παγωτού	162
Σχήμα 6.1.11: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ)	162
Σχήμα 6.1.12: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης (CMC) - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% CMC)	163
Σχήμα 6.1.13: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος κόμμεος γκουάρ - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% κόμμι γκουάρ)	163
Σχήμα 6.1.14: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος αλγινικού νατρίου - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% αλγινικό νάτριο)	164
Σχήμα 6.1.15: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος ξανθάνης - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% ξανθάνη)	164
Σχήμα 6.1.16: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος υδροξυλοπροπυλομεθυλοκυτταρίνης (HPMC) - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% HPMC)	165
Σχήμα 6.1.17: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος ξανθάνης - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% ξανθάνη)	165
Σχήμα 6.1.18: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο χρόνο πτώσης της 1 ^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού	167
Σχήμα 6.1.19: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού	167
Σχήμα 6.1.20: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-	168

καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού για χρόνο αποθήκευσης 4 εβδομάδες	
Σχήμα 6.1.21: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού για χρόνο αποθήκευσης 16 εβδομάδες	168
Σχήμα 6.1.22: Διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των οργανοληπτικών και αντικειμενικών ιδιοτήτων καθώς και της ολικής αποδοχής των δειγμάτων με εφαρμογή της μεθόδου ομαδοποίησης (cluster analysis)	174
Σχήμα 6.1.23: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη υδροκολλοειδών παρουσία και απουσία κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό μέσο	175
Σχήμα 6.1.24: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων της λειτουργικότητας των κύριων μέσων σταθεροποίησης που χρησιμοποιήθηκαν στα δείγματα παγωτού (ολική αποδοχή των δειγμάτων)	176
Σχήμα 6.1.25: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων της λειτουργικότητας των κύριων μέσων σταθεροποίησης που χρησιμοποιήθηκαν στα δείγματα παγωτού (ανακρυστάλλωση)	176
Σχήμα 6.1.26: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη υδροκολλοειδών παρουσία και απουσία κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό μέσο αποθηκευμένων για 4 και 16 εβδομάδες	177
Σχήμα 6.1.27: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων της λειτουργικότητας των κύριων μέσων σταθεροποίησης που χρησιμοποιήθηκαν στα δείγματα παγωτού (επίδραση του χρόνου αποθήκευσης)	177
Σχήμα 6.1.28: Επιλογή των μεταβλητών (©) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens	178
Σχήμα 6.1.29: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά υδροκολλοειδή (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)	178
Σχήμα 6.1.30: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά υδροκολλοειδή σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR	179
Σχήμα 6.2.1: Επίδραση των σακχάρων και πολυολών στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (10% υποκατάσταση της σακχαρόζης) ωριμασμένων στους 4 °C για 18h	180
Σχήμα 6.2.2: Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και των αμυλοσιροπίων στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (10% υποκατάσταση της σακχαρόζης) ωριμασμένων στους 4 °C για 18h	181
Σχήμα 6.2.3: Επίδραση των σακχάρων και πολυολών στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (30% υποκατάσταση της σακχαρόζης) ωριμασμένων στους 4 °C για 18h	181
Σχήμα 6.2.4: Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και των αμυλοσιροπίων στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (30% υποκατάσταση της σακχαρόζης) ωριμασμένων στους 4 °C για 18h	182
Σχήμα 6.2.5: Επίδραση των σακχάρων και πολυολών στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα (overrun) των δειγμάτων παγωτού	184
Σχήμα 6.2.6: Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και των αμυλοσιροπίων στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα των (overrun) δειγμάτων παγωτού	185
Σχήμα 6.2.7: Επίδραση του είδους των σακχάρων, πολυολών, ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπίων στο μέσο μέγεθος των φυσαλίδων αέρα των δειγμάτων παγωτού. Το control δείγμα αναφέρεται σε παγωτό αποκλειστικά με σακχαρόζη. Στα υπόλοιπα δείγματα η σακχαρόζη έχει υποκατασταθεί σε ποσοστό 30%. Η μπάρα αναφέρεται σε 100μm	186
Σχήμα 6.2.8: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος φρουκτόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	187
Σχήμα 6.2.9: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαλτόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	187
Σχήμα 6.2.10: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος τρεχαλόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	187
Σχήμα 6.2.11: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος ξυλιτόλης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	188
Σχήμα 6.2.12: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαννιτόλης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	188
Σχήμα 6.2.13: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαλιτιτόλης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	188
Σχήμα 6.2.14: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος σορβιτόλης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	189
Σχήμα 6.2.15: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαλτοδεξτρίνης 12DE 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	189
Σχήμα 6.2.16: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος μαλτοδεξτρίνης 17DE 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με	189

εφαρμογή της μεθόδου DSC

Σχήμα 6.2.17: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος αμυλοσιρόπιου 22DE 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	190
Σχήμα 6.2.18: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος αμυλοσιρόπιου 39DE 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	190
Σχήμα 6.2.19: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος ινουλίνης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	190
Σχήμα 6.2.20: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος ολιγοφρουκτόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	191
Σχήμα 6.2.21: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος Nutriose® 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	191
Σχήμα 6.2.22: Καμπύλη τήξης πρότυπου διαλύματος σακχαρόζης 28% (w/w) όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC	191
Σχήμα 6.2.23: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με φρουκτόζη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	192
Σχήμα 6.2.24: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαλτόζη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	192
Σχήμα 6.2.25: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με τρεχαλόζη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	192
Σχήμα 6.2.26: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με ξυλιτόλη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	193
Σχήμα 6.2.27: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαννιτόλη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	193
Σχήμα 6.2.28: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαλιτιτόλη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	193
Σχήμα 6.2.29: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σορβιτόλη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	194
Σχήμα 6.2.30: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαλτοδεξτρίνη 12DE ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	194
Σχήμα 6.2.31: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μαλτοδεξτρίνη 17DE ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	194
Σχήμα 6.2.32: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με αμυλοσιρόπιο 22DE ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	195
Σχήμα 6.2.33: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με αμυλοσιρόπιο 39DE ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	195
Σχήμα 6.2.34: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με ινουλίνη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	195
Σχήμα 6.2.35: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με ολιγοφρουκτόζη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	196
Σχήμα 6.2.36: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με Nutriose® ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης (30%) όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	196
Σχήμα 6.2.37: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σακχαρόζη όπως προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DSC (16% w/w γλυκαντικές ύλες)	196
Σχήμα 6.2.38 Επίδραση των σακκάρων και πολυολών στο χρόνο πτώσης της 1 ^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού	200
Σχήμα 6.2.39 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπιών στο χρόνο πτώσης της 1 ^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού	201
Σχήμα 6.2.40: Επίδραση των σακκάρων και πολυολών στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού	201
Σχήμα 6.2.41 Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπιών στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού	202
Σχήμα 6.2.42: Επίδραση των σακκάρων και πολυολών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στους -15° C (χρόνος αποθήκευσης 4 εβδομάδες)	203
Σχήμα 6.2.43: Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπιών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στους -15° C (χρόνος αποθήκευσης 4 εβδομάδες)	203
Σχήμα 6.2.44: Επίδραση των σακκάρων και πολυολών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στους -15° C (χρόνος αποθήκευσης 16 εβδομάδες)	204
Σχήμα 6.2.45: Επίδραση των ολιγοσακχαριτών και αμυλοσιροπιών στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού στους -15° C (χρόνος αποθήκευσης 16 εβδομάδες)	204

6.2.46: Διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των αντικειμενικών και οργανοληπτικών μετρήσεων στα δείγματα παγωτού. Οι οργανοληπτικές ιδιότητες έχουν εκτιμηθεί στους -15 °C στα δείγματα παγωτού που αποθηκεύτηκαν για 4 εβδομάδες στους -26 °C	210
6.2.47: Διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των αντικειμενικών και οργανοληπτικών μετρήσεων καθώς και της ολικής αποδοχής στα δείγματα παγωτού. Οι οργανοληπτικές ιδιότητες έχουν εκτιμηθεί στους -15 °C στα δείγματα παγωτού που αποθηκεύτηκαν για 4 εβδομάδες στους -26 °C	211
6.2.48: Ανάλυση κύριων συστασιών για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη υδατανθρακικών υλικών προστιθέμενων σε δύο διαφορετικά ποσοστά 10 και 30%	212
6.2.49: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδατανθρακικών υλικών ως προς την ικανότητά τους να βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού	212
6.2.50: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδατανθρακικών υλικών ως προς την ικανότητά τους να βελτιώνουν την κρεμώδη υφή των δειγμάτων παγωτού	213
6.2.51: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδατανθρακικών υλικών ως προς την ικανότητά τους να περιορίζουν την τριβή (friction) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάσησης των δειγμάτων παγωτού	213
6.2.52: Ανάλυση κύριων συστασιών για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη υδατανθρακικών υλικών προστιθέμενα σε δύο διαφορετικά ποσοστά (10 και 30%) και αποθηκευμένα στους -26 °C για 4 και 16 εβδομάδες	214
6.2.53: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδατανθρακικών υλικών ως προς την ικανότητά τους να περιορίζουν την τριβή (friction) κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάσησης των δειγμάτων παγωτού μετά από χρόνο αποθήκευσης 16 εβδομάδων	215
Σχήμα 6.2.54: Επιλογή των μεταβλητών (©) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συστασιών, σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens	215
Σχήμα 6.2.55: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)	216
Σχήμα 6.2.56: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR	216
Σχήμα 6.2.57: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης υψηλού μοριακού βάρους, χαμηλού βαθμού DE, και υψηλής τιμής DP (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)	217
Σχήμα 6.2.58: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης υψηλού μοριακού βάρους, χαμηλού βαθμού DE, και υψηλής τιμής DP σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR	217
Σχήμα 6.2.59: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης χαμηλού μοριακού βάρους π.χ. δισακχαρίτες και μονοσακχαρίτες (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)	218
Σχήμα 6.2.60: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης χαμηλού μοριακού βάρους π.χ. δισακχαρίτες και μονοσακχαρίτες σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR	218
Σχήμα 6.3.1: Ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού με συμπύκνωμα γλεύκους ως μέσο μερικής υποκατάστασης της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	220
Σχήμα 6.3.2: Ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού με σταφιδίνη ως μέσο μερικής υποκατάστασης της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	221
Σχήμα 6.3.3: Ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού με μελάσσα ως μέσο μερικής υποκατάστασης της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	221
Σχήμα 6.3.4: Τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας των μιγμάτων παγωτού (στους 4 °C) με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	222
Σχήμα 6.3.5: Τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των μιγμάτων παγωτού (στους 4 °C) με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	222
Σχήμα 6.3.6: Τιμές του ιξώδους Kokini (στους 50s ⁻¹) των μιγμάτων παγωτού (στους 4 °C) με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	223
Σχήμα 6.3.7: Τιμές του ποσοστού θιξοτροπίας των μιγμάτων παγωτού (στους 4 °C) με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	223
Σχήμα 6.3.8: Τιμές του ποσοστού ενσωμάτωσης αέρα των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	224

Σχήμα 6.3.10: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος σακχαρόζης 28% (w/w) με εφαρμογή της μεθόδου DSC	225
Σχήμα 6.3.11: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος συμπυκνώματος γλεύκους 28% (w/w) με εφαρμογή της μεθόδου DSC	226
Σχήμα 6.3.12: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος μελάσσας σακχαροκάλαιμου 28% (w/w) με εφαρμογή της μεθόδου DSC	226
Σχήμα 6.3.13: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος σταφιδίνης 28% (w/w) με εφαρμογή της μεθόδου DSC	227
Σχήμα 6.3.14: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σακχαρόζη με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w)	227
Σχήμα 6.3.15: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με συμπύκνωμα γλεύκους ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 10%)	228
Σχήμα 6.3.16: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με συμπύκνωμα γλεύκους ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 30%)	228
Σχήμα 6.3.17: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μελάσσα σακχαροκάλαιμου ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 10%)	229
Σχήμα 6.3.18: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με μελάσσα σακχαροκάλαιμου ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 30%)	229
Σχήμα 6.3.19: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σταφιδίνη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 10%)	229
Σχήμα 6.3.20: Καμπύλη τήξης μίγματος παγωτού με σταφιδίνη ως μερικό υποκατάστατο της σακχαρόζης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (ολικά στερεά σακχάρων 16% w/w, ποσοστό υποκατάστασης 30%)	230
Πίνακας 6.3.21: Τιμές του χρόνου πώσης της 1 ^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαιμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	232
Πίνακας 6.3.22: Τιμές του ρυθμού τήξης των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαιμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%)	232
Πίνακας 6.3.23: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαιμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%) αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες	233
Πίνακας 6.3.24: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη εναλλακτικών σακχάρων (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη, μελάσσα σακχαροκάλαιμου) ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης (10, 20 και 30%) αποθηκευμένων για 16 εβδομάδες	234
Σχήμα 6.3.25: Ανάλυση ομαδοποίησης (cluster analysis) για το σύνολο δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες, για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των αντικειμενικών μετρήσεων (μιγμάτων και παγωτού) και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	238
Σχήμα 6.3.26: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για το σύνολο των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες, για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των αντικειμενικών μετρήσεων (μιγμάτων και παγωτού) και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	239
Σχήμα 6.3.27: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για το σύνολο των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για τη διερεύνηση του τρόπου μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης	239
Σχήμα 6.3.28: Ανάλυση διάκρισης (Discriminant analysis) για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των εναλλακτικών σακχάρων ως προς την αποτελεσματικότητα ανάσχεσης της ανακρουστάλλωσης	240
Σχήμα 6.3.29: Επιλογή των μεταβλητών (©) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens	241
Σχήμα 6.3.30: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκχαρα (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)	242
Σχήμα 6.3.31: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκχαρα σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR	242
Σχήμα 6.4.1: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη ρεολογική συμπεριφορά πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης - υδροκολλοειδούς (κόμμι γκουάρ/κόμμι ξανθάνης), πριν (α) και μετά (β) την ωρίμανσή τους στους 4°C.	243
Σχήμα 6.4.2: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη ρεολογική συμπεριφορά μιγμάτων παγωτού πριν (γ) και μετά (δ) την ωρίμανσή τους στους 4°C.	244
Σχήμα 6.4.3: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη μικροδομή των γαλακτωμάτων παγωτού (ωριμασμένων στους 4°C για 18h) με χρήση οπτικού μικροσκοπίου (40x, κλίμακα = 50μm).	246
Σχήμα 6.4.4: Επίδραση των διαιτητικών ινών στο μέγεθος των φυσαλίδων αέρα των δειγμάτων παγωτού με	247

χρήση οπτικού μικροσκοπίου (100x, κλίμακα = 100μm)

Σχήμα 6.4.5: Επίδραση των διαιτητικών ινών στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα (overrun) στα δείγματα παγωτού	248
Σχήμα 6.4.6: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)	248
Σχήμα 6.4.7: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας βρώμης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)	249
Σχήμα 6.4.8: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας βρώμης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)	249
Σχήμα 6.4.9: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας σιταριού με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)	249
Σχήμα 6.4.10: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας μήλου με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)	250
Σχήμα 6.4.11: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ίνας μήλου με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)	250
Σχήμα 6.4.12: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ινουλίνης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)	250
Σχήμα 6.4.13: Καμπύλη τήξης υδατικού διαλύματος σακχαρόζης - πολυσακχαρίτη ινουλίνης με εφαρμογή της μεθόδου DSC (16% σακχαρόζη, 0.2% πολυσακχαρίτης)	251
Σχήμα 6.4.15: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη σταθερότητα των γαλακτωμάτων παγωτού ωριμασμένου στους 4° C για 18h	254
Σχήμα 6.4.15: Επίδραση των διαιτητικών ινών στην περιεκτικότητα της φάσης ορού σε πρωτεΐνη στα γαλακτώματα παγωτού (ωριμασμένα στους 4° C για 18h)	255
Σχήμα 6.4.16: Επίδραση των διαιτητικών ινών στη ρεολογική συμπεριφορά της φάσης ορού των γαλακτωμάτων παγωτού	255
Σχήμα 6.4.17: Επίδραση των διαιτητικών ινών στο χρόνο πτώσης της 1 ^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού	256
Σχήμα 6.4.18: Επίδραση των διαιτητικών ινών στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού	256
Σχήμα 6.4.19: Επίδραση των διαιτητικών ινών στην αντικειμενική σκληρότητα (στους -15° C) των δειγμάτων παγωτού στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης	257
Σχήμα 6.4.20: Επίδραση των διαιτητικών ινών στην αντικειμενική σκληρότητα (στους -15° C) των δειγμάτων παγωτού στις 16 εβδομάδες αποθήκευσης	257
Σχήμα 6.4.21: Μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών στα δείγματα παγωτού με ή χωρίς την προσθήκη διαιτητικών ινών (cluster analysis)	259
Σχήμα 6.4.22: Μελέτη των συσχετίσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και των αντικειμενικών ιδιοτήτων στα δείγματα παγωτού με ή χωρίς την προσθήκη διαιτητικών ινών με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PC1 - PC2)	259
Σχήμα 6.4.23: Μελέτη των συσχετίσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και των αντικειμενικών ιδιοτήτων στα δείγματα παγωτού με ή χωρίς την προσθήκη διαιτητικών ινών με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PC3 - PC4)	261
Σχήμα 6.4.24: Μελέτη των συσχετίσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών στα δείγματα παγωτού με ή χωρίς την προσθήκη διαιτητικών ινών ως συνάρτηση του χρόνου αποθήκευσης με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών	262
Σχήμα 6.4.25: Επιλογή των μεταβλητών (Θ) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens	263
Σχήμα 6.4.26: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)	264
Σχήμα 6.4.27: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR	264
Σχήμα 6.5.1: Τιμές pH των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4° C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους	265
Σχήμα 6.5.2: Τιμές οξύτητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4° C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.	265
Σχήμα 6.5.3: Τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4° C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.	266

Σχήμα 6.5.4: Τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.	267
Σχήμα 6.5.5: Τιμές του ιξώδους Kokini των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά. Οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα του λίπους.	268
Σχήμα 6.5.6: Τιμές του ποσοστού ενσωμάτωσης αέρα στα δείγματα προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά	268
Σχήμα 6.5.7: Καμπύλη τήξης μίγματος προβιοτικού παγωτού με ολιγοφρουκτόζη ως υποκατάστατο των λιπαρών (6% λιπαρά, 30% υποκατάσταση, 50% γιαούρτι). Στο πλαίσιο απεικονίζεται η 1η παράγωγος του τμήματος της καμπύλης όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταπτώσεις (σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο έναρξης τήξης)	270
Σχήμα 6.5.8: Καμπύλη τήξης μίγματος προβιοτικού παγωτού με ολιγοφρουκτόζη ως υποκατάστατο των λιπαρών (6% λιπαρά, 30% υποκατάσταση, 25% γιαούρτι). Στο πλαίσιο απεικονίζεται η 1η παράγωγος του τμήματος της καμπύλης όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταπτώσεις (σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο έναρξης τήξης)	270
Σχήμα 6.5.9: Καμπύλη τήξης μίγματος προβιοτικού παγωτού με ινουλίνη ως υποκατάστατο των λιπαρών (6% λιπαρά, 30% υποκατάσταση, 25% γιαούρτι). Στο πλαίσιο απεικονίζεται η 1η παράγωγος του τμήματος της καμπύλης όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταπτώσεις (σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο έναρξης τήξης)	271
Σχήμα 6.5.10: Καμπύλη τήξης μίγματος προβιοτικού παγωτού με ινουλίνη ως υποκατάστατο των λιπαρών (6% λιπαρά, 30% υποκατάσταση, 50% γιαούρτι). Στο πλαίσιο απεικονίζεται η 1η παράγωγος του τμήματος της καμπύλης όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταπτώσεις (σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο έναρξης τήξης)	271
Σχήμα 6.5.11: Τιμές του χρόνου πώσης της 1ης σταγόνας τήγματος στα δείγματα προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά.	272
Σχήμα 6.5.12: Τιμές του ρυθμού τήξης των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%). Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά.	273
Σχήμα 6.5.13: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%) αποθηκευμένα στους -26°C για 4 εβδομάδες. Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά.	274
Σχήμα 6.5.14: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού (4% λιπαρά) με διαφορετική περιεκτικότητα σε γιαούρτι (25 και 50%), και ποσοστά υποκατάστασης των λιπαρών (30 και 50%) αποθηκευμένα στους -26°C για 16 εβδομάδες. Τα δείγματα σε μπλε πλαίσιο περιέχουν 6% λιπαρά.	274
Σχήμα 6.5.15: Ανάλυση ομαδοποίησης για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών με τις αντικειμενικές μετρήσεις και τη σύνδεσή τους με τη λειτουργική δράση των παραγόντων σύστασης στα δείγματα προβιοτικού παγωτού.	279
Σχήμα 6.5.16: Ανάλυση κυρίων συνιστωσών των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και των αντικειμενικών ιδιοτήτων των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού αποθηκευμένων για 4 εβδομάδες στους -26°C.	280
Σχήμα 6.5.17: Ανάλυση διάκρισης (discriminant analysis) για τη διάκριση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με βάση την περιεκτικότητά τους σε λιπαρά και ολιγοσακχαρίτες. Το ποσοστό επιτυχούς διάκρισης είναι 95.3%.	281
Σχήμα 6.5.18: Ανάλυση διάκρισης (discriminant analysis) για τη διάκριση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με βάση το είδος των ολιγοσακχαριτών. Το ποσοστό της διάκρισης είναι 100%.	281
Σχήμα 6.5.19: Ανάλυση κυρίων συνιστωσών για τη μελέτη της συμπεριφοράς των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των 16 εβδομάδων. Για την κατασκευή του διαγράμματος χρησιμοποιήθηκαν οι οργανοληπτικές ιδιότητες που σχετίζεται με την ανακρουστάλλωση	282
Σχήμα 6.5.20: Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (με cross-validation και εφαρμογή του κριτηρίου Martens) για τον προσδιορισμό των αντικειμενικών και οργανοληπτικών ιδιοτήτων που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού.	283
Σχήμα 6.5.21: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)	283
Σχήμα 6.5.22: Προσαρμογή των πραγματικών και προρρημένων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου	284
Σχήμα 6.6.1: Τιμές pH των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές	285
Σχήμα 6.6.2: Τιμές οξύτητας (% γαλακτικό οξύ) των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές	286
Σχήμα 6.6.3: Τιμές ιξώδους Kokini (στα 50s ⁻¹) των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού μετά την ανάμιξη ωριμασμένου μίγματος παγωτού (για 18h στους 4°C) με προβιοτικό γιαούρτι σε δύο ποσοστά (25 και 50%). LF = 2% λιπαρά, HF =	286

4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές	
Σχήμα 6.6.4: Τιμές overrun των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές	287
Σχήμα 6.6.5: Τιμές των χρόνων πτώσης 1ης σταγόνας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές	288
Σχήμα 6.6.6: Τιμές του ρυθμού τήξης των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές	289
Σχήμα 6.6.7: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές	290
Σχήμα 6.6.8: Τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού στις 16 εβδομάδες αποθήκευσης. LF = 2% λιπαρά, HF = 4% λιπαρά, LY = 25% προβιοτικό γιαούρτι, HY = 50% προβιοτικό γιαούρτι, 2 = 0.2% και 4 = 0.4% υδροκολλοειδές	290
Σχήμα 6.6.9: Ανάλυση ομαδοποίησης (cluster analysis) για το σύνολο των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες, για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των αντικειμενικών μετρήσεων (μιγμάτων και παγωτού) και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	299
Σχήμα 6.6.10: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για το σύνολο των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 4 εβδομάδες για τη διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των αντικειμενικών μετρήσεων (μιγμάτων και παγωτού) και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	300
Σχήμα 6.6.11: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδροκολλοειδών ως προς την αποτελεσματικότητα βελτίωσης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων	301
Σχήμα 6.6.12: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των υδροκολλοειδών ως προς την αποτελεσματικότητα ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης των δειγμάτων	301
Σχήμα 6.6.13: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των πιθανών ομοιοτήτων της αναλογίας των λιπαρών και του ποσοστού προσθήκης υδροκολλοειδών ως προς την παρεχόμενη κρυσταλλοστατευτική δράση (95% επιτυχής διάκριση)	302
Σχήμα 6.6.14: Ανάλυση κυρίων συνιστωσών των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με την προσφερόμενη κρυσταλλοστατευτική δράση για τα δείγματα παγωτού αποθηκευμένα για 4 και 16 εβδομάδες	302
Σχήμα 6.6.15: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση της κρυσταλλοστατευτικής δράσης των υδροκολλοειδών μετά από 16 εβδομάδες αποθήκευσης	303
Σχήμα 6.6.16: Επιλογή των μεταβλητών (©) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens	303
Σχήμα 6.6.17: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με διαφορετικά υδροκολλοειδή (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)	304
Σχήμα 6.6.18: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR	304
Σχήμα 7.1: Απεικόνιση των μηχανισμών που καθορίζουν την αποδοχή των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος από τους καταναλωτές	311

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος αποτελούν μία ομάδα τροφίμων ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, λόγω της πολυπλοκότητας της δομής τους και των δυναμικών μεταβολών στις οποίες υποβάλλονται κατά τη διάρκεια της παραγωγής και αποθήκευσής τους. Ο έλεγχος των συνθηκών της παραγωγικής διαδικασίας και η επιλογή των κατάλληλων συστατικών αποτελούν βασικές παραμέτρους για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας και μεγάλου χρόνου ζωής. Παράλληλα η χρήση των κατάλληλων συστατικών επηρεάζει σημαντικά τόσο τα ποιοτικά χαρακτηριστικά αποδοχής του παγωτού από τους καταναλωτές όσο και τη σταθερότητά του κατά τα στάδια της αποθήκευσης και διανομής του.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή ένας σημαντικός αριθμός από συστατικά υδατανθρακικής προέλευσης (υδροκολλοειδή, ολιγοσακχαρίτες, αμυλοσιρόπια, δισακχαρίτες, πολυαλκοόλες, εναλλακτικά σάκχαρα, μαλτοδεξτρίνες και διαιτητικές ίνες) χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν ως προς την επίδρασή τους στις ρεολογικές και θερμοφυσικές ιδιότητες, την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα, την αντικειμενικά προσδιοριζόμενη υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά διαφορετικών συστημάτων παγωτού (παγωτό βανίλια, παγωτό σοκολάτα και προβιοτικό παγωτό). Η επιλογή των συστατικών έγινε με βάση τις διαφοροποιήσεις τους ως προς τους μηχανισμούς ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης, την επίδρασή τους στα φαινόμενα πάχυνσης κατά την ωρίμανση, τη συμμετοχή τους στην αποσταθεροποίηση των λιπαρών κατά την κατάψυξη, την επίδρασή τους στη θερμοκρασία των σημείων πήξης και υαλώδους μετάπτωσης και τέλος, στον τρόπο και τους μηχανισμούς επίδρασης στην οργανοληπτικά αποτιμώμενη ποιότητα των δειγμάτων παγωτού. Κατά συνέπεια, οι κυριότερες λειτουργικές ιδιότητες των υδατανθρακικών συστατικών που ελήφθησαν υπόψη κατά την επιλογή τους ως κρυσταλλοστατευτικά συστατικά των δειγμάτων παγωτού, περιελάμβαναν: α) το μοριακό βάρος, β) το ισοδύναμο δεξτρόζης, γ) το βαθμό πολυμερισμού, δ) το βαθμό διακλάδωσης, ε) την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, στ) το μηχανισμό ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης, ζ) τη διαλυτότητά τους στο νερό, η) την ικανότητα σχηματισμού πηγμάτων, θ) την αλληλεπίδρασή τους με άλλα βιοπολυμερή, ι) τη γλυκαντική τους ισχύ. Επιπλέον, η συμβατότητα των συστατικών με τα χαρακτηριστικά γεύσης - αρώματος, και η δυναμική διατροφική αξία και φυσιολογική δράση ελήφθησαν υπόψη στην περίπτωση π.χ. των εναλλακτικών σακχάρων και των διαιτητικών ινών.

Οι επιμέρους αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμενικών και οργανοληπτικών μετρήσεων, με στόχο τη διερεύνηση του τρόπου επίδρασης των υδατανθρακικών συστατικών στα συστήματα παγωτού και των μηχανισμών που ποσοτικοποιούν την ολική αποδοχή τους, εξετάστηκαν με εφαρμογή εργαλείων πολυμεταβλητής ανάλυσης (ανάλυση ομαδοποίησης, ανάλυση κύριων συνιστωσών). Η ανάλυση διάκρισης χρησιμοποιήθηκε, προκειμένου να εξεταστεί η συγγένεια των επιμέρους υδατανθρακικών συστατικών ως προς συγκεκριμένες δράσεις-μηχανισμούς που σχετίζονται με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού. Επιπλέον, η μέθοδος της παλινδρόμησης μερικών ελάχιστων τετραγώνων (Partial Least Squares Regression) εφαρμόστηκε, προκειμένου να κατασκευαστούν απλά γραμμικά μαθηματικά μοντέλα πρόρρησης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού από αντικειμενικές και οργανοληπτικές ιδιότητες. Τα PLS μοντέλα παρέχουν επίσης πληροφορίες για τους πιθανούς μηχανισμούς που εμπλέκονται στην αποτίμηση της ολικής ποιότητας των δειγμάτων παγωτού από τους καταναλωτές.

Αναφορικά με την κρυσταλλοστατευτική δράση των υδατανθρακικών συστατικών στα συστήματα παγωτού, διακρίθηκαν τρεις κύριες κατηγορίες συστατικών: α) *συστατικά τα οποία δεν επιφέρουν μεταβολή των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των μιγμάτων παγωτού*, β) *συστατικά τα οποία επιδρούν άμεσα στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού* και γ) *συστατικά που επιδρούν στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού ανάλογα με το είδος των παρόντων βιοπολυμερών στην υδατική φάση και τις αλληλεπιδράσεις τους*.

Στην πρώτη κατηγορία ενώσεων ανήκουν τα υδροκολλοειδή (αλγινικό νάτριο, ξανθάνη, κόμμι γκουάρ, CMC, και HPMC), τα οποία λόγω του μεγάλου βαθμού πολυμερισμού τους, αλλά κυρίως λόγω της πολύ μικρής συγκέντρωσής τους στα συστήματα παγωτού δεν προκάλεσαν σημαντικές μεταβολές στις θερμικές ιδιότητες των πρότυπων συστημάτων στα οποία προστέθηκαν ($-2.29 < T_f < -2.95$ και $-49.65 < T_g < -49$), εκτός από την περίπτωση της κ-καρραγενάνης ($T_g = -48.75$). Η προσθήκη του αλγινικού νατρίου οδήγησε στα υψηλότερα ιξώδη και overrun (0.89 Pa*s και 84.1% αντίστοιχα) σε σχέση με τη CMC (0.25 Pa*s και 61.3%). Η προσθήκη της κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό μέσο επέφερε αύξηση των τιμών ιξώδους (4.01 έναντι 0.74 Pa*s⁻¹ απουσία κ-καρραγενάνης) και overrun (82.6% έναντι 65.6% απουσία κ-καρραγενάνης) στο σύνολο των δειγμάτων. Η χρήση των υδροκολλοειδών συνέβαλε στη μείωση του ρυθμού τήξης των δειγμάτων παγωτού σε ποσοστό που κυμάνθηκε από 16 έως 80%. Το αλγινικό νάτριο παρουσίασε την καλύτερη κρουπροστατευτική συμπεριφορά στα δείγματα παγωτού κατά τη διάρκεια των 16 εβδομάδων αποθήκευσης όπως προσδιορίστηκε από τα δεδομένα της αντικειμενικής σκληρότητας και του οργανοληπτικού ελέγχου. Αντίθετα, η CMC και το κόμμι γκουάρ προσδιορίστηκαν ως αναποτελεσματικά συστήματα σταθεροποίησης των δειγμάτων παγωτού. Η προσθήκη της κ-καρραγενάνης αποδείχθηκε ότι βελτιώνει τα χαρακτηριστικά ποιότητας (κρεμώδης υφή, ρεολογικές παράμετροι, ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα) των δειγμάτων παγωτού, δράση η οποία αποδόθηκε αφενός στην ικανότητά της να αλληλεπιδρά με τις πρωτεΐνες γάλακτος σχηματίζοντας βιοπολυμερικά πηγματα, και αφετέρου στην επιφανειοενεργότητά της σε σχέση με τα υπόλοιπα υδροκολλοειδή. Η λειτουργική συγγένεια των υδροκολλοειδών αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, γεγονός που αποκάλυψε ότι η θερμοδυναμική αστάθεια των δειγμάτων παγωτού ελαττώνει σταδιακά την αποτελεσματικότητά τους ως κρουπροστατευτικά υλικά. Ενδιαφέρουσες συσχετίσεις μεταξύ των οργανοληπτικών ιδιοτήτων εντοπίστηκαν, γεγονός που υποδεικνύει ότι μηχανισμοί οι οποίοι συνδέουν: α) την κρεμώδη υφή με τις ρεολογικές ιδιότητες, τη μερική συσσωμάτωση των λιπосφαιρίων κατά τη διάρκεια της μύησης, και την παρουσία πολυσακχαρικών διαμορφώσεων, και β) την τραχιά υφή με την κατανομή μεγέθους των παγοκρύσταλλων και την αυξημένη τριβή κατά τη μύηση, περιγράφουν τον τρόπο αποτίμησης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού.

Στη δεύτερη κατηγορία ενώσεων ανήκουν τα σάκχαρα (μαλτόζη και τρεχαλόζη), οι πολυόλες (ξυλιτόλη, μαλιτιτόλη, μαννιτόλη, και σορβιτόλη), τα αμυλοσιρόπια (22DE και 39DE), οι διαλυτές διαιτητικές ίνες (Nutriose®), οι φρουκτοολιγοσακχαρίτες (ινουλίνη και ολιγοφρουκτόζη) και οι μαλτοδεξτρίνες (12DE και 17DE). Τα υλικά αυτά ανήκουν στην κατηγορία των κύριων γλυκαντικών υλών (με μία ευρύτερη έννοια), και προστέθηκαν ως υποκατάστατα των ολικών στερεών γλυκαντικών υλών. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι οι επιδράσεις τους στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού καθορίζουν την κρουπροστατευτική τους δράση, με τα υλικά τα οποία επέφεραν ανύψωση της θερμοκρασίας των σημείων πήξης και υαλώδους μετάπτωσης να παρέχουν την καλύτερη δυνατή θερμοδυναμική σταθερότητα στα συστήματα παγωτού. Η χρήση συστατικών με υψηλό μοριακό βάρος (μακρομοριακά), χαμηλό ισοδύναμο δεξτρόζης, υψηλό βαθμό πολυμερισμού και διακλάδωσης, όπως οι μαλτοδεξτρίνες 12DE, και 17DE, το αμυλοσιρόπιο 22DE, η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη, συνέβαλαν στη σημαντική ανύψωση των τιμών T_f και T_g , σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν σακχαρόζη (από 0.5 έως 1.2 °C στην περίπτωση του σημείου πήξης, και από 4 έως 5.2 °C στην περίπτωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης), ενώ παράλληλα ενίσχυσαν τα ιξώδη των μιγμάτων παγωτού (από 8% έως 349%), βελτίωσαν την ικανότητα απόδοσής τους (από 10.4 έως 41%), αύξησαν το χρόνο στάλαξης (έως και 138%) και ελάττωσαν το ρυθμό τήξης των δειγμάτων (από 7.1 έως 79.6%). Ικανοποιητική συμπεριφορά παρουσίασε επίσης και η προσθήκη των δισακχαριτών τρεχαλόζη και μαλτόζη, με την πρώτη να επιτυγχάνει σημαντική ανύψωση της τιμής του T_g (περίπου κατά 1 °C). Αντίθετα, οι πολυόλες και η φρουκτόζη, αν και βελτίωσαν την ικανότητα απόδοσης των μιγμάτων

παγωτού και σε ορισμένες περιπτώσεις ενίσχυσαν και τα ιξώδη τους (ξυλιτόλη, σορβιτόλη), εντούτοις η κρυσταλλοπροστατευτική τους δράση χαρακτηρίστηκε ως ανεπαρκής (ταπείνωση του σημείου πήξης από 0.42°C στην περίπτωση της μαλιτιόλης έως και 2.54°C στην περίπτωση της ξυλιτόλης). Γενικά, από τα αποτελέσματα της προσθήκης των προηγούμενων συστατικών διαπιστώθηκε ότι η μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού, αλλά και η μείωση του ποσοστού του διαθέσιμου μη κρυσταλλωμένου νερού στα φαινόμενα διάχυσης υγρασίας από τη φάση ορού στη διεπιφάνεια που περιβάλλει τους παγοκρύσταλλους είναι οι μηχανισμοί που περιγράφουν κατά κύριο λόγο την κρυσταλλοπροστατευτική τους δράση. Παρά την ικανοποιητική κρυσταλλοπροστατευτική δράση των μακρομοριακών συστατικών, η συνεισφορά τους στην ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού εμφανίστηκε ελλιπής, κυρίως λόγω της μειωμένης τους γλυκαντικής ισχύος, η οποία αντικατοπτρίζεται στην ένταση της γλυκιάς γεύσης και την ένταση και το ρυθμό απελευθέρωσης του αρώματος βανίλιας. Ο χρόνος αποθήκευσης των δειγμάτων παγωτού μείωσε το βαθμό διαφοράς μεταξύ των μακρομοριακών ενώσεων και των συστατικών μικρού μοριακού βάρους, αν και η αποτελεσματικότητά τους στον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης δεν μεταβλήθηκε σημαντικά. Λόγω του σύνθετου τρόπου με τον οποίο αποτιμάται η ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού, στην περίπτωση των συγκεκριμένων υδατανθρακικών ενώσεων, χωριστά μοντέλα πρόρρησης της ολικής αποδοχής κατασκευάστηκαν με βάση τη δομή και το μοριακό βάρος τους. Έτσι οι πολυόλες, τα απλά σάκχαρα και οι δισακχαρίτες συνεισφέρουν στην ολική αποδοχή μέσω της ενίσχυσης του αρωματικού προφίλ των δειγμάτων παγωτού, αν και επιφέρουν αύξηση της τριβής στην επιφάνεια της γλώσσας λόγω του χαμηλού ιξώδους του τήγματος, της περιορισμένης μερικής συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων και λόγω της παρουσίας ενός σημαντικού αριθμού ανιχνεύσιμων παγοκρυσταλλών. Αντίθετα, οι μακρομοριακές ενώσεις συνεισφέρουν στην ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού μέσω της ικανότητάς τους να ελαττώνουν την τριβή, να αυξάνουν το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας της γλώσσας με αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια, και να ενισχύουν το ιξώδες του τήγματος.

Στην τρίτη κατηγορία ενώσεων ανήκουν τα εναλλακτικά σάκχαρα, και οι αδιάλυτες διαιτητικές ίνες. Τα εναλλακτικά σάκχαρα (συμπύκνωμα γλεύκους, σταφιδίνη και μελάσσα σακχαροκάλαμου) προστέθηκαν σε συστήματα παγωτού σοκολάτα, λόγω της καλύτερης συμβατότητάς τους από πλευράς αρώματος και γεύσης. Αν και τα υδατικά συστήματα των εν λόγω συστατικών δεν παρουσίασαν ανυψωμένες τιμές θερμοφυσικών ιδιοτήτων σε σχέση με τη σακχαρόζη (-45.01 , -46.31 και -41.8°C αντίστοιχα), εντούτοις στα συστήματα παγωτού τα T_g και T_f εμφάνισαν μία ήπια ανύψωση (από 0.28 έως 2.25°C για το T_g και από 0.31 έως 0.8°C για το T_f). Η δράση αυτή συνεπάγεται ότι η συνέργεια μεταξύ των μακρομοριακών συστατικών των συγκεκριμένων σακχάρων (κυρίως δεξτρίνες) με τις πρωτεΐνες μπορεί να επηρεάζει σημαντικά τα φαινόμενα δημιουργίας βιοπολυμερικών διαμορφώσεων στην υδατική φάση. Με βάση αυτήν την παρατήρηση διαπιστώθηκε επίσης ότι τα ιξώδη των μιγμάτων που περιείχαν τα εναλλακτικά σάκχαρα ενισχύθηκαν (από 57 έως 440%) όπως επίσης και η αντοχή των δειγμάτων παγωτού έναντι της τήξης (από 0.7 έως 30%). Σε ό,τι αφορά την παρεχόμενη κρυσταλλοπροστασία, το συμπύκνωμα γλεύκους και η σταφιδίνη εμφάνισαν παρόμοια συμπεριφορά καθόλη τη διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ η μελάσσα εμφανίστηκε ως λιγότερο αποτελεσματική ως μέσο κρυσταλλοπροστασίας. Η ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκχαρα επηρεάστηκε από το σύνθετο αρωματικό τους προφίλ, με τα δείγματα που περιείχαν συμπύκνωμα γλεύκους και σταφιδίνη να παρουσιάζουν ενισχυμένο άρωμα σοκολάτας, αυξημένη πικρή γεύση, κρεμώδη και λιπαρή υφή, καθώς και περιορισμένη υδαρότητα και τραχύτητα. Αντίθετα, η προσθήκη της μελάσσας επέφερε αύξηση της όξινης γεύσης και μείωση της κρεμώδους υφής.

Για την περίπτωση των αδιάλυτων διαιτητικών ινών, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης είναι πιο έντονη στα μίγματα παγωτού και ιδιαίτερα στην περίπτωση των ινών μήλου (έως και 2°C για τις ίνες μήλου, 1.3°C για τις ίνες σιταριού και

1.4°C για τις ίνες βρώμης). Για την περίπτωση των ινών μήλου η δράση αποδόθηκε στην ασυμβατότητα της περιεχόμενης πηκτίνης με τις πρωτεΐνες της φάσης ορού, η οποία αυξάνει την τοπική συγκέντρωση των υδροκολλοειδών και μειώνει τη μοριακή κινητικότητα του νερού. Αντίθετα, στην περίπτωση των ινών σιταριού και βρώμης, η δράση αποδόθηκε στη δημιουργία κυτταρινικών και ημικυτταρινικών διαμορφώσεων, οι οποίες περιορίζουν την κινητικότητα των μορίων νερού και τη διαθεσιμότητά τους στα φαινόμενα διάχυσης υγρασίας από τη φάση ορού προς την επιφάνεια των παγοκρύσταλλων. Η ολική αποδοχή των συγκεκριμένων δειγμάτων επηρεάστηκε κατά κύριο λόγο από την κοκκομετρία τους, από την ικανότητά τους να ενισχύουν το άρωμα βανίλιας των δειγμάτων, και από την ικανότητά τους να περιορίζουν την τραχιά υφή.

Επιλεγμένα συστατικά πολυσακχαριτικής - ολιγοσακχαριτικής προέλευσης ενσωματώθηκαν σε συστήματα προβιοτικού παγωτού, προκειμένου να ελεγχθεί η κρυσταλλοπροστατευτική τους δράση σε ζυμωμένα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος. Διαπιστώθηκε ότι η αποτελεσματικότητα των ολιγοσακχαριτών στο προβιοτικό παγωτό ήταν σχεδόν ταυτόσημη με εκείνη στα συμβατικά συστήματα παγωτού, ενώ αντίθετα η αποτελεσματικότητα των υδροκολλοειδών μεταβλήθηκε σημαντικά ανάλογα με τη σταθερότητά τους στις όξινες συνθήκες των συγκεκριμένων συστημάτων. Έτσι, το αλγινικό νάτριο προσδιορίστηκε ως ανεπαρκές σταθεροποιητικό σύστημα στο προβιοτικό παγωτό σε αντίθεση με την ξανθάνη και την HPMC τα οποία εμφάνισαν πολύ ικανοποιητική κρυσταλλοπροστατευτική δράση μετά από 16 εβδομάδες αποθήκευσης. Η αύξηση του ποσοστού προσθήκης γιαουρτιού από 25 σε 50% επί του συνολικού βάρους του μίγματος, επέφερε σημαντική μείωση της ποιότητας των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού, κυρίως λόγω της ενίσχυσης του όξινου και στυφού αρώματος, και της αύξησης της τραχιάς, εύθρυπτης και πηγματώδους υφής. Η αύξηση των ολικών στερών λιπαρών γάλακτος προσδιορίστηκε ως ένας ικανοποιητικός τρόπος βελτίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. Σύμφωνα με τα PLSR μοντέλα που κατασκευάστηκαν στην περίπτωση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού, το έντονο όξινο και στυφό flavor στα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος μπορεί να αποτελέσει ένδειξη μείωσης της ποιότητάς τους λόγω: α) της επικάλυψης της γλυκιάς γεύσης και του αρώματος βανίλιας, β) της ενίσχυσης της τραχιάς και εύθρυπτης υφής λόγω μεταβολών στα βιοπολυμερικά πλέγματα, γ) της αύξησης της αποτιμώμενης τριβής εξαιτίας της απομάκρυνσης του υμενίου από μερικώς συσσωματωμένα λιποσφαίρια στην περίπτωση της παρουσίας στυφών αρωματικών παραγόντων.

ABSTRACT

Frozen dairy desserts are foodstuffs of paramount interest due to their peculiar colloidal properties and the dynamic changes occurring during the manufacturing and storage stages. The strict control of the manufacturing processes and the proper selection of the ingredients are among the most important parameters for producing high quality ice cream and extending its shelf-life.

In the present doctoral dissertation a significant number of components of carbohydrate origin (hydrocolloids, oligosaccharides, corn syrup solids, disaccharides, polyols, alternative sugar solids, maltodextrins, and dietary fiber) have been used and studied for their effects on the rheological and thermal properties of ice cream mixes, as well as overrun, instrumental hardness and sensory characteristics of frozen ice cream systems (vanilla and chocolate ice cream, probiotic ice cream). The ingredients selection criteria included their ability to control of the recrystallization phenomena, their effects on hydration and thickening during the ageing step, their participation in fat destabilization during the freezing

- whipping step, their impact on freezing point and glass transition temperatures, and their effects on the development and perception of sensory characteristics. Thus, the major functional properties of the carbohydrate based components used in the herein study, include the: a) molecular weight, b) dextrose equivalent (DE), c) polymerization degree, d) branching degree, e) water binding capacity, f) mechanisms involved into the control of ice recrystallization, g) solubility, h) gel forming ability, i) interaction or interconnection with other biopolymers, and k) sweetening power. Moreover, the compatibility of the specific ingredients with the flavor - taste contributors, and their potential nutritional value and physiological action have been also taken into consideration e.g. in the case of alternative sugar solids, and dietary fiber.

The particular interrelationships between instrumental and sensory characteristics in order to better understand the mechanisms involved during the perception of the quality traits of frozen dairy desserts were analyzed implementing several multivariate analysis statistical tools such as principal components analysis (PCA), cluster analysis. Discriminant analysis was performed to investigate the functional affinity of the specific ingredients based on different mechanisms involved in the mastication - perception process. Moreover, the Partial Least Squares Regression (PLSR) method was implemented to construct simplified linear predictive models based on a sensory attributes - instrumental properties data set.

Considering their cryoprotective action in the particular ice cream systems, the carbohydrate based components were divided in three main categories: a) components that do not affect the thermal properties of ice creams, b) components that significantly influence the thermal properties of ice cream and c) components that affect the thermal properties through their ability to interact with the biopolymers of the serum phases.

The first group of components was comprised of hydrocolloids (sodium alginate, xanthan gum, guar gum, CMC, and HPMC), which due to their high polymerization degree and low concentrations in ice cream systems they did not influence their thermal properties. K-carrageenan was the only hydrocolloid that significantly affected the thermal properties of ice creams. Sodium alginate performed the best cryoprotective effect on ice cream samples during the 16 weeks storage period. In contrast, CMC and guar gum were ineffective to control the recrystallization phenomena. The use of kappa-carrageenan improved the quality characteristics of ice creams (creamy texture, rheological parameters, overrun) as result of its reactivity with milk proteins leading to gel formation, and its significant surface activity. Creaminess was related with the thickness of mixes, partial coalescence of fat droplets during the mastication process and the presence of biopolymer entanglements. Coarseness was related with ice crystals mean size as well as perceived friction during the mastication process.

The second group of components was comprised of sugars (trehalose, maltose and fructose), polyols (xylitol, mannitol, maltitol and sorbitol), corn syrup solids (22DE and 39DE), soluble dietary fiber (Nutriose®), fructooligosaccharides, (inulin and oligofructose) and maltodextrins (12DE and 17DE). The experimental results revealed that the materials that led the elevation of freezing point and glass transition temperatures performed the best cryoprotective action. The use of macromolecular carbohydrates i.e. high polymerization and branching degree, low dextrose equivalent, high molecular weight, such as maltodextrins, corn syrup solids 22DE, fructooligosaccharides contributed to the elevation of T_f and T_g as well as the enhancement of viscosity and melting characteristics of ice creams. Trehalose and maltose proved to be adequate cryoprotectants whereas fructose and polyols failed to furnish cryoprotection in ice cream systems. The cryoprotective effect furnished by the addition the carbohydrates found to be related with their ability to inhibit the water molecules mobility and the diffusion rate of water from the bulk serum phase to the ice crystals interface. Although macromolecular carbohydrates increased the thermodynamic stability of ice creams

during storage they were not adequate to enhance the flavor intensity and to control the flavor release during consumption. Storage time was an important factor that affected the functionality of the carbohydrate ingredients used. Due to the complex pattern in which consumers perceive quality in ice cream systems with different carbohydrate components, two different PLSR models were constructed considering their specific functional properties such as molecular weight, dextrose equivalent, degree of polymerization and branching. Thus, polyols and sugars contributed to the overall acceptability through their ability to enhance vanilla flavor and sweet taste, though they also favor friction as result of low in-mouth viscosity and fat destabilization. On the other hand, the macromolecular carbohydrates contributed to ice cream overall acceptability through their ability to reduce friction, to increase the tongue coverage by a thin film of partially coalesced fat droplets and to enhance in-mouth viscosity.

The third group of components was comprised of alternative sugar solids and insoluble dietary fibers. The alternative sugar sources (grape juice concentrate, raisin juice concentrate and sugar cane molasses) were added in chocolate ice cream formulations due to their better flavor and taste compatibility. The addition of alternative sugar solids in ice cream systems led to a slight increase of freezing point and glass transition temperature as effect of their important content in dextrans as well as their ability to enhance viscosity and biopolymers entanglements in the serum phase. Based on this observation, the addition of alternative sugar solids improved also the melting quality of ice creams. Comparing the cryoprotection furnished by the alternative sugar solids, we observed that grape juice concentrate and raisin juice concentrate had an almost equivalent effect on ice cream formulations whereas sugar cane molasses failed to improve the texture of ice creams to the same extent. The complex flavor profile of alternative sugars was of paramount importance for the overall acceptability of ice cream systems and thus, the use of raisin juice concentrate and grape juice concentrate led to better perceived chocolate flavor, bitter aftertaste and sweet taste. Moreover, the former materials favored textural quality of ice creams. In contrast, the use of sugar cane molasses increased sourness, coarseness, brittleness and wateriness of ice creams.

In the case of insoluble dietary fibers (apple, oat and wheat fiber) it was observed only a slight elevation of T_g in their aqueous solutions but a significant T_g elevation when they were incorporated in ice cream systems. The elevation of glass transition temperature caused by the addition of apple fiber was attributed to the thermodynamic incompatibility of pectin with milk proteins leading to topic concentration of polysaccharides in the serum phase and thus, to the emerging of a steric barrier against water molecules mobility in the freeze concentrated serum phase. The increase of T_g values resulted by the addition of wheat and oat fiber was found to be related with their ability to form cellulosic and hemicellulosic networks able to decrease the water molecules mobility in the aqueous unfrozen phase. The overall acceptability of the dietary fiber enriched formulations was influenced by the fiber mean size, their ability to control the flavor release and friction during consumption.

Selected hydrocolloids (sodium alginate, xanthan gum, CMC, HPMC and guar gum) and oligosaccharides (maltodextrin 12DE, inulin and oligofructose) were incorporated in probiotic ice cream formulations to investigate their particular cryoprotective effects in fermented frozen dairy desserts. The cryoprotection furnished by the oligosaccharides was almost equivalent to that observed in conventional ice cream formulations. However, the furnished cryoprotection by the hydrocolloids was significantly altered resulting by the intrinsic acidic conditions of the probiotic ice cream environment. The use of xanthan and HPMC in probiotic ice cream improved its textural quality and thermodynamic stability after 16 weeks of storage, whereas sodium alginate was the poorest stabilizing system. Moreover the increase of probiotic yogurt content of ice cream formulations led to the deterioration of their texture

ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

and overall quality due to the development of sour and astringent flavor and coarse, crumbly and watery texture. According to the constructed PLSR models, the excessive sourness and astringency in fermented frozen dairy desserts may be an indication of quality loss as result of: a) masking of sweet taste and vanilla flavor, b) increase of coarseness and brittleness caused by the changes in the biopolymers matrices and c) increase of perceived friction.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος είναι πολύ γενικός και αφορά μία εκτεταμένη κατηγορία προϊόντων που προκύπτουν από την κατάψυξη ενός μίγματος συστατικών όπως γάλα, γλυκαντικές ύλες, λιπαρές ύλες, γαλακτωματοποιητές και αρωματικές ύλες. Άλλα συστατικά όπως κρόκος αυγού, χρωστικές ύλες, αμυλοσιρόπια και γιαούρτι μπορούν επίσης να προστίθενται στο μίγμα παγωτού. Το μίγμα παγωτού πρέπει να κατεργάζεται θερμικά και να ομογενοποιείται πριν από την κατάψυξή του. Η κατάψυξη συνίσταται στην ταχεία απομάκρυνση αισθητής θερμότητας με παράλληλη απόδοση του μίγματος, προκειμένου να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δομή και υφή στο τελικό προϊόν. Στην κατηγορία των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος περιλαμβάνονται διάφορα προϊόντα όπως παγωτό, premium παγωτό, παγωτό με χαμηλά λιπαρά, άπαχο παγωτό, παγωτό-γιαούρτι, προβιοτικό παγωτό, παγωτό παρφέ, σορμπέ, mellorine (παγωτό που περιέχει αποκλειστικά φυτικά λιπαρά) κ.α. Η σύσταση των διαφόρων ειδών κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος παρατίθεται στον πίνακα Ε.1.

Είδος παγωτού	Λιπαρά γάλακτος	Στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους	Γλυκαντικές ύλες	Σταθεροποιητές Γαλακτωματοποιητές	Ολικά στερεά
Άπαχο παγωτό	<0.7	12-14	18-22	1.0	31.7 - 37.7
Παγωτό με χαμηλά λιπαρά	2-4	12-14	18-22	0.8	32.8 - 38.8
Light παγωτό	5-6	11-12	18-20	0.5	34.5 - 37.5
Παγωτό στιγμιαίας παρασκευής	3-4	12-14	13-16	0.4	28.4 - 33.4
Παγωτό (τυπικό)	10-11	10-11	14-17	0.4	34.4 - 39.4
Premium παγωτό	14-16	7-8	13-17	0.3	34.3 - 41.3
Superpremium παγωτό	17-20	6-8	16-17	0.2	39.2 - 45.2
Παγωτό-γιαούρτι	3.3-6	8.3-13	16-20	0.5	28.1 - 39.5
Light παγωτό γιαούρτι	2-4	8.3-13	17-21	0.6	27.9 - 38.6
Άπαχο παγωτό γιαούρτι	<0.7	8.3-13	17-21	0.6	26.6 - 35.3
Σορμπέ	1-3	1-3	26-35	0.5	28.5 - 41.5
Κατεψυγμένο γάλα (ice milk)	-	-	26-35	0.5	26.5 - 35.5

Πίνακας Ε.1: Μέση σύσταση διαφόρων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος (Marshall et al., 2003)

Η φυσική δομή των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος είναι πολύπλοκη. Φυσαλίδες αέρα και παγοκρύσταλλοι βρίσκονται διεσπαρμένοι σε μία συνεχή υδατική φάση, η οποία είναι εμπλουτισμένη σε κολλοειδείς πρωτεΐνες γάλακτος, αδιάλυτα ανόργανα άλατα, κρύσταλλους λακτόζης, κολλοειδείς σταθεροποιητές, διαλυτά άλατα και σάκχαρα.

Τα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος χαρακτηρίζονται από πολύ ευχάριστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, υψηλή διατροφική αξία, υγιεινά χαρακτηριστικά, χαμηλή θερμιδική αξία και σχετικά χαμηλό κόστος. Μία μέση μερίδα παγωτού (που αντιστοιχεί σε 70g περίπου) παρέχει 130kcal και περιέχει 3g πρωτεΐνης, 100mg ασβεστίου, 70mg φωσφόρου, 250IU βιταμίνη Α, 120μg ριβοφλαβίνη και 30 μg θειαμίνης. Η διατροφική αξία του παγωτού μπορεί να αυξηθεί στις περιπτώσεις όπου ευεγερτικά βακτήρια (π.χ. οξυγαλακτικά ή προβιοτικά), και πρεβιοτικές ύλες (π.χ. μέλι, μελάσσα, διαιτητικές ίνες κ.α.) προστίθενται στο μίγμα παγωτού ή στις αρωματικές ύλες π.χ. τεμάχια αρτοσκευασμάτων, δίπυρα μπισκότου κ.α. Τα χαρακτηριστικά σύστασης αλλά και η λειτουργικότητα των κατεψυγμένων επιδόρπιων

γάλακτος καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις απαιτήσεις των καταναλωτών αλλά και από τον τρόπο ζωής και το κοινωνικό-πολιτισμικό τους υπόβαθρο.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το παγωτό με τη σύγχρονή του μορφή υφίσταται για τουλάχιστον 300 χρόνια, αν και πρωτοπαρασκευάστηκε αιώνες πριν. Υπάρχουν πολλοί μύθοι και ιστορίες που αφορούν στην παρασκευή του παγωτού. Ένας σχετικός μύθος αναφέρει ότι ο Νέρωνας (37-68 μ.Χ.) συνήθιζε να τρώει φρούτα παγωμένα με χιόνι το οποίο έφερναν δούλοι από τα όρη που περιέβαλλαν την αρχαία Ρώμη. Μία άλλη ιστορία αναφέρει ότι οι Μογγόλοι ιππείς είχαν πρωτοπαρασκευάσει παγωτό από την κρέμα γάλακτος που μετέφεραν μαζί τους σε ασκούς. Η ανατάραξη της κρέμας σε συνδυασμό με τις χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούσε στην κρυστάλλωση του νερού προς πάγο και τη δημιουργία ενός αφρώδους κατεψυγμένου προϊόντος. Η διάδοση της Μογγολικής αυτοκρατορίας, μετέδωσε τον τρόπο παρασκευής του συγκεκριμένου προϊόντος στην Κίνα, από όπου ο Μάρκο Πόλο τον διέδωσε στην Ιταλία το 1296 και εν συνεχεία στην Ευρώπη. Πιστεύεται ότι η παρασκευή του παγωτού διαδόθηκε στη Γαλλία μετά το γάμο της Αικατερίνης των Μεδίκων με το δούκα Ερρίκο ΙΙ το 1533, η οποία έφερε μαζί της αρχιμάγειρες οι οποίοι γνώριζαν τον τρόπο παρασκευής του. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει επαρκής αριθμός ιστορικών δεδομένων που να υποστηρίζουν τις παραπάνω ιστορίες περί της καταγωγής του παγωτού.

Αναμφίβολα, η ιστορία του παγωτού είναι συνδεδεμένη με την εφεύρεση των πρώτων τεχνικών ψύξης, και η χρονική του εξέλιξη σχετίζεται με τα ακόλουθα επιστημονικά ευρήματα:

1. Η ψύξη των τροφίμων και των ποτών με ανάμιξή τους με χιόνι ή πάγο
2. Η ανακάλυψη ότι η διάλυση αλάτων στο νερό προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας τους
3. Η ανακάλυψη ότι η ανάμιξη του χιονιού ή του πάγου με άλατα προκαλεί περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας τους
4. Η εφεύρεση της πρώτης παγωτομηχανής στα μέσα του 19ου αιώνα
5. Η εφεύρεση της πρώτου μηχανικού συστήματος ψύξης στα τέλη του 19ου αιώνα ή τις αρχές του 20ου αιώνα

Ο πάγος χρησιμοποιείτο ευρέως από το 4000 π.Χ. για την ψύξη τροφίμων και ποτών. Τα πρώτα κελλάρια με πάγο αναφέρεται πως είχαν κατασκευαστεί το 2000 π.Χ. στη Μεσοποταμία. Σε ιστορικά αρχεία από τη δυναστεία των Zhou στην Κίνα περιγράφουν εκτενώς τις αρμοδιότητες του παγοποιού, στον οποίο ανατίθετο η παραγωγή πάγου από χιόνι κατά τη χειμερινή περίοδο και την αποθήκευσή του σε ειδικά κελλάρια, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατά τους θερινούς μήνες. Κατά την περίοδο της δυναστείας των Tang (618-907 μ.Χ.), παρασκευαζόταν ένα επιδόρπιο από την ανάμιξη βουβαλίσσιου γάλακτος, αλεύρου και καμφοράς. Στην αρχαία Ελλάδα αλλά και την αρχαία Ρώμη συνηθιζόταν η επίπαση των επιδόρπιων με χιόνι.

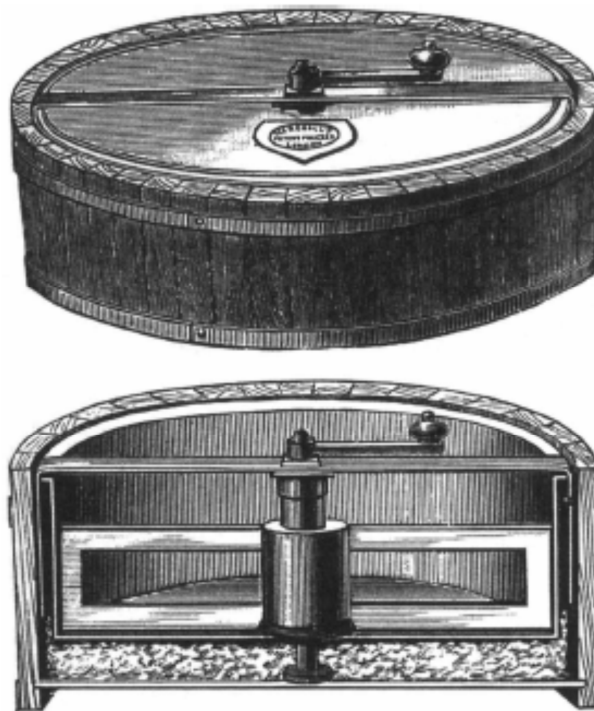
Σε αραβικό ιατρικό εγχειρίδιο του 1242 αναφέρεται ότι η διάλυση χλωριούχου νατρίου, νιτρικού καλίου, χλωριούχου αμμωνίου και θειικού αργιλίου στο νερό προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας του. Σε ινδικό ποίημα του 4^{ου} αιώνα μ.Χ. η 5:5:16 ανάμιξη αλατιού, νίτρου και νερού προκαλεί τη μείωση της θερμοκρασίας του νερού στους -12°C , ικανής να παγώσει ένα ολόκληρο δοχείο με νερό. Το 1589 ο Giambattista Della Porta, ένας επιστήμονας από τη Νάπολη ανακάλυψε έναν τρόπο για την κατάψυξη κρασιού χρησιμοποιώντας ένα μίγμα πάγου και αλατιού.

Η πρώτη αναφορά για την παρασκευή παγωτού στην Αγγλία αναφέρεται το 1671, όταν ένα παγωμένο επιδόρπιο προσφέρθηκε σε δείπνο προς τιμήν του βασιλιά Καρόλου ΙΙ. Το 1676 ο Pierre Barra περιέγραψε μία συνταγή ενός κατεψυγμένου επιδορπίου από φρούτα, κρέμα γάλακτος, και ζάχαρη με τη βοήθεια ενός μίγματος χιονιού και νίτρου. Κατά το 18^ο αιώνα η παρασκευή του παγωτού διαδόθηκε ευρέως στην αριστοκρατική τάξη, γεγονός που

αποτυπώνεται από το μεγάλο αριθμό οικιακών αντικειμένων σχετικών με την παρασκευή και την κατανάλωσή του, που περιλαμβάνονται σε συλλογές του Λουδοβίκου XV, του Γουστάβου III, και της Μεγάλης Αικατερίνης της Ρωσίας. Η διάδοση του παγωτού στην Αμερική έγινε από τον Thomas Jefferson ο οποίος σε ένα ταξίδι του στη Γαλλία πήρε τη συνταγή από το Γάλλο αρχιμάγειρά του και το επιδόρπιο προσφέρθηκε στο γεύμα που παραδόθηκε προς τιμήν του τέταρτου Προέδρου των ΗΠΑ James Madison.

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα η κατανάλωση του παγωτού επεκτάθηκε και στις χαμηλότερες κοινωνικές τάξεις των ΗΠΑ. Το 1840 η πρώτη μηχανή παγωτού κατασκευάστηκε στη Φιλαδέλφεια από τη Nancy Johnson, η οποία αποτελείτο από ένα κυλινδρικό δοχείο που εσωτερικά έφερε δύο μεταλλικές διάτρητες σπάτουλες που ήταν προσαρτημένες σε ένα μεταλλικό άξονα συνδεδεμένο με ένα χειροστρόφαλο. Η συσκευή απλοποίησε τη διαδικασία παρασκευής παγωτού, ενώ βελτίωσε σε μεγάλο βαθμό τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά. Στην Αγγλία το παγωτό έγινε δημοφιλές στις λαϊκές τάξεις κατά τα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Η διάδοση του παγωτού σχετίστηκε με τη μετανάστευση χιλιάδων Ιταλών στην Αγγλία, μεγάλο μέρος των οποίων εργαζόταν ως υπαίθριοι πωλητές παγωτού. Η Agnes Marshall εφηύρε ένα νέο είδος χειροκίνητης μηχανής παγωτού (Σχήμα E.1), ενώ έθεσε και τις βάσεις για τη μικροβιολογική ασφάλεια του παγωτού.

Το 1873 ο Carl von Linde κατασκεύασε την πρώτη ψυκτική μηχανή κλειστού κυκλώματος χρησιμοποιώντας αέρια αμμωνία, για την παραγωγή πάγου. Η εφεύρεση αυτή αποτέλεσε την έναρξη της βιομηχανοποίησης του παγωτού. Το 1927 ο Clarence Vogt ανακάλυψε τον πρώτο καταψύκτη συνεχούς λειτουργίας, διάταξη που σε συνδυασμό με τις μονάδες παστερίωσης και ομογενοποίησης οδήγησαν στη σύγχρονη παραγωγή βιομηχανικού παγωτού υψηλής ποιότητας και μικροβιολογικής ασφάλειας. Ο δεύτερος παγκόσμιος πόλεμος σηματοδότησε την παύση της παραγωγής παγωτού λόγω της ανεπάρκειας των πρώτων υλών, ενώ τα επόμενα χρόνια η είσοδος φθηνότερων αλλά εξίσου ποιοτικών υλικών π.χ. φυτικών λιπαρών, σκόνης γάλακτος κ.α. στην παραγωγή του παγωτού συνέβαλε στη μείωση του λειτουργικού κόστους και την αντιμετώπιση της ανεπάρκειας σε λιπαρά γάλακτος και φρέσκο γάλα.



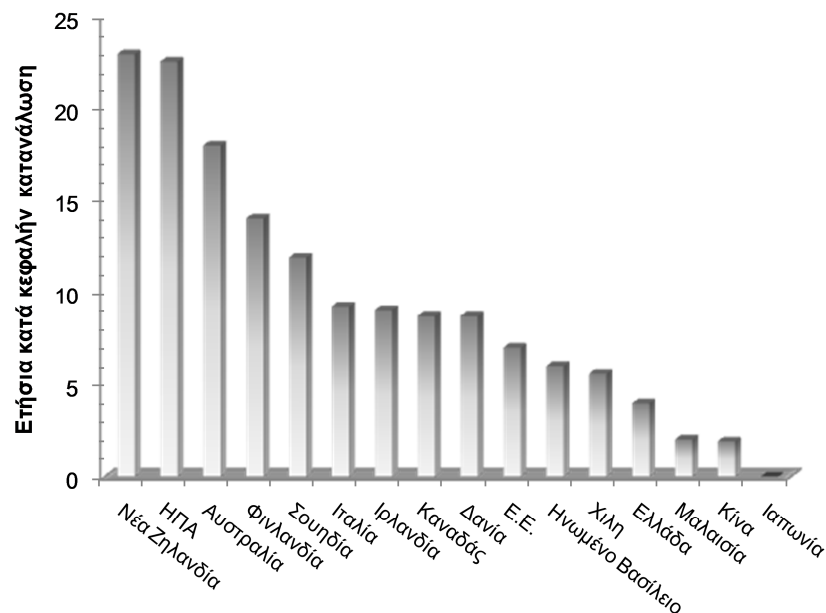
Σχήμα E.1: Μια από τις πρώτες μηχανές παρασκευής παγωτού. Η συγκεκριμένη παγωτομηχανή κατασκευάστηκε από την Agnes Marshall στα μέσα του 19^{ου} αιώνα στην Αγγλία (Clarke 2004)

Στα τέλη της δεκαετίας του '70 το παγωτό-γιαούρτι εισήχθη στην αμερικάνικη αγορά ως ένα καινοτομικό κατεψυγμένο επιδόρπιο γάλακτος με ευχάριστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και υψηλή διατροφική αξία. Η αποδοχή του προϊόντος από τους καταναλωτές παρουσίασε μία σταθερά ανοδική πορεία έως και τις αρχές της δεκαετίας του '90, ενώ σήμερα διατηρεί ένα σημαντικό μερίδιο της αγοράς παγωτού που αντιστοιχεί στο 7-9% των συνολικών προϊόντων παγωτού.

Στα μέσα της δεκαετίας του '90 παρουσιάστηκαν οι πρώτες πατέντες για την παραγωγή προβιοτικού παγωτού ενδιάμεσης ή χαμηλής οξύτητας με ενσωμάτωση διαφορετικών στελεχών προβιοτικών βακτηρίων (π.χ. *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum*, *Lactococcus lactis* κ.α.). Την ίδια δεκαετία ξεκίνησε και η χρήση πρεβιοτικών υλικών (π.χ. μέλι, διαιτητικές ίνες κ.α.) ή προηγμένων μέσων ελέγχου της ανακρυστάλλωσης π.χ. (κρυσπρωτεΐνες - Ice structuring proteins).

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ - ΠΑΡΑΓΩΓΗ

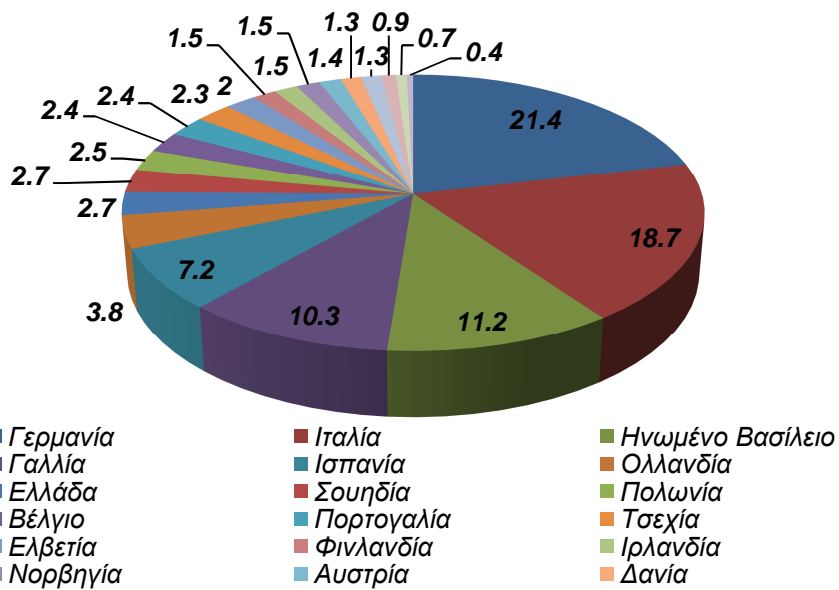
Η Νέα Ζηλανδία αποτελεί τη χώρα με τη μεγαλύτερη ετήσια κατανάλωση παγωτού σε παγκόσμια κλίμακα (22-23L per capita), ακολουθούμενη από τις ΗΠΑ και την Αυστραλία. Στην Ε.Ε. ο μέσος όρος της κατά κεφαλήν κατανάλωσης παγωτού είναι 7L, με τη Φινλανδία και Σουηδία να έχουν την υψηλότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση, ενώ στην Ελλάδα η ετήσια κατανάλωση παγωτού ανέρχεται σε 4L per capita (Σχήμα Ε.2). Στην Ε.Ε. η Γερμανία, η Ιταλία και η Γαλλία κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο της ευρωπαϊκής αγοράς με βάση τα καθαρά κέρδη της κάθε χώρας (Σχήμα Ε.3). Η Ελλάδα βρίσκεται στην έβδομη θέση κατέχοντας το 2.7% του συνόλου των κερδών της αγοράς παγωτού. Το κύριο μερίδιο στο σύνολο των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος ανήκει στα τυπικά προϊόντα παγωτού, ενώ τα προϊόντα με χαμηλά λιπαρά και το παγωτό-γιαούρτι κατέχουν το 27-30% και 6-9% αντίστοιχα (Σχήμα Ε.4).



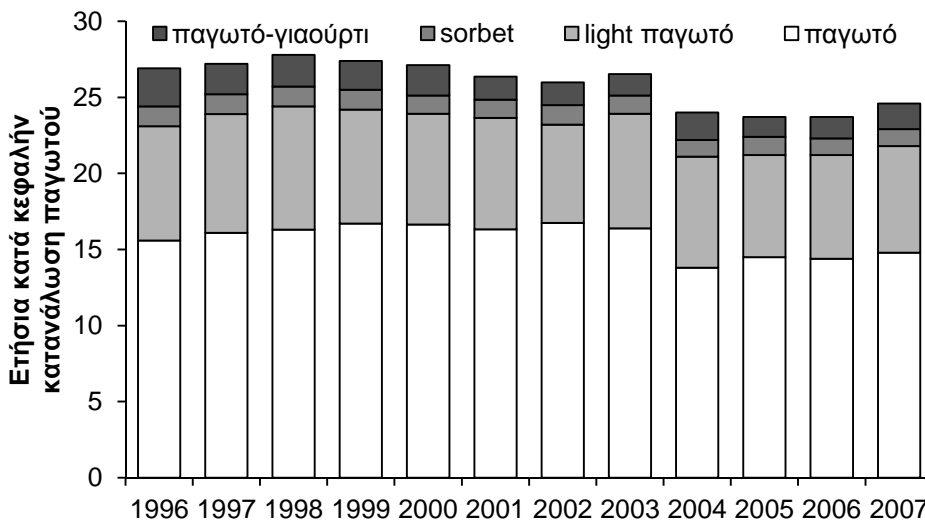
Σχήμα Ε.2: Ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωση παγωτού σε διάφορες χώρες για το έτος 2007 (IDFA 2008)

Η κατανάλωση του παγωτού παρουσιάζει εποχιακό χαρακτήρα ανάλογα με τις διατροφικές συνήθειες κάθε λαού. Έτσι στην περίπτωση των ΗΠΑ, του Καναδά, της Νέας

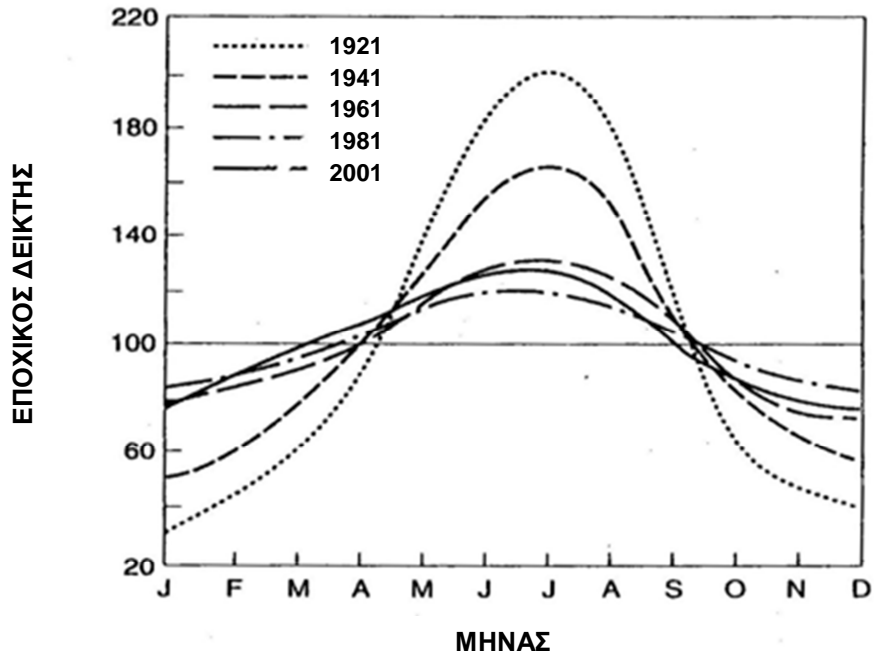
Ζηλανδίας και της Αυστραλίας η εποχικότητα στην κατανάλωση παγωτού εμφανίζεται πιο περιορισμένη σε σχέση με τις χώρες της Ε.Ε. και της Ελλάδας. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην πάροδο των τελευταίων οκτώ δεκαετιών στις ΗΠΑ, η εποχικότητα στην κατανάλωση παγωτού (περίοδος Μαΐου - Σεπτεμβρίου) έχει ελαττωθεί έως και 44% τη στιγμή που στην ευρωπαϊκή αγορά η κατανάλωση του παγωτού εντοπίζεται κατά κύριο λόγο κατά τους θερινούς μήνες (Σχήμα Ε.5). Έτσι, στη Γαλλία το 65% των πωλήσεων παγωτού γίνονται την περίοδο Ιουνίου - Σεπτεμβρίου, στην Ιταλία η μέση κατανάλωση παγωτού ανά μήνα είναι 0.1L per cap., ενώ η κατανάλωση κατά το μήνα Ιούλιο ανέρχεται σε 1.3L per cap. Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έχει καταγραφεί άνοδος της κατανάλωσης του παγωτού κατά τους χειμερινούς μήνες, ωστόσο η κατανάλωσή του κατά τους θερινούς μήνες (περίοδος Μαρτίου - Σεπτεμβρίου) ανέρχεται στο 75% της ολικής κατανάλωσης. Οι κλιματολογικές συνθήκες και η τουριστική κίνηση αποτελούν τους βασικότερους παράγοντες που δικαιολογούν την εποχικότητα της κατανάλωσης του παγωτού στην Ελλάδα.



Σχήμα Ε.3: Μερίδιο της αγοράς παγωτού στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την Ελβετία το 2008. (Food for Thought, Geneva, Switzerland)

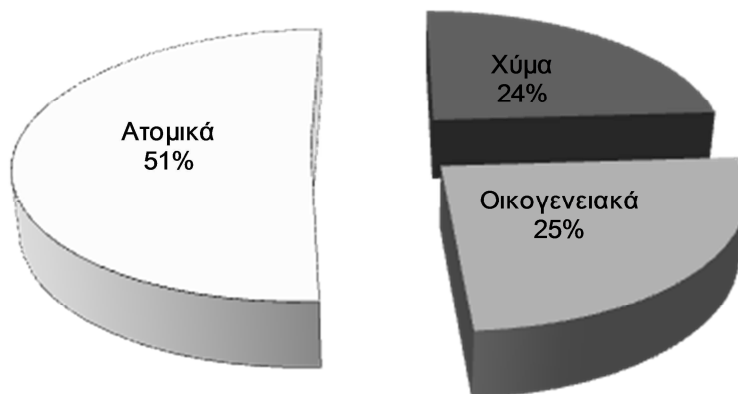


Σχήμα Ε.4: Μερίδιο διαφόρων κατεψυγμένων προϊόντων γάλακτος στις ΗΠΑ κατά την περίοδο 1996 - 2007 (USDA 2008)



Σχήμα Ε.5: Μεταβολή του δείκτη της εποχικής κατανάλωσης παγωτού στις ΗΠΑ κατά τα έτη 1921 - 2001 (USDA 2001)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της κλαδικής μελέτης της ICAP, η συνολική εγχώρια αγορά παγωτού παρουσίασε διακυμάνσεις την περίοδο 1997-2006. Το 2006, μετά την ελαφρά υποχώρηση της περιόδου 2004-2005, εμφάνισε άνοδο 2,2% σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Τα τυποποιημένα παγωτά (ατομικά και οικογενειακά) κάλυψαν το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής κατανάλωσης το 2006 με ποσοστό της τάξης του 76% έναντι του μη τυποποιημένου παγωτού (χύμα) που κατέλαβε το 24% περίπου. Όσον αφορά τα τυποποιημένα παγωτά, εκτιμάται ότι τα ατομικά παγωτά απέσπασαν μερίδιο 51% περίπου το 2006, ενώ τα οικογενειακά απέσπασαν μερίδιο της τάξης του 25% (Σχ. Ε.6). Επίσης τα μερίδια πωλήσεων επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις περιοχές και από τα καταστήματα διάθεσης των προϊόντων παγωτού όπως προκύπτει από σχετική έρευνα της IRI Α.Ε., η οποία διεξήχθη στο διάστημα Μαΐου 2009 (Σχήματα Ε.7 & Ε.8).



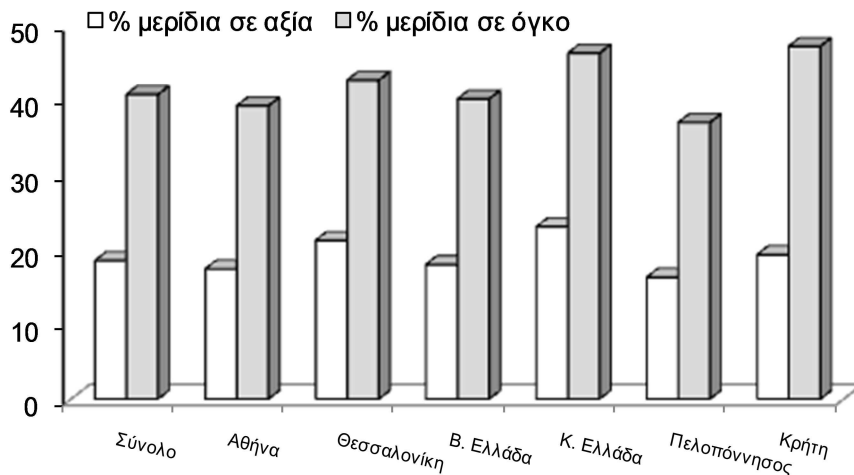
Σχήμα Ε.6: Διάρθρωση της εγχώριας αγοράς παγωτού κατά το 2006 (ICAP 2008)

Σύμφωνα με την ίδια μελέτη της ICAP σημαντική εξέλιξη στον τομέα του παγωτού αποτελούν τα προϊόντα ιδιωτικής ετικέτας (private label), τα οποία εμφανίζουν ανοδικές πωλήσεις τα τελευταία χρόνια και κατέχουν αξιόλογη θέση στις προτιμήσεις των καταναλωτών. Άλλη μία τάση που διαπιστώνεται τελευταία είναι εκείνη της αύξησης της

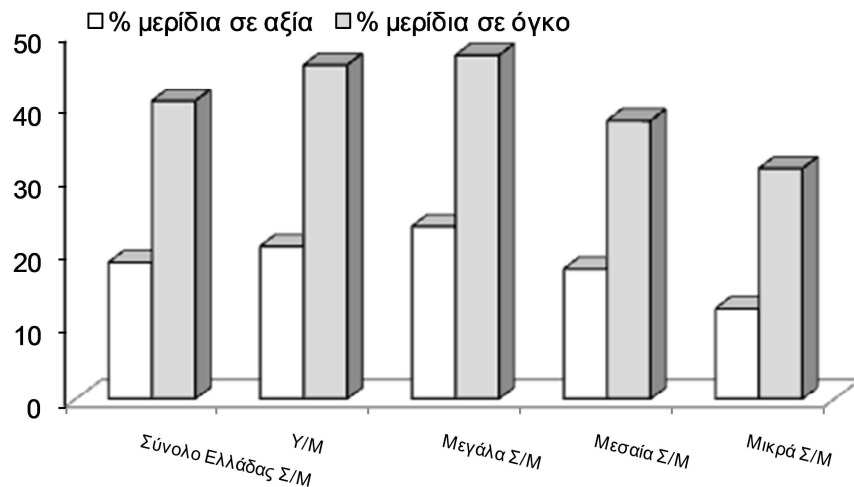
κατανάλωσης παγωτού στο σπίτι, ανεξαρτήτως καναλιού διανομής. Η τάση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι, τα παιδιά και γενικά οι νέοι που αποτελούν μία σημαντική κατηγορία καταναλωτών για τις εταιρίες του κλάδου, αφιερώνουν όλο και μεγαλύτερο μέρος του ελεύθερου χρόνου τους στο σπίτι, ενώ παράλληλα ο ελεύθερος χρόνος του μέσου ανθρώπου συνεχώς και περιορίζεται.



Σχήμα Ε.7: Εξέλιξη των πωλήσεων παγωτού (σε χιλιάδες L) στην Ελλάδα κατά τη δεκαετία 1997 - 2006 (ICAP 2008)

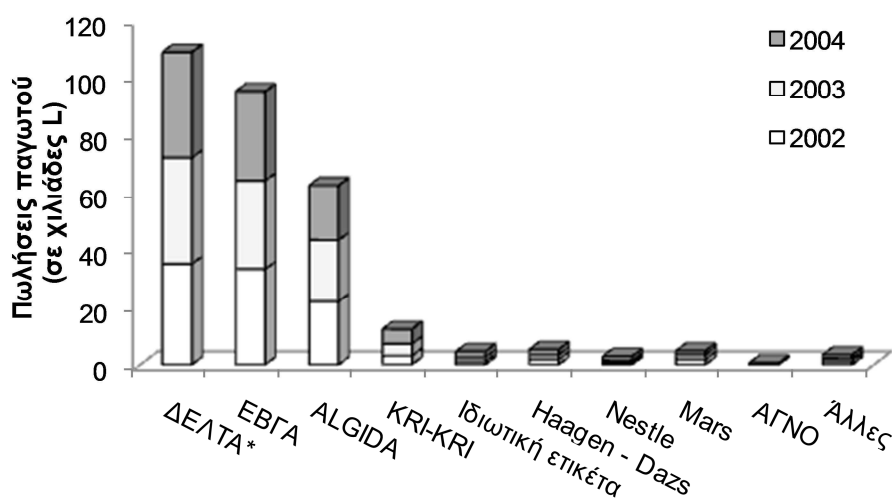


Σχήμα Ε.8: Διάρθρωση των πωλήσεων παγωτού ανά γεωγραφικό διαμέρισμα (IRI 2009)



Σχήμα Ε.9: Διάρθρωση των πωλήσεων παγωτού ανά κατηγορία καταστημάτων διανομής. Υ/Μ: >2500τμ, Μεγάλα Σ/Μ: 1000-2500τμ, Μεσαία Σ/Μ: 400-999τμ, Μικρά Σ/Μ: <400τμ (IRI 2009)

Ο αριθμός των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στον κλάδο είναι μεγάλος, ωστόσο, η αγορά ελέγχεται από λίγες επιχειρήσεις, οι οποίες διαθέτουν κυρίως επώνυμα προϊόντα και καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης. Οι δύο μεγαλύτερες παραγωγικές μονάδες του κλάδου, Nestlé Ελλάς Παγωτά και Έβγα καλύπτουν λίγο πάνω από το μισό της αγοράς (53% περίπου), ενώ το υπόλοιπο μοιράζεται στους λοιπές εταιρείες του κλάδου με επιφανέστερες τις εταιρείες Κρι Κρι, Δωδώνη και Algida /Unilever. Ο ανταγωνισμός που επικρατεί στην αγορά είναι έντονος και οξύνεται συνεχώς, καθώς η εγχώρια κατανάλωση δεν εμφανίζει σημαντικά περιθώρια ανάπτυξης βραχυπρόθεσμα. Οι μεγάλες σε μέγεθος επιχειρήσεις διαθέτουν αναπτυγμένα δίκτυα διανομής σε όλη τη χώρα και, επιπλέον, διατηρούν σύγχρονο μηχανολογικό εξοπλισμό, τον οποίο ανανεώνουν τακτικά, ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στις απαιτήσεις και τα νέα δεδομένα που προκύπτουν στην αγορά. Παράλληλα επενδύουν στο τομέα του marketing και στην προβολή, προκειμένου να ενισχύσουν την αναγνωρισιμότητα των εμπορικών τους σημάτων (Σχήμα Ε.10).



Σχήμα Ε.10: Διάρθρωση των πωλήσεων παγωτού κατά τη τριετία 2002 - 2004 σύμφωνα με την κλαδική ανάλυση της ICAP Α.Ε. (2005).

* Η Δέλτα έχει συγχωνευθεί με την Nestlé Ελλάς

Οι νέες τάσεις

Στην αγορά του παγωτού τα νέα λανσαρίσματα έχουν ιδιαίτερη σημασία. Οι καταναλωτές είναι πια ενημερωμένοι και ευαισθητοποιημένοι και επιβραβεύουν εκείνα τα προϊόντα που καλύπτουν κατά το μεγαλύτερο μέρος τις προσωπικές τους ανάγκες και επιθυμίες. Στόιχημα, λοιπόν, για κάθε παγωτοβιομηχανία είναι καταστεί το παγωτό στη συνείδηση του Έλληνα καταναλωτή ως ένα γλύκισμα που μπορεί να καταναλωθεί καθόλη τη διάρκεια του έτους και όχι ως ένα δροσιστικό προϊόν η κατανάλωση του οποίου γίνεται μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες. Σε ό,τι αφορά τις γευστικές προτιμήσεις των καταναλωτών πρώτες, στη σχετική κατάταξη βρίσκονται οι κλασσικές γεύσεις, δηλαδή βανίλια-σοκολάτα σε συνδυασμούς με ξηρούς καρπούς, σιρόπι, κομμάτια κέικ ή μπισκότων και ακολουθούν συνδυασμοί με φράουλα και καραμέλα και τα αντίστοιχα πρόσθετα. Οπωσδήποτε, η πρωτοτυπία τόσο σε γευστικό συνδυασμό όσο και σε σχήμα, είναι παράγοντας που επηρεάζουν την άποψη του καταναλωτή και δημιουργούν τις σχετικές προτιμήσεις. Επιπλέον, υπάρχει μία παγκόσμια τάση τα τελευταία χρόνια για υγιεινή και ισορροπημένη διατροφή. Η τάση αυτή δεν αποκλείει όμως την απόλαυση από την καθημερινότητα. Το παγωτό είναι ένα αγαπητό προϊόν που σε σχέση με άλλα γλυκά ή σνακ έχει υψηλή διατροφική αξία, καθώς περιέχει πρωτεΐνες, ασβέστιο, μέταλλα κτλ.

ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Όπως φάνηκε από τα οικονομικά μεγέθη που παρατέθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο η βιομηχανία παγωτού αποτελεί βασικό τομέα της γαλακτοβιομηχανίας η οποία είναι ταχύτητα αναπτυσσόμενη και ακολουθεί έντονα τις τάσεις της αγοράς. Ωστόσο, η κατανάλωση του παγωτού συνδέεται άμεσα με τα ποιοτικά του και ενίοτε τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά. Η ποιότητα του παγωτού συνδέεται άμεσα με το είδος και την ποιότητα των συστατικών του, αλλά και από τις συνθήκες των επιμέρους σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία έχει και ο δυναμικός χαρακτήρας του προϊόντος, δηλαδή οι μεταβολές στις οποίες υπόκεινται τα δομικά χαρακτηριστικά του (φυσαλίδες αέρα, παγοκρύσταλλοι, φάση ορού) τα οποία καθορίζουν τους μηχανισμούς αποτίμησης της ολικής ποιότητάς του από τους καταναλωτές.

Η κυριότερη δυναμική μεταβολή της κολλοειδούς δομής του παγωτού η οποία λαμβάνει χώρα μετά το στάδιο της κατάψυξης και συνεχίζεται κατά τα στάδια της αποθήκευσης και διανομής του προϊόντος είναι η αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων, γνωστή ως ανακρυστάλλωση. Ο έλεγχος της ανακρυστάλλωσης μπορεί να γίνει με δύο κύριους τρόπους: την επιλογή των κατάλληλων υλικών που μπορούν να επιδρούν στα φαινόμενα διάχυσης υγρασίας από την μικροπεριοχή της μη κρυσταλλωμένης υδατικής φάσης προς την επιφάνεια των υπαρχόντων παγοκρυστάλλων και με την αποφυγή διακυμάνσεων της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση και κυρίως κατά τη διανομή των προϊόντων. Τα συστατικά τα οποία συμβάλλουν στην ανάσχεση ή τουλάχιστον στην επιβράδυνση των φαινομένων ανακρυστάλλωσης είναι γνωστά ως κρυστοπροστατευτικά υλικά και πρόκειται για πρώτες ύλες με διαφορετικές λειτουργικές δράσεις όπως: α) επίδραση στις θερμοφυσικές ιδιότητες, β) σχηματισμός κρυσταλλών, γ) αύξηση της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς της μη κρυσταλλωμένης υδατικής φάσης, δ) αύξηση της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας μεταξύ των βιοπολυμερών, ε) μείωση του ρυθμού διάχυσης υγρασίας από την κύρια υδατική φάση προς τη διεπιφάνεια των παγοκρυστάλλων και διαλυμένης ουσίας από τη διεπιφάνεια προς την κύρια φάση κ.α. Η επιλογή του κατάλληλου κρυστοπροστατευτικού υλικού δεν εξαρτάται μόνο από τη λειτουργικότητά του, αλλά και από τα χαρακτηριστικά του ίδιου του προϊόντος. Έτσι παράγοντες όπως το ποσοστό ενσωματωμένου αέρα, το ιξώδες των μιγμάτων, η γλυκαντική ισχύς, το pH, η συμβατότητα με τις χρωστικές και αρωματικές ύλες κ.α. αποτελούν επίσης παράγοντες που οδηγούν στην τελική επιλογή του κρυστοπροστατευτικού συστήματος.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή μελετήθηκαν διαφορετικά είδη κρυστοπροστατευτικών υλικών, σε διαφορετικά συστήματα παγωτού. Τα κρυστοπροστατευτικά υλικά που επιλέχθηκαν για την πραγματοποίηση των πειραμάτων ήταν καθαρά υδατανθρακική προέλευσης διαφοροποιούμενα σε μία σειρά από λειτουργικές ιδιότητες όπως ήδη προαναφέρθηκε στην περίληψη. Τα ποσοστά υποκατάστασης ή προσθήκης επιλέχθηκαν με βάση προκαταρκτικά πειράματα που έγιναν κατά τους 4 πρώτους μήνες του διδακτορικού αλλά και με βάση τα τρέχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα. Τα συστήματα ενσωμάτωσης των συγκεκριμένων συστατικών επιλέχθηκαν με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους π.χ. χρώμα, γεύση, άρωμα, σταθερότητα στις όξινες συνθήκες, συμβατότητα με τα ποιοτικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των προϊόντων κ.α.

Λαμβάνοντας υπόψη την απουσία βιβλιογραφικών δεδομένων για τη δράση ορισμένων υλικών με δυνητική κρυστοπροστατευτική δράση στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος π.χ. εναλλακτικά σάκχαρα, τρεχαλόζη, μαλτόζη, πολυόλες, διαιτητικές ίνες, αλλά και την απουσία επαρκών βιβλιογραφικών δεδομένων σχετικών με την επίδραση του συνόλου των συστατικών που εξετάστηκαν στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των σχετικών προϊόντων παγωτού, οι στόχοι της παρούσας διδακτορικής διατριβής συνοψίζονται στα εξής:

- *Μελέτη της δράσης των υδροκολλοειδών (πολυσακχαρίτες).* Στη συγκεκριμένη μελέτη ερευνήθηκε η πιθανή επίδραση των υδροκολλοειδών στις θερμοτικές ιδιότητες των

μιγμάτων παγωτού, και εξετάστηκε η λειτουργικότητά τους με βάση τα ρεολογικά, φυσικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού.

- *Μελέτη της δράσης των υδροκολλοειδών (πολυσακχαρίτες) σε ζυμωμένα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος (προβιοτικό παγωτό).* Στη συγκεκριμένη μελέτη εξετάστηκε η επίδραση των υδροκολλοειδών σε συστήματα παγωτού με όξινο χαρακτήρα και σημαντικά χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρές ύλες (κατά 4-6%). Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη την απουσία βιβλιογραφικών δεδομένων για την περιγραφή του ποιοτικού προφίλ ζυμωμένων προϊόντων παγωτού, στη συγκεκριμένη μελέτη καταγράφηκε ένας ικανός αριθμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών χρήσιμων για την περιγραφή ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος (π.χ. προβιοτικό παγωτό, παγωτό-γιαούρτι). Η λειτουργικότητα των συγκεκριμένων σταθεροποιητικών συστημάτων συγκρίθηκε με την αντίστοιχη στα συμβατικά συστήματα παγωτού.
- *Μελέτη της δράσης των γλυκαντικών υλών.* Ένας σημαντικός αριθμός από γλυκαντικές ύλες με διαφοροποιήσεις ως προς τις λειτουργικές τους ιδιότητες επιλέχθηκε προκειμένου να διερευνηθεί αν η επίδραση στις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού σε συστήματα που περιέχουν διαφορετικές γλυκαντικές ύλες, είναι ικανή για να παρέχει ενδείξεις για τη σταθερότητά τους έναντι των φαινομένων ανακρυστάλλωσης. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε η μελέτη της σχέσης μεταξύ των λειτουργικών ιδιοτήτων των γλυκαντικών υλών με τις φυσικές, ρεολογικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των δειγμάτων παγωτού.
- *Μελέτη της δράσης των ολιγοσακχαριτών σε ζυμωμένα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος (προβιοτικό παγωτό).* Συστατικά μακρομοριακής φύσης τα οποία χαρακτηρίστηκαν από ικανοποιητική κρυσταλλοστατευτική δράση στα συμβατικά συστήματα παγωτού εξετάστηκαν ως προς την αποτελεσματικότητά τους σε κατεψυγμένα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος. Έτσι η ινουλίνη, η ολιγοφρουκτόζη, και η μαλτοδεξτρίνη 12 DE, χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα των λιπαρών σε δείγματα προβιοτικού παγωτού χαμηλών λιπαρών, και εξετάστηκαν ως προς τις επιδράσεις τους στα ρεολογικά, φυσικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού. Επιπλέον, η πιθανή επίδραση του ποσοστού προσθήκης προβιοτικού γιαουρτιού στις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων εξετάστηκε.
- *Μελέτη της δράσης των εναλλακτικών σακχάρων.* Γλυκαντικές ύλες φυσικής προέλευσης και παραδοσιακού χαρακτήρα (σταφιδίνη, συμπύκνωμα γλεύκους και μελάσσα) χρησιμοποιήθηκαν ως δυνητικά μέσα υποκατάστασης της σακχαρόζης σε δείγματα παγωτού, με στόχο τη βελτίωση της παρεχόμενης κρυσταλλοστασίας. Λόγω του έντονου αρωματικού και γευστικού χαρακτήρα τους, τα συγκεκριμένα υλικά ενσωματώθηκαν σε δείγματα παγωτού σοκολάτα στα οποία παρατήρηθηκε υψηλότερη συμβατότητα με τα χαρακτηριστικά γεύσης - αρώματος - χρώματος (είχαν προηγηθεί προκαταρκτικά πειράματα και σε δείγματα παγωτού βανίλια). Οι θερμικές, ρεολογικές και φυσικές ιδιότητες, αλλά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού προσδιορίστηκαν και οι μηχανισμοί που επηρεάζουν την αποτίμηση της ολικής ποιότητας σχετικών προϊόντων προσδιορίστηκαν. Η χρήση των εναλλακτικών σακχάρων αποτελεί έναν ικανοποιητικό τρόπο για την αύξηση της περιεκτικότητας των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος σε φυσικά αντιοξειδωτικά, ιχνοστοιχεία και τη μείωση της θερμιδικής τους αξίας.
- *Μελέτη της δράσης των διαιτητικών ινών.* Η μελέτη της δυνητικής κρυσταλλοστατευτικής δράσης των διαιτητικών ινών. Για πρώτη φορά διαιτητικές ίνες διαφορετικής προέλευσης και διαφορετικής περιεκτικότητας σε διαλυτές και αδιάλυτες ίνες ενσωματώθηκαν ως μέσα εμπλουτισμού κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Η επίδραση των διαιτητικών ινών στις θερμοφυσικές ιδιότητες εξετάστηκαν και πιθανοί μηχανισμοί δράσης των ινών ανάλογα με το είδος και την περιεκτικότητα σε διαλυτά

και αδιάλυτα συστατικά διατυπώθηκαν. Στα συγκεκριμένα πειράματα άνοιξε ο δρόμος για τον εμπλουτισμό του παγωτού με διαιτητικές ίνες, όχι μόνο στα πλαίσια βελτίωσης της διατροφικής τους αξίας, όσο και της παροχής κρυοπροστασίας που σε ορισμένες περιπτώσεις συγκρίνεται με εκείνη των συμβατικών κρυοπροστατευτικών υλικών π.χ. σταθεροποιητές.

- *Διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των κρυοπροστατευτικών υλικών σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης.* Σε όλα τα συστήματα παγωτού που παρασκευάστηκαν εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο η λειτουργικότητα των συγκεκριμένων υλικών μεταβάλλεται με χρήση στατιστικών εργαλείων πολυμεταβλητής ανάλυσης. Επιπλέον, οι συσχετίσεις μεταξύ των οργανοληπτικών και αντικειμενικών ιδιοτήτων ανάλογα με τη σύσταση και το είδος του συστήματος παγωτού διερευνήθηκαν.
- *Κατασκευή προρρητικών μοντέλων της ολικής αποδοχής.* Λαμβάνοντας υπόψη τις επιμέρους συσχετίσεις των αντικειμενικών και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (όπως προσδιορίστηκε από την ηδονική ανάλυση), κατασκευάστηκαν απλοποιημένα γραμμικά μοντέλα με εφαρμογή της μεθόδου PLSR. Τα μοντέλα αυτά παρέχουν αφενός πληροφορίες για τον τρόπο ποσοτικοποίησης της ολικής αποδοχής του παγωτού στην περίπτωση σχεδιασμού νέων προϊόντων και αφετέρου για τους μηχανισμούς που εμπλέκονται κατά την αποτίμηση της ποιότητας των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος από τους καταναλωτές

Στα πλαίσια της συνεισφοράς της παρούσας διδακτορικής διατριβής στο ερευνητικό πεδίο των κατεψυγμένων προϊόντων γάλακτος, δημοσιεύθηκαν ερευνητικά δεδομένα σε τουλάχιστον 10 διεθνή συνέδρια, 4 πανελλήνια συνέδρια καθώς και σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά:

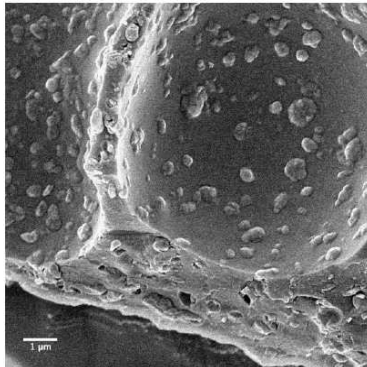
1. Soukoulis C., Lyroni E., & Tzia C. (2010). Sensory profiling of low fat probiotic ice cream containing different hydrocolloids and investigation of the hedonic and descriptive judgements interrelationships using PLSR, *LWT-Food Science and Technology*, 43, 1351-1358
2. Soukoulis C., Rontogianni E., & Tzia C. (2010). Modeling of the thermal properties of model ice cream systems with different carbohydrate based cryoprotectants, *Journal of Food Engineering*, 100, 634-641
3. Soukoulis C. & Tzia C. (2010). Mapping of the sensory characteristics and acceptability of chocolate ice cream containing alternative sweetening agents using response surface methodology, *Journal of Sensory Studies*, 25, 50-75
4. Soukoulis C., Lebesi D., & Tzia C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fiber: Effects on rheological properties, ice crystallization and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115, 665-671
5. Soukoulis C., Chandrinou I. & Tzia C. (2008). Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with kappa carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1816-1827
6. Soukoulis C., & Tzia C. (2008). Impact of the acidification process, hydrocolloids and protein fortifiers on the physical and sensory properties of frozen yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 61, 170-177

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο όρος «κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος» αναφέρεται σε κατεψυγμένα γαλακτώματα ελαίου σε νερό (o/w), τα οποία αποτελούνται από παγοκρύσταλλους, φυσαλίδες αέρα και μερικώς αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια διεσπαρμένα σε μία συνεχή υδατική φάση γνωστή ως φάση ορού (Goff, 1997a; Marshall et al., 2003). Στη φάση ορού βρίσκονται σε διαλυτή μορφή οι πρωτεΐνες, οι γλυκαντικές ύλες, οι πολυσακχαρίτες, και η λακτόζη. Η φάση ορού θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η υδατική μικροπεριοχή ανάμεσα στα δομικά στοιχεία του παγωτού: το δίκτυο που αποτελείται από τα μερικώς αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια, και τις ακινητοποιημένες φυσαλίδες αέρα εντός του λιπαρού αυτού δικτύου (Σχήμα 1.1).

Ένας άλλος ορισμός του παγωτού σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία (ΚΤΠ, 2006), είναι ο εξής: «ως παγωτό ορίζεται το προϊόν που παρασκευάζεται με ανάμιξη γάλακτος σε συνδυασμό με χυμό φρούτων με φυσική γλυκαντική ύλη είτε με άλλες ύλες που αναφέρονται στον κώδικα (σταθεροποιητές, γαλακτωματοποιητές, λιπαρές ύλες γάλακτος, αρωματικές και χρωστικές ύλες, γλυκαντικές ύλες, πρωτεϊνικά συστατικά) μετά από πήξη με ψύξη της μάζας αυτής που έχει ομογενοποιηθεί.



Σχήμα 1.1: Η κολλοειδής φύση του παγωτού. Τα μερικώς αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια δημιουργούν ένα προστατευτικό υμένα γύρω από τις φυσαλίδες αέρα. Στην περιοχή μεταξύ των φυσαλίδων αέρα και των παγοκρυστάλλων εκτείνεται η φάση ορού που αποτελείται από το μη κρυσταλλωμένο νερό και τις διαλυμένες σ' αυτό ουσίες π.χ. πολυσακχαρίτες, σάκχαρα, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα κ.α. (Goff et al., 1999)

1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Τα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος μπορούν να ταξινομηθούν με βάση: α) την περιεκτικότητά τους σε λιπαρές ύλες, β) το ποσοστό ενσωματωμένου αέρα, γ) την προσθήκη οξυγαλακτικών ή προβιοτικών καλλιεργειών, δ) τη φυσιολογική δράση και διατροφική τους αξία.

Περιεκτικότητα σε λιπαρά γάλακτος: Τα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος διακρίνονται σε premium (ανώτερης ποιότητας), τυπικά (economy), χαμηλών λιπαρών (low fat) και άπαχα (non fat).

Ποσοστό ενσωματωμένου αέρα (overrun): Τα προϊόντα διακρίνονται σε βιοτεχνικού τύπου (gelato) και βιομηχανικού.

Προσθήκη οξυγαλακτικών ή προβιοτικών καλλιεργειών: Τα προϊόντα διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: α) παγωτό-γιαούρτι και β) προβιοτικό παγωτό. Το παγωτό-γιαούρτι είναι ένα μερικώς ή πλήρως ζυμωμένο προϊόν που περιέχει οξυγαλακτικά βακτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται για την οξίνιση του προϊόντος και την αύξηση του φορτίου της μικροχλωρίδας. Το προβιοτικό παγωτό είναι ένα μερικώς ζυμωμένο ή μη, προϊόν με χαμηλότερη οξύτητα σε σχέση με το παγωτό γιαούρτι, το οποίο περιέχει προβιοτικά βακτήρια. Σε γενικές γραμμές δεν υπάρχουν θεσπισμένα νομοθετικά όρια αναφορικά με το ελάχιστο

φορτίο της βιώσιμης βακτηριακής κλωρίδας στην περίπτωση των ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος.

Κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος με συγκεκριμένα φυσιολογικά και διατροφικά χαρακτηριστικά: Τα προϊόντα αυτά εισήχθησαν την τελευταία δεκαετία στην αγορά λόγω της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης για λειτουργικά τρόφιμα και προϊόντα με υψηλή διατροφική αξία. Μερικές από τις κύριες τάσεις στη βιομηχανία παγωτού είναι: α) Παγωτό με πρεβιοτικά υλικά όπως διαιτητικές ίνες, μέλι, εναλλακτικά σάκχαρα κ.α., β) Παγωτό κατάλληλο για διαβητικά άτομα, το οποίο περιέχει γλυκαντικές ύλες με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη και γ) Παγωτό χωρίς λακτόζη, στο οποίο τα πρωτεϊνικά υλικά (τα οποία περιέχουν σημαντικό ποσοστό λακτόζης) αντικαθίσταται από πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης π.χ. γάλα ή πρωτεΐνες σόγιας (Marshall et al., 2003; Hartel & Goff, 2006; Σούκουλης & Τζιά, 2007).

Premium παγωτό: Περιεκτικότητα σε λιπαρά 12-18%, περιεκτικότητα σε σάκχαρα >16%

Τυπικό παγωτό: Περιεκτικότητα σε λιπαρά 10-12%

Παγωτό με χαμηλά λιπαρά: Περιεκτικότητα σε λιπαρά 2-6%

Παγωτό χωρίς λιπαρά: Περιεκτικότητα σε λιπαρά <0.3%

Βιοτεχνικό παγωτό (gelato): Overrun μικρότερο από 25%

Βιομηχανικό παγωτό: Overrun 60-100%

Παγωτό-γιαούρτι: Προϊόν ζυμωμένο μερικώς ή πλήρως από οξυγαλακτικά βακτήρια (*Streptococcus thermophilus* & *Lactobacillus bulgaricus*), με ελάχιστο ποσοστό σε γαλακτικό οξύ 0.3%.

Προβιοτικό παγωτό: Προϊόν μη ή μερικώς ζυμωμένο που περιέχει προβιοτικά βακτήρια (*bifidobacteria*, *Lactobacillus acidophilus*, *ropy bacteria*). Συνήθως η ελάχιστη τιμή του pH είναι 4.8-5.0

Πρεβιοτικό παγωτό: Προϊόν εμπλουτισμένο σε πρεβιοτικά υλικά όπως διαιτητικές ίνες, μέλι, ω-3 και ω-6 λιπαρά οξέα, εναλλακτικά σάκχαρα

Παγωτό κατάλληλο για διαβητικούς: Προϊόν που περιέχει αποκλειστικά γλυκαντικές ύλες με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη

Παγωτό χωρίς λακτόζη: Προϊόν κατάλληλο για άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη. Οι πρωτεΐνες γάλακτος αντικαθίσταται από πρωτεϊνικά υλικά φυτικής προέλευσης.

1.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ

Η δομή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του παγωτού επηρεάζονται σημαντικά από το είδος των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή του. Η επιλογή της σύστασης και των συστατικών του παγωτού εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων περιλαμβάνοντας: α) τη θεσπισμένη νομοθεσία, β) τις συνθήκες παραγωγής και αποθήκευσης, γ) τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, δ) τις απαιτούμενες λειτουργικές ιδιότητες, ε) τις διατροφικές συνήθειες του καταναλωτή, στ) τη διατροφική ετικέτα, ζ) το κόστος των πρώτων υλών και το κόστος παραγωγής του τελικού προϊόντος, η) την ευπάθεια και τη διατηρησιμότητα των πρώτων υλών (Marshall et al., 2003; Hui, 1993; Clarke, 2004). Η πολυπλοκότητα της δομής του παγωτού αποδίδεται σε σημαντικό βαθμό και στη μεγάλη ποικιλία των συστατικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του.

Οι κύριες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή του παγωτού είναι οι εξής:

1.3.1 Γάλα

Το γάλα αποτελείται κυρίως από νερό, λιπαρά, πρωτεΐνες, λακτόζη και ανόργανα άλατα. Κατά συνέπεια η προσθήκη γάλακτος στο μίγμα παγωτού μεταβάλλει την περιεκτικότητά του σε λιπαρά και ΣΥΑΛ. Το φρέσκο γάλα αν και χρησιμοποιείται πλέον μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις (όταν η παραλαβή του γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα προς αποφυγή

οξειδωτικών αλλοιώσεων), βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Επιπλέον, η χρήση συμπυκνωμένου γάλακτος στην παραγωγή παγωτού μπορεί να αντισταθμίσει τον περιορισμένο χρόνο ζωής του φρέσκου γάλακτος, αν και σε πολλές περιπτώσεις είναι πιθανή η μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος (π.χ. υποβάθμιση του χρώματος και του αρώματος). Σε γενικές γραμμές, η χρήση γάλακτος ως συστατικό αύξησης της περιεκτικότητας των μιγμάτων παγωτού σε πρωτεΐνη και λιπαρά έχει αντικατασταθεί από την ενσωμάτωση παραγώγων του (π.χ. σκόνη γάλακτος, βούτυρο, βουτυρόγαλα κ.α.) ή παραπροϊόντων της γαλακτοβιομηχανίας π.χ. προϊόντα ορού γάλακτος

(Marshall et al., 2003; Jimenez - Flores et al., 1993).

1.3.2 Λιπαρές ύλες γάλακτος

Οι λιπαρές ύλες γάλακτος (milkfat) αποτελούν συστατικά καθοριστικής σημασίας για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παγωτού. Οι κύριες πηγές λιπαρών γάλακτος είναι το γάλα και τα παραγωγά του όπως η κρέμα γάλακτος, το βούτυρο, το βουτυρόγαλα, κ.α. Η κρέμα γάλακτος θεωρείται ως η καλύτερη πηγή λιπαρών για την παρασκευή παγωτού παρά το υψηλό της κόστος. Για το λόγο αυτό μίγματα κρέμας γάλακτος με φρέσκο ή συμπυκνωμένο γάλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή των μιγμάτων παγωτού. Εναλλακτικά, η χρήση κατεψυγμένης κρέμας γάλακτος μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του παγωτού και παράλληλα να περιορίσει τα ελαττώματα στο τελικό προϊόν που συνδέονται με την οξειδωτική αλλοίωση των λιπαρών. Επιπλέον, η χρήση βουτύρου ή άνυδρου λίπους γάλακτος (βουτυρέλαιου) παρέχει μια σχετικά οικονομική λύση για την αύξηση του ποσοστού λιπαρών του παγωτού. Η ανάμιξη άνυδρου λίπους γάλακτος με σκόνη γάλακτος και σακχαρόζη αποτελεί μία συνήθη τεχνική που εφαρμόζεται στη βιομηχανία παγωτού, προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος ζωής των λιπαρών υλών.

Εναλλακτικά, τα λιπαρά γάλακτος μπορούν να υποκατασταθούν μερικώς ή ολικώς από φυτικά λιπαρά με παρόμοια σύσταση σε κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα π.χ. φοινικέλαιο, φοινικοπυρηνέλαιο, καρυδέλαιο, βούτυρο κακάο (Marshall et al., 2003; Prindiville et al. 1999; Prindiville et al., 2000; Granger et al. 2005a; Li et al. 1997; Bazmi et al., 2007). Η υποκατάσταση των λιπαρών γάλακτος από λιπαρές ύλες πλούσιες σε μονοακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (π.χ. ηλιέλαιο, σησαμέλαιο, αραβοσιτέλαιο, λινέλαιο κ.α.) είναι πιο δύσκολη δεδομένου ότι οδηγεί σε σημαντική μείωση του ποσοστού κρυσταλλωμένου λίπους με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ευκολία αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων, να ελαττώνεται το ιξώδες, και να αυξάνει ο ρυθμός τήξης (Goh et al., 2006; Hyvönen et al., 2003). Παρόλα αυτά, η χρήση φυτικών λιπαρών μπορεί να βελτιώσει την οργανοληπτικά εκτιμώμενη υφή και να διευκολύνει την απελευθέρωση του αρώματος (Hyvönen et al., 2003).

Η λειτουργική δράση των λιπαρών υλών γάλακτος συνοψίζεται στα εξής:

1. Αύξηση της θερμοδυναμικής σταθερότητας των φυσαλίδων αέρα μέσω της δημιουργίας ενός συνεχούς δικτύου από μερικώς αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια.
2. Βελτίωση της ικανότητας ενσωμάτωσης αέρα κατά το στάδιο της απόδαρσης - κατάψυξης.
3. Βελτίωση της οργανοληπτικά εκτιμώμενης υφής - αύξηση της πλούσιας και απαλής υφής.
4. Έλεγχος του ρυθμού αποδέσμευσης των πτητικών αρωματικών υλών.
5. Έλεγχος του ρυθμού τήξης του παγωτού και βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τηγμένου προϊόντος.
6. Μεταβολή των ρεολογικών χαρακτηριστικών του μίγματος παγωτού.
7. Αύξηση της διατροφικής αξίας του τελικού προϊόντος (Marshall et al. 2003; Abd-El-Rahman et al., 1997a,b; Guinard et al., 1997).

1.3.3 Πρωτεϊνικές ύλες

Οι πρωτεϊνικές ύλες αφορούν στα συστατικά ενίσχυσης του στερεού υπολείμματος άνευ λίπους (ΣΥΑΛ) των μιγμάτων παγωτού. Κατά συνέπεια η προσθήκη των πρωτεϊνικών υλών συνεπάγεται την ενίσχυση των μιγμάτων παγωτού σε πρωτεΐνες γάλακτος (καζεΐνες και πρωτεΐνες ορού), λακτόζη, ανόργανα άλατα, βιταμίνες, ένζυμα κ.α. Το ποσοστό του ΣΥΑΛ σε ένα τυπικό μίγμα παγωτού κυμαίνεται από 6-14%, ανάλογα με τις συνθήκες κατάψυξης και αποθήκευσης του προϊόντος. Η ενίσχυση του ΣΥΑΛ των μιγμάτων παγωτού οδηγεί σε μια σειρά από σημαντικές επιδράσεις οι οποίες οφείλονται κατά κύριο λόγο στις πρωτεΐνες και τη

λακτόζη.

Οι πρωτεϊνικές ύλες μπορεί να είναι παράγωγα του γάλακτος (σε υγρή ή στερεή μορφή) ή παραπροϊόντα της γάλακτοβιομηχανίας γάλακτος (προϊόντα ορού γάλακτος). Οι κυριότερες υγρές ύλες ενίσχυσης του ΣΥΑΛ, είναι το συμπυκνωμένο γάλα (πλήρες ή αποβουτυρωμένο) και το σακχαρούχο συμπυκνωμένο γάλα (40-44% περιεκτικότητα σε σακχαρόζη). Το τελευταίο, αν και χαρακτηρίζεται από υψηλή διατηρησιμότητα, εντούτοις μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη αμμώδους υφής στο τελικό προϊόν, λόγω σχηματισμού κρυστάλλων λακτόζης.

Η χρήση σκόνης αποβουτυρωμένου ή πλήρους γάλακτος ενδείκνυται στις περιπτώσεις όπου το κόστος του συμπυκνωμένου γάλακτος είναι υψηλό ή η αποθήκευσή του είναι δυσχερής. Ο βαθμός μετουσίωσης στα προϊόντα σκόνης γάλακτος είναι σημαντικός δείκτης ποιότητας, αφού επηρεάζει τα χαρακτηριστικά υφής, την κολλοειδή δομή και το άρωμα του παγωτού. Στην πράξη, η σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό στην παραγωγή παγωτού, λόγω του μεγαλύτερου χρόνου ζωής της και της υψηλότερης σταθερότητάς της στις οξειδωτικές αλλοιώσεις (Marshall et al., 2003; Jimenez-Flores et al., 1993).

Προϊόντα ορού γάλακτος, όπως η σκόνη ορού γάλακτος, τα συμπυκνώματα (WPC) και τα υπερσυμπυκνώματα (WPI) ορού γάλακτος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μερικά υποκατάστατα των παραγώγων γάλακτος (συνήθως σε ποσοστό που δεν υπερβαίνει το 25%). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η σκόνη ορού γάλακτος περιέχει 72-73% λακτόζη, και μόνο 10-12% πρωτεΐνη, η χρήση του στην παραγωγή παγωτού πλεονεκτεί μόνο από πλευράς κόστους. Αντίθετα, στην περίπτωση των WPC και WPI, η περιεκτικότητα σε λακτόζη είναι σημαντικά χαμηλότερη ενώ η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη μπορεί να φθάσει έως και το 90%, γεγονός που τα καθιστά ως υλικά υψηλής λειτουργικότητας στην παραγωγή παγωτού. Το κόστος τους είναι υψηλότερο από τη σκόνη ορού γάλακτος και κλιμακώνεται ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη (Marshall et al., 2003; Jimenez-Flores et al., 1993).

Δεδομένου ότι η λακτόζη ως δισακχαρίτης χαρακτηρίζεται από χαμηλή γλυκαντική ισχύ σε σχέση με τη σακχαρόζη, η λειτουργική της δράση στα μίγματα παγωτού συνδέεται κατά κύριο λόγο με την αύξηση της συγκέντρωσης της φάσης ορού, την ταπείνωση του σημείου πήξης του μίγματος παγωτού, καθώς και τα φαινόμενα κρυστάλλωσής της (μεταστροφή) στις περιπτώσεις που παρατηρούνται θερμοκρασιακές διακυμάνσεις κατά την αποθήκευση του παγωτού (Marshall et al., 2003; Sahagian & Goff, 1996). Η κρυστάλλωση της λακτόζης λόγω της υπερσυμπύκνωσης της φάσης ορού, οδηγεί στην υποβάθμιση της υφής η οποία εκδηλώνεται με την ανάπτυξη αμμώδους και τραχιάς υφής.

Οι πρωτεΐνες γάλακτος ως επιφανειοενεργές ενώσεις συμμετέχουν σε δράσεις που ελέγχονται από τη μείωση της επιφανειακής τάσης όπως είναι η γαλακτωματοποίηση (σταθεροποίηση του ασταθούς γαλακτώματος του μίγματος παγωτού) και ο αφρισμός. Επιπλέον, η ικανότητά τους να ενυδατώνονται και να συγκρατούν σημαντικά ποσά υγρασίας επηρεάζει τη ρεολογία αλλά και τις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού. Συνοπτικά οι βασικότερες λειτουργικές δράσεις των πρωτεϊνών είναι οι εξής:

1. Ευνοούν την ενσωμάτωση του αέρα κατά τη διάρκεια της διεργασίας κατάψυξης
2. Αυξάνουν το ιξώδες του μίγματος παγωτού λόγω της ενυδάτωσής τους κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης.
3. Αυξάνουν τη σταθερότητα του γαλακτώματος παγωτού μέσω της προσρόφησής τους στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων.
4. Επηρεάζουν τις θερμικές ιδιότητες του μίγματος παγωτού (σημείο πήξης, θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, και ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας).
5. Βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά υφής.
6. Σταθεροποιούν την αφρώδη δομή του παγωτού.
7. Αλληλεπιδρούν με τους αρωματικούς παράγοντες π.χ. Βανιλίνη και ελέγχουν το

ρυθμό αποδέσμευσης του αρώματος.

8. Αυξάνουν τη διατροφική αξία του προϊόντος (Marshall et al., 2003; Walstra et al., 2006).

1.3.4 Γλυκαντικές ύλες

Οι γλυκαντικές ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του παγωτού περιλαμβάνουν απλά σάκχαρα (π.χ. φρουκτόζη, δεξτρόζη), δισακχαρίτες (π.χ. σακχαρόζη, μαλτόζη, τρεχαλόζη), ολιγοσακχαρίτες-δεξτρίνες (π.χ. αμυλοσιρόπια, μαλτοδεξτρίνες, ολιγοφρουκτόζη), πολυαλκοόλες (μαλτιτόλη, σορβιτόλη, μαννιτόλη, ξυλιτόλη), εναλλακτικά γλυκαντικά (π.χ. ασπάρταμη) και φυσικές γλυκαντικές ύλες με πρεβιοτική δράση (π.χ. μέλι, μελάσσα, συμπυκνώματα χυμών φρούτων κ.α.).

Η κυριότερη δράση των γλυκαντικών υλών στο παγωτό είναι η αύξηση της έντασης της γλυκύτητας και συνεπώς της ολικής αποδοχής του προϊόντος. Για το λόγο αυτό η σακχαρόζη αποτελεί το βασικό γλυκαντικό μέσο στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος. Η βελτίωση των λειτουργικών ιδιοτήτων του μίγματος και η αύξηση της σταθερότητας του τελικού προϊόντος κατά την αποθήκευση οδήγησαν στη χρήση σύνθετων υδατανθράκων υψηλού μοριακού βάρους και πολυαλκοολών κατά την παραγωγή του παγωτού. Οι γλυκαντικές ύλες ανάλογα με το μοριακό τους βάρος και το μήκος της υδατανθρακικής αλυσίδας μπορούν να επηρεάσουν πολλές λειτουργικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού και του τελικού κατεψυγμένου προϊόντος όπως:

1. Τις θερμικές ιδιότητες του μίγματος (σημείο πήξης, ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας, σημείο υαλώδους μετάπτωσης).
2. Τις ρεολογικές ιδιότητες του μίγματος.
3. Την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα.
4. Τη θερμοδυναμική σταθερότητα του παγωτού κατά τη διάρκεια αποθήκευσής του.
5. Τα χαρακτηριστικά υφής.
6. Το ρυθμό τήξης.
7. Τα διατροφικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (Marshall et al., 2003; Guinard et al., 1996,1997; Miller-Livney & Hartel, 1996; Hagiwara & Hartel, 1996; Guven & Karaca, 2002; Bordi et al., 2006).

1.3.5 Σταθεροποιητές

Η χρήση σταθεροποιητών (υδροκολλοειδή) στο παγωτό είναι καθοριστικής σημασίας για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και το χρόνο ζωής του. Λόγω της σύνθετης δομής του παγωτού η δράση των σταθεροποιητών είναι πολυσύνθετη, περιλαμβάνοντας:

1. Αύξηση του μακροϊξώδους του μίγματος παγωτού.
2. Σταθεροποίηση του μίγματος παγωτού έναντι της συναίρεσης.
3. Αύξηση της ευχέρειας ενσωμάτωσης των αρωματικών και χρωστικών υλών.
4. Σταθεροποίηση της αφρώδους δομής.
5. Επίτευξη μίας συμπαγούς δομής κατά την έξοδο του προϊόντος από τον καταψύκτη καθώς και κατά τη συσκευασία στους περιέκτες.
6. Μείωση του ρυθμού διάχυσης του μη κρυσταλλωμένου νερού από και προς τη διεπιφάνεια των σχηματισμένων παγοκρυστάλλων.
7. Παρεμπόδιση του σχηματισμού κρυστάλλων λακτόζης στην υδατική φάση ως αποτέλεσμα διακυμάνσεων θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.
8. Ελάττωση του ρυθμού διάχυσης υγρασίας από και προς το υλικό συσκευασίας.
9. Παρεμπόδιση της συρρίκνωσης του προϊόντος ως αποτέλεσμα των διακυμάνσεων θερμοκρασίας.
10. Αύξηση της ομοιομορφίας του προϊόντος.
11. Αύξηση της αντοχής έναντι της τήξης και του θερμικού σοκ.

12. Βελτίωση της ικανότητας μορφοποίησης.
13. Βελτίωση της οργανοληπτικά εκτιμώμενης υφής.

Αν και οι σταθεροποιητές συμβάλλουν καθοριστικά στη σταθεροποίηση των δομικών στοιχείων του παγωτού (ελάττωση του δυναμικού Laplace στην περίπτωση των φυσαλίδων αέρα, έλεγχος του ρυθμού διάχυσης υγρασίας στη συμπυκνωμένη υδατική φάση), η ικανότητά τους να ελέγχουν τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης είναι αναμφίβολα η βασικότερή τους λειτουργική δράση. Ανάλογα με το είδος του σταθεροποιητή η θερμοδυναμική σταθερότητα του παγωτού επηρεάζεται με διαφορετικούς τρόπους, περιλαμβάνοντας: α) την αύξηση της τιμής του μικροϊξώδους της φάσης ορού, β) τον περιορισμό της μοριακής κινητικότητας του μη κρυσταλλωμένου νερού, γ) τη δημιουργία κρυστοπηγμάτων τα οποία δεσμεύουν το παραγόμενο νερό από την τήξη των παγοκρυστάλλων, όταν παρατηρούνται διακυμάνσεις θερμοκρασιακές κατά την αποθήκευση και δ) την ύπαρξη ασυμβατότητας με τις πρωτεΐνες, με αποτέλεσμα την ασυνεχή κατανομή τους στη φάση ορού και τη δημιουργία τοπικών υδατικών φάσεων πλούσιων σε πρωτεΐνες ή πολυσακχαρίτες αντίστοιχα, γεγονός που ελαττώνει το δυναμικό διάχυσης υγρασίας προς τη διεπιφάνεια των παγοκρυστάλλων. Έτσι, σταθεροποιητές όπως το CMC, το αλγινικό νάτριο και το κόμμι γκουάρ δρουν ελέγχοντας τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης μέσω αύξησης του μικροϊξώδους και αύξησης της συγκέντρωσης της πλούσιας σε πολυσακχαρίτη υδατικής φάσης, ενώ το κόμμι χαρουπιού και η ξανθάνη σχηματίζουν κρυστοπήγματα (βλ. κεφ.4).

Κατά την επιλογή του σταθεροποιητικού συστήματος θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως: ο μηχανισμός με τον οποίο δρουν οι σταθεροποιητές, η ικανότητα των σταθεροποιητών να ελαττώνουν τη θερμοδυναμική ασυμβατότητα με τις πρωτεΐνες για την αποφυγή συναίρεσης κατά την τήξη του παγωτού (π.χ. κ-καραγενάνη), το ποσοστό αύξησης του μακροϊξώδους του μίγματος, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε δυσχέρειες κατά τα στάδια της ωρίμανσης και κατάψυξης, το κόστος, η ουδετερότητα ως προς το άρωμα και το χρώμα, η περιορισμένη ικανότητα δέσμευσης ή επικάλυψης των αρωματικών παραγόντων κ.α. (Marshall et al., 2003; Clarke, 2004; Patmore et al., 2003; Regand & Goff, 2003)

1.3.6 Γαλακτωματοποιητές

Οι γαλακτωματοποιητές αν και στην πράξη χρησιμοποιούνται ως μίγμα με τους σταθεροποιητές, η δράση τους είναι σημαντικά διαφορετική από εκείνη των σταθεροποιητών. Ειδικότερα:

1. Ευνοούν τη δημιουργία πυρήνων κρυστάλλων λίπους (πυρηνογένεση) και ελαττώνουν τον απαιτούμενο χρόνο ωρίμανσης.
2. Βελτιώνουν την ικανότητα απόδρασης του μίγματος, εξαιτίας της δράσης τους στη διεπιφάνεια νερού-αέρα, οδηγώντας σε ελάττωση της μέσης διαμέτρου και σε αύξηση της ομοιογένειας της κατανομής μεγέθους των φυσαλίδων αέρα.
3. Λόγω της χαμηλής επιφανειακής τους τάσης απομακρύνουν τα πρωτεϊνικά μόρια από την επιφάνεια των λιποσφαιρίων, οδηγώντας σε αύξηση της θερμοδυναμικής αστάθειας των λιποσφαιρίων κατά το στάδιο της απόδρασης - κατάψυξης (αποσταθεροποίηση λίπους).
4. Προσδίδουν μία ξηρή και συνεκτική υφή στο κατεψυγμένο προϊόν, βελτιώνοντας την ικανότητα μορφοποίησης και εκβολής.
5. Αυξάνουν τη σταθερότητα της αφρώδους δομής του παγωτού κατά την αποθήκευση και περιορίζουν τη συρρίκνωση.
6. Ελέγχουν το ρυθμό τήξης του παγωτού.
7. Περιορίζουν σημαντικά την ανάπτυξη τραχιάς υφής, λόγω της επίδρασης των συσσωματωμάτων λίπους στο μέγεθος των φυσαλίδων αέρα και των παγοκρυστάλλων.
8. Βελτιώνουν την κρεμώδη και πλούσια υφή του προϊόντος στο στόμα, λόγω της

συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων, ως αποτέλεσμα της διάτμησης που προκαλείται κατά τη διάρκεια της μύησης. (Marshall et al., 2003; Goff 1997b; Goff & Jordan 1989; Tomas et al., 1994; Benjamins et al., 2008; Barfod 1991; Baer et al., 1999).

1.3.7 Δευτερεύοντα συστατικά

Με τον όρο «δευτερεύοντα συστατικά» ορίζονται συστατικά τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν στο μίγμα παγωτού προαιρετικά, με στόχο να προσδώσουν συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά που έχουν σημασία για την αποδοχή του τελικού προϊόντος από τον καταναλωτή π.χ. άρωμα, χρώμα, σχήμα. Έτσι στην κατηγορία αυτή ανήκουν:

1.3.7.1 Αρωματικές ύλες

Με τον όρο «αρωματικές ύλες» αναφέρονται φυσικά εκχυλίσματα, φυσικά ή συνθετικά αρώματα, σιρόπια φρούτων, συμπυκνωμένοι χυμοί φρούτων κ.α. Οι στερεές αρωματικές ύλες προστίθενται πάντα πριν τη θερμική κατεργασία του μίγματος, προκειμένου να διαλυτοποιούνται πλήρως, ενώ οι υγρές αρωματικές ύλες προστίθενται συνήθως πριν τη διεργασία κατάψυξης. Η χρήση των αρωματικών υλών στην παραγωγή παγωτού συνδέεται με την αποδοχή του προϊόντος, ενώ η επιλογή της κατάλληλης αρωματικής ουσίας για κάθε είδος παγωτού γίνεται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

1. Σύσταση του μίγματος. Οι γλυκαντικές ύλες, το είδος των πηγών λίπους και οι πρωτεϊνικές ύλες είναι καθοριστικοί παράγοντες για τον τρόπο αποδέσμευσης και την ένταση του αρώματος του παγωτού (Hyyönen et al. 2003; Bom Frost et al., 2005; Koeflerli-Stampanoni et al., 1996; Aprea et al., 2006). Ανάλογα, ορισμένες αρωματικές ύλες που κατεξοχήν χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του παγωτού π.χ. κακάο, μπορεί να είναι ασύμβατες με τα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος.
2. Τεχνικές και συνθήκες παραγωγής π.χ. θερμοκρασία θερμικής κατεργασίας, τεχνική κατάψυξης, σκλήρυνση κ.α.
3. Θερμοκρασία κατανάλωσης του προϊόντος π.χ. βιοτεχνικό (soft-serve) παγωτό, σκληρό παγωτό κ.α.
4. Απόχρωση αρωματικής ύλης.
5. Ένταση αρώματος της πρώτης ύλης. (Marshall et al., 2003; Clarke, 2004; Speck & Hansen, 1983)

Οι κυριότερες αρωματικές ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος παρατίθενται στον πίνακα 1.1.

Αρωματική ύλη	Λόγος αρωματικής ύλης - σακχαρόζης	Συμβατό χρώμα
Βανιλίνη	-	Χωρίς προσθήκη
Σοκολάτα	2:1 - 9:1	Χωρίς προσθήκη
Μπανάνα	-	Χωρίς προσθήκη
Κεράσι	5:1	Ανοικτό κόκκινο
Φράουλα	3:1 - 4:1	Ροζ
Ροδάκινο	3:1	Ανοικτό πορτοκαλί
Βερούκοκο	3:1	Ανοικτό πορτοκαλί
Λεμόνι	5:1	Κίτρινο
Φυστίκι	2:1 - 9:1	Ανοικτό πράσινο

Πίνακας 1.1: Προδιαγραφές για την ενσωμάτωση διαφόρων αρωματικών υλών στο παγωτό (Marshall et al., 2003)

1.3.7.2 Χρωστικές ύλες

Η προσθήκη χρωστικών υλών στο παγωτό στοχεύει στην αυθόρμητη σύνδεση των χαρακτηριστικών γεύσης, αρώματος και χρώματος από τον καταναλωτή. Έτσι η προσθήκη κίτρινης χρωστικής σε παγωτό βανίλια σύνδεεται με τη χρήση πηγών λίπους γάλακτος π.χ. βούτυρο ή κρέμα γάλακτος, ενώ η ενίσχυση του χρώματος παγωτών με χυμό ή τεμάχια φρούτων είναι σχεδόν κοινή πρακτική, λόγω της αδυναμίας τους να προσδίδουν επαρκές

χρώμα στο τελικό προϊόν.

1.3.7.3 Λοιπές ύλες

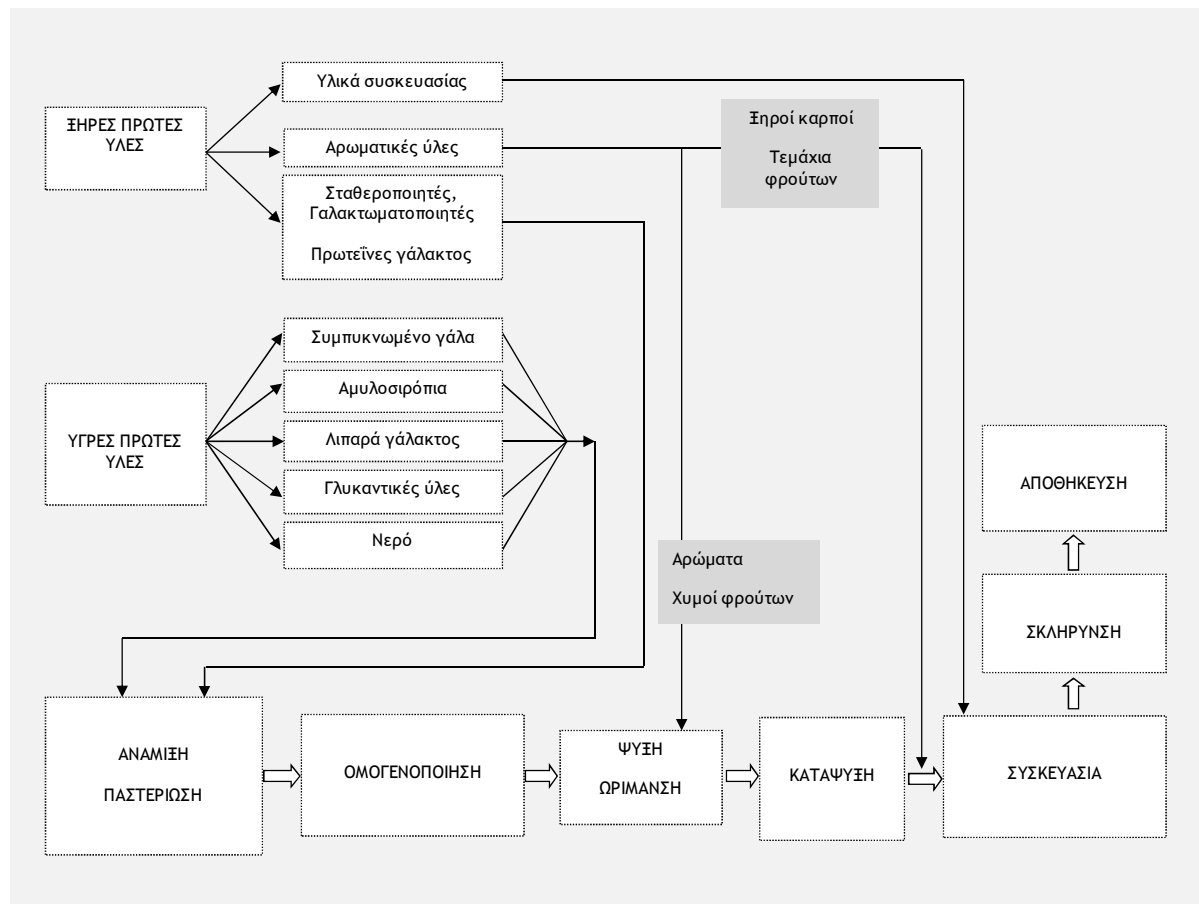
Ξηροί καρποί, τεμάχια αφυδατωμένων φρούτων, και μπισκότα μπορούν να προστεθούν στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος, προκειμένου να αυξήσουν την οργανοληπτική τους ποιότητα. Οι ξηροί καρποί πρέπει να είναι απαλλαγμένοι από παθογόνους μικροοργανισμούς, να έχουν μικρό μικροβιακό φορτίο και να μην έχουν υποστεί αλλοιώσεις π.χ. οξειδωτικό ταγγισμό. Η χρήση ξηρών καρπών στο παγωτό κυμαίνεται από 1 έως 5% ανάλογα με το είδος της αρωματικής ύλης.

Χρήση καρυκευμάτων και αλατιού μπορεί να γίνει σε ορισμένες περιπτώσεις, προκειμένου να προσδοθούν συγκεκριμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και συνηθίζεται σε προϊόντα που περιέχουν κρόκο αυγού π.χ. παγωτό parfait.

1.4 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

1.4.1 Τεχνολογία παγωτού

Η παραγωγική διαδικασία του παγωτού μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κύριες φάσεις: α) την προετοιμασία του μίγματος παγωτού και β) τις διεργασίες κατάψυξης - σκλήρυνσης. Ένα συνοπτικό διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας του παγωτού απεικονίζεται στο σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2: Τυπικό διάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας του παγωτού (Marshall et al., 2003)

1.4.1.1 Παραγωγή του μίγματος παγωτού

Τα στάδια της διαδικασίας παρασκευής του μίγματος περιλαμβάνουν την ανάμιξη των πρώτων υλών, τη θερμική κατεργασία, την ομογενοποίηση, την ψύξη - ωρίμανση και την προσθήκη αρωματικών υλών. Οι εμπλεκόμενες διεργασίες στην παραγωγή του μίγματος παγωτού καθορίζουν τη σταθερότητα του γαλακτώματος, τις φυσικές ιδιότητες του μίγματος

(ρεολογία, ενυδάτωση πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών, κρυστάλλωση λιπαρών), και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του μίγματος (ανάπτυξη αρώματος και υφής, καθορισμός χρώματος), ενώ επιπλέον επηρεάζουν την ευκολία χειρισμού κατά την κατάψυξη και τα τελικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του κατεψυγμένου προϊόντος.

1.4.1.1.1 Ανάμιξη πρώτων υλών

Η ανάμιξη των πρώτων υλών είναι τυπικά μία ασυνεχής διεργασία που αφορά στη διασπορά και διαλυτοποίηση των ξηρών συστατικών στις υγρές πρώτες ύλες. Επιπλέον, ανάλογα με τη θερμοκρασία και το χρόνο ανάμιξης μπορεί να επιτευχθεί και μερική ενυδάτωση των βιοπολυμερών (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, διαιτητικές ίνες κ.α.). Το κυριότερο πρόβλημα που εντοπίζεται κατά την ανάμιξη των πρώτων υλών είναι ο σχηματισμός θρόμβων και συσσωματωμάτων τα οποία δεν μπορούν να διαλυτοποιηθούν, επηρεάζοντας την τελική ποιότητα, αλλά και τη σύσταση του τελικού μίγματος. Διάφορες τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν για την αντιμετώπιση του προβλήματος όπως:

1. **Κατάλληλη επιλογή θερμοκρασίας - χρόνου ανάμιξης.** Πρώτες ύλες όπως οι πολυσακχαρίτες διαλυτοποιούνται σε ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος. Για παράδειγμα, το κόμμι γκουάρ, η ξανθάνη και το αλγινικό νάτριο μπορούν να διαλυθούν και να ενυδατωθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες (10-30°C), ενώ υδροκολλοειδή όπως η κ-καρραγενάνη και το κόμμι χαρουπιού απαιτούν σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες για την αποτελεσματική τους διάλυση στο μίγμα παγωτού (40-90°C).
2. **Η ταχύτητα ανάδευσης.** Η εφαρμογή τυρβώδους ανάδευσης με τη χρήση αναδευτήρων υψηλού ρυθμού διάτμησης, αποτρέπει γενικά το σχηματισμό συσσωματώσεων και επιτυγχάνει την ταχεία διασπορά των στερεών συστατικών στο μίγμα.
3. **Η διαλυτότητα των συστατικών.** Δυσδιάλυτα συστατικά ή συστατικά τα οποία τείνουν να συσσωματώνονται κατά την επαφή τους με τα υγρά συστατικά θα πρέπει να προ-ενυδατώνονται ή να διασπείρονται προηγουμένως σε συστατικά του μίγματος τα οποία διευκολύνουν την ευχερή ενσωμάτωση και διάλυσή τους στο τελικό μίγμα. Για παράδειγμα, τα υδροκολλοειδή μπορούν να διασπείρονται σε γλυκαντικές ύλες όπως αμυλοσιρόπια ή διαλύματα σακχάρων πριν την τελική τους ενσωμάτωση στο μίγμα. Παρόμοια, οι πρωτεϊνικές ύλες μπορούν να προ-ενυδατώνονται με συμπυκνωμένο γάλα ή νερό προς σχηματισμό ιξώδους πάστας, πριν προστεθούν στο τελικό μίγμα.
4. **Η τεχνική τροφοδοσίας.** Η άμεση μη ελεγχόμενη προσθήκη των στερεών συστατικών στις υγρές ύλες είναι πιθανό να προκαλέσει σχηματισμό θρόμβων. Αυτό συμβαίνει λόγω της περιορισμένης δυνατότητας διασποράς και διαλυτοποίησης μεγάλων ποσοτήτων στερεών στο μίγμα. Η ελεγχόμενη τροφοδοσία με τη χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων τροφοδοσίας στερεών υλικών συμβάλλει καθοριστικά στην αποτελεσματική τους ενσωμάτωση στο μίγμα.
5. **Η χρήση συστατικών στιγμιαίας διάλυσης.** Η αντικατάσταση της τυπικής σκόνης γάλακτος από πρωτεϊνικά προϊόντα στιγμιαίας διάλυσης είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος για τη βελτίωση της διαλυτότητας των στερεών υλικών στο μίγμα παγωτού. Παρόλα αυτά η εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση του λειτουργικού κόστους (Marshall et al., 2003; Clarke, 2004).

1.4.1.1.2 Θερμική κατεργασία

Η θερμική κατεργασία (παστερίωση) του μίγματος παγωτού είναι μία ασυνεχής ή συνεχής διεργασία με στόχο:

1. την πλήρη διάλυση των στερεών συστατικών και την αύξηση της ομοιογένειας του

- μίγματος,
2. την επαρκή ενυδάτωση των βιοπολυμερών π.χ. υδροκολλοειδή και πρωτεΐνες,
 3. την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και την ελάττωση του μικροβιακού φορτίου,
 4. την αδρανοποίηση των πρωτεολυτικών και λιπολυτικών ενζύμων,
 5. την πλήρη τήξη του κρυσταλλωμένου λίπους,
 6. την ελάττωση του ιξώδους για την ευκολότερη ομογενοποίηση του μίγματος,
 7. τη βελτίωση του αρώματος του μίγματος,
 8. την αύξηση της διατηρησιμότητας του μίγματος.

Δύο κύριες τεχνικές παστερίωσης εφαρμόζονται στην παραγωγική διαδικασία παγωτού: η ασυνεχής (vat - Low Temperature Long Time) και η συνεχής (High Temperature Short Time). Η ασυνεχής θερμική κατεργασία πραγματοποιείται σε δεξαμενή με μανδύα θέρμανσης και συνεχή ανάδευση. Συνήθης συνδυασμός θερμοκρασίας - χρόνου κατεργασίας για την ασυνεχή παστερίωση είναι 68°C για 30min. Η εφαρμογή της ασυνεχούς θερμικής κατεργασίας συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη ενυδάτωση των βιοπολυμερών (λόγω του αυξημένου χρόνου κατεργασίας) και στην ανάπτυξη του αρώματος του μίγματος παγωτού. Επιπλέον, η τεχνική επιτυγχάνει βελτίωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών, της υφής του και της αντίστασης του προϊόντος στο θερμικό σοκ, ενώ συμβάλλει και στην αποτελεσματική μείωση του απαιτούμενου χρόνου ωρίμανσης. Το κυριότερο μειονέκτημα της ασυνεχούς θερμικής κατεργασίας του μίγματος παγωτού είναι οι υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια για θέρμανση-ψύξη του μίγματος καθώς επίσης και η πιθανότητα ανάπτυξης ελαττωματικού αρώματος π.χ. οσμή καμμένου γάλακτος.

Μέθοδος παστερίωσης	Χρόνος παστερίωσης	Θερμοκρασία (°C)
Ασυνεχής (batch)	30min	69
Υψηλής θερμοκρασίας σύντομου χρόνου (HTST)	25s	80
Έντονης θέρμανσης σύντομου χρόνου (HHST)	1-3s	90
Υπερυψηλής θερμοκρασίας (UHT)	≥2s	138

Πίνακας 1.2: Διάφορες μέθοδοι θερμικής κατεργασίας που εφαρμόζονται στην παραγωγή παγωτού (Marshall et al., 2003)

Η συνεχής θερμική κατεργασία πραγματοποιείται σε πλακοειδείς ή αυλωτούς εναλλάκτες με τμήμα προθέρμανσης και ψύξης, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας. Διάφοροι συνδυασμοί θερμοκρασίας - χρόνου κατεργασίας μπορούν να εφαρμοστούν όπως φαίνεται στον πίνακα 1.2. Σε γενικές γραμμές, η εφαρμογή μικρού χρόνου και υψηλής θερμοκρασίας παστερίωσης κρίνεται ευνοϊκή αφού: α) συμβάλλει στην ελάττωση του απαιτούμενου ποσοστού υδροκολλοειδών κατά τουλαχιστον 25%, β) αυξάνει το ποσοστό μετουσίωσης των πρωτεϊνών και κατά συνέπεια την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, γ) βελτιώνει την υφή και τη συνεκτικότητα του μίγματος, και δ) αυξάνει τη σταθερότητα του μίγματος στις οξειδωτικές αλλοιώσεις, λόγω έκθεσης των αναγωγικών ομάδων κατά τη μετουσίωση των πρωτεϊνών. Η θερμική κατεργασία του μίγματος παγωτού γίνεται με κύριο στόχο την εξασφάλιση της μικροβιολογικής ασφάλειας του προϊόντος, προϋπόθεση η οποία καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως τα διαστατικά χαρακτηριστικά του τμήματος παστερίωσης (μήκος και διάμετρος παστεριωτή), το ιξώδες και η ρεολογική συμπεριφορά του μίγματος, και ο ρυθμός και το είδος της ροής (π.χ. στρωτή ή τυρβώδης). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την επάρκεια της θερμικής κατεργασίας του μίγματος παγωτού έχει η επίδραση της σύστασής του. Πιο συγκεκριμένα, συστατικά που ενυδατώνονται κατά τη διάρκεια της παστερίωσης π.χ. βιοπολυμερή, μεταβάλλουν δραματικά το ιξώδες και τη ρεολογία του μίγματος, με αποτέλεσμα τη μεταβολή των χαρακτηριστικών ροής π.χ. μετάβαση από τυρβώδη σε στρωτή ροή (Goff &

Davidson, 1992; Goff et al., 1994). Αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών είναι η ανεπαρκής παστερίωση του μίγματος, αλλά και η ανάπτυξη ελαττωμάτων όπως οσμή καμμένου γάλακτος, θρομβώσεις κ.α. Η χρήση συστημάτων παστερίωσης συνεχούς λειτουργίας γενικά πλεονεκτεί, δεδομένου ότι επιτρέπει την εύκολη ρύθμιση του χρόνου παστερίωσης (με μεταβολή του μήκους ή της διαμέτρου των σωληνώσεων) καθώς και της θερμοκρασίας παστερίωσης.

1.4.1.1.3 Ομογενοποίηση

Ο κύριος στόχος της ομογενοποίησης του μίγματος παγωτού είναι η δημιουργία ενός σταθερού γαλακτώματος με ελάττωση του μέσου μεγέθους των λιποσφαιρίων (<2 μm) και συνεπάγεται την αλλαγή της σύστασης της μεμβράνης που περιβάλλει τα λιποσφαίρια. Κατά συνέπεια η επαρκής ομογενοποίηση του μίγματος παγωτού: α) αποτρέπει τη συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων και την αποκορύφωσή τους, β) ελαττώνει την επιφανειακή τάση του γαλακτώματος λόγω υποκατάστασης των ογκωδών πρωτεϊνικών μορίων που βρίσκονται στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων από τα μικρότερα και επιφανειακά ενεργά μόρια του γαλακτωματοποιητή, γ) αυξάνει την ικανότητα αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων κατά τη διεργασία κατάψυξης, δ) βελτιώνει την υφή και την ομογένεια του μίγματος (Marshall et al., 2003; Goff, 1997a; Goff, 1997b; Schmidt & Smith, 1989; Schmidt & Smith, 1988).

Η ομογενοποίηση πραγματοποιείται ωθώντας το μίγμα διαμέσου οπής μικρού διαμετρήματος (που βρίσκεται στη βαλβίδα ομογενοποίησης) υπό κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, με χρήση αντλίας θετικής εκτόπισης (μονού ή διπλού εμβόλου). Τα λιποσφαίρια, που πρέπει κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης να βρίσκονται σε υγρή μορφή, παραμορφώνονται έντονα καθώς κινούνται με ταχύτητες που φθάνουν τα 12.000 cm/s στο χώρο μεταξύ των τοιχωμάτων και του εδράνου της βαλβίδας. Κατά την έξοδο του μίγματος από τη βαλβίδα ομογενοποίησης λαμβάνει χώρα πτώση πίεσης που οδηγεί σε φαινόμενα σπηλαίωσης λόγω της απότομης ελάττωσης της τάσης ατμών του μίγματος και της δημιουργίας φυσαλίδων ατμού. Τα λιποσφαίρια, λόγω του φαινομένου της σπηλαίωσης, δέχονται πολύ υψηλές διατμητικές τάσεις που επιφέρουν τελικά τη διάρρηξη της μεμβράνης τους και την ελάττωση μεγέθους τους.

Η μεμβράνη των λιποσφαιρίων αποτελείται από φωσφολιπίδια στα οποία προσροφώνται πρωτεΐνες και διάφορα λιπίδια. Καθώς τα λιποσφαίρια διαρρηγνύονται και ελαττώνεται το μέγεθός τους, η ειδική επιφάνειά τους αυξάνει ενώ η δυνατότητα των φωσφολιπιδίων να προσροφώνται στις νεοσχηματιζόμενες μεμβράνες περιορίζεται, με αποτέλεσμα μόρια επιφανειοενεργών συστατικών π.χ. γαλακτωματοποιητές και πρωτεΐνες να προσροφώνται ευκολότερα στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων. Η παρουσία των αμφιφιλικών ενώσεων στο μικροπεριβάλλον των λιποσφαιρίων δεν μεταβάλλει μόνο τη σύσταση της μεμβράνης που τα περιβάλλει, αλλά και τα λειτουργικά της χαρακτηριστικά. Ελαττώνεται η επιφανειακή τάση και αυξάνεται το ποσοστό της ενυδατωμένης επιφανειακής περιοχής, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της σταθερότητας του γαλακτώματος και της υφής του μίγματος.

Η αποτελεσματικότητα της ομογενοποίησης ελαττώνεται με μείωση της θερμοκρασίας του μίγματος (λόγω του σχηματισμού θρόμβων), πτώση πίεσης, ύπαρξη αδιάλυτων συστατικών, εγκλωβισμό αέρα κ.α. Επιπλέον, η κατάλληλη επιλογή συνδυασμού πιέσεων στο πρώτο και δεύτερο στάδιο ομογενοποίησης είναι απαραίτητη για την επίτευξη της επιθυμητής κατανομής μεγέθους λιποσφαιρίων στο τελικό μίγμα. Συνήθης συνδυασμός πιέσεων του πρώτου και δεύτερου σταδίου είναι 135-180 bar και 20-35 bar αντίστοιχα. Παρόλα αυτά η σύσταση του μίγματος είναι καθοριστικός παράγοντας για την τελική επιλογή των πιέσεων ομογενοποίησης. Η αύξηση του ποσοστού λιπαρών και η παρουσία γαλακτωματοποιητών απαιτεί και τη σταδιακή αύξηση της πίεσης ομογενοποίησης. Αντίθετα, η ομογενοποίηση μίγματος παγωτού χωρίς την προσθήκη γαλακτωματοποιητή μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και σε πολύ χαμηλές πιέσεις π.χ. 35-40 bar (Schmidt & Smith, 1989; Marshall et al., 2003).

1.4.1.1.4 Ψύξη - ωρίμανση

Όπως αναφέρθηκε, η παστερίωση συμβάλλει στην πλήρη τήξη των λιπαρών, ενώ η ομογενοποίηση μεταβάλλει τα κολλοειδή χαρακτηριστικά του μίγματος. Με το πέρας της παστερίωσης και της ομογενοποίησης το μίγμα ψύχεται (<4°C) ταχέως και διατηρείται στη θερμοκρασία τήξης για ένα διάστημα 4-24 h, ανάλογα με τη σύσταση του μίγματος παγωτού. Το στάδιο αυτό είναι γνωστό ως ωρίμανση. Η ωρίμανση συνδέεται άρρηκτα με τη διεργασία κατάψυξης, αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού κατεψυγμένου προϊόντος. Οι κυριότερες μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά την ωρίμανση είναι:

1. Ενυδάτωση των υδρόφιλων ομάδων των βιοπολυμερών π.χ. πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες.
2. Αύξηση του ιξώδους του μίγματος, ως αποτέλεσμα της συγκράτησης υγρασίας και μεταβολή της ρεολογικής συμπεριφοράς του.
3. Σχεδόν πλήρης κρυστάλλωση των λιποσφαιρίων (ανάλογα με τη σύσταση σε λιπαρά οξέα και τριγλυκερίδια της λιπαρής πρώτης ύλης).
4. Αναδόμηση της σύστασης της μεμβράνης των λιποσφαιρίων. Η σύσταση της διεπιφάνειας μεμβράνης λιποσφαιρίου - φάσης ορού μεταβάλλεται ριζικά με τα επιφανειοενεργά μόρια του γαλακτωματοποιητή να απομακρύνουν σημαντικό ποσοστό πρωτεϊνικών μορίων που έχουν προσροφηθεί στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων.
5. Αλληλεπίδραση πολυσακχαριτών - πρωτεϊνών και σχηματισμός τοπικών μικροπεριοχών εντός της φάσης ορού εμπλουτισμένων σε πολυσακχαρίτη ή πρωτεΐνες. Η αλληλεπίδραση αυτή είναι γνωστή ως διαχωρισμός φάσεων.
6. Έλεγχος του φαινομένου του διαχωρισμού φάσεων (συναίρεση) στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται υδροκολλοειδή συμβατά με τις πρωτεΐνες (π.χ. κ-καρραγενάνη).
7. Βελτίωση του αρώματος του μίγματος παγωτού.
8. Περιορισμός της ανάπτυξης μεσόφιλων μικροοργανισμών και αύξηση του χρόνου ζωής του μίγματος.
9. Αύξηση της δυναμικότητας στη διεργασία κατάψυξης (Marshall et al., 2003; Clarke 2004; Casiraghi et al., 2002; Barford et al., 1991; Pelan et al., 1997).

1.4.1.1.5 Ενσωμάτωση αρωματικών υλών

Αποτελεί κοινή πρακτική η προσθήκη των αρωματικών υλών που βρίσκονται σε υγρή μορφή λίγο πριν τη διεργασία κατάψυξης. Οι αρωματικές ύλες επιλέγονται με βάση τις προτιμήσεις του καταναλωτή, το κόστος, τη διαθεσιμότητα, τον απαιτούμενο εξοπλισμό για την ενσωμάτωσή τους στο παγωτό, τη σταθερότητα της πρώτης ύλης, τα υλικά συσκευασίας καθώς και την ετικέτα (φυσικά ή τεχνητά αρωματισμένο προϊόν).

Αρωματικές ύλες σε έτοιμη μορφή και στερεή κατάσταση όπως τεμάχια φρούτων, ξηροί καρποί προστίθενται κατά την κατάψυξη, προκειμένου να υπάρχει επαρκής χρόνος για την ενυδάτωση και ενσωμάτωσή τους στο παγωτό. Ο χρόνος και ο ρυθμός ανάδευσης κατά τη διεργασία κατάψυξης καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των αρωματικών υλών π.χ. μέγεθος τεμαχίων.

1.4.1.2 Διεργασίες κατάψυξης

Με τον όρο «διεργασίες κατάψυξης» αναφέρονται όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας του παγωτού που σχετίζονται με την κατάψυξη, συσκευασία, και σκλήρυνση του προϊόντος και οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τα δομικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του.

1.4.1.2.1 Κατάψυξη μίγματος παγωτού

Η κατάψυξη του μίγματος παγωτού είναι μία δυναμική διεργασία κατά την οποία το μίγμα παγωτού καταψύχεται ταχέως, ενώ ταυτόχρονα υποβάλλεται σε απόδραση με στόχο την ενσωμάτωση αέρα και την παρεμπόδιση σχηματισμού παγοκρυστάλλων μεγάλου μεγέθους. Η

κατάψυξη μπορεί να είναι ασυνεχής ή συνεχής. Η κατάψυξη του μίγματος πραγματοποιείται σε κυλινδρική διάταξη με μανδύα ροής ψυκτικού υγρού, η οποία φέρει εσωτερικά μεταλλικές λεπίδες απόξεσης, με τις οποίες επιτυγχάνεται η απόδαρση του μίγματος και η απομάκρυνση του καταψυχόμενου προϊόντος από τα τοιχώματα του καταψύκτη. Ο έλεγχος των συνθηκών κατάψυξης, απόδαρσης και απόξεσης είναι απαραίτητος για το σχηματισμό μικρού μεγέθους παγοκρυστάλλων και τη βελτίωση της υφής του παγωτού (Marshall et al., 2003; Hartel 1996).

Κατά τη διάρκεια της διεργασίας κατάψυξης λαμβάνουν χώρα τρία διαφορετικά φαινόμενα: η κρυστάλλωση του νερού, η αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων και ο σχηματισμός και σταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα. Η είσοδος του μίγματος στον καταψύκτη συνοδεύεται με την απότομη πτώση της θερμοκρασίας του (η οποία εξαρτάται αποκλειστικά από τη σύσταση του μίγματος) και την απομάκρυνση αισθητής θερμότητας. Μόλις η θερμοκρασία κατέλθει στο σημείο πήξης, το νερό μετατρέπεται σε κρυστάλλους, αυξάνοντας σταδιακά τη συγκέντρωση της υδατικής φάσης σε διαλυτά συστατικά. Η αύξηση της συγκέντρωσης της υδατικής φάσης προκαλεί τη σταδιακή ταπείνωση του σημείου πήξης του μίγματος και όταν η συγκέντρωση της φάσης ορού γίνει πολύ μεγάλη, τότε το υψηλό δυναμικό διάχυσης παρεμποδίζει την περαιτέρω κρυστάλλωση του νερού, ακόμη και όταν η θερμοκρασία του προϊόντος γίνει πολύ χαμηλή (στη φάση σκλήρυνσης του παγωτού).

Η πυρηνογένεση ξεκινά από τα τοιχώματα του καταψύκτη και με τη συνεχή απόδαρση του μίγματος, οι σχηματιζόμενοι πυρήνες μεταφέρονται στον κύριο όγκο του μίγματος, με αποτέλεσμα την έναρξη κρυστάλλωσης του νερού. Η υπέρψυξη του μίγματος γενικά ευνοεί την πυρηνογένεση και την ταχεία κατάψυξη του μίγματος, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρών και ομοιογενών παγοκρυστάλλων. Αντίθετα, η προβληματική απομάκρυνση των πυρήνων από τα τοιχώματα του καταψύκτη επιβραδύνει το ρυθμό κατάψυξης του μίγματος, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγάλου μεγέθους παγοκρυστάλλων και την ανάπτυξη τραχιάς υφής. Κατά συνέπεια, επαρκής ανάδευση, πυρηνογένεση και ταχεία κατάψυξη απαιτούνται για την παραγωγή υψηλής ποιότητας παγωτού (Adapa et al., 2000; Clarke, 2004).

Η ύπαρξη των μερικώς κρυσταλλωμένων λιποσφαιρίων (ανάλογα με τη σύσταση τριγλυκεριδίων της λιπαρής πρώτης ύλης) σε συνδυασμό με την ελάττωση της επιφανειακής τάσης και της σταθερότητας των λιποσφαιρίων, που προκαλείται από την παρουσία των γαλακτωματοποιητών, αποτελούν τους παράγοντες που επιφέρουν την αποσταθεροποίηση και συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων κατά την κατάψυξη. Η απόδαρση του μίγματος φέρει σε επαφή τα κρυσταλλωμένα λιποσφαίρια τα οποία συσσωματώνονται και μεταφέρονται στη διεπιφάνεια των φυσαλίδων αέρα, παρέχοντας δομή στη φάση ορού και σταθεροποιώντας τις σχηματιζόμενες φυσαλίδες αέρα (Goff, 1997a; Goff, 1997b; Adleman & Hartel, 2002).

Η ενσωμάτωση αέρα λαμβάνει χώρα παράλληλα με την αποσταθεροποίηση των λιπαρών. Σε πρωταρχικό στάδιο σχηματίζονται φυσαλίδες μεγάλου μεγέθους οι οποίες, ανάλογα με το ρυθμό διάτμησης αλλά και το είδος του καταψύκτη, κατατέμνονται σε συνεχώς μικρότερες και σταθεροποιούνται καθώς η αποσταθεροποίηση των λιπαρών και η κρυστάλλωση του πάγου εξελίσσονται. Η πίεση του εισερχόμενου αέρα, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καταψύκτη, η σύσταση και η αποσταθεροποίηση των λιπαρών καθορίζουν σημαντικά το ποσοστό του ενσωματωμένου αέρα (overrun) και τη μέση κατανομή μεγέθους των φυσαλίδων αέρα (Chang & Hartel, 2002a,b; Sofjan & Hartel, 2004).

1.4.1.2.2 Συσκευασία

Το παγωτό κατά την έξοδό του από τον καταψύκτη και την πορεία του προς τις μηχανές μορφοποίησης και συσκευασίας είναι ένα εξαιρετικά θερμοδυναμικά ασταθές προϊόν. Το μέγεθος των παγοκρυστάλλων αλλά και των φυσαλίδων αέρα επηρεάζεται δυναμικά από τις συνθήκες θερμοκρασίας κατά τα στάδια αυτά και για αυτό το λόγο απαιτείται η συστηματική καταγραφή των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στα στάδια που ακολουθούν τη διεργασία κατάψυξης. Επιπλέον, η συσκευασία αποτελεί ένα κρίσιμο σημείο ελέγχου, αφού

μπορεί αναντίστρεπτα να επηρεάσει τη μικροβιολογική σταθερότητα του προϊόντος. Διακρίνονται δύο κύριες τεχνικές συσκευασίας του παγωτού: α) η συσκευασία σε δοχεία μεγάλης χωρητικότητας (χύμα) και β) η συσκευασία σε εμπορικούς περιέκτες.

1.4.1.2.3 Σκλήρυνση

Η σκλήρυνση είναι το στάδιο που επηρεάζει καθοριστικά την τελική ποιότητα του παγωτού, αφού αποτελεί στάδιο ελέγχου της θερμοδυναμικής σταθερότητας του παγωτού (ρυθμός αύξησης μεγέθους των παγοκρυστάλλων και των φυσαλίδων αέρα). Κατά τη σκλήρυνση του παγωτού η θερμοκρασία ελαττώνεται σημαντικά (έως και τους -30°C), με αποτέλεσμα την ελάττωση του ποσοστού του μη κρυσταλλωμένου νερού, την αύξηση του μεγέθους των παγοκρυστάλλων κατά 30-40%, τη μείωση του ρυθμού αύξησης μεγέθους των φυσαλίδων αέρα λόγω διαφοράς δυναμικού Laplace, αλλά και την ελαχιστοποίηση της ανάπτυξης μικροοργανισμών.

Γενικά, ταχείς ρυθμοί σκλήρυνσης του παγωτού απαιτούνται για την καλύτερη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος κατά την έξοδό του από τον καταψύκτη. Αυτό πρακτικά συνεπάγεται ότι κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης, ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί σε όλους εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας από και προς το προϊόν (θερμοκρασιακό δυναμικό, θερμική αγωγιμότητα του παγωτού και των υλικών συσκευασίας, ρυθμός κυκλοφορίας αέρα ψύξης, θερμικοί συντελεστές συναγωγής και αγωγής κ.α.) αλλά και στη διατήρηση σταθερών συνθηκών θερμοκρασίας (αποφυγή θερμικών σοκ).

Τα συστήματα σκλήρυνσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή παγωτού εξαρτώνται από τη δυναμικότητα της παραγωγικής μονάδας αλλά και από τη χωρητικότητα των περιεκτών. Έτσι σε μικρής κλίμακας μονάδες χρησιμοποιούνται κυρίως θάλαμοι σκλήρυνσης με ανακυκλοφορία ψυχρού αέρα, ενώ σε μεγάλες παραγωγικές μονάδες χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο καταψύκτες σήραγγας ή σπειροειδούς ταινίας. Στην περίπτωση σκλήρυνσης μορφοποιημένων προϊόντων (σε κώνους, ξυλάκια κ.α.), το παγωτό εκβάλλεται σε ψυχόμενες μεταλλικές ταινίες που μετακινούνται εντός σήραγγας κατάψυξης και το προϊόν, αφού πάρει το τελικό του σχήμα, εμβαπτίζεται στα υλικά επικάλυψης (σοκολάτα, ξηροί καρποί) και ξηραίνεται (Marshall et al., 2003; Clarke, 2004).

1.4.1.2.4 Αποθήκευση

Η αποθήκευση αποτελεί το τελικό στάδιο του συνόλου των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα εντός της βιομηχανίας παγωτού. Η αποθήκευση γίνεται σε θαλάμους κατάψυξης με ανακυκλοφορία αέρα και σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των -30°C . Η αποθήκευση θα πρέπει να εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή διατηρησιμότητα, να αποτρέπει πλήρως την ανάπτυξη ελαττωμάτων και να παρεμποδίζει τις δράσεις που αυξάνουν τη θερμοδυναμική αστάθεια του τελικού προϊόντος. Η κυριότερη ίσως αιτία υποβάθμισης της ποιότητας του παγωτού κατά την αποθήκευση, αλλά και μετέπειτα κατά τη διακίνησή του στην αγορά είναι η ανακρυστάλλωση. Η ανακρυστάλλωση προκαλείται από τις απότομες θερμοκρασιακές διακύμανσεις κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης οι οποίες επιφέρουν μερική τήξη των παγοκρυστάλλων και αραίωση της φάσης ορού κατά την άνοδο της θερμοκρασίας. Μόλις η θερμοκρασία του παγωτού επανέλθει στην αρχική θερμοκρασία, μέρος της παραγόμενης υγρασίας διαχέεται από τη φάση ορού προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων, με αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους τους και την ανάπτυξη τραχιάς υφής. Οι μηχανισμοί που περιγράφουν το φαινόμενο της ανακρυστάλλωσης θα αναφερθούν σε επόμενο κεφάλαιο. Παράλληλα, η συμπύκνωση της φάσης ορού προκαλεί την καταβύθιση αδιάλυτων κρυστάλλων λακτόζης, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη αμμόδους υφής. Γενικά, οι μεταβολές που σχετίζονται με τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης είναι αναντίστρεπτες και ευνοοούμενες θερμοδυναμικά, και για το λόγο αυτό ο επαρκής έλεγχος των συνθηκών αποθήκευσης είναι ουσιώδης. Τέλος, λόγω των διακριτικών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του παγωτού, η αποφυγή μετανάστευσης οσμών τόσο από το υλικό συσκευασίας όσο και από τον περιβάλλοντα χώρο αποθήκευσης

είναι πολύ σημαντική (Marshall et al., 2003; Donhowe & Hartel, 1996a,b).

1.4.2 Τεχνολογία κατεψυγμένων ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος

Ο όρος κατεψυγμένα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος αναφέρεται σε μία ομάδα προϊόντων με ειδική λειτουργική δράση, ως αποτέλεσμα της προσθήκη ευεργετικών βακτηρίων όπως τα οξυγαλακτικά και τα προβιοτικά. Η μεγάλη ανταπόκριση του καταναλωτικού κοινού στα σχετικά προϊόντα οφείλεται κατά κύριο λόγο στον υγιεινό τους χαρακτήρα, την υψηλή διατροφική τους αξία, τη φυσιολογική τους δράση σε συγκεκριμένες ομάδες ατόμων (χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και λακτόζη) και το ευχάριστο άρωμα που χαρακτηρίζει τα ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος.

Η τεχνολογία παραγωγής ζυμωμένων επιδορπίων γάλακτος βασίζεται στις ίδιες διεργασίες που εφαρμόζονται στην παραγωγή παγωτού, και επιπλέον περιλαμβάνει τα στάδια προετοιμασίας της καλλιέργειας και της οξίνισης - ενσωμάτωσης της καλλιέργειας στο κατεψυγμένο προϊόν. Η ενσωμάτωση των ευεργετικών βακτηρίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις βασικές τεχνικές: α) με άμεση οξίνιση, κατά την οποία το ωριμασμένο μίγμα παγωτού εμβολιάζεται με την καλλιέργεια, επωάζεται και κατόπιν καταψύχεται, β) με έμμεση οξίνιση, κατά την οποία το μίγμα παγωτού αναμιγνύεται με οξινομένο γάλα ή γιαούρτι και το τελικό οξινομένο μίγμα καταψύχεται και γ) με προσθήκη της καλλιέργειας στο μίγμα παγωτού χωρίς ζύμωση και σε ορισμένες περιπτώσεις τεχνητή οξίνιση π.χ. προσθήκη γαλακτικού ή κιτρικού οξέος. Στα σχήματα 1.3 και 1.4 απεικονίζονται τα διάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας παγωτού-γιαούρτι και προβιοτικού παγωτού με εφαρμογή των τεχνικών άμεσης και έμμεσης οξίνισης (Tamime & Robinson 2007; Abou 2000; Westebeeek 1996; Stenby 1993; Σούκουλης & Τζιά 2007; Morley 1984; Lesens et al., 2002).

1.5 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΓΩΤΟΥ

Λόγω της πολύπλοκης της δομής του, το παγωτό χαρακτηρίζεται από ποικίλα μικροβιολογικά, χημικά, φυσικά, οργανοληπτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά.

1.5.1 Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

1.5.1.1 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

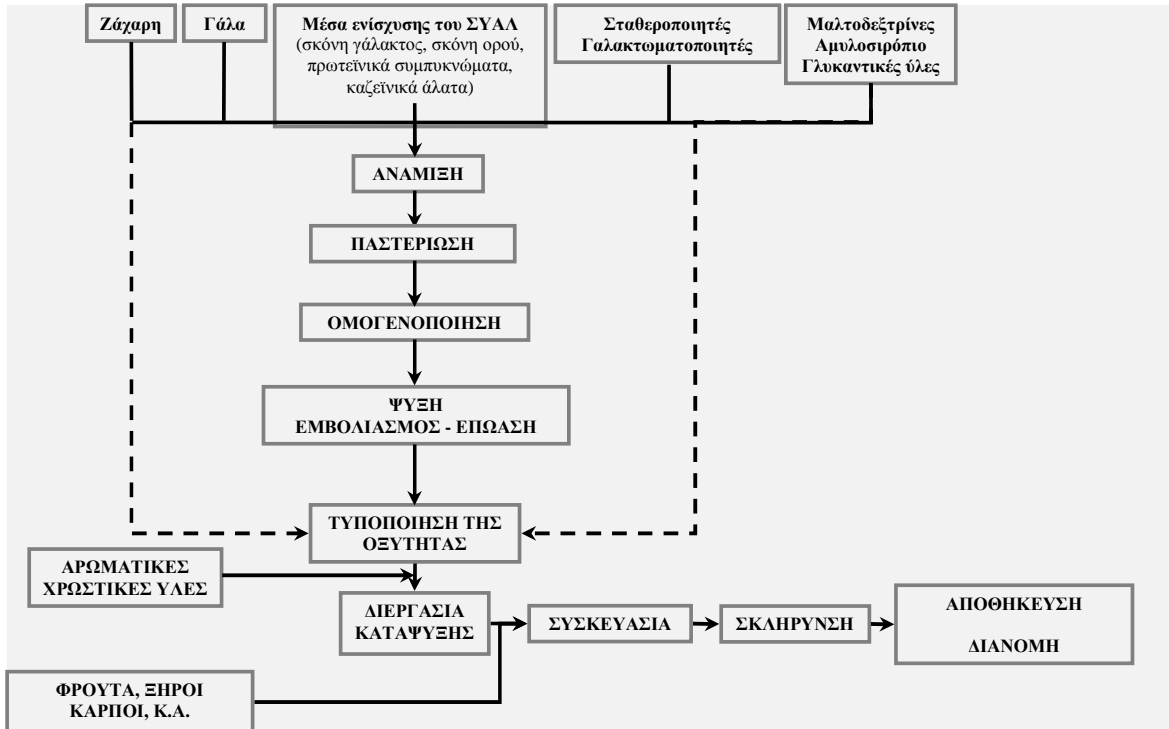
Λαμβάνοντας υπόψη τις διεργασίες που εμπλέκονται κατά την παραγωγική διαδικασία παγωτού, διαπιστώνεται ότι πρόκειται για ένα προϊόν απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και με χαμηλό μικροβιακό φορτίο, υπό την προϋπόθεση ότι έχει παραχθεί υπό κατάλληλες συνθήκες υγιεινής. Επιπλέον, η διεργασία της κατάψυξης, αλλά και η αποθήκευση σε χαμηλές θερμοκρασίες επιφέρουν περαιτέρω ελάττωση του μικροβιακού φορτίου και παρέμποδιση της ανάπτυξης μικροοργανισμών.

Δεδομένης της επαρκούς θερμικής κατεργασίας του μίγματος, η επιμόλυνση του μίγματος δυναμικά μπορεί να προέλθει από:

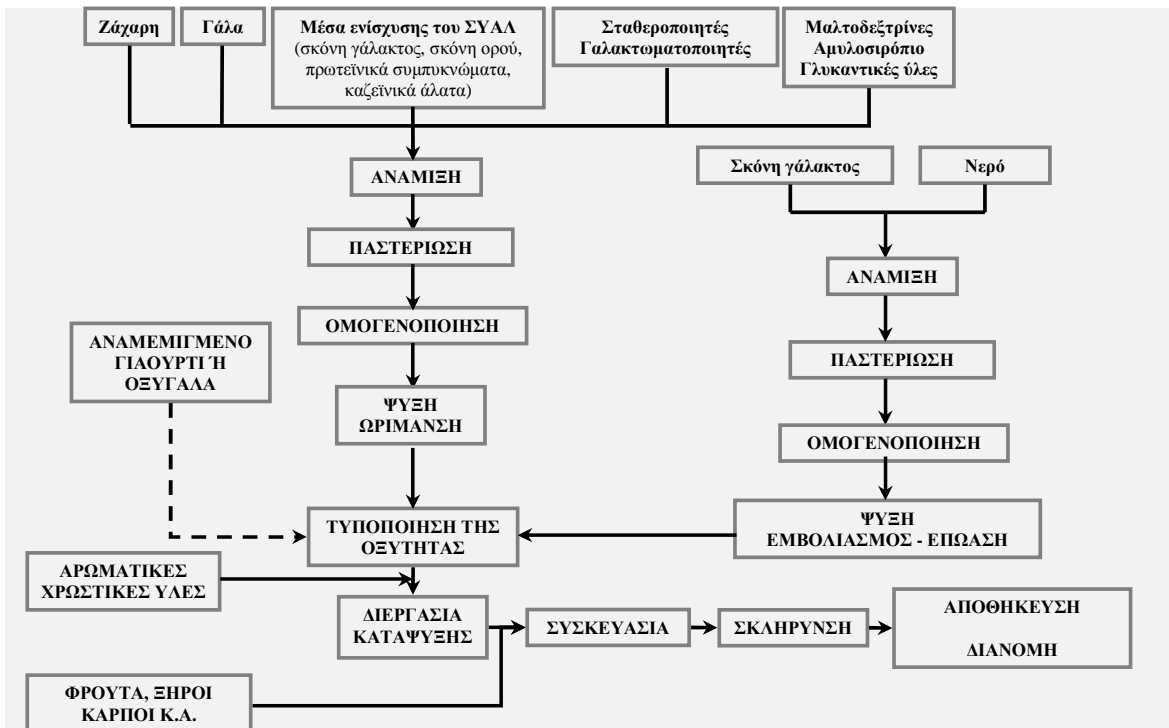
1. Την προσθήκη μικροβιολογικά ακατάλληλων υλικών π.χ. χρωστικές και αρωματικές ύλες, ξηροί καρποί κ.α. κατά το στάδιο της κατάψυξης.
2. Τη χρήση μη φιλτραρισμένου και επιμολυσμένου αέρα για τη διόγκωση του προϊόντος.
3. Τη χρήση ακατάλληλων υλικών συσκευασίας υψηλής διαπερατότητας σε επιμολυντικές ουσίες.
4. Την απουσία ασηπτικών συνθηκών στα στάδια ωρίμανσης - κατάψυξης - συσκευασίας.
5. Τον ανεπαρκή καθαρισμό του εξοπλισμού.
6. Τη χρονικά παρατεταμένη ωρίμανση των μιγμάτων (Kambamanoli-Dimou 2003).

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών κατά τη διάρκεια αποθήκευσης του παγωτού γενικά παρεμποδίζεται εξαιτίας της επικρατούσας χαμηλής θερμοκρασίας. Παρόλα αυτά το παγωτό λόγω της σύστασής του (σάκχαρα, πρωτεΐνες και νερό) και της υψηλής τιμής pH αποτελεί ιδανικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι ακόμη και στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης του παγωτού, μικροοργανισμοί όπως

Salmonella Mycobacterium, και *Listeria Monocytogenes* μπορούν να επιβιώσουν (Gougouli et al., 2008; Mastronicolis et al. submitted; Papademas & Bintsis 2002; Miettinen et al., 1999; El-Sharef et al., 2006).



Σχήμα 1.3: Τυπικό διάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας προβιοτικού παγωτού ή παγωτού-γιαούρτι με εφαρμογή της μεθόδου άμεσης οξίνισης (direct acidification) (Σούκουλης & Τζιά 2007)



Σχήμα 1.4: Τυπικό διάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας προβιοτικού παγωτού ή παγωτού-γιαούρτι με εφαρμογή της μεθόδου έμμεσης οξίνισης (indirect acidification) (Σούκουλης & Τζιά 2007)

Επιπλέον, η σύσταση (λιπαρές και γλυκαντικές ύλες) μπορεί να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα παρεμπόδισης της ανάπτυξης και επιβίωσης παθογόνων μικροοργανισμών στο παγωτό (Mastronicolis et al., submitted).

Καθοριστικής σημασίας για τη μικροβιολογική ασφάλεια του παγωτού αποτελεί ο ενδεδειγμένος έλεγχος της θερμοκρασίας αποθήκευσης και η αποφυγή διακυμάνσεων θερμοκρασίας, οι οποίες προκαλούν την τήξη του πάγου, την αύξηση της ενεργότητας νερού και την ανάπτυξη των υπαρχόντων μικροοργανισμών. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο στην αλυσίδα διανομής του παγωτού από τη βιομηχανία έως και την τελική κατανάλωσή του (Kambamanoli-Dimou, 2003; Marshall et al., 2003).

1.5.1.2 Ευεργετικά Βακτήρια

Στην περίπτωση των ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος (παγωτό-γιαούρτι, προβιοτικό παγωτό) η βελτίωση της βιωσιμότητας των περιεχόμενων ευεργετικών βακτηρίων (οξυγαλακτικά και προβιοτικά βακτήρια) είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της λειτουργικότητάς τους. Οι συνθήκες παραγωγής, η σύσταση του προϊόντος και το είδος των βακτηρίων παίζουν σημαντικό ρόλο για τη βιωσιμότητά τους. Τα οξυγαλακτικά βακτήρια είναι περισσότερο ανθεκτικά σε σχέση με τα προβιοτικά. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητά τους είναι:

1. Η μηχανική καταπόνηση κατά τη διεργασία κατάψυξης
2. Το είδος της διεργασίας κατάψυξης - συνεχής ή ασυνεχής.
3. Το pH.
4. Η παρουσία οξυγόνου.
5. Η κρυστάλλωση και αύξηση του μεγέθους των παγοκρυστάλλων.

Η βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων στα ζυμωμένα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος μπορεί να βελτιωθεί με διάφορους τρόπους όπως: α) μικροεγκλεισμό των κυττάρων σε πολυσακχαρικής φύσης καψίδια, β) χρήση κρυσταλλοπροστατευτικών υλικών, γ) προσθήκη μέσων ενεργοποίησης της βακτηριακής ανάπτυξης, δ) χρήση συμβιωτικών καλλιιεργειών οξυγαλακτικών - προβιοτικών βακτηρίων, ε) χρήση καλλιιεργειών με ικανότητα παραγωγής εξωπολυσακχαριτών (Sheu & Marshall, 1993; Hekmat & McMahon, 1992; Christiansen et al., 1996; Davidson et al., 2000; Hong & Marshall, 2001).

1.5.2 Χημικά χαρακτηριστικά

Η σύσταση (λιπαρά, υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λακτόζη, τέφρα και ολικά στερεά) και η οξύτητα (% γαλακτικό οξύ), αποτελούν τα βασικότερα χημικά χαρακτηριστικά των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Η εξασφάλιση σταθερής σύστασης στο παγωτό είναι νομοθετικά επιβεβλημένη, ενώ σχετίζεται και άμεσα με τη διατροφική αξία και τη φυσιολογική δράση του (π.χ. παγωτά χωρίς ή με χαμηλά λιπαρά, παγωτά χωρίς ζάχαρη, παγωτά χωρίς λακτόζη κ.α.).

Η οξύτητα αποτελεί παράμετρο ελέγχου της μικροβιολογικής ασφάλειας του παγωτού και της καταλληλότητας των πρώτων υλών. Γενικά, τα συμβατικά παγωτά χαρακτηρίζονται από οξύτητα χαμηλότερη από 0.3%. Τιμές οξύτητας υψηλότερες από 0.3% αποτελούν ένδειξη μικροβιακής αλλοίωσης (λόγω της δράσης οξυγαλακτικών βακτηρίων) του προϊόντος ή των πρώτων υλών (π.χ. γάλα, σκόνη γάλακτος, χυμοί και τεμάχια φρούτων κ.α.). Ειδικά για την περίπτωση των ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος η οξύτητα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.3% (αν και δεν υπάρχουν σαφείς νομοθετικές προδιαγραφές), ενώ η τιμή της αποτελεί ένδειξη του ποσοστού ζύμωσης (πλήρως ή μερικώς ζυμωμένα) και της περιεκτικότητας του τελικού προϊόντος σε γιαούρτι (Tamime & Robinson, 1999; Abou, 2000; Westerbeek, 1993).

1.5.3 Φυσικά χαρακτηριστικά

Η πολύπλοκη κολλοειδής φύση του παγωτού και τα φαινόμενα σε επίπεδο μικροδομής που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή του (ομογενοποίηση, ωρίμανση, απόδραση,

κατάψυξη, σκλήρυνση) επηρεάζουν ένα μεγάλο αριθμό φυσικών χαρακτηριστικών του.

1.5.3.1 Ρεολογική συμπεριφορά και ιδιότητες του μίγματος

Η ρεολογία του μίγματος επηρεάζεται αναμφίβολα από τη σύσταση (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, λιπαρά), τη θερμοκρασία, και τις συνθήκες ομογενοποίησης και ωρίμανσής του. Γενικά, το ιξώδες του μίγματος παγωτού αυξάνεται παρουσία ενώσεων με υψηλή ικανότητα ενυδάτωσης και συγκράτησης υγρασίας όπως είναι τα υδροκολλοειδή και οι πρωτεΐνες, με αύξηση του ποσοστού κρυσταλλωμένου λίπους και μείωση της θερμοκρασίας. Ο χρόνος ωρίμανσης, αλλά και ο ρυθμός ψύξης του μίγματος παγωτού επιδρούν επίσης στο ιξώδες του. Ανεπαρκώς ομογενοποιημένα μίγματα μπορεί να χαρακτηρίζονται από χαμηλά ιξώδη, όπως επίσης συμβαίνει και στην περίπτωση διπλής ομογενοποίησης των μιγμάτων (Marshall et al., 2003; Ranjan & Baer, 2005; Goff et al., 1994). Η ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων είναι σε γενικές γραμμές ψευδοπλαστική, ενώ εξαρτάται καθοριστικά από το είδος των υδροκολλοειδών και τη θερμοκρασία. Σε θερμοκρασίες μικρότερες του σημείου πήξης το παγωτό χαρακτηρίζεται από ιξωδοελαστική συμπεριφορά, άμεσα εξαρτώμενη από τα δομικά χαρακτηριστικά και τις θερμικές ιδιότητές του (κυρίως το σημείο υαλώδους μετάπτωσης) (Goff et al., 1995; Bolliger et al., 2000a; Granger et al., 2004). Η σπουδαιότητα της ρεολογίας του μίγματος παγωτού είναι ότι σχετίζεται με τη θερμοδυναμική σταθερότητα του παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (Hagiwara & Hartel, 1996; Miller-Linvey & Hartel, 1997; Herrera et al., 2007).

1.5.3.2 Επιφανειακή τάση του μίγματος

Η επιφανειακή τάση του μίγματος παγωτού είναι μία πολύ σημαντική ιδιότητα που καθορίζει τόσο τη σταθερότητα του μίγματος παγωτού κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης όσο και τη σταθερότητα των κολλοειδών χαρακτηριστικών του παγωτού (φουσαλίδες αέρα, λιποσφαίρια, παγοκρύσταλλοι). Γενικά, η χρήση επιφανειοενεργών υλικών με ικανοποιητική ικανότητα ελάττωσης της επιφανειακής τάσης των μιγμάτων παγωτού είναι σχεδόν απαραίτητη για την επαρκή κρυστάλλωση των λιπαρών και τη μερική συσσωμάτωσή τους κατά τη διάρκεια της διεργασίας απόδοσης. Επιπλέον, η επιφανειακή τάση συνδέεται με την ικανότητα μορφοποίησης και τη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής και τήξης του παγωτού (Marshall et al., 2003; Goff, 1997a, Pelan et al., 1997).

1.5.3.3 Διαχωρισμός φάσεων στο μίγμα

Ο διαχωρισμός φάσεων αναφέρεται αποκλειστικά στο αποτέλεσμα της ασυμβατότητας των πολυσακχαριτών με τις πρωτεΐνες το οποίο γίνεται αντιληπτό με τη δημιουργία δύο διακριτών και μη αναμίξιμων φάσεων. Η διαυγής φάση είναι εμπλουτισμένη σε πολυσακχαρίτη και ανόργανα άλατα, ενώ η αδιαφανής φάση είναι πλούσια σε κολλοειδείς πρωτεΐνες και λιπαρά. Ο διαχωρισμός φάσεων συνήθως αντιμετωπίζεται είτε με ρύθμιση του λόγου πρωτεΐνης - πολυσακχαρίτη ή με προσθήκη κ-καρραγενάνης. Ο διαχωρισμός φάσεων αποτελεί ανεπιθύμητο χαρακτηριστικό, αφού υποβαθμίζει την ποιότητα του μίγματος κατά την ωρίμανση και του τελικού προϊόντος κατά την τήξη του (Vega & Goff, 2005; Vega et al., 2004; Thaidom et al., 2003).

1.5.3.4 Ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα

Το ποσοστό ενσωματώμενου αέρα (overrun) αποτελεί μία ένδειξη της ευχέρειας απόδοσης του μίγματος, της αποσταθεροποίησης των λιπαρών κατά τη διεργασία κατάψυξης, αλλά και της σταθερότητας των φουσαλίδων αέρα. Γενικά, το overrun επηρεάζεται καθοριστικά από τη σύσταση του μίγματος (πολυσακχαρίτες, λιπαρά, πρωτεΐνες και ολικά στερεά), όπως επίσης και από τεχνικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη διεργασία κατάψυξης (είδος καταψύκτη, ταχύτητα απόδοσης, μήκος μεταλλικών ξέστρων, ρυθμός εισόδου αέρα, τροφοδοσία μίγματος, θερμοκρασία εξόδου, χρόνος κατάψυξης). Οι τιμές overrun σε τυπικά βιομηχανικά προϊόντα κυμαίνονται από 60 έως 100%, ενώ στο βιοτεχνικό παγωτό από 20 - 40%. Υψηλές τιμές overrun (> 120%) οδηγούν σε αυξημένη αστάθεια της δομής του παγωτού, με αποτέλεσμα τη συρρίκνωσή του, ενώ πολύ χαμηλές τιμές overrun

συνεπάγονται πολύ συμπαγή και σκληρή υφή στο τελικό προϊόν (Sofjan & Hartel, 2004; Chang & Hartel, 2002a,b).

1.5.3.5 Ποσοστό αποσταθεροποίησης λιπαρών

Το ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαρών το οποίο συμβατικά προσδιορίζεται με φασματοφωτομετρικές μεθόδους, αποτελεί ένδειξη για την αποτελεσματικότητα του γαλακτωματοποιητή (μείωση επιφανειακής τάσης - μεταβολή της σύστασης της μεμβράνης των λιποσφαιρίων) και της τάσης συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων κατά τη φάση απόδρασης - κατάψυξης του μίγματος. Ένα επαρκές ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαρών απαιτείται για τη θωράκιση της αφρώδους δομής του παγωτού, για την αύξηση της ξηρής και συνεκτικής υφής του παγωτού και τη βελτίωση της οργανοληπτικά αντιλαμβανόμενης υφής (Goff, 1997a; Goff, 1997b; Koxholt et al., 2001; Dresselhuys et al., 2008; Pelan et al., 1997). Το ποσοστό και τα χαρακτηριστικά του γαλακτωματοποιητή (βαθμός ακορεστότητας, σύσταση λιπαρών οξέων), το είδος και η περιεκτικότητα του μίγματος σε λιπαρές ύλες, το ιξώδες αλλά και η ολική επιφανειακή τάση του μίγματος αποτελούν βασικούς εσωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν την έκταση της αποσταθεροποίησης των λιπαρών (Granger et al., 2005; Granger et al., 2004; Granger et al., 2003). Επιπλέον, τεχνικές παράμετροι που αφορούν στη διεργασία κατάψυξης έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζουν την αποσταθεροποίηση των λιπαρών (είδος καταψύκτη, διαστάσεις ελασμάτων απόξεσης, διάμετρος καταψύκτη, παροχή μίγματος, ρυθμός περιστροφής κ.α.) (Inoue et al., 2008; Kokubo et al., 1996; Koxholt et al., 1998).

1.5.3.6 Θερμικές ιδιότητες του μίγματος

Ο όρος «θερμικές ιδιότητες» είναι αρκετά γενικός, αφού περιλαμβάνει το πλήθος των ιδιοτήτων που αφορούν στα φαινόμενα που σχετίζονται με τη μεταφορά θερμότητας κατά την ψύξη και κατάψυξη του μίγματος παγωτού και που άμεσα ή έμμεσα συνδέονται με τα φαινόμενα διάχυσης και μεταφοράς μάζας κατά την κρυστάλλωση και ανακρυστάλλωση του προϊόντος και κατά συνέπεια με τη θερμοδυναμική σταθερότητά του. Το σημείο πήξης του μίγματος, οι καμπύλες κατάψυξης, το ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης -δεσμευμένης- υγρασίας, το σημείο και η ενθαλπία τήξης, καθώς και το σημείο υαλώδους μετάπτωσης αποτελούν μερικές από τις πλέον καθοριστικές παραμέτρους που επηρεάζουν τόσο τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παγωτού (αρχικό μέγεθος παγοκρύσταλλων, ευπάθεια του παγωτού έναντι της ανακρυστάλλωσης, ομοιογένεια μεγέθους των παγοκρύσταλλων) όσο και τις τεχνικές παραμέτρους της διεργασίας κατάψυξης (σχεδιασμός καταψύκτη, σήραγγας σκλήρυνσης και θαλάμων αποθήκευσης) (Trgo et al., 1999; Bradley, 1984; Bradley, 1983; Baer & Keating, 1987; Smith et al., 1984; Donhowe et al., 1996a, Cogné et al., 2003a,b; Ben-Yoseph & Hartel, 1998; Faydi et al., 2001).

1.5.3.7 Ρυθμός τήξης

Ο ρυθμός τήξης συνδέεται με τη διεύθυνση θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον προς το θερμικό κέντρο του παγωτού. Αρχικά τήκονται οι παγοκρύσταλλοι που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια του παγωτού, δημιουργώντας ένα ρευστό μανδύα από τον οποίο υγρασία διαχέεται διαμέσου της πορώδους δομής του παγωτού προς τη φάση ορού, με αποτέλεσμα τη σταδιακή αραίωσή της και την τήξη των παγοκρύσταλλων που βρίσκονται διεσπαρμένοι εντός αυτής. Η τηκόμενη ποσότητα πάγου εμπλουτίζεται σε υλικό που περιβάλλει τη φάση ορού και υπό την επίδραση της βαρύτητας κατέρχεται. Είναι επομένως φανερό ότι τα χαρακτηριστικά τήξης του παγωτού επηρεάζονται τόσο από τις θερμικές του ιδιότητες (σημείο τήξης, θερμική αγωγιμότητα) όσο και από τα δομικά του χαρακτηριστικά (μικροϊξώδες φάσης ορού, φυσαλίδες αέρα και αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια) (Muse & Hartel, 2004; Hartel et al., 2003).

1.5.3.8 Δομικά χαρακτηριστικά

Η κολλοειδής δομή του παγωτού αποδίδεται κατά κύριο λόγο στα δομικά του στοιχεία: φυσαλίδες αέρα, λιποσφαίρια και παγοκρύσταλλοι. Η κατανομή μεγέθους των φυσαλίδων αέρα, των παγοκρύσταλλων και των λιποσφαιρίων στο παγωτό ασφαλώς επηρεάζει τις

φυσικές του ιδιότητες, αλλά πολύ περισσότερο επηρεάζει την οργανοληπτική του ποιότητα και τη θερμοδυναμική του σταθερότητα. Η κατανομή μεγέθους των λιποσφαιρίων στο μίγμα και το παγωτό παρέχει πληροφορίες για την επάρκεια της ομογενοποίησης και την έκταση της αποσταθεροποίησης των λιπαρών αντίστοιχα. Η κατανομή μεγέθους των φυσαλίδων αέρα είναι σημαντική για τη σταθερότητα της αφρώδους δομής του παγωτού και την ευπάθειά του έναντι της συρρίκνωσης και της τήξης, ενώ επηρεάζει έμμεσα την ανακρυστάλλωση και την οργανοληπτικά αντιλαμβανόμενη ποιότητα του παγωτού. Η κατανομή μεγέθους των παγοκρυστάλλων ποσοτικοποιεί τη θερμοδυναμική σταθερότητα του παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του, παρέχει πληροφορίες για τα στάδια κατάψυξης και σκλήρυνσης και προσδιορίζει το χρόνο ζωής του. Επιπλέον, σχετίζεται άμεσα με την εκτίμηση της κρεμώδους υφής και του αρώματος του παγωτού και συνεπώς με την ολική αποδοχή του από τους καταναλωτές (Caillet et al., 2003).

1.5.3.9 Μικροδομή

Η συνδυαστική χρήση τεχνικών μικροσκοπίας όπως η cryo-SEM, cryo-TEM και η CLSM, όπως και απλούστερων όπως η οπτική μικροσκοπία μπορεί να προσφέρει πλήθος πληροφοριών για τη μικροδομή του παγωτού (μέγεθος λιποσφαιρίων, παγοκρυστάλλων, φυσαλίδων αέρα, έκταση της φάσης ορού), αλλά και σε σχέση με την αποτελεσματικότητα των κρυσταλλοστατευτικών υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης, ή την έκταση του διαχωρισμού φάσεων λόγω της ασυμβατότητας πολυσακχαριτών - πρωτεϊνών. Επιπλέον, η απεικόνιση της μικροδομής του παγωτού αλλά και των μιγμάτων του, μπορεί να προσφέρει πληροφορίες για τους μηχανισμούς, μέσω των οποίων μεταβάλλεται η ποιότητα του παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του. Φαινόμενα που έχουν σχέση με τη μικροδομή έχουν συσχετιστεί επιτυχώς με τους μηχανισμούς με τους οποίους εκτιμώνται οργανοληπτικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παγωτού (Goff et al., 1999; Eisner et al., 2005; Caillet et al., 2003).

1.5.4 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Η πολυπλοκότητα της δομής του παγωτού αλλά και ο μεγάλος αριθμός συστατικών που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή του οδηγούν σε ένα σημαντικό αριθμό χαρακτηριστικών με τα οποία περιγράφεται η ποιότητα και η ολική αποδοχή του από τον καταναλωτή. Επιπλέον, οι φυσικές και χημικές ιδιότητες μπορεί να σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τους μηχανισμούς με τους οποίους γίνεται οργανοληπτικά αντιληπτή η ποιότητα του παγωτού. Για παράδειγμα η τιτλοδοτούμενη οξύτητα του παγωτού μπορεί να επηρεάσει την ξινή και στυφή γεύση, αλλά και την κρεμώδη και πλούσια υφή του παγωτού (Soukoulis et al., 2009). Παρόμοια, το ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαρών παρέχει πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αντιληπτή η κρεμώδης και κομμωδής υφή του παγωτού κατά τη διάρκεια της μύησης (Dresselhuis et al., 2009).

Η ποιότητα του παγωτού μπορεί να περιγραφεί από τέσσερις κατηγορίες οργανοληπτικά εκτιμώμενων ιδιοτήτων: εμφάνιση, γεύση-άρωμα, υφή και χαρακτηριστικά τήξης.

1.5.4.1 Εμφάνιση

Η εμφάνιση αναφέρεται κατά κύριο λόγο στο χρώμα και στη συσκευασία του παγωτού. Το χρώμα θα πρέπει να θυμίζει το άρωμα που αναγράφεται στην ετικέτα, και να παρουσιάζει ομοιομορφία στην κατανομή και την έντασή του. Επιπλέον, το προϊόν θα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ελαττώματα που αφορούν στη συσκευασία του όπως συρρίκνωση, καταστροφή του περιέκτη, ακαθαρσίες και σκόνη, να είναι επαρκώς πληρωμένο και η ετικέτα να παρέχει όλες τις νομοθετικά απαιτούμενες πληροφορίες.

1.5.4.2 Γεύση και άρωμα

Τα χαρακτηριστικά γεύσης και αρώματος του παγωτού σύνδεονται άμεσα με το είδος των συστατικών και των τεχνικών της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι το είδος των πρώτων

υλών (σάκχαρα, πρωτεΐνες, και λιπαρές ύλες) καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ένταση και τον τρόπο απελευθέρωσης των αρωματικών παραγόντων. Επιπλέον, η χρήση πρώτων υλών χαμηλής ποιότητας και η εφαρμογή ακατάλληλων συνθηκών κατά τα επιμέρους στάδια της παραγωγικής διαδικασίας μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ελαττωματικής γεύσης και αρώματος, π.χ. αλμυρή γεύση, άρωμα ορού, οσμή καμμένου, οξειδωμένο - ταγγό άρωμα, στυφό και όξινο άρωμα κ.α. Επίσης, το είδος της αρωματικής ύλης και η συμβατότητά της με τα επιμέρους συστατικά του παγωτού καθορίζουν την ένταση του αποτιμώμενου αρώματος. Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε προϊόντα με σύνθετο αρωματικό προφίλ όπως τα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος, αφού το άρωμα και η γεύση τους θα πρέπει να παραπέμπει στην παρουσία οξυγαλακτικής ή προβιοτικής καλλιέργειας, χωρίς όμως να επικαλύπτει το χαρακτήρα των πρόσθετων αρωματικών υλών π.χ. Βανιλίνη (Marshall et al., 2003).

1.5.4.3 Υφή

Η υφή περιλαμβάνει το σύνολο όλων εκείνων των χαρακτηριστικών τα οποία περιγράφουν την ποιότητα κατά τον τεμαχισμό του παγωτού και κατά τη διαδικασία μύησης (Bodyfelt et al., 1988). Ένα ποιοτικό προϊόν θα πρέπει να είναι κρεμώδες, απαλλαγμένο από ελαττώματα όπως η τραχιά, κομμιώδης, υδαρής και εύθραπτη δομή. Οι οργανοληπτικές ιδιότητες του παγωτού είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τα κολλοειδή χαρακτηριστικά και τα φαινόμενα που τα δημιουργούν. Επιπλέον, συστατικά με ικανότητα πάχυνσης, δημιουργίας πηγμάτων, γαλακτωματοποίησης, και κρυσπρόστασίας συμβάλλουν καθοριστικά στη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής και καθορίζουν τους μηχανισμούς μέσω των οποίων η υφή του παγωτού αποτιμάται από τους καταναλωτές.

Μικροσυστατικό (ανά 100g)	Παγωτό	Παστεριωμένο πλήρες γάλα
Βιταμίνη C (mg)	1	1
Βιταμίνη B2 (mg)	0.25	0.17
Βιταμίνη B6 (mg)	0.08	0.06
Βιταμίνη B12 (μg)	0.4	0.4
Παντοθενικό οξύ (mg)	0.44	0.35
Βιοτίνη (μg)	2.5	1.9
Φολικό οξύ(mg)	7	6
Βιταμίνη A (μg)	115	52
Καροτένιο (μg)	195	21
Βιταμίνη E (mg)	0.21	0.09
Ca (mg)	130	115
P (mg)	110	92
Mg (mg)	13	11
Na (mg)	69	55
K (mg)	160	140
Fe (mg)	0.1	0.05
Zn (mg)	0.3	0.4
Cu (mg)	0.02	Ίχνη

Πίνακας 1.3: Διατροφικά χαρακτηριστικά παγωτού και γάλακτος (Tait et al., 2003)

1.5.4.4 Χαρακτηριστικά τήξης

Η συμπεριφορά του παγωτού κατά την τήξη του είναι πολύ σημαντική, αφού ένα πολύ εύηκτο προϊόν είναι γενικά ανεπιθύμητο και περισσότερο ευπαθές στο θερμικό σοκ. Από την άλλη, πολύ χαμηλός ρυθμός τήξης μπορεί να αποτελεί ένδειξη ελαττωμάτων π.χ. υπερβολική σταθεροποίηση, πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά, υπερβολική ποσότητα γαλακτωματοποιητή, δημιουργία πήγματος κ.α. Ελαττώματα όπως η πηγματούδης δομή, η αποβολή ορού γάλακτος (συναίρεση) και η υδαρότητα θα πρέπει να μην εμφανίζονται σε ένα ποιοτικό προϊόν (Marshall et al., 2003; Ogden, 1993).

1.5.5 Διατροφική αξία

Το παγωτό είναι ένα ισορροπημένο και θρεπτικό τρόφιμο, εύπεπτο και με επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Ένα τυπικό παγωτό παρέχει 180-210kcal/100g, καθώς και μία σειρά από θρεπτικά μικροσυστατικά όπως υδατοδιαλυτές βιταμίνες Β, C λιποδιαλυτές βιταμίνες, ιχνοστοιχεία (Ca, P, Mg, K, Na, Fe, Zn), και διαλυτές διαιτητικές ίνες. Στον πίνακα 1.3 δίδεται η μέση σύσταση σε θρεπτικά συστατικά του παγωτού (Tait, Finney, & Narhan 1993).

Η συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση από τους καταναλωτές για υγιεινά προϊόντα με υψηλή διατροφική αξία και συγκεκριμένη λειτουργική και φυσιολογική δράση (π.χ. κατάλληλο για διαβητικούς, άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη κ.α.) έχει οδηγήσει στη χρήση ενός μεγάλου αριθμού από λειτουργικά συστατικά στην παραγωγή παγωτού. Έτσι η χρήση φυτικών λιπαρών με υψηλό περιεχόμενο σε ακόρεστα και ω-3, ω-6 λιπαρά οξέα, διαιτητικών ινών, φυσικών αντιοξειδωτικών, εναλλακτικών σακχάρων, υποκατάστατων σακχάρων και λιπαρών, προβιοτικών και οξυγαλακτικών βακτηρίων στην παραγωγή παγωτού στοχεύει στην αύξηση της διατροφικής και φυσιολογικής του αξίας (Hwang et al., 2009; Goh et al., 2006; Goh et al., 2008; Soukoulis & Tzia 2008; Bordi et al., 2004; Whelan et al., 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ

2.1.1 Το γάλα και τα κολλοειδή συστατικά του

Το γάλα είναι από τα ελάχιστα τρόφιμα το οποίο βρίσκεται υπό μορφή γαλακτώματος (ασταθούς). Τα κύρια συστατικά του γάλακτος είναι: νερό, λιπαρές ενώσεις (97-98% τριγλυκερίδια, φωσφολιπίδια, λιποπρωτεΐνες), σάκχαρα (λακτόζη), πρωτεΐνες (καζεΐνες, πρωτεΐνες ορού), ανόργανες ενώσεις (φωσφορικά σύμπλοκα και άλατα K, Na, Ca, Mg και Cl), ένζυμα (πρωτεάσες και λιπάσες) και πλήθος από άλλα μικροσυστατικά. Η υδατική φάση του γάλακτος χωρίς το λιπαρό περιεχόμενο είναι γνωστή ως ορός. Η χημική σύσταση του γάλακτος καθορίζει τη θρεπτική του αξία, τη μικροβιολογική του σταθερότητα, το άρωμα και τη γεύση του, καθώς επίσης και το είδος των χημικών αντιδράσεων που μπορούν να λάβουν χώρα (π.χ. οξειδωση λιπιδίων, πρωτεολύσεις κτλ.). Από την άλλη, τα δομικά συστατικά του γάλακτος (τα οποία ορίζονται από τη στερεοχημική δομή των χημικών ενώσεων) επηρεάζουν καθοριστικά μία σειρά από φυσικοχημικούς αλλά και θερμοδυναμικούς παράγοντες όπως η αλληλεπίδραση των βιοπολυμερών, η ρεολογία, το χρώμα, η φυσική σταθερότητα του γαλακτώματος, ο διαχωρισμός των φάσεων κ.α. Τέτοια δομικά στοιχεία είναι: α) τα λιποσφαίρια, β) τα καζεϊνικά μυκήλλια, γ) οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος, δ) οι λιποπρωτεΐνες (Walstra et al., 2006).

2.1.1.1 Λιποσφαίρια

Σχεδόν όλο το ποσοστό των λιπαρών ενώσεων του γάλακτος βρίσκεται σε μορφή μικρών αιωρούμενων λιποσφαιρίων και μόνο το 0.025% του λιπαρού υλικού αποτελεί συστατικό του ορού. Η διάμετρος των λιποσφαιρίων κυμαίνεται από 0.2 έως 15μm με μία μέση τιμή στα 4μm. Τα λιποσφαίρια είναι αρνητικά φορτισμένα σωματίδια (το ζ-δυναμικό του φρέσκου γάλακτος είναι περίπου -12mV), εξαιτίας του πλήθους των μικροσυστατικών που δομούν τη μεμβράνη τους. Η κατανομή μεγέθους των λιποσφαιρίων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος και η ράτσα του γαλακτοφόρου ζώου, η εποχή συλλογής του γάλακτος, η φάση της άλμεξης, αλλά και από τεχνολογικές παραμέτρους, όπως η ψύξη, η ωρίμανση και η ομογενοποίηση του γάλακτος.

2.1.1.1.1 Η δομή των λιποσφαιρίων

Τα λιποσφαίρια περιβάλλονται από μία σύνθετη μεμβράνη ριζικά διαφορετικής σύστασης εκείνης των ίδιων λιποσφαιρίων (τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από τριγλυκερίδια), αλλά και του ορού γάλακτος. Η σύσταση της μεμβράνης των λιποσφαιρίων είναι μάλλον παρόμοια με εκείνη των κυτοπλασματικών λιπιδίων που σχηματίζονται στα σωματικά κύτταρα των γαλακτοφόρων αδένων του ζώου. Για το λόγο αυτό η διασπορά των λιποσφαιρίων στο γάλα δεν οδηγεί απλά σε ένα γαλάκτωμα τύπου ελαίου σε νερό (o/w) και επιπρόσθετα η μεμβράνη των λιποσφαιρίων δεν είναι μία απλή μονοστρωματική στοιβάδα από επιφανειοενεργές ενώσεις (Singh, 2006; Keenan & Dylewski, 1995).

Η μεμβράνη των λιποσφαιρίων αντιστοιχεί στο 2-6% της συνολικής μάζας του λιποσφαιρίου, ενώ πάνω από το 90% της μεμβράνης συνίσταται από πρωτεΐνες και φωσφολιπίδια. Άλλα συστατικά που συμμετέχουν στο σχηματισμό της μεμβράνης των λιπιδίων είναι γλυκοπρωτεΐνες, τριγλυκερίδια, χοληστερόλη, ένζυμα και διάφορα μικροσυστατικά. Η μεμβράνη των λιποσφαιρίων αποτελείται από μία μονοστρωματική στοιβάδα από φωσφολιπίδια (προερχόμενα από το κυτόπλασμα) η οποία περιβάλλεται από ένα πρωτεϊνικό υμένιο και εξωτερικά από μία διστρωματική στοιβάδα από λιπίδια εντός της οποίας βρίσκονται διεσπαρμένα πρωτεϊνικά μόρια τα οποία προεξέχουν προς την πλευρά του ορού (Walstra et al., 2006). Η εσωτερική πρωτεϊνική στοιβάδα αποτελείται πρωτίστως από το ένζυμο οξειδάση της ξανθίνης (60% του πρωτεϊνικού υλικού) και τη γλυκοπρωτεΐνη βουτυροφιλίνη η οποία αποτελεί το 20-40% του πρωτεϊνικού υλικού της στοιβάδας (Singh, 2006). Το μέσο πάχος της

μεμβράνης των λιποσφαιρίων κυμαίνεται από 10 -20nm, ενώ η επιφανειακή τάση είναι περίπου 1.5mNm^{-1} , γεγονός που εξηγεί την αύξηση της σταθερότητας των λιποσφαιρίων έναντι της συσσωμάτωσης.

Συστατικά παρόμοια με αυτά της μεμβράνης των λιποσφαιρίων εντοπίζονται και στο πλάσμα, γεγονός που υποδεικνύει ότι η μεμβράνη αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα μεταβλητής σύστασης. Η επεξεργασία του γάλακτος οδηγεί σε μείωση της διαμέτρου της μεμβράνης όπως επίσης και η συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων λόγω της μείωσης της ειδικής τους επιφάνειας. Ανάλογα, η ψύξη του γάλακτος οδηγεί στην αποδέσμευση υλικού (οξειδάση της ξανθίνης, πρωτεΐνες, και Cu) της μεμβράνης προς τον ορό σε ποσοστό που ανέρχεται στο 20%. Επιπλέον, η απομάκρυνση υλικού από τη μεμβράνη των λιποσφαιρίων προς το πλάσμα αυξάνει τη δυνατότητα προσρόφησης επιφανειοενεργών συστατικών π.χ. γαλακτωματοποιητές, από το πλάσμα προς την επιφάνεια των λιποσφαιρίων μεταβάλλοντας τις λειτουργικές τους ιδιότητες (Walstra et al. 2006; Goff & Hill 1993).

2.1.1.1.2 Η σχέση των λιποσφαιρίων με τη σταθερότητα του γαλακτώματος

Σε γενικές γραμμές η αυξημένη σταθερότητα των γαλακτωμάτων είναι επιθυμητή, ενώ σε συστήματα όπως το παγωτό απαιτείται η δημιουργία σχετικά σταθερών γαλακτωμάτων. Η σταθερότητα του γαλακτώματος σχετίζεται με μεταβολές κολλοειδούς φύσης όπως η συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων και η ανοδός τους στην επιφάνεια (creaming), η συνάθροιση των λιποσφαιρίων (aggregation), η σύμφυση (coalescence), η μερική σύμφυση (partial coalescence) και η ωρίμανση Ostwald (Ostwald ripening).

Η συνάθροιση των λιποσφαιρίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: α) Υπό την επίδραση ασθενών ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των λιποσφαιρίων (flocculation). Το φαινόμενο είναι πολύ δύσκολο να λάβει χώρα, όταν υπάρχει στερική και ηλεκτροστατική άπωση (π.χ. γάλα). β) Με τη δημιουργία συναθροίσεων λιποσφαιρίων στις οποίες τα λιποσφαίρια μοιράζονται τμήμα του υλικού της μεμβράνης τους. Οι συναθροίσεις αυτού του τύπου σχηματίζονται μετά την ομογενοποίηση και δεν μπορούν να καταστραφούν με την ανάδευση. γ) Με τη δημιουργία κοκκιδίων (granules) τα οποία προκύπτουν, όταν κρύσταλλοι λίπους από το ένα λιποσφαίριο διαρρηγνύουν τη μεμβράνη του άλλου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία συσσωματώματος με μεγάλη συνοχή.

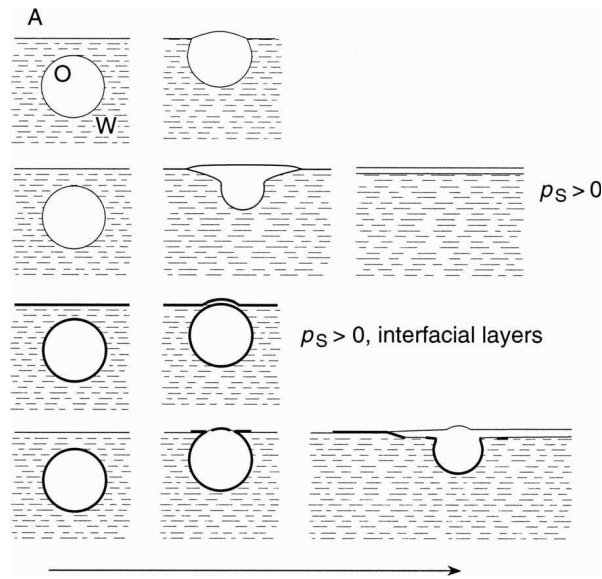
Όταν δύο σταγονίδια λίπους σε ένα γαλάκτωμα πλησιάσουν μεταξύ τους σε πολύ μικρή απόσταση και το πάχος της μεμβράνης τους ελαττωθεί σημαντικά (σε λίγα nm), τότε η μεμβράνη μπορεί να διαρραγεί και τα σταγονίδια να συγχωνευθούν (σύμφυση). Οι τριχοειδείς αποφύσεις των λιποσφαιρίων συνήθως αποτελούν τον παράγοντα παρεμπόδισης του φαινομένου της ολικής σύμφυσης λόγω ηλεκτροστατικών και στερικών απωθήσεων. Όταν όμως ένα ποσοστό 10% ή και μεγαλύτερο του λιπαρού περιεχομένου βρίσκεται σε κρυσταλλική μορφή, τότε κρύσταλλοι λιπαρών διαρρηγνύουν τη μεμβράνη των λιπιδίων και υλικό από το εσωτερικό του λιποσφαιρίου διαχέεται στην επιφάνεια του άλλου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σταθερών κοκκιδίων (μερική σύμφυση). Η μερική σύμφυση είναι ένα επιθυμητό φαινόμενο για την παραγωγή παγωτού το οποίο λαμβάνει χώρα κατά τη διεργασία της κατάψυξης (βλ. κεφ 3).

2.1.1.1.3 Αλληλεπιδράσεις λιποσφαιρίων - φυσαλίδων αέρα

Το αποβουτυρωμένο γάλα έχει την ικανότητα σχηματισμού, φυσαλίδων αέρα κατά την απόδαρσή του, οι οποίες μεταβάλλονται σύμφωνα με τις αρχές που διέπουν τα φαινόμενα της αποστράγγισης, της ωρίμανσης κατά Ostwald και της σύμφυσης. Η παρουσία λιποσφαιρίων στο γάλα οδηγεί στην μείωση της ικανότητας αφρισμού. Η αυξημένη ικανότητα αφρισμού του αποβουτυρωμένου γάλακτος οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει η άμεση επαφή μεταξύ της διεπιφάνειας αέρα - νερού. Παρουσία σταγονιδίων λιπιδίων π.χ. σε ένα γαλάκτωμα, η προσέγγιση του σταγονιδίου προς τη διεπιφάνεια νερού - αέρα έχει ως αποτέλεσμα την εξάπλωση των λιπιδίων στη διεπιφάνεια αέρα - νερού, γεγονός που παρεμποδίζει τον αφρισμό. Στις περισσότερες περιπτώσεις γαλακτωμάτων μεταξύ της διεπιφάνειας νερού -

αέρα παρεμβάλλεται ένα πρωτεϊνικό υμένιο το οποίο αποτελεί και το φυσικό φραγμό για την άμεση επαφή των λιπιδίων με τη διεπιφάνεια.

Η παρουσία των λιποσφαιρίων του γάλακτος, περιπλέκει το παραπάνω φαινόμενο. Αν το λιποσφαίριο περιέχει σημαντικό ποσοστό κρυσταλλωμένου λίπους, τότε κρύσταλλοι λίπους μπορεί να διαπεράσουν το πρωτεϊνικό υμένιο και να έρθουν σε επαφή με τη διεπιφάνεια αέρα - νερού και θα προκληθεί εξάπλωση του μη κρυσταλλωμένου λίπους. Αν το φαινόμενο αυτό, συμβεί στην επιφάνεια των σχηματιζόμενων φυσαλίδων, τότε το εξαπλωμένο λίπος συμπαρασύρει τις μεμβράνες των φυσαλίδων αέρα ελαττώνοντας το πάχος τους και τελικά προκαλώντας τη διάρρηξή τους. Αν το κρυσταλλικό περιεχόμενο των λιποσφαιρίων όμως είναι αρκετά υψηλό, τότε το φαινόμενο της εξάπλωσης των ρευστών λιπιδίων δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί και κρυσταλλικό λίπος επικάθεται στην επιφάνεια των φυσαλίδων αέρα (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Αλληλεπιδράσεις λιποσφαιρίων (O) με τη διεπιφάνεια υδατικής φάσης (W) - αέρα (A) σε γαλακτώματα ελαίου/νερού ως συνάρτηση της επιφανειακής τάσης (Walstra et al., 2006)

Η θερμοκρασία και ο ρυθμός απόδρασης καθορίζουν το φαινόμενο αφρισμού στην περίπτωση των γαλακτωμάτων που περιέχουν λιποσφαίρια γάλακτος. Υψηλή θερμοκρασία απόδρασης οδηγεί σε εξάπλωση ρευστών λιπιδίων και διάρρηξη των φυσαλίδων αέρα, ενώ χαμηλή θερμοκρασία οδηγεί σε συνεχή συσσώρευση λίπους στην επιφάνεια των φυσαλίδων, με αποτέλεσμα την αναστροφή του γαλακτώματος. Το φαινόμενο είναι εξέχουσας σημασίας για την αφρώδη δομή διαφόρων γαλακτωμάτων π.χ. παγωτό, σαντιγύ, mousse κ.α.

2.1.1.1.4 Λιποσφαίρια και τάση ανόδου στην επιφάνεια

Η ομογενοποίηση του γάλακτος γίνεται με στόχο τη μείωση της ικανότητας συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων και της ανόδου τους στην επιφάνεια του προϊόντος κατά την αποθήκευσή του. Όπως θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο, το φαινόμενο της ανόδου σχετίζεται με τη διαφορά πυκνότητας των λιποσφαιρίων και της φάσης ορού/πλάσματος, ενώ η συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων προκαλείται από την παρουσία της αγγλουτινίνης (ένα σύμπλοκο κρυστοβουλίνης και λιποπρωτεϊνών).

2.1.1.1.5 Λιπόλυση

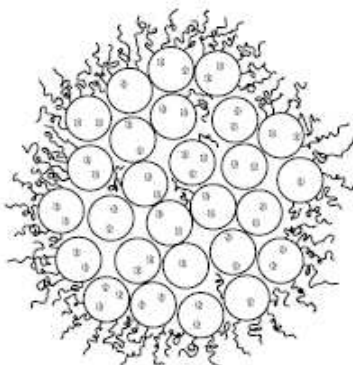
Η λιπόλυση είναι η ενζυμικά προκαλούμενη διάσπαση των τριγλυκεριδίων, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση λιπαρών οξέων τα οποία υποβαθμίζουν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά (σαπωνοειδής - ταγγή γεύση). Η λιπόλυση επηρεάζεται από μία σειρά παραγόντων όπως: α) η ιοντική ισχύς και το pH του γαλακτώματος, β) η δυνατότητα πρόσδεσης των ενζύμων στα καζεϊνικά μυκίλλια, γ) η σύσταση της μεμβράνης των λιποσφαιρίων, δ) το μέγεθος και η ειδική επιφάνεια των λιποσφαιρίων, ε) η ύπαρξη

παρεμποδιστών των λιπολυτικών ενζύμων (π.χ. πρωτεόζη - πεπτόνη, κορεσμένα μονογλυκερίδια μεγάλου μήκους αλυσίδας), στ) η θερμοκρασία και ζ) η ενεργότητα του ενζύμου (Walstra et al. 2006).

2.1.1.2 Πρωτεΐνες

i) Καζεϊνικά μυκκήλια

Σχεδόν ολόκληρο το ποσοστό της καζεΐνης του γάλακτος βρίσκεται υπό μορφή καζεϊνικών μυκκηλίων (σφαιρικών συμπαγών διαμορφώσεων) μέσης διαμέτρου 40 έως 300nm. Τα μυκκήλια αυτά αποτελούνται από περίπου 10.000 μόρια καζεΐνης. Τα καζεϊνικά μυκκήλια περιέχουν επίσης ανόργανα συστατικά (κυρίως φωσφορικό ασβέστιο 8g/100g καζεΐνης), μικρές ποσότητες από άλλες πρωτεΐνες (πρωτεόζη πεπτόνη), και ένζυμα. Τα μυκκήλια είναι ογκώδη, έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και είναι αρνητικά φορτισμένα.



Σχήμα 2.2: Διατομή ενός καζεϊνικού μυκκηλίου

α) Δομή των καζεϊνικών μυκκηλίων

Η δομή των καζεϊνικών μυκκηλίων έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού επηρεάζει τη λειτουργικότητά τους και καθορίζει διάφορα φαινόμενα κολλοειδούς φύσης στα προϊόντα γάλακτος (Σχήμα 2.2). Η περιγραφή της δομής των μυκκηλίων συνοψίζεται στα εξής:

1. Το μέσο μέγεθος των μυκκηλίων είναι της τάξης του 0.1μm. Το σχήμα των μυκκηλίων δεν είναι σφαιρικό, αλλά ανισομετρικό (λόγος αξόνων 1 προς 1.4).
2. Οι καζεΐνες έχουν την τάση σύνδεσης μεταξύ τους, σχηματίζοντας συναθροίσεις (4 έως 25 μόρια ανά μυκκήλιο).
3. Ο πυρήνας των μυκκηλίων αποτελείται από σχεδόν ισοδύναμες ποσότητες α_s και β-καζεΐνης και ελάχιστη κ-καζεΐνη. Η συγκέντρωση της κ-καζεΐνης είναι ανάλογη της ειδικής επιφάνειας των μυκκηλίων.
4. Σχεδόν ολόκληρο το ποσοστό της κ-καζεΐνης βρίσκεται υπό μορφή πολυμερών 2 έως 9 μορίων τα οποία συνδέονται με σουλφυδρυλικούς δεσμούς -S-S-.
5. Κάθε μυκκήλιο αποτελείται από υπομυκκήλια το καθένα 12 έως 15nm σε μέγεθος. Τα υπομυκκήλια, που βρίσκονται προς το εξωτερικό των μυκκηλίων περιέχουν 1 με 2 πολυμερή κ-καζεΐνης ενώ όσα είναι στο εσωτερικό περιέχουν ελάχιστη καζεΐνη.
6. Το μυκκήλιο περιβάλλεται από μια τριχώδη επιφάνεια η οποία δομείται από το C-άκρο της κ-καζεΐνης. Οι τριχώδεις αυτές απολήξεις είναι υδρόφιλες και αρνητικά φορτισμένες. Το υδροδυναμικό πάχος της επιφάνειας είναι περίπου 7nm.
7. Στα υπομυκκήλια παρατηρούνται “νανοσυναθροίσεις” φωσφορικού ασβεστίου μέσης διαμέτρου 3nm.
8. Οι υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρωτεϊνικών μορίων και οι αλληλοσυνδέσεις των πεπτιδικών δεσμών με τις “νανοσυναθροίσεις” συμβάλλουν στη συγκράτηση των υπομυκκηλίων στη σταθερή δομή των μυκκηλίων.
9. Το πρωτεϊνικό τμήμα των μυκκηλίων είναι σχεδόν ακίνητο, ενώ μόνο οι τριχώδεις απολήξεις έχουν δυνατότητα κίνησης (κίνηση Brown).

β) Η σταθερότητα της κολλοειδούς δομής των καζεϊνικών μυκκηλίων

Γενικά, τα καζεϊνικά μυκκίλια χαρακτηρίζονται από υψηλή σταθερότητα και δεν παρουσιάζουν υπό φυσιολογικές συνθήκες τάση συσσωμάτωσης. Η σταθερότητα των μυκκηλίων κατά κύριο λόγο προκύπτει από τη στερεοχημική και ηλεκτροστατική επίδραση των τριχωδών απολήξεών τους, τα οποία συμβάλλουν στην απώθηση των γειτονικών μυκκηλίων και την παρεμπόδιση της συσσωμάτωσής τους. Συσσωμάτωση και συνεπώς αποσταθεροποίηση των μυκκηλίων λαμβάνει χώρα στις περιπτώσεις όπου οι τριχώδεις απολήξεις απομακρύνονται (π.χ. ενζυμικά), ή καταρρέουν, όπως και στις περιπτώσεις όπου τμήματα της επιφάνειας των καζεϊνικών μυκκηλίων αποκτήσουν αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο. Οι παραπάνω επιδράσεις μπορεί να συμβούν σε μία σειρά από φυσικοχημικά φαινόμενα όπως είναι: η πάχυνση λόγω γήρανσης, η απόδραση και η ενσωμάτωση αέρα, η θερμική κατεργασία, η οξίνιση (τεχνητά ή βιοχημικά), η κατεργασία με πυτιά κ.α. (Walstra et al., 2006).

ii) Πρωτεΐνες ορού

Οι πρωτεΐνες ορού είναι κατά κύριο λόγο γλοβουλίνες, με υψηλή υδροφοβικότητα και συνεκτική πολυπεπτιδική δομή. Η κατανομή του ηλεκτροστατικού φορτίου τους είναι ομογενής, ενώ η διαλυτότητά τους μειώνεται στο ελάχιστο κατά τη θερμανσή τους σε τιμές $pH < 6.5$. Η μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού δεν οδηγεί σε φαινόμενα συσσωμάτωσης αλλά σε κατακρήμνισή τους στην επιφάνεια των καζεϊνικών μυκκηλίων. Τα κυριότερα είδη πρωτεϊνών ορού είναι:

α) α-λακταλμπουμίνη: Χαρακτηρίζεται από μικρού και σφαιρικού μεγέθους μόρια, ενώ δεν σχηματίζει δεσμούς με άλλες πρωτεΐνες σε συνθήκες χαμηλής ιοντικής ισχύος. Η α-λακταλμπουμίνη διαθέτει ένα σημείο σύνδεσης με το Ca, το οποίο επιδρά σταθεροποιητικά στη συμπαγή της διαμόρφωση. Η μείωση του pH ή η απομάκρυνση του ιόντος Ca, μεταβάλλουν τη δομή της.

β) β-λακτογλοβουλίνη: Η β-λακτογλοβουλίνη είναι η κύρια πρωτεΐνη ορού γάλακτος, η διαλυτότητά της εξαρτάται από την ιοντική ισχύ και το pH, μετουσιώνεται με επιβολή θέρμανσης, ενώ δεν καταβυθίζεται κατά την οξίνιση του γάλακτος. Η β-λακτογλοβουλίνη χαρακτηρίζεται από δυο δεσμούς -S-S-, και μια ελεύθερη σουλφυδριλική ομάδα. Στο γάλα εμφανίζεται στη διμερή μορφή της ($M_w = 36.6kDa$) όπου δύο μόρια της είναι συνδεδεμένα με ισχυρούς υδροφοβικούς δεσμούς. Η διμερής μορφή της β-λακτογλοβουλίνης καταστρέφεται με θερμική κατεργασία του γάλακτος ή με ελάττωση του pH. Λόγω της υδροφοβικότητάς της, η β-λακτογλοβουλίνη εμφανίζει τάση σύνδεσης με άπολα μόρια π.χ. λιπαρά οξέα.

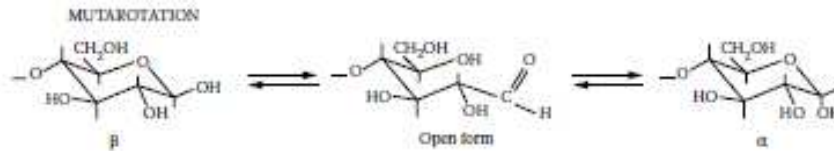
γ) Αλμπουμίνη ορού (BSA): Πρόκειται για μικροσυστατικό των πρωτεϊνών ορού, το οποίο προέρχεται από το πλάσμα αίματος του γαλακτοφόρου ζώου.

δ) Ανοσογλοβουλίνες (Ig): Είναι αντισώματα που έχουν συντεθεί με στόχο την ενεργοποίηση συγκεκριμένων αντιγόνων. Διακρίνονται τρία κύρια είδη ανοσογλοβουλινών: G (γαμμα-γλοβουλίνες), A, και M (μακρογλοβουλίνες). Οι IgG ($M_w = 150kDa$) χαρακτηρίζονται από τη δράση τους ενάντια σε ένα μεγάλο αριθμό αντιγόνων και για το λόγο αυτό μπορούν να παρεμποδίζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη. Οι IgM ($M_w = 900kDa$) δρουν ενάντια σε αντιγόνα πολυσακχαρικής προέλευσης προκαλώντας τη συσσωμάτωσή τους. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως συγκόλληση (agglutination), προέρχεται από τη σύνδεση των IgM με κρουογλοβουλίνες και γλυκοπρωτεΐνες και λαμβάνει χώρα κατά την ψύξη του γάλακτος. Η ύπαρξη συγκολλητογόνων οδηγεί στη συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων και τη σταδιακή τους άνοδο προς την επιφάνεια του γάλακτος (βλ. κεφ 3).

ε) Πρωτεόζη - πεπτόνη: Συνίσταται από τρία διαφορετικά προϊόντα αποδόμησης της β-καζεΐνης, γλυκοπρωτεΐνη (PP3) και ίχνη από άλλες πρωτεΐνες. Δεν είναι θερμικά ευαίσθητη, δεν καταβυθίζεται σε χαμηλές τιμές pH (~4.6), ενώ συμμετέχει εξ'ολοκλήρου στην πήξη του γάλακτος με χρήση πυτιάς.

2.1.1.3 Λακτόζη

Η λακτόζη είναι το κύριο σάκχαρο του γάλακτος. Το αγελαδινό γάλα μπορεί να περιέχει ίχνη από άλλα σάκχαρα π.χ. γλυκόζη ή γαλακτόζη, αλλά δεν περιέχει πολυσακχαρίτες. Η λακτόζη είναι ένας αναγωγικός διασκακάρης αποτελούμενος από D-γλυκόζη και D-γαλακτόζη. Η αλδεϋδική ομάδα του μορίου της γαλακτόζης συνδέεται με τη C-4 ομάδα του μορίου της γλυκόζης μέσω β-1,4 γλυκοζιτικού δεσμού.



Σχήμα 2.3: Η μεταστροφή της λακτόζης κατά τη διάρκεια της υπερσυμπύκνωσης της φάσης ορού λόγω κρυστάλλωσης του νερού (Hartel 2001)

Χημικές ιδιότητες: Η λακτόζη είναι αναγωγικό σάκχαρο, ο δεσμός O-C¹ στο μόριο της γλυκόζης μπορεί να διασπαστεί οδηγώντας σε μια ανοιχτής αλυσίδας διαμόρφωση στην οποία η αλδεϋδική ομάδα είναι χημικά διαθέσιμη. Μέσω της ενδιάμεσης ανοιχτής μορφής η λακτόζη μπορεί να μεταβαίνει από την α-ανωμερή μορφή στη β, και αντίστροφα. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως μεταστροφή της λακτόζης, εξαρτάται από τις συνθήκες θερμοκρασίας και pH και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κρυσταλλική δομή των τροφίμων που περιέχουν λακτόζη.

Η θέρμανση του γάλακτος μπορεί να οδηγήσει σε ισομερίωση της λακτόζης, με αποτέλεσμα τη μετατροπή της μονάδας της γλυκόζης σε φρουκτόζη και το σχηματισμό της λακτουλόζης. Επιπλέον, υπό την επίδραση θέρμανσης, η λακτόζη μπορεί να συμμετάσχει σε αντιδράσεις καραμελοποίησης και μη ενζυμικής αμαύρωσης (Maillard) παρουσία της ε-αμινομάδας της λυσίνης σε πρωτεϊνικά μόρια.

Η λακτόζη είναι περίπου 0.3 φορές πιο γλυκιά από τη σακχαρόζη, ενώ συστατικά όπως οι καζεΐνες επιφέρουν μείωση της έντασης της γλυκύτητας. Η αύξηση του ποσοστού των πρωτεϊνών ορού και η μερική υδρόλυση της λακτόζης μπορούν να επιφέρουν σημαντική αύξηση της γλυκιάς γεύσης.

Φυσικοχημικές ιδιότητες: Η διαλυτότητα της λακτόζης εξαρτάται από την ανωμερή της μορφή. Η α-λακτόζη είναι πιο δυσδιάλυτη σε σχέση με τη β-λακτόζη. Παρόλα αυτά η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση στη διαλυτότητα της α-λακτόζης σε σχέση με τη β-λακτόζη, κυρίως λόγω του φαινομένου της μεταστροφής. Τα διαλύματα λακτόζης μπορούν να γίνουν υπέρκορα πολύ εύκολα σε μεγάλη κλίμακα, γεγονός που βρίσκει εφαρμογή και στην παραγωγή του παγωτού, όπου παρατηρείται υπερσυμπύκνωση λόγω κρυστάλλωσης του νερού (Σχήμα 2.3).

Η α-λακτόζη κρυσταλλώνεται πάντα σε ένυδρη μορφή, σχηματίζοντας σκληρούς, ελαφρά υγροσκοπικούς, και δυσδιάλυτους κρυστάλλους. Αντίθετα, η β-λακτόζη κρυσταλλώνεται σε υδατικά διαλύματα και σε θερμοκρασία άνω των 93.5°C, σχηματίζοντας ελάχιστα υγροσκοπικούς και ευδιάλυτους κρυστάλλους. Η δημιουργία κρυστάλλων α-λακτόζης σε συμπυκνωμένα υδατικά διαλύματα, όπως είναι η φάση ορού στο παγωτό, γενικά είναι ανεπιθύμητη, αφού υποβαθμίζει την υφή του προϊόντος. Για το λόγο αυτό οι συνθήκες κατάψυξης θα πρέπει να εξασφαλίζουν τη δημιουργία υπέρκορης υδατικής φάσης και έντονη πυρηνογένεση, έτσι ώστε να σχηματίζεται μεγάλος αριθμός μικρού μεγέθους (< 10μm) κρυστάλλων α-λακτόζης και να μη γίνονται οργανοληπτικά αντιληπτοί κατά την κατανάλωση του προϊόντος.

Διατροφικά χαρακτηριστικά: Η λακτόζη είναι μεταβολίσιμη, παρέχοντας γλυκόζη και γαλακτόζη. Η διάσπαση της λακτόζης γίνεται ενζυμικά μέσω της β-γαλακτοζιδάσης η οποία εκκρίνεται στο λεπτό έντερο. Η έλλειψη ή αδυναμία παραγωγής του ενζύμου οδηγεί σε διαταραχές της πεπτικής διαδικασίας γνωστές ως δυσανεξία στη λακτόζη. Η λακτόζη δεν

αποδεσμεύεται άμεσα στο αίμα και η θερμιδική της αξία ανέρχεται σε 17kJ/g (Walstra et al., 2006).

2.1.2 Υδατανθρακικά πρόσθετα του μίγματος παγωτού

2.1.2.1 Απλά σάκχαρα

α) Σακχαρόζη

Η σακχαρόζη κοινώς γνωστή ως κρυσταλλική ζάχαρη παράγεται από σακκαροκάλαμο ή από σακκαρότευτλα. Η σακχαρόζη είναι ένας δισακχαρίτης που αποτελείται από μόρια γλυκόζης και φρουκτόζης συνδεδεμένα μεταξύ τους με α-D-γλυκοζιτικό δεσμό. Η σακχαρόζη είναι διαλυτή στο νερό και την αιθανόλη, ενώ τα υδατικά της διαλύματα παρουσιάζουν την ιδιότητα του υπερκορεσμού, δηλαδή μπορούν να παρασκευαστούν διαλύματα σακχαρόζης πάνω από το όριο κορεσμού χωρίς καταβύθιση αδιάλυτης ουσίας. Τα διαλύματα αυτά είναι ασταθή και κρυσταλλώνουν εύκολα μέσω μηχανισμού της δευτερογενούς πυρηνογένεσης. Η παρουσία της σακχαρόζης με ιμβερτοποιημένα σάκχαρα ή σιρόπια γλυκόζης αυξάνει το όριο κορεσμού των διαλυμάτων της.

Σε όξινα pH ή παρουσία ενζύμων η σακχαρόζη υδρολύεται παρέχοντας ισομοριακό μίγμα φρουκτόζης και γλυκόζης. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως ιμβερτοποίηση και συνοδεύεται με αλλαγή της στροφικής ικανότητας της σακχαρόζης. Το φαινόμενο της ιμβερτοποίησης έχει ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη του χρώματος και του αρώματος των αρτοσκευασμάτων και των προϊόντων ζαχαροπλαστικής.

Η σακχαρόζη είναι συστατικό καθοριστικής σημασίας για το χρώμα και το άρωμα μίας εκτεταμένης ομάδας τροφίμων, λόγω της ικανότητάς της να υδρολύεται και να αντιδρά με άλλες χημικές ενώσεις π.χ. πρωτεΐνες και αμινοξέα. Η θερμική αποσύνθεση της σακχαρόζης σε χαμηλές τιμές pH οδηγεί σε φαινόμενα καραμελλοποίησης, ενώ η αντίδρασή της με αμινοξέα οδηγεί στο σχηματισμό μελανοιδινών οι οποίες συμβάλλουν στην αλλαγή του αρώματος και του χρώματος των τροφίμων (Cooper, 2006; James, 1995).

Οι κύριες μορφές προϊόντων σακχαρόζης περιλαμβάνουν: α) κρυσταλλική ζάχαρη, β) σιρόπια σακχαρόζης, γ) καστανή ζάχαρη και δ) μελάσσες. Υπάρχουν διάφορα είδη κρυσταλλικής ζάχαρης τα οποία διαφέρουν κατά κύριο λόγο ως προς την κοκκομετρία τους. Η κρυσταλλική σακχαρόζη αποτελείται από 99.9% στερεά επί ξηρής βάσης, χαρακτηρίζεται από λευκό χρώμα (IU<15) και ελάχιστο ποσοστό από ιμβερτοποιημένα σάκχαρα.

Τα σιρόπια σακχαρόζης παράγονται είτε με διάλυση κρυσταλλικής σακχαρόζης σε νερό ή με αποχρωματισμό του πυκνού χυμού κατά τη διεργασία παραλαβής της ζάχαρης. Τα προϊόντα που παράγονται με την πρώτη τεχνική είναι υψηλότερης ποιότητας. Τα σιρόπια σακχαρόζης μπορούν να κατεργαστούν ενζυμικά με στόχο την ιμβερτοποίησή τους σε ποσοστό 66 - 84%. Ο βαθμός καθαρότητας των σιροπίων σακχαρόζης επηρεάζει τόσο τη σύστασή τους όσο και το χρώμα τους (35<IU<1000). Τα υψηλώς ιμβερτοποιημένα σιρόπια (>75%) παρουσιάζουν τάση κρυστάλλωσης και για το λόγο αυτό συνήθως αναμιγνύονται με σακχαρόζη και γλυκόζη.

Υπάρχουν δύο είδη καστανής ζάχαρης: η ανεπεξέργαστη καστανή ζάχαρη η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ καλά χαρακτηριστικά αρώματος αλλά και μεγάλες διακυμάνσεις ως προς την ποιότητά της, και η επεξεργασμένη καστανή ζάχαρη η οποία παράγεται με βρασμό μη εξευγενισμένου χυμού έως ότου σχηματιστούν προϊόντα καραμελλοποίησης. Εναλλακτικά, η ανάμιξη ανεπεξέργαστου χυμού με λευκή κρυσταλλική ζάχαρη μπορεί να οδηγήσει σε προϊόντα με μεγαλύτερη ομοιογένεια στην κοκκομετρία της καστανής ζάχαρης. Λόγω της χαμηλής καθαρότητας η καστανή ζάχαρη χαρακτηρίζεται από σκούρο χρώμα (3000<IU<21000), από έντονο χαρακτηριστικό άρωμα, υψηλή προσκολλησιμότητα και υγρασία ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε μελάσσα.

Η μελάσσα είναι το τελικό προϊόν της διαδικασίας εξαγωγής της σακχαρόζης, το οποίο κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή ή ως προϊόν ζύμωσης για την παραγωγή βιοτεχνολογικών προϊόντων π.χ. κιτρικό οξύ και αιθανόλη. Ωστόσο, ορισμένα είδη μελάσσας

που προέρχονται από σακχαροκάλαμο μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή τροφίμων, αφού πρώτα εξευγενιστούν και αναμιχθούν με υψηλής ποιότητας σιρόπια. Η ανάμιξη αυτή μεταβάλλει σημαντικά το άρωμα, αλλά και τη σύσταση της μελάσσας. Η περιεκτικότητα της μελάσσας σε ιμβερτοποιημένα σάκχαρα κυμαίνεται από 16 έως 35%, σε σακχαρόζη 29 - 40%, ενώ περιέχει και ένα σημαντικό ποσοστό σε δεξτρίνες ~10%. Το χαρακτηριστικό άρωμα της μελάσσας οφείλεται στην υψηλή τους περιεκτικότητα σε οργανικά οξέα (James, 1995; Belitz et al., 2004).

β) Φρουκτόζη

Η φρουκτόζη (β-D-φρουκτοπυρανόζη) κατά κύριο λόγο παράγεται από την υδρόλυση του αμύλου. Η φρουκτόζη διατίθεται εμπορικά σε στερεή (κρυσταλλική) και σε υγρή μορφή (σιρόπιο φρουκτόζης 90%). Το κόστος της κρυσταλλικής φρουκτόζης (λόγω της καθαρότητάς της) είναι γενικά υψηλότερο. Η D-φρουκτόζη που παράγεται με υδρόλυση του αμύλου είναι χημικά ταυτόσημη με τη φρουκτόζη που απαντάται στη φύση, ενώ είναι το σάκχαρο με την υψηλότερη γλυκαντική ισχύ. Η φρουκτόζη παρουσιάζει υψηλή διαλυτότητα στο νερό, ενώ κρυσταλλώνεται δύσκολα υπό μορφή άνυδρων βελονοειδών κρυστάλλων. Η κρυστάλλωση της φρουκτόζης στην ένυδρη μορφή της είναι δυνατή, αλλά απαιτείται η κατάλληλη ρύθμιση των συνθηκών κρυστάλλωσης. Η φρουκτόζη κρυσταλλώνεται στη β-D-πυρανοζική μορφή και είναι αρκετά υγροσκοπική (RH>60%). Κατά τη διάλυσή της στο νερό η φρουκτόζη μετατρέπεται λόγω πολυστροφισμού σε ισομερές μίγμα φουρανόζης-πυρανόζης (Blanchard & Katz, 2006).

Η φρουκτόζη χρησιμοποιείται για την παρασκευή προϊόντων χαμηλής θερμιδικής αξίας, λόγω της υψηλότερης γλυκαντικής της ισχύος (κατά 15-80%) σε σχέση με τη σακχαρόζη. Η γλυκαντική ισχύς της εξαρτάται από τις συνθήκες pH, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση. Επιπλέον, η φρουκτόζη ανήκει στην κατηγορία των γλυκαντικών υλών αργής αποδέσμευσης, με αποτέλεσμα να μην διαταράσσεται η συγκέντρωση της γλυκόζης κατά την κατανάλωσή της. Επιδημιολογικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι μετά την απορρόφησή της η φρουκτόζη μεταβολίζεται στο ήπαρ κατά τρόπο που επηρεάζεται ελάχιστα από την έκκριση ινσουλίνης (Frattali, 1982).

γ) Τρεχαλόζη

Η τρεχαλόζη γνωστή ως μυκόζη ή «σάκχαρο των μανιταριών» είναι ένα μη αναγωγικό σάκχαρο που αποτελείται από δύο μόρια γλυκόζης συνδεδεμένα με α-1,1-γλυκοζιτικό δεσμό. Βρίσκεται σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις σε πολλούς ανυδροβιοτικούς οργανισμούς, στη μαγιά αρτοποιίας, και τα σπόρια διαφόρων μυκήτων. Η τρεχαλόζη εμφανίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη λειτουργική της δράση σε σχέση με άλλους δισακχαρίτες ίσου μοριακού βάρους όπως η λακτόζη, η σακχαρόζη και η μαλτόζη. Η τρεχαλόζη χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό ενυδάτωσης και υψηλή υδροφιλικότητα, κυρίως λόγω της ικανότητάς της να σχηματίζει πολλούς δεσμούς υδρογόνου και να έλκει ευκολότερα τα μόρια νερού (Portmann & Birch, 1995). Η θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης της καθαρής τρεχαλόζης είναι ιδιαίτερα υψηλό (115°C) σε σχέση με άλλους δισακχαρίτες, ενώ είναι κατά 43°C υψηλότερη από εκείνη της καθαρής σακχαρόζης (Nabors, 2002). Οι Green & Angell (1989) πρότειναν ότι η υψηλή τιμή του T_g των υδατικών συστημάτων της τρεχαλόζης υποδεικνύει την in vivo κρυστοπροστατευτική και λυοπροστατευτική συμπεριφορά της, ενώ οι Crowe et al., (1994) παρατήρησαν ότι παρόλο που τα υδατικά συστήματα δεξτράνης παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές T_g η τρεχαλόζη εμφανίζεται ως πιο αποτελεσματικό κρυστοπροστατευτικό υλικό. Οι Tadanori et al., (2002) ανέφεραν ότι η τρεχαλόζη μπορεί να επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων σε σχέση με τη σακχαρόζη, ιδιαίτερα όταν προστίθεται σε υψηλές συγκεντρώσεις (>40% w/w). Η τρεχαλόζη παρουσιάζει υψηλή θερμική σταθερότητα (στους 120°C για 90min), ενώ δεν αποσυντίθεται σε μεγάλο εύρος τιμών pH (3.5-10). Λόγω του μη αναγωγικού της χαρακτήρα η τρεχαλόζη δεν συμμετέχει σε αντιδράσεις Maillard (Higashiyama, 2002).

Σε σχέση με άλλους δισακχαρίτες, η τρεχαλόζη χαρακτηρίζεται από χαμηλότερη γλυκαντική ισχύ (45% της γλυκύτητας της σακχαρόζης). Η χαμηλή γλυκαντική ισχύς της οφείλεται στο γεγονός ότι μόνο το ένα από τα δύο μόρια της γλυκόζης μπορεί να συνδέεται με τους υποδοχείς γεύσης καθώς επίσης και με την περιορισμένη κινητικότητα των μορίων του νερού που συνδέονται με το μόριό της. Η τρεχαλόζη χαρακτηρίζεται από ουδέτερο άρωμα και από ταχεία αποδέσμευση της γλυκιάς γεύσης (σε αντίθεση με τη σακχαρόζη), γεγονός που αυξάνει τη συμβατότητά της με μεγάλο αριθμό γλυκαντικών υλών (Portmann & Birch, 1995; Nabors, 2002).

2.1.2.2 Ολιγοσακχαρίτες

α) Γλυκά υδρόλυσης αμύλου

Γενικά: Με τον όρο υλικά υδρόλυσης αμύλου χαρακτηρίζεται μία εκτεταμένη ομάδα προϊόντων που διαφοροποιούνται ως προς το μοριακό τους βάρος, το μήκος της ανθρακικής τους αλυσίδας, το βαθμό πολυμερισμού και διακλάδωσης. Έτσι, τα προϊόντα υδρολυμένου αμύλου περιλαμβάνουν από μεγάλο μοριακού βάρους (μακρομοριακά) προϊόντα τα οποία είναι πρακτικά άγευστα έως και μονοσακχαρίτες, όπως η D-γλυκόζη, η οποία έχει το 60% της γλυκαντικής ισχύος της σακχαρόζης. Τα προϊόντα υδρολυμένου αμύλου παράγονται με όξινη ή ενζυμική υδρόλυση του αμύλου, ενώ τα ενδιάμεσα προϊόντα υδρόλυσης μπορούν να επιδέχονται περαιτέρω επεξεργασία π.χ. υδρογόνωση, ισομερίωση κ.α.

Το ισοδύναμο δεξτρόζης: Τα προϊόντα υδρολυμένου αμύλου διαχωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις μαλτοδεξτρίνες και τους μαλτο-ολιγοσακχαρίτες (αμυλοσιρόπια). Η διάκριση των προϊόντων αυτών γίνεται με βάση την τιμή του ισοδύναμου δεξτρόζης (DE). Καθώς η διαδικασία υδρόλυσης του αμύλου προχωρά, επιπρόσθετες αναγωγικές ομάδες εκτίθενται με τελικό προϊόν τον αναγωγικό μονοσακχαρίτη, δεξτρόζη (D-γλυκόζη). Κατά συνέπεια η αναγωγική δύναμη του προϊόντος είναι ένα μέτρο του βαθμού διάσπασης της ανθρακικής αλυσίδας του αμύλου, εκφράζεται ως ποσοστό επί ξηρής βάσης του προϊόντος και είναι γνωστό ως ισοδύναμο δεξτρόζης (dextrose equivalent). Το ισοδύναμο δεξτρόζης είναι πολύ σημαντική παράμετρος για τα προϊόντα υδρολυμένου αμύλου, αφού συνδέεται άμεσα με τις λειτουργικές τους ιδιότητες π.χ. ρεολογία, ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, ικανότητα σχηματισμού πλεγμάτων και πηγμάτων, σχετική γλυκύτητα κ.α. Επιπλέον, στην περίπτωση των προϊόντων υδρολυμένου αμύλου ο βαθμός πολυμερισμού (DP) και το ισοδύναμο δεξτρόζης είναι αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη.

Ταξινόμηση των προϊόντων υδρολυμένου αμύλου: Οι γλυκαντικές ύλες που παράγονται από την υδρόλυση μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες (Corn Refiners Association, 1980):

1. Αμυλοσιρόπια (σιρόπια γλυκόζης): Είναι τα εξευγενισμένα προϊόντα που προκύπτουν από τα υδατικά διαλύματα σακχαριτών που παράγονται από την ενζυμική ή όξινη υδρόλυση του αμύλου και έχουν DE>20.
2. Αφυδατωμένα (ξηρά) αμυλοσιρόπια: Είναι τα αμυλοσιρόπια τα οποία περιέχουν πολύ χαμηλό ποσοστό υγρασίας. Τα προϊόντα είναι γνωστά και ως στερεά αμυλοσιροπίων.
3. Μονοϋδρική δεξτρόζη: Εξευγενισμένη κρυσταλλική D-γλυκόζη που βρίσκεται σε ένυδρη μορφή (ένα μόριο κρυσταλλικού νερού).
4. Άνυδρη δεξτρόζη: Εξευγενισμένη άνυδρη κρυσταλλική D-γλυκόζη.
5. Μαλτοδεξτρίνες: Εξευγενισμένα και συμπυκνωμένα υδατικά διαλύματα από αφομοιώσιμους σακχαρίτες που προέρχονται από το άμυλο, καθώς και τα αντίστοιχα αφυδατωμένα προϊόντα που έχουν DE<20.
6. Αμυλοσιρόπια υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη: Εξευγενισμένα και συμπυκνωμένα υδατικά διαλύματα από αφομοιώσιμους σακχαρίτες που προέρχονται από το άμυλο και ένα μέρος της δεξτρόζης έχει υποστεί ισομερισμό προς φρουκτόζη.
7. Φρουκτόζη: Εξευγενισμένη κρυσταλλική D-φρουκτόζη (λεβουλόζη).
8. Κυκλοδεξτρίνες: Εξευγενισμένα και κρυσταλλωμένα προϊόντα που αποτελούνται α, β, ή δ-κυκλοδεξτρίνες.

9. Υδρογονωμένα προϊόντα: Εξευγενισμένα παράγωγα σακχάρων που προκύπτουν από την καταλυτική υδρογόνωση των προϊόντων υδρολυμένου αμύλου. Πρόκειται κατά κύριο λόγο για πολυόλες.

Λειτουργικές ιδιότητες: Με βάση τις λειτουργικές τους ιδιότητες τα ανωτέρω προϊόντα μπορούν περαιτέρω να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Μαλτοδεξτρίνες (DE<20): Τα περισσότερα προϊόντα της κατηγορίας βρίσκονται σε ξηρή μορφή, χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή γλυκαντική ισχύ και είναι άγευστα.
- Αμυλοσιρόπια τύπου I (DE 20 -38): Η ομάδα αποτελείται από ιξώδη σιρόπια χαμηλής γλυκαντικής ισχύος και χαμηλής υγροσκοπικότητας. Αρκετά προϊόντα παράγονται και σε ξηρή μορφή.
- Αμυλοσιρόπια τύπου II (DE 38 -58): Τα σιρόπια αυτής της ομάδας χαρακτηρίζονται από σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη σύσταση ανάλογα με το είδος της μεθόδου υδρόλυσης που έχει εφαρμοστεί. Έχουν ενδιάμεση γλυκαντική ισχύ και υγροσκοπικότητα.
- Αμυλοσιρόπια τύπου III (DE 58 - 73): Τα αμυλοσιρόπια χαρακτηρίζονται από υψηλή γλυκαντική ισχύ και χαμηλή περιεκτικότητα σε φρουκτόζη.
- Αμυλοσιρόπια τύπου IV (DE>73): Τα αμυλοσιρόπια χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε γλυκόζη, υψηλή γλυκαντική ισχύ και υγροσκοπικότητα.
- Αμυλοσιρόπια υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη: Τα αμυλοσιρόπια αυτά δεν χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες τιμές DE, αλλά από την περιεκτικότητά τους (%w/w) σε φρουκτόζη η οποία τυπικά είναι 42, 55 και 90%.
- Υδρογονωμένα σιρόπια: Περιλαμβάνουν σιρόπια που παράγονται από την υδρογόνωση αμυλοσιροπίων, με υψηλή περιεκτικότητα σε μαλτόζη (50 -90% w/w). Οι φυσικές ιδιότητες είναι παρόμοιες με εκείνες των αμυλοσιροπίων ενώ χαρακτηρίζονται από υψηλότερη χημική και θερμική σταθερότητα.

Το σύνολο των αμυλοσιροπίων μεταβολίζονται από τον ανθρώπινο οργανισμό προς τελικό προϊόν D-γλυκόζη. Η ευκολία διάσπασης σχετίζεται με το ισοδύναμο δεξτρόζης. Οι ζυμομύκητες έχουν την ικανότητα ζύμωσης της φρουκτόζης, της γλυκόζης και της μαλτόζης (τα DP1 και DP2 κλάσματα), ενώ ορισμένοι μικροοργανισμοί μπορούν να ζυμώνουν με βραδύ ρυθμό και τη μαλτοτριόζη (DP3). Επιπλέον, η ικανότητα ζύμωσης των αμυλοσιροπίων εξαρτάται από το ισοδύναμο δεξτρόζης.

Το pH, η θερμοκρασία και η παρουσία άλλων αρωματικών συστατικών επηρεάζουν την αντιλαμβανόμενη αίσθηση γλυκύτητας. Επιπλέον, η γλυκαντική ισχύς αυξάνει με αύξηση του ισοδύναμου δεξτρόζης. Έτσι, η αύξηση του ισοδύναμου δεξτρόζης από το 25 στο 64 συνεπάγεται αύξηση της έντασης της γλυκαντικής ισχύος από 21% σε 58%. Περαιτέρω αύξηση του ισοδύναμου δεξτρόζης οδηγεί σε πολύ μικρές μεταβολές της γλυκαντικής ισχύος (δεν υπερβαίνει το 61%). Η υδρογόνωση της μαλτόζης προς μαλιτιτόλη αυξάνει σημαντικά τη σχετική γλυκύτητα των αμυλοσιροπίων (από 43 σε 68%).

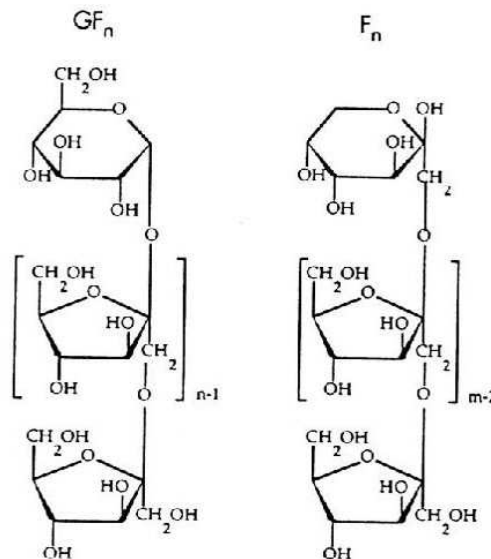
Ιδιότητες όπως η ωσμωτική πίεση και η ταπείνωση του σημείου πήξης αυξάνουν όσο αυξάνει το ισοδύναμο δεξτρόζης. Η επίδραση των αμυλοσιροπίων στο σημείο πήξης των υδατικών συστημάτων έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην παραγωγή παγωτού, αφού σχετίζεται άμεσα με φαινόμενα όπως η κρυστάλλωση και η ανακρυστάλλωση. Επιπλέον, η χαμηλή ωσμωτική πίεση που επιτυγχάνεται κατά τη χρήση των μαλτοδεξτρινών βρίσκει ιδιαίτερα εφαρμογή στην αύξηση του χρόνου ζωής των τροφίμων.

Η υγροσκοπικότητα των αμυλοσιροπίων είναι αξιόλογη και αυξάνει καθώς αυξάνεται το ισοδύναμο δεξτρόζης. Τα αμυλοσιρόπια υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη εμφανίζουν την υψηλότερη υγροσκοπικότητα, ως αποτέλεσμα της υψηλής διαλυτότητας της φρουκτόζης και του χαμηλού ιξώδους των διαλυμάτων τους. Η υδρογόνωση των αμυλοσιροπίων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της υγροσκοπικότητας αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις σε περιορισμένο βαθμό.

Η χρήση μαλτοδεξτρινών και αμυλοσιροπίων χαμηλής τιμής DE συμβάλλει στην αύξηση του ιξώδους των υδατικών τους διαλυμάτων, γεγονός που σχετίζεται με αυξημένη κομμώδη, πλούσια και κρεμώδη υφή. Καθοριστικοί παράγοντες για την επίδραση των μαλτοδεξτρινών και των αμυλοσιροπίων στο ιξώδες είναι η συγκέντρωση και η θερμοκρασία (Blanshard & Katz, 2006; Marshall et al., 2003).

Β) Ινουλίνη

Η ινουλίνη αποτελεί βασικό δομικό συστατικό καρπών λαχανικών, φρούτων και δημητριακών. Βιομηχανικά η ινουλίνη παρασκευάζεται από τις ρίζες του ραδικιού και χαρακτηρίζεται ως ένα μίγμα από ολιγομερείς και πολυμερείς ενώσεις της β-(2-1)-φρουκτόζης της ομάδας των φρουκτανών (Van Loo et al., 1995; De Leenheer et al., 1994). Η δομή της ινουλίνης μπορεί να αποδοθεί από τη φόρμουλα GF_n όπου G = η γλυκοζυλική μονάδα, F = η φρουκτοζυλική μονάδα και n = ο αριθμός των φρουκτοζυλικών ομάδων που συνδέονται με β-(2-1) δεσμούς ($n \geq 2$). Ο βαθμός πολυμερισμού της ινουλίνης κυμαίνεται από 2 έως 60 (Coussement & Franck, 2001). Γενικά, η ινουλίνη θεωρείται ως ένα μόριο χαμηλού βαθμού διακλάδωσης, που αποτελείται από κύρια αλυσίδα πολυοξυαιθυλενικής σύστασης στην οποία βρίσκονται προσαρτημένα τα μόρια της φρουκτόζης όπως τα σκαλοπάτια σε μια ανεμόσκαλα (Franck, 2006).



Σχήμα 2.4: Η δομή των μορίων της ινουλίνης (GF_n) και της ολιγοφρουκτόζης (F_n) (Coussement & Frank 2001)

Η ινουλίνη είναι διαθέσιμη σε μορφή λευκής άοσμης σκόνης. Η γεύση της είναι ουδέτερη, ενώ χαρακτηρίζεται από χαμηλή γλυκαντική ισχύ η οποία κυμαίνεται από 0 έως 10%. Η ινουλίνη μακράς αλύσου (long chain - $DP > 25$) δεν έχει καθόλου γλυκαντική ισχύ. Παρά τη χαμηλή της γλυκαντική ισχύ, η ινουλίνη παρουσιάζει συνέργεια με την ασπαρτάμη και το ακετοσουλφαμικό κάλιο, με αποτέλεσμα ο συνδυασμός τους να οδηγεί σε βελτίωση του αρώματος και μείωση της μετάγευσης. Η ινουλίνη είναι μετρίως διαλυτή στο νερό (περίπου 10% στη θερμοκρασία περιβάλλοντος) γεγονός που επιτρέπει την ικανοποιητική της ενσωμάτωση σε υδατικά συστήματα χωρίς να καταβυθίζεται. Το ιξώδες των διαλυμάτων της ινουλίνης είναι γενικά χαμηλό, ενώ η προσθήκη της στο νερό επιφέρει πολύ μικρή ταπείνωση της θερμοκρασίας του σημείου πήξης (κατά $0.5^\circ C$). Σε όξινο περιβάλλον η ινουλίνη παρουσιάζει υψηλή αστάθεια η οποία εκδηλώνεται με μερική υδρόλυσή της προς φρουκτόζη, ενώ σε τιμές $pH > 4$ η ινουλίνη είναι σημαντικά σταθερή (Franck, 2006).

Όταν η ινουλίνη προστίθεται σε υψηλές συγκεντρώσεις ($>25\%$ για τη συμβατική μορφή της και 15% για την ινουλίνη μακράς αλύσου), εμφανίζει ικανότητα σχηματισμού πήγματος. Η ενσωμάτωση υγρασίας ή άλλου υδατικού μέσου με ταυτόχρονη ανάδευση οδηγεί στο

σχηματισμό ενός λευκού κρεμώδους πήγματος το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί σε διάφορα συστήματα τροφίμων ως υποκατάστατο λιπαρών. Το πήγμα αυτό συμβάλλει στη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής, λειτουργεί ως μιμητικό λιπαρών, αυξάνει την ικανότητα εφάπλωσης και ευνοεί την ισορροπημένη αποδέσμευση του αρώματος. Η ισχύς των πηγμάτων της ινουλίνης επηρεάζεται από τη συγκέντρωσή της και τις συνθήκες διάτμησης - ανάδευσης (διάρκεια, θερμοκρασία, ταχύτητα, και πίεση). Η χρήση της μεθόδου SEM έχει αποδείξει ότι τα πήγματα της ινουλίνης αποτελούνται από ένα τρισδιάστατο πλέγμα αποτελούμενο από αδιάλυτα σωματίδια ινουλίνης (<100nm), τα οποία δημιουργούν συναθροίσεις διαμέτρου 1 - 5 μm, ενώ στο εσωτερικό του πλέγματος βρίσκονται εγκλωβισμένα μόρια νερού. Η παρατήρηση αυτή δικαιολογεί και την ψευδοπλαστική και θιξοτροπική συμπεριφορά της. Τέλος, η ινουλίνη παρουσιάζει σημαντική συνέργεια με τα περισσότερα υδροκολλοειδή όπως η ζελατίνη, το αλγινικό νάτριο, οι καρραγενάνες, το κόμμι gellan και οι μαλτοδεξτρίνες (Franck, 2006; Frippiat, 1998; Smits & Frippiat, 1993; Coussement & Franck, 2001).

γ) Ολιγοφρουκτόζη

Η ολιγοφρουκτόζη ανήκει στην ίδια οικογένεια ενώσεων με την ινουλίνη και είναι συνώνυμη με τους φρουκτοολιγοσακχαρίτες. Η ολιγοφρουκτόζη είναι ένα μίγμα από β-(2-1) φρουκτάνες της ίδιας μορφής με εκείνη της ινουλίνης. Ο βαθμός πολυμερισμού της ολιγοφρουκτόζης κυμαίνεται από 2 έως 10. Η ολιγοφρουκτόζη παραλαμβάνεται από την μερική ενζυμική υδρόλυση της ινουλίνης ή με ενζυμική σύνθεση με πρώτη ύλη τη σακχαρόζη. Η πρώτη μέθοδος οδηγεί σε μίγμα GF_n - F_n μορίων, ενώ η δεύτερη μέθοδος αποκλειστικά σε μόρια της μορφής GF_n (Coussement & Franck, 2001; Voragen, 1998).

Η ολιγοφρουκτόζη είναι σημαντικά πιο διαλυτή από την ινουλίνη (περίπου 80% στο νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε καθαρή μορφή η ολιγοφρουκτόζη χαρακτηρίζεται από σημαντική γλυκαντική ισχύ (35% σε σχέση με τη σακχαρόζη). Η γλυκαντική της δράση είναι παρόμοια με εκείνη της σακχαρόζης χωρίς να την επικαλύπτει, ενώ παρουσιάζει την ικανότητα ενίσχυσης της έντασης των αρωματικών παραγόντων. Σε συνδυασμό με άλλες γλυκαντικές ύλες όπως π.χ. η ασπαρτάμη και το ακετοσοουλφαμικό κάλιο σχηματίζει γλυκαντικά συστήματα που χαρακτηρίζονται από υψηλή σταθερότητα και αυξάνουν το χρονική διάρκεια της απελευθέρωσης του αρώματος. Επιπλέον η ολιγοφρουκτόζη παρουσιάζει σημαντική σταθερότητα κατά τη θερμική επεξεργασία των τροφίμων, παρά το γεγονός ότι η θέρμανση μπορεί να επιφέρει μερική υδρόλυση των β-δεσμών μεταξύ των μονάδων φρουκτόζης. Τέλος, η ολιγοφρουκτόζη συμβάλλει στη βελτίωση της πλούσιας και κρεμώδους υφής των τροφίμων, ελαττώνει την ενεργότητα νερού αυξάνοντας τη μικροβιολογική σταθερότητά τους, και επιδρά στις τιμές της ταπείνωσης της θερμοκρασίας του σημείου πήξης γεγονός που βρίσκει εφαρμογή στα κατεψυγμένα τρόφιμα (Franck, 2002; Franck, 2004; Coussement & Franck, 2001; Niness, 1999; Wiedeman & Jager, 1997; de Leenheer, 1996). Οι Crittenden & Playne (1996) ανέφεραν ότι η λειτουργικότητα της ολιγοφρουκτόζης παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με εκείνες των αμυλοσιροπίων και των προϊόντων υδρολυμένου αμύλου.

Αν και η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη παρουσιάζουν αξιόλογες τεχνολογικές ιδιότητες, η χρήση τους στα τρόφιμα είναι πολύ διαδεδομένη λόγω των ιδιαίτερων φυσιολογικών και διατροφικών τους χαρακτηριστικών. Τα κυριότερά χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνουν:

1. *Υψηλή περιεκτικότητα σε μη αφομοιώσιμα συστατικά.* Τόσο η ινουλίνη όσο και η ολιγοφρουκτόζη είναι μη αφομοιώσιμα από το λεπτό έντερο. Οι β-(2-1) δεσμοί σύνδεσης των μορίων φρουκτόζης, δεν μπορούν να υδρολυθούν από το σύμπλοκο σουκράσης-μαλτάσης που εκκρίνεται στο λεπτό έντερο. Έτσι τα συστατικά αυτά εισέρχονται σχεδόν ποσοτικά στο παχύ έντερο όπου μεταβολίζονται κυρίως προς λιπαρά οξέα μικρής ανθρακικής αλυσίδας (Knudsen & Hesson, 1995).

2. *Χαμηλή θερμιδική αξία.* Λόγω της μη αφομοιωσιμότητάς τους, η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη συμμετέχουν ελάχιστα θερμιδικά κατά τη διεργασία της πέψης. Από το σύνολο των προϊόντων μεταβολισμού, μόνο τα λιπαρά οξέα μικρής ανθρακικής αλυσίδας (SCFA) συμμετέχουν στον ενεργειακό μεταβολισμό του ανθρώπινου οργανισμού (Ellegard et al., 1997; Niness 1999; Coussement & Franck 2001). Για το λόγο αυτό τα συστατικά αυτά θεωρούνται ιδανικά για διαβητικά άτομα.

3. *Βελτίωση του μεταβολισμού των λιπαρών.* Ο μεταβολισμός των λιπαρών πραγματοποιείται στο ήπαρ. Μελέτες απέδειξαν ότι η κατανάλωση ινουλίνης ή ολιγοφρουκτόζης οδηγεί σε μείωση της ενεργότητας των ηπατικών ενζύμων που συνδέονται με τη λιπογένεση, ενώ τα μεταβολικά τους προϊόντα επηρεάζουν την ορμονική ισορροπία (έκκριση ινσουλίνης και ινσουλινοτροπικών πολυπεπτιδίων που σχετίζονται με τη γλυκόζη). Επιπλέον, επιδημιολογικές μελέτες απέδειξαν ότι η κατανάλωση της ινουλίνης και της ολιγοφρουκτόζης συμβάλλει στη μείωση των επιπέδων των τριγλυκεριδίων και της χοληστερόλης στο αίμα (Davidson et al., 1998; Niness, 1999).

4. *Επίδραση στην ηπακτική δράση.* Η κατανάλωση της ινουλίνης και της ολιγοφρουκτόζης έχει αποδειχθεί ότι επιτείνει την ηπακτική δράση και περιορίζει τις διαταραχές της πεπτικής διαδικασίας (μείωση της δυσκοιλιότητας).

5. *Τροποποίηση της εντερικής μικροχλωρίδας.* Η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη αποτελούν πηγές υδατανθράκων που μεταβολίζονται επιλεκτικά από ορισμένα είδη της εντερικής μικροχλωρίδας όπως τα προβιοτικά βακτήρια. Από in vitro μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η ενεργοποίηση των προβιοτικών βακτηρίων του εντέρου είναι σχεδόν διπλάσια στην περίπτωση κατανάλωσης ινουλίνης με βαθμό DP>10 (ινουλίνη μακράς αλύσου) σε σχέση με τα αντίστοιχα συστατικά με DP<10. Έτσι η ημερήσια λήψη 4g ινουλίνης ή ολιγοφρουκτόζης μπορεί να συμβάλλει στην αποτελεσματική αύξηση του αριθμού των προβιοτικών βακτηρίων. Επιπλέον, in vivo και in vitro έρευνες έχουν αποδείξει ότι η αύξηση του αριθμού των *bifidobacteria* σχετίζεται με την αποτελεσματική μείωση του αριθμού των παθογόνων μικροοργανισμών στο λεπτό έντερο όπως π.χ. *Clostridium spp.*, *E coli.*, *Shigella*, *Salmonella* και *Listeria* (Roberfroid et al., 1998; Coussement & Franck, 2001; Niness, 1999).

6. *Πρόληψη κατά του καρκίνου.* Πρόσφατες μελέτες έχουν αποδείξει ότι η κατανάλωση ινουλίνης και ολιγοφρουκτόζης σχετίζεται με χημειοπροστατευτική δράση αφού αυτές μπορούν να περιορίσουν σε σημαντικό βαθμό την ανάπτυξη των καρκινικών κυττάρων στο παχύ έντερο, ενώ καθυστερούν σε μεγάλο βαθμό τη λανθάνουσα φάση της καρκινογένεσης. Η ινουλίνη μακράς αλύσου έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη καρκινικών κυττάρων στο ακραίο τμήμα του παχέος εντέρου το οποίο παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά καρκινογένεσης. Η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη εμφανίζουν συνεργιστική δράση στην πρόληψη του καρκίνου με τα προβιοτικά βακτήρια (Coussement & Franck, 2001; Franck, 2002; Niness, 1999).

7. *Αύξηση της αφομοιωσιμότητας των ιχνοστοιχείων.* Η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη μπορούν να συμβάλλουν στην αύξηση της απορρόφησης των ιχνοστοιχείων όπως το ασβέστιο, ο σίδηρος και το μαγνήσιο. Επιδημιολογικές έρευνες έδειξαν ότι η κατανάλωση 15g/day ολιγοφρουκτόζης και 40g/day ινουλίνης βοηθούν στη βελτίωση του ρυθμού απορρόφησης του ασβεστίου και του μαγνησίου (Van den Heuvel et al., 1998; Coudray et al., 1997).

2.1.2.3 Πολυσακχαρίτες

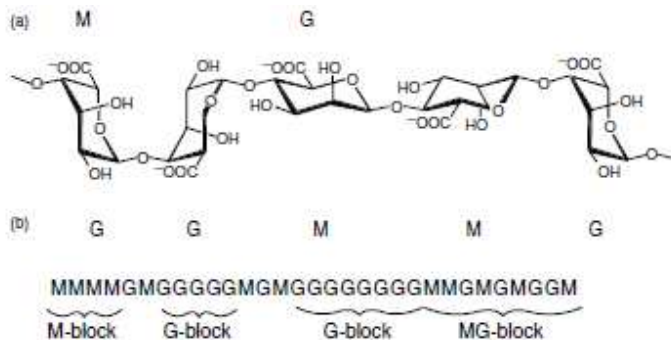
2.1.2.3.1 Αλγινικά άλατα

Τα αλγινικά άλατα αποτελούν βασικά δομικά συστατικά του θαλάσσιων καφέ άλγινων, όπως επίσης και του κυτταρικού πολυσακχαριτικού υλικού διαφόρων βακτηρίων του εδάφους (*Pseudomonas aeruginosa*, *Azotobacter vinelandii*).

Δομή και μοριακό βάρος: Τα αλγινικά άλατα είναι μία ευρύτερη οικογένεια από μη διακλαδούμενα συμπολυμερή D-μαννουρονικού οξέος (M) και L-γουλουρονικού οξέος (G) συνδεδεμένων με (1→4) β-γλυκοζιδικό και α-γλυκοζιδικό δεσμό αντίστοιχα. Συνεπώς τα αλγινικά άλατα αποτελούνται από ομοπολυμερικές περιοχές M και G, οι οποίες διακόπτονται

από ετεροπολυμερικές ζώνες MG (Σχήμα 2.5). Το μοριακό τους βάρος επηρεάζεται από την πολυμερική δομή τους, και χαρακτηρίζεται από ένα μέγεθος γνωστό ως δείκτης πολυδιασποράς ο οποίος καθορίζει τις λειτουργικές ιδιότητές τους (κυρίως την ικανότητα σχηματισμού πήγματος και την ισχύ του πήγματος).

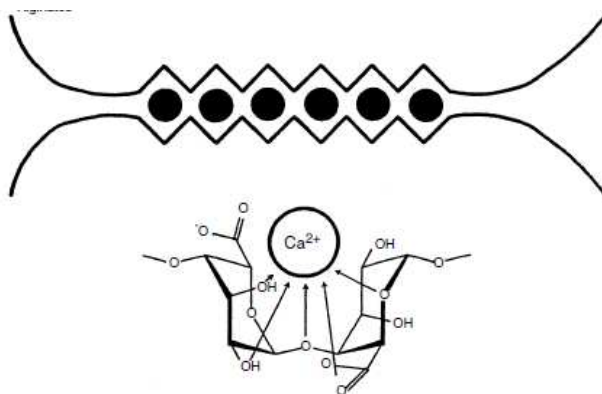
Διαλυτότητα: Τα αλγινικά άλατα μπορούν να διαλυθούν σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος ανάλογα με τις συνθήκες pH και την ιοντική ισχύ του διαλύματος. Το pH επηρεάζει το ηλεκτρικό φορτίο των ομάδων ουρονικών οξέων και η απότομη μείωσή του μπορεί να οδηγήσει σε καταβύθιση αλγινικού οξέος, προκαλώντας απώλεια της λειτουργικότητας του υδροκολλοειδούς.



Σχήμα 2.5: Δομή του αλγινικού νατρίου. M = β-D-μαννουρονικό οξύ, G = α-L-γουλουρονικό οξύ (Draget et al., 2006)

Ρεολογία: Η ρεολογική συμπεριφορά των υδατικών διαλυμάτων των αλγινικών αλάτων εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους. Η αύξηση της συγκέντρωσης αυτών καθώς και η παρουσία ιόντων Ca^{2+} επιφέρουν ενίσχυση της ψευδοπλαστικότητας των υδατικών διαλυμάτων.

Αλληλεπίδραση με τα ιόντα Ca^{2+} : Η ικανότητα σύνδεσης των αλγινικών με δισθενή ή πολυσθενή κατιόντα αποτελεί τη βάση για το σχηματισμό πήγματος. Η επιλεκτικότητα σύνδεσης με τα κατιόντα εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το πολυγουλουρονικό οξύ, ενώ το πολυμαννουρονικό οξύ δεν παρουσιάζει καμιά επιλεκτικότητα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αλληλεπίδραση των αλγινικών με τα κατιόντα Ca^{2+} . Η σύνδεση δεν έχει απλά ηλεκτροστατικό χαρακτήρα, αλλά εμπλέκονται και δράσεις σχηματισμού χηλικών ενώσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές του γουλουρονικού οξέος παρουσιάζουν μία θυλακωτή (buckled) μορφή, η οποία οδηγεί στην αλληλοσύνδεσή τους. Η ευθυγράμμιση των θυλακωτών τμημάτων της αλγινικής αλυσίδας συνεπάγεται το σχηματισμό πολυγωνικών οπών αποτελούμενων από μία υδροφιλική κοιλότητα, η οποία επιτρέπει τη σύνδεση με τα κατιόντα Ca^{2+} . Η σύνδεση με τα κατιόντα Ca^{2+} συνεχίζεται μέχρι να προκύψει μία τρισδιάστατη διαμόρφωση από τα χηλικά σύμπλοκα των αλγινικών (Σχήμα 2.6).



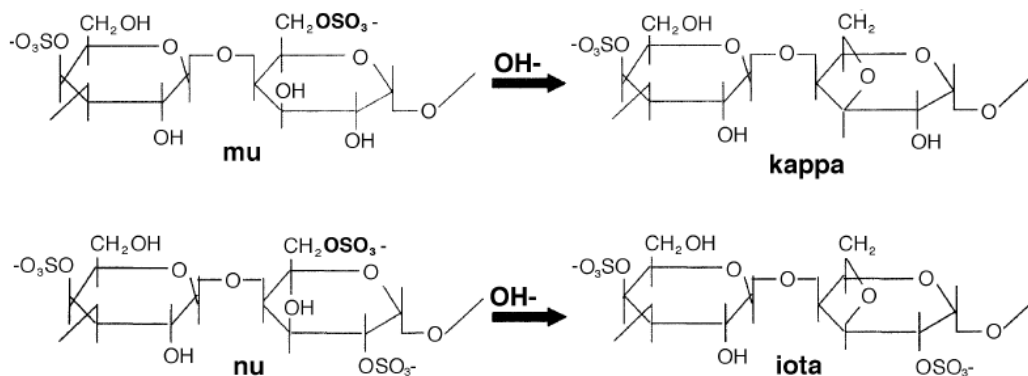
Σχήμα 2.6: Η θεωρία της δομής αυγοθήκης (egg-box) που περιγράφει τη χηλική σύνδεση των ιόντων ασβεστίου με το αλγινικό νάτριο (Draget et al., 2006)

Συ너지στική δράση: Ο σχηματισμός πήγματος με τη χρήση αλγινικών αλάτων σε όξινες συνθήκες είναι γενικά δύσκολος. Αντίθετα, η χρήση πηκτινών παρουσία κατιόντων ασβεστίου σε όξινες συνθήκες οδηγεί σε σχηματισμό πήγματος. Η χρήση μιγμάτων αλγινικών αλάτων - πηκτίνης συμβάλλει στο σχηματισμό πολύ σταθερών πηγμάτων σε χαμηλές τιμές pH, εξαιτίας της ετερόλογης σύνδεσης των πολυγουλουρονικών τμημάτων (αλγινικά) με πολυγαλακτουρονικά τμήματα χαμηλής πυκνότητας φορτίου (πηκτίνες με υψηλό μεθυλεστερικό περιεχόμενο) (Draget et al., 2006; Draget 2000).

2.1.2.3.2 Καρραγενάνες

Οι καρραγενάνες προέρχονται από τα είδη της *Euchema cottonii* και *Euchema spinosum* συνομοταξίας των *Rhodophyceae*. Διακρίνονται τρεις κύριες μορφές καρραγενάνης: ι-, κ-, και λ-καρραγεννάνη. Η κ-καρραγεννάνη προέρχεται κατά κύριο λόγο από τα είδη *E. cottonii*, *Chondrus crispus*, *Gigartina*, *Furcellaria*, η ι-καρραγεννάνη από τα είδη *E. spinosus* και η λ-καρραγεννάνη από τα είδη *C. crispus*, *Gigartina*, *Furcellaria*. Οι καρραγενάνες αποτελούν μία πολύ βασική ομάδα υδροκολλοειδών λόγω των διαφορετικών λειτουργικών τους ιδιοτήτων π.χ. πάχυνση, γαλακτωματοποίηση, δημιουργία θερμικά αντιστρεπτών πηγμάτων, μεταβολή των χαρακτηριστικών υφής, συνέργεια με πρωτεΐνες και άλλα βιοπολυμερή κτλ.

Δομή και μοριακό βάρος: Η καρραγεννάνη είναι ένα γραμμικό βιοπολυμερές που αποτελείται από μονομερή D-γαλακτόζης και 3,6-ανυδρογαλακτόζης (3,6 AG) συνδεδεμένα με α-(1→3) και β-(1→4) γλυκοζιδικούς δεσμούς και τα οποία μπορεί να είναι σουλφονωμένα ή μη. Τα διάφορα είδη καρραγενάνης προκύπτουν από την αλκαλική κατεργασία πρόδρομων ενώσεων, γνωστών ως μu και νu καρραγενάνες (Σχήμα 2.7). Σε γενικές γραμμές, οι καρραγενάνες διαφέρουν ως προς την 3,6-ανυδρογαλακτόζη και το περιεχόμενο σε θειικό εστέρα. Οι διαφορές αυτές επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργικότητά τους (ενυδάτωση, σχηματισμός πήγματος, υφή, συναίρεση, συνέργεια). Το μέσο μοριακό βάρος των καρραγενανών είναι $M_w = 400.000 - 560.000\text{Da}$, ενώ αυτές περιέχουν σε ποσοστό 5% υλικό χαμηλότερου μοριακού βάρους (<100.000Da) το οποίο σχετίζεται άμεσα με το είδος του άλγεος.



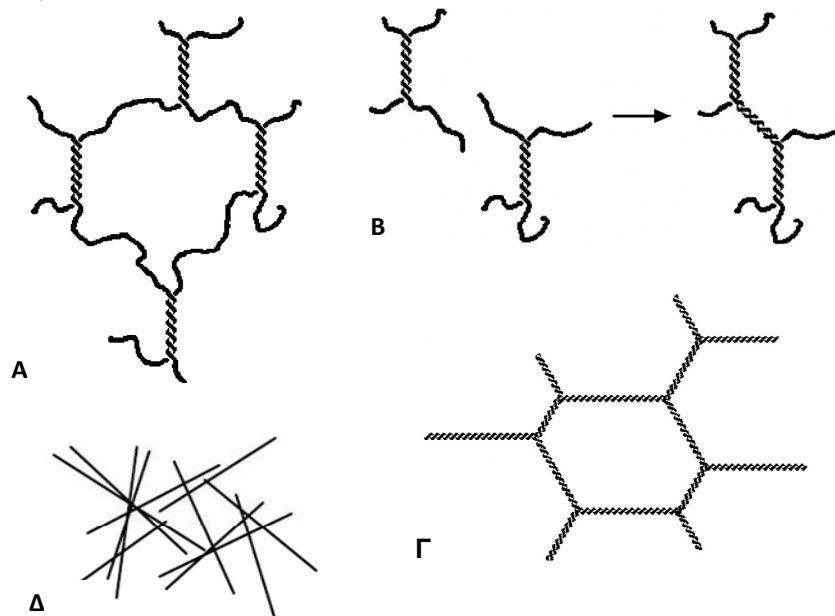
Σχήμα 2.7: Η δομή των κυριότερων καρραγενανών που χρησιμοποιούνται σε προϊόντα γάλακτος (Imeson 2000)

Διαλυτότητα: Οι καρραγενάνες είναι διαλυτές σε πολύ πολικούς διαλύτες, μεταξύ των οποίων και το νερό. Η διασπορά τους και η τυρβώδης ανάδευση είναι απαραίτητα για την αποφυγή θρομβώσεων και τη δημιουργία ιξώδους διαλύματος. Η διασπορά μπορεί να γίνει αρχικά στη θερμοκρασία σχηματισμού του πήγματος και στη συνέχεια να ακολουθήσει η διάλυσή τους με αύξηση της θερμοκρασίας (60-80°C). Η παρουσία κατιόντων Na^+ συμβάλλει στην αύξηση της διαλυτότητας της κ- και ι-καρραγεννάνης σε ψυχρό νερό, ενώ η παρουσία ιόντων Ca^{2+} και K^+ ελαττώνει κατά πολύ τη διαλυτότητά τους.

Ρεολογία: Τα υδατικά διαλύματα των καρραγενανών εμφανίζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά, ως αποτέλεσμα της ικανότητάς τους να διατάσσονται από την τυχαία σπειροειδή τους διαμόρφωση στη διεύθυνση ροής. Η απόκλιση από τη Νευτωνική συμπεριφορά αυξάνεται

με αύξηση της συγκέντρωσης και του μοριακού τους βάρους. Το ιξώδες των υδατικών τους διαλυμάτων αυξάνει με αύξηση της συγκέντρωσης, του βαθμού σουλφόνωσης και του μοριακού βάρους καθώς και με μείωση της θερμοκρασίας και της ιοντικής ισχύος του διαλύματος. Η λ-καρραγενάνη παρέχει γενικά, πιο ιξώδη διαλύματα σε σχέση με τις κ- και ι-καρραγενάνες.

Ικανότητα σχηματισμού πήγματος: Τα θερμά διαλύματα της κ- και ι-καρραγενάνης είναι γνωστά για την ικανότητα σχηματισμού πήγματος κατά την ψύξη τους στους 40-60°C. Τα πήγματα της καρραγενάνης είναι γενικά θερμικά αντιστρεπτά και παρουσιάζουν το φαινόμενο της υστέρησης, δηλαδή διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία σχηματισμού και τήξης του πήγματος. Τα πήγματα αυτά είναι σταθερά σε θερμοκρασία δωματίου, ενώ μπορούν να τακούν σε θερμοκρασία υψηλότερη κατά 5-20°C από την αρχική θερμοκρασία σχηματισμού τους. Η κ-καρραγενάνη γενικά σχηματίζει εύθρυπτα και συνεκτικά πήγματα, ενώ η ι-καρραγενάνη σχηματίζει πολύ ιξώδη και ελαστικά πήγματα. Η παρουσία αλάτων και η ιοντική ισχύς του διαλύματος επηρεάζει καθοριστικά την ενυδάτωση των καρραγενανών, αλλά και τις θερμοκρασίες σχηματισμού και πήξης του πήγματος. Για παράδειγμα, η προσθήκη κατιόντων K^+ σε διάλυμα κ-καρραγενάνης οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας ενυδάτωσης και σχηματισμού πήγματος.



Σχήμα 2.8: Μηχανισμοί δημιουργίας πήγματος από κ-καρραγενάνη. Α = μορφή συρματοπλέγματος, Β = τετραλειτουργικές ελικοειδείς μονάδες, Γ = ινώδες πλέγμα, Δ = πλέγμα γραμμικής διαμόρφωσης (Picullel 2006)

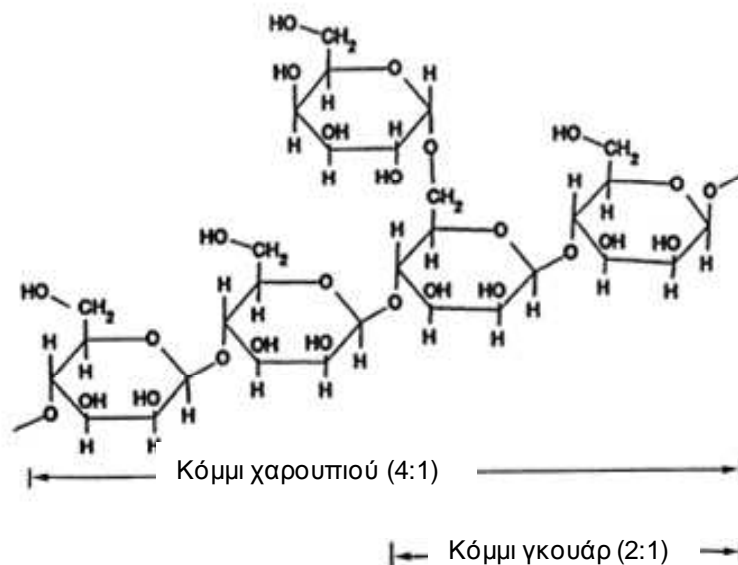
Οι μηχανισμοί που περιγράφουν τη δημιουργία πήγματος στην περίπτωση της κ-καρραγενάνης (ένα υδροκολλειδές μεγάλης σπουδαιότητας στην παραγωγή προϊόντων γάλακτος) βασίζονται σε τέσσερις διαφορετικές διαμορφώσεις κατά την αλληλοσύνδεση των μορίων της. Πιο συγκεκριμένα, η κ-καραγεννάνη (αλλά και η ι-) εμφανίζει ικανότητα διαμόρφωσης σε μορφή διπλής έλικας η οποία συμβάλλει στη δημιουργία τρισδιάστατων δικτύων από αλληλοσυνδεόμενες έλικες. Οι διπλές έλικες της κ-καρραγενάνης μπορούν να συνδεθούν υπό μορφή συρματοπλέγματος (Σχήμα 2.8α), να συνδεθούν ανά δύο δημιουργώντας τετραλειτουργικές ελικοειδείς μονάδες (Σχήμα 2.8β), να σχηματίζουν ένα εκτεταμένο ινώδες πλέγμα (Σχήμα 2.8γ), ή να σχηματίζουν πλέγματα γραμμικής διαμόρφωσης (Σχήμα 2.8δ). Πειραματικά δεδομένα έχουν αποδείξει, ότι κατά τη δημιουργία πήγματος δεν επικρατεί αποκλειστικά καμία από τις παραπάνω διαμορφώσεις, αλλά μίγματα αυτών, ανάλογα με την ιοντική ισορροπία του διαλύματος και τη θερμοκρασία. Η αυξημένη σκληρότητα και συνοχή των πηγμάτων της κ-καρραγενάνης φαίνεται να προκύπτει από το

διαχωρισμό φάσεων που ευνοεί τη δημιουργία περιοχών στις οποίες συσσωματώνονται αδιάλυτες υπερέλικες κ-καρραγενάνης που αυξάνουν τη σταθερότητα του πήγματος. Ένας ακόμη παράγοντας που συνδέεται με το διαχωρισμό φάσεων στα πήγματα της κ-καρραγενάνης είναι και η αυξημένη τάση συναίρεσης λόγω ασυμβατότητας των εμπλουτισμένων σε υπερέλικες περιοχών με την κύρια υδατική φάση (Imeson 2000; Picculell 2006; Therkelsen 1993; Viebke et al., 1994; Meunier et al., 1999; Ikeda et al., 2001).

Συνεργιστική δράση: Η συνεργιστική δράση της κ-καρραγενάνης με το κόμμα χαρουπιού είναι ένας τρόπος για το σχηματισμό ισχυρών και ελαστικών (δύσκολο στην περίπτωση της κ-καρραγενάνης) πηγμάτων. Τα ελεύθερα άκρα των διπλών ελίκων της κ-καρραγενάνης έχουν δυνατότητα να συνδέονται με τα ελεύθερα μη υποκατεστημένα τμήματα της μαννόζης στο κόμμα χαρουπιού. Η ισχύς των πηγμάτων αυτών μεγιστοποιείται σε μίγματα με λόγο κ-καρραγενάνης:κόμμα χαρουπιού 60:40 - 40:60. Επιπλέον, σταθερά ελαστικά πήγματα σχηματίζουν μίγματα κ- και ι-καρραγενάνης, ως αποτέλεσμα της αλληλοσύνδεσης των ελικοειδών τους διαμορφώσεων. Η συνεργιστική δράση της κ-καρραγενάνης με τις πρωτεΐνες γάλακτος είναι εξαιρετικά σημαντική για τη βιομηχανία γάλακτος, και βασίζεται στην ικανότητα αλληλεπίδρασης της κ-καρραγενάνης με τα καζεϊνικά μυκκίλια και τη δημιουργία ασθενών πηγμάτων (βλ. κεφ 3).

2.1.2.3.3 Γαλακτομαννάνες

Οι γαλακτομαννάνες αποτελούν υδατανθρακικό αποθεματικό υλικό των κυτταρικών τοιχωμάτων σπόρων που προέρχονται κατά κύριο λόγο από το χαρουπόδεντρο (*Ceratonia siliqua*) και το φυτό γκουάρ (*Cyamopsis tetragonoloba*). Οι γαλακτομαννάνες αποτελούνται αποκλειστικά από γραμμικές αλυσίδες (1→4)-β-D-μαννάνης, οι οποίες συνδέονται μέσω (1→6)-α-γλυκοζιδικών δεσμών με μόρια D-γαλακτόζης. Η αναλογία μαννόζης-γαλακτόζης είναι διαφορετική στα κόμματα χαρουπιού και γκουάρ και κυμαίνεται από 1.6:1 έως 3.5:1.



Σχήμα 2.9: Η δομή των γαλακτομαννανών (κόμμα γκουάρ και χαρουπιού) (Wielinga 2000)

α) Κόμμα γκουάρ

Δομή και μοριακό βάρος: Η γκουαράνη που είναι ο κύριος πολυσακχαρίτης στο κόμμα γκουάρ, αποτελείται από μία γραμμική αλυσίδα (1→4)-β-D-μαννάνης στην οποία συνδέεται με (1→6)-α-γλυκοζιδικό δεσμό ένα μόριο D-γαλακτόζης, κατά μέσο όρο κάθε δεύτερο άτομο άνθρακα (Σχήμα 2.9). Το κόμμα γκουάρ είναι ένα από τα μεγαλύτερου μοριακού βάρους υδροκolloειδή, με μέση τιμή $M_w = 220.000 - 1.000.000\text{Da}$.

Διαλυτότητα: Το κόμμα γκουάρ διαλύεται σε πολικούς διαλύτες σχηματίζοντας δεσμούς υδρογόνου. Οι οργανοφιλικές μορφές του γκουάρ (π.χ. υδροξυπροπυλικό γκουάρ) διαλύονται

και σε άπολους διαλύτες, ανάλογα με το ποσοστό της υποκατάστασης. Η διαλυτότητα του κόμμεος γκουάρ αυξάνει με μείωση του μεγέθους των σωματιδίων και του pH, και αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης. Ο ρυθμός ενυδάτωσης του γκουάρ ελαττώνεται παρουσία αλάτων και υγροσκοπικών ουσιών π.χ. σακχαρόζη.

Ρεολογία: Το κόμμι γκουάρ και τα παράγωγά του σε υδατικά τους διαλύματα παρουσιάζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά, η οποία γίνεται πιο έντονη με αύξηση της συγκέντρωσης και του μοριακού τους βάρους. Η πάχυνση είναι βασική λειτουργική ιδιότητα του κόμμεος γκουάρ, ως αποτέλεσμα της ραγδαίας αύξησης του ιξώδους, του μεγάλου υδροδυναμικού όγκου και της ικανότητάς του να σχηματίζει υπερμοριακά πλέγματα. Το ιξώδες των διαλυμάτων γκουάρ ελαττώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας λόγω απώλειας υγρασίας από τα μόρια του βιοπολυμερούς και αύξησης της ελαστικότητας της ανθρακικής αλυσίδας.

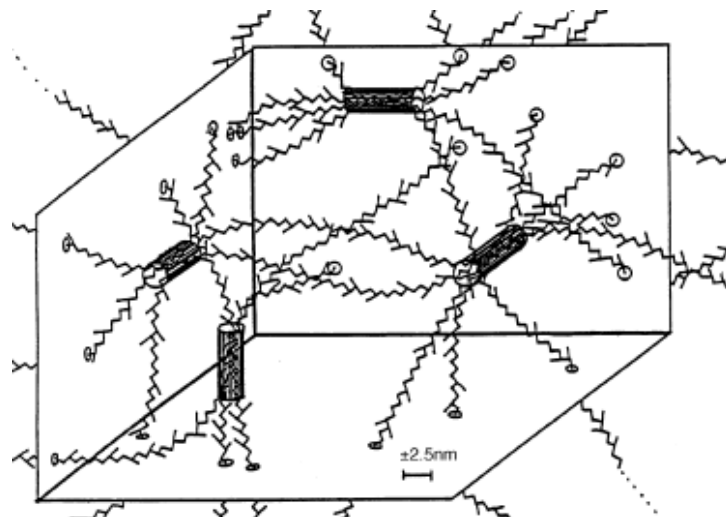
Συνεργιστική δράση: Το κόμμι γκουάρ εμφανίζει συνέργεια με ανιονικές επιφανειοενεργές ενώσεις λόγω προσρόφησης του ανιονικού συστατικού στο πολυμερές και ανάπτυξης ηλεκτροστατικών απώσεων που οδηγούν στην έκταση της διαμόρφωσης. Επιπλέον, το κόμμι γκουάρ παρουσιάζει συνέργεια με άλλα υδροκολλοειδή όπως η ξανθάνη, και η κ-καρραγενάνη (Maier et al. 1993; Gidley & Reid 2006; Wielinga 2000).

Β) Κόμμι χαρουπιού

Δομή και μοριακό Βάρος: Η δομή του κόμμεος χαρουπιού είναι παρόμοια με εκείνη του γκουάρ με μόνη διαφορά ότι τα μόρια της D-γαλακτόζης συνδέονται με την ανθρακική αλυσίδα κάθε 3.9 άτομα άνθρακα και συνεπώς στη διαμόρφωση της δομής του κόμμεος συμμετέχουν λιγότερα μόρια D-γαλακτόζης (Σχήμα 2.9). Το μέσο μοριακό βάρος του κόμμεος χαρουπιού είναι $M_w = 300.000-360.000\text{Da}$.

Διαλυτότητα: Το κόμμι χαρουπιού είναι ελάχιστα διαλυτό σε ψυχρό νερό, ενώ για την πλήρη διάλυση και ενυδάτωσή του απαιτείται θέρμανση έως τους 85°C. Τα υδατικά του διαλύματα είναι αδιαφανή ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους σε κόμμι χαρουπιού. Η δημιουργία μιγμάτων κόμμεος χαρουπιού με μικρές ποσότητες γκουάρ ή σακχάρων αυξάνουν σημαντικά τη διαλυτότητα και την ικανότητα διασποράς του σε ψυχρό νερό.

Ρεολογία: Τα υδατικά διαλύματα του κόμμεος χαρουπιού εμφανίζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά και επιφέρουν πάχυνση, με ιξώδη που είναι λίγο χαμηλότερα από εκείνα του κόμμεος γκουάρ.



Σχήμα 2.10: Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας πηγμάτων κόμμεος χαρουπιού λόγω της ικανότητας αλληλοσύνδεσης των πολυσακχαριτικών του αλυσών (Wielinga 2000)

Συνεργιστική δράση: Το κόμμι χαρουπιού παρουσιάζει συνέργεια με άλλα υδροκολλοειδή όπως η κ-καρραγενάνη, η ξανθάνη και το άγαρ. Αν και το κόμμι χαρουπιού δεν έχει ικανότητα σχηματισμού πήγματος, παρουσία άλλων υδροκολλοειδών με ικανότητα σχηματισμού (κ-

καραγεννάνη) ή μη (ξανθάνη) οδηγεί στη δημιουργία ελαστικών και πολύ σταθερών πηγμάτων. Είναι χαρακτηριστικό ότι η ξανθάνη παρόλο που είναι ένα βιοπολυμερές το οποίο ακόμη και σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις δεν σχηματίζει πήγματα, σε ολική συγκέντρωση 0.5% με κόμμι χαρουπιού σχηματίζει θερμικά αντιστρεπτά, σκληρά και ελάχιστα ελαστικά πήγματα. Τα χαρακτηριστικά των πηγμάτων αυτών μεταβάλλονται με αλλαγή της θερμοκρασίας, του pH και του λόγου ξανθάνης-κόμμος χαρουπιού.

Σχηματισμός κρυσπηγμάτων: Μία πολύ ιδιαίτερη ιδιότητα που έχει μεγάλη τεχνολογική σημασία στην παραγωγή κατεψυγμένων προϊόντων, είναι η ικανότητα του κόμμος χαρουπιού να σχηματίζει κρυσπηγμάτων. Τα υδατικά διαλύματα κόμμος χαρουπιού όπως επίσης και τα διαλύματά του με σακχαρόζη, άλατα ή πρωτεΐνες γάλακτος, εμφανίζονται ασταθή, όταν υποβάλλονται σε διαδοχικούς κύκλους κατάψυξης - τήξης, λόγω της ικανότητας των μορίων του κόμμος χαρουπιού να αλληλοσυνδέονται σχηματίζοντας ασθενή πήγματα (Σχημα 2.10). Το φαινόμενο είναι καθοριστικής σημασίας σε προϊόντα που το κόμμι γκουάρ προστίθεται ως μέσο σταθεροποίησης και τα οποία υποβάλλονται σε θερμοκρασιακές μεταβολές π.χ. κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος (βλ. κεφ. 4) (Maier et al., 1993; Reid and Edwards 2006; Wieling 2000; Patmore et al., 2003; Rogers et al., 2006).

2.1.2.3.4 Παράγωγα κυτταρίνης

Η κυτταρίνη είναι το πιο διαδεδομένο δομικό συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των ανώτερων φυτών και ορισμένων μικροοργανισμών. Η κυτταρίνη είναι ένα γραμμικό βιοπολυμερές που αποτελείται από μονομερή D-γλυκόζης συνδεδεμένα μέσω β-γλυκοζιτικών δεσμών. Η β-(1-4) διαμόρφωση της κυτταρίνης είναι ο παράγοντας που δικαιολογεί την άκαμπτη και γραμμική μορφή της. Ο βαθμός πολυμερισμού των μονομερών καθορίζει το μέσο μοριακό βάρος της κυτταρίνης. Η κυτταρίνη είναι ένα υδροσκοπικό υλικό, αδιάλυτο στο νερό αν και ενυδατώσιμο, ενώ διαλύεται στα οξέα. Η πολυμορφική της φύση (ιδιαίτερα διατεταγμένες κρυσταλλικές ζώνες παρεμβάλλονται σε ακανόνιστες άμορφες περιοχές) επηρεάζει τις χημικές ιδιότητες της κυτταρίνης, γεγονός ιδιαίτερης σημασίας κατά την παραγωγή χημικά τροποποιημένων κυτταρινών.

Τα βασικά παράγωγα της κυτταρίνης διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: α) τις φυσικά τροποποιημένες κυτταρίνες και β) τις χημικά τροποποιημένες κυτταρίνες.

2.1.2.3.4.1 Φυσικά τροποποιημένες κυτταρίνες

α) Μικροϊνώδης κυτταρίνη

Η μικροϊνώδης κυτταρίνη παράγεται κατά τη διέλευση πολτού κυτταρίνης διαμέσου λεπτής οπής υπό την επίδραση υψηλής διάτμησης και πίεσης. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και ελαττώνεται η τάση καταβύθισης του κυτταρινικού υλικού. Τα αιωρήματα της μικροϊνώδους κυτταρίνης είναι ψευδοπλαστικά και ήπια θιξοτροπικά, ενώ το ιξώδες τους δεν επηρεάζεται από την άνοδο της θερμοκρασίας.

β) Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη

Η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη (MCC) παράγεται με κατεργασία της κυτταρίνης με υδροχλωρικό οξύ, προκειμένου να διαλυτοποιηθεί το άμορφο μέρος. Το απομένον κρυσταλλικό μέρος της κυτταρίνης παραλαμβάνεται υπό μορφή λεπτών κρυστάλλων. Τα υδατικά διαλύματα της μικροκρυσταλλικής κυτταρίνης εμφανίζουν ψευδοπλαστική και θιξοτροπική συμπεριφορά, ενώ το ιξώδες είναι ανεξάρτητο του pH και της θερμοκρασίας.

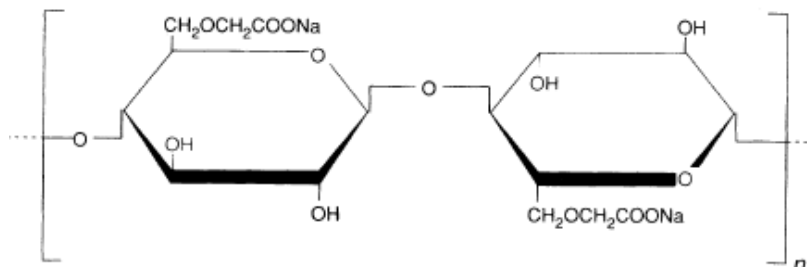
2.1.2.3.4.2 Χημικά τροποποιημένες κυτταρίνες

Αν και υπάρχει ένα μεγάλος αριθμός από χημικά τροποποιημένες κυτταρίνες, μόνο οι κυτταρινικοί αιθέρες ενδείκνυνται για χρήση σε τρόφιμα. Η χημική τροποποίηση της κυτταρίνης πραγματοποιείται σε τρία κύρια στάδια: την παρασκευή της αλκαλικής κυτταρίνης, την αλκυλίωση ή την υδροξυαλκυλίωση της αλκαλικής κυτταρίνης και τον καθαρισμό του τελικού προϊόντος. Οι λειτουργικές ιδιότητες των παραγώγων της κυτταρίνης εξαρτώνται από το βαθμό υποκατάστασης (DS) και το ποσοστό μοριακής υποκατάστασης (MS). Ο βαθμός υποκατάστασης χαρακτηρίζει τον αριθμό υποκατάστασης των υδροξυλομάδων των μονομερών

της κυτταρίνης, ενώ το ποσοστό της μοριακής υποκατάστασης χαρακτηρίζει τον αριθμό των μορίων του μέσου αλκυλίωσης ανά μόριο γλυκόζης στην κυτταρινική αλυσίδα.

α) Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη

Δομή και βαθμός υποκατάστασης: Η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC) είναι ένα ανιονικό, γραμμικό πολυμερές υπό μορφή οξέος ή άλατος που παράγεται με αιθεροποίηση της αλκαλικής κυτταρίνης με μονοχλωροοξικό νάτριο (Σχήμα 2.11). Ο βαθμός υποκατάστασης της καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης κυμαίνεται από 0.4 έως 1.5.



Σχήμα 2.11: Μονομερές καρβοξυλομεθυλοκυτταρινικού κόμματος (Coffey et al., 2006)

Διαλυτότητα: Το άλας νατρίου της CMC χρησιμοποιείται περισσότερο από την όξινη μορφή της, λόγω της υψηλής διαλυτότητάς του σε νερό. Η διαλυτότητα της καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης επηρεάζεται επίσης από το βαθμό υποκατάστασης. Χαμηλές τιμές DS συνεπάγονται αλκυλίωση κυρίως του άμορφου μέρους και της επιφάνειας του κρυσταλλικού τμήματος της κυτταρίνης, με αποτέλεσμα την περιορισμένη διαλυτότητα της CMC στο νερό. Η αύξηση του DS επιφέρει περαιτέρω διάσπαση του κρυσταλλικού τμήματος της κυτταρίνης και κατά συνέπεια αύξηση της διαλυτότητας στο νερό. Γενικά, μία τιμή $DS > 0.95-1.00$ είναι επαρκής για την πλήρη διαλυτοποίηση της CMC στο νερό.

Ρεολογία: Τα υδατικά διαλύματα της CMC παρουσιάζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά που επηρεάζεται άμεσα από το βαθμό υποκατάστασης. Για τιμές $DS > 1.0$ τα διαλύματα της CMC είναι νευτονικά, δεδομένου ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων της είναι πολύ μικρή. Η θιξοτροπική συμπεριφορά εμφανίζεται σε χαμηλές τιμές $DS < 0.7$, λόγω δημιουργίας δεσμών υδρογόνου στις περιοχές όπου υπάρχουν μη υποκατεστημένες υδροξυλομάδες. Η δημιουργία δεσμών υδρογόνου σχετίζεται επίσης και με τη δημιουργία ασθενούς πήγματος. Το ιξώδες των υδατικών διαλυμάτων της CMC ελαττώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας και με μείωση της συγκέντρωσής τους. Η προσθήκη αλάτων ή σακχάρων στο υδατικό διάλυμα πριν από την ενυδάτωση της καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης οδηγεί σε σημαντική μείωση του ιξώδους.

Β) Μεθυλοκυτταρίνες

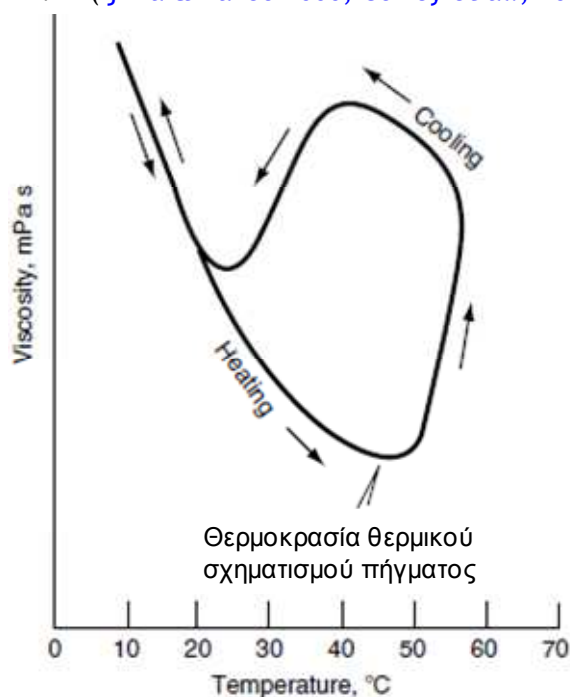
Ο όρος μεθυλοκυτταρίνες αναφέρεται σε μία ευρύτερη ομάδα παραγώγων της κυτταρίνης, όπως η μεθυλοκυτταρίνη (MC), η υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (HPMC), και η υδροξυαιθυλομεθυλοκυτταρίνη (HEMC). Από χημικής πλευράς, οι μεθυλοκυτταρίνες είναι β-D-γλυκάνες στις οποίες μερικές από τις υδροξυλομάδες έχουν υποστεί αιθεροποίηση. Μερικές από τις λειτουργικές δράσεις των μεθυλοκυτταρινών είναι η πάχυνση, η επιφανειακή ενεργότητα, η ικανότητα σχηματισμού μεμβράνης, και η ικανότητα σχηματισμού πηγμάτων που τήκονται κατά την ψύξη τους.

Διαλυτότητα: Οι μεθυλοκυτταρίνες διαλύονται σε ψυχρό νερό, σχηματίζοντας ομαλής ροής διαυγή διαλύματα. Η διαλυτότητα δεν επηρεάζεται από το βαθμό υποκατάστασης και το pH, ενώ αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Η εφαρμογή έντονης ανάδευσης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αφρισμού, ενώ για την αποφυγή θρομβώσεων συνιστάται η διάλυσή τους σε αλκοόλη ή γλυκόλη πριν τη διασπορά τους στο νερό.

Ρεολογία: Η ρεολογική συμπεριφορά των μεθυλοκυτταρινών (ιξώδες, ψευδοπλαστικότητα, και θιξοτροπία) λόγω του τρόπου παραγωγής τους ελέγχεται από το μοριακό τους βάρος, το βαθμό πολυμερισμού και την ομοιογένεια της χημικής υποκατάστασης. Σε αντίθεση με τις

καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνες, το ιξώδες των μεθυλοκυτταρινών αυξάνει με αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, μία ακόμη διαφορά των μεθυλοκυτταρινών είναι ότι τα υδατικά διαλύματά τους αν και ψευδοπλαστικά, δεν χαρακτηρίζονται από σημαντική θιξοτροπία.

Θερμική ζελοποίηση: Μία χαρακτηριστική ιδιότητα των μεθυλοκυτταρινών είναι η ικανότητα σχηματισμού πηγμάτων, όταν τα διαλύματά τους (>1.5% w/w) υποβάλλονται σε θέρμανση. Η θερμοκρασία σχηματισμού για τη MC και την HPMC κυμαίνεται από 50 έως 85°C, ενώ η ισχύς των πηγμάτων κυμαίνεται από ασθενές έως ισχυρό. Η θερμική ζελοποίηση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, με κυριότερους τη συγκέντρωση των μεθυλομάδων και το λόγο μεθυλομάδων: υδροξυπροπυλομάδων. Η αύξηση του αριθμού των μεθυλομάδων οδηγεί σε ισχυρότερα πηγμάτα, ενώ η προσθήκη των υδροξυλοπροπυλομάδων επιφέρει αύξηση της θερμοκρασίας του σημείου σχηματισμού πηγματος και μείωση της σταθερότητας του πηγματος όπως φαίνεται στο σχήμα 2.12 (Ijima & Takeo 2000; Coffey et al., 2006).



Σχήμα 2.12: Επίδραση της θερμοκρασίας στο ιξώδες υδατικού διαλύματος μεθυλοκυτταρίνης (2% w/w, Methocel A, The Dow Company)

2.1.3.3.5 Κόμμι ξανθάνης

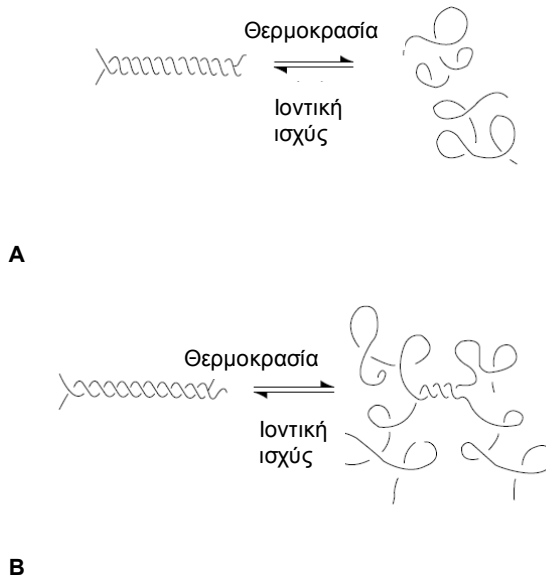
Η ξανθάνη είναι ένας εξωκυτταρικός πολυσακχαρίτης που εκκρίνεται από το μικροοργανισμό *Xanthomonas campestris* ο οποίος απαντάται στα φύλλα φυτών της συνομοταξίας *Brassica* π.χ. κράμβη. Βιομηχανικά η ξανθάνη παρασκευάζεται από την αερόβια ζύμωση του υποστρώματος γλυκόζης, πηγών αζώτου και ιχνοστοιχείων, παστερίωση του υποστρώματος, καταβύθιση της ξανθάνης με ισοπροπυλική αλκοόλη και τελικά καθαρισμό, ξήρανση και άλεση του στερεού προϊόντος.

Δομή και μοριακό βάρος: Η ξανθάνη αποτελείται από μία γραμμική ανθρακική αλυσίδα από μόρια D-γλυκόζης συνδεδεμένα με (1→4)-β-γλυκοζιτικούς δεσμούς (όπως στην περίπτωση της κυτταρίνης). Σε κάθε C3 άτομο άνθρακα συνδέεται μία πλευρική τρισακχαριτική αλυσίδα αποτελούμενη από μία ομάδα γλυκουρονικού οξέος συνδεδεμένη ξεχωριστά με δεσμούς (1→4) και (1→2) με δύο μόρια μαννόζης. Το μέσο μοριακό βάρος κυμαίνεται από 300.000 έως 7.500.000Da, ανάλογα με τις διαμορφώσεις της (απλές ή οι διμερείς έλικες).

Διαλυτότητα: Η ξανθάνη διαλύεται εύκολα σε ψυχρό και θερμό νερό παρέχοντας πολύ ιξώδη διαλύματα ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Εξαιτίας της ταχείας ανάπτυξης του ιξώδους, παράγοντες όπως η καλή διασπορά, ο ρυθμός ανάδευσης, η σύσταση και η φύση του

διαλύτη, και το μέγεθος των σωματιδίων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την αποφυγή θρομβώσεων.

Ρεολογία: Τα υδατικά διαλύματα ξανθάνης παρουσιάζουν έντονα ψευδοπλαστική συμπεριφορά. Η ψευδοπλαστικότητα προέρχεται από την ικανότητα των μορίων της ξανθάνης να συγκεντρώνονται μέσω δημιουργίας δεσμών υδρογόνου και πολυμερών ελικοειδών διαμορφώσεων. Σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης, τα μόρια της ξανθάνης τείνουν να σχηματίσουν γραμμικά διατεταγμένες διμερείς έλικες οι οποίες αυξάνουν τη συνοχή του διαλύματος. Η αύξηση του ρυθμού διάτμησης οδηγεί σε απότομη μετάβαση από την ελικοειδή - κανονική διαμόρφωση των μορίων της ξανθάνης σε μία τυχαία σπειροειδή ή διμερή σπειροειδή-ελικοειδή διαμόρφωση των μορίων της, με αποτέλεσμα την απότομη μείωση του ιξώδους και την αύξηση της θιξοτροπικής συμπεριφοράς. Η μετάβαση κανονικής - τυχαίας διαμόρφωσης της ξανθάνης είναι αντιστρεπτή και εκτός από τη διάτμηση, η θερμοκρασία και η ιοντική ισχύς διαλύματος παίζουν καθοριστικό ρόλο. Ειδικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας ή η μείωση της ιοντικής ισχύος επιφέρει ολική ή μερική αποδίπλωση της διπλής έλικας της ξανθάνης και μετάβαση σε μία τυχαία σπειροειδή ή εκταταμένη διμερή ελικοειδή-σπειροειδή διαμόρφωση (Σχήμα 2.13).



Σχήμα 2.13: Αλλαγή διαμορφώσεων της ξανθάνης ως αποτέλεσμα της μεταβολής της θερμοκρασίας και της ιοντικής ισχύος των διαλυμάτων της. A = μετάβαση από διπλή έλικα σε τυχαία σπείρα, B = μετάβαση από διπλή έλικα σε διμερή ελικοειδή - σπειροειδή διαμόρφωση (Morris 2006)

Συνεργιστική δράση: Η ξανθάνη παρουσιάζει αξιόλογη συνεργιστική δράση με τις γαλακτομαννάνες (κόμμι γκουάρ και χαρουπιού) και τις γλυκομαννάνες (κόμμι κοηζακ). Η συνέργεια της ξανθάνης με το κόμμι χαρουπιού οδηγεί, όπως αναφέρθηκε, σε σχηματισμό ισχυρών διαφανών πηγμάτων. Εκτός από την αναλογία ξανθάνης:γαλακτομαννάνης, ο σχηματισμός του πηγματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία (σχηματίζεται ταχέως κατά την ψύξη), αλλά και από το χρόνο (η σταθερότητα και η ισχύς αυξάνει με την πάροδο του χρόνου). Σε αντίθεση με το κόμμι χαρουπιού, το κόμμι γκουάρ δεν έχει την ικανότητα σχηματισμού πηγματος με την ξανθάνη, γεγονός που υποδεικνύει ότι η αύξηση του λόγου μαννάνης:γαλακτόζης και κατ' επέκταση η τάση σχηματισμού αλληλοσυνδέσεων των μορίων της γαλακτομαννάνης είναι καθοριστικής σημασίας για τη δημιουργία πηγματος. Έτσι, η ενζυμική κατεργασία του κόμμι γκουάρ με β-γαλακτοζιδάση μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό πηγματος λόγω μείωσης του λόγου μαννάνης:γαλακτόζης. Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας για το σχηματισμό πηγματος είναι και η κατανομή των πλευρικών ομάδων γαλακτόζης. Γενικά, η αλληλοσύνδεση των μορίων των γαλακτομαννών και κατά συνέπεια ο

σχηματισμός πήγματος λαμβάνει χώρα στα τμήματα της ανθρακικής αλυσίδας, όπου δεν παρατηρούνται συνδέσεις με τα μόρια της γαλακτόζης (Morris, 2006; Sworn, 2000; Kang & Pettitt, 1993).

2.1.3.3.6 Διαιτητικές ίνες

Γενικά: Ο όρος διαιτητικές ίνες είναι γενικός και αναφέρεται σε μία ευρύτερη ομάδα χημικών ενώσεων αποτελούμενη από χημικώς ετερογενείς ενώσεις όπως κυτταρίνες, ημικυτταρίνες, πηκτίνες, λιγνίνες, κόμμεα και πολυσακχαρίτες. Οι κυτταρίνες, οι ημικυτταρίνες και οι πηκτίνες είναι γνωστές επίσης ως δομικοί πολυσακχαρίτες, αφού αποτελούν δομικά συστατικά των τοιχωμάτων των φυτών (Thebaudin et al., 1997). Ένας άλλος ορισμός των διαιτητικών ινών περιλαμβάνει φυτικής προέλευσης συστατικά τα οποία δεν είναι αφομοιώσιμα από το λεπτό έντερο δηλαδή: «διαιτητικές ίνες είναι οι πολυσακχαρίτες, οι ολιγοσακχαρίτες, και τα υδροφιλικά τους παράγωγα τα οποία δεν μπορούν να διασπαστούν από τα ένζυμα που εκκρίνει ο ανθρώπινος οργανισμός κατά την πέψη» (Thebaudin et al., 1997).

Για πρακτικούς και αναλυτικούς λόγους ο όρος διαιτητικές ίνες αναφέρεται στο ολικό περιεχόμενο σε διαιτητικές ίνες (TDF) το οποίο διαχωρίζεται σε κλάσματα διαλυτών (SF) και αδιάλυτων ινών (IF). Ο διαχωρισμός αυτός αφορά τόσο τις φυσικοχημικές και λειτουργικές ιδιότητες των ινών όσο και τις φυσιολογικές και διατροφικές (Dreher, 2001; Thebaudin et al., 1997). Οι διαλυτές ίνες αποτελούνται κατά κύριο λόγο από μη κυτταρινικούς πολυσακχαρίτες όπως πηκτίνη, κόμμεα και εξωπολυσακχαρίτες. Οι διαλυτές ίνες αποτελούν το 25% των ολικών διαιτητικών ινών, ενώ χαρακτηρίζονται από την ικανότητα σχηματισμού πολυσακχαριτικών πηγμάτων και δικτύων και την ικανότητα αύξησης του ιξώδους (πάχυνση). Οι αδιάλυτες ίνες αποτελούν το 75% των διαιτητικών ινών, αποτελούνται κατά κύριο λόγο από κυτταρίνες, ημικυτταρίνες και λιγνίνες, χαρακτηρίζονται από αξιόλογες φυσιολογικές ιδιότητες, ενώ έχουν πολύ υψηλή υγροσκοπικότητα, αφού μπορούν να απορροφούν υγρασία έως και 20 φορές περισσότερο από το βάρος τους (Dreher, 2001; Gelroth & Ranhotra, 2001).

Τεχνολογικές ιδιότητες: Η ικανότητα ενυδάτωσης των διαιτητικών ινών είναι βασική λειτουργική παράμετρος, λόγω της άμεσης επίδρασής της στην υφή των συστημάτων τροφίμων. Η ικανότητα ενυδάτωσης περιγράφεται μέσω τεσσάρων μετρήσιμων παραμέτρων: την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας (WHC), την ικανότητα δέσμευσης υγρασίας (WBC), τη διόγκωση και τη διαλυτότητα. Οι τρεις πρώτες ιδιότητες αναφέρονται κατά κύριο λόγο στις αδιάλυτες ίνες. Η σύνδεση της υγρασίας στις αδιάλυτες διαιτητικές ίνες μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω δύο διαφορετικών μηχανισμών: σύνδεση λόγω επιφανειακής τάσης στους πόρους των ινών και σύνδεση μέσω της δημιουργίας δεσμών υδρογόνου, ιοντικών δεσμών ή υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων. Παράμετροι όπως η χημική δομή της ίνας, η συνδεσή της με άλλα βιοπολυμερή, η κοκκομετρία, το πορώδες, το είδος του διαλύτη και η θερμοκρασία επηρεάζουν σημαντικά την ικανότητα σύνδεσης υγρασίας. Η διαλυτότητα και η ικανότητα διόγκωσης είναι αλληλένδετες: η διόγκωση είναι το πρώτο στάδιο για τη διάλυση των ινών. Παρόλα αυτά σε ορισμένες περιπτώσεις η διαλυτοποίηση δεν είναι δυνατή (λόγω δημιουργίας σύνθετων τρισδιάστατων διαμορφώσεων) αν και έχει επέλθει διόγκωση. Η δομή των ινών καθορίζει σημαντικά την ικανότητα διάλυσης, αφού η αύξηση του βαθμού διακλάδωσης αυξάνει τη διαλυτότητά τους. Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τη διαλυτότητα είναι και η ιοντική ισχύς. Η παρουσία φορτισμένων ομάδων ουρονικού,θειικού ή πυροσταφυλικού οξέος αυξάνει σημαντικά τη διαλυτότητα των ινών. Επιπλέον, το pH και η συγκέντρωση των αλάτων επηρεάζουν τη διαλυτότητα των διαιτητικών ινών. Οι ίνες μήλου και σακχαρότευτλου παρουσιάζουν τα υψηλότερα ποσοστά σύνδεσης υγρασίας ανάλογα με την κοκκομετρία τους (Dreher, 2001; Thebaudin et al., 1997; Gelroth & Ranhotra, 2001).

Η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας από τις διαιτητικές ίνες καθορίζει και την ικανότητά τους να τροποποιούν και να βελτιώνουν την υφή και να αυξάνουν το ιξώδες των τροφίμων. Οι μηχανισμοί που εμπλέκονται στη σταθεροποίηση και βελτίωση της υφής είναι διαφορετικοί και περιλαμβάνουν: πάχυνση (αύξηση του μακροϊξώδους της κύριας υδατικής φάσης),

σχηματισμός πήγματος, γαλακτωματοποίηση (σταθεροποίηση κολλοειδών συστημάτων όπως γαλακτωμάτων και αφρών), δημιουργία αλληλοσυνδέσεων και πλεγμάτων κυτταρινικής - ημικυτταρινικής προέλευσης, αύξηση της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας με τις πρωτεΐνες, έλεγχος των φαινομένων διάχυσης υγρασίας, κρυσπρωστασία κ.α. (Dreher, 2001; Thebaudin et al., 1997; Gelroth & Ranhotra, 2001; Soukoulis et al., 2009).

Διατροφικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά: Σε γενικές γραμμές η φυσιολογική δράση των διαιτητικών συνοψίζεται στα όσα έχουν ήδη αναφερθεί στην περίπτωση της ινουλίνης και της ολιγοφρουκτόζης. Οι κυριότερες διατροφικές και φυσιολογικές ιδιότητες των διαιτητικών ινών περιλαμβάνουν: χαμηλή θερμιδική αξία, έλεγχο του μεταβολισμού των λιπαρών, έλεγχο του επιπέδου τριγλυκεριδίων και χοληστερόλης στο αίμα, πρόληψη του καρκίνου του παχέος εντέρου, βελτίωση της λειτουργίας του πεπτικού συστήματος. Ωστόσο πρέπει να αναφερθεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η παρουσία παρεμποδιστών στις διαιτητικές ίνες π.χ. πρωτεΐνες μπορεί να οδηγήσει σε προβληματική απορρόφηση ορισμένων βιταμινών π.χ. D και E, καθώς και ιχνοστοιχείων π.χ. σίδηρος (Thebaudin et al., 1997).

2.1.3.4 Πολυόλες

Με τον όρο πολυόλες χαρακτηρίζονται σακχαροαλκοόλες ή πολυδριλικές αλκοόλες που παράγονται από τα σάκκαρα με αναγωγή μιας αλδεΐδομάδας ή κετονομάδας. Η πλειονότητα των πολυολών απαντά στη φύση σε καρπούς φρούτων και λαχανικών. Πολυόλες όπως η ερυθριτόλη, η σορβιτόλη, η ξυλιτόλη, και η μαννιτόλη προέρχονται από φυσικές ουσίες, ενώ η λακτιτόλη, η ισομαλιτόλη και το υδρογονωμένο υδρολυμένο άμυλο (HSH) είναι συνθετικές ενώσεις (Embuscado, 2006).

Αν και κάθε πολυόλη έχει διαφορετική χημική δομή και φυσικές ιδιότητες, οι πολυόλες ως ομάδα υδατανθρακικών ενώσεων παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά όπως: είναι χημικά και θερμικά σταθερές, δεν συμμετέχουν σε αντιδράσεις μη ενζυμικού μαυρίσματος (Maillard), χαρακτηρίζονται από χαμηλή θερμιδική αξία, έχουν γλυκύτητα συγκρίσιμη με αυτήν της σακχαρόζης, δεν προκαλούν τερηδόνα (Embuscado, 2006; Roquette, 2001).

Χημική δομή - παρασκευή: Οι πολυόλες μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες: α) υδρογονωμένοι μονοσακχαρίτες, β) υδρογονωμένοι δισακχαρίτες και γ) μίγματα υδρογονωμένων σακχάρων και πολυσακχαριτών. Η σορβιτόλη προέρχεται από την υδρογόνωση της γλυκόζης και πρόκειται για πολυόλη με έξι άτομα άνθρακα.

Η ερυθριτόλη είναι πολυόλη με τέσσερα ατόμων άνθρακα και παράγεται μέσω βιοχημικής διεργασίας (ζύμωση με χρήση του ωσμώφιλου ζυμομύκητα *Moniliella sp.* και *Trichosporonoides sp.*) με πρώτη ύλη το άμυλο. Η D-γλυκόζη που παράγεται από την υδρόλυση του αμύλου ζυμώνεται από τους ωσμωανθεκτικούς μικροοργανισμούς παράγοντας ένα μίγμα από ερυθριτόλη και μικρές ποσότητες γλυκερίνης και ριβιτόλης (Wang, 2004). Το τελικό προϊόν είναι διαθέσιμο σε κρυσταλλική μορφή.

Η ξυλιτόλη είναι μία πολυόλη με πέντε άτομα άνθρακα η οποία προέρχεται από την υδρογόνωση της D-ξυλόζης. Για το λόγο αυτό, οι κύριες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή της ξυλιτόλης είναι προϊόντα υδρόλυσης ξύλου, φλοιών αμυγδάλου, άχυρο, κατάλοιπα σακχαροκάλαμου, και παραπροϊόντα αραβοσίτου. Η ξυλιτόλη απαιτεί ιδιαίτερη κατεργασία εξευγενισμού (χρωματογραφική κλασμάτωση, συμπύκνωση και κρυστάλλωση), γεγονός που συμβάλλει στο αυξημένο κόστος της (Wang, 2004; Embuscado, 2006).

Η μαλιτόλη προέρχεται από τη σύνδεση των μορίων γλυκόζης και σορβιτόλης με 1,4 γλυκοζιτικό δεσμό. Παράγεται από την υδρογόνωση αμυλοσιροπίων υψηλής περιεκτικότητας σε μαλτόζη με διαδοχικό εξευγενισμό και συμπύκνωση. Η μαλιτόλη απαντάται σε υγρή ή κρυσταλλική μορφή και μπορεί να περιέχει μικροποσότητες σορβιτόλης, μαλτοτριόλης, και υδρογονωμένου υδρολυμένου αμύλου (Wang, 2004; Heume & Rapaille, 1997).

Δεδομένου ότι η μαννόζη δεν είναι διαθέσιμη βιομηχανικά, η μαννιτόλη παράγεται από την υδρογόνωση της φρουκτόζης (προερχόμενη από τη σακχαρόζη ή την υδρόλυση του

αμύλου). Η υδρογόνωση της σακκαρόζης ή ο ισομερισμός της δεξτρόζης προς φρουκτόζη και κατόπιν η αναγωγή της τελευταίας οδηγούν στο σχηματισμό μίγματος μαννιτόλης και σορβιτόλης. Η μαννιτόλη παραλαμβάνεται σε καθαρή μορφή με κλασματική κρυστάλλωση, αν και η απόδοση δεν υπερβαίνει το 15 - 18% (Wang, 2004).

Η ισομαλιτόλη παράγεται από τη σακκαρόζη σε μία διαδικασία δύο σταδίων: ενζυμική τρανσγλυκοζιδίωση προς ισομαλιουλόζη και υδρογόνωση της ισομαλιουλόζης προς ισομαλιτόλη. Στην πράξη η ισομαλιτόλη είναι ένα μίγμα από δύο ισομερή: διϋδρική 1-O-α-D-γλυκοπυρανοζυλο-D-μαννιτόλη και 6-O-α-D-γλυκοπυρανοζυλο-D-σορβιτόλη (Willibald-Ettle & Schiweck, 1997).

Η λακτιτόλη παρασκευάζεται από την υδρογόνωση της λακτόζης χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη παραπροϊόντα της γαλακτοβιομηχανίας (ορός γάλακτος). Διαφορετικοί τύποι λακτιτόλης παράγονται ανάλογα με τις συνθήκες κρυστάλλωσης. Η άνυδρη, μονοϋδρική και διϋδρική λακτιτόλη αποτελούν τις κρυσταλλικές εμπορικές μορφές της λακτιτόλης (Wang, 2004; Embuscado, 2006).

Το υδρογονωμένο υδρολυμένο άμυλο (HSH) αναφέρεται σε μία εκτεταμένη ομάδα προϊόντων που παραλαμβάνονται από την υδρογόνωση των ολιγοσακχαριτών και πολυσακχαριτών που σχηματίζονται κατά την υδρόλυση του αμύλου (πατάτας, σιταριού ή αραβοσίτου). Η ταξινόμηση των HSH γίνεται ανάλογα με το είδος της πολυόλης που βρίσκεται σε περίσσεια. Έτσι π.χ. το HSH με 50% τουλάχιστον περιεκτικότητα σε σορβιτόλη είναι γνωστό ως σιρόπι σορβιτόλης. Τα υδρογονωμένα σιρόπια γλυκόζης (HGS) περιέχουν σορβιτόλη, μαλιτόλη, μαλτοτριόλη και υδρογονωμένους πολυσακχαρίτες και παράγονται από την υδρογόνωση αμυλοσιροπίων με υψηλή περιεκτικότητα σε μαλτόζη (Embuscado, 2006; Wang, 2004).

Τεχνολογικές ιδιότητες: Οι πολυόλες έχουν κατά 40% χαμηλότερη θερμιδική αξία σε σχέση με τη σακκαρόζη. Αν και η γλυκαντική τους ισχύς είναι σε γενικές γραμμές μικρότερη από εκείνη της σακκαρόζης (Πίνακας 2.1), το γλυκαντικό τους προφίλ είναι παρόμοιο με της σακκαρόζης. Οι πολυόλες, οι μονοσακχαρίτες και οι δισακχαρίτες είναι οι μοναδικές ενώσεις που ενισχύουν τη γλυκιά γεύση και παρέχουν καλύτερη και πιο σαφή αντίληψη της γλυκύτητας σε σχέση με άλλες γλυκαντικές ύλες π.χ. εναλλακτικά σάκχαρα (Birch, 1999). Η ξυλιτόλη και τη μαλιτόλη έχουν την υψηλότερη γλυκαντική ισχύ (σχεδόν ισοδύναμη της σακκαρόζης) ενώ η λακτιτόλη τη χαμηλότερη. Ορισμένες πολυόλες π.χ. ξυλιτόλη, μαννιτόλη, σορβιτόλη παρέχουν μία δροσερή αίσθηση ως αποτέλεσμα της χαμηλής ενθαλπίας διάλυσης. Ωστόσο, η ερυθριτόλη και αν και χαρακτηρίζεται από επίσης πολύ χαμηλές τιμές ενθαλπίας διάλυσης, δεν εμφανίζει ιδιαίτερα ισχυρή δροσερή αίσθηση, λόγω της χαμηλότερης διαλυτότητάς της στο νερό. Η λακτιτόλη εμφανίζει ήπια δροσερή αίσθηση ενώ η μαλιτόλη, η ισομαλιτόλη, τα HSG και HSH δεν χαρακτηρίζονται από δροσερή αίσθηση.

Η υγροσκοπικότητα των πολυολών εξαρτάται από τη μορφή τους. Για παράδειγμα η άνυδρη λακτιτόλη είναι έντονα υγροσκοπική, ενώ οι ένυδρες μορφές είναι μη υγροσκοπικές. Η μαννιτόλη, η μονοϋδρική λακτιτόλη και η ερυθριτόλη δεν χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη υγροσκοπικότητα ενώ η σορβιτόλη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη υγροσκοπικότητα.

Η διαλυτότητα των πολυολών παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με το είδος τους. Έτσι η σορβιτόλη έχει υψηλότερη διαλυτότητα στο νερό σε σχέση με τη σακκαρόζη, η μαλιτόλη και η ξυλιτόλη ισοδύναμη της σακκαρόζης, ενώ η μαννιτόλη και η ισομαλιτόλη έχουν σημαντικά χαμηλότερη διαλυτότητα στο νερό. Είναι επίσης ενδιαφέρον το γεγονός ότι τα ιξώδη των υδατικών διαλυμάτων των πολυολών αυξάνουν με αύξηση της θερμοκρασίας σε αντίθεση με τα υδατικά διαλύματα σακκαρόζης. Η σορβιτόλη και η ξυλιτόλη εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές φαινομένου ιξώδους στα υδατικά τους διαλύματα (Embuscado, 2006; Wang, 2004; Willibald-Ettle & Schiweck, 1997).

Οι πολυόλες παρουσιάζουν αξιόλογη σταθερότητα στις χημικές και ενζυμικές επιδράσεις. Σε αντίθεση με τη σακκαρόζη η θέρμανση των πολυολών σε θερμοκρασίες

υψηλότερες του σημείου τήξης δεν επιφέρει μοριακές μεταβολές. Η λακτιτόλη είναι η μοναδική πολυόλη που αποσυντίθεται κατά τη θέρμανση προς λακτιτάνη, σορβιτόλη και πολυόλες χαμηλού μοριακού βάρους (Mester et al., 2001).

Μία ακόμη χαρακτηριστική ιδιότητα των πολυολών είναι η συνέργειά τους με τα εναλλακτικά σάκκαρα. Η ανάμιξη πολυολών με χαμηλή γλυκαντική ισχύ με εναλλακτικά σάκκαρα συμβάλλει στη δημιουργία γλυκαντικών υλών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Η ανάμιξη της μαλτιτόλης με κυκλαμικό νάτριο ή ακετοσουλφαμικό κάλιο, ή της λακτιτόλης με ασπαρτάμη, ακετοσουλφαμικό κάλιο ή σακχαρίνη οδηγεί σε γλυκαντικές ύλες με γλυκαντική ισχύ ισοδύναμη της σακχαρόζης (von Rymon Lipinski & Hanger, 2001). Οι πολυόλες είναι γενικά συμβατές με το ακετοσουλφαμικό κάλιο ενώ η ανάμιξή τους με ασπαρτάμη μπορεί να οδηγήσει σε αρνητική επίδραση στην τελική γλυκαντική ισχύ των μιγμάτων τους. Η ανάμιξη πολυολών που εμφανίζουν δροσερή αίσθηση με σακχαρίνη μπορεί να βελτιώσει τη γλυκαντική τους ισχύ και να αυξήσει τη διάρκεια του αρώματός τους. Σε σχετική τους έρευνα, οι Kim et al., (2003) ανέφεραν ότι η ανάμιξη πολυολών (ξυλιτόλη, σορβιτόλη, ισομαλτιτόλη) με ασπαρτάμη σε ποσοστό 0.01 έως 8% περιόρισε την πικρή και στυφή μετάγευση και ενίσχυσε το ευάριστο άρωμά τους.

Ημερήσια κατανάλωση: Οι πολυόλες παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της χαμηλής θερμιδικής αξίας και της αποτροπής σχηματισμού τερηδόνας στα δόντια. Επιπλέον, λόγω του ότι δεν μπορούν να μεταβολιστούν από τους μικροοργανισμούς του στόματος δεν συμβάλλουν στην αύξηση της οξύτητας και κατά συνέπεια δεν βλάπτουν το σμάλτο των δοντιών. Επιπλέον, η λακτιτόλη έχει αποδειχθεί ότι έχει πρεβιοτική δράση (Mester et al., 2001). Οι πολυόλες κατάσσονται στα γλυκαντικά υλικά με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη (GI), δηλαδή δεν επιφέρουν απότομες μεταβολές της συγκέντρωσης γλυκόζης στο αίμα. Έτσι ενώ η σακχαρόζη και η γλυκόζη έχουν γλυκαιμικό δείκτη 64 και 103 αντίστοιχα, η λακτιτόλη έχει GI = 3, η ισομαλτιτόλη GI = -1, η ξυλιτόλη GI = 7 και η μαλτιτόλη GI = 30.

Παρά τις θετικές τους φυσιολογικές ιδιότητες, οι πολυόλες παρουσιάζουν περιορισμούς ως προς την ημερήσια λήψη τους λόγω της υπακτικής τους δράσης. Έτσι η ερυθριτόλη, η μαλτιτόλη και τα HSH έχουν όριο λήψης 100g/day, η σορβιτόλη, η ξυλιτόλη και η ισομαλτιτόλη 50g/day, η λακτιτόλη 20-50g/day ενώ η μαννιτόλη έχει το χαμηλότερο όριο ημερήσιας κατανάλωσης στα 20g/day (Embucado, 2006; Schiweck & Ziesenitz, 1997).

2.1.3.5 Εναλλακτικά σάκκαρα

Η σακχαρόζη είναι βασική γλυκαντική ύλη των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Η υποκατάσταση της σακχαρόζης στο παγωτό γίνεται με στόχο την ελάττωση της θερμιδικής αξίας του προϊόντος, αλλά και τη μεταβολή των φυσικών, θερμικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του (Hynönen, 1980; Salminen & Hallikainen, 2002; Whelan et al. 2006; Whelan et al., 2008; Bordi et al., 2006).

α) Σακχαρίνη

Χημεία: Ο όρος σακχαρίνη αναφέρεται σε μία ομάδα ενώσεων της σακχαρίνης και των αλάτων της (νατρίου και ασβεστίου). Ο χημικός τύπος της σακχαρίνης είναι $C_7H_5NO_3S$, και δεν απαντάται στη φύση. Η σακχαρίνη και τα άλατά της έχουν κρυσταλλική δομή και λευκό χρώμα, και χαρακτηρίζονται από αυξημένη σταθερότητα στις χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες (έως τους 300°C). Είναι διαλυτά στο νερό και τους πολικούς διαλύτες, ενώ τα υδατικά τους διαλύματα είναι 300 φορές πιο γλυκά από τα αντίστοιχα της σακχαρόζης.

Τεχνολογικές ιδιότητες: Η σακχαρίνη και τα άλατά της είναι πολύ σταθερά σχεδόν σε όλες τις θερμικές διεργασίες στην παραγωγή τροφίμων, και έχουν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής. Η σακχαρίνη χαρακτηρίζεται από μέτρια μεταλλική και πικρή μετάγευση, η οποία όμως καλύπτεται κατά τη χρήση μιγμάτων της με λακτόζη ή ασπαρτάμη. Εμφανίζει αξιόλογη συνεργιστική δράση ως προς τη γλυκαντική ισχύ, με πλήθος εναλλακτικών σακκάρων.

Ημερήσια κατανάλωση: Η σακχαρίνη είχε χαρακτηριστεί ως ύποπτη για καρκινογένεση σε τρωκτικά. Εντούτοις, η χαμηλή ημερήσια κατανάλωσή της (14 - 25mg/day) δεν εγκυμονεί

σημαντικούς κινδύνους για την υγεία. Η σακχαρίνη απορροφάται βραδέως από το λεπτό έντερο, ενώ εκκρίνεται ταχέως στα ούρα υπό τη μορφή μη μεταβολισμένης σακχαρίνης. Η μακρόχρονη κατανάλωση υψηλών ποσοστών σακχαρίνης (5 - 7.5%) έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να οδηγήσει σε ήπιας μορφής καρκινογένεση ή να συμβάλλει στην ανάπτυξη των ήδη υπάρχοντων καρκινικών κυττάρων (Cohen, 1985). Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας (FAO/WHO) έχει ορίσει ως μέγιστο όριο ημερήσιας λήψης της σακχαρίνης τα 2.5mg/kg.

Β) Κυκλαμικές ενώσεις

Χημεία - τεχνολογικές ιδιότητες: Στην ομάδα των κυκλαμικών ενώσεων περιλαμβάνονται το κυκλαμικό οξύ και τα άλατά του με νάτριο και ασβέστιο. Ενδεικτικά, ο μοριακός τύπος του κυκλαμικού ασβεστίου είναι $C_{12}H_{24}CaN_2O_6S_2 \cdot 2H_2O$, ενώ δεν απαντάται στη φύση. Οι κυκλαμικές ενώσεις είναι σταθερές σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες, και έχουν υψηλή διαλυτότητα στο νερό και τους πολικούς διαλύτες. Τα διαλύματά τους είναι 30 φορές πιο γλυκά από εκείνα της σακχαρόζης, ενώ παρουσιάζουν συνέργεια με άλλα εναλλακτικά σάκκαρα όπως η σακχαρίνη. Μίγματα κυκλαμικού νατρίου και ασβεστίου με σακχαρίνη σε μία αναλογία 10:1 χρησιμοποιούνται ευρέως στην παραγωγή τροφίμων.

Ημερήσια κατανάλωση: Οι κυκλαμικές ενώσεις απορροφώνται βραδέως από το λεπτό έντερο ενώ μεταβολίζονται σε μικρό ποσοστό προς κυκλοεξυλαμίνη από τη μικροχλωρίδα του παχέος εντέρου. Η βραχυπρόθεσμη κατανάλωση κυκλαμικών ενώσεων δεν θεωρείται ύποπτη για μεταλλάξεις του DNA ή τη δημιουργία όγκων. Εντούτοις, επιδημιολογικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι η μακροχρόνια λήψη κυκλαμικών ενώσεων αυξάνουν το κίνδυνο καρκινογένεσης και την πιθανότητα δημιουργίας όγκων του ουροποιητικού συστήματος. Ο FAO/WHO έχει καθορίσει ως μέγιστο όριο λήψης κυκλαμικών τα 9mg/kg.

γ) Ασπαρτάμη

Χημεία: Η ασπαρτάμη είναι ο μεθυλεστέρας της L-ασπαρτυλο-L-φαινυλαλανίνης και παράγεται από τα αμινοξέα φαινυλαλανίνη και ασπαραγινικό οξύ. Η ασπαρτάμη είναι μία άοσμη, λευκή, κρυσταλλική ουσία, ελαφρά διαλυτή στο νερό και ελάχιστα στην αιθανόλη. Η γλυκαντική ισχύς της ασπαρτάμης είναι 150-200 φορές μεγαλύτερη από εκείνη της σακχαρόζης. Η κυκλοποίηση της ασπαρτάμης προς δικετοπιπεραζίνη και η υδρολύσή της προς ασπαραγινικό οξύ και φαινυλαλανίνη επιφέρει σημαντική μείωση της γλυκαντικής της ισχύος (Salminen & Hallikainen, 2002; Nabors, 2002).

Τεχνολογικές ιδιότητες: Η σταθερότητα της ασπαρτάμης εξαρτάται από το είδος του τροφίμου, αλλά και από τις συνθήκες επεξεργασίας. Γενικά, η ασπαρτάμη εμφανίζει υψηλή σταθερότητα σε ξηρά τρόφιμα, ενώ σε υψηλή θερμοκρασία ή χαμηλή τιμή pH η ασπαρτάμη υδρολύεται προς ασπαρτυλφαινυλαλανίνη. Επομένως, η θερμοκρασία και το pH αποτελούν παράγοντες που ελαττώνουν σημαντικά τη γλυκαντική ισχύ της ασπαρτάμης. Αν και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται οργανοληπτικά αντιληπτή, η γλυκύτητα της ασπαρτάμης είναι πολύ εγγενής με εκείνη της σακχαρόζης, εντούτοις η άμεση υποκατάσταση της σακχαρόζης από την ασπαρτάμη δεν είναι δυνατή εξαιτίας της φυσικοχημικής ασυμβατότητάς τους. Κατά συνέπεια η προσθήκη ασπαρτάμης πρέπει να συνοδεύεται με ανασχηματισμό της σύστασης του τροφίμου.

Ημερήσια κατανάλωση: Η ασπαρτάμη μεταβολίζεται από τον ανθρώπινο οργανισμό προς ασπαραγινικό οξύ, φαινυλαλανίνη και μεθανόλη, ενώσεις οι οποίες μπορούν να μεταβολιστούν περαιτέρω ή να εκκριθούν. Ένα μεγάλο πλήθος από επιδημιολογικές μελέτες έχουν υποστηρίξει την ασφάλεια της ασπαρτάμης όπως επίσης και των προϊόντων διάσπασης κατά τη θέρμανσή της (δικετονοπιπεραζίνη). Η ημερήσια λήψη ασπαρτάμης έχει καθοριστεί στα 40mg/kg για τους ενήλικες και τα 8-10mg/kg για τους διαβητικούς και τα παιδιά.

δ) Ακετοσουλφαμικό Κ

Χημεία: Το ακετοσουλφαμικό κάλιο έχει μοριακό τύπο $C_4H_4NO_4KS$, διαλύεται εύκολα στο νερό και σχηματίζει ουδέτερο διάλυμα. Το ακετοσουλφαμικό Κ είναι λευκή κρυσταλλική ουσία. Χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μεγάλο χρόνο ζωής και υψηλή θερμική σταθερότητα (αποσυντίθεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 200°C). Διαλύεται εύκολα στο νερό σε

θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ η διαλυτότητά της ελαττώνεται στην περίπτωση της αιθανόλης.

Τεχνολογικές ιδιότητες: Το ακετοσουλφαμικό Κ χαρακτηρίζεται από υψηλή γλυκαντική ισχύ, περίπου 200 φορές υψηλότερη της σακχαρόζης. Επιπλέον, το ακετοσουλφαμικό Κ έχει τη μισή γλυκαντική ισχύ της σακχαρίνης, παρόμοια γλυκαντική ισχύ με την ασπαρτάμη και τετραπλάσια έως πενταπλάσια του κυκλαμικού νατρίου. Η γλυκαντική ισχύς του ακετοσουλφαμικού Κ είναι σταθερή σχεδόν σε όλα τα τρόφιμα και για τιμές pH>3. Επίσης θερμικές κατεργασίες όπως η παστερίωση, η αποστείρωση και ο κλιβανισμός δεν επηρεάζουν τη γλυκαντική της ισχύ.

Ημερήσια κατανάλωση: Το ακετοσουλφαμικό Κ δεν παρουσιάζει τοξικότητα, ενώ σε σχετικές επιδημιολογικές μελέτες που έγιναν δεν παρατηρήθηκε καρκινογένεση ή επιδράσεις στη γονιμότητα. Η μέση ημερήσια δόση κυμαίνεται από 0 - 15mg/kg. Το ακετοσουλφαμικό Κ δε μεταβολίζεται από τον ανθρώπινο οργανισμό, και για το λόγο αυτό δεν έχει καθόλου θερμιδική αξία. Απορροφάται ταχέως από τον οργανισμό και απεκκρίνεται επίσης σε σύντομο χρονικό διάστημα μέσω των ούρων (Salminen & Hallikainen, 2002; Nabors, 2002).

2.1.3 Συστατικά ενίσχυσης του στερεού υπολείμματος (ΣΥΑΛ)

2.1.3.1 Συμπυκνωμένο γάλα

Το συμπυκνωμένο γάλα είναι το προϊόν που παράγεται με προθέρμανση, ομογενοποίηση και αποστείρωση πλήρους ή αποβουτυρωμένου γάλακτος. Το συμπυκνωμένο γάλα περιέχει 18-22% ΣΥΑΛ ανάλογα με την τεχνική συμπύκνωσης και την περιεκτικότητα σε λιπαρά. Αν και το προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή μικροβιολογική ασφάλεια, εντούτοις η προθέρμανση και συμπύκνωση του γάλακτος επιφέρουν σημαντικές φυσικοχημικές μεταβολές (αντιδράσεις Maillard, ανάπτυξη οσμής καμμένου, μεταβολή χρώματος, αύξηση της θερμικής αστάθειας, αποκορύφωση των λιπαρών, γήρανση και σχηματισμό πήγματος) κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του. Οι μεταβολές λόγω γήρανσης του συμπυκνωμένου γάλακτος μπορούν να αντιμετωπιστούν με την προσθήκη αλάτων π.χ. NaHPO₄·12H₂O και έλεγχο των θερμικών διεργασιών (Walstra et al., 2006; Varnam & Sutherland, 1993).

2.1.3.2 Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος

Η χρήση προϊόντων γάλακτος σε μορφή σκόνης παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα του αυξημένου χρόνου ζωής, της υψηλής μικροβιακής και φυσικοχημικής σταθερότητας, της ευκολίας χρήσης και αποθήκευσης καθώς και των ειδικών τους λειτουργικών ιδιοτήτων (π.χ. διαλυτότητα, ενυδάτωση κ.α.). Η σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος παρασκευάζεται από τυποποιημένο γάλα υψηλής ποιότητας, το οποίο υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία, προκειμένου να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε ολικά στερεά, να καταστραφούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και να αδρανοποιηθούν τα λιπολυτικά ένζυμα, και ξήρανση με ψεκασμό. Η ένταση της θερμικής κατεργασίας επηρεάζει τις λειτουργικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, ενώ η εφαρμογή υψηλής έντασης θερμικών κατεργασιών πραγματοποιείται σε μη αποβουτυρωμένα προϊόντα (Walstra et al., 2006; Varnam & Sutherland, 1993).

2.1.3.3 Σκόνη πλήρους γάλακτος

Η σκόνη πλήρους γάλακτος χαρακτηρίζεται από μία ελάχιστη περιεκτικότητα σε λιπαρά (~26%). Η τεχνική παραγωγής σκόνης πλήρους γάλακτος είναι παρόμοια με εκείνη του αποβουτυρωμένου, περιλαμβάνοντας και την τυποποίηση των λιπαρών. Ο έλεγχος της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος κατά την παραγωγή σκόνης πλήρους γάλακτος, είναι πολύ σημαντικός, αφού συνδέεται αφενός με την αδρανοποίηση των λιπολυτικών ενζύμων που προκαλούν αυτοοξειδωση, και αφετέρου με το σχηματισμό σουλφυδριλικών ομάδων (-SH) στη μεμβράνη των λιποσφαιρίων και τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος, η παρουσία των οποίων επηρεάζει την οξειδωτική σταθερότητα του τελικού προϊόντος και την ανάπτυξη μη αποδεκτού αρώματος (οσμή καμμένου). Η λεκιθίνωση (ψεκασμός διαλύματος λεκιθίνης - λιπαρού στην επιφάνεια των κόκκων της σκόνης) αποτελεί μία συχνά εφαρμοζόμενη τεχνική κατά την

παραγωγή σκόνης πλήρους γάλακτος η οποία συμβάλλει στη βελτίωση της ικανότητας ενυδάτωσής της (Walstra et al., 2006; Varnam & Sutherland, 1993).

2.1.3.4 Καζεΐνη και καζεϊνικά άλατα

Η καζεΐνη και τα καζεϊνικά άλατα παράγονται από αποβουτυρωμένο γάλα μέσω της αποσταθεροποίησης των καζεϊνικών μυκκηλίων με τέσσερις κύριες τεχνικές: α) προσθήκη οξέος (στους 30°C), β) κατεργασία οξινομένου γάλακτος (pH~2) με ιοντοανταλλακτικές μεμβράνες, γ) εμβολιασμός με οξυγαλακτική καλλιέργεια και επώαση μέχρι το ισοηλεκτρικό σημείο καταβύθισης των πρωτεϊνών, και δ) καταβύθιση των πρωτεϊνών με χρήση πυτιάς. Η καταβυθιζόμενη πρωτεΐνη που λαμβάνεται από τις διεργασίες οξίνισης ή την πρωτεολυτική καταβύθιση χαρακτηρίζεται ως όξινη και είναι γενικά μη διαλυτή σε ψυχρό νερό. Για το λόγο αυτό το όξινο πήγμα καζεΐνης κατεργάζεται με άλκαλι, οπότε παραλαμβάνονται τα καζεϊνικά άλατα.

2.1.3.5 Σκόνη ορού γάλακτος

Η πλήρης σκόνη ορού γάλακτος περιέχει λιγότερο από 15% πρωτεΐνη και παράγεται με συμπύκνωση ορού γάλακτος (με εξάτμιση ή αντίστροφη ώσμωση), και ξήρανση του συμπυκνώματος με ξήρανση με ψεκασμό. Προκειμένου να αυξηθεί η ικανότητα ενυδάτωσης της σκόνης ορού γάλακτος στο συμπύκνωμα ορού προστίθενται πυρήνες α-λακτόζης, ώστε η περιεχόμενη λακτόζη να κρυσταλλωθεί υπό τη μορφή της περισσότερο υγροσκοπικής σε σχέση με τη β-λακτόζη, α-λακτόζης. Η σκόνη ορού γάλακτος χαρακτηρίζεται γενικά από υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα μέταλλα, και για το λόγο αυτό τεχνικές, όπως η αντίστροφη ώσμωση, η ηλεκτροδιάλυση, και η ιοντοεναλλαγή, εφαρμόζονται για την απομάκρυνσή τους. Τα προϊόντα που παράγονται με αυτόν τον τρόπο περιέχουν 15-35% πρωτεΐνη (Walstra et al., 2006; Ennis & Mulvihill, 2000).

2.1.3.6 Πρωτεϊνικά συμπυκνώματα ορού γάλακτος

Πρωτεϊνικά συμπυκνώματα ορού γάλακτος με διαφορετική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (35-80%) παράγονται υπο ήπιες συνθήκες pH και θερμοκρασίας με εφαρμογή της τεχνικής υπερδιήθησης. Τα πρωτεϊνικά συμπυκνώματα ορού γάλακτος είναι προϊόντα με χαμηλή περιεκτικότητα σε λακτόζη και ανόργανα άλατα και υψηλής διαλυτότητας στο νερό. Το pH, το ποσοστό μετουσίωσης των πρωτεϊνών και η περιεκτικότητα σε ιόντα Ca^{2+} επηρεάζουν τη διαλυτότητα των πρωτεϊνικών συμπυκνωμάτων ορού γάλακτος (Walstra et al., 2006; Ennis & Mulvihill, 2000).

2.1.3.7 Λακταλμπουμίνη

Οι σφαιρικές πρωτεΐνες ορού γάλακτος μετουσιώνονται πολύ εύκολα υπό την επίδραση θέρμανσης και ανάλογα με τις συνθήκες pH, και τη συγκέντρωση ιόντων Ca^{2+} . Ο ορός γάλακτος που παράγεται κατά την παραγωγή τυροκομικών προϊόντων π.χ. Ricotta, κατεργάζεται θερμικά και το καταβυθιζόμενο πρωτεϊνικό υλικό, αφού εκπλυθεί με νερό, ξηραίνεται παρέχοντας ένα προϊόν γνωστό ως λακταλμπουμίνη το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε μετουσιωμένες πρωτεΐνες ορού και λακτόζη. Το προϊόν αυτό είναι αδιάλυτο στο καθαρό νερό (Walstra et al., 2006; Ennis & Mulvihill, 2000).

2.1.3.8 Πρωτεϊνικά συμπυκνώματα γάλακτος

Τα πρωτεϊνικά συμπυκνώματα γάλακτος παρασκευάζονται κατά τη σύμπυκνωση αποβουτυρωμένου γάλακτος μέσω υπερδιήθησης ή διαδιήθησης. Τα πρωτεϊνικά συμπυκνώματα γάλακτος έχουν τουλάχιστον 80% πρωτεΐνης, από την οποία το καζεϊνικό περιεχόμενο είναι στη μυκκηλιακή μορφή, ενώ οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος είναι μη μετουσιωμένες. Τα προϊόντα αυτά χαρακτηρίζονται από σημαντική περιεκτικότητα σε ανόργανα μέταλλα και τέφρα (Ennis & Mulvihill, 2000).

2.1.4 Φυτικές λιπαρές ύλες

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σταδιακά αυξανόμενη χρήση φυτικών λιπαρών υλών στην παραγωγή παγωτού. Οι λειτουργικές ιδιότητες των λιπαρών (π.χ. ρυθμός κρυστάλλωσης των λιπαρών, κρυσταλλική δομή των λιπαρών κ.α.), η περιεκτικότητα σε

τριγλυκερίδια, η καθαρότητα και το άρωμά τους συμβάλλουν στην επιλογή των λιπαρών υλών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο παγωτό. Λιπαρές ύλες όπως το φοινικέλαιο, το φοινικοπυρηνέλαιο, το καρυδέλαιο, το βούτυρο κακάο, το αραχιδέλαιο, το ηλιέλαιο, το αραβοσιτέλαιο και το σησαμέλαιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές αναλογίες ως μερικά ή ολικά υποκατάστατα των λιπαρών υλών γάλακτος (βούτυρο, βουτυρέλαιο, κρέμα γάλακτος, κλάσματα λίπους γάλακτος).

2.1.4.1 Φοινικέλαιο

Το φοινικέλαιο είναι το προϊόν που παραλαμβάνεται από το μεσοκάρπιο του καρπού των φοινικόδεντρων με φυγοκέντρηση ή μηχανική συμπίεση, και αφού υποβληθεί σε κατάλληλη διεργασία εξευγενισμού. Η χρήση του φοινικέλαιου στη βιομηχανία τροφίμων είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός κλασμάτων φοινικέλαιου που διαφοροποιούνται είτε ως προς την περιοχή προέλευσης ή ως προς την περιεκτικότητα τους σε στεαρίνη ή ελαΐνη. Τα κλάσματα υψηλής περιεκτικότητας σε S0S τριγλυκερίδια χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ως υποκατάστατα του βούτυρου κακάο. Η μέση σύσταση του εμπορικού φοινικέλαιου σε λιπαρά οξέα είναι C8:0 2.5%, C10:0 4%, C12:0 49%, C14:0 16, C16:0 9%, C18:0 2%, C18:1 14%, C18:2 2%, με σημαντικές όμως αποκλίσεις ανάλογα με τη διεργασία εξευγενισμού και τη χώρα παραγωγής. Τα βασικότερα μικροσυστατικά που περιέχονται στο φοινικέλαιο είναι καρτονοειδή, τοκοφερόλες, στερόλες, τερπενοειδή, και μεθυλοστερόλες (Gunstone et al., 1995; Codex, 1993).

2.1.4.2 Φοινικοπυρηνέλαιο

Το φοινικοπυρηνέλαιο παράγεται από το διαχωρισμό και την εκχύλιση με διαλύτη των πυρήνων που προκύπτουν μετά τη διεργασία εξαγωγής του φοινικέλαιου. Αν και η σταθερότητα του φοινικοπυρηνέλαιου είναι ικανοποιητική, εμφανίζει την τάση σαπωνοειδούς οσμής, όταν αποθηκευτεί υπό μη ελεγχόμενες συνθήκες. Το φοινικοπυρηνέλαιο χρησιμοποιείται στην παραγωγή μαργαρίνης, παγωτού και ειδών ζαχαροπλαστικής. Το σημείο τήξης του φοινικοπυρηνέλαιου είναι αρκετά υψηλό λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε κορεσμένα λιπαρά οξέα: C8:0 2.4-6.2%, C10:0 2.6 -5.0%, C12:0 41 -55%, C14:0 14-18%, C16:0 6.5-10%, C18:0 1.3-3%, C18:1 12-19%, C18:2 1.0-3.5% (Timms, 1985; Gunstone et al., 1995).

2.1.4.3 Βούτυρο κακάο

Το βούτυρο κακάο είναι ένα υποκίτρινο στερεό λιπαρό (στους 20°C) το οποίο παραλαμβάνεται από τη μηχανική συμπίεση των πυρήνων αποφλοιωμένων και καβουρδισμένων κόκκων κακάο. Το άμεσα εξαγόμενο βούτυρο κατά τη συμπίεση των κόκκων κακάο είναι υψηλής ποιότητας και χαρακτηρίζεται από ένα διακριτικό άρωμα, ενώ το κατώτερης ποιότητας βούτυρο υποβάλλεται σε απόσμηση και εξευγενισμό. Το βούτυρο κακάο χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή οξειδωτική σταθερότητα. Αν και η σύσταση του βούτυρου κακάο ποικίλει, σε γενικές γραμμές περιέχει 16% POP, 46% POSt, 33% StOSt και 5% άλλα τριγλυκερίδια. Η συμπεριφορά του βουτύρου κακάο κατά την κρυστάλλωση και την τήξη είναι πολύπλοκη, λόγω του πολυμορφισμού των βασικών του τριγλυκεριδίων. Το βούτυρο κακάο παρουσιάζει μεγάλη συμβατότητα με το βούτυρο γάλακτος σε ποσοστό έως και 30%. Η προσθήκη βουτύρου γάλακτος στο βούτυρο κακάο αν και δεν επηρεάζει τη πολυμορφική του συμπεριφορά, εντούτοις ελαττώνει τα σημεία τήξης των πολυμορφικών δομών, το ρυθμό κρυστάλλωσης και τη σκληρότητα του βουτύρου κακάο (Metin & Hartel, 1996; Gunstone et al., 1995).

2.1.4.4 Αραχιδέλαιο

Το αραχιδέλαιο παράγεται από τον εξωτερικό φλοιό και τον πυρήνα των αραχίδων. Το έλαιο εξάγεται με μηχανική συμπίεση και εν συνεχεία με εκχύλιση με διαλύτες. Το εξαγόμενο έλαιο έχει υποκίτρινο χρώμα και χαρακτηρίζεται από τις οργανοληπτικές ιδιότητες της αραχίδας. Το εξευγενισμένο αραχιδέλαιο χαρακτηρίζεται από άριστη οξειδωτική σταθερότητα, και για το λόγο αυτό βρίσκει εφαρμογή στην παρασκευή μαργαρίνης, μαγειρικού λίπους, επιτραπέζιων ελαίων κ.α. Η χαμηλή περιεκτικότητας του αραχιδέλαιου σε λινολενικό οξύ και η

σημαντική περιεκτικότητά του σε τοκοφερόλες και άλλα αντιοξειδωτικά δικαιολογούν την υψηλή σταθερότητά του έναντι της οξειδωτικής αλλοίωσης. Η μέση σύσταση του αραχιδέλαιου σε λιπαρά οξέα είναι: C16:0 8.3 -14%, C18:0 1.9 - 4.4%, C18:1 36.4 - 67.1%, C18:2 14-43%, C20:0 1.1-1.7%, C22:0 2.1 - 4.4%, C24:0 1.1-2.2% (Gunstone et al., 1995).

2.1.4.5 Καρυδέλαιο

Το καρυδέλαιο προέρχεται από το αποξηραμένο τμήμα του ενδοσπέρματος των καρπών του κοκοφοίνικα και ανακτάται μέσω μίας διεργασίας εκχύλισης με διαλύτες. Το ακατέργαστο καρυδέλαιο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε ελεύθερα λιπαρά οξέα (> 5%), ενώ το υψηλής ποιότητας καρυδέλαιο περιέχει έως και 3% ελεύθερα λιπαρά οξέα. Η σύσταση του καρυδέλαιου σε λιπαρά οξέα, αν και ποικίλει, χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από μικρής αλυσίδας λιπαρά οξέα (C6:0 - C12:0) και από χαμηλή περιεκτικότητα σε ακόρεστα λιπαρά οξέα. Το καρυδέλαιο χαρακτηρίζεται από μία δριμεία και δροσερή γεύση και για αυτό χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος.

2.1.4.6 Ηλιέλαιο

Το ηλιέλαιο παραλαμβάνεται από την ψυχρή μηχανική συμπίεση των σπόρων του ηλιάνθου και κατόπιν με εκχύλιση με διαλύτη της παραγόμενης πίτας (ηλιόπιτας). Ανάλογα με τη χρήση τους το ηλιέλαιο μπορεί να υποβληθεί και σε αποκήρωση ή υδρογόνωση. Η σύσταση του ηλιέλαιου (περιεκτικότητα σε λινελαϊκό και ελαϊκό οξύ) εξαρτάται από την περιοχή προέλευσης, την ποικιλία και τις κλιματικές συνθήκες. Η μέση σύσταση του ηλιέλαιου σε λιπαρά οξέα είναι: C16:0 5.5-6%, C18:0 4.7-5.6%, C18:1 17.8-19.5%, C18:2 68.6%, C22:0 0.8-0.9%. Ωστόσο, στην περίπτωση του πλούσιου σε ελαϊκό οξύ ηλιέλαιου, παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις στην περιεκτικότητά του στα C18:1 (80.6%) και C18:2 (8.4%) λιπαρά οξέα (Gunstone et al., 1995).

2.1.4.7 Αραβοσιτέλαιο

Το αραβοσιτέλαιο παραλαμβάνεται από το σπέρμα των κόκκων αραβοσίτου μετά από την υγρή ή ξηρή τους άλεση. Το ακατέργαστο αραβοσιτέλαιο περιέχει λιγότερο από 3% ελεύθερα λιπαρά οξέα και 1-3% φωσφολιπίδια τα οποία απομακρύνονται κατά τον εξευγενισμό του. Οι κηροί που βρίσκονται σε ίχνη στο αραβοσιτέλαιο απομακρύνονται με απομαργαρίωση (winterization). Το αραβοσιτέλαιο χαρακτηρίζεται από υψηλή οξειδωτική σταθερότητα, ενώ συμπεριφέρεται παρόμοια με το ηλιέλαιο. Η κατανομή των τριγλυκεριδίων στο αραβοσιτέλαιο ακολουθεί την κανονική μορφή που αναμένεται για ένα φυτικό έλαιο (C16:0 8.6-16.5%, C18:1 20-42.2%, C18:2 39.4 -62.5%, 18:3 <1.5%). Το αραβοσιτέλαιο περιέχει περίπου 1% στερόλες, ποσοστό ασυνήθιστα υψηλό για τα φυτικά έλαια. Η κύρια τοκοφερόλη του αραβοσιτέλαιου είναι η γ-τοκοφερόλη (400 -900mg/kg), ενώ η α και η β-τοκοφερόλη απαντώνται σε χαμηλότερα ποσοστά (150 και 10mg/kg αντίστοιχα) (Gunstone et al., 1995; Codex, 1993).

2.1.5 Γαλακτωματοποιητές

2.1.5.1 Μονο-γλυκερίδια λιπαρών οξέων

Ο όρος μονο-γλυκερίδια αναφέρεται σε ενώσεις που παράγονται από τη διεστεροποίηση των τριγλυκεριδίων με γλυκερίνη. Η διαδικασία είναι γνωστή ως γλυκερόλυση, ενώ τα προϊόντα που παράγονται χωρίς την εφαρμογή τεχνικών κλασμάτωσης ονομάζονται μονογλυκερίδια. Η περιεκτικότητα των προϊόντων που παραλαμβάνονται κυμαίνεται από 10 έως 60%, ανάλογα με το λόγο τριγλυκεριδίων - γλυκερίνης. Οι εμπορικοί τύποι μονο-διγλυκεριδίων περιέχουν 45-55% μονογλυκερίδια, 38-45% διγλυκερίδια και 8-12% τριγλυκερίδια. Τόσο τα μονογλυκερίδια όσο και τα διγλυκερίδια απαντώνται σε δύο ισομερείς μορφές. Κατά τη διάρκεια της γλυκερόλυσης ευνοείται η εστεροποίηση των ακραίων υδροξυλομάδων, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό να αποτελείται από 1-μονογλυκερίδια, ενώ ο λόγος των 1,2 και 1,3-μονογλυκεριδίων να είναι περίπου 40:60. Τα μονο-διγλυκερίδια είναι διαλυτά σε άπολους διαλύτες, ενώ μπορούν να διασπείρονται στο νερό μόνο παρουσία άλλων γαλακτωματοποιητικών ουσιών (Faergemand & Krog, 2003; Garti, 2002).

Τα μονογλυκερίδια μπορούν να διαχωριστούν με εφαρμογή της μεθόδου της μοριακής απόσταξης, οπότε το προϊόν που παραλαμβάνεται είναι γνωστό αποσταγμένα μονογλυκερίδια και αποτελούνται κατά κύριο λόγο 90% (τυπικά έως και 97%) μονογλυκερίδια και 2-4% διγλυκερίδια. Τα αποσταγμένα μονογλυκερίδια εμφανίζουν καλύτερες λειτουργικές ιδιότητες σε σχέση με τα μονογλυκερίδια (Faergemand & Krog, 2003).

2.1.5.2 Πολυσορβικά (εστέρες της σορβιτάνης - αιθοξυλιωμένοι εστέρες της σορβιτάνης)

Η εστεροποίηση της σορβιτόλης οδηγεί στο σχηματισμό της υδροξυλιωμένης τετραϋδροφουρανο 1,4 ανυδροσορβιτάνης. Οι ελεύθερες υδροξυλομάδες της ένωσης αυτής μπορούν να εστεροποιηθούν με λιπαρά οξέα σχηματίζοντας τους εστέρες της σορβιτάνης. Οι εστέρες της σορβιτάνης με λαυρικό, παλμιτικό, στεατικό ή ελαϊκό οξύ είναι γνωστοί με το εμπορικό όνομα SPAN. Τροποποιώντας την πορεία εστεροποίησης χρησιμοποιώντας αιθέρες του αιθυλενοξειδίου, παράγονται τα προϊόντα γνωστά ως Tween. Η λειτουργικότητα των γαλακτωματοποιητών αυτών εξαρτάται από το είδος του λιπαρού οξέος, το βαθμό εστεροποίησης, και το σχηματισμό πολυοξυαλκυλενικών παραγώγων. Η αιθοξυλίωση των Tween (με 20mol αιθυλενοξειδίου) οδηγεί στο σχηματισμό υδρόφιλων εστέρων γνωστών ως πολυσορβικά (polysorbates). Τα πολυσορβικά χαρακτηρίζονται από μία ευρεία τιμή HLB που κυμαίνεται από 1.8 έως 16.7 και χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση W/O ή O/W γαλακτωμάτων (Garti, 2002).

2.2 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ

2.2.1 Πρωτεϊνικές ύλες

Η ενσωμάτωση πρωτεϊνικών υλών όπως η σκόνη γάλακτος, η σκόνη ορού γάλακτος, τα πρωτεϊνικά συμπυκνώματα ορού και τα καζεϊνικά άλατα, βασίζεται στη μείωση του κόστους των πρώτων υλών, αλλά και στη βελτίωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των μιγμάτων και του τελικού προϊόντος (Udabage & Augustin, 2003). Η λειτουργικότητα των πρωτεϊνικών υλών στα συστήματα παγωτού στηρίζεται σε δύο κύριες ιδιότητες: την επιφανειοενεργότητα και την επίδραση στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού (Marshall et al., 2003). Η επίδραση στις θερμοφυσικές ιδιότητες καθορίζεται κατά κύριο λόγο από την περιεκτικότητά τους σε λακτόζη και ανόργανα άλατα. Για το λόγο αυτό η υποκατάσταση της σκόνης γάλακτος από προϊόντα ορού γάλακτος τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή συγκέντρωση σε λακτόζη και ανόργανα άλατα δεν υπερβαίνει το 25%. Επιπλέον, η ανάπτυξη αρώματος ορού αποτελεί έναν ακόμη περιορισμό στην προσθήκη προϊόντων ορού γάλακτος στο παγωτό (Udabage & Augustin, 2003). Οι επιδράσεις των πρωτεϊνών στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων και κατά προέκταση στη θερμοδυναμική σταθερότητα του παγωτού κατά τη διάρκεια αποθήκευσης θα αναφερθούν στο κεφ. 4.

Οι πρωτεΐνες αποτελούν εξαιρετικές επιφανειοενεργές ενώσεις, με αποτέλεσμα να δρουν στις διεπιφάνειες λιπαρών - φάσης ορού, λιπαρών - αέρα - φάσης ορού, αέρα - φάσης ορού, ενώ επιπλέον παρουσιάζουν σημαντική θερμοδυναμική ασυμβατότητα με ένα μεγάλο αριθμό πολυσακχαριτικής προέλευσης ενώσεων που χρησιμοποιούνται στο παγωτό (Damodaran, 2005; Tolstoguzov, 2003). Σε γενικές γραμμές η επιφανειοενεργή δράση των πρωτεϊνών κινείται σε τρεις άξονες: επίδραση στη σταθερότητα των γαλακτωμάτων έναντι της ολικής ή μερικής συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων (coalescence - partial coalescence), επίδραση στην τάση διαχωρισμού φάσεων (phase separation) λόγω θερμοδυναμικής ασυμβατότητας με τα υδροκολλοειδή, και επίδραση στην ικανότητα σχηματισμού και σταθεροποίησης των φυσαλίδων αέρα (Goff, 1997b; Tolstoguzov, 2003; Damodaran, 2005).

Η ομογενοποίηση των μιγμάτων παγωτού επιφέρει καταστροφή και επαναδημιουργία των λιποσφαιρίων με μικρότερη διάμετρο και διαφορετική σύσταση της εξωτερικής μεμβράνης. Η παρουσία των πρωτεϊνών στο μίγμα παγωτού διευκολύνει τη μείωση της επιφανειακής τάσης (η οποία είναι θερμοδυναμικά απαιτούμενη για την ελάττωση της ελεύθερης ενέργειας) και κατά συνέπεια ένα σημαντικός αριθμός πρωτεϊνικών μορίων τείνει

να προσροφάται στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων (Goff, 1997b; Walstra et al., 2006). Λόγω της υψηλής πρωτεϊνικής συγκέντρωσης των μιγμάτων, η ομογενοποίηση οδηγεί σε πολύ σταθερά γαλακτώματα έναντι της συσσωμάτωσής τους. Ωστόσο, η τάση των μιγμάτων παγωτού για ορθοκινητική μερική συσσωμάτωση είναι απαραίτητη για το σχηματισμό της μικροδομής του παγωτού και τη σταθεροποίησή της κατά τα στάδια της κατάψυξης και αποθήκευσης. Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί για τη διερεύνηση της επίδρασης των πρωτεϊνικών συστατικών στην τάση αποσταθεροποίησης των λιπαρών στα μίγματα παγωτού. Οι Goff et al. (1989) και Udabage et al. (2005), μελετώντας την επίδραση διαφόρων πρωτεϊνικών υλών (σκόνη γάλακτος, σκόνη ορού γάλακτος, καζεϊνικά άλατα, συμπυκνώματα ορού γάλακτος και υπερσυμπυκνώματα ορού γάλακτος), διαπίστωσαν ότι ο λόγος καζεϊνών προς πρωτεΐνες ορού γάλακτος είναι σημαντικός παράγοντας για την επιτυχανόμενη αποσταθεροποίηση των λιπαρών κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Έτσι οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος ελαττώνουν σε μεγαλύτερο βαθμό την επιφανειακή τάση, με αποτέλεσμα την αύξηση της αστάθειας των γαλακτωμάτων παγωτού κατά τη διάρκεια της απόδαρσης. Οι ίδιοι ερευνητές ωστόσο υπογράμμισαν ότι η επίδραση των καζεϊνών και των πρωτεϊνών ορού γάλακτος μπορεί να είναι πιο σύνθετη, αν ληφθούν και άλλοι εξωγενείς παράγοντες όπως το μακροϊξώδες ή η παρουσία και άλλων επιφανειοενεργών συστατικών. Σε άλλη μελέτη οι Britten & Giroux (1991) παρατήρησαν ότι σε γαλακτώματα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά και παρουσία μονογλυκεριδίων, οι καζεΐνες εμφάνισαν επιλεκτική προσρόφηση στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων, με την ορθοκινητική συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων να ελαττώνεται με αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Gelin et al. (1994) οι οποίοι παρατήρησαν ότι η επιλεκτική προσρόφηση των καζεϊνών έναντι των πρωτεϊνών ορού πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης, ενώ κατά την ωρίμανση, κατάψυξη, και σκλήρυνση παρατηρείται αποβολή των καζεϊνών προς τη φάση ορού. Αντίστοιχα, αποτελέσματα διαπίστωσαν οι Jonkman et al. (1999a) με χρήση TEM μικροσκοπίας. Οι Relkin & Sourdet (2005) ανέφεραν ότι η αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων δεν επηρεάζεται μόνο από το λόγο καζεϊνών:πρωτεϊνών ορού γάλακτος, αλλά και από το ποσοστό μετουσίωσης των πρωτεϊνών ορού, παράγοντας που συνδέεται με την υδροφοβικότητά τους. Ανάλογα, η ορθοκινητική συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων μπορεί να επηρεάζεται και από τη σφαιρική ή μυκηλιακή δομή των πρωτεϊνών (Relkin et al., 2003). Από τις έρευνες των Relkin & Sourdet (2005), Relkin et al. (2003a), και Relkin et al. (2003b) προέκυψε και η παράτηρηση ότι η παρουσία των πρωτεϊνών στα γαλακτώματα μπορεί να επιφέρει σημαντικές διαφορές και στην κρυστάλλωση των τριγλυκεριδίων, παράγοντα καθοριστικής σημασίας για την έκταση της αποσταθεροποίησης και την τιμή του overrun στα προϊόντα παγωτού. Σε σχετικές έρευνες οι Goff & Segall (1999) και Segall & Goff (2002) παρασκεύασαν συστήματα παγωτού με ικανοποιητικά ποσοστά αποσταθεροποίησης των λιπαρών και χωρίς την παρουσία γαλακτωματοποιητή. Η παρασκευή των συγκεκριμένων συστημάτων βασίστηκε στο φαινόμενο της δευτερογενούς προσρόφησης πρωτεϊνών στην επιφάνεια προ-γαλακτωματοποιημένων με πρωτεΐνες ορού γάλακτος, λιποσφαιρίων.

Οι πρωτεΐνες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα απόδαρσης των μιγμάτων παγωτού κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Η συμμετοχή των πρωτεϊνικών μορίων στα φαινόμενα σχηματισμού και σταθεροποίησης της διεπιφάνειας αέρα - φάσης ορού είναι ο κυριότερος μηχανισμός με τον οποίο επηρεάζουν την ενσωμάτωση του αέρα κατά την απόδαρση (Zhang & Goff, 2004; Damodaran, 2005). Γενικά, οι πρωτεΐνες εμφανίζουν μία επιλεκτικότητα ως προς την προσρόφησης τους στη διεπιφάνεια αέρα - φάσης ορού: οι καζεΐνες προσροφώνται ευκολότερα σε σχέση με τις πρωτεΐνες ορού (β-λακτογλοβουλίνη). Παρόλα αυτά, η ικανότητα των πρωτεϊνών ορού να ελαττώνουν την επιφανειακή τάση των μιγμάτων παγωτού συνδέεται έμμεσα με τη βελτίωση (λόγω αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων) της ικανότητας ενσωμάτωσης αέρα. Οι Koxholt et al. (1999) ανέφεραν

Βελτίωση της τιμής του overrun κατά τη χρήση συμπυκνώματος μετουσιωμένων πρωτεϊνών ορού (denaturated WPC), εξαιτίας της καλύτερης προσρόφησης των πρωτεϊνών στη διεπιφάνεια των φυσαλίδων αέρα, δράση η οποία οδήγησε και σε μείωση του ρυθμού τήξης και αύξηση του χρόνου στάλαξης των δειγμάτων παγωτού. Η χρήση συμπυκνωμάτων και υπερσυμπυκνωμάτων ορού γάλακτος έχει αναφερθεί ότι μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τα ιξώδη των μιγμάτων παγωτού και την ικανότητα απόδρασης των μιγμάτων παγωτού (Adapa et al., 2000; Aykan et al., 2008; Akalin et al., 2007). Οι Alvarez et al. (2005) και Roland et al. (1999) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη συμπυκνώματος πρωτεϊνών γάλακτος (MPC) μπορεί να αυξήσει το ιξώδες και την ικανότητα απόδρασης των μιγμάτων παγωτού, χωρίς να επιφέρει σημαντικές μεταβολές στη θερμοκρασία του σημείου πήξης. Επιπλέον, οι Alvarez et al. (2005) ανέφεραν ότι η προσθήκη του MPC μπορεί να συμβάλλει στον έλεγχο της ομοιομορφίας της κατανομής μεγέθους των παγοκρυσταλλων. Οι Patel et al. (2006), αυξάνοντας το πρωτεϊνικό περιεχόμενο των μιγμάτων παγωτού με την προσθήκη MPC ή WPC, διαπίστωσαν ότι η αύξησή του κατά 90% επέφερε σημαντική ενίσχυση του ιξώδους των μιγμάτων καθώς και ανύψωση της θερμοκρασίας του σημείου πήξης. Οι ίδιοι ερευνητές διαπίστωσαν βελτίωση των τιμών του overrun και μείωση του μέσου μεγέθους των αρχικών παγοκρυσταλλων, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της περιεκτικότητας των μιγμάτων παγωτού σε πρωτεΐνη μπορεί να αντισταθμίσει σε μεγάλο βαθμό την απαίτηση προσθήκης υδροκολλοειδών ή γαλακτωματοποιητών. Οι Innocente et al. (2002) και Innocente et al. (1999) ανέφεραν ότι η χρήση κλασμάτων πρωτεϊνών (πρωτεόζη - πεπτόνη) επιφέρει σημαντική σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων παγωτού και αυξάνει την ικανότητα απόδρασης και το ιξώδες τους, υποκαθιστώντας σε μεγάλο βαθμό τους γαλακτωματοποιητές. Η χρήση υπερσυμπυκνωμάτων πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης π.χ. σόγια, έχει επίσης εφαρμοστεί στην παραγωγή κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Οι Lee & White (1991) διερευνώντας την επίδραση της πρωτεΐνης που παραλαμβάνεται με υπερδιήθηση (UFP) και του WPC, διαπίστωσαν ότι η προσθήκη της UFP συνέβαλε στην αύξηση της αντοχής των δειγμάτων παγωτού έναντι της τήξης ενώ παράλληλα βελτίωσε το άρωμα και τα χαρακτηριστικά υψής τους. Οι Teh et al. (2005) παρασκεύασαν προϊόντα με υπερσυμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας, τα οποία χαρακτηρίζονταν από ενισχυμένο overrun και αποδεκτά χαρακτηριστικά υψής και αρώματος. Οι Herald et al. (2008) εξέτασαν τη δυνατότητα υποκατάστασης του κρόκου αυγού από WPC ή υπερσυμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας και διαπίστωσαν ότι το WPC αποτελεί πιο αποτελεσματικό μέσο υποκατάστασης των προϊόντων αυγού, βελτιώνοντας τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού χωρίς να επιδρά αρνητικά στα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.

Η προσθήκη των πρωτεϊνών στο παγωτό έχει άμεση επίπτωση στην οργανοληπτική ποιότητα των δειγμάτων παγωτού. Μία από τις βασικότερες ιδιότητες των πρωτεϊνών είναι η σύνδεσή τους με τη βανιλίνη με αποτέλεσμα να επηρεάζεται ο τρόπος και ο ρυθμός απελευθέρωσης του αρώματος (Plug & Haring 1994). Οι Hansen & Heinis (1991) απέδειξαν ότι η αύξηση του ποσοστού πρωτεϊνών ορού επιφέρει μείωση της έντασης της βανιλίνης. Η δράση αυτή σχετίζεται με τη σύνδεση των αλδεϋδικών ομάδων της με τις καζεΐνες. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφεραν οι Hansen & Heinis (1992) και για την περίπτωση της βενζαλδεΐδης. Οι Stampanoni-Koeflerli et al., (1996) διαπίστωσαν ότι τα πρωτεϊνικά συστατικά δρουν μάλλον ως μέσα τροποποίησης της αποδέσμευσης και αποτίμησης του αρώματος, παρά ως μέσα παρεμπόδισης της απελευθέρωσής του. Γενικά, η χρήση προϊόντων WPC ως μέσα ενίσχυσης του ΣΥΑΛ ή υποκατάστασης των λιπαρών επηρεάζει σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό την αποδέσμευση των αρωματικών παραγόντων. Οι Welty et al., (2001) ανέφεραν αύξηση του ρυθμού απελευθέρωσης της βενζαλδεΐδης, της φαινυλακεταλδεΐδης και των πυραζινών κατά την προσθήκη των πρωτεϊνικής προέλευσης υποκατάστατων Simplesse® και DairyLo® σε δείγματα παγωτού σοκολάτας. Αντίθετα, οι Ohmes et al., (2002), και Roland et al., (1999a) δεν παρατήρησαν αξιολογές αλλαγές στο ρυθμό αποδέσμευσης του αρώματος βανίλιας κατά την προσθήκη WPC και MPC, παρά το γεγονός ότι τα δείγματα εμφάνισαν ενισχυμένο άρωμα

ορού, καμμένου γάλακτος και αρώματος αμυλοσιροπίου. Τέλος, η προσθήκη συμπυκνωμάτων ορού γάλακτος και πρωτεΐνης γάλακτος συμβάλλει στην καθοριστική βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος, βελτιώνοντας την κρεμώδη υφή, και περιορίζοντας την τραχύτητα, τη σκληρότητα, την υδαρότητα και την αίσθηση παγωμένου. Οι επιδράσεις αυτές φαίνεται να σχετίζονται με την ικανότητα των συγκεκριμένων συστατικών να επηρεάζουν τα ρεολογικά και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων παγωτού και παγωτού γιαούρτι (Roland et al., 1999a,b; Aykan et al., 2008; Akalin et al., 2007; Alvarez et al., 2005; Patel et al., 2006; Lee & White 1991; Opdahl & Baer 1991; Parsons et al., 1985).

2.2.2 Γλυκαντικές ύλες

Οι γλυκαντικές ύλες αποτελούν το βασικότερο παράγοντα της ολικής αποδοχής των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος, αφού διαμορφώνουν την ένταση και το προφίλ της γλυκύτητάς τους, και επιπλέον επηρεάζουν τους μηχανισμούς απελευθέρωσης των αρωματικών παραγόντων (Koeflerli-Stampanoni, 1996; Stampanoni, 1993; Guinard et al., 1994; Guinard et al., 1997; Bom Frost et al., 2005). Επιπλέον, οι γλυκαντικές ύλες έχουν ένα σημαντικό λειτουργικό ρόλο, αφού επηρεάζουν άμεσα τις θερμοφυσικές ιδιότητες και τη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού, ενώ επηρεάζουν τις κολλοειδείς ιδιότητες των τελικών προϊόντων μέσω της επίδρασής τους στη συγκέντρωση της φάσης ορού και των φαινομένων διάχυσης μορίων νερού και διαλυμένων συστατικών από και προς τη διεπιφάνεια που βρίσκεται στη μικροπεριοχή μεταξύ της κύριας υδατικής φάσης και της επιφάνειας των παγοκρύσταλλων (Hartel, 2001; Hagiwara & Hartel, 1996; Miller-Livney & Hartel, 1997; Hagiwara et al., 2005; Hagiwara et al., 2006; Wittinger & Smith, 1986; Herrera et al., 2007). Δεδομένου ότι ο όρος γλυκαντικές ύλες είναι αρκετά εκτενής (Birch, 1999) και περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό από υλικά υδατανθρικής φύσης, παράγοντες όπως το μοριακό βάρος, το ισοδύναμο δεξτρόζης (DE), η περιεκτικότητα σε μαλτόζη, ο βαθμός πολυμερισμού (DP) και διακλάδωσης, και η γλυκαντική ισχύς καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την παρεχόμενη λειτουργικότητα στα συστήματα παγωτού.

Η επίδραση των γλυκαντικών υλών στις θερμοφυσικές ιδιότητες (ταπείνωση του σημείου πήξης, μετάπτωση στην υαλώδη κατάσταση, ποσοστό κρυσταλλωμένου νερού) αποτελεί και τον κύριο μηχανισμό με τον οποίο οι γλυκαντικές ύλες ελέγχουν τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης στο παγωτό (Hagiwara & Hartel, 1996; Miller-Livney & Hartel, 1997; Hagiwara et al., 2006; Smith et al., 1984; Baer et al., 1987; Alonso & Setzer, 1995). Ωστόσο, παράγοντες που αφορούν στη μοριακή δομή των γλυκαντικών υλών και το μέγεθος των μορίων τους, συμβάλλουν επίσης καθοριστικά στον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης, αφού επηρεάζουν το μικροϊξώδες και εμμέσως τη μοριακή κινητικότητα του νερού, ενώ έχουν την ικανότητα να επιδρούν στο βαθμό ταπείνωσης του σημείου πήξης ο οποίος συνδέεται άμεσα με τη διαθεσιμότητα του μη κρυσταλλωμένου νερού στις φυσικές δράσεις που αφορούν την υποβάθμιση της ποιότητας του παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (βλ. κεφ. 4).

Η επίδραση των γλυκαντικών υλών στα φαινόμενα κρυστάλλωσης του νερού σχετίζεται επίσης με τα χαρακτηριστικά υφής. Η χρήση απλών σακχάρων, δισακχαριτών και πολυολών διευκολύνει το τεμαχισμό των κατεψυγμένων προϊόντων στις χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης και περιορίζει την σκληρότητά τους (Wittinger & Smith, 1986; Clarke, 2004; Muse & Hartel, 2004). Ωστόσο η αύξηση της περιεκτικότητας του παγωτού σε ολικά στερεά γλυκαντικών υλών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της συνεκτικότητας και της κομμώδους υφής του (Güven & Karaca, 2002; Muse & Hartel, 2004; Guinard et al., 1997). Σε γενικές γραμμές η επίδραση των γλυκαντικών υλών στη συνεκτική και κομμώδη υφή σχετίζεται με το ισοδύναμο δεξτρόζης και το βαθμό πολυμερισμού και διακλάδωσής τους: η μείωση του DE και η αύξηση του DP επιφέρουν σημαντική αύξηση της κομμώδους υφής και της συνεκτικότητας των δειγμάτων (Muse & Hartel, 2004; Clarke, 2004). Στην περίπτωση των

μακρομοριακών γλυκαντικών υλών (π.χ. μαλτοδεξτρίνες, ινουλίνη, αμυλοσιρόπια χαμηλού DE) η αύξηση της σκληρότητας και της κομμώδους υφής δεν είναι μόνο αποτέλεσμα της ανύψωσης της θερμοκρασίας του σημείου πήξης, αλλά και της ικανότητας των εν λόγω συστατικών να σχηματίζουν πλέγματα ή πήγματα εγκλωβίζοντας σημαντικά ποσά μη κρυσταλλωμένου νερού (Adapa et al., 2000).

Η επίδραση των γλυκαντικών υλών στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού εξαρτάται ιδιαίτερα από τα δομικά και φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά: η επίδραση των γλυκαντικών υλών αυξάνει με αύξηση του μοριακού τους βάρους και του βαθμού πολυμερισμού και διακλάδωσης, και με μείωση του ισοδύναμου δεξτρόζης. Έτσι οι μαλτοδεξτρίνες, τα αμυλοσιρόπια και οι φρουκτοολιγοσακχαρίτες επιφέρουν σημαντική αύξηση του ιξώδους και ισχυρές αποκλίσεις από τη νευτωνική συμπεριφορά, ως αποτέλεσμα της συμπύκνωσης της υδατικής φάσης και της αλληλεπίδρασης των πολυμερικών τμημάτων των γλυκαντικών υλών προς σχηματισμό πλεγμάτων ή και πηγμάτων (Akhtar et al., 2006; Muse & Hartel, 2004; Goff et al., 1990; Akalin et al., 2007; Akalin et al., 2008; El-Nagar et al., 2002). Επιπλέον, ορισμένες γλυκαντικές ύλες μπορούν να αλληλεπιδρούν με τις πρωτεΐνες οδηγώντας στο σχηματισμό πηγμάτων. Οι Schaller-Povolny & Smith, (2002) ανέφεραν ότι οι καζεΐνες εμφανίζουν την ικανότητα αλληλεπίδρασης προς σχηματισμό σύνθετων πολυμερικών δομών οι οποίες μπορούν να έχουν επίδραση στη ρεολογική συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά υφής του παγωτού. Οι Schorch et al., (2002) ανέφεραν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης σακχαρόζης (έως και 30% w/w) σε υδατικά οξινοσμένα συστήματα πρωτεΐνης συμβάλλει στην ενίσχυση της ικανότητας σχηματισμού και της σταθερότητας του πήγματος, δράση η οποία μπορεί να είναι ιδιαίτερης σημασίας στα κατεψυγμένα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος. Πράγματι οι Güven & Karaca (2002), Alamprese et al., (2002), Alamprese et al., (2005), Akin et al., (2007) παρατήρησαν σημαντική αύξηση του ιξώδους των μιγμάτων παγωτού-γιαούρτι και προβιοτικού παγωτού. Οι Schorch et al., (1999a) ανέφεραν ότι η προσθήκη της σακχαρόζης σε υδατικά συστήματα πολυσακχαρίτη - πρωτεϊνών μπορεί να επιδράσει στη θερμοδυναμική ασυμβατότητα των βιοπολυμερών (πρωτεΐνες - πολυσακχαρίτες) και συνεπώς στη σταθερότητα των μιγμάτων κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης.

Η ενίσχυση του ιξώδους των μιγμάτων μπορεί επίσης να επιδράσει θετικά στην ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα κατά τη διάρκεια της διεργασίας απόδρασης, λόγω της αυξημένης τάσης αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων. Η παρουσία μακρομοριακών γλυκαντικών υλικών αυξάνει το ποσοστό της αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων και τις τιμές του overrun. Η ήπια επιφανειοενεργός δράση των υδροκολλοειδών επίσης μπορεί να εξηγήσει και την αύξηση του overrun (Akalin et al., 2008; Huang et al., 2001; Ozdemir et al., 2008; Muse & Hartel 2004). Η χρήση μικρού μοριακού βάρους γλυκαντικών υλών π.χ. πολυόλες δεν συμβάλλει σε σημαντικές επιδράσεις στην τάση αποσταθεροποίησης των λιπαρών και την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα (Whelan et al., 2006). Η χρήση των αμυλοσιροπίων μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αύξηση της σταθερότητας των φυσαλίδων και συνεπώς σε μεγαλύτερη σταθερότητα των δειγμάτων παγωτού έναντι της συρρίκνωσης (Dubey & White 1997).

Η επίδραση των γλυκαντικών υλών στις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων και η αλληλεπίδρασεις τους με τα βιοπολυμερή της υδατικής φάσης οδηγούν σε σημαντικές επιδράσεις στην αντοχή του παγωτού έναντι του θερμικού σοκ (Marshall et al., 2003). Η χρήση μαλτοδεξτρινών και αμυλοσιροπίων χαμηλού DE αποτελεί κοινή πρακτική για την ανάσχεση της υποβάθμισης της ποιότητας του παγωτού κατά την υποβολή του σε θερμικό σοκ (Wittinger & Smith, 1986; Muse & Hartel, 2004). Επιπλέον, οι Goff et al., (1990) διαπίστωσαν ότι η τεχνική εξευγενισμού των αμυλοσιροπίων (ιοντοεναλλαγή έναντι της μεθόδου ενεργού άνθρακα) μπορεί να επιφέρει θετικές επιδράσεις στη σταθερότητα των δειγμάτων παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Η χρήση εναλλακτικών πηγών σακχάρων μπορεί να

συμβάλλει στη βελτίωση της σταθερότητας των δειγμάτων παγωτού έναντι της τήξης (Salama, 2004; Ozdemir et al., 2008; Groschner, 1998).

Οι γλυκαντικές ύλες λειτουργούν ως μέσα ενίσχυσης του αρώματος στα συστήματα που περιέχουν βανιλίνη (Kemp & Beauchamp, 1994), ενώ έχει αναφερθεί και η συσχέτισή τους με την απελευθέρωση του αρώματος καραμέλας και κρέμας γάλακτος (Koeflerli-Stampanoni et al., 1996). Οι Wittinger & Smith (1986) ανέφεραν ότι το άρωμα βανίλιας ενισχύθηκε στα δείγματα παγωτού που περιείχαν αμυλοσιρόπια. Η δράση σχετίζεται με τον εγκλωβισμό της βανιλίνης στη σύνθετη δομή των αμυλοσιροπίων, με αποτέλεσμα τη βραδύτερη απελευθέρωση του αρώματος. Η προσθήκη των γλυκαντικών υλών συμβάλλει επίσης στον περιορισμό του όξινου και στυφού αρώματος που χαρακτηρίζει τα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος (Specter & Setzer, 1994; Tuorila et al., 1995; Guven & Karaca, 2002; Guinard et al., 1994). Ο περιορισμός του όξινου και στυφού flavor είναι ίσως η σημαντικότερη παραμέτρος αποδοχής των ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος (Guinard et al., 1994). Επιπλέον, η αύξηση των ολικών στερεών γλυκαντικών υλών σχετίζεται και με σημαντική ενίσχυση του αρώματος σοκολάτας. Οι Whelan et al. (2006) διαπίστωσαν ότι η ένταση της γλυκύτητας του παγωτού δεν είναι η μόνη παράμετρος που επηρεάζει την αποδοχή του από τους καταναλωτές. Αντίθετα, η σύσταση των γλυκαντικών υλών και η χημική τους σύνδεση με τις αρωματικές ενώσεις καθορίζει την αποδοχή του παγωτού. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές ανέφεραν ότι η χρήση γλυκαντικών που ενισχύουν το άρωμα βανίλιας και το άρωμα κρέμας οδηγούν σε καλύτερη αποτίμηση της γλυκιάς γεύσης. Η συσχέτιση της κρεμώδους υφής με το άρωμα βανίλιας έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές (de Wijk et al., 2003; de Wijk et al., 2006).

Οι Conforti (1994) και Muse & Hartel (2004) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη αμυλοσιροπίων οδηγεί σε σημαντική αύξηση της κομμώδους και κρεμώδους υφής. Ανάλογες περιπτώσεις έχουν αναφερθεί κατά τη χρήση μαλτοδεξτρινών και φρουκτοολιγοσακχαριτών (Akalin et al., 2007; Akalin et al., 2008; Schaller-Povolny & Smith, 1997; Adapa et al., 2000; Akthar et al., 2006; Karaca et al., 2009). Η σημαντική τροποποίηση των θερμικών χαρακτηριστικών, η μεταβολή των ρεολογικών ιδιοτήτων, αλλά και οι επιδράσεις στους μηχανισμούς που ελέγχουν την κρεμώδη υφή κατά τη διάρκεια της μάσησης (τριβή προερχόμενη από τα δομικά στοιχεία, μεταβολή των παγοκρυστάλλων κατά τη διάρκεια της μάσησης, αλλαγή του ιξώδους του τήγματος, αλληλεπιδράσεις στυφών - όξινων αρωματικών παραγόντων με τους υποδοχείς της γλώσσας, δημιουργία λεπτού υμενίου από αποσταθεροποιημένα λιπίδια στην επιφάνεια της γλώσσας κ.α.) εξηγούν τη βελτίωση του συνόλου των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών υφής κατά τη χρήση μακρομοριακών γλυκαντικών υλών. Αντίθετα, η χρήση πολυολών ή απλών σακχάρων δε συνεπάγεται απόλυτα την υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Η ενσωμάτωση πολυολών και εναλλακτικών σακχάρων ως επιμέρους συστατικά του μίγματος γλυκαντικών υλών (το οποίο περιέχει και μακρομοριακές γλυκαντικές ύλες) μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της ολικής αποδοχής των μιγμάτων παγωτού (Whelan et al., 2006; Bordi et al., 2004; Maia et al., 2008; Ruben Abril et al., 1982; Goff & Pearson, 1983; Goff & Jordan, 1984; Ozdemir et al., 2003).

Τέλος, η υδρόλυση της λακτόζης, η παρουσία της οποίας μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη αμώδους υφής λόγω κρυστάλλωσης, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της γλυκαντικής ισχύος των δειγμάτων, αλλά και σε ταπείνωση του σημείου πήξης των μιγμάτων παγωτού. Οι Lindamood et al. (1989) και Martinez & Speckman (1989) ανέφεραν ότι η ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης με β-γαλακτοζιδάση σε ποσοστό έως και 59% οδήγησε σε ενίσχυση της γλυκύτητας του παγωτού, χωρίς να επιφέρει αρνητικές επιδράσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και την αντοχή του στο θερμικό σοκ. Οι El-Neshawy et al. (1988) ανέφεραν ότι η υποκατάσταση του γάλακτος σε ποσοστό 75% από γάλα υδρολυμένης λακτόζης οδήγησε σε αύξηση του ιξώδους και της ικανότητας απόδρασης των μιγμάτων, ενώ

Βελτίωσε τα χαρακτηριστικά τήξης και την οργανοληπτική ποιότητα των κατεψυγμένων προϊόντων.

2.2.3 Υδροκολλοειδή

Τα υδροκολλοειδή αποτελούν τα πρωτογενή συστατικά ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης, ενώ πολύ σημαντική είναι και η επίδρασή τους στα ρεολογικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων παγωτού. Ο μηχανισμός ελέγχου της ανακρυστάλλωσης από τα υδροκολλοειδή σχετίζεται άμεσα με τις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων όπως συμβαίνει στην περίπτωση των σακχάρων και των πρωτεϊνών. Αντίθετα, η κρυστοπροστατευτική δράση των υδροκολλοειδών σχετίζεται περισσότερο με τα κολλοειδή χαρακτηριστικά των μιγμάτων και τις θερμοδυναμικές μεταβολές που επέρχονται κατά τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας (Goff et al., 1993; Regand & Goff, 2003; Goff et al., 1999; Flores et al., (1999a,b), Patmore et al., 2003; Herrera et al., 2007). Στο κεφ. 4 περιγράφονται εκτενώς οι μηχανισμοί ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης από τα υδροκολλοειδή.

Τα υδροκολλοειδή λόγω της ικανότητάς τους να δεσμεύουν μεγάλα ποσοστά υγρασίας κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης και να σχηματίζουν πολυσακχαριτικά πλέγματα ή πήγματα, αυξάνουν σημαντικά το ιξώδες των μιγμάτων και ενισχύουν την ψευδοπλαστική και θιξοτροπική συμπεριφορά τους. Το είδος και η αναλογία των υδροκολλοειδών, η χημική φύση (ανιονικό ή ουδέτερο), ο βαθμός πολυμερισμού και διακλάδωσης, η ικανότητα σχηματισμού πήγματος, η αλληλεπίδραση με τις πρωτεΐνες γάλακτος, και εσωτερικοί παράγοντες των μιγμάτων όπως η ιοντική ισορροπία, το pH και η θερμοκρασία αποτελούν τις κυριότερες παραμέτρους που επηρεάζουν τη λειτουργικότητα των υδροκολλοειδών στα μίγματα παγωτού. Οι Cottrell et al. (1980) χρησιμοποιώντας ένα σημαντικό αριθμό υδροκολλοειδών (καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, κόμμι χαρουπιού, κόμμι γκουάρ, κ-καρραγενάνη), διαπίστωσαν ότι η προσθήκη τους σε μίγματα παγωτού οδηγεί σε ψευδοπλαστική μη νευτωνική συμπεριφορά σε σχέση με τα μη σταθεροποιημένα μίγματα, η οποία περιγράφεται από τον νόμο Ostwald - de Waale. Η απόκλιση από την νευτωνική συμπεριφορά ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση των κόμμιων γκουάρ και χαρουπιού. Σε μια παρόμοια μελέτη οι Wallingford & Labuza (1983) διαπίστωσαν ότι η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του κόμμιος γκουάρ ήταν 4 φορές υψηλότερη εκείνης του κόμμιος χαρουπιού. Η ενυδάτωση των πολυσακχαριτών γίνεται με αργό ρυθμό, ενώ η παρουσία σακχάρων οδηγεί σε μείωση του ρυθμού ενυδάτωσής τους (Morris et al., 2000). Οι Goff et al., (1994) προσδιορίζοντας τα ιξώδη των μιγμάτων παγωτού στη θερμοκρασία παστερίωσης διαπίστωσαν ότι η προσθήκη των υδροκολλοειδών οδηγεί σε ψευδοπλαστική με την ξανθάνη να εμφανίζει τη μεγαλύτερη απόκλιση από τη νευτωνική συμπεριφορά ($n = 0.5$). Η ενίσχυση της ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς των μιγμάτων παγωτού κατά την προσθήκη υδροκολλοειδών παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού έχει επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα της θερμικής κατεργασίας τους (Goff et al., 1996). Η ενεργότητα των υδροκολλοειδών με τις πρωτεΐνες γάλακτος, τα ιόντα Ca^{2+} , αλλά και η αύξηση της αλληλοσύνδεσης των πολυσακχαριτικών αλυσίδων, όταν αυτά προστίθενται σε συγκεντρώσεις υψηλότερες της κρίσιμης (c^*), καθορίζουν σημαντικά τη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων (Schmidt & Smith, 1992). Η χρήση της κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό μέσο στα μίγματα παγωτού, λόγω της αλληλεπίδρασής της με τα καζεϊνικά μυκκήλια αυξάνει σημαντικά τα ιξώδη των μιγμάτων ενώ παράλληλα σταθεροποιεί τα γαλακτώματα παγωτού λόγω της μείωσης της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας των κύριων υδροκολλοειδών με τις πρωτεΐνες (Bourriot et al., 1999; Thaidom et al., 2003; Vega & Goff, 2004). Υλικά με υψηλό περιεχόμενο σε πολυσακχαριτικής φύσης συστατικά π.χ. διαιτητικές ίνες, σαλέπι, μελάσσα κ.α. μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού. Στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε ότι η χρήση διαιτητικών ινών (μήλου, σιταριού ή βρώμης) οδήγησε σε σημαντική αύξηση της ψευδοπλαστικής και θιξοτροπικής συμπεριφοράς των μιγμάτων

παγωτού. Οι Güven et al., (2003), Dogan & Kayacier (2007), Kus et al., (2005) και Kaya & Tekin, (2001) ανέφεραν ότι η προσθήκη σαλεπιού (το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα στην παραγωγή ενός παραδοσιακού τύπου παγωτού στην Τουρκία γνωστό ως Kahramanmaras) μπορεί να αυξήσει σημαντικά τα ιξώδη να ενισχύσει τη ψευδοπλαστική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού.

Η επίδραση των υδροκολλοειδών στα ιξώδη των μιγμάτων μπορεί να επηρεάσει και την ικανότητα απόδοσης. Γενικά, τα σταθεροποιημένα μίγματα παγωτού παρουσιάζουν καλύτερη ικανότητα απόδοσης σε σχέση με εκείνα χωρίς σταθεροποιητή (Marshall et al., 2003; Clarke, 2004). Ωστόσο μίγματα με πολύ υψηλά ιξώδη στα οποία εμφανίζονται και φαινόμενα σχηματισμού πήγματος μπορεί να εμφανίζουν προβληματικό overrun (Akalın et al., 2008; Smith et al., 2000). Επιπλέον, η πιθανή (αν και στις περισσότερες περιπτώσεις περιορισμένη) επιφανειοενεργότητα των υδροκολλοειδών μπορεί να διευκολύνει τη σταθεροποίηση της διεπιφάνειας αέρα - νερού (Huang et al., 2001). Έμμεση επίδραση μπορεί να έχουν τα υδροκολλοειδή στο ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαρών λόγω της επίδρασής του στα ιξώδη των μιγμάτων (και συνεπώς στην αναπτυσσόμενη διατμητική τάση κατά τη διάρκεια της κατάψυξης) αν και η παρουσία τους δεν επηρεάζει την επιφανειακή τάση των μιγμάτων (Goff & Spagnuolo, 2001).

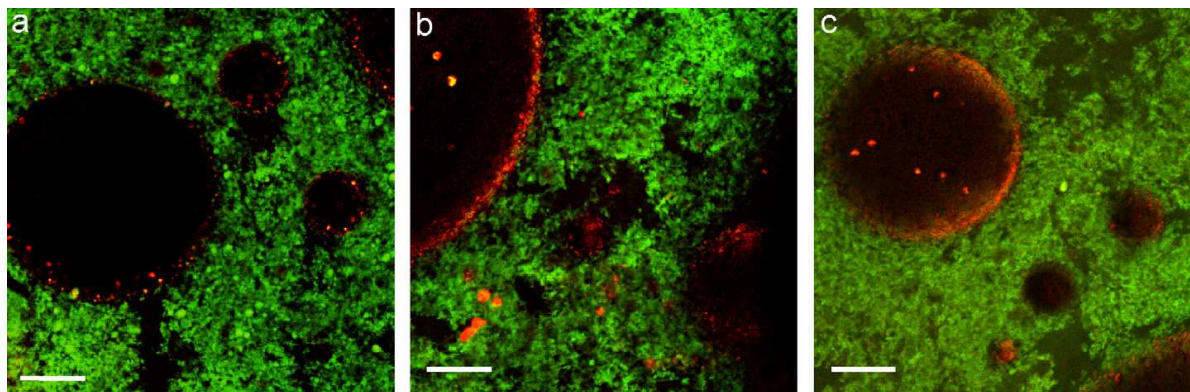
Τα υδροκολλοειδή επηρεάζουν σημαντικά την αντοχή των κατεψυγμένων επιδορπίων γάλακτος έναντι της τήξης. Γενικά, η ικανότητα αλληλεπίδρασης των υδροκολλοειδών με τις πρωτεΐνες και τα υπόλοιπα βιοπολυμερή, αλλά και η ικανότητα σχηματισμού πλεγμάτων και πηγμάτων σχετίζεται με τη βελτίωση των χαρακτηριστικών τήξης των σταθεροποιημένων κατεψυγμένων επιδορπίων γάλακτος (Martinou-Voulasiki & Zerfiridis, 1990; Wittinger & Smith, 1986; Abd-El-Salam et al., 1997). Σε γενικές γραμμές η προσθήκη 0.2 - 0.3% υδροκολλοειδούς είναι ικανή για τον επαρκή έλεγχο των χαρακτηριστικών τήξης. Η χρήση διαιτητικών ινών κίτρου συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση του ρυθμού τήξης των δειγμάτων παγωτού και της ικανότητας διατήρησης του σχήματός τους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Dervisoglu & Yasizi, 2006). Παρόμοια η χρήση αλεύρου ρυζιού ή φλοιού φουντουκιού συνέβαλε στην αύξηση της σταθερότητας του παγωτού έναντι της τήξης (Cody et al., 2007; Dervisoglu, 2006).

Αν και τα υδροκολλοειδή είναι ουδέτερα συστατικά από πλευράς αρώματος, ωστόσο μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τον τρόπο και το ρυθμό με τον οποίο απελευθερώνεται το άρωμα (Cook 2006). Σε γενικές γραμμές, η παρουσία των πολυσακχαριτικών πλεγμάτων ή προσθήκη υδροκολλοειδών σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες της c^* σε υδατικά συστήματα μπορεί να προκαλέσει ταπείνωση της έντασης και αύξηση του χρόνου αποδέσμευσης του αρώματος (Morris et al., 2000, Terta et al., 2004). Επιπλέον, στην περίπτωση των συστημάτων παγωτού, η επίδραση των υδροκολλοειδών στο άρωμα συνδέεται με τη συμβατότητά του με το σύστημα π.χ. υψηλή οξύτητα, αλλά και με τις αλληλεπιδράσεις ιδιοτήτων αρώματος - υφής κατά τη διάρκεια της μάσησης. Σε σχετική μελέτη, προσδιορίστηκε ότι τα συστήματα παγωτού που χαρακτηρίζονταν από ικανοποιητικά χαρακτηριστικά υφής (κρεμώδης υφή, περιορισμένη τραχύτητα και υδαρότητα), χαρακτηρίζονταν και από καλύτερα εκτιμώμενο άρωμα βανίλιας. Έτσι η κρουπροστατευτική δράση των υδροκολλοειδών δεν επηρεάζει μόνο την υφή αλλά και το άρωμα του παγωτού. Παρόμοια, σε συστήματα προβιοτικού παγωτού με ανεπαρκή σταθεροποίηση, η υποβάθμιση της ποιότητας της υφής των δειγμάτων συνοδεύτηκε και από υποβαθμισμένο άρωμα βανίλιας, καθώς και έντονα στυφό και όξινο flavor.

2.2.4 Λιπαρές υλες

Οι λιπαρές ανεξάρτητα από την προέλευσή τους (φυτικά λιπαρά ή λιπαρά γάλακτος) είναι καθοριστικής σημασίας συστατικά της ποιότητας του παγωτού, αφού σχετίζονται με την αποτελεσματικότητα της ωρίμανσης, και τη σταθερότητα των δομικών χαρακτηριστικών του

παγωτού (φουσαλίδες αέρα). Η ομογενοποίηση είναι το στάδιο το οποίο καθορίζει τις κολλοειδείς ιδιότητες των λιπαρών υλών, αφού επιδρά στο μέγεθος των λιποσφαιρίων και τη σύσταση της μεμβράνης που τα περιβάλλει (Marshall et al., 2003; Goff, 1997a; Goff, 2002). Τα μίγματα παγωτού πρέπει να έχουν ένα λόγο κρυσταλλωμένων προς μη κρυσταλλωμένα τριγλυκερίδια περίπου ίσο με 60:40, έτσι ώστε να υπάρχει αρκετή ποσότητα αποσταθεροποιήσιμων λιποσφαιρίων κατά τη διάρκεια της κατάψυξης (Goff 1997a). Κατά συνέπεια η χρήση λιπαρών υλών με κρυσταλλώσιμα τριγλυκερίδια στις θερμοκρασίες ωρίμανσης (2-4°C) είναι σχεδόν απαραίτητη για την επίτευξη ικανοποιητικής ενσωμάτωσης αέρα (Boode & Walstra 1993; Herrera et al., 1999). Οι Lucas et al., (2005) και Mariette & Lucas (2005) προσδιόρισαν το ποσοστό στερεού λίπους (SFC) σε μίγματα παγωτού με διαφορετικά είδη λιπαρών. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η χρήση καρυδέλαιου οδηγεί σε υψηλότερα ποσοστά κρυσταλλωμένου λίπους (65-70%) σε σχέση με τα λιπαρά γάλακτος (50-60%). Η αύξηση του ποσοστού κρυστάλλωσης των λιπαρών οδήγησε σε επιδράσεις τόσο στα δομικά χαρακτηριστικά (μερική συσσωμάτωση και αύξηση μεγέθους των λιποσφαιρίων, overrun) όσο και στη σταθερότητά τους έναντι της θερμικής καταπόνησης (θερμικό σοκ). Οι Bazmi et al. (2008) μελέτησαν την επίδραση κλασμάτων λιπαρών γάλακτος με υψηλά (AMF-stearin) και χαμηλά σημεία τήξης (AMF-olein) στις φυσικές ιδιότητες μιγμάτων παγωτού, και διαπίστωσαν ότι η προσθήκη των πλούσιων σε κορεσμένα τριγλυκερίδια κλασμάτων επηρέασε σημαντικά τα φαινόμενα κρυστάλλωσης των λιπαρών, χωρίς όμως να μεταβάλλει αξιολογικά τη μέση διάμετρο των λιποσφαιρίων. Οι ίδιοι ερευνητές παρατήρησαν ότι η παρουσία των λιπαρών οδηγεί σε αύξηση της θιξοτροπικής συμπεριφοράς των μιγμάτων, γεγονός που συνδέεται τόσο με τη καταστροφή των δικτύων που δημιουργούνται από τα κρυσταλλωμένα λιποσφαίρια όσο και από τις μεταβολές στην κατανομή των πρωτεϊνών ανάμεσα στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων και την κύρια υδατική φάση. Παρόμοια, συμπεριφορά παρατήρησαν και οι Granger et al. (2003) οι οποίοι ανέφεραν ότι η αύξηση του ολικού ποσοστού κορεσμένων τριγλυκεριδίων οδηγεί σε μείωση του ποσοστού απομάκρυνσης των πρωτεϊνών από την επιφάνεια των λιποσφαιρίων, γεγονός που έχει άμεση επίδραση στη ρεολογική συμπεριφορά της φάσης ορού. Οι Bazmi & Relkin (2006) παρατήρησαν ότι η χρήση στεαρινικών κλασμάτων λιπαρών γάλακτος επιφέρει όχι μόνο αύξηση του ποσοστού κρυσταλλωμένων λιπαρών, αλλά και αλλαγές στη θερμοκρασία έναρξης και τερματισμού της τήξης όπως και στο βαθμό υπόψυξης ο οποίος συνδέεται με την πυρηνογένεση και τη θερμοδυναμική σταθερότητα των σχηματιζόμενων κρυστάλλων (Rousseau, 2000). Οι Bazmi et al. (2007) διαπίστωσαν ότι η επίδραση των στεαρινικών και ελαϊκών κλασμάτων στην κρυστάλλωση των λιπαρών κατά την ωρίμανση συνδέεται άμεσα με τη συγκέντρωση των πρωτεϊνών στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων και κατ' επέκταση με την ικανότητα απόδρασης των μιγμάτων παγωτού (Σχήμα 2.14) Οι Abd-El-Rahman et al. (1997a) σε σχετική μελέτη της επίδρασης των κλασμάτων λιπαρών γάλακτος και της κρέμας γάλακτος στις φυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού παρατήρησαν ότι τα μίγματα που περιείχαν κρέμα γάλακτος χαρακτηρίζονταν από χαμηλότερα ιξώδη λόγω του χαμηλότερου βαθμού κρυστάλλωσης. Παρόλα αυτά οι συγκεκριμένοι ερευνητές δεν διαπίστωσαν σημαντικές διαφορές ως προς το ποσοστό προσροφημένων πρωτεϊνών κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης. Οι Granger et al. (2003), χρησιμοποιώντας διαφορετικά είδη φυτικών λιπαρών υλών (υδρογονωμένο καρυδέλαιο, εξευγενισμένο καρυδέλαιο, εξευγενισμένο φοινικέλαιο, και ηλιέλαιο με υψηλό περιεχόμενο σε ελαϊκό οξύ) παρουσία κορεσμένων και ακόρεστων γαλακτωματοποιητών, διαπίστωσαν ότι η ακορεστότητα της λιπαρής ύλης σε συνδυασμό με την ακορεστότητα του γαλακτωματοποιητή επιδρούν καθοριστικά στο μέσο μέγεθος των λιποσφαιρίων, αλλά και το ποσοστό προσρόφησης πρωτεϊνών κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης. Οι Goh et al. (2006) και Nazaruddin et al. (2008) διαπίστωσαν ότι η ενσωμάτωση στα μίγματα παγωτού λινέλαιου, παλμολεΐνης, παλμοστεαρίνης ή ελαίου της φύτρας του ρυζιού συμβάλλει στη μείωση της μέσης διαμέτρου των λιποσφαιρίων.

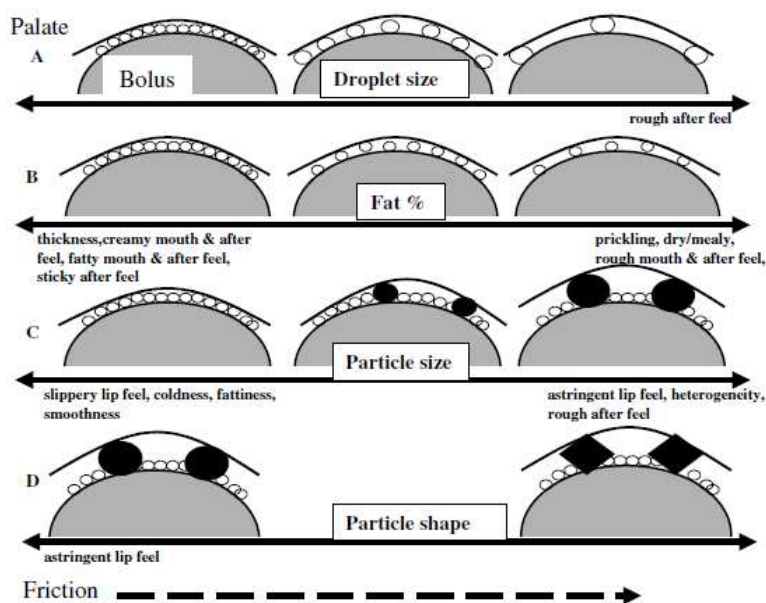


Σχήμα 2.14: Μικροδομή αποδαρμένων μιγμάτων παγωτού με (α) στεαρίνη λιπαρών γάλακτος, (β) με άνυδρο λίπος γάλακτος και (γ) με ελαΐνη λιπαρών γάλακτος. Με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα λιποσφαιρία και πράσινο οι πρωτεΐνες (Bazmi et al., 2007)

Σε επόμενες τους έρευνες, οι [Granger et al. \(2005a,b\)](#) διαπίστωσαν ότι ο συνδυασμός λιπαρής ύλης - γαλακτωματοποιητή επιδρά άμεσα στα δομικά χαρακτηριστικά του παγωτού, με τα δείγματα που παρασκευάστηκαν με λιπαρά πλούσια σε ακόρεστα τριγλυκερίδια να επιτυγχάνουν καλύτερη ενσωμάτωση αέρα και μεγαλύτερο ποσοστό αποσταθεροποίησης. Οι ίδιοι ερευνητές ανέφεραν ότι ο ρυθμός τήξης των δειγμάτων παγωτού ήταν μικρότερος στα δείγματα που περιείχαν εξευγενισμένο καρυδέλαιο. Οι [Casiraghi et al. \(2002\)](#), συγκρίνοντας την ικανότητα απόδρασης μιγμάτων παγωτού βιοτεχνικού τύπου (χαμηλού overrun), διαπίστωσαν ότι η μείωση του ποσοστού των λιπαρών σε συνδυασμό με τη μείωση των ελεύθερων λιπαρών οδηγεί σε αύξηση της τιμής του overrun του παγωτού. Επιπλέον, η ωρίμανση αποδείχθηκε ως βασικός παράγοντας για την αύξηση του overrun των δειγμάτων κυρίως, λόγω των κολλοειδών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα ([Casiraghi et al., 2002](#); [Granger et al., 2003](#); [Bazmi et al., 2008](#)). Οι [Im et al., \(1994\)](#) και [Tong et al., \(1984\)](#) χρησιμοποίησαν λιπαρά με υψηλό ποσοστό σε πολυακόρεστα τριγλυκερίδια για την παρασκευή παγωτού όπως κραμβέλαιο, σογιέλαιο και καρδαμέλαιο. Η ικανότητα απόδρασης των μιγμάτων ελαττώθηκε με αύξηση του ποσοστού σε μονοακόρεστα και πολυακόρεστα τριγλυκερίδια, δράση η οποία φάνηκε ότι συνδέεται με τη μείωση του κρυσταλλωμένου υλικού. Ωστόσο, οι [Tong et al. \(1984\)](#) δεν παρατήρησαν κάποια αρνητική επίδραση του καρδαμέλαιου στο ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαρών, γεγονός που υποδεικνύει ότι η μείωση του ποσοστού κρυσταλλωμένου λίπους δεν είναι ο μοναδικός μηχανισμός που ελέγχει τη διόγκωση στο παγωτό. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η αύξηση των λιπαρών αν και συμβάλλει στην ευχερέστερη διόγκωση και τη σταθερότητα των φυσαλίδων αέρα, δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη την αναλογική αυξητική μεταβολή του overrun. Για παράδειγμα, οι [Adapa et al. \(2000\)](#) διαπίστωσαν ότι τα δείγματα με 12% λιπαρά είχαν σημαντικά καλύτερη ικανότητα απόδρασης σε σχέση με τα δείγματα με 8% λιπαρά αλλά όχι και από τα αντίστοιχα με 6% λιπαρά. Το φαινόμενο φαίνεται πως είναι αρκετά πιο σύνθετο και επηρεάζεται καθολικά από τη συμμετοχή όλων των παραμέτρων που συμβαίνουν στις διεπιφάνειες αέρα - φάσης ορού και λιπαρών - αέρα - φάσης ορού ([Zhang & Goff, 2005](#); [Zhang & Goff, 2004](#)).

Εκτός από τις επιδράσεις των λιπαρών υλών στα κολλοειδή φαινόμενα, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός ερευνών στις οποίες έχει εξεταστεί η επίδραση των λιπαρών πηγών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παγωτού. Σε γενικές γραμμές, η μείωση του ποσοστού των λιπαρών υλών συνοδεύεται με αύξηση της σκληρότητας, της τραχιάς και εύθρυπτης υφής, της αίσθησης παγωμένου και τον περιορισμό της κρεμώδους υφής ([Ranjan & Baer 2004](#); [Abd-El-Rahman et al., 1997b](#); [Stampanoni-Koeflerli et al., 1996](#); [Guinard et al., 1996](#); [Guinard et al., 1997](#)). Η επίδραση αυτή αποδίδεται τόσο στην αύξηση των ολικών στερεών των δειγμάτων (και συνεπώς στη μείωση του κρυσταλλωμένου νερού), όσο και στην επίδραση των λιπαρών

στα δομικά χαρακτηριστικά του παγωτού (αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια, φυσαλίδες αέρα, παγοκρύσταλλοι). Επιπλέον, οι λιπαρές ύλες, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους κατά την τήξη, έχουν την ικανότητα να δημιουργούν ένα λεπτό υμένιο από αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια στην επιφάνεια της γλώσσας, η οποία προσφέρει την αίσθηση της λίπανσης και την ελάττωση της τριβής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάσησης (de Wijk et al., 2003; de Wijk et al., 2006; Dresselhuis et al., 2008; Vingerhoeds et al., 2009). Παράγοντες όπως το μέγεθος των λιποσφαιρίων, το ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαροσφαιρίων και η ποσότητα των λιπαρών καθορίζουν τη αποτελεσματικότητα της λίπανσης της στοματικής κοιλότητας (Σχήμα 2.15). Οι Prindiville et al. (1999) διαπίστωσαν ότι το κρεμώδες, το κομμιώδες, το άρωμα σοκολάτας και τα χαρακτηριστικά τήξης και το ιξώδες των δειγμάτων παγωτού βελτιώθηκαν αυξάνοντας τα ολικά στερεά λιπαρών. Παρόμοιες επιδράσεις διαπίστωσαν και οι Roland et al. (1999) και Specter & Setser (1994) σε σύστημα παγωτού βανίλιας. Ο μηχανισμός που συνδέεται με την αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων κατά τη διάρκεια της μάσησης εξηγεί επίσης και τις επιδράσεις των λιπαρών στην αποδέσμευση και την εκτίμηση της έντασης των αρωματικών παραγόντων. Οι Hyvonen et al. (2003), Bom Frost et al. (2005), Miettinen et al. (2002), και Liou & Grün (2007) διαπίστωσαν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας των λιπαρών συνοδεύεται με καλύτερη αποτίμηση του αρώματος και με περισσότερο ελεγχόμενο ρυθμό αποδέσμευσης των αρωματικών παραγόντων. Η δράση οφείλεται κατά κύριο λόγο σε δύο παράγοντες: α) τη διάλυση των άπολων αρωματικών συστατικών στο υμένιο από τα αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια, με αποτέλεσμα τη σταδιακότερη αποδέσμευσή τους και β) στις χημικές αλληλεπιδράσεις του ιξώδους, της μείωσης της τριβής και της αύξησης της κρεμώδους-λιπαρής-πλούσιας υφής στους υποδοχείς της γλώσσας στους οποίους γίνεται αντιληπτό το άρωμα. Επιπλέον, η μείωση της αίσθησης παγωμένου, που προκαλείται από τη μείωση της θερμικής αγωγιμότητας κατά τη διαδικασία της μάσησης του παγωτού, συμβάλλει στην καλύτερη αντίληψη του αρώματος (περιορισμός των φαινομένων νάρκωσης των υποδοχέων της γλώσσας - tongue receptors numbing). Οι επιδράσεις του είδους των λιπαρών υλών μπορεί να είναι σημαντικές (Nazaruddin et al., 2008; Dresselhuis et al., 2008) ή λιγότερο σημαντικές (Hyvonen et al., 2003; Miettinen et al., 2002) στα χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού.



Σχήμα 2.15: Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης του (α) μεγέθους των λιποσφαιρίων, (β) του ποσοστού λιπαρών, (γ) του μεγέθους σωματιδίων, και (δ) του σχήματος των σωματιδίων στην αντιλαμβανόμενη τριβή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάσησης επιδορπίων γάλακτος (de Wijk et al., 2005)

2.2.5 Γαλακτωματοποιητές

Η χρήση των γαλακτωματοποιητών στα συστήματα παγωτού στοχεύει στην αύξηση της κολλοειδούς σταθερότητας των λιποσφαιρίων μέσω του σχηματισμού μίας ηλεκτροστατικά φορτισμένης διεπιφάνειας μεταξύ της επιφάνειάς τους και της κύριας υδατικής φάσης, καθώς και επίσης στη μείωση της επιφανειακής τάσης (Lal et al., 2006). Η επίδραση των γαλακτωματοποιητών στην κινητική σταθερότητα των μιγμάτων παγωτού συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο της αποσταθεροποίησης των λιπαρών, και κατά συνέπεια με τα χαρακτηριστικά υφής και αρώματος. Η ανταγωνιστική δράση των γαλακτωματοποιητών με τα πρωτεϊνικά μόρια (καζεΐνικά μυκκίλια και πρωτεΐνες ορού γάλακτος) ως προς τη θερμοδυναμικά ευνοούμενη προσρόφηση στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων οδηγεί σε δραματική αλλαγή της σύστασης της μεμβράνης των λιποσφαιρίων, αυξάνοντας την ορθοκίνητικη τους αστάθεια (Goff 1997a,b; Gelin et al., 1996; Pelan et al., 1997; Thomsen & Holtsborg, 1998). Η επιφανειακή κάλυψη των λιποσφαιρίων από πρωτεϊνικό υλικό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος των γαλακτωματοποιητών: τα πολυσορβικά είναι αποτελεσματικότερα από τα μονο-διγλυκερίδια των λιπαρών οξέων, όπως και τα άκορεστα μονο-διγλυκερίδια σε σχέση με τα κορεσμένα (Pelan et al., 1997; Granger et al., 2003; Granger et al., 2005). Επιπλέον, το είδος της πρωτεϊνικής και λιπαρής ύλης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των γαλακτωματοποιητών να ελαττώνουν την επιφανειακή τάση (Granger et al., 2003; Granger et al., 2005; Awad & Sato, 2002).

Οι Goff et al. (1987) και Goff & Jordan (1989) διαπίστωσαν ότι τα πολυσορβικά και τα οι εστέρες της σορβιτάνης (SPAN) είναι οι πιο αποτελεσματικοί γαλακτωματοποιητές στα συστήματα παγωτού. Οι ίδιοι ερευνητές παρατήρησαν ότι η έκταση της αποσταθεροποίησης των λιπαρών εξαρτάται από τη θερμοκρασία όχι μόνο λόγω της μεταβολής του λόγου στερεό προς υγρό λιπαρό κλάσματος, αλλά και λόγω των μεταβολών που συμβαίνουν στην υδατική φάση (σχηματισμός κολλοειδών δομικών στοιχείων, αύξηση του μακροϊξώδους) οι οποίες ευνοούν την ορθοκίνητική μερική συσσωμάτωση των λιπαρών (orthokinetic coalescence). Η παρουσία των γαλακτωματοποιητών επηρεάζει τη θερμοδυναμική σταθερότητα των φυσαλίδων αέρα κατά τα στάδια κατάψυξης και αποθήκευσης. Σε γενικές γραμμές, η επίδραση των γαλακτωματοποιητών στο ποσοστό αποσταθεροποίησης πρέπει να είναι ισορροπημένη: υψηλό ποσοστό αποσταθεροποίησης λιπαρών και εκχυλιζόμενου λίπους (extractable fat) επιφέρει έντονη συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων τα οποία συγκεντρώνονται στη διεπιφάνεια αέρα - ορού και προκαλούν την αποσταθεροποίησή τους (Pelan et al., 1997; Zhang & Goff, 2004). Οι Goff et al. (1999) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο LT-SEM διαπίστωσαν ότι η αποσταθεροποίηση των λιπαρών παρουσία γαλακτωματοποιητών δεν οδηγεί σε εφάπλωση ή δημιουργία μίας συνεχούς στοιβάδας συσσωματωμένου και κρυσταλλωμένου λίπους στη διεπιφάνεια των φυσαλίδων αέρα, αλλά σε δημιουργία μικρών συναθροίσεων.

Αποτέλεσμα της παρουσίας των γαλακτωματοποιητών είναι η αύξηση της ξηρότητας του τελικού προϊόντος, η βελτίωση των χαρακτηριστικών τήξης και η αύξηση της σταθερότητας και της ικανότητας μορφοποίησης του παγωτού αμέσως μετά την κατάψυξη (Clarke, 2004; Marshall et al., 2003). Σχεδόν στο σύνολο των μελετών, που έχουν διεξαχθεί για τη διερεύνηση της επίδρασης των γαλακτωματοποιητών στα συστήματα παγωτού, έχει αναφερθεί η μείωση του ρυθμού τήξης και η αύξηση της ανθεκτικότητάς τους στο θερμικό σοκ (Pelan et al., 1997; Gelin et al., 1996a,b; Baer et al., 1997; Baer et al., 1999; Granger et al., 2005). Οι Olson et al. (2003) διαπίστωσαν ότι η εφαρμογή της μικρορευστοποίησης οδηγεί στο σχηματισμό μεγαλύτερων συσσωματωμάτων λιποσφαιρίων, γεγονός που παρουσία γαλακτωματοποιητών οδηγεί σε αύξηση της αντοχής του παγωτού έναντι της τήξης. Οι Bolliger et al. (2000c), χρησιμοποιώντας την τεχνική της εκβολής χαμηλής θερμοκρασίας η οποία χρησιμοποιείται ευρύτατα για την παραγωγή μορφοποιημένων προϊόντων παγωτού, διαπίστωσαν ότι η επίδραση των γαλακτωματοποιητών στην αποσταθεροποίηση των λιπαρών συνοδεύτηκε με αύξηση της συνεκτικότητας και της ικανότητας μορφοποίησης, βελτίωση των

χαρακτηριστικών υφής και ενίσχυση της ικανότητας διατήρησης του σχήματος. Επιπλέον, οι [Bolliger et al. \(2000c\)](#) και [Pelan et al. \(1997\)](#) ανέφεραν ότι η βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής σχετίζεται άμεσα με τη βελτιωμένη μικροδομή του παγωτού. Οι [Baer et al. \(1997\)](#) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη γαλακτωματοποιητή σε συστήματα παγωτού προκαλεί μικρή μείωση της τραχιάς υφής και του μεγέθους των παγοκρύσταλλων, αύξηση της κρεμώδους και κομμωδούς υφής, ενώ οι επιδράσεις στο άρωμα βρέθηκε ότι εξαρτώνται από το είδος του γαλακτωματοποιητή. Η έμμεση επίδραση των γαλακτωματοποιητών στην ανάπτυξη των παγοκρύσταλλων συνδέεται με τις αλληλεπιδράσεις των δομικών συστατικών ([Sofjan & Hartel, 2004](#)). Σε επόμενη τους μελέτη οι [Baer et al. \(1999\)](#) παρατήρησαν ότι η προσθήκη γαλακτωματοποιητών, ακόμη και σε συστήματα παγωτού απουσία λιπαρών, συμβάλλει στη βελτίωση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών (συνεκτική και κρεμώδης υφή, μείωση του μεγέθους των παγοκρύσταλλων και της ανάπτυξης τραχιάς υφής), χωρίς όμως να καταλήξουν στο μηχανισμό που αιτιολογεί τη λειτουργικότητά τους. Οι [Granger et al. \(2005\)](#) διαπίστωσαν ότι, ανεξάρτητα από το είδος του λιπαρού, η χρήση ακόρεστων μονο-διγλυκεριδίων οδηγεί σε μεγαλύτερο ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαρών όπως επίσης και σε αύξηση του χρόνου στάλαξης των δειγμάτων. Επιπλέον, οι ίδιοι ερευνητές ανέφεραν ότι η αλληλεπίδραση του είδους του γαλακτωματοποιητή και της λιπαρής ύλης είναι σημαντική, κυρίως λόγω της σύνδεσης των υδρόφοβων τμημάτων των μορίων τους ([Granger et al., 2003; Davies et al., 2001](#)). Οι [Lucas et al. \(2005\)](#) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο NMR, διαπίστωσαν ότι η συμμετοχή των γαλακτωματοποιητών στις κολλοειδείς μεταβολές που συμβαίνουν κατά τα στάδια παραγωγής του παγωτού είναι διαφορετική. Έτσι, ενώ κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης η παρουσία των γαλακτωματοποιητών είναι ο δεύτερος κυριότερος παράγοντας (μετά το είδος των λιπαρών) που ελέγχει τα κολλοειδή φαινόμενα, κατά την κατάψυξη του παγωτού σημαντική και πρωτεύουσα σημασία είναι η αλληλεπίδραση των γαλακτωματοποιητών με τα λιπαρά. Επιπλέον, οι ίδιοι ερευνητές αναφέρουν ότι η λειτουργικότητα των κορεσμένων και ακόρεστων μονοδιγλυκεριδίων είναι ουσιωδώς διαφορετική, κυρίως λόγω των διαφοροποιήσεων που επιφέρουν στα φαινόμενα κρυστάλλωσης των λιπαρών.

2.2.6 Ευεργετικά Βακτήρια

Η χρήση οξυγαλακτικών ή προβιοτικών βακτηρίων στην παραγωγή ζυμωμένων ή λειτουργικών κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος στοχεύει αφενός στην ανάπτυξη των επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, αλλά και στην ενίσχυση της διατροφικής αξίας και φυσιολογικής δράσης των τελικών προϊόντων ([Tamime & Robinson, 2007; Cruz et al., 2009](#)). Έτσι, η λειτουργικότητα των ευεργετικών βακτηρίων συνίσταται σε: α) φυσιολογικές δράσεις και β) επιδράσεις στα χαρακτηριστικά υφής - αρώματος και σε δυνητικά σε ορισμένες περιπτώσεις στη μικροδομή και τη σταθερότητα των προϊόντων έναντι της ανακρυστάλλωσης.

α) Επιδράσεις στη διατροφική αξία και τη φυσιολογική δράση του παγωτού

- *Δυσανεξία στη λακτόζη:* Σύμφωνα με μεγάλο αριθμό ερευνών, τα συμπτώματα στα άτομα που πάσχουν από δυσανεξία στη λακτόζη περιορίζονται, όταν στη διατροφή τους υποκαθίσταται το γάλα από ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος. Οι μηχανισμοί που δικαιολογούν αυτή τη δράση αφορούν σε χαμηλότερη περιεκτικότητα των συγκεκριμένων προϊόντων σε λακτόζη, αύξηση της ποσότητας της β-γαλακτοζιδάσης στην εντερική περιοχή, και μείωση του ρυθμού εκκένωσης του λεπτού και παχέος εντέρου ([Salminen et al., 2004; de Vrese et al., 2001; Marteau et al., 2000](#))
- *Ελάττωση των επιπέδων χοληστερόλης:* Η κατανάλωση ζυμωμένων επιδόρπιων μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης στο αίμα. Δύο μηχανισμοί έχουν αποδοθεί στη δράση αυτή: τα οργανικά οξέα που παράγονται από τα βακτήρια παρεμποδίζουν το σχηματισμό χοληστερόλης, καθώς επίσης η επίδραση των βακτηρίων στην έκκριση των γαστρικών υγρών μπορεί να επηρεάζει τον τρόπο

απορρόφησης της χοληστερόλης στο λεπτό έντερο (Marks, 2004; Salminen et al., 2004; Gardiner et al., 2002)

- *Πρόληψη - αντιμετώπιση φλεγμονών*: Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί για τη διερεύνηση των δυναμικών επιδράσεων των προβιοτικών βακτηρίων στην ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος και την αντιμετώπιση φλεγμονών του πεπτικού και ουροποιητικού συστήματος. Διάφοροι μηχανισμοί έχουν προταθεί, προκειμένου να εξηγηθεί η δράση των προβιοτικών βακτηρίων όπως: έκκριση αντιμικροβιακών συστατικών, μείωση του pH, μείωση της μολυσματικότητας ή της τοξικότητας των παθογόνων μικροοργανισμών, ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος, παρεμπόδιση της παραγωγής τοξινών κ.α. (Marks, 2004; Fooks et al., 1999)
- *Περιορισμός και αντιμετώπιση της διάρροιας*. Ο *Lactobacillus GG* είναι το πλέον αποτελεσματικό προβιοτικό βακτήριο για την αντιμετώπιση της διάρροιας. Άλλα προβιοτικά βακτήρια όπως *L. casei*, *B. bifidum*, και *S. thermophilus* έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν επίσης αξιόλογη δράση έναντι της διάρροιας που οφείλεται σε γαστρεντερίτιδα, ή διάρροια των ταξιδιωτών - στην περίπτωση μετακινήσεων σε αναπτυσσόμενες χώρες (Gardiner et al., 2002).
- *Χημειοπροστατευτική δράση*: Επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση ζυμωμένων προϊόντων γάλακτος μπορεί να συμβάλλει στην πρόληψη της καρκινογένεσης στο πεπτικό σύστημα. Δεδομένου ότι η μικροχλωρίδα του λεπτού και παχέος εντέρου αποτελείται από μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών όπως βακτηριοειδή και κλωστρίδια τα οποία εμπλέκονται στην ανάπτυξη των καρκινικών κυττάρων, έχει θεωρηθεί ότι η εξισορροπιστική παρουσία των προβιοτικών και οξυγαλακτικών βακτηρίων στην εντερική περιοχή μπορεί να συμβάλλει στην πρόληψη της καρκινογένεσης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν είναι απόλυτα, λόγω του μικρού αριθμού μελετών που έχουν διεξαχθεί in vivo στον ανθρώπινο οργανισμό. Άλλοι μηχανισμοί που αιτιολογούν την πιθανή αντικαρκινική δράση των προβιοτικών βακτηρίων αφορούν στην ικανότητά τους να συνδέονται ή να καταστρέφουν τα καρκινώματα, καθώς επίσης και στην ικανότητά τους να ελέγχουν τη δραστηριότητα μικροοργανισμών της χλωρίδας του εντέρου να μετατρέπουν τα προκαρκινικά κύτταρα σε καρκινικά π.χ. β-γλυκουρονιδάση, αζωτοαναγωγή κ.α. (Gardiner et al., 2002; Salminen et al., 2004; Marks, 2004)
- *Άλλες επιδράσεις*: Άλλες πιθανές ή λιγότερο επιβεβαιωμένες επιδράσεις των προβιοτικών βακτηρίων περιλαμβάνουν τον έλεγχο της δυσκοιλιότητας, όπως και την αντιμετώπιση διαταραχών του ήπατος, της δερματίτιδας, της ασθένειας του Crohn κ.α. (Shahanan et al., 2002; Motta et al., 1991; Majamaa & Isolauri, 1997; Dunne et al., 1999).

β) Επιδράσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά

Η προσθήκη των ευεγερτικών βακτηρίων μέσω της ζύμωσης και οξίνισης των μιγμάτων παγωτού επιδρά κατά κύριο λόγο στα ιξώδη, την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Η ελάττωση της τιμής του pH οδηγεί σε αύξηση της ικανότητας αλληλεπίδρασης των καζεϊνών με τις πρωτεΐνες ορού, με αποτέλεσμα το σχηματισμό πηγμάτων. Τα πρωτεϊνικά πήγματα επιφέρουν ενίσχυση του ιξώδους αλλά και μείωση της ικανότητας απόδοσης των μιγμάτων κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Οι Hagen & Narhvas (1999) και Christiansen et al. (1999) ανέφεραν επίσης την αύξηση του ιξώδους των μιγμάτων προβιοτικού παγωτού λόγω της προσθήκης οξινισμένου γάλακτος. Η προσθήκη στα μίγματα παγωτού στελεχών βακτηρίων με ικανότητα παραγωγής εξωπολυσακχαριτών (EPS), συνεπάγεται γενικά αύξηση του ιξώδους των μιγμάτων παγωτού (Hong et al., 1996). Ο Keব্য (1996) ανέφερε ότι η προσθήκη στο παγωτό-γιαούρτι προβιοτικών βακτηρίων *Bifidobacterium bifidum* ευνοεί την ενσωμάτωση αέρα. Οι Goh et al., (2008) εξετάζοντας την επίδραση των EPS οξυγαλακτικών βακτηρίων στα φυσικά

χαρακτηριστικά του παγωτού, διαπίστωσαν ότι η προσθήκη τους μπορεί να επιφέρει σημαντική ενίσχυση του ιξώδους και της ικανότητας απόδρασης, και να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά τήξης και υφής ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο είδος βακτηρίων.

Η βασικότερη επίδραση των ευεργετικών βακτηρίων αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, αφού αυτά επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το άρωμα και την υφή των προϊόντων. Γενικά, η ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού-γιαούρτι ελαττώνεται με αύξηση της οξύτητάς τους (Guinard et al., 1994; Speck & Hansen, 1983). Η συσχέτιση της υψηλής οξύτητας με χαρακτηριστικά όπως η επικάλυψη του αρώματος, το αυξημένο όξινο και στυφό άρωμα, αλλά και η αποτίμηση της υφής στο στόμα μέσω ενός μηχανισμού που συνδέεται με μειωμένη λίπανση της γλώσσας και αυξημένη τριβή κατά τη διάρκεια μάσησης εξηγεί την προηγούμενη παρατήρηση (de Wijk et al., 2006; Janssen et al., 2005). Η μείωση του pH μπορεί επίσης να συνδέεται με αυξημένη ευπάθεια των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (Gooda et al., 1993). Η προσθήκη στελεχών όπως ο *Lactococcus lactis* έχει αναφερθεί ότι ευνοεί την ανάπτυξη ενός ευχάριστου όξινου αρώματος λόγω του σχηματισμού διακετυλίου (Clementi 1991). Οι Kebary (1996) και Ordonez et al. (2000) διαπίστωσαν ότι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του παγωτού-γιαούρτι με pH>5.0 βελτιώθηκαν κατά τη χρήση συμβιωτικών καλλιιεργειών προβιοτικών και οξυγαλακτικών βακτηρίων. Αντίθετα, οι Alamprese et al. (2002) και Alamprese et al. (2005) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη των προβιοτικών στελεχών *Lactobacillus johnsonii* και *Lactobacillus rhamnosus* GG, αν και βελτίωσε τη διατροφική αξία και τη φυσιολογική δράση του παγωτού, προκάλεσε μείωση της ολικής αποδοχής τους σε σχέση με τα δείγματα που δεν περιείχαν προβιοτικά βακτήρια λόγω του χαρακτηριστικού τους προβιοτικού αρώματος. Τέλος, οι Christiansen et al. (1996), Hagen & Nahrvas (1999) και Christiansen et al. (1999) διαπίστωσαν ότι η παραγωγή προβιοτικού παγωτού με προσθήκη οξινισμένου γάλακτος είναι δυνατή, αν και ορισμένα δείγματα ιδιαίτερα σε υψηλά ποσοστά προσθήκης, χαρακτηρίζονταν από τραχιά και πηγματώδη υφή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ

3.1.1 Η αρχή της διεργασίας ομογενοποίησης

Κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης η διαφορά πίεσης των ρευμάτων εισόδου - εξόδου οδηγεί σε φαινόμενα σπηλαίωσης σε αύξηση της ταχύτητας κίνησης του μίγματος στη βαλβίδα ομογενοποίησης, και σε έντονα τυρβώδη ροή ($N_{Re} > 40.000$). Η ταχύτητα των δινών, λόγω της τυρβώδους ροής, συνδέεται άμεσα με την πτώση πίεσης κατά τη δίοδο του μίγματος από τη βαλβίδα ομογενοποίησης, σύμφωνα με τη σχέση (Walstra et al., 2006):

$$\Delta p = \rho v^2(x) \quad (3.1)$$

όπου: $v(x)$ η τοπική ταχύτητα των δινών που δημιουργούνται στη βαλβίδα ομογενοποίησης. Λόγω της διακύμανσης της πίεσης, τα λιποσφαίρια αποδιοργανώνονται και διαρρηγνύονται προς μικρότερα. Υπό τις συνθήκες τυρβώδους ροής που επικρατούν στον ομογενοποιητή τα λιποσφαίρια που σχηματίζονται μετά την ομογενοποίηση αποκτούν μέση διάμετρο (d) που δίνεται από τη σχέση (Walstra et al., 2006):

$$d = \varepsilon^{-0.4} \gamma^{0.8} \rho^{-0.2} \quad (3.2)$$

Όπου: ε , η πίεση της ομογενοποίησης, γ , η επιφανειακή τάση του μίγματος και ρ η πυκνότητά του. Συνεπώς, η σύσταση του μίγματος και οι συνθήκες πίεσης αποτελούν καθοριστικές παραμέτρους για την αποτελεσματικότητα της διεργασίας ομογενοποίησης.

Η ομογενοποίηση του μίγματος παγωτού περιλαμβάνει μία σειρά από ταυτόχρονες δράσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Τα λιποσφαίρια χάνουν το αρχικό σφαιρικό τους σχήμα και διαρρηγνύονται (γραμμή 1a). Η ολική ειδική επιφάνεια των λιποσφαιρίων αυξάνεται και τα μόρια των επιφανειοενεργών ενώσεων προσρροφώνται στην επιφάνεια των νεοσχηματιζόμενων λιποσφαιρίων (γραμμή 2b). Τα λιποσφαίρια συγκολλούνται, και στην περίπτωση όπου η συγκέντρωση της πρωτεΐνης στην επιφάνειά τους είναι πολύ μικρή υπόκεινται σε συσσωμάτωση (γραμμή 3c). Αν στην επιφάνειά τους υπάρχει επαρκές πρωτεϊνικό υλικό, τότε δεν παρατηρείται συσσωμάτωση (γραμμή 4d). Το φαινόμενο της διάρρηξης και της συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων επαναλαμβάνεται με ταχύ ρυθμό (περίπου 50 φορές) κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης. Έτσι η διάρρηξη και ελάττωση μεγέθους των λιποσφαιρίων επέρχονται σταδιακά και κατά τρόπο ανάλογο μεταβάλλεται τελικά και η σύσταση της δημιουργούμενης μεμβράνης των λιποσφαιρίων. Ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνουν χώρα οι παραπάνω μεταβολές επηρεάζεται από το μέγεθος της ισχύος, από το μέγεθος και το κλάσμα όγκου των λιποσφαιρίων, καθώς επίσης και από τη συγκέντρωση του μίγματος σε επιφανειοενεργές ενώσεις (Walstra et al., 2006).

3.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος των λιποσφαιρίων

Η κατανομή μεγέθους των λιποσφαιρίων στα μίγματα παγωτού επηρεάζεται από μία σειρά παραμέτρων όπως:

1. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της βαλβίδας ομογενοποίησης. Για δεδομένη πίεση ομογενοποίησης, ο χρόνος διόδου του μίγματος (t_p) εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της βαλβίδας (Walstra et al., 2006):

$$t_p = p/\varepsilon \quad (3.3)$$

όπου: p η πίεση ομογενοποίησης και ε η ισχύς

2. Η πίεση ομογενοποίησης. Η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων που δημιουργούνται μετά την ομογενοποίηση του μίγματος παγωτού είναι συνάρτηση της πίεσης ομογενοποίησης (Walstra et al., 2006):

$$\log d_{vs} = \text{σταθ.} - 0.6 \log p \quad (3.4)$$

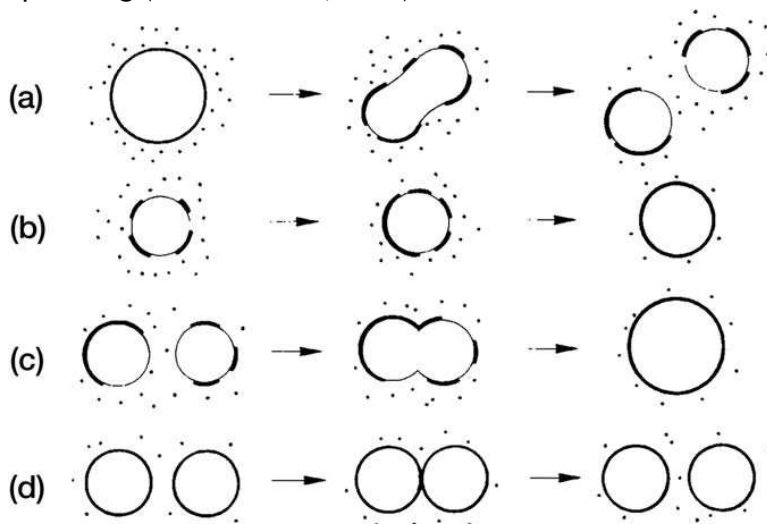
3. *Ο αριθμός των σταδίων ομογενοποίησης.* Αν και ο αριθμός των σταδίων ομογενοποίησης (ενός ή δύο σταδίων) δεν επιφέρει άμεσα σημαντικές διαφορές ως προς το μέσο μέγεθος των λιποσφαιρίων, η εφαρμογή ομογενοποίησης δύο σταδίων συμβάλλει στην καταστροφή των πιθανών θρόμβων των λιποσφαιρίων που σχηματίζονται κατά το πρώτο στάδιο.

4. *Η περιεκτικότητα του μίγματος σε λιπαρές ύλες και πρωτεΐνες.* Η απουσία επαρκούς ποσότητας πρωτεΐνης στη μεμβράνη των νεοσχηματιζόμενων λιποσφαιρίων επιφέρει μείωση της σταθερότητας και αύξηση της τάσης συσσωμάτωσής τους.

5. *Το είδος των επιφανειοενεργών ενώσεων.* Γενικά η παρουσία γαλακτωματοποιητών επιφέρει σημαντική μείωση της επιφανειακής τάσης του γαλακτώματος και συνεπώς (σχέση 3.2) ελάττωση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων.

6. *Η θερμοκρασία.* Η ομογενοποίηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες μεταξύ 40-75°C. Πολύ χαμηλή θερμοκρασία ομογενοποίησης οδηγεί σε ανεπαρκή μείωση μεγέθους των λιποσφαιρίων, λόγω ύπαρξης μερικώς κρυσταλλωμένου λίπους. Αντίθετα, περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας ομογενοποίησης επιδρά ελάχιστα στο μέγεθος των λιποσφαιρίων, κυρίως λόγω της μείωσης του ιξώδους των λιπαρών.

7. *Οι συνθήκες χειρισμού της διάταξης ομογενοποίησης.* Διακυμάνσεις της πίεσης, φθορές στις βαλβίδες ή η ύπαρξη εγκλωβισμένου αέρα αποτελούν παράγοντες αύξησης της αναποτελεσματικότητας της ομογενοποίησης. Η παρουσία στερεών σωματιδίων στο μίγμα παγωτού π.χ. κακάο απαιτεί τη χρήση βαλβίδας ομογενοποίησης εφοδιασμένης με δακτύλιο πρόσκρουσης - impact ring (Walstra et al., 2006).



Σχήμα 3.1: Μεταβολές που επέρχονται κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης του μίγματος παγωτού (Walstra et al., 2006)

3.1.3 Ο σχηματισμός της μεμβράνης των νέων λιποσφαιρίων

Η διάρρηξη των αρχικών λιποσφαιρίων και ο σχηματισμός των νέων συνοδεύεται με αλλαγή της σύστασης της μεμβράνης που τα περιβάλλει. Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται η σύσταση και η δομή της μεμβράνης ενός νεοσχηματισθέντος λιποσφαιρίου μίγματος παγωτού. Η μεμβράνη συνίσταται από τμήματα της φυσικής μεμβράνης των λιποσφαιρίων (MFGM) που αποτελούν το 10-30% της ολικής επιφάνειας και νέο υλικό το οποίο προέρχεται από φάση ορού του μίγματος και περιέχει κατά κύριο λόγο καζεϊνικά μυκκίλια, μόρια γαλακτωματοποιητή και μικρές ποσότητες πρωτεϊνών ορού (Goff 1997a,b; Kinsella et al., 1988). Το είδος των προσροφώμενων σωματιδίων στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων φαίνεται να εξαρτάται από: α) την ικανότητα μεταβολής του δυναμικού επιφανειακής τάσης ($\Delta\gamma$), β) την ακτίνα των επιφανειοενεργών σωματιδίων και γ) τη σύσταση των επιφανειοενεργών ενώσεων.

Τα πρωτεϊνικά μόρια γενικά προκαλούν ελάττωση της επιφανειακής τάσης κατά 15 - 20 Nm^{-2} , σε αντίθεση με τα μικρότερου μεγέθους μόρια γαλακτωματοποιητών (φωσφολιπίδια και χημικοί γαλακτωματοποιητές) τα οποία μπορούν να ελαττώσουν την επιφανειακή τάση

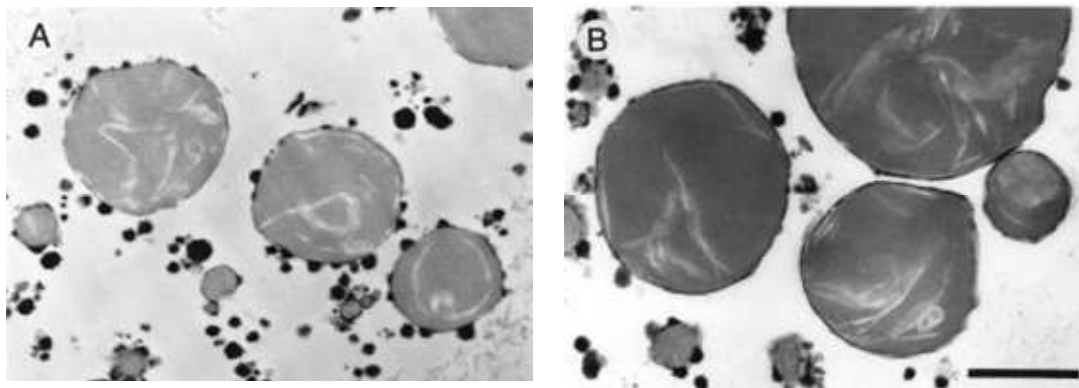
κατά $30 - 40 \text{ Nm}^{-2}$. Οι διαφορές στη μείωση του δυναμικού επιφανειακής τάσης δικαιολογούν και την ανταγωνιστική δράση πρωτεϊνών - γαλακτωματοποιητών κατά τη διάρκεια σχηματισμού της μεμβράνης των νέων λιποσφαιρίων (Gunning et al., 2004; Euston et al., 1995; Goff 1997a). Τα μόρια των γαλακτωματοποιητών δεν παρουσιάζουν περιορισμούς στη δομή, όπως τα αντίστοιχα πρωτεϊνικά, και για αυτό μπορούν να προσροφώνται γρήγορα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων. Η μετουσίωση των πρωτεϊνών μπορεί να βελτιώσει την επιφανειακή τους ενεργότητα, αφού τα υδρόφοβα και υδρόφιλα τμήματά τους μπορούν να διατάσσονται ευκολότερα στην αμφιφιλική διεπιφάνεια που περιβάλλει τα λιποσφαίρια. Η αύξηση της συγκέντρωσης της ποσότητας του γαλακτωματοποιητή επιφέρει περαιτέρω απομάκρυνση των πρωτεϊνικών μορίων από την επιφάνεια των λιποσφαιρίων. Ο βασικότερος μηχανισμός που περιγράφει την ανταγωνιστική δράση είναι εκείνος της ορογένεσης (orogenetic mechanism): η προσρόφηση των ογκωδών πρωτεϊνικών μορίων στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων επιφέρει τη δημιουργία κενών στα οποία προσροφώνται τα μικρού μεγέθους μόρια γαλακτωματοποιητών. Καθώς ο αριθμός των προσροφούμενων μορίων γαλακτωματοποιητή αυξάνει, το πρωτεϊνικό υμένιο συμπιέζεται, και σε υψηλό δυναμικό πίεσης τα πρωτεϊνικά μόρια μεταβαίνουν προς την κύρια υδατική φάση (Damodaran 2005; Mackie et al., 1999).

Η επιλεκτική προσρόφηση των επιφανειοενεργών ενώσεων στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων εξαρτάται από τη μέση ακτίνα τους r_p , σύμφωνα με τη θεωρία Kolmogorov. Ο ρυθμός αύξησης της επιφάνειας (dA/dt) που περιβάλλει τα λιποσφαίρια περιγράφεται από τη σχέση (Walstra et al., 2006):

$$\frac{dA}{dt} \propto c_p r \left(1 + \frac{r_p}{r}\right)^3 \quad (3.5)$$

όπου: c_p η συγκέντρωση των πρωτεϊνών και r η ακτίνα των λιποσφαιρίων.

Η τιμή της ακτίνας r_p εξαρτάται άμεσα από το είδος των επιφανειοενεργών ενώσεων. Έτσι, τα καζεϊνικά μυκκίλια αποτελούν το 80% του προσροφημένου πρωτεϊνικού υλικού στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων, συμβάλλοντας στην αύξηση του πάχους του στρώματος που τα περιβάλλει (Walstra et al., 2006).



Σχήμα 3.2: Η ομογενοποίηση των μιγμάτων παγωτού παρουσία επιφανειοενεργών ενώσεων οδηγεί σε ριζική αλλαγή της σύστασης της μεμβράνης που τα περιβάλλει. Αριστερά, η μεμβράνη αποτελείται κατά κύριο λόγο από καζεϊνικά μυκκίλια. Δεξιά, η παρουσία μορίων γαλακτωματοποιητή επιφέρει απομάκρυνση των καζεϊνικών μυκκηλίων από την επιφάνεια των λιποσφαιρίων προς την υδατική φάση (ορού) (Goff 1997b)

Μεταξύ των καζεϊνών, η α_s -καζεΐνη προσροφάται ευκολότερα σε σχέση με τη β -καζεΐνη (Damodaran & Sengupta 2003), ενώ από τις πρωτεΐνες ορού, η β -λακτογλοβουλίνη προσροφάται σε μεγαλύτερο βαθμό στη διεπιφάνεια λιποσφαιρίου - υδατικής φάσης σε σχέση με την α -λακταλμπουμίνη (Damodaran 2005).

Η ανταγωνιστική δράση μεταξύ των πρωτεϊνών και των γαλακτωματοποιητών συνεχίζεται και μετά το πέρας της διεργασίας ομογενοποίησης και ολοκληρώνεται σε ένα διάστημα 4h τουλάχιστον. Επιπλέον, από πειραματικά δεδομένα έχει βρεθεί ότι η προσθήκη γαλακτωματοποιητή (Polysorbate 80) αμέσως μετά την ομογενοποίηση μίγματος παγωτού μπορεί να προκαλέσει την απομάκρυνση πρωτεΐνης από την επιφάνεια λιποσφαιρίων μέσα σε λίγα λεπτά (Goff & Jordan 1989).

Η μεμβράνη των λιποσφαιρίων είναι διστρωματική: η άπολη επιφάνεια αποτελείται κατά μεγαλύτερο ποσοστό από μόρια γαλακτωματοποιητών, ενώ η εξωτερική πολική επιφάνεια αποτελείται κατά κύριο λόγο από πρωτεϊνικά μόρια αλλά και ενώσεις με υδρόφιλες ομάδες π.χ. ανιονικά υδροκολλοειδή (κ-καραγενάνη, αλγινικό νάτριο κ.α.). Λόγω της μικρής ακτίνας των μορίων του γαλακτωματοποιητή, η προσθήκη τους στα μίγματα παγωτού επιφέρει σημαντική μείωση του πάχους της διστρωματικής μεμβράνης των λιποσφαιρίων, και κατά συνέπεια αυξάνει την ευπάθεια των λιποσφαιρίων στην επιβολή διάτμησης (Goff 1997a,b). Οι Dickinson et al., (1993) αναφέρουν ότι η αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων κατά την απόδραση πρωτεϊνικών γαλακτωμάτων φαίνεται να σχετίζεται όχι με την απλή απομάκρυνση των ογκωδών καζεϊνικών μυκκηλίων, αλλά με τη γενικότερη αλλαγή της σύστασης της πολικής στοιβάδας. Τέλος, η αποσταθεροποιητική δράση των γαλακτωματοποιητών συνδέεται και με τη μεταβολή της ρεολογίας (ιξωδοελαστικότητας) της υδατικής πρωτεϊνικής στοιβάδας (Dickinson 1999)

3.1.4 Ο σχηματισμός θρόμβων ομογενοποίησης

Η ενός σταδίου ομογενοποίηση του μίγματος παγωτού σε υψηλή πίεση (>18-21MPa) μπορεί να οδηγήσει στη συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων και τη δημιουργία θρόμβων. Λόγω της παρουσίας εμβόλιμου υγρού στους θρόμβους, το κλάσμα του ειδικού όγκου των σωματιδίων αυξάνεται και κατ' επέκταση και το ιξώδες του μίγματος. Οι θρόμβοι από την ομογενοποίηση σχηματίζονται, όταν λιποσφαίρια με χαμηλή συγκέντρωση σε καζεϊνικά μυκκήλια πλησιάζουν μεταξύ τους και συγκολλούνται. Οι σχηματιζόμενοι θρόμβοι αποδομούνται κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης. Όταν όμως το μίγμα εξέλθει από τη βαλβίδα ομογενοποίησης, το δυναμικό πίεσης είναι πολύ χαμηλό για να προκαλέσει τη διάσπασή τους. Η παρουσία θρόμβων ομογενοποίησης υποβαθμίζει την ικανότητα απόδρασης του μίγματος παγωτού και επιπλέον δυσχεραίνει το χειρισμό του. Η τάση δημιουργίας θρόμβων αυξάνει με αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε λιπαρά, με ελάττωση του ποσοστού πρωτεΐνης, και με αύξηση της πίεσης ομογενοποίησης. Η εφαρμογή ομογενοποίησης δύο σταδίων από την άλλη πλευρά περιορίζει την πιθανότητα σχηματισμού θρόμβων, αφού η χαμηλή πίεση του δεύτερου σταδίου καταστρέφει τους ήδη σχηματισμένους θρόμβους, ενώ δεν προκαλεί περαιτέρω διάρρηξη των λιποσφαιρίων κατά συνέπεια τη δημιουργία νέων θρόμβων (Walstra et al., 2006; Marshall et al., 2003).

3.1.5 Η ομογενοποίηση ως τεχνική ελέγχου της τάσης άνοδου των λιποσφαιρίων

Η τάση άνοδου των λιποσφαιρίων (αποκορύφωση) συνδέεται άμεσα με τη μέση διάμετρό τους. Η συσχέτιση αυτή περιγράφεται από την παράμετρο H σύμφωνα με τη σχέση (Walstra et al., 2006):

$$H = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \quad (3.6)$$

όπου: n_i και d_i είναι ο αριθμός και το μέγεθος των λιποσφαιρίων αντίστοιχα

Μεγάλο μέγεθος λιποσφαιρίων συμβάλλει σε μεγάλες τιμές H, και συνεπώς αυξημένη τάση άνοδου. Η ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου, περιγράφεται από το νόμο του Stokes σύμφωνα με τη σχέση (Walstra et al., 2006):

$$q = 47 \cdot 10^{-8} (\rho_p - \rho_s) H / \eta h \quad (3.7)$$

Όπου: q = το ποσοστό λίπους που ανέρχεται στην επιφάνεια του μίγματος/24h, h = το ύψος του δοχείου αποθήκευσης, και ρ_p , ρ_f = οι πυκνότητες του πρωτεϊνικού και λιπαρού περιεχομένου.

Λόγω της σύνθετης δομής των μιγμάτων παγωτού (υδατάνθρακες, πολυσακχαρίτες, κ.α.) το φαινόμενο της ανόδου των λιποσφαιρίων εξελίσσεται γενικά με χαμηλότερο ρυθμό σε σχέση με αυτό της εξίσωσης 3.7. Επιπλέον, το ποσοστό επικάλυψης της μεμβράνης των λιποσφαιρίων από επιφανειοενεργές ενώσεις (π.χ. πρωτεΐνες, γαλακτωματοποιητές κ.α.) συμβάλλει καθοριστικά στην ταχύτητα ανόδου.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων είναι: α) η παρουσία των ψυχρών αγλουτινών, β) η ένταση της θερμικής κατεργασίας και γ) η δημιουργία συναθροίσεων (clusters) κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης.

Η τάση ανόδου των λιποσφαιρίων κατά την ψύξη - ωρίμανση μη ομογενοποιημένων μιγμάτων οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παρουσία μίας ομάδας από κρουογλοβουλίνες και γλυκοπρωτεΐνες, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να κατακρημνίζονται στην επιφάνεια των αιωρούμενων σωματιδίων (καζεϊνικά μυκκίλια και λιποσφαίρια). Τα επικαλυμμένα με τις αγλουτινίνες σωματίδια εμφανίζουν τάση συγκόλλησης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία συσσωματωμάτων τα οποία, λόγω της χαμηλής τους πυκνότητας, ανέρχονται στην επιφάνεια του μίγματος. Η αύξηση της θερμοκρασίας (>37°C) και η εφαρμογή της ομογενοποίησης επιφέρουν αδρανοποίηση των αγλουτινινών.

3.1.6 Άλλες επιπτώσεις της ομογενοποίησης

Η παρουσία μη αδρανοποιημένων λιπασών, σε συνδυασμό με την αύξηση της ειδικής επιφάνειας των λιποσφαιρίων, αυξάνει σημαντικά την ευπάθεια του μίγματος έναντι της αυτοοξειδωσης των λιπαρών και την ανάπτυξη ταγγής - οξειδωμένης γεύσης. Επιπλέον, η ομογενοποίηση αυξάνει την ομογένεια του μίγματος και βελτιώνει την υφή του. Τέλος, τα ομογενοποιημένα μίγματα παγωτού χαρακτηρίζονται από πιο λευκό χρώμα και υψηλή ικανότητα σχηματισμού αφρού. Η αύξηση της αφριστικής ικανότητας του μίγματος παγωτού συνδέεται με την αύξηση της συμμετοχής των πρωτεϊνικών μορίων στη διεπιφάνεια νερού - αέρα (Walstra et al., 2006; Marshall et al., 2003; Damodaran, 2005).

3.2 ΩΡΙΜΑΝΣΗ

Η ωρίμανση του μίγματος παγωτού για ένα χρονικό διάστημα 4-24h είναι απαραίτητη για τη μεταβολή των κολλοειδών χαρακτηριστικών του. Όπως έχει αναφερθεί η ενυδάτωση των βιοπολυμερών, η κρυστάλλωση των λιπαρών και η βελτίωση του αρώματος είναι οι κύριες δράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την ωρίμανση. Η ενυδάτωση των βιοπολυμερών σχετίζεται με τη δημιουργία δεσμών υδρογόνου μεταξύ των υδρόφιλων ομάδων τους με τα μόρια του νερού. Αποτέλεσμα της ενυδάτωσης είναι η

Ετερογενής πυρηνογένεση



Ετερογενής πυρηνογένεση στο εσωτερικό των λιποσφαιρίων



Επιφανειακή ετερογενής πυρηνογένεση



Ετερογενής πυρηνογένεση μεταξύ των λιποσφαιρίων



Σχήμα 3.3: Μηχανισμοί κρυστάλλωσης των λιποσφαιρίων στα γαλακτώματα παγωτού κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης

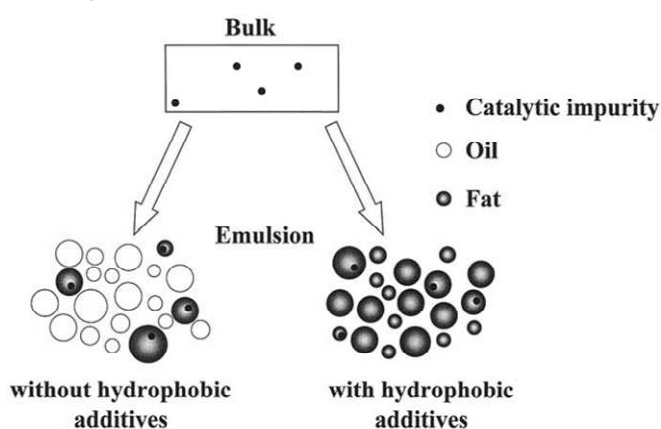
σταδιακή αύξηση του ιξώδους του μίγματος.

3.2.1 Η κρυστάλλωση των λιπαρών

Η κρυστάλλωση των λιπαρών είναι ένα αρκετά σύνθετο φαινόμενο, εξαιτίας της πολύπλοκης σύνθεσης των λιπαρών του γάλακτος. Η κρυστάλλωση των λιπαρών επηρεάζει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του μίγματος, την ευχέρεια απόδρασης του μίγματος και το ποσοστό αποσταθερο-ποίησης κατά το στάδιο της κατάψυξης, αλλά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (κρεμώδης υφή, λιπαρότητα, απελευθέρωση των αρωματικών παραγόντων).

Το λίπος γάλακτος είναι μίγμα ενός μεγάλου αριθμού τριγλυκεριδίων με σημαντικές διαφορές ως προς τη σύστασή τους και κατ' επέκταση των σημείων τήξης τους. Στο θερμοκρασιακό εύρος από -40 έως 40°C το λίπος γάλακτος μεταβαίνει από την πλήρως στερεή στην υγρή μορφή. Στις συνθήκες ωρίμανσης τα λιπαρά γάλακτος αποτελούνται από ένα μίγμα κρυσταλλωμένων και ρευστών τριγλυκεριδίων. Ενώ το στερεό κλάσμα των λιπαρών βρίσκεται στην κρυσταλλική μορφή (α,β και β') το υγρό κλάσμα των λιπαρών μπορεί να βρίσκεται σε ελεύθερη μορφή, ως υγρά λιπίδια εγκλωβισμένα στο κρυσταλλικό πλέγμα των στερεών τριγλυκεριδίων, ή προσροφημένα στην επιφάνεια των κρυσταλλωμένων τριγλυκεριδίων (Kaylegian, 1995; Zegarska, 2003).

Τα λιπαρά στα μίγματα παγωτού βρίσκονται σε γαλακτωματοποιημένη κατάσταση υπό τη μορφή διεσπαρμένων λιποσφαιρίων με τροποποιημένη σύσταση της μεμβράνης τους λόγω της ομογενοποίησης αλλά και της παρουσίας επιφανειοενεργών ενώσεων. Η γαλακτωματοποίηση των λιπαρών είναι γνωστό ότι μεταβάλλει σημαντικά την κινητική κρυστάλλωσής τους (Walstra et al., 1995). Έτσι, η αναδημιουργία των λιποσφαιρίων, αμέσως μετά την ομογενοποίηση και τη διασπορά τους στον κύριο όγκο του μίγματος, οδηγεί σε ανακατανομή των συστατικών που μπορούν να δράσουν ως πυρήνες κρυστάλλωσης (π.χ. φωσφολιπίδια, γαλακτωματοποιητές, ακαθαρσίες), με αποτέλεσμα να παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στους μηχανισμούς πυρηνογένεσης (Campbell et al., 2002; Rousseau, 2000; Awad & Sato, 2002). Η κρυστάλλωση των λιπαρών μπορεί να λάβει χώρα μέσω μηχανισμών ομογενούς ή ετερογενούς πυρηνογένεσης (Hartel, 2001). Στα γαλακτώματα η κρυστάλλωση των λιπαρών μέσω ομογενούς πυρηνογένεσης (δηλαδή απευθείας κρυστάλλωση στην κύρια φάση των λιπαρών) είναι εξαιρετικά σπάνια, δεδομένου ότι τα λιποσφαίρια βρίσκονται σε διασπαρμένη μορφή και χαρακτηρίζονται από πολύ μικρό μέγεθος ($d_{4,3} < 1-2\mu\text{m}$). Έτσι η κρυστάλλωση των λιπαρών στα μίγματα παγωτού θεωρείται κατά κύριο λόγο ετερογενής, δηλαδή ξεκινά στην επιφάνεια των ξένων σωματιδίων τα οποία ελαττώνουν σημαντικά την ελεύθερη ενέργεια πυρηνογένεσης (Awad & Sato, 2002; Rousseau, 2000; Walstra, 1998). Οι μηχανισμοί ετερογενούς πυρηνογένεσης διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες (Σχήμα 3.3)



Σχήμα 3.4: Η προσθήκη των γαλακτωματοποιητών αποτελεί το θερμοδυναμικό παράγοντα που συμβάλλει στην ετερογενή πυρηνογένεση και την ευχέρεια κρυστάλλωσης των λιπαρών

ανάλογα με τη θέση των καταλυτικών κέντρων:

α) Ετερογενή πυρηνογένεση στον κύριο όγκο ή το εσωτερικό των λιποσφαιρίων, η οποία ξεκινά από τα ξένα σωματίδια τα οποία βρίσκονται διασπαρμένα σε τυχαίες θέσεις στη λιπαρή φάση.

β) Επιφανειακή ετερογενή πυρηνογένεση η οποία ευνοείται από τα μόρια των γαλακτωματοποιητών που επικαλύπτουν την μεμβράνη των λιποσφαιρίων.

γ) Ετερογενή πυρηνογένεση η οποία προκαλείται λόγω της αλληλεπίδρασης

στερεών και υγρών λιποσφαιρίων (Awad & Sado, 2002). Η θερμοκρασία ωρίμανσης είναι βασικός παράγοντας για την κρυστάλλωση των λιποσφαιρίων, όχι μόνο γιατί επηρεάζει το ποσοστό των κρυσταλλώσιμων τριγλυκεριδίων, αλλά και γιατί επιδρά στη συγκέντρωση των ξένων σωματιδίων που δρουν ως πυρήνες κρυστάλλωσης (Kloek et al., 2000).

Η θερμοκρασία ωρίμανσης επηρεάζει το βαθμό της υπόψυξης (γρήγορη ψύξη των μιγμάτων και ωρίμανση σε χαμηλές θερμοκρασίες επιφέρουν έντονη υπόψυξη) και την πολυμορφική συμπεριφορά των τριγλυκεριδίων (de Man et al., 1991). Τα λιπαρά μπορούν να κρυσταλλώνονται είτε στις μετασταθείς α και β' πολυμορφικές δομές ή στη θερμοδυναμικά ευνοούμενη β δομή. Οι Lopez et al., (2000) ανέφεραν ότι η γαλακτωματοποίηση των λιπαρών γάλακτος δεν επέφερε σημαντικές διαφορές ως προς την πολυμορφική συμπεριφορά τους. Οι Awad & Sato (2002) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη υδροφοβικών ξένων σωματιδίων σε γαλακτώματα με φυτικά λιπαρά (φοινικέλαιο) ευνόησε την κρυστάλλωση στη β' πολυμορφική δομή σε σχέση με τα γαλακτώματα απουσία ακαθαρσιών τα οποία κρυσταλλώθηκαν στην α δομή.

3.2.2 Η δράση των γαλακτωματοποιητών

Η παρουσία των επιφανειοενεργών ενώσεων είναι καθοριστικής σημασίας για τη διαμόρφωση της κολλοειδούς δομής των μιγμάτων παγωτού αλλά και της μικροδομής του τελικού κατεψυγμένου προϊόντος. Όπως αναφέρθηκε η δράση των γαλακτωματοποιητών ξεκινά αμέσως μετά τη διάρρηξη των λιποσφαιρίων κατά τη διεργασία ομογενοποίησης (Goff 1997a,b; Pelan et al., 1997). Η ικανότητα των γαλακτωματοποιητών να ελαττώνουν την επιφανειακή τάση στα γαλακτώματα παγωτού είναι η βασικότερη λειτουργική τους δράση, αφού συνδέεται τόσο με την ευκολία κρυστάλλωσης των λιποσφαιρίων, όσο και με τη μερική αποσταθεροποίησή τους. Η παρουσία των γαλακτωματοποιητών ελαττώνει το πάχος της διεπιφάνειας που αποτελείται από επιφανειοενεργό υλικό και περιβάλλει τα λιποσφαίρια, ενώ η παρουσία τους στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων ευνοεί και την πυρηνογένεση και κατά συνέπεια την κρυστάλλωση του λίπους κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης. Έτσι ενώ η αλλαγή της σύστασης της μεμβράνης είναι ταχεία διεργασία, και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό ολοκληρώνεται με το πέρας της ομογενοποίησης, η κρυστάλλωση των λιποσφαιρίων απαιτεί την παρουσία των γαλακτωματοποιητών, ώστε να ευνοηθεί θερμοδυναμικά (Awad & Sato, 2002; Goff, 1997; Gelin et al., 1996). Επομένως, ενώ από θερμοδυναμικής πλευράς η απαιτούμενη μείωση της επιφανειακής τάσης μπορεί να πραγματοποιηθεί από τα πρωτεϊνικά μόρια (Goff, 1997a,b; Goff & Segall, 1999), η προσθήκη των γαλακτωματοποιητών συμβάλλει στην εξασφάλιση του κατάλληλου λόγου στερεού:υγρού λίπους, ώστε να μπορεί να λάβει χώρα η αποσταθεροποίηση των λιπαρών.

Το είδος του γαλακτωματοποιητή επηρεάζει σημαντικά το ποσοστό προσροφημένων πρωτεϊνών στα λιποσφαίρια, αλλά και τη συμπεριφορά κρυστάλλωσης των λιπαρών (Relkin et al., 2003). Σε σχετική μελέτη οι Granger et al. (2003) διαπίστωσαν ότι ο βαθμός ακορεστότητας του γαλακτωματοποιητή επηρεάζει καθοριστικά τα κολλοειδή χαρακτηριστικά και τη ρεολογία των μιγμάτων παγωτού. Οι Walstra (1998) και Awad & Sato (2002) ανέφεραν ότι η υδρόφοβη φύση των γαλακτωματοποιητών, σε συνδυασμό με το είδος της λιπαρής ύλης, έχουν άμεση επίδραση στο ρυθμό υπόψυξης και το ρυθμό κρυστάλλωσης των γαλακτωματοποιημένων λιπαρών.

3.2.3 Ο διαχωρισμός φάσεων

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η προσθήκη των πολυσακχαριτών στο μίγμα παγωτού στοχεύει στην αύξηση του ιξώδους του και τη βελτίωση της υφής του τελικού προϊόντος. Ωστόσο, λόγω της ασυμβατότητας πολλών πολυσακχαριτών με τις πρωτεΐνες, κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης επέρχεται διαχωρισμός φάσεων, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας διαυγούς υδατικής φάσης πλούσιας σε πολυσακχαρίτες, που είναι γνωστή ως «ορός» ενώ το φαινόμενο ονομάζεται αποβολή ορού (συναίρεση). Ο διαχωρισμός φάσεων υποβαθμίζει την ποιότητα του μίγματος, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου το μίγμα προορίζεται για την

παραγωγή βιοτεχνικού παγωτού, οπότε αποθηκεύεται σε συνθήκες ψύξης για ένα χρονικό διάστημα 14-21 ημερών. Επιπλέον, ο διαχωρισμός φάσεων συνοδεύεται και με αλλαγή των λειτουργικών ιδιοτήτων του μίγματος (Antonov et al., 1994; Schorch et al., 1999; Bourriot et al., 1999a,b).

Ο διαχωρισμός φάσεων που επέρχεται κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των μιγμάτων οφείλεται στο φαινόμενο απομάκρυνσης - συσσωμάτωσης (depletion - flocculation). Στα συστήματα καζεΐνης - πολυσακχαρίτη το depletion-flocculation προκύπτει από τη διαφορά της ωσμωτικής πίεσης μεταξύ του διαλύτη της εμπλουτισμένης σε υδροκολλοειδές φάσης και του διαλύτη που βρίσκεται στο χώρο μεταξύ των καζεϊνικών μυκκηλίων, όπου τα μόρια του υδροκολλοειδούς απωθούνται λόγω στερικών παρεμποδίσεων (Schorsch et al., 1999a,b; Tolstoguzov 1997; Bourriot 1999a,b). Η ασυμβατότητα των πρωτεϊνών με τους πολυσακχαρίτες οδηγεί σε συσσωμάτωση των καζεϊνικών μυκκηλίων έως ότου να υπερβεί το όριο της θερμοδυναμικής ασυμβατότητάς τους. Από θερμοδυναμικής πλευράς το φαινόμενο της απομάκρυνσης - συσσωμάτωσης οφείλεται στο γεγονός ότι τα βιοπολυμερή χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή εντροπία ανάμιξης, με αποτέλεσμα να έχουν περιορισμένη συμβατότητα με τα διαλυτά συστατικά που υπάρχουν στο υδατικό σύστημα που τα περιέχει. Έτσι τα βιομακρομόρια εμφανίζουν μία εκλεκτικότητα ως προς τις ενώσεις από τις οποίες περιβάλλονται (Tolstoguzov 2003).

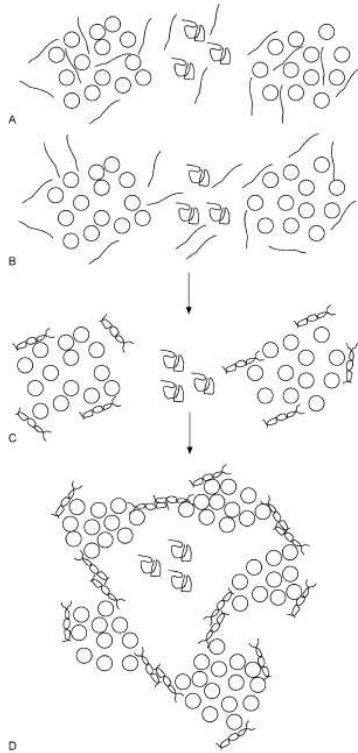
Το είδος του πολυσακχαρίτη επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό το διαχωρισμό φάσεων. Στην πραγματικότητα ο διαχωρισμός φάσεων επηρεάζεται από τη μοριακή διαμόρφωση του πολυσακχαρίτη στο υδατικό πρωτεϊνικό σύστημα. Οι Bourriot et al., (1999a,b) διαπίστωσαν ότι πολυσακχαρίτες με χαμηλό υδροδυναμικό όγκο (hydrodynamic volume) ή χαμηλό εσωτερικό ιξώδες καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο στο υδατικό σύστημα, με αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού των απωθούμενων από τις πρωτεΐνες μορίων, και κατ' επέκταση τη μείωση του ποσοστού συσσωμάτωσης των πρωτεϊνών (μεγαλύτερος αριθμός μορίων πολυσακχαρίτη βρίσκεται στη μικροπεριοχή που περιβάλλει τα πρωτεϊνικά μόρια) και του ποσοστού του διαχωρισμού φάσεων. Υδροκολλοειδή όπως η ξανθάνη, το κόμμι γκουάρ, το κόμμι χαρουπιού και οι πηκτίνες συγκαταλλέγονται μεταξύ των βιοπολυμερών που προκαλούν διαχωρισμό φάσεων σε υδατικά συστήματα παρουσία πρωτεΐνης (Thauidom & Goff, 2003; Vega & Goff, 2004; Tolstoguzov, 2006; Bourriot et al., 1999a,b). Αντίθετα, η κ-καραγενάνη και το αλγινικό νάτριο δεν επφέρουν διαχωρισμό φάσεων, ενώ είναι χαρακτηριστικό ότι η κ-καραγενάνη αποτελεί τυπικό σταθεροποιητικό μέσο των προϊόντων γάλακτος που είναι ευπαθή σε φαινόμενα διαχωρισμού φάσεων όπως τα μίγματα παγωτού, το σοκολατούχο και συμπυκνωμένο γάλα κ.α.

α) Η δράση της κ-καραγενάνης ως μέσο ελέγχου του διαχωρισμού φάσεων

Η κ-καραγενάνη αποτελεί σχεδόν απαραίτητο συστατικό του σταθεροποιητικού συστήματος που χρησιμοποιείται στα μίγματα παγωτού. Δεν αποτελεί πρωτογενή σταθεροποιητικό παράγοντα και για αυτό χρησιμοποιείται σε ποσοστό περίπου ίσο με το 10-20% της συνολικής ποσότητας των υδροκολλοειδών (αντιστοιχεί στο 0.02 - 0.04% του μίγματος). Οι μηχανισμοί με τους οποίους η κ-καραγενάνη σταθεροποιεί τα μίγματα παγωτού είναι μέσω: α) προσρόφησης των μορίων της στην επιφάνεια των καζεϊνικών μυκκηλίων, β) δημιουργίας συνδέσεων με τα καζεϊνικά μυκκίλια, γ) σχηματισμού πολύπλοκων πολυσακχαριτικών δικτύων που ευνοούν τη σύνδεση με τα καζεϊνικά μυκκίλια και δ) αλλαγής της μοριακής της διαμόρφωσης και της αλληλεπίδρασής της με τα καζεϊνικά μυκκίλια (Snoeren et al., 1975, 1976; Dalglish & Morris 1988; Bourriot et al., 1999a,b; Schorsch et al., 2000; Thauidom & Goff 2003; Spagnuolo et al., 2005).

Οι Snoeren et al., (1975;1976) ανέφεραν ότι η κ-καραγενάνη ελέγχει το διαχωρισμό φάσεων μέσω της προσρόφησης των μορίων της στην επιφάνεια των καζεϊνικών μυκκηλίων, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός ασθενούς πολυσακχαριτικού δικτύου που παρεμποδίζει την καταβύθιση των καζεϊνών. Η ηλεκτροστατική σύνδεση κ-καραγενάνης - καζεϊνικών

μυκκηλίων λαμβάνει χώρα μεταξύ των σουλφουδριλικών ομάδων της κ-καρραγενάνης και των θετικά φορτισμένων σημείων των καζεϊνών στις θέσεις 97 και 112 αντίστοιχα. Οι [Dalglish & Morris \(1988\)](#) πρότειναν ότι η κ-καρραγενάνη, όταν βρίσκεται σε διαμόρφωση έλικας, συνδέεται με τα καζεϊνικά μυκκήλια, καλύπτοντας την επιφάνειά τους και προκαλώντας τελικά την καταβύθισή τους.



Σχήμα 3.5: Ο μηχανισμός ελέγχου του φαινομένου του διαχωρισμού φάσεων από την κ-καρραγενάνη, σε σύστημα πολυσακχαρίτη - πρωτεΐνης με υψηλό βαθμό θερμοδυναμικής ασυμβατότητας (Spagnuolo & Goff 2005)

και [Spagnuolo et al. \(2005\)](#) ανέφεραν ότι η κ-καρραγενάνη, αν και παραμποδίζει το μακροσκοπικό διαχωρισμό φάσεων, εντούτοις το σύστημα πολυσακχαριτών - πρωτεϊνών παραμένει μικροσκοπικά διαχωρισμένο. Ο μικροσκοπικός διαχωρισμός φάσεων στην περίπτωση της ξανθάνης οδηγεί στο σχηματισμό ενός ασθενούς πήγματος, ενώ στις γαλακτομαννάνες σε ένα υδατικό σύστημα υψηλής συγκέντρωσης. Η τελευταία παρατήρηση μπορεί δυνητικά να παρέχει κρυσταλλοστασία στο κατεψυγμένο σταθεροποιημένο προϊόν ([Patmore et al., 2003](#); [Rogers et al., 2006](#); [Tolstoguzov, 2006](#)).

3.3 ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ

Η κατάψυξη αποτελεί μία δυναμική διεργασία που συμβάλλει στη δημιουργία της κολλοειδούς δομής του παγωτού: σχηματισμός και αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων, σχηματισμός και σταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα, αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων και σχηματισμός ενός εκτενούς τρισδιάστατου πλέγματος από συσσωματωμένα λιποσφαιρία. Ανεξάρτητα με το είδος της διάταξης κατάψυξης, τα φαινόμενα από πλευράς μηχανισμών που λαμβάνουν χώρα είναι γενικώς τα ίδια.

3.3.1 Η κρυστάλλωση του νερού

Με βάση τις στερικές και ηλεκτροστατικές θεωρήσεις, η κ-καρραγενάνη μπορεί να παρεμποδίσει το διαχωρισμό φάσεων, εγκλωβίζοντας τις πρωτεΐνες γάλακτος στο εσωτερικό ενός ασθενούς πηγματώδους πολυσακχαριτικού δικτύου. Ειδικότερα, οι [Bourriot et al., 1999a](#) ανέφεραν ότι ο διαχωρισμός φάσεων πολυσακχαρίτη - πρωτεϊνών σε πρότυπα συστήματα που περιείχαν κ-καρραγενάνη ξεκινά σε θερμοκρασίες υψηλότερες από την κρίσιμη θερμοκρασία μετασχηματισμού της κ-καρραγενάνης από τη διαμόρφωση τυχαίας σπείρας σε διπλή έλικα. Τα φαινόμενα σχηματισμού πήγματος λόγω της διαμόρφωσης διπλής έλικας της κ-καρραγενάνης κατά την ψύξη του συστήματος παρεμποδίζουν το διαχωρισμό φάσεων. Ο μηχανισμός με τον οποίο η κ-καρραγενάνη σταθεροποιεί το μίγμα παγωτού βασίζεται στη μετάβαση της κ-καρραγενάνης από τυχαία σπείρα σε διαμόρφωση διπλής έλικας, η οποία συμβάλλει στη δημιουργία δεσμών μεταξύ της κ-καρραγενάνης και των καζεϊνικών μυκκηλίων, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός σύνθετου πλέγματος στο εσωτερικό του οποίου εγκλωβίζονται τα μόρια του ασύμβατου πολυσακχαρίτη όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5 ([Spagnuolo et al., 2005](#)).

Οι [Schorsch et al., \(1999\)](#) διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση της κ-καρραγενάνης είναι σημαντικός παράγοντας για τον έλεγχο του διαχωρισμού φάσεων. Η παρουσία επαρκούς ποσότητας κ-καρραγενάνης ώστε να επιτυγχάνεται η σύνδεσή της με τα καζεϊνικά μυκκήλια, οδηγεί στο σχηματισμό ενός σύνθετου πλέγματος το οποίο παρεμποδίζει το διαχωρισμό φάσεων.

Σε πιο πρόσφατες μελέτες οι [Thauidom & Goff \(2003\)](#)

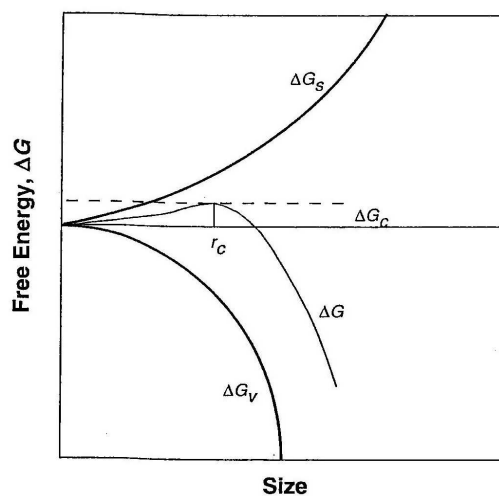
Η κρυστάλλωση της υγρασίας του μίγματος παγωτού είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, το οποίο περιλαμβάνει τα στάδια της υπόψυξης, της πυρηνογένεσης (ομογενής ή ετερογενής), της αύξησης του αριθμού των παγοκρύσταλλων και της ανάπτυξής τους. Τα φαινόμενα που εμπλέκονται στην κρυστάλλωση της υγρασίας επηρεάζονται από θερμοδυναμικούς (μεταφορά θερμότητας), και κινητικούς (μεταφορά μάζας) παράγοντες όπως επίσης και από τη σύσταση του μίγματος (Goff & Sahagian, 1996).

3.3.1.1 Υπόψυξη

Για να επέλθει η κρυστάλλωση του νερού, θα πρέπει να υπερνικηθεί ένας σημαντικός ενεργειακός παράγοντας, ο οποίος σχετίζεται με την απομάκρυνση της αισθητής θερμότητας και την ελάττωση της θερμοκρασίας ($<0^{\circ}\text{C}$) του μίγματος παγωτού χωρίς μεταβολή από την υγρή στη στερεή φάση. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως υπόψυξη και οδηγεί σε μία θερμοδυναμικά ασταθή κατάσταση, η οποία συμβάλλει στο σχηματισμό συναθροίσεων μορίων νερού κατάλληλων για το μετασχηματισμό νερού - πάγου. Ο βαθμός της υπόψυξης υπαγορεύεται από την έναρξη της πυρηνογένεσης. Η απουσία σταθερών συναθροίσεων μορίων νερού δεν ευνοεί την αλλαγή φάσης, αφού τα μόρια του νερού δεν μπορούν από μόνα τους να μεταβούν στη διαμόρφωση στερεού σώματος (Goff & Sahagian 1996; Hartel 2001).

3.3.1.2 Πυρηνογένεση

Η πυρηνογένεση είναι ίσως το πιο σημαντικό στάδιο για τον έλεγχο της κρυστάλλωσης στα συστήματα τροφίμων. Ο έλεγχος της έκτασης της πυρηνογένεσης είναι απαραίτητος για την παραγωγή της επιθυμητής κρυσταλλικής δομής (αριθμός και μέσο μέγεθος παγοκρυστάλλων, σχήμα και πολυμορφισμός). Η πυρηνογένεση διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή, ενώ η πρωτογενής πυρηνογένεση διαχωρίζεται περαιτέρω σε ομογενή και ετερογενή.

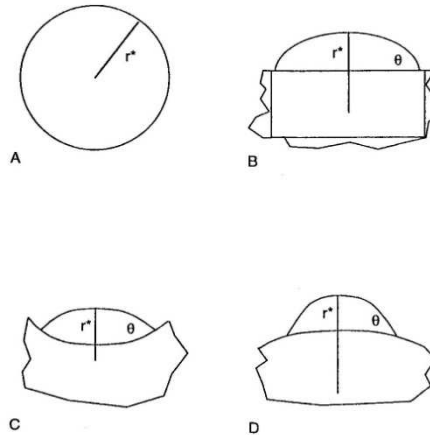


Σχήμα 3.6: Εξάρτηση του σχηματισμού των πυρήνων κρυστάλλωσης από τις τιμές ελεύθερης ενέργειας ΔG . ΔG_s = η ελεύθερη ενέργεια σχηματισμού της επιφάνειας των παγοκρυστάλλων, ΔG_v = η ελεύθερη ενέργεια σχηματισμού του κύριου όγκου, ΔG_c = η ελεύθερη ενέργεια σχηματισμού των πυρήνων κρυστάλλωσης, r_c = η κρίσιμη ακτίνα των πυρήνων κρυστάλλωσης (Hartel 2001)

a) Η πρωτογενής πυρηνογένεση

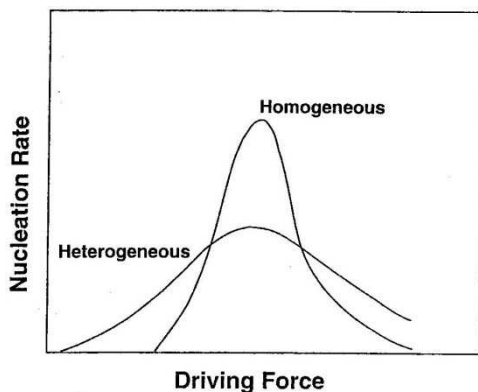
Η ομογενής πρωτογενής πυρηνογένεση αποτελεί το μηχανισμό σχηματισμού πυρήνων κρυστάλλωσης που παρατηρείται κατά κύριο λόγο σε ιδανικά υδατικά διαλύματα. Τα μόρια του διαλύματος πλησιάζουν μεταξύ τους σχηματίζοντας συναθροίσεις, ως αποτέλεσμα των τοπικών ενεργειακών διακυμάνσεων, οι οποίες καταστρέφονται και επανασηματίζονται με την πάροδο του χρόνου, ανάλογα με το βαθμό υπερσυμπύκνωσης και τη θερμοκρασία του διαλύματος. Υπό επιθυμητές συνθήκες (επαρκής υπερσυμπύκνωση ή έντονη υπέρψυξη), ο ρυθμός σχηματισμού των συναθροίσεων είναι μεγαλύτερος από εκείνον του διαχωρισμού των μορίων, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός συγκροτήματος μορίων κρίσιμης ακτίνας r_c

(πυρήνας). Για τη δημιουργία ενός σφαιρικού σχήματος πυρήνα, η διεργασία σχηματισμού μπορεί να διαχωριστεί σε δύο παράλληλες δράσεις: το σχηματισμό της επιφάνειας και το σχηματισμό του κύριου όγκου (εσωτερικού) του πυρήνα. Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας (ΔG) της πρώτης δράσης είναι αρνητική, ενώ της δεύτερης θετική. Για το συνολικό φαινόμενο, η ΔG μεταβάλλεται ανάλογα με την ακτίνα του συγκροτήματος των μορίων του διαλύματος, και όταν αυτό φθάσει στην τιμή της κρίσιμης ακτίνας r_c , τότε ο πυρήνας σταθεροποιείται και αυξάνει σε μέγεθος (Σχήμα 3.6). Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ομογενή πυρηνογένεση είναι: η θερμοκρασία, ο βαθμός υπέρψυξης, η επιφανειακή τάση των μορίων του υγρού και των σχηματιζόμενων κρυστάλλων, ο μοριακός όγκος, και το ιξώδες της υδατικής φάσης (Hartel, 2001; Goff & Hartel, 2006; Sahagian & Goff, 1996).



Σχήμα 3.7: Διαφορετικοί μηχανισμοί πυρηνογένεσης με βάση τη γωνία διαβροχής μεταξύ ενός πυρήνα κρυστάλλωσης νερού και ενός μορίου νερού. A = ομογενής πυρηνογένεση, B = ετερογενής πυρηνογένεση σε επίπεδη επιφάνεια, Γ = ετερογενής πυρηνογένεση σε κοίλη επιφάνεια, και Δ = ετερογενής πυρηνογένεση σε κυρτή επιφάνεια. r^* = η ακτίνα καμπυλότητας ενός σταθερού πυρήνα κρυστάλλωσης (Hartel 2001)

Η ύπαρξη ξένων πυρήνων προκαλεί πυρηνογένεση σε πολύ χαμηλότερο βαθμό υπέρψυξης και υπερσυμπύκνωσης από εκείνον στην περίπτωση της ομογενούς πυρηνογένεσης. Οι πυρήνες αυτοί μπορεί να είναι ξένα σωματίδια ή ακόμη και εσοχές στα τοιχώματα του καταψύκτη. Η παρουσία αυτών των θέσεων πυρηνογένεσης ευνοεί τον προσανατολισμό των μορίων του νερού, κατά τρόπο που να επιτρέπει τη δημιουργία συναθροίσεων. Στην πράξη, οι ξένοι πυρήνες συμβάλλουν στην ελάττωση της ενέργειας και του αριθμού των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μορίων του νερού που απαιτούνται για το σχηματισμό σταθερών πυρήνων. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως ετερογενής πυρηνογένεση. Η γωνία διαβροχής του ξένου πυρήνα από τα μόρια του νερού παίζει σημαντικό ρόλο όσον αφορά την ευκολία και την ταχύτητα σχηματισμού των πυρήνων (Σχήμα 3.7). Όταν η γωνία διαβροχής είναι $\theta = 0^\circ$, τότε ισχύει $\Delta G_c = 0$, και συνεπώς ο σχηματισμός πυρήνων είναι αυθόρμητος. Αντίθετα όταν $\theta = 180^\circ$, τότε τα μόρια του νερού δεν μπορούν να προσανατολιστούν κατάλληλα, ώστε να σχηματίσουν σταθερούς πυρήνες.



Σχήμα 3.8: Μεταβολή του ρυθμού πυρηνογένεσης σε σχέση με την τιμή του δυναμικού θερμοκρασίας στην περίπτωση της ομογενούς και ετερογενούς πυρηνογένεσης (Goff & Hartel 2006)

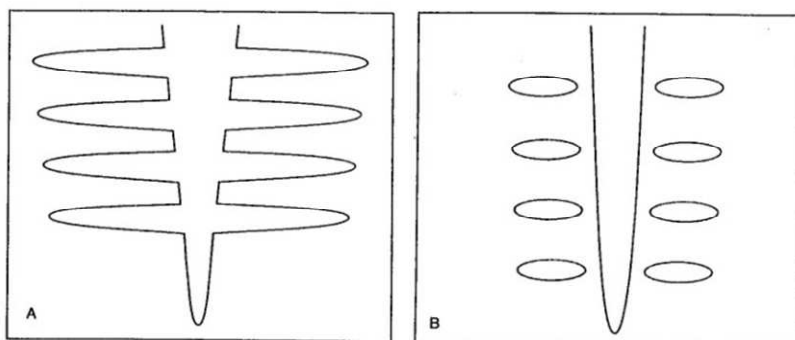
Από πλευράς κινητικής, ο ρυθμός και ο χρόνος έναρξης της πυρηνογένεσης αποτελούν βασικές παραμέτρους για την πορεία του φαινομένου της

πυρηνογένεσης. Ο ρυθμός πυρηνογένεσης εξαρτάται από το βαθμό υπερσυμπύκνωσης και τη θερμοκρασία. Η αύξηση της υπερσυμπύκνωσης πέραν ενός κρίσιμου σημείου επιφέρει απότομες μεταβολές στην πυρηνογένεση. Σε υψηλές θερμοκρασίες (άρα χαμηλούς βαθμούς υπερσυμπύκνωσης) η αυθόρμητη πυρηνογένεση είναι εξαιρετικά χαμηλή. Η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση της τάσης δημιουργίας σταθερών πυρήνων, λόγω αύξησης του δυναμικού πυρηνογένεσης και της υπερσυμπύκνωσης (Σχήμα 3.8). Το κρίσιμο σημείο πυρηνογένεσης δεν είναι απόλυτα καθορισμένο. Συγκρίνοντας την εξάρτηση του ρυθμού ομογενούς και ετερογενούς πυρηνογένεσης από το δυναμικό πυρηνογένεσης, παρατηρείται ότι η ομογενής πυρηνογένεση εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από την τιμή του δυναμικού πυρηνογένεσης. Αντίθετα, η ετερογενής πυρηνογένεση λαμβάνει χώρα σε χαμηλά δυναμικά πυρηνογένεσης και αυξάνει με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με την ομογενή. Η βέλτιστη θερμοκρασία πυρηνογένεσης εξαρτάται από το βαθμό υπερσυμπύκνωσης, τη μεταστάθεια του συστήματος, τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, καθώς και το ρυθμό ανάδευσης.

Ο χρόνος έναρξης της πυρηνογένεσης προσδιορίζεται από τον πραγματικό χρόνο έναρξης σχηματισμού πυρήνων, και από το χρόνο που απαιτείται για την ανάπτυξή τους σε αντιληπτό μέγεθος: $t = t_n + t_g$. Ο χρόνος έναρξης της πυρηνογένεσης καθορίζεται ανάλογα με τη μεταστάθεια του συστήματος, αλλά και με βάση το γεγονός ότι η κρυστάλλωση μπορεί να είναι επιθυμητή ή μη. Για παράδειγμα, χαμηλός χρόνος έναρξης πυρηνογένεσης απαιτείται για το σχηματισμό παγοκρύσταλλων κατά την κατάψυξη του μίγματος παγωτού. Αντίθετα, κατά την αποθήκευση του παγωτού ο χρόνος έναρξης της κρυστάλλωσης της λακτόζης θα πρέπει να διαρκεί μήνες, έτσι ώστε να αποτρέπεται η ανάπτυξη αμμώδους υφής (Hartel 2001; Goff & Hartel 2006; Livney et al., 1995).

Β) Η δευτερογενής πυρηνογένεση

Σε συστήματα που περιέχουν υδατάνθρακες, πάγο, λιπίδια, κιτρικό οξύ και διάφορα ανόργανα άλατα, εντοπίζεται μία εκτεταμένη μετασταθής ζώνη υπερσυμπύκνωσης στην οποία δεν μπορεί να λάβει χώρα αυθόρμητη ομογενής πυρηνογένεση, ακόμη και με την πάροδο μεγάλου χρονικού διαστήματος. Αν στο υπερσυμπυκνωμένο σύστημα προστεθούν νέοι πυρήνες, τότε αυτοί θα αναπτυχθούν, αλλά δεν θα ευνοήσουν την πυρηνογένεση. Υπό ειδικές συνθήκες θερμοκρασίας και συγκέντρωσης της υδατικής φάσης (εντός της μετασταθούς ζώνης), νέοι πυρήνες μπορούν να αναπτυχθούν με την παρουσία κρυσταλλικής επιφάνειας (π.χ. κρύσταλλοι σχηματισμένοι στα τοιχώματα της διάταξης κρυστάλλωσης). Η διαδικασία σχηματισμού νέων πυρήνων, λόγω των ήδη υπάρχοντων πυρήνων, ονομάζεται δευτερογενής πυρηνογένεση και είναι ιδιαίτερης σημασίας για την τεχνολογία του παγωτού. Ο κύριος μηχανισμός που περιγράφει τη δευτερογενή πυρηνογένεση είναι αυτός της άμεσης επαφής των κρυστάλλων με τους σχηματιζόμενους πυρήνες, όπως και με τις επιφάνειες των τοιχωμάτων και του αναδευτήρα της διάταξης κρυστάλλωσης.



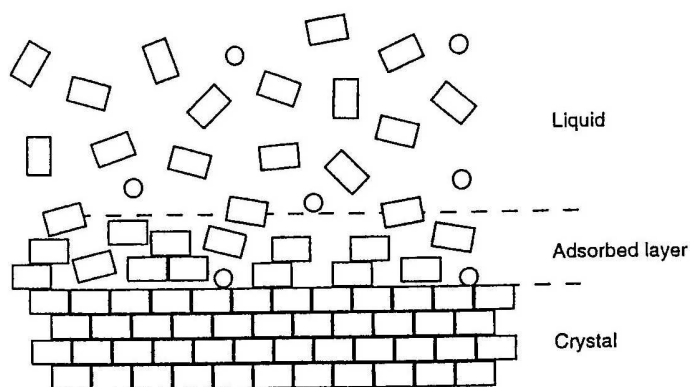
Σχήμα 3.9: Μηχανισμός σχηματισμού πυρήνων κρυστάλλωσης στην περίπτωση της δευτερογενούς πυρηνογένεσης. Η ανάπτυξη παγοκρύσταλλων δένδριτικής διαμόρφωσης είναι η πλέον θερμοδυναμικά ευνοούμενη

Επιπλέον, η επιβολή διατμητικής τάσης στο κρυσταλλωμένο ρευστό οδηγεί σε ανωμαλίες στην επιφάνεια των κρυστάλλων, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η γωνία διαβροχής τους από τα μόρια του υγρού, και συνεπώς να αυξάνεται η σταθερότητά τους. Οι παγοκρύσταλλοι κατά τη διάρκεια της δευτερογενούς πυρηνογένεσης αναπτύσσονται υπό μορφή δενδριτών, η οποία εξασφαλίζει στα προσαρτήματά τους, λόγω της ακτίνας καμπυλότητάς τους, τη μέγιστη δυνατή θερμοδυναμική αστάθεια σε σχέση με το κύριο τμήμα τους. Κατά τη διάρκεια της πυρηνογένεσης, τα προεξέχοντα τμήματα των δενδριτικών διαμορφώσεων αποκόπτονται λόγω μερικής τήξης από τον κύριο κορμό και διασπείρονται στον κύριο όγκο του κρυσταλλωμένου ρευστού, παράγοντας νέους πυρήνες (Σχήμα 3.9).

3.3.1.3 Ανάπτυξη των κρυστάλλων

Από τη στιγμή που σχηματίζονται στο υπερσυμπυκνωμένο σύστημα οι παγοκρύσταλλοι, αναπτύσσονται (αυξάνει η μέση διάμετρος τους) με ρυθμό που εξαρτάται άμεσα από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων συνεχίζεται, όσο το σύστημα παραμένει σε υπερσυμπυκνωμένη κατάσταση και τα μόρια του νερού χαρακτηρίζονται από επαρκή κινητικότητα, ώστε να μεταβαίνουν από την κύρια υδατική φάση προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων και να προσανατολίζονται ανάλογα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Η ανάπτυξη τερματίζεται, όταν το σύστημα φθάσει από πλευράς υπερσυμπύκνωσης, στην οριακή κατάσταση ισορροπίας υγρού - στερεού, όπως αυτή περιγράφεται από το διάγραμμα φάσεων. Η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων γενικά είναι σύνθετη, αφού η μοριακή εναπόθεση του νερού στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων επηρεάζεται από μία σειρά διαφορετικών φαινομένων όπως: α) διάχυση των μορίων του νερού από την κύρια υδατική φάση προς την επιφάνεια των κρυστάλλων, β) απομάκρυνση μερικών ή όλων των μορίων νερού ενυδάτωσης τα οποία συμμετέχουν στην ένυδρη μορφή των ενώσεων που κρυσταλλώνονται (π.χ. λακτόζη), γ) διάχυση των μη κρυσταλλώσιμων συστατικών από την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων προς την κύρια υδατική φάση, δ) προσανατολισμός των μορίων του νερού στη διεπιφάνεια υγρού - στερεού, ε) απομάκρυνση της θερμότητας που εκλύεται λόγω της αλλαγής φάσεων και στ) μεταστροφή των κρυσταλλώσιμων ενώσεων στην ορθή ανωμερή μορφή (π.χ. λακτόζη).

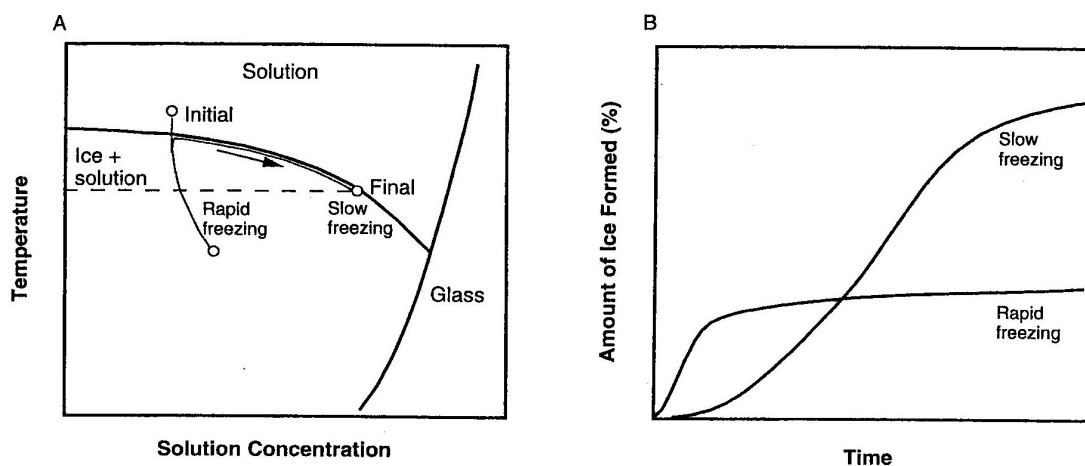
Το πρώτο στάδιο κατά την ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων είναι η μεταφορά μάζας (μορίων νερού) προς την επιφάνεια του κρυστάλλου. Η μεταφορά αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διάχυσης, συναγωγής ή συνδυασμού των δύο. Καθώς τα μόρια του νερού διαχέονται προς την επιφάνεια του κρυστάλλου, όλα τα υπόλοιπα μόρια (π.χ.



Σχήμα 3.10: Σχηματική απεικόνιση του στρώματος προσρόφησης που εντοπίζεται στην επιφάνεια των αναπτυσσόμενων παγοκρυστάλλων. Τα ορθογώνια απεικονίζουν τις μονάδες των κρυσταλλώσιμων μορίων, ενώ οι κύκλοι χαρακτηρίζουν σωματιδία που λειτουργούν ως προσμίξεις (impurities)

υδατάνθρακες, πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες κ.α.) πρέπει να διαχέονται κατά την αντίθετη κατεύθυνση (προς την κύρια υδατική φάση), ώστε να διατηρείται σταθερό το δυναμικό διάχυσης. Όταν τα μόρια του νερού φθάνουν στην επιφάνεια του κρυστάλλου, είναι απαραίτητο να προσανατολιστούν είτε μεμονωμένα ή με τη μορφή μίας πολυμοριακής μονάδας, ώστε να είναι δυνατή η διάταξή τους στο ευρύτερο κρυσταλλικό πλέγμα (Σχήμα 3.10). Ο προσανατολισμός αυτός συμβαίνει σε ένα μοριακό στρώμα κοντά στο κρυσταλλικό πλέγμα, το οποίο είναι γνωστό ως στρώμα προσρόφησης και έχει πάχος λίγων nm. Ο ρυθμός

ανάπτυξης των παγοκρυστάλλων καθορίζει και τον τρόπο της αναδιοργάνωσης των μορίων του νερού στο χώρο. Σε χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, η διάταξη των μορίων του νερού είναι η θερμοδυναμικά ευνοούμενη, δηλαδή παρατηρείται μία υψηλά κανονική διάταξή τους στο χώρο. Αντίθετα, όταν η ανάπτυξη των παγο-κρυστάλλων είναι ταχεία, τα μόρια του νερού διατάσσονται σε μία πιο ακανόνιστη μορφή. Μετά τη διάταξη των μορίων του νερού προς την επιφάνεια του κρυσταλλικού πλέγματος, η εκλυόμενη θερμότητα κρυστάλλωσης (ΔH_f), πρέπει να απομακρυνθεί από τη γειτνιάζουσα στην επιφάνεια του κρυστάλλου ζώνη. Οι συντελεστές αγωγής και συναγωγής (οι οποίοι συνδέονται με τη σύσταση του ρευστού, αλλά και με τεχνικές παραμέτρους της διάταξης κρυστάλλωσης) καθορίζουν το μηχανισμό με τον οποίο απάγεται η παραγόμενη θερμότητα τήξης.



Σχήμα 3.11: Η πορεία κρυστάλλωσης του νερού προς πάγο σε ένα διφασικό σύστημα. (Α) Χαμηλός ρυθμός κατάψυξης επιφέρει κρυστάλλωση του νερού κατά την πορεία του διαγράμματος φάσεων σε αντίθεση με τον υψηλό ρυθμό κρυστάλλωσης, (Β) Σύγκριση των ποσοστών σχηματισμένου πάγου κατά την αργή και ταχεία κατάψυξη (Hartel 2001)

Σε υδατικά συστήματα, η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων συνεχίζεται μέχρι να καταψυχθεί ολόκληρη η ποσότητα του νερού, ή συνηθέστερα έως ότου αποκατασταθεί η ισορροπία υγρού - στερεού (Σχήμα 3.11). Στην περίπτωση του καθαρού νερού, η κρυστάλλωση επέρχεται στη θερμοκρασία του σημείου πήξης και η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων διαρκεί έως ότου κρυσταλλωθεί ολόκληρη η ποσότητα του νερού. Σε υδατικά διαλύματα που περιέχουν σάκχαρα και βιοπολυμερή, η κρυστάλλωση λαμβάνει χώρα στο σημείο πήξης (χαμηλότερο εκείνου του νερού λόγω ταπείνωσης), αλλά στην περίπτωση αυτή είναι μάλλον μία δυναμική διεργασία, αφού η συγκέντρωση της υδατικής φάσης μεταβάλλεται συνεχώς. Επομένως, στα συστήματα τροφίμων, η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων τερματίζεται, όταν το δυναμικό θερμοκρασίας (διαφορά πραγματικής-θερμοκρασίας σημείου πήξης) τείνει να γίνει ίσο με το μηδέν, ή όταν η μοριακή κινητικότητα του νερού είναι αρκετά χαμηλή (το μικροίξώδες της υδατικής φάσης είναι πολύ υψηλό), ώστε να μειώνεται καθοριστικά το δυναμικό διάχυσης υγρασίας προς την επιφάνεια του παγοκρυστάλλου. Στην περίπτωση όπου ο ρυθμός κατάψυξης είναι πολύ χαμηλός, τότε το σύστημα κρυσταλλώνεται κατά την πορεία που υποδεικνύεται από την καμπύλη ταπείνωσης του σημείου πήξης (Σχήμα 3.11). Το ποσοστό του σχηματιζόμενου πάγου αυξάνει, καθώς η θερμοκρασία ελαττώνεται μέχρι να τελικά να σταθεροποιηθεί σε μία τελική τιμή, όταν η θερμοκρασία του συστήματος γίνει ίση με εκείνη του καταψύκτη. Αντίθετα, αν η κρυστάλλωση του νερού είναι ταχεία, το σύστημα μπορεί να ακολουθήσει μία αυθαίρετη ως προς το διάγραμμα φάσεων πορεία. Οι υψηλοί ρυθμοί κρυστάλλωσης επιφέρουν σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του συστήματος, όπως υποδεικνύεται από την καμπύλη κάτω από τη θεωρητικά αναμενόμενη καμπύλη κατάψυξης. Αν η ψύξη είναι τόσο έντονη, ώστε να προκαλέσει τη μείωση της θερμοκρασίας του συστήματος κάτω από τους -40°C , τότε οι

σχηματιζόμενοι παγοκρύσταλλοι εγκλωβίζονται και ακινητοποιούνται σε ένα υαλώδες υπόστρωμα, έως ότου η θερμοκρασία του συστήματος ανέλθει στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης T_g . Αν η θερμοκρασία του συστήματος κατά την κατάψυξη είναι υψηλότερη εκείνης του σημείου υαλώδους μετάπτωσης, τότε η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων συνεχίζεται, εξαρτώμενη από τη διαφορά $\Delta T = T_{\text{συστ}} - T_g$.

Οι μηχανισμοί ανάπτυξης των παγοκρυστάλλων μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες: μεταφορά (διάχυση) μάζας, ενσωμάτωση στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων, και μεταφορά θερμότητας. Το μέγεθος της υδροδυναμικής διεπιφάνειας μεταξύ των παγοκρυστάλλων και της κύριας υδατικής φάσης καθορίζει τόσο το ρυθμό ανάπτυξης των παγοκρυστάλλων, όσο και την εξάρτησή του από τους συντελεστές αγωγής ή συναγωγής. Γενικά, η θερμοκρασία, ο ρυθμός ανάδευσης, αλλά και φυσικά χαρακτηριστικά όπως το ιξώδες και η πυκνότητα του υδατικού συστήματος επηρεάζουν το ρυθμό ανάπτυξης των κρυστάλλων. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπου η υπερσυμπύκνωση του υδατικού συστήματος είναι σημαντική, η ύπαρξη ή μη ανάδευσης συμβάλλει καθοριστικά στην ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων. Όταν το κρυσταλλωμένο σύστημα αναδεύεται, τότε ο συντελεστής συναγωγής (Sh) είναι σημαντικός, με αποτέλεσμα ο ρυθμός ανάπτυξης των παγοκρυστάλλων να αυξάνεται (Hartel, 2001):

$$Sh = 2.0 + 0.6 \left[\frac{L^2 \Delta \rho g}{\nu^2 \rho} \right]^{0.25} \left(\frac{\nu}{D_v} \right)^{0.33} \quad (3.7)$$

όπου: L είναι μια διαστατική σταθερά που χαρακτηρίζει τον παγοκρύσταλλο, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, ν το κινηματικό ιξώδες, $\Delta \rho$ η μεταβολή πυκνότητας, και D_v ο συντελεστής μοριακής διαχυτότητας.

Αντίθετα, υπό συνθήκες πλήρους ηρεμίας του συστήματος (π.χ. τα στάδια σκλήρυνσης και αποθήκευσης του παγωτού), το δυναμικό διάχυσης υγρασίας είναι πολύ υψηλό, με αποτέλεσμα η ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων να ελέγχεται κατά κύριο λόγο από το συντελεστή διάχυσης και συνεπώς ο ρυθμός ανάπτυξης να είναι σημαντικά μικρότερος, σύμφωνα με τη σχέση (Hartel, 2001):

$$Sh = \frac{k_d L}{D_v} \quad (3.8)$$

Ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα πήξης απάγεται από το σύστημα, από την διεπιφάνεια παγοκρυστάλλου - υδατικής φάσης, επηρεάζει επίσης το ρυθμό ανάπτυξης των παγοκρυστάλλων. Συστήματα όπως τα μίγματα παγωτού χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές θερμότητας τήξης (ΔH_f), λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε υγρασία. Η θερμότητα τήξης που εκλύεται στην επιφάνεια του παγοκρυστάλλου μπορεί απομακρυνθεί είτε μέσω συναγωγής στην κύρια υδατική φάση, ή μέσω αγωγής διαμέσου του κρυσταλλικού στρώματος. Έτσι το είδος της τεχνικής κατάψυξης καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να απάγεται η θερμότητα τήξης, προκειμένου να ευνοείται η σταδιακή ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων (Hartel, 2001; Goff & Hartel, 2006).

3.3.1.4 Η κρυστάλλωση του νερού στα μίγματα παγωτού

α) Ταπείνωση του σημείου πήξης

Το σημείο πήξης των μιγμάτων παγωτού επηρεάζεται από τη συγκέντρωση και το είδος των διαλυμένων ουσιών στη φάση ορού. Η παρουσία σακχάρων και διαλυτών αλάτων συμβάλλει σε καθοριστική ταπείνωση του σημείου πήξης. Επιπλέον, μακρομοριακές ουσίες που μεταβάλλουν τη συγκέντρωση της φάσης ορού π.χ. πολυσακχαρίτες, διαιτητικές ίνες με υψηλό ποσοστό συγκράτησης υγρασίας κ.α. μπορούν επίσης να επηρεάσουν το σημείο πήξης των μιγμάτων παγωτού. Η ταπείνωση του σημείου πήξης από την παρουσία των διαλυτών συστατικών οφείλεται στην ιδιότητά τους να αλληλεπιδρούν με τα μόρια του νερού και να παραμποδίζουν το σχηματισμό συναθροίσεων παγοκρυστάλλων. Η ταπείνωση του σημείου πήξης ($T_f - T_0$) μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$T_f - T_0 = K \frac{c}{M_w} \quad (3.9)$$

Όπου: T_f = είναι το σημείο πήξης ($^{\circ}\text{C}$) μίγματος παγωτού με συγκέντρωση c σε διαλυτά συστατικά, M_w το μοριακό βάρος της διαλυτής ουσίας και K είναι σταθερά (για το νερό $K = 1.86$). Σε απλά συστήματα η εξίσωση 3.9 παρέχει αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του σημείου πήξης με το είδος και τη συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας. Στα πιο σύνθετα συστήματα, τα οποία αποτελούνται από γλυκαντικές ύλες, βιοπολυμερή και ανόργανα άλατα, στη σχέση θα πρέπει να χρησιμοποιείται το αποτελεσματικό μοριακό βάρος, το οποίο αντικατοπτρίζει την επίδραση του συνόλου των συστατικών στο σημείο πήξης των μιγμάτων παγωτού. Εναλλακτικά, το σημείο πήξης μπορεί να προσδιοριστεί από τις επιμέρους επιδράσεις των γλυκαντικών υλών και των ανόργανων αλάτων. Η επίδραση των γλυκαντικών υλών στο σημείο πήξης μπορεί να προσδιοριστεί με εφαρμογή της σχέσης:

$$SE_{sw} = \frac{[(msnf \times 0.545) + S] \times 100}{W} \quad (3.10)$$

Όπου: $msnf$ = η ποσότητα των στερεών άνευ λίπους (ΣΥΑΛ), S = η περιεκτικότητα του μίγματος σε σακχαρόζη, και W = η περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό. Η τιμή του SE_{sw} χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ταπείνωσης του σημείου πήξης με χρήση κατάλληλων πινάκων (Marshall et al., 2003). Η ταπείνωση του σημείου πήξης λόγω της παρουσίας των ανόργανων αλάτων προσδιορίζεται από τη σχέση:

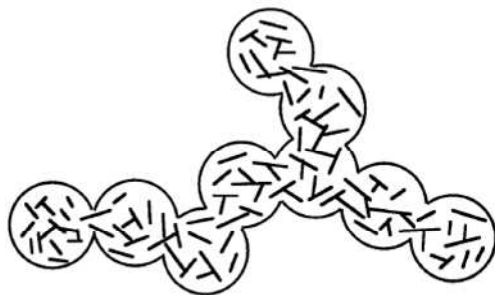
$$FPD_{sa} = \frac{msnf \times 2.37}{W} \quad (3.11)$$

Τελικά η ολική ταπείνωση του σημείου πήξης προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$FPD_t = FPD_{sw} + FPD_{sa} \quad (3.12)$$

3.3.2 Αποσταθεροποίηση λιπαρών - Σχηματισμός φυσαλίδων αέρα

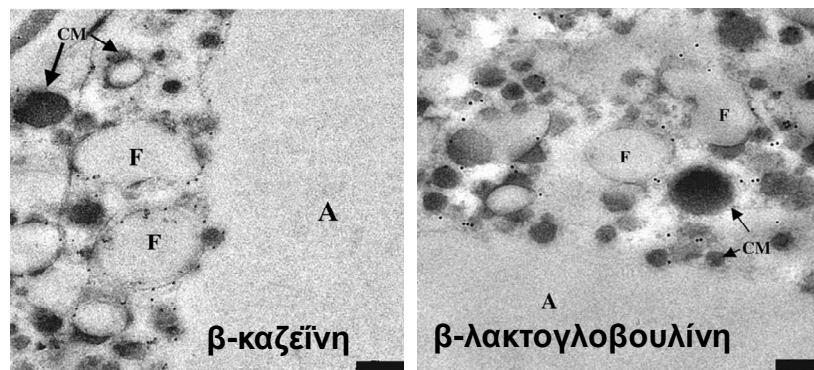
Η υφή του παγωτού είναι ίσως το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό που καθορίζει την οργανοληπτικά εκτιμώμενη ποιότητά του. Η δυναμική διεργασία κατάψυξης, εκτός από την επίδρασή της στη μετάβαση φάσεων, αποτελεί βασικό παράγοντα για τη δημιουργία αλλά και τη σταθεροποίηση της κολλοειδούς δομής του παγωτού. Η κολλοειδής δομή του παγωτού διαμορφώνεται κατά το στάδιο της ομογενοποίησης και υπόκειται σε μία δυναμική μεταβολή της μικροδομής του κατά την ωρίμανση και την κατάψυξη (Marshall et al., 2003; Goff & Hartel 2006).



Σχήμα 3.12: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου της μερικής συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων κατά τη διάρκεια της διεργασίας απόδοσης

μερική συσσωμάτωση (partial coalescence) και οδηγεί στη δημιουργία συσσωματωμάτων λιποσφαιρίων τα οποία διατηρούν έως ένα βαθμό την αρχική τους μορφή (Σχήμα 3.12). Η μερική συσσωμάτωση έχει ως αποτέλεσμα τη αλλαγή τόσο των κολλοειδών ιδιοτήτων του

μίγματος, όσο και του ιξώδους του (Goff, 1997a,b; Vanapalli & Coupland, 2001; McClements, 1999). Η συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων μπορεί να είναι περικινητική ως αποτέλεσμα της κίνησης Brown, ή ορθοκινητική ως αποτέλεσμα της επιβολής διάτμησης ή ανάδευσης. Στην περίπτωση των μιγμάτων παγωτού η περικινητική συσσωμάτωση είναι μάλλον περιορισμένη δεδομένου ότι οι μεγαλομοριακές επιφανειοενεργές ενώσεις δρουν σταθεροποιητικά, παρεμποδίζοντας τη συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων. Αντίθετα, η ορθοκινητική συσσωμάτωση έχει ιδιαίτερη σημασία για την παρασκευή του παγωτού, αφού λαμβάνει χώρα κατά το στάδιο της κατάψυξης - απόδρασης, εξαιτίας της επιβαλλόμενης διάτμησης από τα πτερύγια απόξεσης του καταψύκτη και τη βίαιη είσοδο των φυσαλίδων αέρα (Goff, 1997b, Pelan et al., 1997).

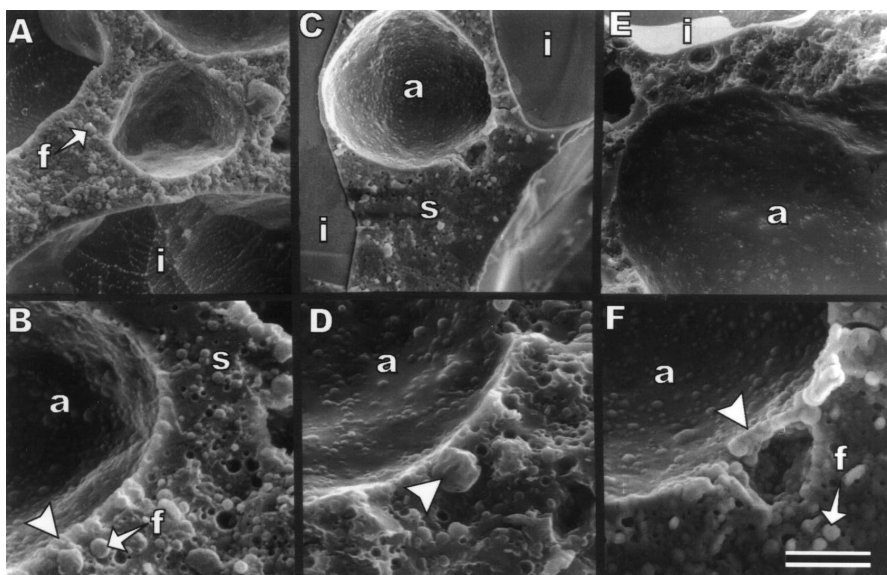


Σχήμα 3.13: Συμμετοχή των πρωτεϊνών (απεικονίζονται ως μικρές κουκκίδες) στη σύσταση της διαπιφάνειας φάσης ορού - αέρα. Οι πρωτεΐνες ορού προσροφώνται δυσκολότερα στη συγκεκριμένη διεπιφάνεια σε σχέση με τις καζεΐνες (Zhang & Goff 2004)

Η μερική συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η σύσταση των τριγλυκεριδίων της λιπαρής ύλης, ο λόγος κρυσταλλωμένου προς υγρό λίπος, ο ρυθμός και οι συνθήκες απόδρασης, η θερμοκρασία ωρίμανσης, η παρουσία επιφανειοενεργών συστατικών (π.χ. πρωτεΐνες, γαλακτωματοποιητές), η σύσταση των πρωτεϊνικών υλικών, το είδος του γαλακτωματοποιητή (Goff, 1997a,b; Granger et al., 2003; Granger et al., 2005; Boode & Walstra, 1993; Boode et al., 1993; Zhang & Goff, 2004; Vanapalli & Coupland, 2001). Η σύσταση της μεμβράνης που περιβάλλει τα λιποσφαίρια είναι καθοριστικής σημασίας για την τάση αποσταθεροποίησής τους κατά τη διάρκεια της απόδρασης. Σε μίγματα παγωτού απουσία γαλακτωματοποιητών, η τάση αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων αυξάνει, όταν η μεμβράνη τους καλύπτεται από ελεύθερες καζεΐνες και καζεϊνικά μυκκίλια, ενώ ελαττώνεται παρουσία πρωτεϊνών ορού γάλακτος (β-λακτογλοβουλίνη και α-λακταλμπουμίνη). Σε σχετικές τους μελέτες οι Zhang & Goff (2004) και Zhang & Goff (2005) διαπίστωσαν ότι η διεπιφάνεια αέρα - λιπιδίων αποτελείται κατά κύριο λόγο από καζεϊνικά μυκκίλια (Σχήμα 3.13), ενώ οι Britten & Giroux (1991); Goff et al. (1987); Van Camp et al. (1996); Pelan et al. (1997), Segall & Goff (1999) ανέφεραν ότι η τάση αποσταθεροποίησης ελαττώνεται κατά τη σειρά σκόνη γάλακτος > πρωτεΐνες ορού γάλακτος > καζεϊνικά άλατα. Ο βαθμός ακορεστότητας του γαλακτωματοποιητή είναι επίσης παράγοντας που επηρεάζει καθοριστικά την τάση αποσταθεροποίησης (Jordan & Goff, 1989). Οι γαλακτωματοποιητές, όπως έχει αναφερθεί, έχουν τάση (λόγω του μικρού τους μοριακού βάρους) να ελαττώνουν δραστικά την επιφανειακή τάση, απομακρύνοντας τα ογκώδη πρωτεϊνικά μόρια από την επιφάνεια των λιποσφαιρίων. Η χρήση γαλακτωματοποιητών με υψηλή ακορεστότητα διευκολύνει την απομάκρυνση των καζεϊνικών μορίων από την επιφάνεια των λιποσφαιρίων ευνοώντας τη μερική συσσωμάτωσή τους (Zhang & Goff, 2005; Euston et al., 1995; Granger et al., 2003). Ωστόσο, οι κορεσμένοι γαλακτωματοποιητές συμβάλλουν σε απότομη κρυστάλλωση των λιπαρών ιδιαίτερα στην περίπτωση των φυτικών λιπαρών, όπως το φοινικέλαιο και το φοινικοπυρηνέλαιο (Berger, 1997). Παρομοίως η υποκατάσταση μέρους των λιπαρών υλών των μιγμάτων παγωτού από ακόρεστα κλάσματα των λιπαρών γάλακτος

(ελαϊκά κλάσματα - AMF/O) συμβάλλει στην αύξηση του ποσοστού αποσταθεροποίησης των λιπαρών κατά τη διάρκεια της απόδαρσης (Bazmi et al., 2007; Relkin et al., 2006).

Η σπουδαιότητα της μερικής συσσωμάτωσης κατά τη διάρκεια της απόδαρσης βασίζεται στο γεγονός ότι τα αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια δημιουργούν ένα συνεχές μέσο (Σχήμα 3.14), το οποίο εγκλωβίζει και σταθεροποιεί τις φυσαλίδες αέρα (Marshall et al., 2003). Η επιβολή διάτμησης στα πρωτεϊνικά γαλακτώματα συνεπάγεται το σχηματισμό αφρών, λόγω της ικανότητας των πρωτεϊνών να δημιουργούν λεπτές μεμβράνες γύρω από τις ενσωματωμένες φυσαλίδες αέρα (Brooker et al., 1986). Οι αφροί θεωρούνται ως λυόφοβες κολλοειδείς διασπορές, δηλαδή δεν ευνοείται από θερμοδυναμικής πλευράς η διαβροχή της διασπαρμένης φάσης. Για παράδειγμα, η παρουσία λιπαρών συστατικών σε υγρή μορφή στη διεπιφάνεια αέρα - φάσης ορού οδηγεί στην αποσταθεροποίηση και τελικά διάρρηξη των φυσαλίδων αέρα (Walstra, 2006). Η προσθήκη αμφιφιλικών ενώσεων, όπως οι πρωτεΐνες και οι γαλακτωματοποιητές, έχουν ικανότητα να ελαττώνουν την επιφανειακή τάση (παράγοντα αποσταθεροποίησης των φυσαλίδων αέρα), αλλά και να διατάσσονται κατάλληλα στη διεπιφάνεια αέρα - ορού κατά τρόπο τέτοιο, ώστε να σταθεροποιούνται οι σχηματιζόμενες φυσαλίδες αέρα (Damodaran, 2005). Οι πρωτεΐνες αποτελούν τους κύριους παράγοντες αφρισμού, ενώ η αφριστική τους ικανότητα επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το pH, ο βαθμός μετουσίωσης, η ιοντική ισχύς, οι πολυσακχαρίτες, τα μικρού μοριακού βάρους πεπτίδια, τα φωσφολιπίδια, και τα σάκχαρα (Damodaran 2005; Patino et al., 1995; Zhang et al., 2004).

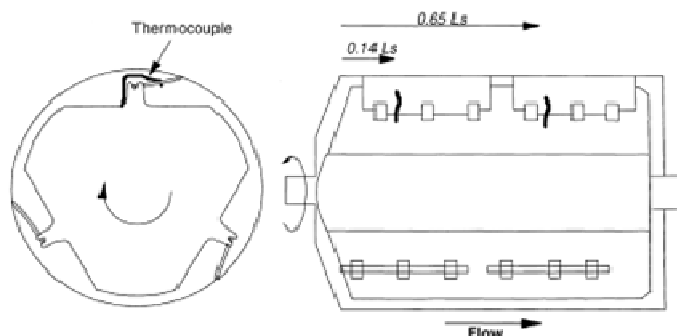


Σχήμα 3.14: Σταθεροποίηση της κολλοειδούς δομής του παγωτού λόγω αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων σε διαφορετικές συνθήκες παραγωγής του. A, B = συνεχής διεργασία κατάψυξης χαμηλής πίεσης, C,D = συνεχής διεργασία κατάψυξης υψηλή πίεσης E,F = ασυνεχής (batch) διεργασία κατάψυξης, a = φυσαλίδες αέρα, f = μερικώς συσσωματωμένα λιποσφαίρια, i = παγοκρύσταλλοι, s = φάση ορού (Goff et al., 1999)

Η ευκολία σχηματισμού των φυσαλίδων αέρα, κατά τη διάρκεια της διεργασίας απόδαρσης - κατάψυξης, επηρεάζεται από τη σύσταση των πρωτεϊνικών υλικών που βρίσκονται στη διεπιφάνεια αέρα - ορού, καθώς και από την παρουσία άλλων αμφιφιλικών ενώσεων. Αναφορικά με το είδος των πρωτεϊνών οι Zhang & Goff, (2004) και Zhang & Goff, (2005) απέδειξαν ότι η υψηλότερη σταθερότητα στη διεπιφάνεια αέρα - ορού εξασφαλίζεται παρουσία καζεϊνών (π.χ. Β-καζεΐνη) και καζεϊνικών μυκηλλίων, και σε μικρότερο βαθμό πρωτεϊνών ορού γάλακτος. Το φαινόμενο είναι αναμφίβολα αλληλένδετο και με τη μερική συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων. Από την άλλη η παρουσία γαλακτωματοποιητών στη διεπιφάνεια αέρα - ορού οδηγεί στην απομάκρυνση των πρωτεϊνών και κατάρρευση της

διεπιφάνειας (Gunning et al., 1999). Όπως και στην περίπτωση της σταθερότητας των γαλακτωμάτων η ανταγωνιστική δράση πρωτεϊνών - γαλακτωματοποιητών εξηγείται με βάση τον ορογενικό μηχανισμό: η προσρόφηση των επιφανειοενεργών σωμάτων γίνεται σε προβληματικά σημεία της διεπιφάνειας, με στόχο τη μείωση της επιφανειακής τάσης. Γενικά, οι αφροί οι οποίοι σχηματίζονται από μικρομοριακά επιφανειοενεργά συστατικά είναι ασταθείς.

Καθώς η απόδραση λαμβάνει χώρα, το μεγαλύτερο ποσοστό των καζεϊνών που έχουν απομακρυνθεί από την επιφάνεια των λιποσφαιρίων κατευθύνεται προς τη διεπιφάνεια αέρα - ορού, ενώ τα μόρια του γαλακτωματοποιητή βρίσκονται στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων ευνοώντας την αποσταθεροποίηση. Στη διεπιφάνεια λιποσφαιρίων - αέρα εντοπίζονται επίσης πρωτεΐνες, αλλά με πιο ακανόνιστη σύσταση (καζεΐνες - πρωτεΐνες ορού). Η απόδραση συνεπάγεται τη δημιουργία διασυνδέσεων των αποσταθεροποιημένων λιποσφαιρίων κατά μήκος της διεπιφάνειας των φυσαλίδων αέρα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας σταθερής τρισδιάστατης δομής. Επιπλέον, οι φυσαλίδες αέρα, τα λιποσφαίρια και η υδατική φάση συμπυκνώνονται λόγω της κατάψυξης, με αποτέλεσμα να αυξάνει ο βαθμός αποσταθεροποίησης των λιπαρών, και να ευνοούνται η συγκόλληση των κολλοειδών σωμάτων και η αύξηση της συνεκτικότητας και της ξηρότητας του τελικού προϊόντος. Η δράση των γαλακτωματοποιητών στην εξασφάλιση συνοχής και ξηρότητας στο τελικό προϊόν είναι καθοριστικής σημασίας (Goff, 1997a,b).



Σχήμα 3.15: Σχηματική απεικόνιση του καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας που χρησιμοποιείται για την παρασκευή βιομηχανικού παγωτού (Russell et al., 1999)

3.3.3 Οι τεχνικές κατάψυξης

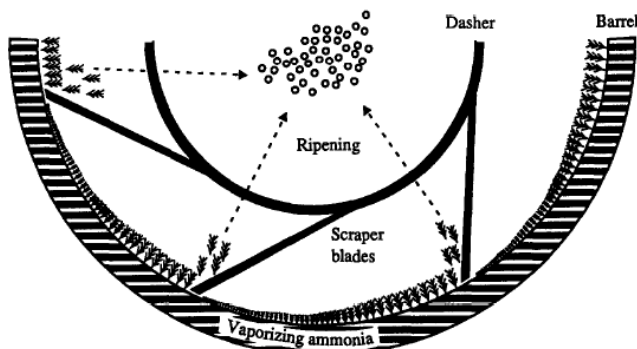
Η κατάψυξη των μιγμάτων παγωτού μπορεί να είναι συνεχής ή ασυνεχής, ανάλογα με τη δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής, και το είδος του παραγόμενου προϊόντος. Η βιομηχανική παραγωγή παγωτού βασίζεται αποκλειστικά στη χρήση περιστροφικών καταψυκτών αποξεόμενης επιφάνειας, οι οποίοι επιτυγχάνουν έντονη πυρηνογένεση, ταχύ σχηματισμό παγοκρυσταλλων, υψηλά ποσοστά ενσωμάτωσης αέρα και επαρκή αποσταθεροποίηση των λιπαρών, δηλαδή όλες τις προαπαιτούμενες συνθήκες για την υψηλή σταθερότητα της κολλοειδούς δομής και την εξέχουσα οργανοληπτική ποιότητα του προϊόντος. Στις μικρής δυναμικότητας παραγωγικές μονάδες εφαρμόζεται η ασυνεχής κατάψυξη των μιγμάτων παγωτού, η οποία, αν και βασίζεται στις ίδιες αρχές που διέπουν και τη συνεχή κατάψυξη, εντούτοις παρέχει διαφορετικά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν είναι διαφορετικά: χαμηλότερο ποσοστό ενσωματωμένου αέρα, μεγαλύτερο μέσο μέγεθος παγοκρυσταλλων, μικρότερο ποσοστό αποσταθεροποίησης λιπαρών, συνεκτική και σκληρή υφή κ.α.

3.3.3.1 Καταψύκτης αποξεόμενης επιφάνειας

Στο σχήμα 3.15 απεικονίζεται ένας τυπικός καταψύκτης αποξεόμενης επιφάνειας. Η συγκεκριμένη διάταξη αποτελείται από ένα μεταλλικό κύλινδρο με διπλά τοιχώματα για την κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού (συνήθως υγρή αμμωνία), εντός του οποίου υπάρχει η διάταξη απόδρασης αποτελούμενη από ένα συμπαγή περιστρεφόμενο μεταλλικό άξονα, πάνω

στον οποίο βρίσκονται τοποθετημένα πτερυγία απόξεσης. Η διάμετρος του αποδάρτη και το μήκος των πτερυγίων απόξεσης είναι μεταβλητό, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του καταψύκτη (Marshall et al. 2003).

Το μίγμα παγωτού, μετά το στάδιο της ωρίμανσης και έχοντας μία θερμοκρασία 0-4°C, αντλείται στον κύλινδρο του καταψύκτη υπό συνθήκες πίεσης (~4-5bar) και καταψύχεται υπό ταυτόχρονη απόδοση. Η εφαρμογή πίεσης εντός του κυλίνδρου στοχεύει στην ελάττωση του όγκου της αέριας φάσης και την αύξηση της μεταφοράς θερμότητας από και προς το προϊόν. Το ψυκτικό υγρό εξατμίζεται στο εξωτερικό της επιφάνειας του κυλίνδρου, απάγοντας μεγάλα ποσοστά αισθητής θερμότητας από το μίγμα παγωτού και προκαλώντας έντονη υπόψυξη λόγω της μεγάλης θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του σημείου πήξης του μίγματος και του ψυκτικού υγρού. Πρακτικά, η υπόψυξη που προκαλείται κατά τη συνεχή κατάψυξη παγωτού μπορεί να ξεπερνά ακόμη και τους 20°C. Συνεπώς, η χρήση καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας επιφέρει έντονη πυρηνογένεση και σχηματισμό πολλών και μικρών παγοκρυστάλλων. Οι παγοκρυστάλλοι σχηματίζονται στην ψυχόμενη επιφάνεια, και με την περιστροφή των πτερυγίων απόξεσης διασπείρονται προς τον κύριο όγκο του μίγματος, όπου η θερμοκρασία είναι σημαντικά υψηλότερη - αν και αρκετά χαμηλότερη από το σημείο πήξης του μίγματος (Σχήμα 3.16). Οι κρυστάλλοι αυτοί λειτουργούν ως πυρήνες, και με την πάροδο του χρόνου αυξάνουν σε μέγεθος (περίπου 30-35μm) μέχρι το παγωτό να αποσυρθεί από τον καταψύκτη. Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, το 40-50% της υγρασίας του μίγματος μετατρέπεται σε πάγο, η μέση θερμοκρασία του παγωτού κατά την έξοδό του από τον καταψύκτη είναι -5 έως -6°C, και το προϊόν βρίσκεται σε ημίρρευστη κατάσταση, όμως αρκετά συνεκτική, ώστε να μπορεί να συσκευάζεται και να μορφοποιείται.



Σχήμα 3.16: Ο ταχύς ρυθμός κρυστάλλωσης του μίγματος παγωτού στην επιφάνεια του καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας ευνοεί το σχηματισμό παγοκρυστάλλων δενδριτικής μορφής, ο οποίοι μέσω της διάτμησης οδηγούνται στον κύριο όγκο του μίγματος λειτουργώντας ως πυρήνες κρυστάλλωσης (δευτερογενής πυρηνογένεση) (Hartel 1996)

a) Οι μηχανισμοί κρυστάλλωσης του νερού στη συνεχή κατάψυξη

Λόγω της έντονης υπόψυξης κατά τη διάρκεια της συνεχούς κατάψυξης, η πυρηνογένεση μπορεί να ακολουθήσει τους βασικούς μηχανισμούς που ακολουθούν την κρυστάλλωση του νερού (πρωτογενής και δευτερογενής πυρηνογένεση). Το πάχος του στρώματος του κατεψυγμένου προϊόντος, ο τοπικά διαφοροποιούμενος βαθμός υπόψυξης, η ανεπαρκής ανάμιξη του μίγματος σε όλη την έκταση του κυλίνδρου, αλλά και η επίδραση των τεχνικών παραμέτρων (π.χ. διάμετρος αποδάρτη, μήκος των πτερυγίων απόξεσης κ.α.) επηρεάζουν τους πραγματικούς μηχανισμούς πυρηνογένεσης κατά τη διαδικασία κατάψυξης.

Οι Schwartzberg (1990), Schwartzberg & Liu (1990) πρότειναν ότι ο σχηματισμός των παγοκρυστάλλων βασίζεται στη δημιουργία πυρήνων δενδριτικής διαμόρφωσης στα τοιχώματα του καταψύκτη. Η περιστροφή των πτερυγίων απόξεσης ασκεί έντονη διάτμηση στους δενδρίτες, με αποτέλεσμα οι απολήξεις του να αποκόπτονται και να σχηματίζονται σφαιρικού σχήματος κρυστάλλοι οι οποίοι διασπείρονται στον κύριο όγκο του μίγματος και αυξάνουν

σταδιακά σε μέγεθος. Η θεωρία του σχηματισμού δενδριτών βασίζεται σε παρατηρήσεις της κρυστάλλωσης υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης σε ψυχόμενη επιφάνεια με χρήση βίντεο-μικροσκοπίας. Ο υψηλός ρυθμός κατάψυξης και η έντονη υπόψυξη που επιτυγχάνονται στους καταψύκτες αποξεόμενης επιφάνειας επιτρέπουν τον ταχύ σχηματισμό πυρήνων κρυστάλλωσης, ακόμη και στο σύντομο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικές αποξέσεις της επιφάνειας (0.05 - 0.10 s). Οι ίδιοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η προσθήκη μακρομορίων στα υδατικά διαλύματα της σακχαρόζης συμβάλλει σε σημαντική μείωση του ρυθμού κρυστάλλωσης. Ωστόσο, η σύνθετη κολλοειδής φύση του παγωτού, αλλά και οι συνθήκες ροής στο εσωτερικό του καταψύκτη, μπορεί να αποτελέσουν παράγοντες απόκλισης από τη θεωρία του Schwartzberg.

Οι Sodawala και Garside (1997) μελέτησαν την κρυστάλλωση υδατικών διαλυμάτων σακχαρόζης σε καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας με χρήση βίντεο-μικροσκοπίας υψηλής ταχύτητας. Η συγκεκριμένη τεχνική επέτρεψε την απεικόνιση των κρυσταλλικών σχηματισμών κατά τη διάρκεια απόξεσης της επιφάνειας από δύο διαδοχικά περύγια. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές δεν παρατήρησαν το σχηματισμό παγοκρυστάλλων δενδριτικής διαμόρφωσης, αλλά το σχηματισμό κροκιδωτών παγοκρυστάλλων που αναπτύσσονται παράλληλα προς την ψυχόμενη επιφάνεια και τελικά συγχωνεύονται, σχηματίζοντας μεγαλύτερου μεγέθους παγοκρυστάλλους. Εντούτοις είναι πολύ πιθανό οι κροκιδωτές κρυσταλλικές διαμορφώσεις να μην είναι νεοσχηματισθέντες παγοκρυστάλλοι, αλλά τα υπολείμματα που αφήνουν τα περύγια κατά την απόξεση της επιφάνειας του καταψύκτη (Russell et al., 1999).

Ένας ακόμη μηχανισμός που μπορεί να περιγράψει το σχηματισμό παγοκρυστάλλων είναι εκείνος της δευτερογενούς πυρηνογένεσης (Hartel 1996; Hartel 2001; Marshall et al., 2003; Drewett & Hartel 2007). Η έντονη υπόψυξη επιφέρει την πρωτογενή (ετερογενή) πυρηνογένεση και το σχηματισμό ενός ιξώδους μερικά κρυσταλλωμένου στρώματος που περιέχει μεγάλο αριθμό παγοκρυστάλλων δενδριτικής διαμόρφωσης. Μετά την πυρηνογένεση, το ημικρυσταλλωμένο στρώμα μεταφέρεται προς τον κύριο όγκο του μίγματος, όπου οι παγοκρυστάλλοι αυξάνουν σε μέγεθος. Τα υπολείμματα των κρυστάλλων που απομένουν στην επιφάνεια του καταψύκτη και τα περύγια αλλά και αλληλεπιδράσεις των σχηματισμένων παγοκρυστάλλων που βρίσκονται στον κύριο όγκο του μίγματος, ευνοούν τη δευτερογενή πυρηνογένεση και τον περαιτέρω σχηματισμό νέων πυρήνων (Hartel 2001; Mullin 1993).

Ανεξάρτητα από το μηχανισμό με τον οποίο γίνεται η πυρηνογένεση και ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων κατά τη συνεχή κατάψυξη του μίγματος παγωτού, η υπόψυξη αποτελεί καθοριστικής σημασίας για τον έλεγχο της διαδικασίας κατάψυξης. Οι Hartel και Donhowe (1996c), προκειμένου να ελέγξουν την ένταση της υπόψυξης και της πυρηνογένεσης κατά την κατάψυξη ενός τυπικού μίγματος παγωτού σε καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας, χρησιμοποίησαν βακτήρια που δρουν ως πυρήνες κρυστάλλωσης του νερού (*Pseudomonas syringae*). Συγκρίνοντας την κατανομή μεγέθους παγοκρυστάλλων ανάμεσα στο τυφλό και το μίγμα που περιείχε τα βακτήρια, δεν διαπίστωσαν σημαντικές διαφορές. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα βακτήρια ευνοούν την πυρηνογένεση στον κύριο όγκο του μίγματος κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός πυρηνογένεσης στη συνεχή κατάψυξη είναι εξαιρετικά υψηλός, ώστε να επιτρέπει την έντονη πυρηνογένεση ακόμη και στον κύριο όγκο του μίγματος.

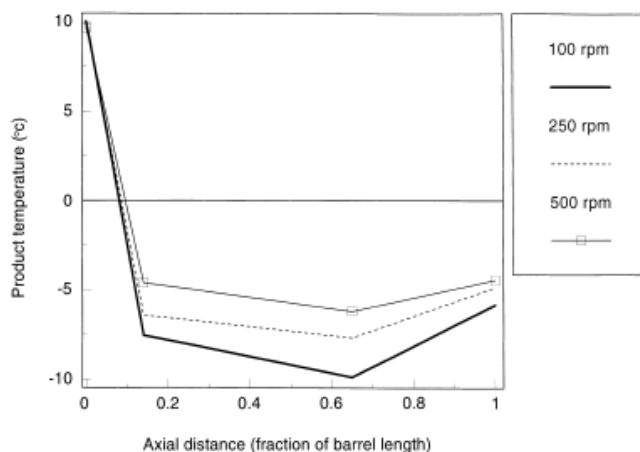
B) Η επίδραση των συνθηκών χειρισμού του καταψύκτη στην κρυστάλλωση του νερού

Η έκλυση λανθάνουσας θερμότητας κατά το σχηματισμό των παγοκρυστάλλων, αλλά και η απελευθέρωση μηχανικής ενέργειας (υπό μορφή θερμότητας) κατά τη διάρκεια της κατάψυξης επιφέρουν αύξηση της θερμοκρασίας του μίγματος, με αποτέλεσμα ένα ποσοστό των σχηματιζόμενων παγοκρυστάλλων να ελαττώνεται σε μέγεθος ή να τήκεται. Έτσι παράλληλα με την πρωτογενή και δευτερογενή πυρηνογένεση, λαμβάνει χώρα και η εξαφάνιση των παγοκρυστάλλων λόγω διάλυσης ή συσσωμάτωσής τους. Η έκταση όλων

αυτών των μηχανισμών εξαρτάται από τα τοπικά δυναμικά θερμοκρασίας και ρυθμού διάτμησης, εξαιτίας της ανισοτροπίας που χαρακτηρίζει το παγωτό (Russell et al., 1997).

Έτσι, η μελέτη της επίδρασης των συνθηκών χειρισμού του καταψύκτη, βασίζεται ουσιαστικά στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν τα φαινόμενα πυρηνογένεσης και καταστροφής των παγοκρύσταλλων:

1. Ο ρυθμός της πρωτογενούς πυρηνογένεσης εξαρτάται από το βαθμό υπόψυξης που επιτυγχάνεται στα τοιχώματα του καταψύκτη και συνεπώς από τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού.
2. Η δευτερογενής πυρηνογένεση ελέγχεται κατά κύριο λόγο από τη ροή του μίγματος στον καταψύκτη, από την ταχύτητα περιστροφής και τον αριθμό των αλληλεπιδράσεων κρυστάλλων - κρυστάλλων, κρυστάλλων - τοιχωμάτων καταψύκτη, και κρυστάλλων - πτερυγίων απόξεσης. Οι Jancic και Grootscholten (1984) έχουν πειραματικά αποδείξει τη στενή σχέση μεταξύ δευτερογενούς πυρηνογένεσης και ρυθμού ανάδευσης.
3. Οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της απόδαρσης του μίγματος, μπορεί να επιφέρουν σημαντική ελάττωση του μεγέθους των παγοκρύσταλλων.
4. Ο ρυθμός με τον οποίο ο σχηματισθέντες παγοκρύσταλλοι τήκονται εξαρτάται από την τοπική υπόψυξη. Αν ένας πυρήνας βρεθεί σε μία περιοχή με ανεπαρκή υπόψυξη, τότε ο ρυθμός τήξης υπερβαίνει το ρυθμό αύξησης μεγέθους του παγοκρυστάλλου. Ο χαμηλός βαθμός υπόψυξης αυξάνει την αστάθεια των παραγόμενων πυρήνων.
5. Η αύξηση της πυκνότητας πυρήνων μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα συσσωμάτωσής τους, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγάλων παγοκρύσταλλων.



Σχήμα 3.17: Απεικόνιση της κατανομής θερμοκρασίας στον κύριο όγκο του καταψυχόμενου μίγματος παγωτού σε καταψύκτη αποξεσόμενης επιφάνειας ως συνάρτηση του μήκους και της ταχύτητας περιστροφής της διάταξης απόδαρσης (Russell et al., 1999)

Ο σχεδιασμός της συνεχούς διεργασίας κατάψυξης γίνεται με στόχο την υψηλή υπόψυξη, την αυξημένη πυρηνογένεση, τη μείωση της αστάθειας των πυρήνων, και τον επαρκή έλεγχο της ανάπτυξης των παγοκρύσταλλων. Κατά συνέπεια, η θερμοκρασία κατά μήκος του καταψύκτη (τοπικό δυναμικό θερμοκρασίας), η διάμετρος της διάταξης απόδαρσης, ο ρυθμός εισροής μίγματος παγωτού, η ταχύτητα περιστροφής της διάταξης απόδαρσης, και ο χρόνος παραμονής του μίγματος στον καταψύκτη αποτελούν τις βασικότερες τεχνικές παραμέτρους που επηρεάζουν την κατανομή μεγέθους των παγοκρύσταλλων στο τελικό κατεψυγμένο προϊόν (Russell et al., 1999; Koxholt et al., 2000; Drewett & Hartel 2007; Sakurai et al., 1996; Inoue et al., 2008).

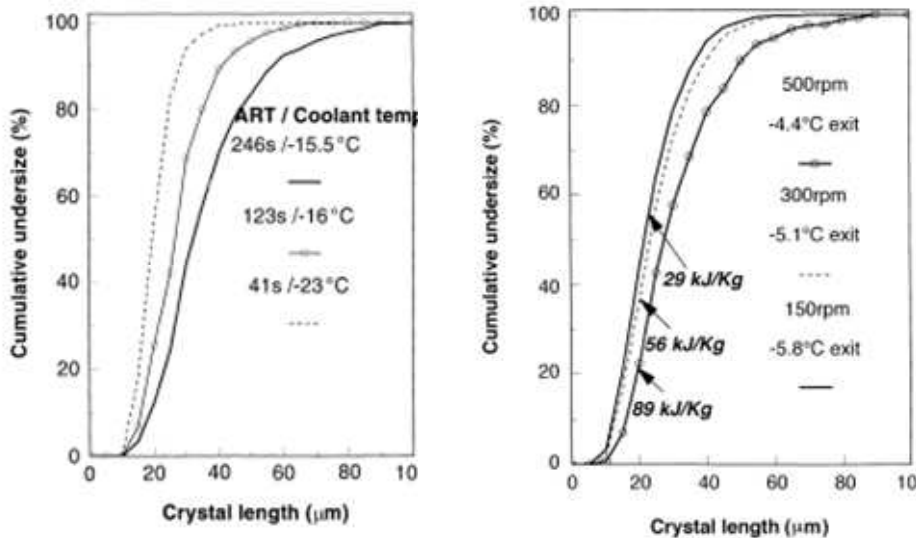
i) *Θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος του καταψύκτη.* Η ανισοτροπία του παγωτού, λόγω της σύνθετης δομής, του οδηγεί σε ανομοιόρφη ανάμιξη και σε ανομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας (και κατ' επέκταση και τοπικά μεταβάλλομενη υπόψυξη). Οι Russell et al. (1999) διαπίστωσαν ότι η απότομη μείωση της θερμοκρασίας του μίγματος παγωτού κατά την

εισοδό του στον καταψύκτη συνοδεύεται από ηπιότερη πτώση κατά τη δίοδό του από τα ενδιάμεσα τμήματα του καταψύκτη, ενώ κατά την έξοδό του η θερμοκρασία του αυξάνεται πολύ λίγο. Η ταχύτητα περιστροφής του αποδάρτη καθορίζει τις τοπικές θερμοκρασιακές αποκλίσεις κατά τη διάρκεια κατάψυξης του μίγματος παγωτού (Σχήμα 3.17). Η άνοδος της θερμοκρασίας του παγωτού κατά τα τελευταία στάδια της κατάψυξης αποδίδεται κατά κύριο λόγο σε αύξηση της εκλυόμενης θερμότητας, λόγω της μηχανικής ισχύος του αποδάρτη (η αύξηση του ιξώδους του μίγματος προκαλεί αύξηση της δαπανώμενης μηχανικής ενέργειας). Επιπλέον, η μείωση του βαθμού υπόψυξης κατά τα τελευταία στάδια της κατάψυξης μπορεί να επιφέρει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του παγωτού (Hartel 1996).

ii) *Θερμοκρασία εξόδου.* Η θερμοκρασία εξόδου (θ_2) του παγωτού είναι το τελικό αποτέλεσμα της αποκατάστασης θερμικής ισορροπίας κατά μήκος του καταψύκτη:

$$UA_s \Delta \theta_m = m(c_1 \theta_1 - c_2 \theta_2 + X_1 \lambda_f) + E_R \quad (3.13)$$

Όπου θ_1 = η θερμοκρασία εισόδου, c_1 = η θερμοχωρητικότητα του αρχικού και τελικού προϊόντος, λ_f = η λανθάνουσα θερμότητα, X_1 = το κλάσμα μάζας πάγου στο τελικό προϊόν, και E_R = η μηχανική ενέργεια που μεταφέρεται στο παγωτό κατά τη διάρκεια απόδρασης. Από την παραπάνω σχέση γίνεται αντιληπτό ότι η θερμοκρασία εξόδου καθορίζει το κλάσμα μάζας του πάγου στο παγωτό, και συνεπώς αποτελεί το αρχικό στάδιο ελέγχου της αύξησης του ποσοστού πάγου, αλλά και της ανακρυστάλλωσης στο τελικό προϊόν. Επιπλέον, η θερμοκρασία εξόδου σχετίζεται άμεσα με το ιξώδες του παγωτού και συνεπώς με την ευκολία χειρισμού του στα επόμενα στάδια παραγωγής (συσσκευασία, και μορφοποίηση) (Goff et al., 1995). Οι Sakurai et al. (1996) διαπίστωσαν ότι η ελάττωση της θερμοκρασίας εξόδου του παγωτού επιφέρει μείωση του μεγέθους των παγοκρύσταλλων, ελάττωση της αντικειμενικής σκληρότητάς του, και αύξηση της αντοχής του έναντι της τήξης. Η επίτευξη χαμηλής θερμοκρασίας εξόδου προϋποθέτει την ταχεία απαγωγή της λανθάνουσας θερμότητας (άρα και τον υψηλό βαθμό υπόψυξης), με αποτέλεσμα την έντονη πυρηνογένεση και το σχηματισμό μικρού μεγέθους παγοκρύσταλλων (Russell et al., 1999; Drewett & Hartel, 2007).



Σχήμα 3.18: Επίδραση των συνθηκών κατάψυξης στο μέσο μέγεθος των αρχικών παγοκρύσταλλων του παγωτού στην περίπτωση της συνεχούς διεργασίας κατάψυξης. Αριστερά: επίδραση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού, δεξιά: επίδραση της ταχύτητας απόδρασης και της θερμοκρασίας εξόδου από τον καταψύκτη (Russell et al., 1999)

iii) *Χρόνος παραμονής.* Ο χρόνος παραμονής του μίγματος σχετίζεται άμεσα με το ρυθμό κατάψυξης και αντιστρόφως ανάλογα με το ρυθμό εισροής του μίγματος στον καταψύκτη. Η μείωση του χρόνου παραμονής ελαττώνει το χρόνο στον οποίο πρέπει να απαχθεί η λανθάνουσα θερμότητα, αλλά και τη θερμική ενέργεια λόγω της δαπανώμενης μηχανικής

ενέργειας του αποδάρτη. Προκειμένου ο ρυθμός κατάψυξης να είναι υψηλότερος από το ρυθμό της εκλυόμενης θερμότητας, η μείωση του χρόνου παραμονής θα πρέπει να συνοδεύεται με ταυτόχρονη μείωση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού (Σχήμα 3.18). Η ελάττωση του χρόνου παραμονής του μίγματος παγωτού στον κατάψυκτη συμβάλλει στη μείωση της μέσης διαμέτρου των παγοκρύσταλλων. Η δράση αυτή αποδίδεται στο γεγονός ότι, προκειμένου το σύστημα να αποκτήσει τη σχεδιασμένη θερμοκρασία εξόδου, τα εκλυόμενα ποσά θερμότητας θα πρέπει να απαχθούν με ταχύτερο ρυθμό (και συνεπώς η υπόψυξη να είναι εντονότερη), οδηγώντας σε έντονη πυρηνογένεση και συνεπώς μικρότερο μέγεθος παγοκρύσταλλων (Russell et al., 1999; Drewett & Hartel, 2007; Koholt et al., 2000; Sakurai et al., 1996).

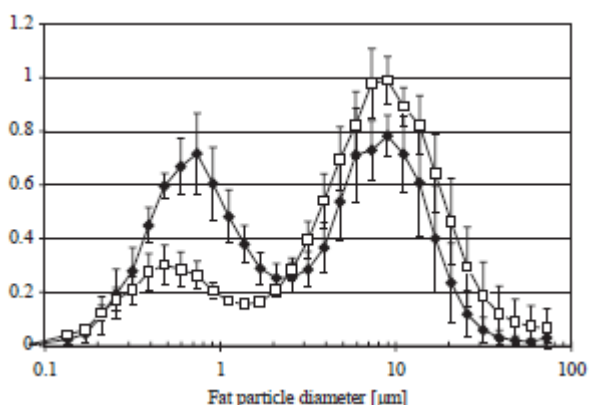
iv) Ταχύτητα περιστροφής της διάταξης απόδαρσης. Η ταχύτητα περιστροφής της διάταξης απόδαρσης επηρεάζει το πάχος του σχηματιζόμενου στρώματος κρυσταλλικού υλικού στην επιφάνεια του καταψύκτη, την έκταση της δευτερογενούς πυρηνογένεσης και την εκλυόμενη θερμότητα, λόγω της μηχανικής ισχύος του αποδάρτη. Η μηχανική ενέργεια που δαπανάται κατά την περιστροφή του αποδάρτη δίνεται από τη σχέση:

$$E_R = 2\pi N_R (\Omega - \Omega_0) \quad (3.14)$$

Όπου N = η συχνότητα περιστροφής, Ω_0 = η ροπή στρέψης, όταν ο κύλινδρος είναι κενός, και Ω = η ροπή στρέψης κατά τη λειτουργία του καταψύκτη. Επειδή το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την περιστροφή του αποδάρτη είναι πολύ υψηλό, η επίδραση της ταχύτητας περιστροφής του αποδάρτη στα φαινόμενα πυρηνογένεσης είναι πολύ μικρή. Έτσι η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής της διάταξης απόδαρσης προκαλεί σημαντική αύξηση του μεγέθους των παγοκρύσταλλων και μείωση της θερμοκρασίας εξόδου του παγωτού (Σχήμα 3.18). Η μείωση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού, καθώς αυξάνει η ταχύτητα περιστροφής της διάταξης απόδαρσης, μπορεί να περιορίσει σημαντικά την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του καταψυχόμενου προϊόντος (Drewett & Hartel, 2007; Russell et al., 1999).

γ) Η συνεχής κατάψυξη στην περίπτωση των ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος

Στην περίπτωση των ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος, η συνεχής διεργασία κατάψυξης επιδρά σημαντικά στη βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων. Οι Sheu et al. (1993) διαπίστωσαν ότι η βιωσιμότητα των οξυγαλακτικών βακτηρίων στο παγωτό ελαττώθηκε στο 40%, ενώ στην περίπτωση του ασυνεχούς καταψύκτη η βιωσιμότητα ήταν ελαφρά υψηλότερη (περίπου 50%). Η επιβαλλόμενη διάτμηση αποτελεί σημαντικό παράγοντα μείωσης της βιωσιμότητας των ευεργετικών βακτηρίων κατά τη διάρκεια της διεργασίας κατάψυξης. Ένας ακόμη βασικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, κατά το σχεδιασμό της διεργασίας κατάψυξης των ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων είναι το



Σχήμα 3.19: Επίδραση της τεχνικής κατάψυξης με εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας (LTE) στο ποσοστό αποσταθεροποιημένων λιποσφαιρίων. ● = LTE κατάψυξη □ = συμβατική συνεχής κατάψυξη (Wildmoser et al., 2004)

ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα. Στην περίπτωση του προβιοτικού παγωτού, η εφαρμογή ασυνεχούς λειτουργίας κατάψυξης είναι περισσότερο επιθυμητή, αφού το χαμηλό ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα ελαττώνει σε μικρότερο βαθμό τη βιωσιμότητα των αναερόβιων (ή μικροαερόφιλων) προβιοτικών βακτηρίων (Haynes & Playne, 2002).

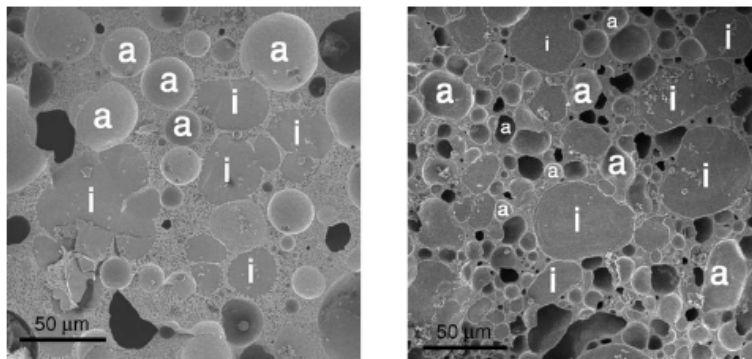
δ) Κατάψυξη με εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας

Η χρήση εκβολέα χαμηλής θερμοκρασίας (Low Temperature Extruder) είναι μία σχετικά νέα τεχνική παραγωγής παγωτού. Δεν πρόκειται για μία αυτόνομη διεργασία κατάψυξης, αλλά στην

πραγματικότητα αποτελεί ένα διαδοχικό βήμα μετά το πέρας της συνεχούς κατάψυξης (Windhab & Bolliger, 1998; Wildmoser & Windhab, 2001). Ειδικότερα, το εξερχόμενο παγωτό από τον καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας (στους -5 έως -6°C) εισάγεται στον εκβολέα και καταψύχεται περαιτέρω έως τους -15°C περίπου. Το πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι το παραγόμενο προϊόν παραμένει μορφοποιήσιμο, παρά την πολύ χαμηλή του θερμοκρασία, λόγω παρεμπόδισης της συγκόλλησης των παγοκρύσταλλων εξαιτίας της επιβαλλόμενης διάτμησης. Η εκβολή μπορεί να γίνει με χρήση απλού ή διπλού κοχλία ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Η εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας μεταβάλλει σημαντικά τα κολλοειδή και δομικά χαρακτηριστικά του παγωτού. Ειδικότερα:

1. *Ποσοστό αποσταθεροποίησης λιπαρών.* Η αυξημένη διάτμηση κατά την εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας προκαλεί τη συσσωμάτωση των πρωτογενών λιποσφαιρίων, εξαιτίας της απομάκρυνσης της μεμβράνης που επικαλύπτεται από τα επιφανειοενεργά μόρια των γαλακτωματοποιητών. Το ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαρών που επιτυγχάνεται με την LTE μπορεί να είναι έως και διπλάσιο του αντίστοιχου που επιτυγχάνεται με τη συμβατική συνεχή κατάψυξη (Σχήμα 3.19). Η επίδραση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της απαιτούμενης ποσότητας γαλακτωματοποιητή για τη σταθεροποίηση της δομής του παγωτού (Bolliger et al., 2000; Wildmoser et al., 2004; Eisner et al., 2005).

2. *Μέσο μέγεθος παγοκρύσταλλων.* Η LTE προκαλεί σημαντική μείωση του μεγέθους των παγοκρύσταλλων μέσω δύο διαφορετικών μηχανισμών. Η ταχεία μείωση της θερμοκρασίας αμέσως μετά τη συμβατική κατάψυξη επιβραδύνει σημαντικά το ρυθμό ανακρυστάλλωσης των παγοκρύσταλλων. Επιπλέον, η αύξηση του μικροϊξώδους της φάσης ορού, λόγω μείωσης της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την επιβαλλόμενη μηχανική τάση, οδηγούν σε ένα φυσικό φραγμό που ελέγχει τα φαινόμενα διάχυσης υγρασίας προς τους κρυστάλλους και παρεμποδίζουν τη σύμφυση των γειτνιαζόντων παγοκρύσταλλων (Bolliger et al. 2000a,b; Wildmoser et al., 2004).

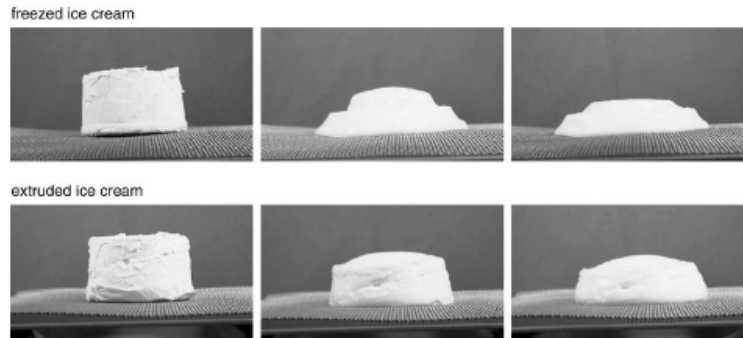


Σχήμα 3.20: Επίδραση της τεχνικής κατάψυξης με εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας στα κολλοειδή χαρακτηριστικά του παγωτού. Αριστερά: συμβατική συνεχής κατάψυξη, δεξιά: τεχνική LTE κατάψυξης (Wildmoser et al., 2004)

3. *Μέσο μέγεθος και σταθερότητα φυσαλίδων αέρα.* Η εφαρμογή LTE συμβάλλει στη σημαντική μείωση του μέσου μεγέθους των φυσαλίδων αέρα. Η ελάττωση μεγέθους ελέγχεται από την αύξηση του μικροϊξώδους της υδατικής φάσης και του ρυθμού διάτμησης κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Επιπλέον, ο συνδυασμός συμβατικής και LTE κατάψυξης ευνοεί την αντιμετώπιση της συσσωμάτωσης των φυσαλίδων αέρα (λόγω της θερμοδυναμικής τους αστάθειας όπως αυτή καθορίζεται από το δυναμικό Laplace) αμέσως μετά την έξοδο από το συμβατικό καταψύκτη και κατά την άντληση του παγωτού. Η μικροδομή του παγωτού που έχει παραχθεί με βάση την τεχνική LTE είναι σημαντικά διαφορετική από εκείνη του συμβατικά κατεψυγμένου παγωτού (Σχήμα 3.20). Οι φυσαλίδες αέρα δεν χαρακτηρίζονται από σφαιρικό σχήμα, αλλά σχηματίζουν εσωτερικά κανάλια, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται σημαντικά ο

ρυθμός αποσταθεροποίησής τους και κατ' επέκταση η ευπάθεια του παγωτού έναντι της συρρίκνωσης, παρά το μικρό μέγεθός τους (Eisner et al., 2005; Wildmoser et al., 2004).

4. *Διαχωρισμός φάσεων κατά την τήξη του παγωτού.* Η χρήση καταψύκτη LTE περιορίζει σημαντικά το διαχωρισμό ορού (συναίρεση) κατά την τήξη του παγωτού. Το μικρό μέγεθος των φυσαλίδων αέρα και η αυξημένη σταθερότητά τους, όπως επίσης και το υψηλό ιξώδες του ορού, εξαιτίας της υψηλής του συγκέντρωσης σε μη αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια, είναι τα βασικά αίτια της μειωμένης τάσης αποβολής ορού (Wildmoser et al., 2005).



Σχήμα 3.21: Επίδραση της τεχνικής κατάψυξης με εκβολή χαμηλής θερμοκρασίας στη σταθερότητα του παγωτού έναντι της τήξης και τη διατήρηση του σχήματος. Πάνω: συμβατική τεχνική κατάψυξης, κάτω: τεχνική LTE κατάψυξης (Eisner et al., 2005)

5. *Αύξηση της αντοχής του παγωτού σε τήξη.* Η αυξημένη αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων κατά την LTE κατάψυξη του παγωτού αυξάνει την αντοχή του παγωτού έναντι της τήξης (Σχήμα 3.21). Ακόμη, η πολυπλοκότητα της δομής του LTE παγωτού και το υψηλό μικροϊξώδες της υδατικής φάσης περιορίζουν τη διείσδυση θερμότητας και τη διάχυση υγρασίας διαμέσου των τριχοειδών καναλιών της μικροδομής του παγωτού (Bolliger et al., 2000a; Eisner et al., 2005).

6. *Βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.* Η μεταβολή των δομικών χαρακτηριστικών του παγωτού που παράγεται με την LTE τεχνική βελτιώνει την κρεμώδη υφή του παγωτού, την ευχέρεια μορφοποίησης, τη συνεκτικότητα και την αφρώδη υφή κ.α (Wildmoser et al., 2004).

3.3.3.2 Ο καταψύκτης ασυνεχούς λειτουργίας

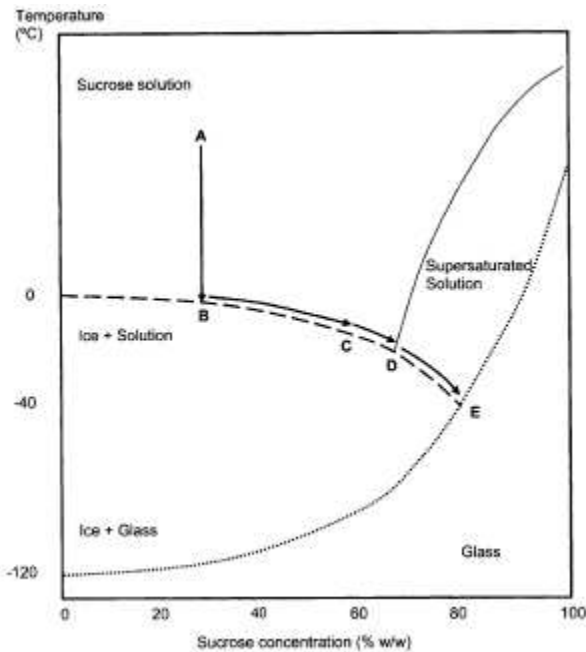
Κατά την ασυνεχή κατάψυξη, το μίγμα παγωτού βρίσκεται μάλλον σε μία στατική κατάσταση, δηλαδή δεν παρατηρείται η δυναμική μεταφορά θερμότητας και μάζας του καταψύκτη αποξεόμενης επιφάνειας. Αυτό οφείλεται στο μικρότερο λόγο επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας ανά όγκο παγωτού, στο μικρότερο ρυθμό διάτμησης και το είδος του χρησιμοποιημένου ψυκτικού υγρού. Η κρυστάλλωση του νερού λαμβάνει χώρα στα τοιχώματα του καταψύκτη και όπως στην περίπτωση του συνεχούς καταψύκτη, το κρυσταλλωμένο στρώμα παγωτού απομακρύνεται και διασπείρεται στον κύριο όγκο του παγωτού. Λόγω του μικρότερου βαθμού υπόψυξης, η πυρηνογένεση στην περίπτωση της ασυνεχούς κατάψυξης είναι ηπιότερη, ενώ απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας εξόδου και συνεκτικότητας του τελικού προϊόντος. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων μεγαλύτερου μεγέθους από τους αντίστοιχους που σχηματίζονται κατά τη συνεχή κατάψυξη. Ενδεικτικά, ο χρόνος παραμονής στον ασυνεχή καταψύκτη είναι 15 - 30min, ενώ στην αντίστοιχη συνεχή διεργασία ο χρόνος παραμονής δεν υπερβαίνει τα 2-3min.

Άλλη μία σημαντική διαφορά του καταψύκτη ασυνεχούς λειτουργίας αφορά στην ενσωμάτωση αέρα. Η διεργασία απόδρασης γίνεται σε ατμοσφαιρική πίεση, με αποτέλεσμα το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα να είναι μικρότερο, ενώ το μέγεθος των σχηματιζόμενων φυσαλίδων αέρα σημαντικά μεγαλύτερο. Επιπλέον, το ποσοστό αποσταθεροποίησης των λιπαρών είναι μικρότερο λόγω του χαμηλότερου ρυθμού διάτμησης.

3.4 ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΑΓΩΤΟΥ

3.4.1 Η ισορροπία φάσεων

Η κατάψυξη υδατικών συστημάτων, όπως είναι το παγωτό αποτελεί μία δυναμική διεργασία στην οποία το σύστημα βρίσκεται σε μια κατάσταση, στην οποία συνυπάρχουν η στερεή (σχηματιζόμενος πάγος) και υγρή (μη κρυσταλλωμένο νερό της φάσης ορού) φάση. Από τη στιγμή που η υπέρψυξη και η πυρηνογένεση ολοκληρωθούν, οπότε ο σχηματισμός και η αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων επέρχονται αυθόρμητα με περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας, το διφασικό σύστημα πάγου - νερού ακολουθεί μία θερμοδυναμική πορεία η οποία περιγράφεται από τα διάγραμμα φάσεων (Σχήμα 3.22).



Σχήμα 3.22: Διάγραμμα φάσεων υγρού - στερεού στην περίπτωση πρότυπου υδατικού διαλύματος σακχαρόζης (Goff & Hartel 2006)

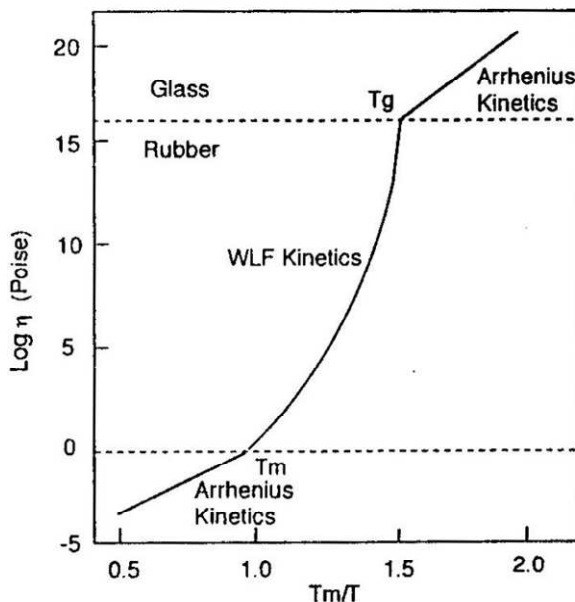
Τα διαγράμματα φάσεων απεικονίζουν τις διαχωριστικές γραμμές μεταξύ των διαφόρων φάσεων στις οποίες μπορεί να βρίσκεται το σύστημα ανάλογα με τη θερμοκρασία και την περιεκτικότητά του σε νερό. Σύμφωνα με διάγραμμα φάσεων του σχήματος 3.22, η κατάψυξη του μίγματος συνοδεύεται με απαγωγή της λανθάνουσας θερμότητας, υπέρψυξης και πυρηνογένεσης (γραμμή A-B) ενώ για θερμοκρασίες κατάψυξης χαμηλότερες από το σημείο πήξης παρατηρείται συμπύκνωση λόγω κατάψυξης του υδατικού συστήματος με ταυτόχρονη αύξηση του ολικού ποσοστού σχηματισμένου πάγου (γραμμή B-C). Περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας (γραμμή C-D) οδηγεί στη μεγιστοποίηση της συγκέντρωσης της φάσης ορού ως αποτέλεσμα της συμπύκνωσης, λόγω κατάψυξης. Αν η θερμοκρασία του συστήματος παγωτού ελαττωθεί κάτω από το σημείο D, τότε ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μεταβάλλεται σημαντικά καθώς παρατηρούνται αλλαγές στη θερμική αγωγιμότητα, τη θερμική διαχυτότητα, και τη θερμοχωρητικότητα (δεδομένου ότι οι συγκεκριμένες θερμικές ιδιότητες είναι σημαντικά διαφορετικές στον πάγο και το καθαρό νερό). Η κρυστάλλωση του νερού συνεχίζεται έως και το σημείο E όπου πραγματοποιείται η μετάβαση του συστήματος παγωτού από την κρυσταλλική στην άμορφη - υαλώδη κατάσταση (Sahagian & Goff, 1996; Hartel, 2001; Goff & Hartel, 2006).

3.4.2 Η μετάβαση στην υαλώδη κατάσταση

Η μείωση της θερμοκρασίας του συστήματος παγωτού σε τιμές χαμηλότερες από εκείνες στις οποίες παρατηρείται η μέγιστη συμπύκνωση της υδατικής φάσης, λόγω

κρυστάλλωσης του πάγου (ευτηκτική θερμοκρασία), αναγκάζει το σύστημα να υπεισέλθει σε μία διαδικασία σχηματισμού πάγου, η οποία δεν ακολουθεί τη γραμμή ισορροπίας. Οι έντονες μεταβολές στις θερμικές ιδιότητες του συστήματος, σε συνδυασμό με τη συνεχιζόμενη μείωση της θερμοκρασίας, οδηγούν τελικά στη μετάβαση από την κρυσταλλική στην υαλώδη κατάσταση, η οποία εκδηλώνεται με ραγδαία αύξηση του ιξώδους και χαρακτηρίζεται από τη μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού και του ρυθμού διάχυσης (Sahagian & Goff, 1996; Kasapis, 2006; Roos, 2007).

Ως ύαλος ορίζεται ένα υπόψυκτο υγρό εξαιρετικά υψηλού ιξώδους ($\eta > 10^{10} - 10^{14}$ Pa·s), το οποίο βρίσκεται σε μία μετασταθή, στερεή κατάσταση. Μία ύαλος σχηματίζεται, όταν ένα υγρό με ακανόνιστη μοριακή δομή ψύχεται σε θερμοκρασία κατά 100°C (για τα περισσότερα καθαρά υγρά) κάτω από τη θερμοκρασία τήξης (ή το σημείο πήξης) με υψηλό ρυθμό, ώστε να αποφεύγεται η κρυστάλλωση του υγρού (Slade & Levine, 1992; Ferry, 1980). Η διαδικασία είναι γνωστή ως υαλοποίηση (vitrification) και οδηγεί στην ακινητοποίηση της μοριακής δομής της υγρής κατάστασης κατά τρόπο τέτοιο, ώστε να διατηρείται η ομοιογένεια της υάλου. Κατά συνέπεια η μετάβαση στην υαλώδη κατάσταση είναι ένα φαινόμενο που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το χρόνο και τη σύσταση του συστήματος (Slade & Levine, 1992; Kasapis, 2006).



Σχήμα 3.23: Μεταβολές στο ιξώδες του παγωτού ως συνάρτηση της μείωσης της θερμοκρασίας. Στο διάγραμμα απεικονίζονται οι θερμοκρασιακές περιοχές στις οποίες η μεταβολή του ιξώδους ελέγχεται από κινητική Arrhenius (ευνοούμενη μοριακή κινητικότητα) και Williams Landel Ferry - WLF (ραγδαία μείωση της μοριακής κινητικότητας) (Sahagian & Goff 1996)

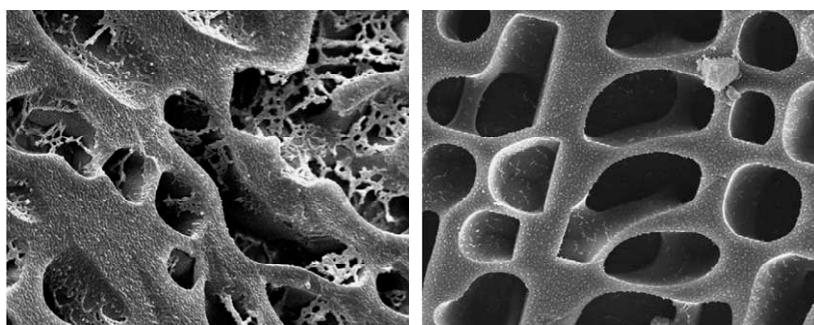
Από θερμοδυναμικής πλευράς η μετάβαση στην υαλώδη κατάσταση είναι ένα φαινόμενο δεύτερης τάξης (σε αντίθεση με την τήξη του κρυσταλλωμένου νερού, το οποίο είναι φαινόμενο πρώτης τάξης), και εκδηλώνεται με: α) αλλαγή στο ρυθμό αύξησης του όγκου με τη θερμοκρασία, β) ασυνέχεια στη μεταβολή της τιμής του θερμικού συντελεστή διαστολής α , και γ) ασυνέχεια στη μεταβολή της θερμοχωρητικότητας ΔC_p (Slade & Levine, 1992; Sahagian & Goff, 1996; Kasapis, 2006). Επιπλέον, η μετάπτωση στην υαλώδη κατάσταση συνοδεύεται με μεταβολή των κινητικά ελεγχόμενων μηχανικών παραμέτρων, όπως είναι το ιξώδες και οι παράγοντες αποθήκευσης και απώλειας G' , G'' αντίστοιχα. Ενώ η μετάπτωση στην υαλώδη κατάσταση εκδηλώνεται με την μορφή ασυνεχειών για τα μεγέθη α και ΔC_p , το ιξώδες μεταβάλλεται μη γραμμικά σε σχέση με τη θερμοκρασία (Σχήμα 3.23). Για τιμές θερμοκρασίας υψηλότερες του T_m το ιξώδες μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με τη θερμοκρασία, ακολουθώντας κινητική Arrhenius. Η μείωση της θερμοκρασίας μεταξύ των

ορίων T_m και T_g συνόδευεται από ραγδαία αύξηση του ιξώδους η οποία περιγράφεται από την κινητική Williams - Landel - Ferry (WLF) σύμφωνα με τη σχέση (Kasapis 2006):

$$\ln a_T = \frac{C_1(T - T_g)}{C_2 + (T - T_g)} \quad (3.15)$$

όπου $a_T = \eta_T/\eta_{T_g}$ ο λόγος των τιμών ιξώδους στις θερμοκρασίες T και T_g . Στη θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης, η κινητικότητα των μορίων του υλικού περιορίζεται έντονα λόγω αύξησης του ιξώδους και του χρόνου χαλάρωσης. Περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μεταβολή του ιξώδους που ελέγχεται από την κινητική Arrhenius. Ωστόσο οι ρυθμοί των φαινομένων που ελέγχονται από διάχυση είναι κατά 14 τάξεις υψηλότεροι από τους αντίστοιχους που παρατηρούνται σε θερμοκρασίες $T < T_m$ (Sahagian & Goff 1996; Hagiwara et al., 2005; Roos 2007; Kasapis 2006).

Ενώ η θεωρία της μεταβολής του ελεύθερου όγκου και της μοριακής κινητικότητας περιγράφει πολύ καλά τις αλλαγές των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών που μεταπίπτουν στην υαλώδη κατάσταση, δεν μπορεί επαρκώς να δικαιολογήσει τις διαφορές που παρατηρούνται, όταν διαφορετικά πρωτόκολλα θερμοκρασίας - ρυθμού θέρμανσης εφαρμοστούν. Οι μεταβολές αυτές αποδίδονται γενικά στη δημιουργία οπών στο εσωτερικό της υαλώδους δομής. Οι μεταβολές της θερμοχωρητικότητας συνδέονται με τον αριθμό και το μέγεθος αυτών των οπών (Roos 2007). Οι Goff et al., (2003), μελέτησαν την επίδραση διαφορετικών πρωτοκόλλων θέρμανσης με εφαρμογή της τεχνικής MT-DSC στις μεταβολές της θερμοχωρητικότητας πρότυπων διαλυμάτων σακχαρόζης με ταυτόχρονη απεικόνιση της μικροδομής τους. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι ο αριθμός των σαρώσεων κατά τη διάρκεια της διεργασίας θέρμανσης - ψύξης επηρεάζει σημαντικά τον αριθμό και το μέγεθος των οπών (Σχήμα 3.24) και κατά συνέπεια τη μοριακή κινητικότητα του νερού στη διαμορφωμένη υαλώδη δομή. Το μοριακό βάρος αλλά και ο ρυθμός σάρωσης επιδρούν επίσης σημαντικά στο μέγεθος και τον αριθμό των οπών.



Σχήμα 3.24: Επίδραση των συνθηκών του πρωτόκολλου θέρμανσης στον αριθμό και το μέγεθος των οπών στο εσωτερικό της υαλώδους δομής σε πρότυπα διάλυμα σακχαρόζης 40% w/w (Goff et al., 2003)

3.4.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την υαλώδη μετάπτωση

Ο σχηματισμός μίας υαλώδους υπερσυμπυκνωμένης δομής απαιτεί την απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων υγρασίας (πλαστικοποιητή) είτε μέσω της αφυδάτωσης ή μέσω της συμπύκνωσης λόγω κατάψυξης (στα κατεψυγμένα προϊόντα). Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης τα συστατικά που συμμετέχουν στο σχηματισμό του υαλώδους υλικού (π.χ. μονοσακχαρίτες, δισακχαρίτες ή βιοπολυμερή) θα πρέπει να σχηματίζουν με ευκολία ευτηκτικά μίγματα, ώστε να μπορούν με περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας να υαλοποιούνται. Η κατάψυξη ακολουθεί την ισορροπία φάσεων έως και τη θερμοκρασία του ευτηκτικού σημείου. Από εκεί και κάτω η μείωση της διαφοράς $T - T_g$ συνοδεύεται με ταυτόχρονη αύξηση του ιξώδους. Όταν η κρίσιμη συγκέντρωση του κρυσταλλωμένου νερού ξεπεράσει το 80% (σε γενικές γραμμές), τότε η ρεολογία του συστήματος μεταβάλλεται απότομα, με αποτέλεσμα τη μετάβαση από την

ιξωδοελαστική - ελαστική (rubbery) στην άμορφη - υαλώδη κατάσταση. Πρακτικά το υπόλοιπο ποσοστό της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας παγιδεύεται στο εσωτερικό της υάλου. Το νερό αυτό δεν είναι δεσμευμένο αλλά μη διαθέσιμο για τις φυσικοχημικές ή ενζυμικές δράσεις που θα μπορούσαν να λάβουν χώρα υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες (Sahagian & Goff, 1996).

Το μοριακό βάρος των συστατικών που συμμετέχουν στο σχηματισμό της υάλου είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες που ελέγχουν τη θερμοκρασία T_g . Θεωρώντας μία ομάδα ομόλογων συστατικών, η θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης αυξάνει καθώς αυξάνει το μέσο μοριακό βάρος (M_w) και ο μέσος αριθμός ατόμων (M_n) λόγω της μείωσης του ελεύθερου όγκου (παράγοντας που συνδέεται με τη μοριακή κινητικότητα) και τελικά σταθεροποιείται σε μία σταθερή τιμή ($M_n = 1.25 \times 10^3 - 10^5$). Η μείωση του ισοδύναμου δεξτρόζης, η αύξηση του βαθμού πολυμερισμού DP, και διακλάδωσης αποτελούν επίσης παράγοντες που επιφέρουν αύξηση της τιμής του T_g . Γενικά, η αύξηση του T_g σε σχέση με το βαθμό πολυμερισμού ενός συστατικού λαμβάνει χώρα σε τρία στάδια: ραγδαία αύξηση για $DP < 10$, ενδιάμεση αύξηση για $10 < DP < 1000$ και σταθεροποίηση για $DP > 1000$. Παρόμοια εξάρτηση έχει παρατηρηθεί και στην περίπτωση των συστατικών που προέρχονται από την υδρόλυση του αμύλου: ραγδαία αύξηση ($T_g > -8^\circ C$) για $DE < 6$, ενδιάμεση αύξηση για $6 < DE < 20$ και ήπια μεταβολή για $DE > 20$ (Roos, 2006; Slade & Levine, 1992; Slade & Levine, 1991; Karel & Roos, 1991; Hagiwara & Hartel, 1996; Sahagian & Goff, 1996). Στην περίπτωση των ολιγοσακχαριτών, δισακχαριτών και μονοσακχαριτών η εξάρτηση του T_g από το μοριακό τους βάρος είναι ακόμη πιο έντονη, με τους υδατάνθρακες με ενδιάμεσο βαθμό πολυμερισμού να εμφανίζουν μια γραμμική εξάρτηση του T_g με το M_w ενώ στην περίπτωση των πολυολών η εξάρτηση αυτή να αποκλίνει σημαντικά από τη γραμμικότητα. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι ακόμα και συστατικά της ίδιας τάξης μοριακού βάρους π.χ. σακχαρόζη, μαλτόζη και τρεχαλόζη ενώ δεν εμφανίζουν διαφορές ως προς το «ξηρής βάσης» T_g , οι αποκλίσεις στις τιμές του «υγρής βάσης» T_g είναι ιδιαίτερα σημαντικές (Green & Angell, 1989; Slade & Levine, 1991).

Η παρουσία και η ποσότητα των συστατικών που δρουν ως πλαστικοποιητές είναι καθοριστικής σημασίας για την τιμή του T_g . Το νερό είναι ο πιο κοινός πλαστικοποιητής στα συστήματα τροφίμων. Το νερό δρά ως μέσο ενίσχυσης της μοριακής κινητικότητας λόγω του μικρού μοριακού του βάρους, και της ικανότητάς του να αυξάνει τον ελεύθερο όγκο και να ελαττώνει το ιξώδες (Slade & Levine, 1992; Ferry, 1980). Η αύξηση της υγρασίας κατά την προσθήκη του νερού είναι ισοδύναμη με την αύξηση της κινητικότητας τμημάτων των πολυμερών που βρίσκονται σε υαλώδη δομή η οποία επιτρέπει τη δομική χαλάρωση σε ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η ταπείνωση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης μπορεί να αγγίξει ακόμη και τους $10^\circ C$ ανά %w/w (Slade & Levine, 1992).

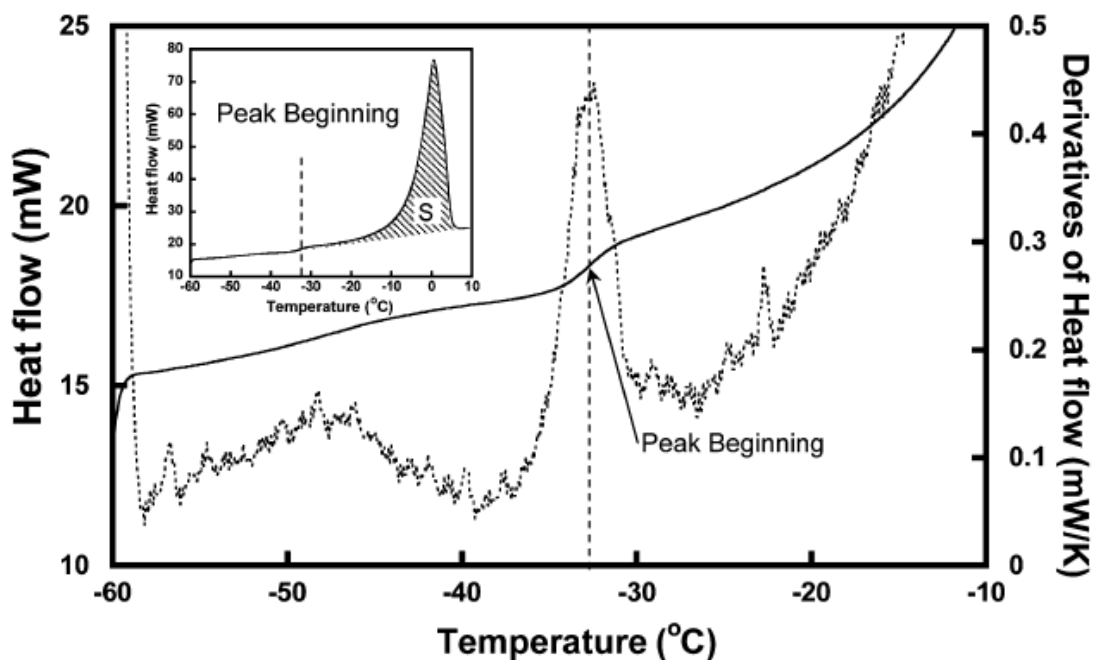
Η εξάρτηση των κατεψυγμένων συστημάτων τροφίμων από το θερμικό τους ιστορικό (ρυθμός κατάψυξης - θέρμανσης, αριθμός σαρώσεων, εφαρμογή ανόπτωσης) εκδηλώνεται έντονα κατά τη μετάπτωση στην υαλώδη κατάσταση. Η εφαρμογή ενός βήματος ανόπτωσης είναι σχεδόν απαραίτητη για τον ευχερή προσδιορισμό του T_g , ενώ η θερμοκρασία και ο χρόνος ανόπτωσης θα πρέπει να επιλέγονται κατάλληλα. Είναι χαρακτηριστικό ότι η εφαρμογή ανόπτωσης εντός της θερμοκρασιακής περιοχής που βρίσκεται το σημείο υαλώδους μετάπτωσης ενός συστήματος δεν συμβάλλει στο σχηματισμό της μέγιστης ποσότητας πάγου, και για το λόγο αυτό συνήθως επιλέγεται η ανόπτωση των συστημάτων σε μία θερμοκρασία $T_g + 10^\circ C$ (Roos, 1995; Sahagian & Goff, 1996). Ο χρόνος ανόπτωσης επίσης είναι βασική παράμετρος που επηρεάζει το T_g , δεδομένου ότι σχετίζεται άμεσα με την επάρκεια σχηματισμού της μέγιστης ποσότητας πάγου. Οι Ablett et al., (1992) ανέφεραν ότι για το σχηματισμό της μέγιστης ποσότητας πάγου σε πρότυπο διάλυμα σακχαρόζης 40%w/w χρειάστηκε η ανόπτσή του για διάστημα 16h. Σε γενικές γραμμές ο χρόνος ανόπτωσης κυμαίνεται από 20min - 2h.

3.4.2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της υαλώδους μετάπτωσης

α) *Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC)*: Η μέθοδος DSC είναι η πιο κοινή μέθοδος για τον προσδιορισμό των φαινομένων αλλαγής φάσεων, συμπεριλαμβάνοντας και τη μετάπτωση στην υαλώδη κατάσταση. Τα φαινόμενα πρώτης τάξης (κρυστάλλωση και τήξη πάγου) εκδηλώνονται με την εμφάνιση εξώθερμων ή ενδόθερμων καμπυλών αντίστοιχα (Σχήμα 3.25). Η μετάπτωση στην υαλώδη μετάπτωση ως φαινόμενο δεύτερης τάξης εκδηλώνεται με ένα βήμα ανόδου της θερμοχωρητικότητας C_p . Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης μπορεί να προσδιοριστεί είτε από τη θερμοκρασία του σημείου έναρξης ή συνηθέστερα από τη θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο σημείο καμπής (midpoint). Σε πολλές περιπτώσεις ενδόθερμες ή εξώθερμες χαλαρώσεις της ενθαλπίας μπορεί να εμφανίζονται στην περιοχή της υαλώδους μετάπτωσης. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να εξαλειφθούν με την εφαρμογή ενός ενδιάμεσου σταδίου σάρωσης του δείγματος (Roos, 2002; Roos, 2007; Kasapis, 2006).

β) *Συντονισμένη διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (MDSC)*: Η μέθοδος DSC, αν και είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη, παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς. Σε καθαρά συστήματα θερμικές μεταβάσεις, όπως η τήξη και η ανακρυστάλλωση, μπορεί να αλληλεπικαλύπτονται, ενώ σε σύνθετα συστήματα οι μεταπτώσεις των επιμέρους συστατικών μπορεί επίσης να αλληλεπικαλύπτονται. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος MDSC, η οποία βασίζεται στην ίδια με τη DSC, αλλά διαφέρει στο γεγονός ότι το πρωτόκολλο θέρμανσης προκύπτει από τη σύνθεση ενός ημιτονοειδώς και ενός γραμμικώς μεταβαλλόμενου πρωτόκολλου θέρμανσης (Kasapis, 2006).

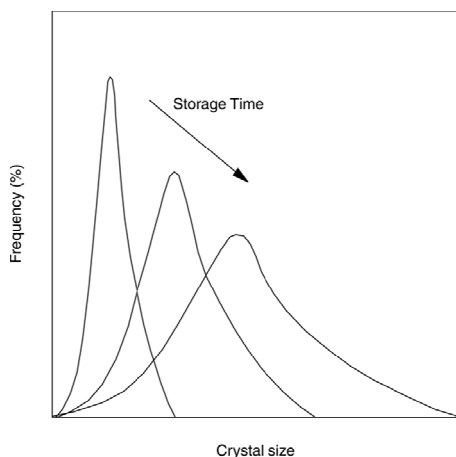
γ) *Ρεολογικές μετρήσεις*: Ο προσδιορισμός του ιξώδους αποτελεί τον πιο εύκολο τρόπο προσδιορισμού του σημείου υαλώδους μετάπτωσης, λόγω της άμεσης συσχέτισής του με το T_g . Ωστόσο η συμπεριφορά του συστήματος, κατά την υαλώδη μετάπτωση (π.χ. αυξημένη ευθραυστότητα, πολύ υψηλές τιμές ιξώδους) μπορεί να θέτει σημαντικούς περιορισμούς στον προσδιορισμό του ιξώδους με συμβατικές ρεολογικές μεθόδους (π.χ. ομόκεντρων κυλίνδρων). Εναλλακτικά, η μέθοδος της δυναμικής μηχανικής ανάλυσης μπορεί να εφαρμοστεί, η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς των συστημάτων, δεδομένα τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν στην εξίσωση WLF.



Σχήμα 3.25: Τυπική καμπύλη τήξης που λαμβάνεται κατά την εφαρμογή της μεθόδου διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC). Η παραγωγή της καμπύλης τήξης οδηγεί σε δύο κύριες κορυφές: η μεγάλη κορυφή αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του σημείου έναρξης της τήξης (T_m) και η μικρότερη στη θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης T_g (Herrera et al., 2007)

δ) *Διηλεκτρική ανάλυση*: Η διηλεκτρική ανάλυση βασίζεται στην τοποθέτηση του δείγματος, μεταξύ δύο παράλληλων πλακοειδών πυκνωτών, και αφού διοχετευθεί εναλλασσόμενο ρεύμα καθορισμένης συχνότητας, προσδιορίζονται η σταθερά διηλεκτρικής διαπερατότητας και ο παράγοντας διηλεκτρικής απώλειας. Η μέθοδος παρουσιάζει μία αναλογία με τη δυναμική μηχανική ανάλυση και ο συντελεστής $\tan\delta$ μπορεί να προσδιοριστεί από τις μετρήσεις.

3.4.3 Το φαινόμενο της ανακρυστάλλωσης



Σχήμα 3.26: Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στην κατανομή μεγέθους των παγοκρυστάλλων (Hartel 2001)

Ακόμη και όταν η ισορροπία φάσεων στερεού - υγρού επέλθει στο κατεψυγμένο σύστημα, η κρυσταλλική του δομή συνεχίζει να μεταβάλλεται. Οι παγοκρυστάλλοι μπορεί να μεταβάλλονται ως προς τον αριθμό, το μέγεθος, το σχήμα, και τον προσανατολισμό τους καθώς το σύστημα μεταβαίνει προς μία πιο επιθυμητή θερμοδυναμικά κατάσταση (ελαχιστοποίηση της ελεύθερης επιφανειακής ενέργειας και της εσωτερικής ενέργειας). Το φαινόμενο της μεταβολής της θερμοδυναμικής κατάστασης των παγοκρυστάλλων χαρακτηρίζεται ως ανακρυστάλλωση και επέρχεται κατά κύριο λόγο στα στάδια της σκλήρυνσης, της αποθήκευσης και διανομής του παγωτού. Η ανακρυστάλλωση γίνεται αντιληπτή με αύξηση της μέσης διαμέτρου των παγοκρυστάλλων και επέκταση της καμπύλης κατανομής μεγέθους (Σχήμα 3.26). Η αύξηση του μεγέθους των παγοκρυστάλλων συνοδεύεται από μείωση του αριθμού των παγοκρυστάλλων, ώστε ο ολικός ειδικός όγκος τους να παραμείνει σταθερός (ευνοείται η μείωση της επιφανειακής ελεύθερης ενέργειας). Η σπουδαιότητα της μελέτης και ελέγχου του φαινομένου της ανακρυστάλλωσης οφείλεται στο γεγονός ότι η ανακρυστάλλωση επέρχεται με υποβάθμιση της υφής του προϊόντος και κατά συνέπεια του χρόνου ζωής του. Ο έλεγχος της κρυστάλλωσης του νερού, οι συνθήκες στα στάδια επεξεργασίας, και η σύσταση του παγωτού αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες για τον περιορισμό της ανακρυστάλλωσης. Τυπικά, η ανακρυστάλλωση επέρχεται, όταν το προϊόν αποθηκεύεται σε συνθήκες όπου η κινητικότητα των μορίων του νερού της φάσης ορού είναι σχετικά υψηλή. Έτσι η αποθήκευση και διανομή του παγωτού σε θερμοκρασίες κοντά στο σημείο πήξης του επιφέρουν σημαντική αύξηση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης. Επιπλέον, οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας στους χώρους αποθήκευσης επηρεάζουν καθοριστικά το ρυθμό ανακρυστάλλωσης του παγωτού (Hartel 2001; Goff & Hartel 2006; Adapa et al., 2000).

3.4.3.1 Οι μηχανισμοί της ανακρυστάλλωσης

Γενικά, έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί που περιγράφουν την ανακρυστάλλωση. Οι μηχανισμοί της ανακρυστάλλωσης διακρίνονται με βάση τη μεταβολή του ειδικού όγκου των παγοκρυστάλλων και την καθαρή μεταβολή του όγκου της κρυσταλλικής φάσης. Οι μηχανισμοί οι οποίοι βασίζονται στις μεταβολές του όγκου της κρυσταλλικής φάσης διακρίνονται σε *στατικούς*, όταν η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, και *δυναμικούς*, όταν το δυναμικό της θερμοκρασίας μεταβάλλεται.

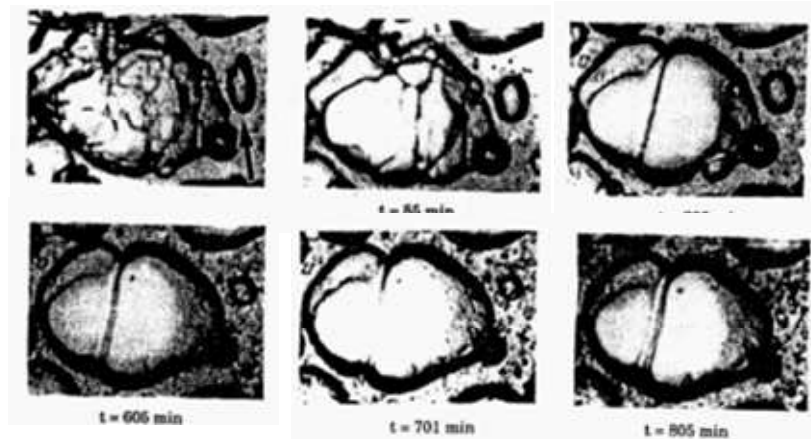
3.4.3.1.1 Ostwald ωρίμανση

Ο μεγάλος αριθμός των παγοκρυστάλλων στα κατεψυγμένα επιδόρπια γάλακτος επιφέρει σημαντική αύξηση της ειδικής επιφάνειας με αποτέλεσμα το σύστημα να είναι θερμοδυναμικά ασταθές. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του παγωτού οι παγοκρυστάλλοι υπόκεινται σε τέτοιες μεταβολές, ώστε να ελαττώνεται η ελεύθερη επιφανειακή ενέργεια. Η θερμοδυναμική διαφορά στην ελεύθερη ενέργεια μεταξύ των μικρών και μεγάλων παγοκρυστάλλων οδηγεί στη σταδιακή εξαφάνιση των μικρών και αύξηση του

μεγέθους των μεγαλύτερων παγοκρυστάλλων. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως ωρίμανση Ostwald. Η διαφορά στη θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ των διαφορετικού μεγέθους παγοκρυστάλλων προσδιορίζεται από την εξίσωση Gibbs - Thomson (Hartel, 2001):

$$\Delta T = T_0 - T(r) = \frac{2\sigma v T_0}{r \Delta H_f} \quad (3.16)$$

Όπου: T_0 η θερμοκρασία ενός παγοκρυστάλλου άπειρης ακτίνας, $T(r)$ η θερμοκρασία ενός παγοκρυστάλλου ακτίνας r , ΔH_f η ενθαλπία τήξης των παγοκρυστάλλων, v ο μοριακός όγκος και σ η επιφανειακή τάση μεταξύ του διαλύματος και του παγοκρυστάλλου



Σχήμα 3.27: Αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων σε δείγμα παγωτού με βάση το μηχανισμό της ωρίμανσης Ostwald (Hartel 2001)

Σύμφωνα με την εξίσωση 3.16, η ανακρυστάλλωση λαμβάνει χώρα, όταν οι μικροί παγοκρυστάλλοι βρίσκονται σε μη κορεσμένη κατάσταση, ενώ οι μεγάλοι παγοκρυστάλλοι βρίσκονται σε υπέρκορη κατάσταση. Έτσι, οι μικροί κρυστάλλοι τήκονται και οι μεγάλοι κρυστάλλοι αυξάνουν σε μέγεθος (Σχήμα 3.27). Στην πραγματικότητα η έκταση του φαινομένου της ωρίμανσης Ostwald είναι γενικά περιορισμένη, λόγω της μικρής διαφοράς της θερμοδυναμικής ισορροπίας σύμφωνα με τη σχέση Gibbs-Thomson, και γενικά λαμβάνει χώρα σε μικρού μεγέθους παγοκρυστάλλους 1 - 5 μm . Σε πρότυπα συστήματα σακχαρώζης - νερού στους -5°C (Σχήμα 3.28), η θερμοδυναμική ισορροπία επέρχεται όσο αυξάνει ο βαθμός καμπυλότητας των παγοκρυστάλλων (αυξάνει το r). Η θερμοκρασία ισορροπίας (ΔT) παγοκρυστάλλων $1\mu\text{m}$ είναι 0.05°C , ενώ για κρυστάλλους ακτίνας $10\mu\text{m}$ είναι μόλις 0.005°C , γεγονός που υποδεικνύει ότι η ωρίμανση Ostwald δεν είναι ο κύριος μηχανισμός ανακρυστάλλωσης στο παγωτό. Οι Donhowe και Hartel, σε μία εκτεταμένη σειρά πειραμάτων μελέτης της ανακρυστάλλωσης σε πρότυπα συστήματα παγωτού υπό συνθήκες επιταχυνόμενης ανακρυστάλλωσης, ανέφεραν ότι η ωρίμανση Ostwald συμμετέχει ελάχιστα στην παρατηρούμενη αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων. Παρόλα αυτά, η μακρόχρονη αποθήκευση ενός κατεψυγμένου προϊόντος σε συνθήκες με χαμηλό θερμοκρασιακό δυναμικό ισορροπίας, μπορεί να οδηγήσει σε σταδιακή αύξηση του μεγέθους των παγοκρυστάλλων μέσω μηχανισμού ωρίμανσης Ostwald (Hartel, 2001; Donhowe & Hartel, 1996; Hartel & Goff, 2006).

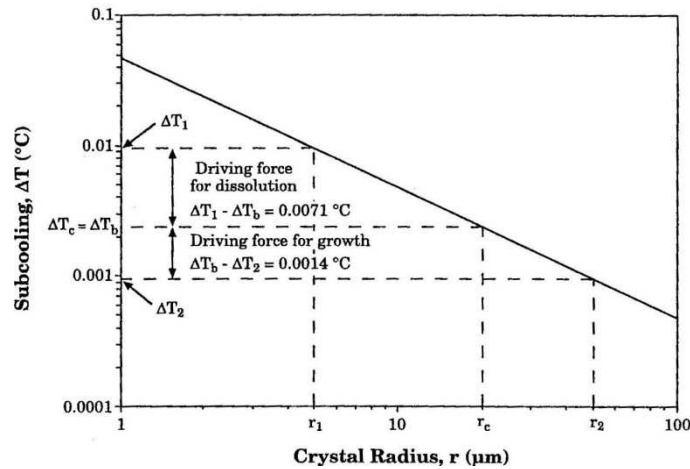
Ο ρυθμός της ανακρυστάλλωσης σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης του προϊόντος περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\bar{r} = r_0 + R t^{1/n} \quad (3.17)$$

όπου R = ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης, r = η ακτίνα του παγοκρυστάλλου σε χρόνο t , r_0 = η αρχική ακτίνα του παγοκρυστάλλου, και n = σταθερά η οποία καθορίζεται από το μηχανισμό που περιγράφει την αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων. Πειραματικά δεδομένα σε συστήματα παγωτού (Hartel, 2001; Donhowe & Hartel, 1996a,b), υποδεικνύουν ότι $n = 3$,

δηλαδή η ανακρυστάλλωση ελέγχεται μέσω της μοριακής κίνησης του νερού από τη φάση ορού προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων. Σε διαλύματα σακχαρόζης και συστήματα παγωτού η σχέση 3.10, λαμβάνει τη μορφή:

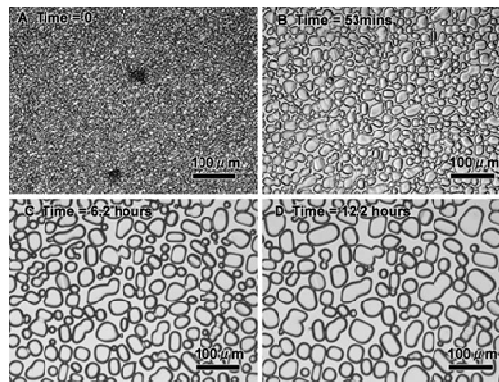
$$\bar{r} = \bar{r}_0 + Rt^{0.33} \quad (3.18)$$



Σχήμα 3.28: Αύξηση της ακτίνας των παγοκρυστάλλων ως συνάρτηση του βαθμού υπόψυξης (Hartel 2001)

3.4.3.1.2 Ισομαζική άμβλυση

Η διαδικασία της ωρίμανσης μπορεί να επέλθει ακόμη και σε μεμονωμένους παγοκρυστάλλους μη σφαιρικού σχήματος. Οι τραχιές ακμές των παγοκρυστάλλων, λόγω της μεταβλητής τους καμπυλότητας, εμφανίζουν μικρές διαφορές ως προς την επιφανειακή ελεύθερη ενέργεια, σε σχέση με εκείνη της λείας και επίπεδης επιφάνειας. Με την πάροδο του χρόνου, οι διαφορές αυτές μειώνονται, καθώς το σύστημα προσεγγίζει την ελάχιστη τιμή της επιφανειακής ελεύθερης ενέργειας. Η στατική αυτή διεργασία είναι γνωστή ως ισομαζική άμβλυση, και επέρχεται μόνο σε μονήρεις παγοκρυστάλλους, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις η παρουσία γειτονικών κρυστάλλων μπορεί να επηρεάσει το φαινόμενο. Απουσία γειτονικών κρυστάλλων, η ισομαζική άμβλυση δεν επιφέρει μείωση του αριθμού των παγοκρυστάλλων. Ο ειδικός όγκος του κρυσταλλικού υλικού παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια της ισομαζικής άμβλυσης, ενώ ο πάγος ανακατανέμεται κατά τρόπο, ώστε να αυξηθεί η θερμοδυναμική σταθερότητα των παγοκρυστάλλων. Στην περίπτωση, όπου η ισομαζική άμβλυση είναι ο κύριος μηχανισμός ανακρυστάλλωσης, οι παγοκρυστάλλοι αυξάνουν σε μέγεθος, ενώ ταυτόχρονα αποκτούν σφαιρικό σχήμα (Σχήμα 3.29). Γενικά, η ισομαζική άμβλυση παρατηρείται σε πολύ μικρό βαθμό στα συστήματα παγωτού και είναι πιο εμφανής στις περιπτώσεις όπου παρατηρούνται μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.



Σχήμα 3.29: Αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων στο παγωτό με βάση το μηχανισμό της ισομαζικής άμβλυσης (Hartel 2001)

3.4.3.1.3 Σύντηξη

Ένας ακόμη στατικός μηχανισμός ανακρυστάλλωσης είναι αυτός της σύντηξης, κατά τον οποίο οι γειτνιάζοντες παγοκρύσταλλοι πλησιάζουν μεταξύ τους και συντήκονται προς ένα μεγαλύτερο παγοκρύσταλλο. Η μεταφορά θερμότητας και μάζας στην περιοχή μεταξύ των δύο παγοκρυστάλλων επιφέρουν τη δημιουργία μίας γέφυρας από κρυσταλλικό υλικό, έως ότου οι δύο κρύσταλλοι συντηχθούν σε ένα μεγαλύτερο. Ο μηχανισμός της σύντηξης παρατηρείται στην περίπτωση σχηματισμού ενός πολύ μεγάλου αριθμού κρυστάλλων.

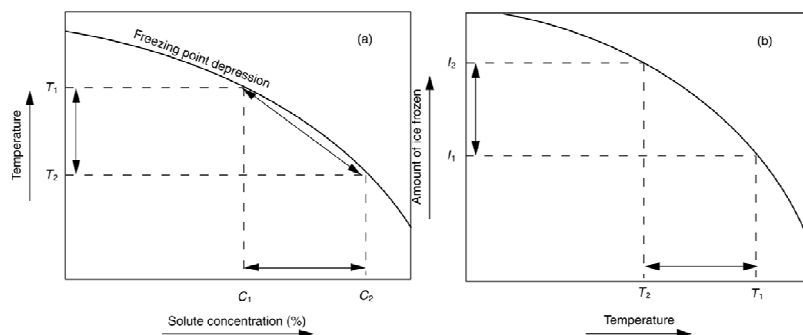
Η σύντηξη των παγοκρυστάλλων μπορεί να επηρεάζεται και από την παρουσία φυσαλίδων αέρα, μέσω μίας διεργασίας γνωστής ως sintering. Τα τοπικά δυναμικά της τάσης ατμών των φυσαλίδων αέρα είναι υψηλότερα στην περιοχή που περιβάλλει τους παγοκρυστάλλους, με αποτέλεσμα οι κρύσταλλοι να πλησιάζουν και να σχηματίζουν κρυσταλλικούς συνδέσμους. Ο σύνδεσμος τη στιγμή σχηματισμού του χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας και συνεπώς είναι πολύ ασταθής σύμφωνα με την εξίσωση Gibbs-Thomson. Ο ρυθμός με τον οποίο ο σύνδεσμος διευρύνεται δίνεται από την εξίσωση:

$$\frac{x^2}{r^2} = B(T)t \quad (3.18)$$

όπου x είναι το ήμισυ του πλάτους του συνδέσμου τη χρονική στιγμή t , r η ακτίνα του κρυστάλλου, B είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας η οποία περιλαμβάνει τις φυσικές ιδιότητες του συστήματος, και a, b φυσικές σταθερές οι οποίες εξαρτώνται από το μηχανισμό μεταφοράς μάζας προς τον κρυσταλλικό σύνδεσμο.

Ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης λόγω σύντηξης επηρεάζεται, επίσης, από την πιθανότητα να βρεθούν δύο παγοκρύσταλλοι στην ίδια μικροπεριοχή, ώστε να σχηματίσουν κρυσταλλικό σύνδεσμο. Η πιθανότητα αυξάνει όσο αυξάνει ο αριθμός των παγοκρυστάλλων που βρίσκονται σε μία ορισμένη μικροπεριοχή της φάσης ορού.

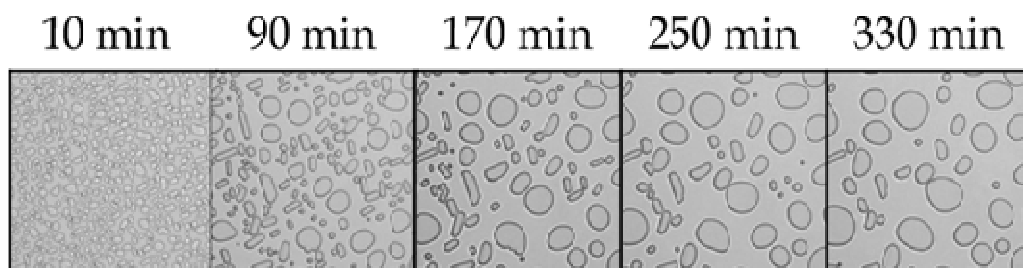
Η χρήση οπτικής μικροσκοπίας έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η ανακρυστάλλωση λόγω σύντηξης αποτελεί βασικό μηχανισμό ανακρυστάλλωσης στην περίπτωση των συστημάτων παγωτού, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου η κατανομή μεγέθους των παγοκρυστάλλων είναι περιορισμένου εύρους (μικρή μέση διάμετρος, μεγάλος αριθμός παγοκρυστάλλων). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η έντονη πυρηνογένεση και η ταχεία κατάψυξη ενός μίγματος παγωτού θα οδηγήσει σε προϊόν το οποίο θα ανακρυσταλλωθεί κατά κύριο λόγο με βάση το μηχανισμό σύντηξης. Παρόλα αυτά, η σύντηξη των παγοκρυστάλλων είναι ένα φαινόμενο χρονικά εξαρτώμενο: με την πάροδο του χρόνου ελάττωνεται η πυκνότητα της μικροπεριοχής σε παγοκρυστάλλους, και αυξάνει η απόσταση μεταξύ των γειτονικών παγοκρυστάλλων, με αποτέλεσμα να μειώνεται η δυνατότητα προσέγγισής τους, ώστε να δημιουργούν κρυσταλλικούς συνδέσμους. Επομένως, η ανακρυστάλλωση λόγω σύντηξης μπορεί να είναι ο μηχανισμός που περιγράφει τα πρώτα στάδια της ανακρυστάλλωσης κατά την αποθήκευση των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος (Hartel 2001; Donhowe & Hartel 1996a,b).



Σχήμα 3.30: Επίδραση της διακύμανσης θερμοκρασίας (από T_1 σε T_2) στη μεταβολή (A): της συγκέντρωσης της υδατικής φάσης από C_1 σε C_2 , και (B): του ποσοστού κρυσταλλωμένου νερού (πάγου) από I_1 σε I_2 σε συστήματα παγωτού (Goff & Hartel 2006)

3.4.3.1.4 Τήξη και επανακρυστάλλωση

Οι προηγούμενοι μηχανισμοί ανακρυστάλλωσης λαμβάνουν χώρα υπό σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας. Ο μηχανισμός της τήξης-ανακρυστάλλωσης είναι δυναμικός, δηλαδή λαμβάνει χώρα όταν παρατηρούνται θερμοκρασιακές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του παγωτού. Η ύπαρξη των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων συνεπάγεται τη μεταβολή του όγκου της κρυσταλλικής φάσης, αλλά και τη μεταβολή της δομής των παγοκρυστάλλων (σχήμα, αριθμός και μέγεθος). Κατά τη διάρκεια ανόδου της θερμοκρασίας, οι παγοκρυστάλλοι τήκονται, προκειμένου να διατηρήσουν την ισορροπία στερεού - υγρού στη νέα θερμοκρασία σύμφωνα με το διάγραμμα φάσεων. Οι μικρού μεγέθους παγοκρυστάλλοι είναι περισσότερο ευπαθείς στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας (σύμφωνα με την εξίσωση Gibbs-Thomson), και τελικά τήκονται πλήρως. Το παράγωγο, λόγω της τήξης νερό ελαττώνει το δυναμικό συγκέντρωσης της υδατικής φάσης, και μόλις η θερμοκρασία του προϊόντος επανέλθει στην αρχική της τιμή, τα μόρια του νερού λόγω της αυξημένης κινητικότητάς τους διαχέονται προς τη διεπιφάνεια υγρού - στερεού και κρυσταλλώνονται στην επιφάνεια των υπαρχόντων μεγάλης διαμέτρου παγοκρυστάλλων. Το φαινόμενο της τήξης και ανακρυστάλλωσης, εξαιτίας του χαμηλού ρυθμού με τον οποίο πραγματοποιείται, προϋποθέτει την απουσία πυρηνογένεσης στις συνθήκες υπερσυμπύκνωσης της φάσης ορού (χαμηλός βαθμός υπόψυξης). Πυρηνογένεση κατά τη φάση της ανακρυστάλλωσης του νερού παρατηρείται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις π.χ. κατά την παραμονή του προϊόντος σε υψηλή θερμοκρασία για μεγάλα χρονικά διαστήματα, οπότε παρατηρείται πλήρης τήξη της επιφανειακής στρώσης. Στην περίπτωση αυτή το τηγμένο προϊόν κατά τη διάρκεια μείωσης της θερμοκρασίας υφίσταται στην τηγμένη περιοχική πυρηνογένεση λόγω υπόψυξης που οδηγεί στο σχηματισμό νέων παγοκρυστάλλων, ενώ οι ήδη υπάρχοντες κρυστάλλοι (της μη τηγμένης περιοχής) αυξάνουν σε μέγεθος.



Σχήμα 3.31: Αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων με βάση το μηχανισμό της τήξης και επανακρυστάλλωσης (Regand & Goff 2006)

Το φαινόμενο της τήξης - ανακρυστάλλωσης εξελίσσεται γενικά σύμφωνα με το διάγραμμα φάσεων που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο προϊόν (Σχήμα 3.30). Έτσι η μεταφορά θερμότητας συνοδεύεται από μεταφορά μάζας από τον παγοκρυστάλλο προς την υδατική φάση και αντιστρόφως, και κατά συνέπεια από μία δυναμική μεταβολή του όγκου της κρυσταλλικής φάσης. Ο συνδυασμός των φαινομένων διάχυσης και κρυστάλλωσης οδηγεί σε μία χρονικά μεταβαλλόμενη ανακατανομή μεγέθους των παγοκρυστάλλων και κατ' επέκταση σε υποβάθμιση της ποιότητας του παγωτού. Προκειμένου οι συνθήκες ισορροπίας στερεού - υγρού να παραμείνουν σταθερές, οι μικρότεροι παγοκρυστάλλοι ελαττώνονται σε μέγεθος με ταχύτερο ρυθμό σε σχέση με τους παρακείμενους μεγαλύτερου μεγέθους παγοκρυστάλλους κατά τη φάση της τήξης, ενώ ανακρυσταλλώνονται με βραδύτερο ρυθμό κατά τη φάση της ελάττωσης της θερμοκρασίας (Σχήμα 3.31).

Το φαινόμενο της τήξης - ανακρυστάλλωσης προϋποθέτει επιπλέον τη μεταβολή της θερμοκρασίας με σχετικά αργό ρυθμό, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η μερική τήξη των μικρότερων παγοκρυστάλλων. Στην περίπτωση των καταψυκτών που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση του παγωτού, οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας (λόγω του ψυκτικού κύκλου)

έχουν μέση διάρκεια 2h, ενώ το εύρος τους είναι της τάξης των 1-2 °C. Έτσι η θερμοκρασία στο εσωτερικό του παγωτού μεταβάλλεται με βάση τους νόμους που περιγράφουν την μη μόνιμη (unsteady) μεταφορά θερμότητας και εξαρτάται άμεσα από τη θερμική διαχυτότητά του (δηλαδή τη σύστασή του). Επιπλέον, οι μεταβολές στη λανθάνουσα θερμότητα, λόγω τήξης και ανακρυστάλλωσης κατά τους θερμοκρασιακούς κύκλους, περιορίζει τις επιδράσεις των εξωτερικών διακυμάνσεων θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό, οι έντονες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μικρής χρονικής διάρκειας έχουν πολύ μικρή επίδραση στο φαινόμενο της ανακρυστάλλωσης και η ισορροπία στερεού - υγρού παραμένει αμετάβλητη.

Αντίθετα, υπάρχουν περιπτώσεις που οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας είναι πολύ απότομες ο ρυθμός κρυστάλλωσης ή/και τήξης όμως είναι πολύ βραδύς με αποτέλεσμα η ισορροπία στερεής - υγρής φάσης να μεταβάλλεται και κατ' επέκταση να αλλάζει και ο όγκος της κρυσταλλικής φάσης. Στην περίπτωση αυτή δεν παρατηρείται η μέγιστη μεταβολή του όγκου της κρυσταλλικής φάσης, αλλά το σύστημα μεταβαίνει από την υψηλή τιμή του όγκου της κρυσταλλικής προς μία χαμηλότερη κατά την άνοδο της θερμοκρασίας, και στη συνέχεια επιστρέφει και πάλι σε μία υψηλή τιμή, καθώς η θερμοκρασία κατέρχεται. Η μετάβαση αυτή λαμβάνει χώρα σε όλη τη διάρκεια των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων χωρίς όμως να αποκαθίσταται τελικά η αναμενόμενη ισορροπία σύμφωνα με το διάγραμμα φάσεων. Το φαινόμενο είναι γνωστό ως θερμικό σοκ. Η επιβολή ήπιου θερμικού σοκ κατά την αποθήκευση του παγωτού συνήθως επιφέρει αλλαγές στην κατανομή μεγέθους των παγοκρυστάλλων (διεύρυνση της καμπύλης κατανομής). Αντίθετα, όταν το παγωτό υπόκειται σε έντονα θερμικά σοκ, η επιφάνειά του υφίσταται πλήρη τήξη, με αποτέλεσμα τον ανεξέλεγκτο σχηματισμό νέων παγοκρυστάλλων στην τηγμένη ζώνη και την ταχεία ανάπτυξη των υπαρχόντων στην άτηκτη περιοχή.

3.4.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανακρυστάλλωση

3.4.3.2.1 Η αρχική κρυσταλλική κατάσταση

Η ανακρυστάλλωση επηρεάζεται άμεσα από την αρχική κρυσταλλική κατάσταση του παγωτού. Παγοκρυστάλλοι με λεία και ομοιόμορφη επιφάνεια, μικρής μέσης διαμέτρου, με σταθερή εσωτερική ενέργεια, που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και υπόκεινται σε περιορισμένες διακυμάνσεις θερμοκρασίας, παρουσιάζουν μεγάλη θερμοδυναμική σταθερότητα και συνεπώς μικρή ευπάθεια έναντι της ανακρυστάλλωσης. Η διεργασία της κατάψυξης, λόγω της άμεσης σύνδεσής της με το σχηματισμό των παγοκρυστάλλων και τη διαμόρφωση της κρυσταλλικής φύσης του παγωτού (αριθμός, σχήμα, και κατανομή μεγεθους) είναι ένα βασικό βήμα για τον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης κατά τα επόμενα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας του παγωτού. Μεγάλος βαθμός υπόψυξης, έντονη πυρηνογένεση, ταχείς ρυθμοί κατάψυξης, επαρκής απόξεση των τοιχωμάτων του καταψύκτη, επαρκές μεγεθος φυσαλίδων αέρα, ικανοποιητική ρύθμιση των τεχνικών παραμέτρων του καταψύκτη (διάμετρος και ταχύτητα περιστροφής του αποδάρτη) αποτελούν βασικές παραμέτρους για την επίτευξη μίας ικανοποιητικής κατανομής μεγέθους παγοκρυστάλλων κατά την κατάψυξη (Hartel, 2001; Russell et al., 1999; Drewett & Hartel, 2007; Donhowe & Hartel, 1996a,b).

3.4.3.2.2 Το στάδιο της σκλήρυνσης

Οι σχηματισθέντες παγοκρυστάλλοι κατά τη φάση της κατάψυξης υπόκεινται σε δυναμική αύξηση μεγέθους, εξαιτίας της θερμοδυναμικής τους αστάθειας. Έτσι, μετά τη συσκευασία του παγωτού στους περιέκτες, η διεργασία σκλήρυνσης αποτελεί σημαντικό στάδιο για τον αποτελεσματικό έλεγχο της ανακρυστάλλωσης. Κατά τη σκλήρυνση, το ποσοστό του κρυσταλλωμένου νερού αυξάνει από 50% αμέσως μετά την κατάψυξη του παγωτού στο 75 έως 80% στο τέλος της διεργασίας σκλήρυνσης. Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της επιφάνειας του παγωτού και του θερμικού του κέντρου αποτελεί το βασικό παράγοντα ανακρυστάλλωσης κατά τη σκλήρυνση. Έτσι το μέγεθος των παγοκρυστάλλων στο κέντρο του περιέκτη είναι γενικά μεγαλύτερο από εκείνο στην επιφάνεια του προϊόντος.

Χαμηλοί ρυθμοί κατάψυξης κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης οδηγούν σε σημαντική αύξηση του μέσου μεγέθους των παγοκρυστάλλων (Hartel, 2001; Hartel, 1998).

3.4.3.2.3 Οι συνθήκες αποθήκευσης

Η ανακρυστάλλωση λαμβάνει χώρα ακόμη και σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας. Παρόλα αυτά, ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης αυξάνει ραγδαία στην περίπτωση που το προϊόν υπόκειται σε θερμικό σοκ.

3.4.3.2.4 Η σύσταση του παγωτού

Η σύσταση του παγωτού αποτελεί καθοριστικής σημασίας παράγοντα για τον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης, αφού επηρεάζει άμεσα τις θερμικές ιδιότητές του (ταπείνωση σημείου πήξης, σημείο υαλώδους μετάπτωσης, σχηματισμός αρχικών παγοκρυστάλλων), την ισορροπία στερεής - υγρής φάσης, τα φαινόμενα διάχυσης μάζας, τη θερμική αγωγιμότητα και διαχυτότητα κ.α. Το είδος και η αναλογία των βιοπολυμερών (υδροκολλειδή και πρωτεΐνες), και των γλυκαντικών υλών είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες σύστασης που επηρεάζουν την ανακρυστάλλωση. Όπως θα αναπτυχθεί διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο, ο έλεγχος της ανακρυστάλλωσης με τη χρήση υδροκολλοειδών πραγματοποιείται με διάφορους μηχανισμούς όπως: 1) η αύξηση του μικροϊξώδους της υδατικής φάσης, 2) η ελάττωση της μοριακής κινητικότητας και του δυναμικού διάχυσης νερού από και προς τους παγοκρυστάλλους, 3) η δημιουργία κρυστοπυρήνων, 4) η κινητική παρεμπόδιση των μορίων του νερού στις υπάρχουσες εμπλουτισμένες σε πολυσακχαρίτες ζώνες, λόγω διαχωρισμού φάσεων πρωτεϊνών - πολυσακχαρίτη και 5) η μεταβολή των θερμικών ιδιοτήτων (κυρίως του σημείου υαλώδους μετάπτωσης) των μιγμάτων παγωτού. Από την άλλη, οι γλυκαντικές ύλες επιδρούν άμεσα στην ισορροπία φάσεων στερεού - υγρού, λόγω της ικανότητάς τους να ταπεινώνουν το σημείο πήξης και να μεταβάλλουν το σημείο υαλώδους μετάπτωσης.

3.4.4 Η ανακρυστάλλωση της λακτόζης

Ένα από τα βασικότερα ελαττώματα του παγωτού το οποίο συνδέεται άμεσα με την αποτελεσματικότητα των επιμέρους διεργασιών κατάψυξης είναι η ανάπτυξη αμμώδους υφής, ως αποτέλεσμα της ανακρυστάλλωσης της λακτόζης που περιέχεται στα υλικά ενίσχυσης του στερεού υπολείμματος (Livney et al., 1995; Marshall et al., 2003). Η υποβάθμιση της ποιότητας του παγωτού δεν οφείλεται μόνο στο σχηματισμό αδιάλυτων κρυστάλλων λακτόζης στη φάση ορού, αλλά και στη σταδιακή αύξηση του μεγέθους τους, με αποτέλεσμα να γίνονται οργανοληπτικά αντιληπτοί και διακριτοί από τους παγοκρυστάλλους (Marshall et al., 2003; Hartel 2001; Nickerson, 1954). Η κρίσιμη διάμετρος των κρυστάλλων λακτόζης είναι περίπου 15μm, ενώ σε μεγαλύτερες τιμές οι κρύσταλλοι λακτόζης γίνονται οργανοληπτικά αντιληπτοί κατά τη διαδικασία της μύησης. Η λακτόζη κρυσταλλώνεται στο παγωτό, όταν η υπερσυμπύκνωση της φάσης ορού υπερβαίνει τα όρια διαλυτότητας της λακτόζης. Στην πράξη, η λακτόζη λόγω της χαμηλής της διαλυτότητας στο νερό (η οποία ελαττώνεται με περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας) βρίσκεται σε υπέρκορη κατάσταση καθόλη τη διάρκεια της κατάψυξης του μίγματος και αποθήκευσης του τελικού προϊόντος και από θερμοδυναμικής πλευράς είναι αναμενόμενος ο σχηματισμός κρυστάλλων λακτόζης (λόγω της έντονης υπόψυξης). Το γεγονός ότι η λακτόζη δεν κρυσταλλώνεται κατά την παραγωγή του παγωτού οφείλεται κατά κύριο λόγο σε δύο κύριους παράγοντες: α) Στους χαμηλούς ρυθμούς σχηματισμού πυρήνων λακτόζης και β) στο υψηλό μικροϊξώδες της φάσης ορού και την περιορισμένη μοριακή κινητικότητα της λακτόζης. Η αύξηση του δυναμικού συγκέντρωσης καθώς η θερμοκρασία ελαττώνεται οδηγεί σε σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας στην οποία μπορεί να επέλθει η κρυστάλλωση της λακτόζης. Για δεδομένη σύσταση παγωτού, υπάρχει μία κρίσιμη θερμοκρασιακή ζώνη στην οποία συμβαίνει η μέγιστη κρυστάλλωση της λακτόζης (τυπικά στους -10 έως -12°C). Η αποθήκευση του παγωτού στη θερμοκρασία μέγιστης κρυστάλλωσης της λακτόζης προκαλεί ραγδαία υποβάθμιση των χαρακτηριστικών υφής του, ενώ σε θερμοκρασίες υψηλότερες ή χαμηλότερες από εκείνη της κρίσιμης, ο σχηματισμός κρυστάλλων λακτόζης παρεμποδίζεται σημαντικά (δυσνητικά απαιτείται η πάροδος πολλών

μηνών για τη δημιουργία πυρήνων λακτόζης). Η σύσταση του παγωτού παίζει επίσης καθοριστικό παράγοντα ελέγχου της ανακρυστάλλωσης της λακτόζης. Τα συστατικά ενίσχυσης του ΣΥΑΛ αποτελούν το βασικότερο παράγοντα αύξησης της συγκέντρωσης της λακτόζης στο μίγμα παγωτού. Για το λόγο αυτό η μέγιστη αναλογία του μίγματος παγωτού σε πρωτεϊνικά υλικά κυμαίνεται από 15.6 έως 18.5% με την υψηλότερη να αναφέρεται συνήθως σε μη σκληρυθέντα προϊόντα που προορίζονται για άμεση διανομή και κατανάλωση. Επιπλέον, συστατικά όπως οι γλυκαντικές ύλες και οι πολυσακχαρίτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα ελέγχου της ανακρυστάλλωσης της λακτόζης, κυρίως λόγω αύξησης του δυναμικού συγκέντρωσης της υδατικής φάσης και της ελάττωσης της μοριακής κινητικότητας της λακτόζης. Η προσθήκη αρωματικών υλών σε κόκκους ή πολύ μικρά τεμάχια, μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας κατάψυξης ευνοεί την ανακρυστάλλωση της λακτόζης, αφού αυτές δρουν ως σημεία πυρηνογένεσης, ενώ η ανάδευση του υπερσυμπυκνωμένου συστήματος αυξάνει την πιθανότητα δευτερογενούς πυρηνογένεσης.

3.4.5 Αποσταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα - συρρίκνωση

Υπό συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. λανθασμένος σχεδιασμός της σύστασης, διακυμάνσεις πίεσης στα στάδια συσκευασίας, σκλήρυνσης και αποθήκευσης, μεταφορά του προϊόντος σε περιοχές με διαφορετικό υψόμετρο κ.α.) το παγωτό υπόκειται σε μια σταδιακή αποσταθεροποίηση της αφρώδους δομής του, που εκδηλώνεται με αποκόλληση του προϊόντος από τα τοιχώματα και συρρίκνωσή του εντός του περιέκτη (Marshall et al., 2003; Dubey & White, 1997; Chang & Hartel, 2002a,b).

Υδατικά κολλοειδή συστήματα, όπως οι αφροί, χαρακτηρίζονται από θερμοδυναμική αστάθεια, με αποτέλεσμα να καταρρέουν με την πάροδο του χρόνου. Γενικά, τα συστήματα αυτού του τύπου υπόκεινται σε τρία είδη αποσταθεροποίησης: α) Ostwald ωρίμανση, β) σύμφυση και γ) αποστράγγιση. Στην περίπτωση του παγωτού οι δύο πρώτοι μηχανισμοί περιγράφουν την αποσταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα κατά τα στάδια της σκλήρυνσης και αποθήκευσης, ενώ ο τελευταίος μηχανισμός επηρεάζει τη συμπεριφορά του προϊόντος αμέσως μετά την έξοδο από τον καταψύκτη (δεδομένου ότι βρίσκεται σε ημίρρευστη κατάσταση) και κατά την τήξη του (Chang & Hartel, 2002a,b). Η Ostwald ωρίμανση βασίζεται στη θερμοδυναμική διαφορά της σταθερότητας δύο φυσαλίδων αέρα με διαφορετικό μέγεθος. Κάθε φυσαλίδα αέρα χαρακτηρίζεται από την πίεση Laplace η οποία εξαρτάται από την καμπυλότητα της επιφάνειάς της (Hiemenz, 1986). Το δυναμικό Laplace βασίζεται στη διαφορά πιέσεων μεταξύ δυο γειτνιαζόντων φυσαλίδων αέρα εξαιτίας της διαφοράς μεγέθους τους. Το δυναμικό Laplace (ΔP) είναι ανάλογο της επιφανειακής τάσης (σ) σύμφωνα με τη σχέση (Hiemenz 1986):

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r_1} - \frac{2\sigma}{r_2} \quad (3.19)$$

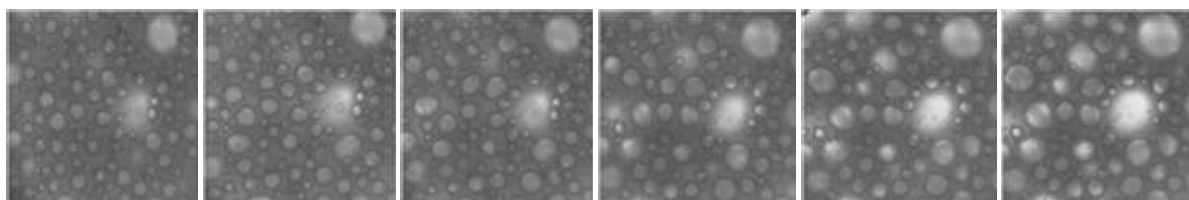
όπου r_1, r_2 οι ακτίνες των φυσαλίδων αέρα. Το δυναμικό Laplace προκαλεί τη μεταβολή του δυναμικού συγκέντρωσης της φάσης ορού στη μικροπεριοχή που περιβάλλει τις φυσαλίδες, με αποτέλεσμα τη διάχυση αέρα από τη μικρότερη φυσαλίδα προς τη μεγαλύτερη (φαινόμενο Marangoni). Κατά συνέπεια, οι μικρού μεγέθους φυσαλίδες αέρα ελαττώνονται σε μέγεθος έως ότου τελικά εξαφανιστούν ενώ παράλληλα οι μεγάλης διαμέτρου φυσαλίδες υφίστανται ταυτόχρονη αύξηση μεγέθους. Η χρονική μεταβολή της ακτίνας $r(t)$ μίας μικρής φυσαλίδας αέρα που περιβάλλεται από πολλές μεγάλες φυσαλίδες αέρα σε μέση απόσταση δ , παρέχεται από τη σχέση (DeVries, 1972):

$$r^2(t) = r_0^2 - \left(\frac{RTDs_{\infty}\sigma}{P\delta} \right) t \quad (3.20)$$

όπου: r_0 η αρχική ακτίνα της φυσαλίδας, D είναι ο συντελεστής διάχυσης του αέρα διαμέσου της φάσης ορού, P η πίεση περιβάλλοντος, R η παγκόσμια σταθερά των αερίων, T η θερμοκρασία, και s_{∞} η διαλυτότητα του αέρα σε μία επίπεδη επιφάνεια. Η σχέση προϋποθέτει

ότι η επιφανειακή τάση είναι σταθερή, γεγονός το οποίο δεν συμβαίνει σε συστήματα που περιέχουν επιφανειοενεργές ενώσεις (γαλακτωματοποιητές, πρωτεΐνες κ.α.). Έτσι, η παρουσία μορίων πρωτεϊνών και γαλακτωματοποιητών οδηγεί σε σταδιακή ελάττωση της επιφανειακής τάσης και κατά συνέπεια σε παρεμπόδιση της μεταβολής μεγέθους της ακτίνας των φυσαλίδων αέρα, όταν το ποσοστό του επιφανειοενεργού υλικού στην επιφάνεια των φυσαλίδων αέρα αυξάνεται σημαντικά. Συνεπώς, η χρήση γαλακτωματοποιητών αποτελεί φυσικό φραγμό στην εξέλιξη της αποσταθεροποίησης των φυσαλίδων αέρα (Chang & Hartel, 2002a,b; Dickinson, 1992) στο παγωτό. Το μικροϊξώδες της φάσης ορού επίσης παίζει καθοριστικό ρόλο στο φαινόμενο της Ostwald ωρίμανσης των φυσαλίδων αέρα. Η αύξηση του ιξώδους μειώνει το ρυθμό διάχυσης αέρα μεταξύ των γειτνιαζόντων φυσαλίδων και κατ' επέκταση αυξάνει τη σταθερότητά τους. Παρομοίως, η ύπαρξη στερεών σωματιδίων στην επιφάνεια των φυσαλίδων αέρα παρεμποδίζει την ελεύθερη διάχυση αέρα μεταξύ των φυσαλίδων. Η αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων κατά το στάδιο της κατάψυξης και η δημιουργία του τρισδιάστατου πλέγματος που περιβάλλει τις φυσαλίδες αποτελεί τον πλέον καθοριστικό παράγοντα ελέγχου της θερμοδυναμικής σταθερότητας της αφρώδους δομής του παγωτού (Granger et al., 2005; Goff 1998; Bazmi et al., 2007; Chang & Hartel 2002a,b; Sofjan & Hartel, 2004).

Η σύμφυση των φυσαλίδων αέρα που βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους εκδηλώνεται με εξαφάνιση δύο φυσαλίδων αέρα μικρού μεγέθους και σχηματισμό μίας νέας μεγαλύτερης διαμέτρου. Έτσι, ένα κολλοειδές σύστημα που υπόκειται σε σύμφυση εκτραχύνεται χρονικά, με αποτέλεσμα την εκφύλιση της αρχικής δομής του και την υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με την αφρώδη δομή. Ο πιο πιθανός μηχανισμός, που περιγράφει ικανοποιητικά τη σύμφυση των φυσαλίδων αέρα, βασίζεται και πάλι στο δυναμικό της πίεσης Laplace. Η υψηλή τιμή του δυναμικού της πίεσης Laplace μεταξύ δύο πολύ κοντινών φυσαλίδων αέρα προκαλεί σχηματισμό συνδέσεων (από το υλικό της φάσης ορού και της διεπιφάνειας των φυσαλίδων αέρα), με αποτέλεσμα τη συνένωση των φυσαλίδων σε μία, η οποία μπορεί περαιτέρω να αναπτυχθεί σε μέγεθος (Σχήμα 3.32). Οι Pelan et al., (1997) και Rohenkohl & Kohlus (1999) πρότειναν τη σύμφυση ως τον κύριο μηχανισμό αποσταθεροποίησης των φυσαλίδων αέρα στο παγωτό, σύμφωνα με παρατηρήσεις της μεταβολής της μικροδομής του παγωτού με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης. Η παρουσία στερεών σωματιδίων τα οποία αλληλεπιδρούν με τις φυσαλίδες αέρα επηρεάζει σημαντικά τη σταθερότητα των τελευταίων. Για παράδειγμα, όταν η επιφάνεια δύο γειτονικών φυσαλίδων αέρα καλύπτεται από υδρόφοβα σωματίδια (Σχήμα 3.33), τότε οι απωστικές ηλεκτροστατικές δυνάμεις που αναπτύσσονται οδηγούν στη δημιουργία μίας δύναμης διαχωρισμού που τείνει να αυξήσει το πάχος της διεπιφάνειας των φυσαλίδων αέρα προστάτευοντάς τα από τη συσσωμάτωση ή τη διάρρηξή τους λόγω λέπτυνσης της μεμβράνης τους (Damodaran 2005). Επιπλέον, η επίδραση των σωματιδίων στην ιξωδοελαστική συμπεριφορά της μεμβράνης που περιβάλλει την επιφάνεια των φυσαλίδων αέρα συνδέεται άμεσα με τη σταθερότητά τους κατά τα στάδια της αποθήκευσης.



Σχήμα 3.32: Αποσταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του παγωτού, δράση που συνδέεται με φαινόμενα συρρίκνωσης (πειραματικά δεδομένα)

Η αποσταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα λόγω αποστράγγισης προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ρευστού περιβλήματος το οποίο αναγκάζει, λόγω διαφοράς πυκνοτήτων, την

άνοδο των φυσαλίδων προς την επιφάνεια του συστήματος. Ο χρόνος αποστράγγισης εξαρτάται από την επιφανειακή τάση των φυσαλίδων αέρα (δ), το ιξώδες μ του ρευστού περιβλήματος, και το ύψος του αφρώδους συστήματος (H), σύμφωνα με τη σχέση (Prins 1988):

$$t_d = \frac{6\mu H}{\rho g \delta} \quad (3.21)$$

Όπου: ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού, και δ το πάχος της διεπιφάνειας που περιβάλλει τις φυσαλίδες αέρα. Η αύξηση του ιξώδους του ρευστού περιβλήματος των φυσαλίδων αέρα αυξάνει τη σταθερότητά τους, όπως επίσης και η διασπορά στερεών σωματιδίων στη φάση ορού. Η παρουσία βιοπολυμερών στην περιβάλλουσα φάση ορού αυξάνει αποτελεσματικά τη σταθερότητα των φυσαλίδων αέρα, αφού περιορίζει την κινητικότητα του αέρα και αυξάνει τον απαιτούμενο χρόνο αποστράγγισης. Η παρατήρηση αυτή είναι σημαντική για τη διατήρηση της κολλοειδούς δομής του παγωτού στο χρόνο που μεσολαβεί από το τέλος της κατάψυξης έως και την έναρξη της σκλήρυνσης. Οι Chang & Hartel (2002a) παρατήρησαν ότι οι φυσαλίδες αέρα στο μη σταθεροποιημένο και σκληρυνθέν παγωτό ήταν εξαιρετικά ασταθείς, εξαιτίας του αυξημένου δυναμικού διάχυσης αέρα. Η προσθήκη επιφανειοενεργών ουσιών όπως οι γαλακτωματοποιητές μπορεί επιπλέον να αποτελεί έναν παράγοντα σταθεροποίησης των φυσαλίδων αέρα κυρίως, λόγω της ευνοούμενης αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων (Chang & Hartel 2002a,b; Zhang & Goff 2005; Goff et al., 1999). Οι Dubey & White (1997) ανασκόπησαν τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη συρρίκνωση του παγωτού: α) το υλικό συσκευασίας και η διαπερατότητά του σε αέρα, β) το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα, γ) η κατανομή μεγέθους των φυσαλίδων αέρα, δ) οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ε) οι συνθήκες κατάψυξης, στ) η τεχνική κατάψυξης (συνεχής ή ασυνεχής), ζ) η ομογενοποίηση, στ) η θερμοκρασία παστερίωσης, η) η προσθήκη επιφανειοενεργών συστατικών, θ) η προσθήκη βιοπολυμερών, ι) η ωρίμανση του μίγματος και ια) η προσθήκη αμυλοσιροπίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Η ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Ο όρος «κρυοπροστασία» είναι αρκετά γενικός και αναφέρεται σε όλες τις πιθανές δράσεις και τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τα στάδια της κατάψυξης και αποθήκευσης των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος και τα οποία σχετίζονται άμεσα με το σχηματισμό και την ανάπτυξη των παγοκρύσταλλων. Κατά συνέπεια, ως κρυοπροστατευτικό υλικό θα πρέπει να θεωρείται εκείνο το οποίο δυνητικά μπορεί να ελέγξει (μέσω διαφορετικών μηχανισμών) το σχηματισμό των αρχικών παγοκρύσταλλων κατά το στάδιο της κατάψυξης των μιγμάτων παγωτού και τη χρονικά και θερμοδυναμικά εξαρτώμενη ανάπτυξη του μεγέθους των παγοκρύσταλλων καθόλη τη διάρκεια αποθήκευσης του τελικού προϊόντος μέχρι και την κατανάλωσή του. Αν και οι μηχανισμοί, μέσω των οποίων ένα κρυοπροστατευτικό υλικό μπορεί να ελέγξει την θερμοδυναμική σταθερότητα των παγοκρύσταλλων είναι σε πολλές περιπτώσεις εξαιρετικά στοχευμένοι στο είδος και τη φύση του (π.χ. υλικά που είναι χημικώς εγγενή π.χ. γαλακτομαννάνες μπορεί να παρουσιάζουν ριζικά διαφορετική κρυοπροστατευτική δράση), θα μπορούσε να λεχθεί ότι οι κύριοι άξονες που περιγράφουν την κρυοπροστατευτική δράση ενός υλικού είναι:

α) *Η ταπείνωση του σημείου πήξης.*

β) *Οι αλλαγές στην υαλώδη κατάσταση του συστήματος.*

γ) *Το ποσοστό της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας.*

δ) *Η μοριακή κινητικότητα του νερού στη φάση ορού.*

ε) *Η διάχυση νερού από την υδατική φάση προς την επιφάνεια των παγοκρύσταλλων.*

στ) *Η δημιουργία πολυσακχαριτικών δικτύων ή διαμορφώσεων.*

ζ) *Ο διαχωρισμός φάσεων θερμοδυναμικά ασύμβατων υλικών.*

η) *Το μικροϊξώδες της υδατικής φάσης.*

θ) *Η παρεμπόδιση της διάρρηξης της κυτταρικής μεμβράνης των βακτηριακών κυττάρων λόγω κρυστάλλωσης του εξωκυτταρικού και ενδοκυτταρικού υγρού (στην περίπτωση των ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος).*

4.2 ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ (ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΗ)

Οι πολυσακχαρίτες αποτελούν τα κατ' εξοχήν κρυοπροστατευτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή παγωτού. Αν και η λειτουργική δράση των υδροκολλοειδών είναι εκτεταμένη, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφ. 2, τις τελευταίες δύο δεκαετίες η κρυοπροστατευτική δράση τους αποτέλεσε και συνεχίζει να αποτελεί σημείο εντατικής έρευνας στο πεδίο των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Μερικά από τα ερωτήματα που τέθηκαν αναφορικά με τη δράση των υδροκολλοειδών, που πρόκειται να απαντηθούν στις επόμενες παραγράφους (και τα οποία περιγράφουν το αντικείμενο μελέτης ενός σημαντικού αριθμού επιστημονικών ερευνών σχετικά με τη δράση των υδροκολλοειδών) είναι τα εξής: *Ποιοι είναι οι κύριοι μηχανισμοί που περιγράφουν την κρυοπροστατευτική δράση των υδροκολλοειδών; Υπάρχουν άμεσες επιδράσεις στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού λόγω της παρουσίας των υδροκολλοειδών; Η επίδραση των υδροκολλοειδών στη ρεολογία των μιγμάτων μπορεί να σχετίζεται με πιθανή κρυοπροστασία; Η ικανότητα σχηματισμού πολυσακχαριτικών δικτύων και η αυξημένη ικανότητα ενυδάτωσης των υδροκολλοειδών επηρεάζουν τη μοριακή κινητικότητα του νερού; Η ασυμβατότητα των υδροκολλοειδών με τις πρωτεΐνες μπορεί να υποκρύπτει πιθανή κρυοπροστατευτική δράση;*

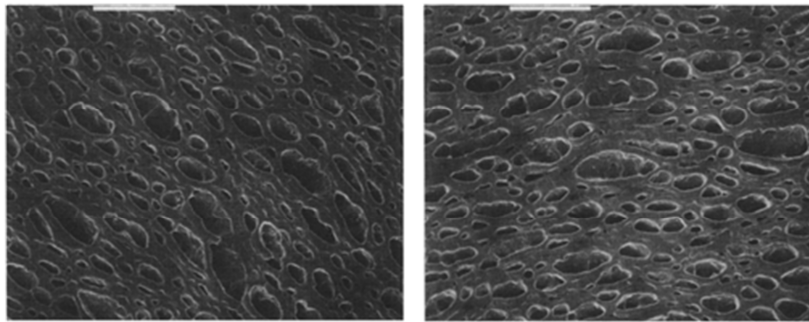
4.2.1 Οι πρώτες θεωρήσεις για την κρυοπροστατευτική δράση των υδροκολλοειδών

Οι πρώτες προσπάθειες για να εξηγηθούν οι μηχανισμοί της κρυοπροστατευτικής δράσης των υδροκολλοειδών έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του '80. Η δράση των

υδροκολλοειδών βασίστηκε σε δύο διαφορετικούς άξονες: α) την πιθανή επίδραση του μακροϊξώδους στη μοριακή κινητικότητα του νερού και β) στην επίδραση των υδροκολλοειδών στο σχηματισμό των παγοκρύσταλλων κατά το στάδιο της κατάψυξης. Οι [Cottrell et al. \(1979\)](#) ήταν οι πρώτοι ερευνητές που προσπάθησαν να συσχετίσουν τον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης σε συστήματα παγωτού με την επίδρασή τους στο ιξώδες των μιγμάτων και την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας. Από τα 18 σταθεροποιητικά συστήματα τα οποία εξέτασαν, μόνο ένας πολύ περιορισμένος αριθμός σταθεροποιητών κατάφερε να επιδράσει σημαντικά στον έλεγχο της ανάπτυξης των παγοκρύσταλλων (σε σχέση με το μη σταθεροποιημένο μίγμα). Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα υδροκολλοειδή που προέρχονται από άλγη ή εκκρίματα φυτών (π.χ. αραβικό και τρακανθικό κόμμι) δεν έχουν καμιά επίδραση στο σχηματισμό και την αύξηση μεγέθους των παγοκρύσταλλων. Επιπλέον, το ιξώδες των μιγμάτων παγωτού δεν συσχετίζεται άμεσα με την αύξηση μεγέθους των παγοκρύσταλλων κατά την αποθήκευση του παγωτού. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι [Harper & Shoemaker \(1983\)](#) οι οποίοι εξέτασαν την επίδραση του κόμμιος χαρουπιού (σε ποσοστά 0.1-0.5% w/w) σε πρότυπα υδατικά συστήματα σακχαρόζης-φρουκτόζης-αμυλοσιρόπιου. Ειδικότερα, η αύξηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε βιοπολυμερές δεν ήταν επαρκής για να ελέγξει και να παρεμποδίσει τη σταδιακή αύξηση μεγέθους των παγοκρύσταλλων των υδατικών συστημάτων σακχάρων, όταν αυτά υποβλήθηκαν σε διαδοχικούς κύκλους μεταβολής θερμοκρασίας μεταξύ -9 και -23°C. Οι [Muhr & Blanshard \(1984\)](#) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη ξανθάνης, αλγινικού νατρίου και ζελατίνης σε πρότυπα διαλύματα σακχαρόζης δεν ήταν επαρκής για τον έλεγχο του ποσοστού σχηματισμένου πάγου, και την έκταση της πυρηνογένεσης κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Παρόλα αυτά, οι ερευνητές ανέφεραν μία ενδιάμεση επίδραση των υδροκολλοειδών στο ρυθμό σχηματισμού των παγοκρυστάλλων. Η γραμμική εξάρτηση του ρυθμού σχηματισμού των παγοκρύσταλλων στα υδατικά συστήματα σακχαρόζης (0.15g/cm³ νερού) αποδόθηκε από τους [Muhr & Blanshard](#) κατά κύριο λόγο στο ρυθμό διάχυσης των μορίων της σακχαρόζης, ενώ τα μόρια των υδροκολλοειδών απλά επιτείνουν τη μείωση του ρυθμού σχηματισμού των παγοκρυστάλλων. Οι ίδιοι ερευνητές σε επόμενη τους μελέτη ([Muhr & Blanshard, 1986a](#)) εξέτασαν την επίδραση διαφόρων υδροκολλοειδών (κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη) στο σχηματισμό των παγοκρύσταλλων δένδριτικής διαμόρφωσης και συμπέραναν ότι τα φαινόμενα πυρηνογένεσης κατά την κατάψυξη υδατικών συστημάτων δεν επηρεάζονται σημαντικά από την παρουσία των υδροκολλοειδών. Αντίθετα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν από τους [Shirai et al. \(1985\)](#) και [Blond \(1986\)](#) σε ότι αφορά την επίδραση των υδροκολλοειδών στα φαινόμενα της ετερογενούς και δευτερογενούς πυρηνογένεσης. Ειδικότερα, οι [Shirai et al. \(1985\)](#) παρατήρησαν ότι ο ρυθμός πυρηνογένεσης και η έκταση της δευτερογενούς πυρηνογένεσης μειώθηκαν σημαντικά από την παρουσία υδροκολλοειδών σε υδατικά συστήματα σε σχέση με το καθαρό νερό, γεγονός που αποδόθηκε στην αύξηση του ιξώδους η οποία παρεμποδίζει τη συγκόλληση των παγοκρύσταλλων και την ευχέρεια επαφής των σχηματιζόμενων πυρήνων με τα τοιχώματα του δοχείου. Η [Blond \(1986\)](#) διαπίστωσε ότι βιοπολυμερή, όπως η ζελατίνη και η καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνη, αύξησαν τη θερμοκρασία στην οποία λαμβάνει χώρα η ετερογενής πυρηνογένεση, χωρίς όμως καμιά άμεση εξάρτηση μεταξύ της θερμοκρασίας ετερογενούς πυρηνογένεσης και του ιξώδους των υδατικών διαλυμάτων.

Στη δεκαετία του '80 έγιναν σημαντικές διαπιστώσεις για την πιθανή συσχέτιση της ικανότητας των υδροκολλοειδών να σχηματίζουν πολυσακχαριτικές αλύσους ή κρυστοπλάσματα κατά τη διαδοχική υποβολή των υδατικών διαλυμάτων τους σε κύκλους ψύξης - θέρμανσης. Οι αρχικές αυτές θεωρήσεις αποτέλεσαν το βασικό υπόστρωμα για τη διατύπωση των πρόσφατων θεωριών ελέγχου της ανακρυστάλλωσης μέσω του σχηματισμού κρυστοπλάσμων. Πιο συγκεκριμένα, οι [Muhr & Blanshard \(1986b\)](#) σε πείραμα με υδατικά διαλύματα υδροκολλοειδών σε δοκιμαστικούς σωλήνες, παρατήρησαν ότι η τήξη και επανακατάψυξη των διαλυμάτων οδηγεί σε σχηματισμό πηγμάτων, λόγω της δημιουργίας πολυσακχαριτικών

αλύσων, τα οποία είναι ικανά να επιδράσουν παρεμποδιστικά στην αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων. Επιπλέον, ο σχηματισμός των πηγμάτων αυτών επιφέρει και αλλαγές στη μορφολογία των σχηματιζόμενων παγοκρυστάλλων. Η Blond (1988) διαπίστωσε ότι ο σχηματισμός, αλλά και τα ειδικά χαρακτηριστικά των κρυο-πηγμάτων, όταν ένα υδατικό σύστημα υδροκολλοειδούς υποβάλλεται σε κύκλους τήξης - κατάψυξης επηρεάζει την ταχύτητα κρυστάλλωσης. Η ταχύτητα κρυστάλλωσης του νερού σύμφωνα με την Blond (1988) ελαττώνεται καθώς ο χρόνος ωρίμανσης και η ελαστικότητα του πήγματος αυξάνει. Η επίδραση αυτή αποδόθηκε στη μηχανική παρέμβαση του πήγματος στην ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων. Επιπλέον, η δημιουργία πολύ σκληρών πηγμάτων μπορεί να μην ευνοεί την κρυοπροστατευτική δράση των υδροκολλοειδών, αφού οι σχηματιζόμενοι παγοκρύσταλλοι μπορούν να επιφέρουν τη διάρρηξη του πήγματος και συνεπώς την απώλεια της αποτελεσματικότητάς του. Πράγματι, οι Buyong & Fennema (1988) μελέτησαν την κρυοπροστατευτική δράση της ζελατίνης σε μίγματα παγωτού και συμπέραναν ότι η ικανότητα της ζελατίνης να σχηματίζει σταθερά πηγματα δεν συνέβαλε στον αποτελεσματικό έλεγχο της ανακρυστάλλωσής τους σε διάστημα αποθήκευσης 16 εβδομάδων (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Η επίδραση της ζελατίνης (δεξιά) ως σταθεροποιητικό σύστημα σε μίγματα παγωτού. Η ικανότητα της ζελατίνης να σχηματίζει ισχυρά πηγματα δεν εξασφαλίζει a priori την κρυοπροστατευτική της δράση (Buyong & Fennema, 1988)

Οι ίδιοι ερευνητές ανέφεραν ότι η επίδραση υδροκολλοειδών όπως η κ-καρραγενάνη, το κόμμι γκούαρ, το κόμμι χαρουπιού, η CMC, και το αλγινικό νάτριο προκάλεσαν πολύ μικρή ελάττωση της ενθαλπίας τήξης πάγου στα μίγματα παγωτού, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν μικρότερη από 3% σε σχέση με το μη σταθεροποιημένο μίγμα.

Οι Budiaman & Fennema (1987a) κατασκεύασαν μαθηματικά μοντέλα για τον προσδιορισμό της εξάρτησης του γραμμικού ρυθμού κρυστάλλωσης του νερού σε σχέση με τη θερμοκρασία υπέρψυξης σε υδατικά διαλύματα υδροκολλοειδών. Οι ερευνητές συμπέραναν ότι η προσθήκη των υδροκολλοειδών μπορεί να επηρεάσει το ρυθμό κρυστάλλωσης του νερού, καθώς και ότι ορισμένα σταθεροποιητικά συστήματα μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικά π.χ. κόμμι χαρουπιού και κόμμι γκούαρ. Οι ίδιοι ερευνητές σε επόμενη έρευνά τους (Budiaman & Fennema, 1987b) κατασκεύασαν μαθηματικά μοντέλα συσχέτισης του γραμμικού ρυθμού κρυστάλλωσης του νερού σε σχέση με το ιξώδες σε σταθερή θερμοκρασία κατάψυξης (-3°C) και διαπίστωσαν ότι ο ρυθμός κρυστάλλωσης του νερού μειώθηκε με αύξηση του ιξώδους των μιγμάτων παγωτού. Εντούτοις, για σταθερή τιμή ιξώδους (3 Pa·s) ο ρυθμός κρυστάλλωσης του νερού ήταν διαφορετικός για τα διάφορα είδη υδροκολλοειδών που μελετήθηκαν, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ιξώδες δεν αποτελεί ικανοποιητικό παράγοντα πρόβλεψης της κρυοπροστατευτικής συμπεριφοράς των υδροκολλοειδών.

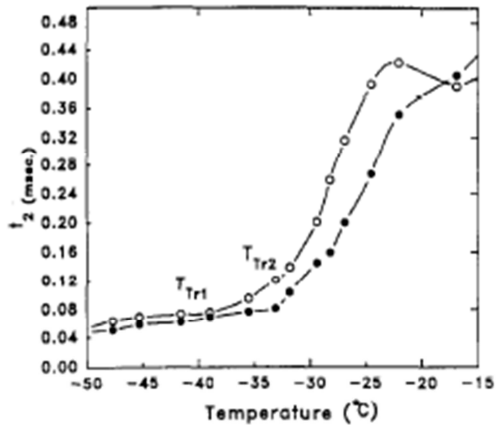
4.2.2 Η μελέτη της υαλώδους κατάστασης: Η μετάβαση από τις πρώιμες θεωρίες στο βασικό υπόβαθρο των μηχανισμών της κρυοπροστασίας των υδροκολλοειδών

Αναμφίβολα, η δεκαετία του '80 αποτέλεσε το χρονικό μεταίχμιο για τη δυναμική είσοδο της μελέτης των καταστάσεων φάσεων και τη μετάβαση από την κρυσταλλική (ελεγχόμενη από την κινητική Arrhenius) στην υαλώδη μετάπτωση (έλεγχος της μοριακής κινητικότητας του νερού με κινητική WLF - ραγδαία αύξηση του μικροϊξώδους της μη

κρυσταλλωμένης υδατικής φάσης). Η χρήση της θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC) αλλά και της θερμολογικής ανάλυσης οδήγησε σε πλήθος μελετών σχετικά με την υαλώδη μετάπτωση διαφόρων καταψυγμένων πρότυπων συστημάτων, αλλά και πραγματικών τροφίμων, με στόχο τον έλεγχο της συσχέτισής της με το χρόνο ζωής των κατεψυγμένων τροφίμων και την απώλεια των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Οι Slade & Levine, Roos & Karel, Blond, Biliaderis et al., Bevilacqua, Martino & Zaritzky, είναι μερικοί από τους πιο σημαντικούς ερευνητές που εργάστηκαν στο αντικείμενο της μετάβασης φάσεων και στη συσχέτιση της υαλώδους κατάστασης ενός συστήματος τροφίμου με το χρόνο ζωής του.

Οι πρώτες μελέτες σχετικά με την πιθανή επίδραση των υδροκολλοειδών στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g') παρουσιάστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '90. Ειδικότερα, οι Goff et al. (1993) μελέτησαν την επίδραση διαφορετικών υδροκολλοειδών (ζελατίνη, κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, κ-καρραγενάνη, και ξανθάνη) στις θερμοφυσικές ιδιότητες πρότυπων διαλυμάτων σακχαρόζης. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η προσθήκη των υδροκολλοειδών σε υδατικά συστήματα δεν επέφερε σημαντικές διαφορές σε ότι αφορά τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g'). Επιπλέον, η χρήση των υδροκολλοειδών δεν μετέβαλε αξιόλογα την τιμή της ενθαλπίας τήξης του πάγου των συστημάτων (εκτός από την περίπτωση της ζελατίνης). Οι ίδιοι ερευνητές, προκειμένου να εξηγήσουν την κρυοπροστατευτική δράση των υδροκολλοειδών προσδιόρισαν τις τιμές του μικροϊξώδους της υδατικής φάσης και την κατανομή μεγέθους των παγοκρύσταλλων στα σταθεροποιημένα και τυφλά συστήματα και διαπίστωσαν ότι η προσθήκη των υδροκολλοειδών ασφαλώς επιφέρει μείωση του μέσου μεγέθους των παγοκρύσταλλων, δράση η οποία συνδέθηκε με την αύξηση του μικροϊξώδους και τη μοριακή κινητικότητα του νερού. Σε επόμενη μελέτη οι Carrington et al. (1996) εξέτασαν την κρυοπροστατευτική επίδραση της καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης (0.25 και 1% w/w) σε υδατικά συστήματα φρουκτόζης. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η παρουσία του υδροκολλοειδούς έχει θετική επίδραση στην ελάττωση του ρυθμού αύξησης του μεγέθους των παγοκρύσταλλων, γεγονός που αποδόθηκε σε δύο αίτια: α) στη δράση των μορίων της CMC ως καταλυτικών κέντρων για τη δευτερογενή πυρηνογένεση και β) στην ελάττωση της μοριακής κινητικότητας του νερού λόγω της ραγδαίας αύξησης του μικροϊξώδους της υδατικής φάσης όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από εκείνη της υαλώδους μετάπτωσης. Επιπλέον, ο υψηλός ρυθμός κατάψυξης του συστήματος, αλλά και η εξασφάλιση μέγιστης συμπύκνωσης λόγω κατάψυξης αποτελούν βασικές παραμέτρους για τον έλεγχο της αύξησης μεγέθους σε συστήματα που περιέχουν υδροκολλοειδή, αφού επιφέρουν αύξηση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης όποτε το σύστημα μεταβαίνει ευκολότερα από φαινόμενα που ελέγχονται από κινητική WLF.

Οι Sahagian & Goff (1995) χρησιμοποίησαν τις τεχνικές DSC, TMA και H^1 -NMR, προκειμένου να διερευνήσουν τις επιδράσεις των υδροκολλοειδών (ξανθάνη, ζελατίνη και κόμμι γκουάρ) στο παγωτό. Η προσθήκη της ξανθάνης οδήγησε σε περισσότερο έντονες αποκλίσεις στα φαινόμενα που συνδέονται με την υαλώδη κατάσταση των συστημάτων. Η συμπεριφορά αυτή της ξανθάνης συνδέεται με την ικανότητά της να σχηματίζει σταθερές πολυμερικές διαμορφώσεις και να αυξάνει καθοριστικά το μικροϊξώδες της υδατικής φάσης σε σχέση με τα άλλα δύο συστατικά. Επιπλέον, σε θερμοκρασίες πολύ πιο πάνω από εκείνες της μετάβασης στην υαλώδη κατάσταση (-15°C) όπου παρατηρείται επάρκεια σε πλαστικοποιητή (νερό), η ξανθάνη περιόρισε σε μεγαλύτερο βαθμό τα φαινόμενα που συνδέονται με μοριακή κινητικότητα και αύξηση του ελεύθερου όγκου. Μελετώντας την επίδραση της προσθήκης του κόμμι γκουάρ σε συστήματα σακχαρόζης, οι Sahagian & Goff (1995) παρατήρησαν σημαντική μείωση του χρόνου χαλάρωσης (t_2) σε σχέση με τα μη σταθεροποιημένα, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι μεταβολές της κινητικότητας των μορίων του νερού κατά τη μετάβαση από την κρυσταλλική στην υαλώδη κατάσταση μπορεί να είναι ένας σημαντικός παράγοντας ελέγχου της ανακρυστάλλωσης στα συστήματα του παγωτού (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Η προσθήκη κόμμεος γκουάρ (●) σε πρότυπα διαλύματα σακχαρόζης επιφέρει σημαντική μείωση του χρόνου χαλάρωσης, και μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού (Πηγή: Sahagian & Goff 1995)

Hartel (1997) μελέτησαν τη συμπεριφορά των υδροκολλοειδών σε συστήματα σακκάρων και προσπάθησαν να συσχετίσουν τη μοριακή κινητικότητα του νερού, το μικροϊξώδες της φάσης ορού, το ποσοστό κρυσταλλωμένου νερού, τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g') αλλά και το μακροϊξώδες των μιγμάτων παγωτού με το ρυθμό ανακρυστάλλωσης των κατεψυγμένων συστημάτων παγωτού. Ειδικότερα, οι Hagiwara & Hartel (1996) διαπίστωσαν ότι το μακροϊξώδες των μιγμάτων δεν αποτελεί παράγοντα ελέγχου της ανακρυστάλλωσης, σε αντίθεση με το ποσοστό κρυσταλλωμένου νερού και τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης. Επιπλέον, οι ερευνητές διαπίστωσαν την άμεση επίδραση των υδροκολλοειδών στα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης (Σχήμα 4.3).

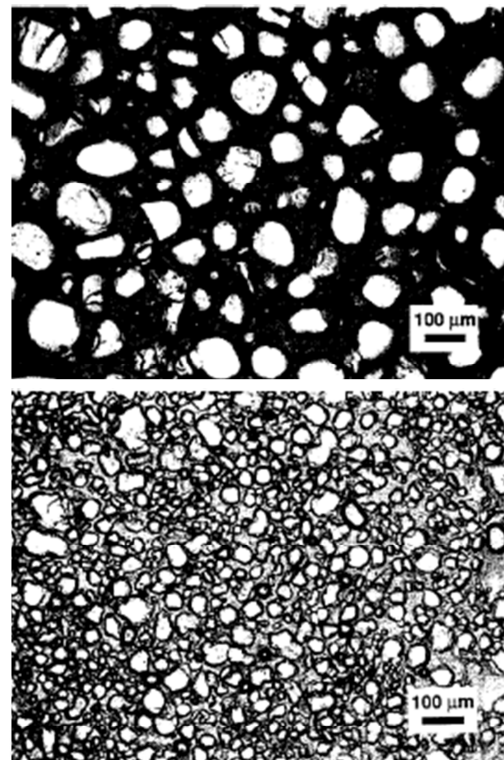
Οι Miller-Livney & Hartel (1997) πρότειναν ότι η επίδραση των υδροκολλοειδών στο μικροϊξώδες της μη κρυσταλλωμένης φάσης μπορεί να εξηγήσει την κρυοπροστατευτική τους δράση. Πιο συγκεκριμένα, η ικανότητα των υδροκολλοειδών να συγκρατούν υγρασία, αλλά και ο σχηματισμός σύνθετων πολυσακχαριτικών διαμορφώσεων αποτελεί ένα θερμοδυναμικό φραγμό που προκαλεί στερικές παρεμποδίσεις και ελαττώνει την κινητικότητα των μορίων νερού από τη φάση ορού προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων. Κατά τον τρόπο αυτό η προσθήκη υδροκολλοειδών οδηγεί σε μείωση του ρυθμού διάχυσης υγρασίας προς τους παγοκρυστάλλους και συνεπώς του ρυθμού ανακρυστάλλωσης. Υλικά όπως το κόμμι χαρουπιού και η κ-καραγενάνη με αυξημένη

4.2.3 Οι σύγχρονες θεωρήσεις της κρυοπροστατευτικής δράσης των υδροκολλοειδών

Η μελέτη της υαλώδους κατάστασης, ο προσδιορισμός της μοριακής κινητικότητας του μη κρυσταλλωμένου νερού της φάσης ορού αλλά και η πιθανή επίδραση της στερεοχημικών διαμορφώσεων των υδροκολλοειδών κατά τη συμπύκνωση λόγω κατάψυξης της φάσης ορού αποτέλεσαν το βασικό υπόβαθρο για τη διατύπωση των μηχανισμών μέσω των οποίων εξηγείται η κρυοπροστατευτική δράση των υδροκολλοειδών.

α) Η θεωρία του μικροϊξώδους

Μετά από τις έρευνες που διεξήχθησαν από την ερευνητική ομάδα του Goff, αλλά και τις μελέτες των Karel & Roos για τη θερμική συμπεριφορά διαφόρων υδατικών συστημάτων, οι Hagiwara & Hartel (1996) και Miller-Livney &

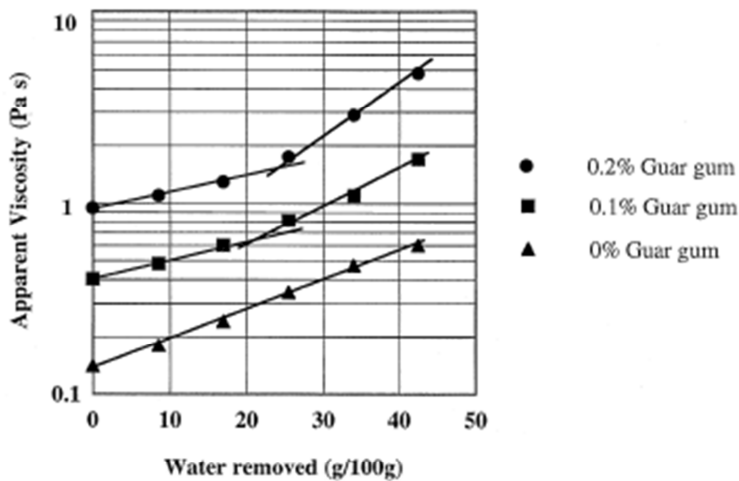


Σχήμα 4.3: Η προσθήκη των υδροκολλοειδών επιφέρει σημαντική μείωση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης σε συστήματα παγωτού. Η δράση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα των υδροκολλοειδών να αυξάνουν το μικροϊξώδες της φάσης ορού περιορίζοντας την κινητικότητα των μορίων νερού προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων (Πηγή: Hagiwara & Hartel (1996))

ικανότητα δημιουργίας σύνθετων διαμορφώσεων πολυσακχαρικών - πρωτεϊνικών αλύσεων μπορούν να συμβάλλουν στην αποτελεσματική μείωση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης. Επιπλέον, σε συστήματα παγωτού με χαμηλή περιεκτικότητα σε υλικά με ικανότητα δημιουργίας πλεγμάτων π.χ. ολιγοσακχαρίτες, η επίδραση των υδροκολλοειδών στο μικροϊξώδες της φάσης ορού μπορεί να αποτελεί το βασικό μηχανισμό ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης κατά την αποθήκευση του παγωτού. Τέλος, τα χαρακτηριστικά των σχηματιζόμενων πολυσακχαρικών δικτύων π.χ. ελαστικότητα, αριθμός και πυκνότητα διακλαδώσεων, δομή πλέγματος μπορούν να συμβάλλουν στην αποτελεσματική κρυοπροστασία στο τελικό προϊόν.

Β) Η ιξωδοελαστικότητα της υδατικής φάσης

Οι παρατηρήσεις των [Miller-Livney & Hartel \(1997\)](#) αν και υποστηρίζονταν από τα δεδομένα των μετρήσεων των σημείων υαλώδους μετάπτωσης, τέθηκαν σε περαιτέρω

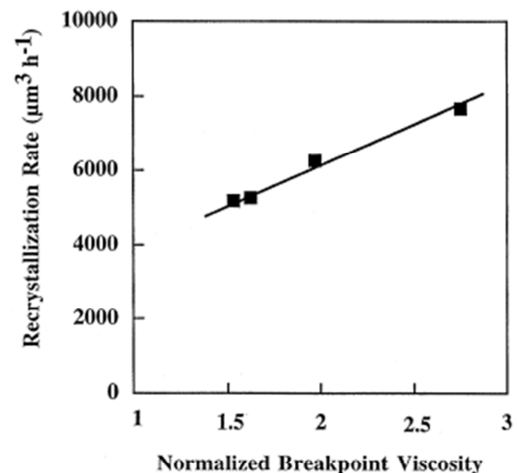


Σχήμα 4.4: Η αύξηση της συγκέντρωσης της φάσης ορού ως αποτέλεσμα της συμπύκνωσης λόγω κατάψυξης οδηγεί σε αλλαγή της κλίσης της καμπύλης ιξώδους - συγκέντρωσης. Το σημείο στο οποίο παρατηρείται η αλλαγή της κλίσης σχετίζεται με την κρίσιμη συγκέντρωση c^* και την μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού

τις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα (διάχυση μορίων νερού, μετασχηματισμός - αλλαγή διαμόρφωσης μορίων νερού, σακχαρόζης κ.α.) σε διαμοριακή απόσταση <10nm, ενώ τα μοριακά φαινόμενα που σχετίζονται με την ανακρυστάλλωση πραγματοποιούνται μεταξύ παγοκρύσταλλων που απέχουν τουλάχιστον 10μm. Συνεπώς η έμμεση επίδραση του μικροϊξώδους στον έλεγχο της αύξησης του μεγέθους των παγοκρύσταλλων παραμένει έως σήμερα ένας επαρκής μηχανισμός επεξήγησης της ανακρυστάλλωσης.

Οι [Bolliger et al., \(2000a\)](#) βασιζόμενοι στην αύξηση της συγκέντρωσης της φάσης ορού σε υδροκολλοειδή κατά τη διάρκεια της κατάψυξης του παγωτού, παρατήρησαν ότι η μεταβολή της ιξωδοελαστικής φύσης της φάσης ορού μπορεί να σχετίζεται με τον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης. Η παρατήρηση αυτή βασίστηκε στις προηγούμενες παρατηρήσεις των [Goff et al., \(1995\)](#) σε συστήματα

διερεύνηση από τους [Martin et al., \(1999\)](#) οι οποίοι χρησιμοποίησαν την τεχνική H^1 -NMR, προκειμένου να προσδιορίσουν αν η αύξηση της τιμής του μικροϊξώδους συνοδεύεται από ταυτόχρονη παρεμπόδιση της μοριακής παρεμπόδισης του νερού της φάσης ορού. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές χρησιμοποίησαν υδατικά συστήματα σακχαρόζης - κόμμοος χαρουπιού και διαπίστωσαν ότι η αύξηση του ιξώδους της φάσης ορού δεν προϋποθέτει την ελάττωση της κινητικότητας των μορίων του νερού. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να προσδιορίσει

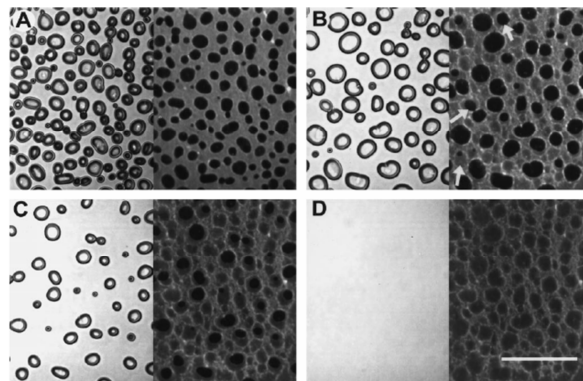


Σχήμα 4.5: Συσχέτιση του κρίσιμου ιξώδους της φάσης ορού με το ρυθμό ανακρυστάλλωσης συστημάτων παγωτού σταθεροποιημένων με κόμμι γκουάρ

που προσομοίωναν τη φάση ορού τυπικών συστημάτων παγωτού. Οι [Goff et al., \(1995\)](#) παρατήρησαν ότι υπάρχει ένα κρίσιμο ποσοστό κρυσταλλω-μένου νερού (~60% στους -7°C), πέρα από το οποίο παρατηρείται μία απότομη αλλαγή της κλίσης της καμπύλης μικροϊξώδους - συγκέντρωσης, η οποία συνδέεται με την υπέρβαση της κρίσιμης συγκέντρωσης c^* της υδατικής φάσης σε υδροκολλοειδές. Η υπέρβαση της κρίσιμης συγκέντρωσης c^* οδηγεί σε σχηματισμό πολυάριθμων πολυσακχαριτικών αλύσων με υψηλό βαθμό υπέρθεσης, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται ο υδροδυναμικός όγκος της υδατικής φάσης και κατά συνέπεια να λαμβάνουν χώρα στερικές παρεμποδίσεις της ελεύθερης κίνησης των μορίων του νερού (Σχήμα 4.4). Η αλλαγή της κλίσης της καμπύλης ιξώδους - συγκέντρωσης συνοδεύεται με μεταβολές της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς της φάσης ορού, ενώ ο προσδιορισμός του κρίσιμου ιξώδους μπορεί να αποτελέσει μία χρήσιμη παράμετρο για την ποσοτικοποίηση του ρυθμού αύξησης μεγέθους των παγοκρύσταλλων (Σχήμα 4.5). Εναλλακτικά του ιξώδους της φάσης ορού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ελαστικός παράγοντας G' (στην τιμή της κρίσιμης συγκέντρωσης c^*) για την εκτίμηση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης ([Bolliger et al., 2000a](#)). Ο μηχανισμός της αλλαγής της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς της φάσης ορού, μπορεί να δικαιολογήσει την κρυοπροστατευτική δράση των υδροκολλοειδών που δεν έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν κρυστάλλους (cryogels), αλλά χαρακτηρίζονται από την ικανότητα δημιουργίας σύνθετων και υπερτιθέμενων πολυσακχαριτικών διαμορφώσεων, όταν υπερβαίνουν την κρίσιμη συγκέντρωση c^* π.χ. κόμμι γκουάρ, αλγινικό νάτριο κ.α.

γ) Ο σχηματισμός κρυστάλλων

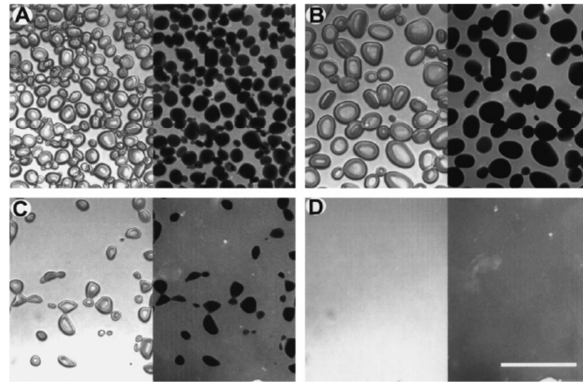
Η κρυοπροστατευτική ικανότητα ενός υδροκολλοειδούς μπορεί να συνδέεται με την ικανότητά του να σχηματίζει κρυστάλλους όταν το σύστημα παγωτού υποβάλλεται σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης. Όπως ήδη αναφέρθηκε οι [Blond \(1988\)](#) και [Muhr & Blanshard](#) ήταν οι πρώτοι ερευνητές που υποστήριξαν το μηχανισμό αυτό. Αργότερα, οι [Goff et al., \(1999\)](#), [Flores & Goff \(1999a,b\)](#), [Regand & Goff \(2002\)](#), [Regand & Goff \(2003\)](#), [Patmore et al. \(2003\)](#) και [Rogers et al. \(2006\)](#) διερεύνησαν ενδελεχώς τη συσχέτιση της ικανότητας ενός υδροκολλοειδούς να σχηματίζει κρυστάλλους (απουσία ή παρουσία πρωτεΐνης) με τον έλεγχο του ρυθμού αύξησης μεγέθους των παγοκρυστάλλων.



Σχήμα 4.6: Η κρυοπροστατευτική δράση του κόμμιος χαρουπιού βασίζεται στο σχηματισμό κρυστάλλων όταν το σύστημα σακχαρόζης - υδροκολλοειδούς υποβάλλεται σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης. Το σχηματιζόμενο κρυστάλλο παρεμποδίζει τη διάχυση υγρασίας και την αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων. Το πήγμα διατηρείται ακόμη και μετά την πλήρη τήξη των παγοκρυστάλλων (D). ([Flores & Goff 1999a](#))

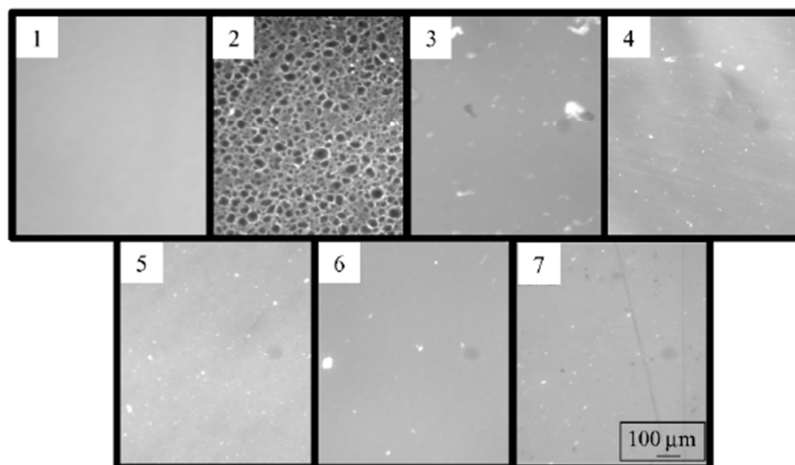
Οι [Goff et al., \(1999\)](#) χρησιμοποιώντας πρότυπα συστήματα σακχαρόζης - κόμμιος χαρουπιού και σακχαρόζης - κόμμιος γκουάρ, διαπίστωσαν ότι, όταν τα συστήματα υποβάλλονταν σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης, η μεταβολή του μεγέθους των παγοκρυστάλλων λόγω ανακρυστάλλωσης ήταν ριζικά διαφορετική ανάμεσα στα δύο συστήματα. Η χρήση μικροσκοπίας φθορισμού απέδειξε ότι η αποτελεσματικότερη κρυοπροστατευτική

συμπεριφορά του κόμμιος χαρουπιού σε σχέση με το κόμμι γκουάρ οφειλόταν στην ικανότητα του πρώτου να σχηματίζει κρυστάλλους εντός των οποίων εγκλωβίζονται οι παγοκρύσταλλοι.



Σχήμα 4.7: Η κρυσταλλοπροστατευτική δράση του κόμμιος γκουάρ αν και ανήκει στην ομάδα των γαλακτομαννανών (όπως και το κόμμι χαρουπιού) δεν μπορεί να εξηγηθεί με βάση τη θεωρία σχηματισμού κρυστάλλων. Κατά τη διάρκεια της υποβολής των συστημάτων σακχαρόζης σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης η ανακρυστάλλωση εξελίσσεται ομαλά λόγω της απουσίας του στερεοχημικού φραγμού του κρυστάλλου (D) (Flores & Goff 1999a)

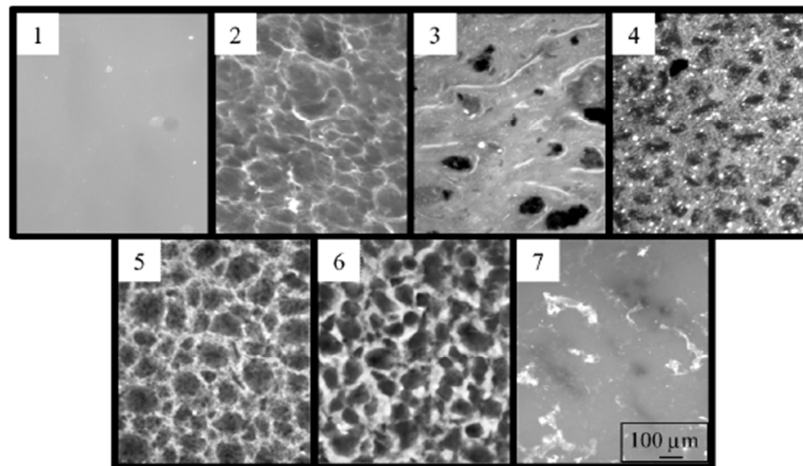
Η μερική τήξη των παγοκρυστάλλων οδηγεί σε ήπια χαλάρωση των πόρων του πηγματος, ενώ καθώς η θερμοκρασία επανέρχεται στην αρχική της τιμή το μη κρυσταλλωμένο νερό καταψύχεται στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων, αλλά η ανακρυστάλλωση δεν συνοδεύεται από φαινόμενα σύντηξης των παρακείμενων παγοκρυστάλλων. Οι Goff et al. (1999) απέδωσαν αυτή τη συμπεριφορά στην παρουσία του πορώδους κρυστάλλου το οποίο δρα ως ένας στερεοχημικός φραγμός στην ελεύθερη ανάπτυξη μεγέθους των παγοκρυστάλλων και τη δημιουργία συνδέσεων μεταξύ τους. Ωστόσο, τα φαινόμενα διάχυσης υγρασίας από την υδατική περιβάλλουσα φάση προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων δεν φαίνεται να παρεμποδίζονται από την παρουσία του κρυστάλλου. Αντίθετα, στην περίπτωση του κόμμιος γκουάρ, η απουσία του κρυστάλλου συμβάλλει στη στερεοχημική ευνοούμενη μετακίνηση υγρασίας προς τους παγοκρυστάλλους, οδηγώντας σε φαινόμενα σύμψυξης. Η ίδια συμπεριφορά παρατηρήθηκε και παρουσία πρωτεΐνης: το κόμμι χαρουπιού σχημάτισε κρυστάλλους, ενώ το κόμμι γκουάρ όχι (αν και η κρυσταλλοπροστατευτική του δράση βελτιώθηκε).



Σχήμα 4.8: Μελέτη της ικανότητας διαφόρων υδροκολλοειδών να σχηματίζουν κρυστάλλους σε υδατικά συστήματα σακχαρόζης που υποβάλλονται σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης. 1=control, 2 = κόμμι χαρουπιού, 3 = ξανθάνη, 4 = CMC, 5 = ζελατίνη, 6 = κ-καραγενάνη, 7 = αλγινικό νάτριο (Regand & Goff 2003)

Σε επόμενες έρευνες οι [Regand & Goff \(2002\)](#) και [Regand & Goff \(2003\)](#) εξέτασαν τη δυνατότητα και άλλων υδροκολλοειδών να σχηματίζουν κρυσπήγματα (αλγινικό νάτριο, ξανθάνη, CMC, ζελατίνη). Απουσία πρωτεΐνης μόνο το κόμμα χαρουπιού ήταν ικανό να σχηματίσει κρυσπήγματα, επιβεβαιώνοντας τις παρατηρήσεις των [Goff et al. \(1999\)](#) και [Tanaka et al. \(1998\)](#). Επιπλέον, υδροκολλοειδή με ικανότητα σχηματισμού πηγμάτων, όπως ζελατίνη και η κ-καρραγενάνη δεν παρουσίασαν καμία ιδιαίτερη συμπεριφορά κατά τους διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης, τουλάχιστον στα συστήματα τα οποία στερούνταν πρωτεΐνης (Σχήμα 4.8). Οι ίδιοι ερευνητές, μελετώντας την κρυσπροστατευτική συμπεριφορά υδροκολλοειδών με ικανότητα σχηματισμού πηγματος παρουσία πρωτεΐνης π.χ. ζελατίνη, κ-καρραγενάνη, διαπίστωσαν ότι η κρυσπροστατευτική τους συμπεριφορά δεν βελτιώνεται απαραίτητα αλλά εξαρτάται περισσότερο από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σχηματιζόμενου πηγματος (Σχήμα 4.9). Ειδικότερα, η κ-καρραγενάνη, το κόμμα χαρουπιού και η CMC εμφάνισαν ικανότητα σχηματισμού πηγμάτων, τα οποία βελτίωσαν την κρυσπροστατευτική τους δράση, λόγω ελαττώσης των ορίων της δυναμικής ανάπτυξης των παγοκρυσταλλων. Οι έρευνες των [Regand & Goff](#) επιβεβαίωσαν τα συμπεράσματα των [Blond \(1988\)](#) και [Muhr & Blanshard \(1986\)](#) ότι η δημιουργία σταθερών και πολύ συνεκτικών πηγμάτων δεν αποτελεί προϋπόθεση για την κρυσπροστατευτική δράση ενός υδροκολλοειδούς με ικανότητα σχηματισμού κρυσπηγμάτων.

Πράγματι, οι [Regand & Goff](#) εξετάζοντας τη συμπεριφορά της ζελατίνης, η οποία εμφάνισε έντονη ικανότητα σχηματισμού ισχυρών πηγμάτων παρουσία πρωτεΐνης, διαπίστωσαν ότι ο ρυθμός αύξησης μεγέθους των παγοκρυσταλλων αυξήθηκε στα μίγματα ζελατίνης-σακχαρόζης-πρωτεΐνης παρά το σχηματισμό κρυσπήγματος, το οποίο διατηρείτο και μετά την πλήρη τήξη των παγοκρυσταλλων (όπως στην περίπτωση του κόμματος χαρουπιού). Οι ερευνητές απέδωσαν τη δράση αυτή στα ιξωδοελαστικά χαρακτηριστικά του πηγματος. Το πήγμα της ζελατίνης χαρακτηρίζεται ως σκληρό και εύθρυπτο, ενώ ο παράγοντας ελαστικότητας G' είναι χαμηλότερος από εκείνον στην περίπτωση των κρυσπηγμάτων του κόμματος χαρουπιού.



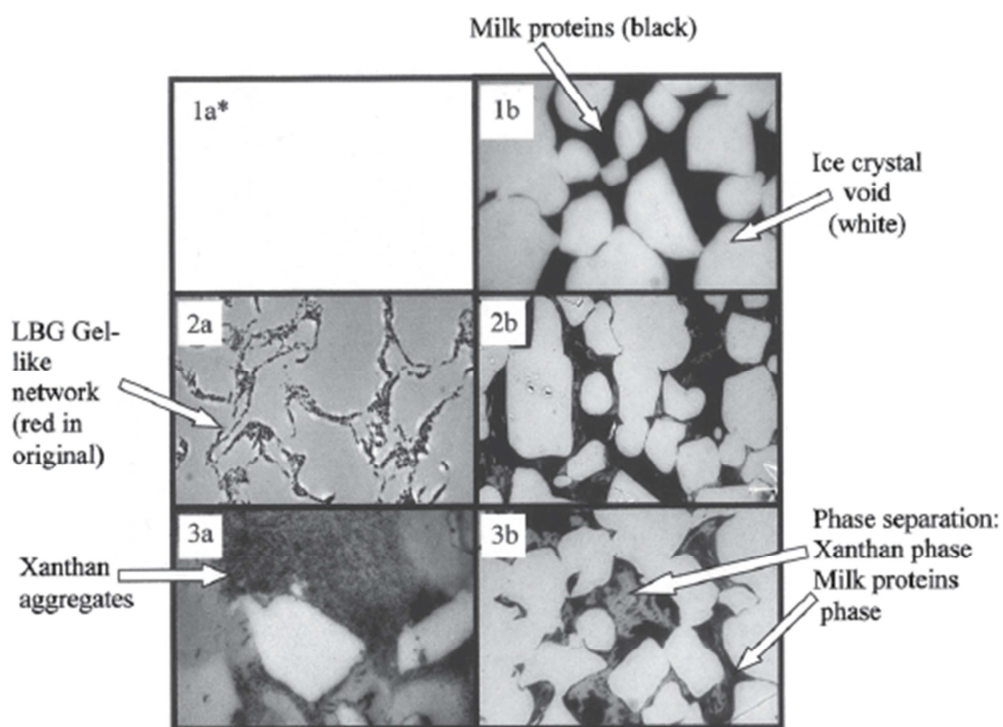
Σχήμα 4.9: Μελέτη της ικανότητας διαφόρων υδροκολλοειδών να σχηματίζουν κρυσπήγματα σε υδατικά συστήματα σακχαρόζης - πρωτεΐνης που υποβάλλονται σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης. 1=control, 2 = κόμμα χαρουπιού, 3 = ξανθάνη, 4 = CMC, 5 = ζελατίνη, 6 = κ-καρραγενάνη, 7 = αλγινικό νάτριο ([Regand & Goff 2003](#))

Έτσι οι σχηματιζόμενοι παγοκρυσταλλοί ασκούν πίεση στο πήγμα, με αποτέλεσμα οι μεγαλύτεροι να το διατρύπουν, προκαλώντας συναίρεση, και κατά συνέπεια αύξηση της κινητικότητας των μορίων του νερού στη μικροπεριοχή που περιβάλλει τους παγοκρυσταλλούς. Οι [Patmore et al. \(2003\)](#) διαπίστωσαν ότι η ιξωδοελαστική συμπεριφορά των συστημάτων κόμμα χαρουπιού - σακχαρόζης, η οποία γίνεται πιο έντονη παρουσία

πρωτεΐνης, συμβάλλει στον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης λόγω στερικών παρεμποδίσεων των μορίων του νερού στη μικροπεριοχή που περιβάλλει τους παγοκρύσταλλους και στην αύξηση της ικανότητας δημιουργίας σύνθετων πολυσακχαριτικών και πρωτεϊνικών αλύσεων οι οποίες μεταβάλλουν τη μοριακή κινητικότητα του νερού στη φάση ορού.

δ) Η θερμοδυναμική ασυμβατότητα πρωτεϊνών - πολυσακχαριτών

Ο Tolstoguzov σε μία σειρά από εκτενείς έρευνες διαπίστωσε ότι οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες σε κοινά υδατικά συστήματα παρουσιάζουν τάση διαχωρισμού φάσεων, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των μικροπεριοχών που τα περιέχουν (Tolstoguzov, 1991; Tolstoguzov, 2006). Η αύξηση της συγκέντρωσης της φάσης που είναι πλούσια σε πολυσακχαρίτη είναι καθοριστικής σημασίας για συστήματα τροφίμων όπως είναι τα γαλακτώματα, αφού καθορίζει αφενός τη σταθερότητά τους και αφετέρου τη λειτουργικότητα των βιοπολυμερών. Όπως αναφέρθηκε, ο διαχωρισμός φάσεων είναι ένα φαινόμενο θερμοδυναμικής φύσης και η έκτασή του εξαρτάται από το είδος των βιοπολυμερών π.χ. οι γαλακτομαννάνες και οι πηκτίνες ευνοούν περισσότερο το διαχωρισμό φάσεων σε σχέση π.χ. με την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη.



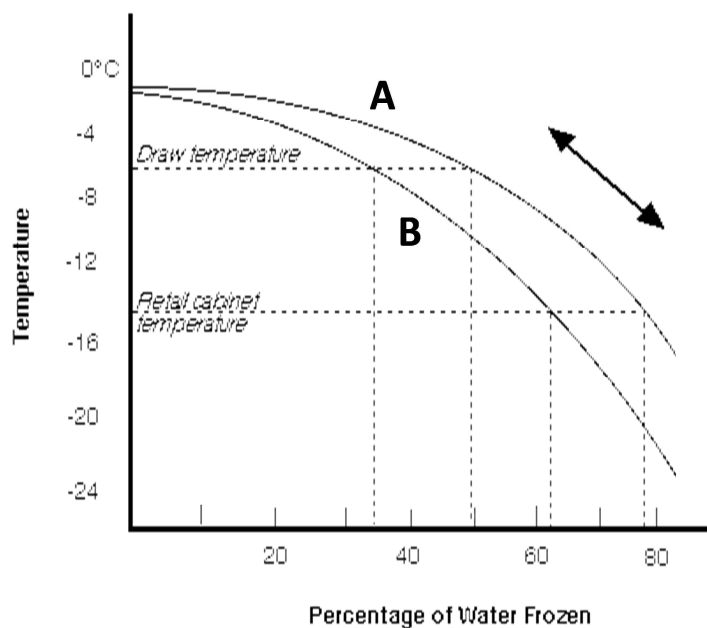
Σχήμα 4.10: Ο διαχωρισμός φάσεων λόγω της ασυμβατότητας των πολυσακχαριτών με τις πρωτεΐνες οδηγεί σε κρυοπροστατευτική δράση η οποία μπορεί να συνδέεται είτε με ενίσχυση της ιξωδοελαστικότητας των κρυσταλλών (2a και 2b) ή με αύξηση της συγκέντρωσης των μικροπεριοχών που περιέχουν τα επιμέρους συστατικά ευνοώντας τα φαινόμενα στερεοχημικής παρεμπόδισης των μορίων νερού (3a και 3b) (Regand & Goff 2002)

Στην περίπτωση των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος, η αύξηση της συγκέντρωσης της πλούσιας σε πολυσακχαρίτη φάση επιτυγχάνεται όχι μόνο λόγω διαχωρισμού φάσεων, αλλά και λόγω συμπύκνωσης, εξαιτίας της κατάψυξης του νερού της φάσης ορού. Έτσι ο βαθμός αλληλοσύνδεσης των μορίων του πολυσακχαρίτη αυξάνει ραγδαία, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται: α) ενίσχυση της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς στην περίπτωση των βιοπολυμερών που έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν κρυστάλλους και β) μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού στη φάση ορού στην περίπτωση των βιοπολυμερών που δεν σχηματίζουν κρυστάλλους. Έτσι και στην περίπτωση του μηχανισμού της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας πολυσακχαριτών - πρωτεϊνών, η κρυοπροστατευτική δράση συνδέεται με φαινόμενα στερικής παρεμπόδισης και συγκράτησης υγρασίας. Οι Regand

& Goff (2003) ανέφεραν τη βελτίωση της κρυοπροστατευτικής δράσης των υδροκολλοειδών σε υδατικά συστήματα παρουσία πρωτεΐνης. Για την περίπτωση των υδροκολλοειδών με ικανότητα σχηματισμού κρυσταλλών, οι ερευνητές απέδωσαν την κρυοπροστατευτική δράση σε ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κρυσταλλών έναντι της συναίρεσης, γεγονός που παρεμποδίζει την απώλεια κρυσταλλώσιμης υγρασίας από το πήγμα προς τη φάση ορού. Επιπλέον, στην περίπτωση της ξανθάνης, η παρουσία των πρωτεϊνικών μορίων οδηγεί σε διαχωρισμό φάσεων εντός της φάσης ορού, γεγονός που επιφέρει σημαντική αύξηση του μικροϊξώδους και των φαινομένων στερεοχημικής παρεμπόδισης των μορίων του νερού (Σχήμα 4.10).

4.3 ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ

Οι γλυκαντικές ύλες αποτελούν καθοριστικής σημασίας υλικά για την ολική αποδοχή των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος εξαιτίας της άμεσης σύνδεσής τους με τη γλυκύτητα αλλά και την ένταση και τον τρόπο απελευθέρωσης των αρωματικών παραγόντων (Marshall et al., 2003; Guinard et al., 1997). Ωστόσο, η χρήση γλυκαντικών υλών με υψηλή γλυκαντική ισχύ δεν είναι πάντοτε η απαραίτητη προϋπόθεση για το σχεδιασμό και την παραγωγή των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος. Αυτό συμβαίνει γιατί οι γλυκαντικές ύλες είναι τα πρωταρχικής σημασίας υλικά τα οποία έχουν άμεση επίδραση στα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων παγωτού (ταπείνωση σημείου πήξης - FPD, θερμοκρασία σημείου υαλώδους μετάπτωσης T_g , θερμοκρασία έναρξης τήξης - T_m/T_g' , ενθαλπία τήξης πάγου). Έτσι το είδος και η αναλογία των γλυκαντικών υλών είναι ο παράγοντας που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις καμπύλες κατάψυξης του παγωτού και κατά συνέπεια τη μοριακή κινητικότητα του μη κρυσταλλωμένου νερού από τη φάση ορού προς τη διεπιφάνεια των παγοκρυστάλλων (Hartel, 2001).



Σχήμα 4.11: Καμπύλες κατάψυξης δύο δειγμάτων παγωτού (A και B) με διαφορετικές γλυκαντικές ύλες. Το δείγμα A περιέχει γλυκαντικές ύλες υψηλού μοριακού βάρους. Για δεδομένη θερμοκρασία αποθήκευσης το δείγμα A χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε κρυσταλλωμένο νερό, υψηλότερη συνοχή και σκληρότητα και μεγαλύτερη αντίσταση έναντι της ανακρυστάλλωσης εξαιτίας του χαμηλού ποσοστού μη κρυσταλλωμένου νερού που είναι διαθέσιμο για τα φαινόμενα διάχυσης από τη φάση ορού προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων. (Marshall et al., 2003)

Ανάλογα με το μοριακό βάρος, το βαθμό πολυμερισμού, το βαθμό διακλάδωσης, το ισοδύναμο δεξτρόζης, τη γλυκαντική ισχύ και τα φυσιολογικά - διατροφικά χαρακτηριστικά τους, οι γλυκαντικές ύλες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες: α) γλυκαντικές ύλες με ισχυρή κρυσταλλοπροστατευτική δράση (οι οποίες προκαλούν σημαντική ανύψωση των θερμοκρασιών T_g , T_m και T_f ή εναλλακτικά εμφανίζουν έντονη αλληλεπίδραση με τα βιοπολυμερή της φάσης ορού), β) γλυκαντικές ύλες με ενδιάμεση ή ήπια κρυσταλλοπροστατευτική δράση (οι οποίες επηρεάζουν σε μικρότερο βαθμό τις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού), και γ) γλυκαντικές ύλες χωρίς ή με αναποτελεσματική κρυσταλλοπροστατευτική δράση (οι οποίες δεν επηρεάζουν ή επιδρούν αρνητικά στις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού).

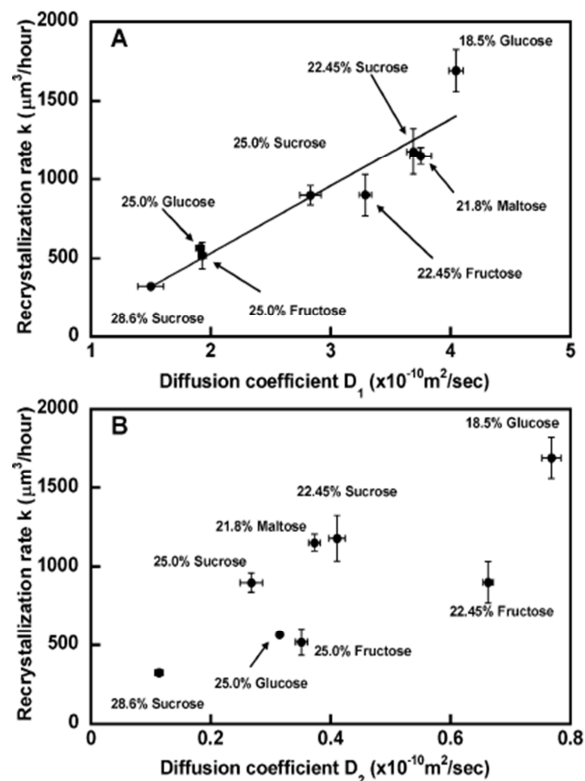
Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν κύρια γλυκαντικά υλικά με χαμηλή γλυκαντική ισχύ, χαμηλό ισοδύναμο δεξτρόζης, υψηλό βαθμό πολυμερισμού και διακλάδωσης και υψηλό μοριακό βάρος όπως π.χ. αμυλοσιρόπια με $DE < 28$, μαλτοδεξτρίνες ($2 < DE < 21$), και ολιγοσακχαρίτες (π.χ. ινουλίνη, ολιγοφρουκτόζη). Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν συστατικά με σημαντική γλυκαντική ισχύ, ενδιάμεσο μοριακό βάρος (συγκρίσιμο με εκείνο της σακχαρόζης), ενδιάμεσο ισοδύναμο δεξτρόζης ($60 > DE > 28$), σημαντική περιεκτικότητα σε δεξτρίνες, τρισακχαρίτες, και μαλτόζη, χαμηλό βαθμό πολυμερισμού και διακλάδωσης, όπως αμυλοσιρόπια, μαλτοσίροπα (αμυλοσιρόπια με υψηλή περιεκτικότητα σε μαλτόζη), τρεχαλόζη, μελάσσα, συμπυκνώματα χυμών φρούτων, πολυόλες υψηλού μοριακού βάρους (π.χ. μαλτιτόλη). Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν υλικά με υψηλή γλυκαντική ισχύ, χαμηλό μοριακό βάρος και υψηλό ισοδύναμο δεξτρόζης ($DE > 60$) όπως π.χ. φρουκτόζη, πολυόλες, αμυλοσιρόπια υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη κ.α.

Η προσθήκη γλυκαντικών υλών που οδηγούν σε ανύψωση των θερμικών χαρακτηριστικών (μακρομοριακές γλυκαντικές ύλες) οδηγεί σε: α) εντονότερη πυρηνογένεση, β) υψηλότερους ρυθμούς κρυστάλλωσης κατά τη διεργασία κατάψυξης-απόδρασης του μίγματος, γ) μικρότερο μέσο αρχικό μέγεθος παγοκρυστάλλων και μεγαλύτερη ομοιογένεια της κατανομής μεγέθους των παγοκρυστάλλων, δ) ταχεία κρυστάλλωση του νερού και ελεγχόμενη αύξηση μεγέθους - ωρίμανση των παγοκρυστάλλων κατά το στάδιο της σκλήρυνσης, ε) αυξημένη θερμοδυναμική σταθερότητα των παγοκρυστάλλων κατά την αποθήκευση λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης της φάσης ορού, ως αποτέλεσμα της συμπύκνωσης λόγω κατάψυξης, και στ) μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού στη φάση ορού και αύξηση της στερεοχημικής παρεμπόδισης των μορίων του, φαινόμενα που οδηγούν σε μειωμένο δυναμικό διάχυσης στις περιπτώσεις διακύμανσης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του παγωτού (Hartel, 2001; Marshall et al., 2003; Abblet et al., 2002; Hagiwara et al., 2006; Herrera et al., 2007; Miller-Livney & Hartel, 1997).

Αντίθετα, η χρήση μικρομοριακών γλυκαντικών υλών οδηγεί σε αυξημένο ποσοστό μη κρυσταλλωμένης υγρασίας, ακόμη και στις χαμηλές θερμοκρασίες σκλήρυνσης - αποθήκευσης (-35°C), σε χαμηλή συγκέντρωση της φάσης ορού και αυξημένη μοριακή κινητικότητα του νερού σ' αυτήν, καθώς επίσης και σε αυξημένη διαθεσιμότητα των μορίων του νερού στα φαινόμενα διάχυσης υγρασίας από τη φάση ορού προς τους παγοκρυστάλλους τα οποία ελέγχονται από την κινητική Arrhenius (Kasapis, 2006; Roos, 2007; Hartel, 2001). Η επίδραση του είδους των γλυκαντικών υλών απεικονίζεται στο σχήμα 4.11.

Εκτός από την άμεση επίδραση των γλυκαντικών υλών στις καμπύλες κατάψυξης των δειγμάτων παγωτού, σημαντική για την εκτίμηση της παρεχόμενης κρυσταλλοπροστασίας από αυτές είναι και η επίδρασή τους στην υαλώδη μετάπτωση. Δεδομένου ότι η μετάπτωση στην υαλώδη κατάσταση συνεπάγεται την ελαχιστοποίηση των φαινομένων διάχυσης νερού από την κύρια υδατική φάση προς τη διεπιφάνεια των παγοκρυστάλλων (μετάβαση από κινητική Arrhenius σε WLF) και τη μεγιστοποίηση των στερεοχημικών παρεμποδίσσεων των μορίων του νερού, η ικανότητα ενός γλυκαντικού να επιφέρει ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης

συνεπάγεται αύξηση της θερμοδυναμικής σταθερότητας και χρόνου ζωής του προϊόντος (Kasapis 2006). Έτσι σε αντίθεση με τα υδροκολλοειδή, η επίδραση των γλυκαντικών υλών στις θερμικές ιδιότητες και η συσχέτιση των τελευταίων με το ρυθμό ανακρυστάλλωσης είναι ουσιώδης (Abblet et al., 2002).



Σχήμα 4.12: Συσχέτιση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης k (όπως προσδιορίζεται από τη σχέση Gibbs-Thomson) με τους συντελεστές διάχυσης των μορίων νερού D_1 και διαλυμένης ουσίας D_2 σε πρότυπα υδατικά συστήματα σακχάρων. Ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό και με πιο ξεκάθαρο τρόπο από τα φαινόμενα διάχυσης της υγρασίας. (Hagiwara et al., 2006)

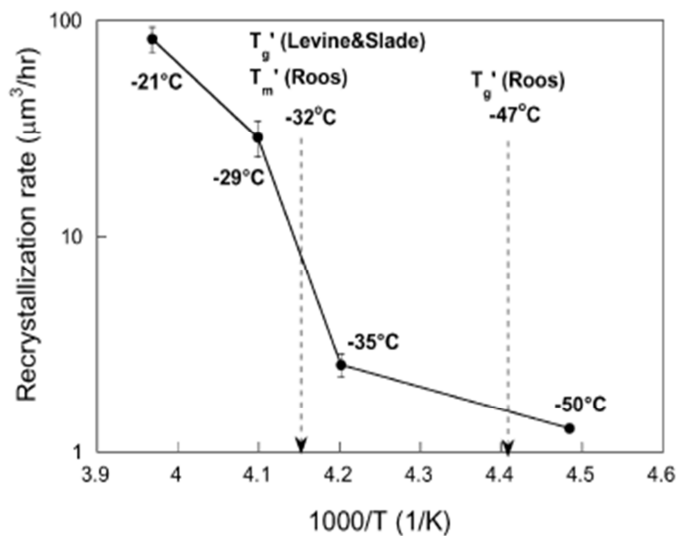
Σε μία σειρά από μελέτες η ερευνητική ομάδα του Hartel, διερεύνησε την επίδραση διαφόρων γλυκαντικών υλών στις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού και τη συσχέτισή τους με το ρυθμό ανακρυστάλλωσης. Οι Hagiwara & Hartel (1996) και Miller-Livney & Hartel (1997) παρατήρησαν ότι ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης συστημάτων παγωτού με διαφορετικά είδη αμυλοσιροπίων (HFCS 60DE, 42DE και 20DE) μεταβάλλεται ανάλογα με το ισοδύναμο δεξτρόζης, και αντιστρόφως ανάλογα με τις θερμοκρασίες σημείου πήξης και σημείου υαλώδους μετάπτωσης. Οι Smith & Schwartzberg (1985) ανέφεραν ότι ο ρυθμός αύξησης μεγέθους των παγοκρυστάλλων μειώνεται σημαντικά κατά την προσθήκη γλυκαντικών υλών που έχουν την ικανότητα να ελαττώνουν το δυναμικό διάχυσης των μορίων τους από τη διεπιφάνεια που περιβάλλει τους παγοκρυστάλλους. Η μείωση αυτή είναι πιο έντονη στα μακρομοριακά γλυκαντικά μέσα. Οι Sutton et al. (1996) και Martin et al. (1999) σε διαλύματα φρουκτόζης και σακχαρόζης αντίστοιχα διαπίστωσαν ότι η μείωση ή αύξηση του μοριακού βάρους των σακχάρων επιφέρει μεταβολές στις τιμές του T_g και κατά προέκταση αλλαγές στη μοριακή κινητικότητα του νερού και το μικροίξωδες της υδατικής φάσης, παράγοντες που ελέγχουν την ανακρυστάλλωση. Οι Ablett et al. (2002), χρησιμοποιώντας την τεχνική NMR, παρατήρησαν σε υδατικά συστήματα μονοσακχαριτών, δισακχαριτών και τρισακχαριτών ότι η αύξηση του μοριακού βάρους συνοδεύεται με μείωση του ρυθμού της ωρίμανσης Ostwald των παγοκρυστάλλων, ενώ η μοριακή κινητικότητα του νερού αλλά και

των διαλυμένων συστατικών εξαρτάται σημαντικά από την προσέγγιση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης ($T - T_g$).

Σε επόμενες έρευνες οι [Hagiwara et al. \(2005\)](#) και [Hagiwara et al. \(2006\)](#) επιχείρησαν να εξηγήσουν τη σχέση μεταξύ του ρυθμού ισόθερμης ανακρυστάλλωσης και της μοριακής κινητικότητας του νερού σε πρότυπα υδατικά συστήματα σακχάρων. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης (μηχανισμός ωρίμανσης Ostwald) επηρεάζεται σε σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό από το συντελεστή διάχυσης των μορίων νερού και σε μικρότερο βαθμό από το συντελεστή διάχυσης των μορίων της διαλυμένης ουσίας (σάκχαρο). Επιπλέον, ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης επηρεάζεται σημαντικά από το είδος και τη συγκέντρωση του σακχάρου, και τη θερμοκρασία της ισόθερμης ανακρυστάλλωσης (Σχήμα 4.12).

Ο ρυθμός ανακρυστάλλωσης πρότυπων υδατικών διαλυμάτων σακχάρων στα οποία η θερμοκρασία ελαττώθηκε από τους -21 έως τους -60°C δεν παρουσιάζει μία απλή γραμμική εξάρτηση, όπως υποδεικνύεται από την κινητική Arrhenius, αλλά παρουσιάζει μία σύνθετη εξάρτηση (Σχήμα 4.13), η οποία διακρίνεται σε τρεις κύριες θερμοκρασιακές ζώνες: α) $T > T_m$ έλεγχος της ανακρυστάλλωσης μέσω κινητικής Arrhenius - υψηλός ρυθμός ανακρυστάλλωσης, β) $T_m < T < T_g$ έλεγχος της ανακρυστάλλωσης μέσω κινητικής WLF και γ) $T < T_g$ μετάπτωση στην υαλώδη μετάπτωση - ελαχιστοποίηση φαινομένων διάχυσης.

Οι [Roos & Karel \(1991\)](#) παρατήρησαν σημαντική ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης σε πρότυπα διαλύματα μαλτοδεξτρινών και μαλτόζης η οποία ήταν ανάλογη του μοριακού τους βάρους. Επιπλέον, οι ίδιοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η αύξηση του βαθμού πολυμερισμού (μείωση του DE) των μαλτοδεξτρινών επιφέρει σημαντική θερμική υστέρηση στις καμπύλες τήξης των δειγμάτων με εφαρμογή της μεθόδου DSC. Οι θερμικές υστερήσεις ήταν σημαντικά μικρότερες στα διαλύματα σακχάρων ([Roos & Karel 1991b](#)). Οι [Whelan et al., \(2008\)](#) χρησιμοποίησαν την τρεχαλόζη ως μερικό ή ολικό υποκατάστατο της σακχαρόζης σε πρότυπα συστήματα παγωτού. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η προσθήκη της τρεχαλόζης οδηγεί σε ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης, η οποία στην περίπτωση της ολικής υποκατάστασης της σακχαρόζης σε 3.6°C . Σε παρόμοια συμπεράσματα σε πρότυπα υδατικά συστήματα τρεχαλόζης - σακχάρων κατέληξαν και άλλοι ερευνητές οι οποίοι ανέφεραν και σημαντική μείωση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης ([Tadanori et al., 2002](#); [Wang et al., 1998](#); [Pyne et al., 2003](#)). Οι [Whelan et al., \(2008\)](#) ωστόσο, δεν παρατήρησαν αξιόλογη επίδραση της τρεχαλόζης στο ρυθμό ανακρυστάλλωσης, αλλά και τη θερμοκρασία του σημείου πήξης (μεταβολές της τάξης των 0.2°C σε σχέση με τη σακχαρόζη).



Σχήμα 4.13: Εξάρτηση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης με τη θερμοκρασία. Η σχέση του ρυθμού ανακρυστάλλωσης - θερμοκρασίας δεν ακολουθεί γραμμική πορεία γεγονός που υποδηλώνει σημαντική απόκλιση από την κινητική Arrhenius. Η ενδιάμεση ζώνη ($T_m - T_g$) αποτελεί ζώνη ελέγχου της ανακρυστάλλωσης μέσω κινητικής Williams-Landel- Ferry ([Hagiwara et al., 2005](#))

Οι [Herrera et al., \(2007\)](#) διερεύνησαν την αλληλεπίδραση του είδους των υδροκολλοειδών και των σακχάρων (σακχαρόζη - φρουκτόζη) σε υδατικά συστήματα με χρήση ρεολογικών μετρήσεων, διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης, και NMR. Ο σχηματισμός πηγμάτων φάνηκε να επηρεάζει τη μοριακή κινητικότητα του νερού, εξαιτίας της μείωσης του δυναμικού διάχυσης υγρασίας από την κύρια υδατική φάση προς την διεπιφάνεια των παγοκρύσταλλων και της διάχυσης των μορίων σακχάρων από τη διεπιφάνεια των παγοκρύσταλλων προς την κύρια υδατική φάση. Η παρατήρηση αυτή μπορεί να είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα στα συστήματα όπου υπάρχει υψηλή συγκέντρωση σε βιοπολυμερή.

4.4 ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Η χρήση των διαιτητικών ινών (π.χ. ολιγοσακχαρίτες, β-γλυκάνη, αδιάλυτες διαιτητικές ίνες) ως κρυοπροστατευτικά μέσα είναι σχετικά πρόσφατη. Κατά κύριο λόγο τα βασικότερα υλικά πρεβιοτικής δράσης τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ως μέσα κρυοπροστασίας και βελτίωσης της υφής είναι οι ολιγοσακχαρίτες όπως η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη ([Schaller-Povolny 1999](#); [Akin et al., 2007](#); [Akalin et al., 2008](#); [Soukoulis et al., 2009](#)). Οι [Shaller-Povolny & Smith \(2001\)](#) μελέτησαν την επίδραση της ινουλίνης σε σχέση με το αμυλοσιρόπιο 42DE στη θερμοκρασία του σημείου πήξης μιγμάτων παγωτού με χρήση ωσώμετρου. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης του αμυλοσιροπίου από την ινουλίνη επέφερε σημαντική ανύψωση του σημείου πήξης, γεγονός που υποδεικνύει τη δυνητική κρυοπροστατευτική δράση της. Σε πρόσφατη μελέτη, οι [Soukoulis et al. \(2009\)](#) μελέτησαν την επίδραση διαιτητικών ινών με διαφορετική περιεκτικότητα σε διαλυτές και αδιάλυτες ίνες. Στη συγκεκριμένη μελέτη, διαπιστώθηκε ότι το σύνολο των διαιτητικών ινών επέφερε σημαντική ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης, και του σημείου έναρξης τήξης. Η ανύψωση ήταν πιο σημαντική στην περίπτωση των διαλυτών ινών (ινουλίνη), ενώ οι αποκλίσεις ήταν μικρότερες για τις αδιάλυτες ίνες (ίνες βρώμης, σιταριού και μήλου). Επιπλέον, στην περίπτωση των ινών μήλου οι αποκλίσεις στις τιμές των θερμοφυσικών ιδιοτήτων ήταν πιο έντονες παρουσία πρωτεϊνών. Διαφορετικοί μηχανισμοί αποδόθηκαν στην παρεχόμενη κρυοπροστατευτική δράση. Η ινουλίνη φάνηκε να επιδρά άμεσα στη συγκέντρωση της φάσης ορού και τη μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού κατά τη συμπύκνωση της υδατικής φάσης λόγω κατάψυξης. Οι ίνες βρώμης και σιταριού επηρέασαν τις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού μέσω της ικανότητάς τους να δημιουργούν πλέγματα κυτταρινικής - ημικυτταρινικής προέλευσης και της συγκράτησης υγρασίας, η οποία επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης της υδατικής φάσης. Οι ίνες μήλου, εκτός από την ικανότητά τους να απορροφούν σημαντικά ποσά υγρασίας συμπυκνώνοντας τη φάση ορού, βρέθηκε ότι ελέγχουν τα φαινόμενα μετάπτωσης στην υαλώδη κατάσταση μέσω του μηχανισμού της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας της πηκτίνης με τις πρωτεΐνες γάλακτος.

4.5 ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Οι πρωτεΐνες, αν και χρησιμοποιούνται στο παγωτό ως μέσα ελέγχου των φαινομένων που σχετίζονται με την ελάττωση της επιφανειακής τάσης στις διεπιφάνειες λιπιδίων - φάσης ορού, και αέρα - υδατικής φάσης, επηρεάζουν σημαντικά και τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης ([Zhang & Goff 2004](#); [Goff 1997](#); [Flores & Goff 1999a,b](#); [Alvarez et al., 2005](#)). Η ικανότητα των πρωτεϊνών να ελέγχουν τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης οφείλεται σε τρεις διαφορετικές δράσεις: α) την άμεση επίδραση των πρωτεϊνών, αλλά και των συστατικών που περιέχονται στα πρωτεϊνικά υλικά (λακτόζη, ανόργανα άλατα) στη θερμοκρασία του σημείου πήξης και τη θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης, β) στην αύξηση της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας με τα πολυσακχαριτικά συστατικά και γ) στην ικανότητα αλληλεπίδρασής τους με τα βιοπολυμερή που βρίσκονται στη φάση ορού.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα πρωτεϊνικά υλικά που προέρχονται από το γάλα παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις όχι μόνο ως προς το λόγο καζεϊνών:πρωτεϊνών ορού, αλλά και ως προς την περιεκτικότητα σε λακτόζη και ανόργανα άλατα τα οποία είναι συστατικά που επιδρούν άμεσα στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού (Marshall et al., 2003). Κατά συνέπεια υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε λακτόζη (π.χ. σκόνη ορού γάλακτος, σκόνη γάλακτος) προκαλούν σημαντικές ταπεινώσεις της θερμοκρασίας του σημείου πήξης, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοδυναμικής αστάθειας του παγωτού. Η υψηλή υγροσκοπικότητα της λακτόζης συνεπάγεται την απορρόφηση υγρασίας, με αποτέλεσμα την ελάττωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης λόγω πλαστικοποίησης (Joupilla & Roos, 1994). Οι Baer & Keating (1987) παρατήρησαν σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του σημείου πήξης κατά την προσθήκη ορού γάλακτος λόγω της λακτόζης, ενώ τα τελικά προϊόντα παρουσιάζουν και μεγαλύτερη ευπάθεια στην ανάπτυξη αμμόδους υφής λόγω υπερσυμπύκνωσης της λακτόζης (Smith et al., 1984). Η κατεργασία των μιγμάτων παγωτού με β-γαλακτοζιδάση, προκειμένου να υδρολυθεί μερικώς η λακτόζη, μπορεί να συμβάλλει στην ανάσχεση των φαινόμενων ανάπτυξης αμμόδους υφής κατά την προσθήκη προϊόντων ορού γάλακτος, χωρίς να μεταβάλλονται αξιόλογα τα θερμικά χαρακτηριστικά τους (Martinez & Speckman, 1988). Σε γενικές γραμμές η σκόνη γάλακτος μπορεί να υποκαθίσταται σε ποσοστό 15-25% από προϊόντα ορού γάλακτος, ώστε να αποφεύγονται οι αρνητικές επιδράσεις των τελευταίων στα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης του πάγου και της λακτόζης (Udabage & Augustin, 2003). Οι Alvarez et al., (2005) χρησιμοποίησαν υπερσυμπυκνώματα γάλακτος (MPC) ως υποκατάστατα της σκόνης γάλακτος σε δείγματα παγωτού και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η προσθήκη των MPC συμβάλλει σε ήπια ανύψωση του σημείου πήξης των μιγμάτων και την αύξηση του θερμοκρασιακού εύρους της καμπύλης τήξης των δειγμάτων παγωτού (με εφαρμογή της τεχνικής DSC), γεγονός που υποδεικνύει την αύξηση της ομοιογένειας του μεγέθους των παγοκρύσταλλων.

Η θερμοδυναμική ασυμβατότητα των πρωτεϊνών με τα πολυσακχαριτικά συστατικά, όπως αναφέρθηκε, αποτελεί βασικό μηχανισμό ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης στα συστήματα παγωτού. Ο διαχωρισμός φάσεων και η αυξημένη τάση αλληλεπίδρασης των βιοπολυμερών σε περιορισμένες ζώνες (θερμοδυναμικά καθορισμένες) της κύριας υδατικής φάσης επιφέρει σημαντικές μεταβολές στη θερμοχωρητικότητα ΔC_p των μιγμάτων παγωτού. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η παρουσία των πρωτεϊνών συνεπάγεται την ανύψωση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης και τη μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού στη φάση ορού (Rogers et al., 2006). Οι Flores & Goff (1999a) ανέφεραν ότι η προσθήκη πρωτεϊνών γάλακτος συμβάλλει στην ανάπτυξη μικρού μεγέθους παγοκρύσταλλων. Σε επόμενες μελέτες τους οι Regand & Goff (2002), Regand & Goff (2003) απέδωσαν την κρυστοπροστατευτική δράση των πρωτεϊνών γάλακτος στην ικανότητά τους να αλληλεπιδρούν με τα βιοπολυμερή, θέτοντας έναν στερεοχημικό φραγμό που δρά παρεμποδιστικά στην κινητικότητα των μορίων νερού και τη διαθεσιμότητά τους στα φαινόμενα διάχυσης από την κύρια υδατική φάση προς τη διεπιφάνεια που περιβάλλει τους παγοκρύσταλλους. Επιπλέον, στην περίπτωση των συστημάτων που έχουν σταθεροποιηθεί από υλικά που έχουν ικανότητα σχηματισμού κρυστο-πηγμάτων, η παρουσία των πρωτεϊνών συμβάλλει στην αύξηση της αποτελεσματικότητας ελέγχου της ανακρυστάλλωσης λόγω ενίσχυσης του ιξωδοελαστικού τους χαρακτήρα (Patmore et al., 2003).

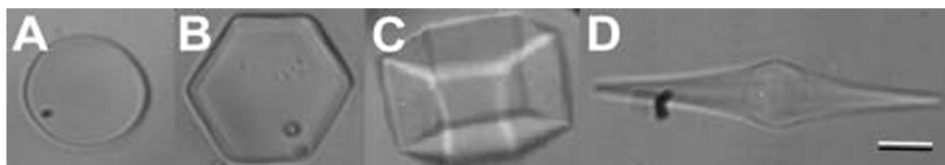
Σε πρόσφατη μελέτη ο Metwally (2007) χρησιμοποίησε το ένζυμο τρανσγλουταμινάση (TGase) ως μέσο βελτίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του παγωτού. Η ικανότητα του ενζύμου να αυξάνει το βαθμό πολυμερισμού των πρωτεϊνών, να μεταβάλλει την ικανότητα ενυδάτωσης, τη διαλυτότητα, τις γαλακτωματοποιητικές και ρεολογικές ιδιότητες των πρωτεϊνών γάλακτος συνέβαλαν στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων παγωτού (υφή, χαρακτηριστικά τήξης, ρεολογία). Η προσθήκη της τρανσγλουταμινάσης επέφερε ωστόσο σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του σημείου

πήξης, γεγονός το οποίο μπορεί να αποτελεί παράγοντα αυξημένης θερμοδυναμικής αστάθειας των συγκεκριμένων δειγμάτων κατά την αποθήκευση. Παρόλα αυτά οι επιδράσεις του ενζύμου στις θερμοφυσικές ιδιότητες των μιγμάτων και τη μικροδομή των δειγμάτων παγωτού δεν έχουν επαρκώς μελετηθεί.

4.6 ΑΝΤΙΨΥΚΤΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ

Οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες (Anti Freeze Proteins) πρωτοανακαλύφθηκαν σε είδη ψαριών του Ανταρκτικού, όπου παρατηρήθηκε ότι η παρουσία τους στο πλάσμα του αίματός τους επέφερε σημαντική μείωση του σημείου πήξης σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες από εκείνες του θαλασσινού νερού (De Vries et al., 1970). Σε μεταγενέστερες μελέτες αποδείχθηκε ότι η παρατηρούμενη μείωση του σημείου πήξης προκαλείται από την αλληλεπίδραση των πρωτεϊνών με την επιφάνεια των παγοκρύσταλλων που οδηγεί σε θερμική υστέρηση. Οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες μπορεί να επηρεάζουν εκτός από το σημείο πήξης, και τα φαινόμενα πυρηνογένεσης και ανακρυστάλλωσης.

Οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: α) αντιψυκτικές γλυκοπρωτεΐνες (AFGPs) και β) πρωτεΐνες θερμικής υστέρησης (THPs). Σε υδατικά συστήματα παρουσία αντιψυκτικών πρωτεϊνών, η ανάπτυξη των παγοκρύσταλλων οδηγεί σε σχηματισμό πολυγωνικών ή βελονοειδών διαμορφώσεων. Η δράση αυτή αποδίδεται στην ικανότητα των αντιψυκτικών πρωτεϊνών να αλληλεπιδρούν απευθείας με το σχηματιζόμενους παγοκρύσταλλους. Οι Raymond & De Vries (1977) πρότειναν ότι οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες κάτω από μία προκαθορισμένη θερμοκρασία προσροφώνται στην επιφάνεια των παγοκρύσταλλων και παρεμποδίζουν τη μοριακή διάχυση νερού από την υδατική φάση προς την επιφάνεια αυτών. Γενικά, η ανάπτυξη των παγοκρύσταλλων σε διαλύματα χαμηλής συγκέντρωσης σε αντιψυκτικές πρωτεΐνες γίνεται κατά τη διεύθυνση του α-άξονα (Σχήμα 4.14), με αποτέλεσμα το σχηματισμό πολυγωνικών στερεοχημικών διαμορφώσεων. Αντίθετα, η αύξηση της συγκέντρωσης ή της ενεργότητας των αντιψυκτικών πρωτεϊνών ευνοεί την ανάπτυξη των παγοκρύσταλλων προς τη διεύθυνση του γ-άξονα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό βελονοειδών διαμορφώσεων (Stressmann et al., 2004; Griffith & Ewart 1995).



Σχήμα 4.14: Η ανάπτυξη των παγοκρύσταλλων σε υδατικά συστήματα χωρίς αντιψυκτικές πρωτεΐνες (A), με αντιψυκτικές πρωτεΐνες χαμηλής ενεργότητας (B), ενδιάμεσης ενεργότητας (C), και υψηλής ενεργότητας (D). Η ανάπτυξη των παγοκρύσταλλων σε διαλύματα χαμηλής συγκέντρωσης σε αντιψυκτικές πρωτεΐνες γίνεται κατά τον α-άξονα (B,C) ενώ σε πυκνά υδατικά διαλύματα αντιψυκτικών πρωτεϊνών η ανάπτυξη γίνεται κατά τον γ-άξονα D (Stressman et al., 2004)

α) Θερμική υστέρηση

Η θερμική υστέρηση αναφέρεται στη μείωση της φαινόμενης θερμοκρασίας του σημείου πήξης του διαλύματος, χωρίς όμως να επηρεάζεται η θερμοκρασία τήξης. Η δράση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες μπορούν να ταπεινώνουν έως και 200-300 φορές περισσότερο από ότι οι ιδανικές διαλυμένες ουσίες. Το φαινόμενο της θερμικής υστέρησης είναι πιο έντονο σε υψηλές συγκεντρώσεις και εξηγεί τη βιωσιμότητα ενός μεγάλου αριθμού φυτικών και ζωικών οργανισμών που εκτίθενται σε ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας (π.χ. πολική βρώμη, πολικά ψάρια).

β) Αλληλεπίδραση με τους πυρήνες κρυστάλλωσης

Οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες έχει αποδειχθεί ότι παρεμποδίζουν τη δραστηριότητα των πυρηνοποιητικών βακτηρίων σε θερμοκρασίες υψηλότερες από εκείνες της υπέρψυξης. Η δράση αυτή αποδίδεται στην ικανότητά τους να μιμούνται τη δομική διαμόρφωση των παγοκρυστάλλων και να λειτουργούν ως έμβρυα. Έτσι η προσθήκη των αντιψυκτικών πρωτεϊνών ευνοεί την επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών κατάψυξης και της ταχείας πυρηνογένεσης. Η προηγούμενη δράση σχετίζεται με την έντονη πυρηνογένεση του εξωκυτταρικού υγρού στα βιολογικά συστήματα, ώστε να αποφεύγεται η διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης (Pearce, 2001).

γ) Παρεμπόδιση της ανακρυστάλλωσης

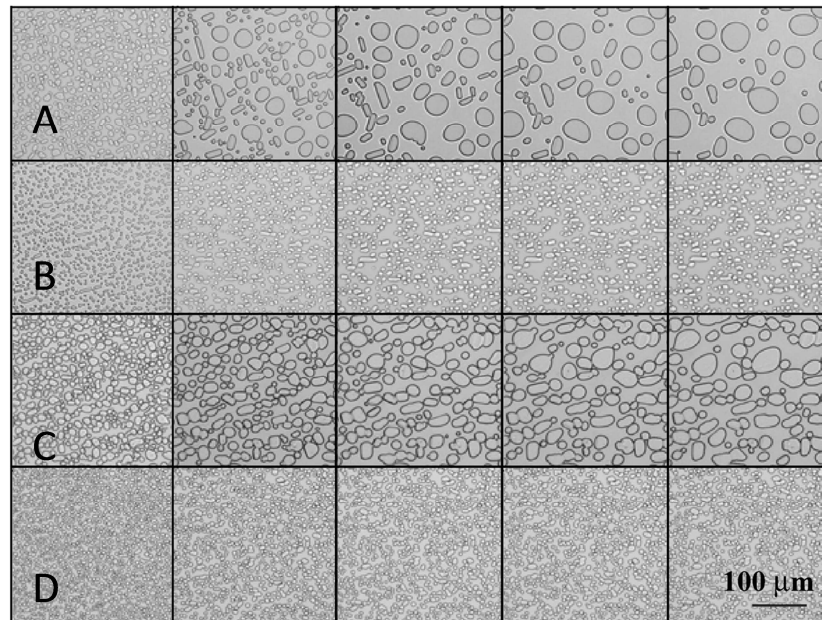
Ο έλεγχος των φαινομένων ανακρυστάλλωσης βασίζεται σε μία ειδική κατηγορία αντιψυκτικών πρωτεϊνών γνωστών ως πρωτεΐνες δόμησης των παγοκρυστάλλων ISP (Ice Structuring Proteins). Οι ISP είναι εξωκυτταρικές, αποπλαστικές πρωτεΐνες οι οποίες βρίσκονται στο ξύλημα (xylem), τα κυτταρικά τοιχώματα και την ενδοκυτταρική περιοχή διαφόρων φυτικών οργανισμών (Marentes et al., 1993). Η δράση των ISP έχει παρατηρηθεί σε μία μεγάλη ομάδα φυτών που αναπτύσσονται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (Urrutia et al., 1992).

4.6.1 Η χρήση των αντιψυκτικών πρωτεϊνών στο παγωτό

Η εφαρμογή των αντιψυκτικών πρωτεϊνών σε συστήματα κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος είναι σχετικά πρόσφατη. Η βασική έρευνα της δυναμικής χρήσης αντιψυκτικών πρωτεϊνών στο παγωτό, ως παράγοντες ελέγχου της ανακρυστάλλωσης, ξεκίνησε σχεδόν ταυτόχρονα από τις εταιρείες Unilever (Byass, 1998; Lillford, 1998) και Pillsbury (Clemmings et al., 1997). Οι Clemmings et al. 1997 πρόσθεσαν αντιψυκτικές πρωτεΐνες τύπου I (Ala-Ala-Thr ακολουθία με μόρια γαλακτοζυλο-N-ακετυλογαλακτοζαμίνης συνδεδεμένα με τα μόρια θρεονίνης) σε συστήματα παγωτού και παγωτού-γιαούρτι σε αναλογίες 1-100ppm χωρίς την εφαρμογή σταδίου σκλήρυνσης. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι τα συστήματα που περιείχαν αντιψυκτικές πρωτεΐνες χαρακτηρίζονταν από σημαντικά μικρότερο μέγεθος παγοκρυστάλλων και χαμηλότερη αντικειμενική σκληρότητα, παρά την απουσία του σταδίου της σκλήρυνσης. Παρόμοια, οι Lillford 1998 και Darling et al. (2001) πρόσθεσαν κρυσπρωτεΐνες τύπου III (W097/02343) προερχόμενες από ψάρια της Αρκτικής και κρυσπρωτεΐνες τύπου III (PCT/EP97/03634) προερχόμενες από πολικό σιτάρι ή πολικό γρασίδι, σε συστήματα παγωτού πριν τη διεργασία κατάψυξης, είτε απευθείας ή υπό μορφή διαλύματος σε αναλογίες που κυμαίνονταν από 0.0005 έως 0.1% (w/w). Οι συγκεκριμένοι ερευνητές παρατήρησαν ότι συστήματα με ποσοστό αντιψυκτικών πρωτεϊνών 0.01 έως 0.05% (w/w) χαρακτηρίζονταν από σημαντικά μικρότερο μέγεθος παγοκρυστάλλων και ικανοποιητική αντικειμενική σκληρότητα.

Οι Regand & Goff (2005) και Regand & Goff (2006) σε σχετικές τους έρευνες απέδωσαν τους πιθανούς μηχανισμούς που περιγράφουν την κρυσπροστατευτική δράση των αντιψυκτικών πρωτεϊνών σε πρότυπα υδατικά συστήματα σακχαρόζης και παγωτού, και υπό διαφορετικές συνθήκες κατάψυξης (στατική και δυναμική). Σύμφωνα με τους Regand & Goff (2006) η χρήση αντιψυκτικών πρωτεϊνών από πολικό γρασίδι, συνέβαλε σε σημαντική μείωση του αρχικού μεγέθους των παγοκρυστάλλων (τουλάχιστον κατά 44%) και την παρεμπόδιση των φαινομένων ανακρυστάλλωσης μετά από 16 διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης. Η ενεργότητα των ISP, αν και ελαττώθηκε κατά τη θερμική κατεργασία των μιγμάτων παγωτού (παστερίωση), εντούτοις η κρυσπροστατευτική τους δράση παρέμεινε ικανοποιητικά υψηλή, ώστε να ελέγχουν αποτελεσματικά τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης (Σχήμα 4.15). Ο μηχανισμός που περιγράφει τη δράση των ISP στο παγωτό, όπως και στα συστήματα σακχαρόζης, είναι παρόμοιος με εκείνον που αφορά τη δράση των συμβατικών υλικών που χρησιμοποιούνται στο παγωτό (π.χ. πρωτεΐνες, αμυλοσιρόπια, πολυσακχαρίτες) δηλαδή: α) μετανάστευση μέσω διάχυσης των μορίων των ISP από την κύρια υδατική φάση προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων, β) προσανατολισμός και αναδιαμόρφωση στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων και γ) διάχυση στην περιβάλλουσα μικροπεριοχή της επιφάνειας των

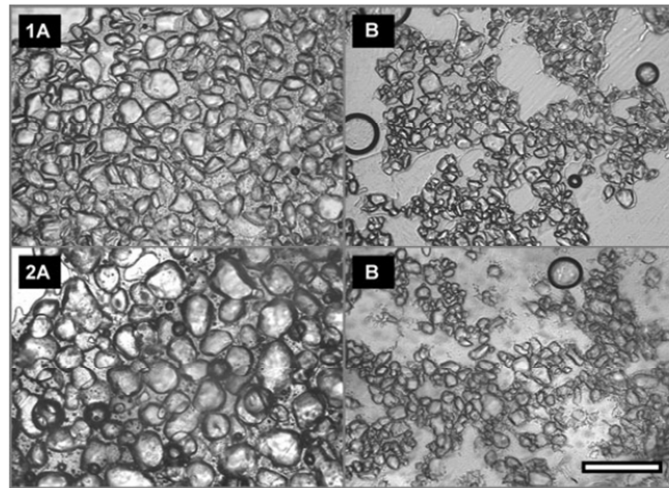
παγοκρυστάλλων, ώστε να ενσωματωθούν σε συναθροίσεις αυτών (Regand & Goff, 2005). Παράγοντες όπως σάκχαρα, πρωτεΐνες γάλακτος, πολυσακχαρίτες και άλατα, λόγω της παρουσίας τους στη μικροπεριοχή που περιβάλλει τους παγοκρυστάλλους, πρέπει να διαχυθούν προς την κύρια υδατική φάση, προκειμένου να προσροφηθούν οι ISP στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων, γεγονός που αιτιολογεί τη μείωση της ενεργότητας των ISP στα σύνθετα συστήματα παγωτού σε σχέση με τα απλούστερα υδατικά συστήματα σακχαρόζης (Regand & Goff, 2006).



Σχήμα 4.15: Η επίδραση των ISPs (B,D) στα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης στους -5°C σε πρότυπα διαλύματα σακχαρόζης (A,B) και συστήματα παγωτού (C,D). (Regand & Goff 2006)

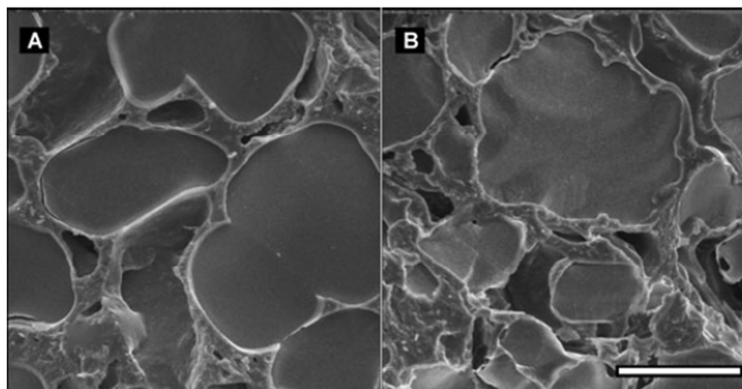
4.7 ΜΟΝΟΣΤΕΑΤΙΚΗ ΠΡΟΠΥΛΕΝΟΓΛΥΚΟΛΗ (PGMS)

Το 2004 η Danisco εισήγαγε την PGMS στη βιομηχανία παγωτού ως ένα καινοτομικό προϊόν για τον έλεγχο της ανακρυστάλλωσης. Η PGMS είναι ευρέως γνωστή ως γαλακτωματοποιητής σε μίγματα κέικ και προϊόντα γαρνιρίσματος, λόγω της ικανότητάς της να απορροφά νερό στο κρυσταλλικό δικτυωτό της πλέγμα, μέσω ενυδάτωσης των υδροξυλομάδων, σχηματίζοντας ένα α-κρυσταλλικό πήγμα (Krog & Sparso, 2004). Στη σχετική πατέντα, οι Barford et al., (2005) ανέφεραν ότι η PGMS μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ αποτελεσματικό παράγοντα ελέγχου των φαινομένων ανακρυστάλλωσης κατά την αποθήκευση και τη διανομή του παγωτού. Σε πρόσφατη μελέτη, οι Aleong et al., (2008) διευρένησαν την κρυοπροστατευτική δράση της PGMS σε πρότυπα συστήματα σακχαρόζης και μίγματα παγωτού. Ειδικότερα, η PGMS επέφερε σημαντική μείωση του μέσου μεγέθους τόσο των αρχικών παγοκρυστάλλων όσο και των παγοκρυστάλλων μετά την υποβολή των δειγμάτων σε διαδοχικούς κύκλους τήξης - κατάψυξης (Σχήμα 4.16). Είναι χαρακτηριστικό ότι η προσθήκη της PGMS οδήγησε σε μείωση του μέσου μεγέθους των παγοκρυστάλλων κατά 50% σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν συμβατικούς σταθεροποιητές π.χ. κόμμι γκουάρ. Επιπλέον, η PGMS φάνηκε να ελέγχει την ανάπτυξη μεγέθους των παγοκρυστάλλων και κατά το στάδιο της κατάψυξης του παγωτού, όπου η επίδραση των συμβατικών σταθεροποιητών είναι πολύ περιορισμένη (Caldwell et al., 1992) ή ανύπαρκτη (Sutton & Wilcox 1998a, 1998b). Η χρήση της PGMS μπορεί να συμβάλλει στην αποτελεσματική βελτίωση της υφής του παγωτού, επιτυγχάνοντας κατανομή μεγέθους παγοκρυστάλλων παρόμοια με εκείνες της κατάψυξης μέσω εκβολής χαμηλής θερμοκρασίας (Barford et al., 2005).



Σχήμα 4.16: Η επίδραση της μονοστεατικής προπυλενογλυκόλης (PGMS) στα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης, σε πρότυπα συστήματα σακχαρόζης και παγωτού (A,B). 1 = χωρίς PGMS, 2 = με PGMS (Aleong et al., 2008)

Οι [Aleong et al. \(2008\)](#) χρησιμοποίησαν την τεχνική της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης χαμηλής θερμοκρασίας (LT-SEM), προκειμένου να μελετήσουν τους μηχανισμούς που δυνητικά περιγράφουν τη δράση της PGMS σε συστήματα παγωτού. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η προσθήκη της PGMS μεταβάλλει σημαντικά τη μορφολογία των παγοκρυστάλλων (Σχήμα 4.17). Οι παγοκρυστάλλοι στα συστήματα που περιείχαν PGMS εμφάνισαν ένα έντονα ανάγλυφο και ακανόνιστο σχήμα, σε αντίθεση με τους ομοιόμορφους και λείους παγοκρυστάλλους στην περίπτωση των δειγμάτων χωρίς PGMS. Άλλη μία σημαντική παρατήρηση είναι ότι οι παγοκρυστάλλοι στα συστήματα με PGMS εμφάνισαν αλληλεπίδραση με τα αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια, γεγονός που προέρχεται από τη λιπόφιλη φύση της PGMS.



Σχήμα 4.17: Μικροδομή των συστημάτων παγωτού, απουσία (A) και παρουσία PGMS (B) με χρήση LT-SEM (Aleong et al., 2008)

Σύμφωνα με τους [Aleong et al. \(2008\)](#) η ιδιαίτερη δράση της PGMS μπορεί να υποδηλώνει τη δημιουργία κρυστάλλων από PGMS στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων που επιφέρει αύξηση της ακτίνας καμπυλότητας και της ελεύθερης ενέργειας της επιφάνειας των παγοκρυστάλλων. Ένας τέτοιος μηχανισμός θα μπορούσε να συνδέεται με το μοντέλο Gibbs-Thomson που περιγράφει τη δράση των αντιψυκτικών πρωτεϊνών. Οι [Doxy et al. \(2007\)](#) ανέφεραν ότι η κρυοπροστατευτική δράση των αντιψυκτικών πρωτεϊνών βασίζεται στη σύνδεσή τους με τους παγοκρυστάλλους σε θέσεις όπου υπάρχουν άπολες ομάδες συμβατές με τον περιβάλλοντα διαλύτη (π.χ. μεθυλομάδες). Πράγματι, η PGMS διαθέτει μεθυλομάδες στις οποίες έχει αποδειχθεί ότι τα μόρια του νερού μπορούν να συνδεθούν και συνεπώς η

κρυστάλλωση της PGMS στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων μπορεί να επέλθει (Wierzbicki et al., 2007).

Μία ακόμη βασική παρατήρηση είναι ότι η επιβολή διάτμησης κατά τη διάρκεια της κατάψυξης των μιγμάτων παγωτού είναι απαραίτητη, προκειμένου η λιπόφιλη PGMS να κατανέμεται επαρκώς στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων. Αυτό σημαίνει ότι η κρυοπροστατευτική δράση της PGMS μπορεί να ελαττώνεται σημαντικά στην περίπτωση όπου το παγωτό παράγεται μέσω στατικής διεργασίας κατάψυξης, ενώ να ενισχύεται σημαντικά στην περίπτωση της εκβολής χαμηλής θερμοκρασίας.

4.8 Η ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΖΥΜΩΜΕΝΩΝ ΕΠΙΔΟΡΠΙΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Τα κατεψυγμένα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος (προβιοτικό παγωτό, παγωτό-γιαούρτι) αποτελούν συστήματα τα οποία υπόκεινται σε δύο διαφορετικές δυναμικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της παραγωγής και αποθήκευσής τους: α) θερμοδυναμικές μεταβολές που επιφέρουν αποσταθεροποίηση της κολλοειδούς τους δομής (αύξηση μεγέθους των φυσαλίδων αέρα και των παγοκρυστάλλων) και β) μεταβολές στη συγκέντρωση (cfu/g) της ευεργετικής μικροχλωρίδας (βιώσιμα οξυγαλακτικά και προβιοτικά βακτήρια). Η θερμοδυναμική αστάθεια των κατεψυγμένων ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος εκδηλώνεται και αντιμετωπίζεται σε γενικές γραμμές με τρόπο ανάλογο με εκείνον στο παγωτό. Κατά συνέπεια η αποσταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα λαμβάνει χώρα μέσω της διαφοράς του δυναμικού πίεσης Laplace, ενώ η ανακρυστάλλωση επέρχεται μέσω μηχανισμών που ήδη έχουν αναφερθεί (ωρίμανση Ostwald, ισομαζική άμβλυση, τήξη και επανακρυστάλλωση) ανάλογα με το παραγωγικό στάδιο και τις συνθήκες (Marshall et al., 2003; Goff & Hartel, 2006; Tamime & Robinson, 2007). Οι πρακτικές ελέγχου της ανακρυστάλλωσης που εφαρμόζονται στην παραγωγή του παγωτού μπορούν να εφαρμοστούν και στην περίπτωση των κατεψυγμένων ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος: επιλογή των κατάλληλων κρυοπροστατευτικών υλικών, έλεγχος της διεργασίας κατάψυξης - απόδαρσης, έλεγχος της σκλήρυνσης, αποφυγή της διακυμάνσης θερμοκρασίας, προσέγγιση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης κατά τη σκλήρυνση και αποθήκευση (Marshall et al., 2003). Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στο γεγονός ότι η αποτελεσματικότητα ορισμένων κρυοπροστατευτικών υλικών μπορεί να επηρεάζεται σημαντικά στα κατεψυγμένα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος λόγω του όξινου περιβάλλοντος αλλά και της διαφοροποίησης στα κολλοειδή τους χαρακτηριστικά - μεγαλύτερο μέγεθος φυσαλίδων αέρα και παγοκρυστάλλων, μεγαλύτερο ποσοστό αποσταθεροποιημένων λιποσφαιρίων και παρουσία πρωτεϊνικών πηγμάτων ή αλύσων (Inoue et al., 1998). Έτσι, για παράδειγμα το αλγινικό νάτριο το οποίο αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό μέσο ελέγχου της ανακρυστάλλωσης στα συστήματα παγωτού είναι αναποτελεσματικό στον έλεγχο της αύξησης μεγέθους των παγοκρυστάλλων στο παγωτό-γιαούρτι και το προβιοτικό παγωτό (Soukoulis & Tzia, 2008; Soukoulis et al., 2008; Soukoulis et al., 2009). Επιπλέον, η υψηλότερη συγκέντρωση των οξινισμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος επιφέρει εντονότερη ταπείνωση της θερμοκρασίας του σημείου πήξης και του σημείου υαλώδους μετάπτωσης, με αποτέλεσμα την αυξημένη θερμοδυναμική αστάθεια των συγκεκριμένων προϊόντων. Η συνεργιστική χρήση μακρομοριακών και μικρομοριακών γλυκαντικών υλών ή η προσθήκη υδροκολλοειδών σε υψηλότερα ποσοστά αντισταθμίζει το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Αν και οι νομοθετικοί κανονισμοί που αφορούν στο απαιτούμενο φορτίο των ευεργετικών βακτηρίων που περιέχουν τα κατεψυγμένα ζυμωμένα επιδόρπια γάλακτος είναι γενικά ελλιπείς, η διατήρηση του αρχικού βακτηριακού φορτίου τους αποτελεί σημαντική παράμετρο ποιότητάς τους, αφού συνδέεται άμεσα με την παρεχόμενη λειτουργική και φυσιολογική δράση και τη διατροφική αξία τους. Για το λόγο αυτό, ένας σημαντικός αριθμός ερευνών έχει διεξαχθεί την τελευταία δεκαετία για τον προσδιορισμό των ενδογενών και

εξωγενών παραγόντων που επηρεάζουν σημαντικά τη βιωσιμότητα της μικροχλωρίδας (Tamime & Robinson, 2007).

4.8.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων

4.8.1.1 Ενδογενείς παράγοντες

Οι κυριότεροι ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων αφορούν τη σύσταση (είδος συστατικών, περιεκτικότητα σε σάκχαρα και ολικά στερεά), το pH, το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα, η παρουσία άλλων βακτηρίων και η παραγωγή υπεροξειδίου του υδρογόνου κατά τη μεταβολική δραστηριότητα των βακτηρίων (Haynes & Playne, 2002; Akin, 2005; Akalin et al., 2008; Alamprese et al., 2002; Cruz et al., 2009). Η σύσταση επηρεάζει τη βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων μέσω της ικανότητας ορισμένων συστατικών να δρουν ενεργοποιητικά (π.χ. φρουκτοολιγοσακχαρίτες) ή παρεμποδιστικά (π.χ. σάκχαρα) λόγω αύξησης της ωσμωτικής πίεσης που οδηγεί σε ρήξη της κυτταρικής μεμβράνης των βακτηριακών κυττάρων (Tamime & Robinson, 2007; Akin, 2005; Akin et al., 2007; Alamprese et al., 2002). Επιπλέον, η χρήση χρωστικών και αρωματικών ουσιών, πρόσθετων τροφίμων, και σκευασμάτων φρούτων (π.χ. χυμοί και συμπυκνώματα) μπορεί να αποτελέσουν παράγοντες παρεμπόδισης της ανάπτυξης των ευεργετικών βακτηρίων (Vinderola et al., 2002; Favaro-Trindade et al., 2007; Favaro-Trindade et al., 2006).

Η χρήση της ινουλίνης και της ολιγοφρουκτόζης έχει βρεθεί ότι συμβάλλει στην αύξηση της βιωσιμότητας των προβιοτικών και οξυγαλακτικών βακτηρίων στο παγωτό. Οι Akin (2005) και Akin et al. (2007) ανέφεραν ότι η προσθήκη της ινουλίνης συνέβαλε στη διατήρηση της βιωσιμότητας των βακτηρίων *Streptococcus ssp. thermophilus* και *Lactobacillus ssp. delbrueckii*, ενώ αύξησε τη συγκέντρωση των βιώσιμων προβιοτικών βακτηρίων των στελεχών *Lactobacillus acidophilus* και *Bifidobacterium lactis*. Οι ίδιοι ερευνητές ανέφεραν ότι απουσία ινουλίνης η βιωσιμότητα των βακτηρίων ήταν μέγιστη στα δείγματα με 18% σακχαρόζη. Οι Akalin et al. (2008) ανέφεραν ότι η προσθήκη φρουκτοολιγοσακχαριτών επηρεάζει σημαντικά τη βιωσιμότητα των προβιοτικών βακτηρίων (*Lactobacillus acidophilus* La-5, *Bifidobacterium animalis* Bb-12), με την ολιγοφρουκτόζη να παρουσιάζει πλεονεκτικότερη κρυοπροστατευτική δράση σε σχέση με την ινουλίνη. Οι ερευνητές συσχέτισαν την επίδραση της ολιγοφρουκτόζης στη βιωσιμότητα των προβιοτικών βακτηρίων στα χαμηλότερα overrun των συγκεκριμένων δειγμάτων και κατά συνέπεια στη μικρότερη τοξική επίδραση του οξυγόνου στα μικροαερόφιλα - αναερόβια προβιοτικά βακτήρια. Οι Alamprese et al. (2002) και Alamprese et al. (2005) μελέτησαν τη βιωσιμότητα των στελεχών *L. johnsonii* και *L. rhamnosus* GG, αντίστοιχα σε παγωτά βιοτεχνικού τύπου (retail-manufactured) με διαφορετικά ποσοστά λιπαρών και σακχάρων. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η βιωσιμότητα των στελεχών παρέμεινε υψηλή ανεξάρτητα από τη σύσταση, ενώ η προσθήκη των προβιοτικών στελεχών δεν επηρέασε αρνητικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων (overrun, ιξώδες, σκληρότητα, χαρακτηριστικά τήξης). Οι Basygit et al. (2006) κατέγραψαν τη μεταβολή της συγκέντρωσης των βιώσιμων προβιοτικών βακτηρίων σε δείγματα παγωτού (*L. acidophilus*, *L. Agilis*, *L. Rhamnosus*) για χρόνο αποθήκευσης 6 μηνών, και διαπίστωσαν ότι η προσθήκη σακχαρόζης ή ασπαρτάμης δεν επηρεάζει σημαντικά τη βιωσιμότητά τους. Οι Ozdemir et al. (2005) παρατήρησαν ότι η βιωσιμότητα των οξυγαλακτικών βακτηρίων ήταν υψηλότερη σε δείγματα με σοκολάτα και χυμό πορτοκαλιού, σε σχέση με μη αρωματισμένα. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφεραν και οι Lopez et al. (1998), Speck & Hansen (1983), αν και σε γενικές γραμμές οι συγκεντρώσεις των βιώσιμων οξυγαλακτικών βακτηρίων στα συγκεκριμένα προϊόντα ήταν σημαντικά υψηλότερες. Οι Favaro-Trindade et al. (2007), Favaro-Trindade et al. (2006) σε σχετικές τους έρευνες με την επίδραση της προσθήκης παρασκευασμάτων φρούτων με χαμηλές τιμές pH σε προβιοτικό παγωτό διαπίστωσαν ότι η μείωση της τιμής του pH αποτελεί σημαντικό παράγοντα παρεμπόδισης της ανάπτυξης των προβιοτικών βακτηρίων, με αποτέλεσμα τη μείωση της βιωσιμότητάς τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

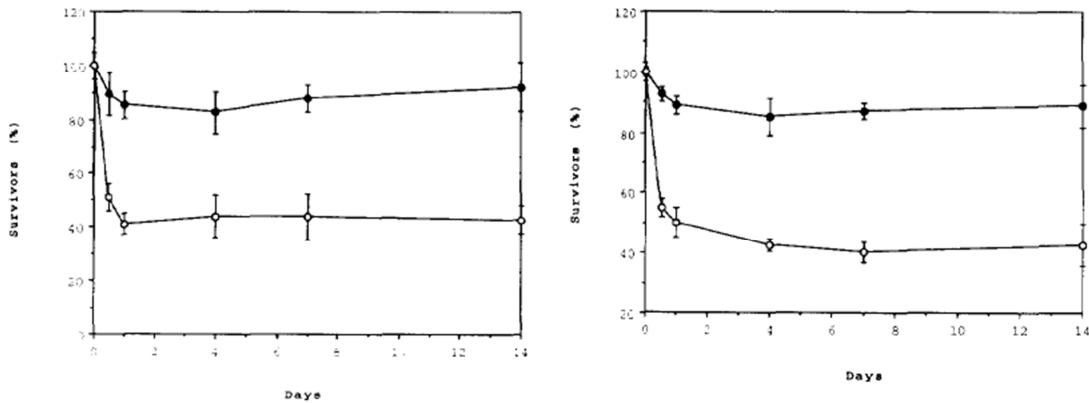
Το pH και κατ' επέκταση η οξύτητα των κατεψυγμένων ζυμωμένων προϊόντων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων. Έτσι, τα οξυγαλακτικά βακτήρια και ο *Lactobacillus acidophilus* είναι αρκετά ανθεκτικά σε όξινα περιβάλλοντα (pH<5.0-5.1), σε αντίθεση με τα υπόλοιπα προβιοτικά βακτήρια. Υπάρχει σημαντικός αριθμός ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί για τη μελέτη της επίδρασης του pH στη βιωσιμότητα των βακτηρίων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι [Hekmat & McMahon \(1992\)](#) ανέφεραν ότι για εύρος pH 5-6, τα στελέχη του *B. bifidum* ήταν πιο ανθεκτικά σε σχέση με το *L. acidophilus*, ενώ τα δείγματα με pH 5.5 χαρακτηρίστηκαν ως τα πλέον αποδεκτά από τους καταναλωτές. Η ανθεκτικότητα των βακτηρίων εξαρτάται άμεσα από το είδος των στελεχών, αν και τα *bifidobacteria* είναι στις περισσότερες περιπτώσεις πιο ευαίσθητα στις μεταβολές του pH ([Godward et al., 2000](#)). Αν και ο μηχανισμός με τον οποίο το pH ελέγχει τη βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων δεν είναι απόλυτα κατανοητός, μελέτες έχουν δείξει ότι η συμμετοχή του ενζύμου H⁺-ATP-αση είναι σημαντική ([Lankaputhra et al., 2007](#)). Η προσθήκη κατά το στάδιο της ζύμωσης των μιγμάτων παγωτού αλάτων (ανθρακικά ή κιτρικά) σε αποδεκτές συγκεντρώσεις βρέθηκε ότι μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στον περιορισμό της παρεμποδιστικής επίδρασης του pH στην ανάπτυξη των ευεργετικών βακτηρίων ([Zhao & Li, 2008](#)). Επιπλέον, τα συγκεκριμένα άλατα μπορούν να συμβάλλουν στη σταθεροποίηση της κolloειδούς δομής και την ενίσχυση του αρώματος των τελικών προϊόντων ([Modler, 1984; Clementi, 1991](#)). Οι [Lopez et al. \(1998\)](#) και [Davidson et al. \(2000\)](#) παρατήρησαν πολύ μικρές αποκλίσεις από το αρχικό φορτίο βιώσιμων οξυγαλακτικών βακτηρίων σε παγωτό-γιαούρτι με διαφορετικές τιμές pH.

Το overrun είναι βασικός παράγοντας που επιδρά άμεσα στη βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων. Η συγκέντρωση οξυγόνου έχει ελάχιστες επιπτώσεις στη βιωσιμότητα των οξυγαλακτικών βακτηρίων, αλλά πολύ έντονες στα προβιοτικά ([Haynes & Playne, 2002](#)). Η πλειονότητα των προβιοτικών βακτηρίων είναι μικροαερόφιλα ή αναερόβια, με αποτέλεσμα να είναι μη ικανά να συνθέτουν ATP μέσω της αναπνοής ([Talwakar & Kailasapathy, 2004](#)). Οι μικροοργανισμοί αυτοί δεν διαθέτουν σύστημα δέσμευσης του οξυγόνου, με αποτέλεσμα την αδυναμία αναγωγής του οξυγόνου προς υπεροξειδίο του υδρογόνου. Η συσσώρευση τοξικών μεταβολιτών του οξυγόνου (O₂⁻, OH⁻, H₂O₂) στο εσωτερικό των κυττάρων των βακτηρίων οδηγεί τελικά στο θάνατο των προβιοτικών βακτηρίων ([Champagne et al., 2005; Talwakar & Kailasapathy, 2004; Vasiljevic & Shah, 2008](#)). Επιπλέον, τα υψηλά επίπεδα του H₂O₂ στον ενδοκυτταρικό χώρο προκαλούν την απενεργοποίηση του ενζύμου φρουκτο-6-φωσφοφρουκτοκετολάση το οποίο συμμετέχει στο μεταβολισμό των σακχάρων ([Shah, 1997; Roy, 2005](#)). Η επιλογή ανθεκτικών στελεχών προβιοτικών βακτηρίων είναι σχεδόν απαραίτητη κατά την παραγωγή βιομηχανικού παγωτού το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές overrun (60 - 100%). Εναλλακτικά, τεχνικές όπως ο μικροεγκλεισμός μπορούν να προσφέρουν έναν φυσικό φραγμό στην τοξική επίδραση του οξυγόνου στη βιωσιμότητα των προβιοτικών βακτηρίων ([Krasaekoopt et al., 2003; Homayouni et al., 2008](#)). Επιπλέον, η αλληλεπίδραση των παραγόντων σύστασης αλλά και των συνθηκών του σταδίου απόδρασης μπορούν να ευνοούν ή να υποβαθμίζουν την τοξική επίδραση του οξυγόνου στη βιωσιμότητα των βακτηρίων.

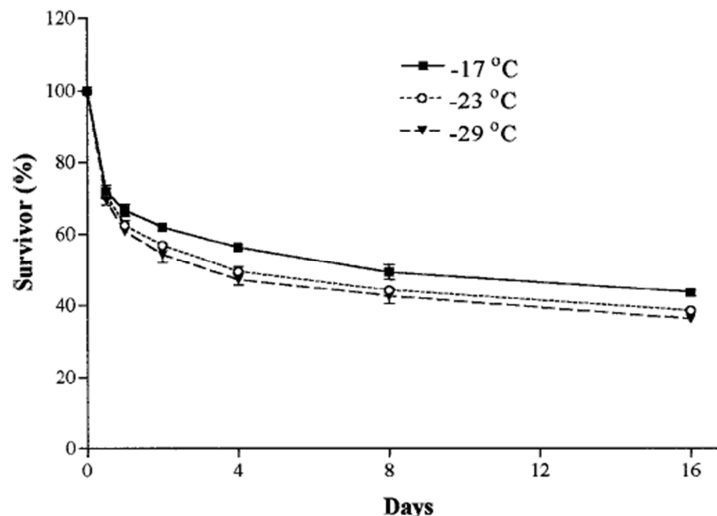
4.8.1.2 Εξωγενείς παράγοντες

Οι κυριότεροι εξωγενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των ευεργετικών βακτηρίων είναι οι συνθήκες του σταδίου κατάψυξης - απόδρασης, ο ρυθμός κατάψυξης, η θερμοκρασία αποθήκευσης, και οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια αποθήκευσης ([Cruz et al., 2009; Haynes & Playne, 2002](#)). Γενικά, το στάδιο της κατάψυξης είναι ίσως ο πρωταρχικός παράγοντας ο οποίος επιφέρει σημαντική μείωση του φορτίου των βιώσιμων ευεργετικών βακτηρίων. Οι [Sheu et al., \(1993\)](#) μελέτησαν την επίδραση της τεχνικής κατάψυξης (batch ή συνεχής) και διαπίστωσαν ότι η συνεχής κατάψυξη επιφέρει τις μικρότερες απώλειες στο ολικό φορτίο των βιώσιμων οξυγαλακτικών βακτηρίων (Σχήμα 4.18).

Μείωση του αριθμού των βιώσιμων ευεργετικών βακτηρίων κατά τη διάρκεια της κατάψυξης έχει αναφερθεί στο σύνολο των σχετικών ερευνών (Haynes & Playne, 2002; Akin, 2005; Akin et al., 2007; Akalin et al., 2008; Inoue et al., 1998; Hekmat & McMahon 1992; Hagen & Narvhus 1999; Alamprese et al., 2002; Alamprese et al., 2005; Davidson et al., 2000; Hong & Marshall 2001; Christiansen et al., 1996). Η μείωση αυτή μπορεί να φθάσει έως και το 60% και οφείλεται σε επιβολή μηχανικής καταπόνησης και ανάπτυξη υψηλών διατμητικών τάσεων που επιφέρουν τη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης των βακτηρίων (Sheu et al., 1993).

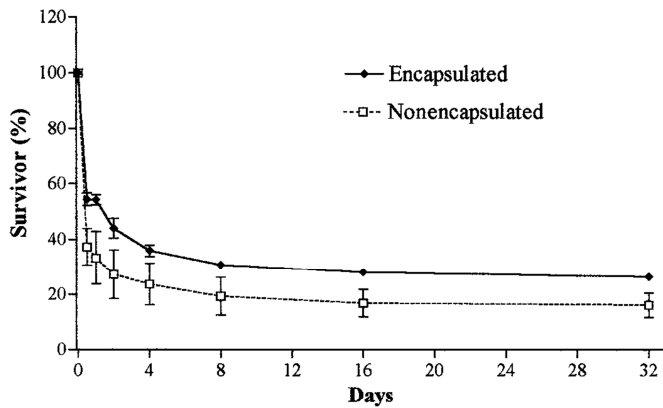


Σχήμα 4.18: Επίδραση της τεχνικής κατάψυξης στη βιωσιμότητα των οξυγαλακτικών βακτηρίων. Αριστερά κατάψυξη διαλείποντος έργου (batch) και δεξιά κατάψυξη συνεχούς έργου σε περιστροφικό καταψύκτη. Οι απώλειες σε οξυγαλακτικά βακτήρια είναι σημαντικότερες στην περίπτωση της batch κατάψυξης



Σχήμα 4.19: Επίδραση της θερμοκρασίας αποθήκευσης στη βιωσιμότητα των οξυγαλακτικών βακτηρίων

Ο ρυθμός κατάψυξης επιδρά στη βιωσιμότητα των βακτηρίων μέσω του φαινομένου της πυρηνογένεσης. Η εξασφάλιση υψηλών ρυθμών κατάψυξης ευνοεί την έντονη πυρηνογένεση τόσο στην εξωκυττάρια όσο και στην ενδοκυτταρική υδατική περιοχή, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών και μικρού μεγέθους παγοκρύσταλλων. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου ο ρυθμός κατάψυξης είναι χαμηλός, η πυρηνογένεση ευνοείται κατά κύριο λόγο στην εξωκυττάρια περιοχή, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι μεγάλου μεγέθους οι οποίοι καθώς αναπτύσσονται διαρρηγνύουν την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών. Η παρατήρηση αυτή δικαιολογεί και το γεγονός ότι η συνεχής διεργασία κατάψυξης (υψηλός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας) επηρεάζει σε μικρότερο βαθμό τη μείωση της βιωσιμότητας των βακτηρίων (Sheu et al., 1993; Gill, 2006; Laroia & Martin, 1993).



Σχήμα 4.20: Επίδραση του μικροεγκλεισμού των ευεργετικών βακτηρίων σε καψίδια πολυσακχαριτικής προέλευσης στη βιωσιμότητά τους

διακυμάνσεις θερμοκρασίας προκαλούν κατά τρόπο ανάλογο με τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης που λαμβάνουν χώρα στην κύρια κολλοειδή φάση του παγωτού, την τήξη και επανακρυστάλλωση των παγοκρυστάλλων που βρίσκονται στην εξωκυτταρική περιοχή, με αποτέλεσμα τη σταδιακή αύξηση μεγέθους των αυτών (λόγω ανακρυστάλλωσης) η οποία επιφέρει τη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης των βακτηρίων.

4.8.2 Τεχνικές βελτίωσης της βιωσιμότητας των ευεργετικών βακτηρίων

Η διατήρηση του αρχικού βακτηριακού φορτίου ή ελάττωση του ρυθμού απώλειας της βιωσιμότητας των οξυγαλακτικών και προβιοτικών βακτηρίων συνδέεται άμεσα με τη διατροφική και βιολογική αξία, αλλά και τις προδιαγραφές του τελικού προϊόντος. Η βιωσιμότητα των περιεχόμενων βακτηρίων μπορεί να βελτιωθεί με εφαρμογή της κατάλληλης τεχνικής κρυοπροστασίας:

1. *Μικροεγκλεισμός των βακτηρίων σε κάψουλες πολυσακχαριτικής προέλευσης.* Η εφαρμογή της τεχνικής έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει σημαντικά την ανθεκτικότητά τους σε συνθήκες κατάψυξης και αποθήκευσης. Η μέθοδος εμφανίζεται περισσότερο πλεονεκτική στο παγωτό-γιαούρτι πλήρους ζύμωσης (pH<4.5-4.7), και το προβιοτικό παγωτό σε σχέση με το παγωτό-γιαούρτι χαμηλής οξύτητας (pH>5.5). Το αλγινικό νάτριο και το ανθεκτικό άμυλο (resistant starch) αποτελούν τα πιο συνήθη μέσα μικροεγκλεισμού των ευεργετικών βακτηρίων (Kailasapathy & Sultana, 2003; Godward & Kailasapathy, 2003; Hong & Marshall, 2001; Homayouni et al., 2008).
2. *Χρήση κρυοπροστατευτικών υλικών.* Υλικά με κρυοπροστατευτική δράση όπως η γλυκερίνη, η γλυκόζη και μαννιτόλη έχει αποδειχθεί ότι καθιστούν τα οξυγαλακτικά βακτήρια ανθεκτικότερα έναντι της κατάψυξης (Sheu et al., 1993; Hagen & Narvhus 1999).
3. *Προσθήκη μέσων ενεργοποίησης της βακτηριακής ανάπτυξης.* Μέσα πρωτεϊνικής ή πεπτιδικής προέλευσης (κυστεΐνη ή υδρολυμένη καζεΐνη) μπορούν να προστεθούν στο παγωτό-γιαούρτι, προκειμένου να ενεργοποιήσουν την ανάπτυξη των οξυγαλακτικών και προβιοτικών βακτηρίων. Η δράση τους αποδίδεται στην ικανότητα να ελαττώνουν το οξειδοαναγωγικό δυναμικό, ευνοώντας την ανάπτυξη των αναερόβιων προβιοτικών και κατά προέκταση και των οξυγαλακτικών βακτηρίων (Ravula & Shah, 1998).
4. *Προσθήκη συμβιωτικών καλλιιεργειών προβιοτικών - οξυγαλακτικών βακτηρίων.* Επιφέρει αύξηση της ενεργότητας και αντοχής τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του προϊόντος. Επιπλέον, η συμβιωτική ανάπτυξη προβιοτικών βακτηρίων βελτιώνει τη βιωσιμότητά τους σε πολύ όξινα προϊόντα με pH<5.0. Παρόμοια, η παρουσία βακτηρίων με ικανότητα παραγωγής εξωπολυσακχαριτών (EPS) στο παγωτό-γιαούρτι έχει βρεθεί ότι αυξάνει την αντοχή των οξυγαλακτικών βακτηρίων έναντι του θερμικού σοκ (Hong & Marshall, 2001; Keব্য, 1996).

Η αποθήκευση των κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος σε υψηλές θερμοκρασίες (Σχήμα 4.19) και η αποφυγή των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, συμβάλλουν γενικά στη διατήρηση του αρχικού φορτίου των βιώσιμων βακτηρίων. Οι Hong & Marshall (2001) πρότειναν ότι η αύξηση του ποσοστού μη κρυσταλλωμένου νερού (το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία) συμβάλλει στη διατήρηση της βιωσιμότητας των βακτηρίων. Επιπλέον, οι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας των Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ. Στόχος των πειραμάτων ήταν:

- 1) Η μελέτη της δυναμικής κρυοπροστατευτικής δράσης διαφορετικών υλικών υδατανθρακικής προέλευσης (πολυσακχαρίτες, σάκχαρα, πολυόλες, διαιτητικές ίνες, εναλλακτικά σάκχαρα) σε συστήματα παγωτού και πρότυπα υδατικά συστήματα σακχαρόζης - κρυοπροστατευτικού υλικού. Για τον έλεγχο της κρυοπροστατευτικής συμπεριφοράς των υλικών, εφαρμόστηκε η τεχνική της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC), και προσδιορίστηκαν οι θερμοφυσικές ιδιότητες των πρότυπων διαλυμάτων και των μιγμάτων παγωτού (θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, ενθαλπία τήξης πάγου, ταπείνωση του σημείου πήξης, θερμοκρασιακό εύρος καμπύλης τήξης πάγου).
- 2) Η μελέτη της επίδρασης των κρυοπροστατευτικών υλικών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων παγωτού (ρεολογικές ιδιότητες, μικροδομή).
- 3) Η μελέτη της επίδρασης των κρυοπροστατευτικών υλικών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κατεψυγμένων τελικών προϊόντων (χαρακτηριστικά υψής, ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα, μικροδομή των προϊόντων, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά τήξης)
- 4) Η διερεύνηση των ομοιοτήτων των δειγμάτων βάσει της λειτουργικότητας των προστιθέμενων υλικών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους με χρήση εφαρμοσμένων στατιστικών εργαλείων πολυμεταβλητής ανάλυσης (Ανάλυση ομαδοποίησης, Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών, Ανάλυση διάκρισης)
- 5) Η κατασκευή μαθηματικών προρρητικών μοντέλων της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με βάση επιλεγμένες αντικειμενικές και οργανοληπτικές ιδιότητες με χρήση εφαρμοσμένων στατιστικών εργαλείων πολυμεταβλητής ανάλυσης (Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών, Παλινδρόμηση Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων - PLSR).
- 6) Η μελέτη της επίδρασης επιλεγμένων κρυοπροστατευτικών υλικών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά ζυμωμένων κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος (παγωτό-γιαούρτι και προβιοτικό παγωτό).

5.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.2.1 Υλικά

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία των δειγμάτων παγωτού είναι οι εξής:

Κρυοπροστατευτικά υλικά

1. Σταθεροποιητές
 - ✓ Κόμμι γκούαρ (Grindsted, Danisco, Denmark)
 - ✓ Ξανθανικό κόμμι (Luxara 7571/200, UK)
 - ✓ Καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνη - CMC (CEKOL 4000P, Noviant, Sweden)
 - ✓ Υδροξυλοπροπολυομεθυλοκυτταρίνη - HPMC (Methocel, The Dow Company, Germany)
 - ✓ Αλγινικό νάτριο (Protanal, FMC Biopolymer, Drammen, Norway)
 - ✓ κ-καρραγενάνη (SeakemIC 518, FMC Biopolymer, Drammen, Norway)
2. Σάκχαρα
 - ✓ Σακχαρόζη εμπορικής προέλευσης (EBZ, Λάρισα, Ελλάδα)
 - ✓ Φρουκτόζη εμπορικής προέλευσης (Ζωγράφος, Αθήνα, Ελλάδα)
 - ✓ Τρεχαλόζη (Merck GmbH, Darmstadt, Germany)
3. Ολιγοσακχαρίτες-Αμυλοσιρόπια
 - ✓ Ινουλίνη (Fibruline ST, Cosucra, Belgium) και (Fibruline XL, Cosucra, Belgium)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- ✓ Ολιγοφρουκτόζη (Fibruline LC, Cosucra Belgium)
 - ✓ Μαλτοδεξτρίνη 12DE (MD 1210QS SYRAL, France)
 - ✓ Μαλτοδεξτρίνη 17DE (MD 1710QS SYRAL, France)
 - ✓ Nutriose® (Nutriose FB, 06, Roquette Spa Italia)
 - ✓ Αμυλοσιρόπιο 22DE (Glucidex 22, Roquette Spa., Italia)
 - ✓ Αμυλοσιρόπιο 39DE (Glucidex 39, Roquette Spa. Italia)
4. Πολυόλες
- ✓ Σορβιτόλη (Neosorb 70/70, Roquette Spa., Italia)
 - ✓ Μαλτιτόλη (Maltisorb P200, Roquette Spa., Italia)
 - ✓ Ξυλιτόλη (X3335, Sigma Aldrich Inc.)
 - ✓ Μαννιτόλη (Pearlitol-160C, Roquette Spa, Italia)
5. Διαιτητικές ίνες
- ✓ Ίνα σίτου (VITACEL 201, JRS GmbH, Germany)
 - ✓ Ίνα μήλου (VITACEL 401, JRS GmbH, Germany)
 - ✓ Ίνα βρώμης (VITACEL 201, JRS GmbH, Germany)
6. Εναλλακτικά σάκχαρα
- ✓ Πετιμέζι εμπορικής προέλευσης (Μπουζουνέλος Α.Ε., Νεμέα, Ελλάδα)
 - ✓ Σταφιδίνη εμπορικής προέλευσης (ΗΒη Α.Ε., Αθήνα, Ελλάδα)
 - ✓ Μελάσσα σακχαροκάλαμου εμπορικής προέλευσης (Φύτρο Α.Ε., Elbisco group, Αθήνα, Ελλάδα)

Λοιπά υλικά

1. Γαλακτωματοποιητές
- ✓ Μονο-διγλυκερίδια λιπαρών οξέων περιεκτικότητας 60% σε μονοεστέρες (Rikemal P150S-, Riken, Malaysia)
2. Συστατικά ενίσχυσης του ΣΥΑΛ
- ✓ Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (97% ΣΥΑΛ, Eriim, Latvia)
3. Λιπαρές ύλες
- ✓ Κρέμα γάλακτος (35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ, ΦΑΓΕ Α.Ε., Μεταμόρφωση, Ελλάδα)
4. Αρωματικές ύλες
- ✓ Βανιλίνη (Merck GmbH, Darmstadt, Germany)
 - ✓ Κακάο ολλανδικού τύπου (ION, Π.Φάληρο, Ελλάδα)
5. Υλικά οξίνισης των μιγμάτων παγωτού
- ✓ Γιαούρτι στραγγιστό (10% λιπαρά, 13% ΣΥΑΛ, Total, ΦΑΓΕ Α.Ε., Μεταμόρφωση, Ελλάδα)
 - ✓ Προβιοτικό γιαούρτι (2% λιπαρά, 13% ΣΥΑΛ, Αγελαδίτσα Bifidus, ΦΑΓΕ Α.Ε., Μεταμόρφωση, Ελλάδα)

Είδος γλυκαντικής ύλης	Εμπορική ονομασία	Μοριακό βάρος
Σορβιτόλη	Neosorb 70/70, Roquette Spa., Italia	182
Μαλτιτόλη	Maltisorb P200, Roquette Spa., Italia	344
Μαννιτόλη	Pearlitol-160C, Roquette Spa, Italia	182
Ξυλιτόλη	X3335, Sigma Aldrich Inc.,	152
Φρουκτόζη	Κρυσταλλική φρουκτόζη (Ζωγράφος)	180
Μαλτόζη	(Merck, Darmstadt, Germany)	360
Τρεχαλόζη	(Merck, Darmstadt, Germany)	378
Αμυλοσιρόπιο 39DE	Glucidex 39, Roquette Spa. Italia	-
Αμυλοσιρόπιο 22DE	Glucidex 22, Roquette Spa., Italia	-
Μαλτοδεξτρίνη 17DE	MD 1710QS SYRAL, France	-
Μαλτοδεξτρίνη 12DE	MD 1210QS SYRAL, France	-
Ινουλίνη	Fibruline ST, Cosucra Belgium	-
Ολιγοφρουκτόζη	Fibruline LC, Cosucra Belgium	-
Nutriose®	Nutriose FB, 06, Roquette Spa Italia	-
Σακχαρόζη	Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ)	342

Πίνακας 5.1: Είδη γλυκαντικών υλών που μελετήθηκαν στα συστήματα παγωτού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Χαρακτηριστικό	Ίνα σιταριού	Ίνα βρώμης	Ίνα μήλου	Ινουλίνη μακράς αλύσου
Εμπορική ονομασία	VITACEL 201	VITACEL 201	VITACEL 401	FIBRULINE XL
% περιεκτικότητα σε διαλυτές ίνες	3	3	15 (9.3% πηκτίνη)	> 90
% περιεκτικότητα σε αδιάλυτες ίνες	93	93	45	-
% Κυτταρίνη	70	70	-	-
% Ημικυτταρίνη	24	25	-	-
% Λιγνίνη	<5	<5	-	-
Ικανότητα συγκράτησης υγρασίας	8.0 g H ₂ O/g	8.0 g H ₂ O/g	4.8 g H ₂ O/g	Υψηλή
Κοκκομετρία (<100μm)	90%	90%	-	97%

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά των διαιτητικών που χρησιμοποιήθηκαν ως μέσα ενίσχυσης των συστημάτων παγωτού

Συστατικό	Συμπύκνωμα γλεύκους	Σταφιδίνη	Μελάσσα σακχαροκάλαμου
Εμπορική ονομασία	Μπουζουνέλος Α.Ε., Νεμέα	Ηβη Α.Ε., Αθήνα	Φύτρο Α.Ε., Αθήνα
Υδατάνθρακες (g/100g)	56.0	72.6	70.2
Πρωτεΐνες (g/100g)	0.5	2.1	2.0
Λιπαρά (g/100g)	0.08	0.2	0.05
Fe (mg/100g)	0.7	-	7.0
Ca	32	37	12
Mg	48	37	32
Na	22	25	13
Θερμιδική αξία (Kcal/100g)	226	300	284

Πίνακας 5.3: Σύσταση και διατροφικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών πηγών σακχάρων

5.2.2 Προετοιμασία των μιγμάτων παγωτού

Για την παρασκευή των μιγμάτων παγωτού οι ξηρές πρώτες ύλες (σταθεροποιητές, σακχαρόζη, σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος, γλυκαντικές ύλες, γαλακτωματοποιητές) διασπείρονται στις υγρές ύλες (νερό, κρέμα γάλακτος, αμυλοσιρόπια, εναλλακτικά σάκχαρα) υπό έντονη ανάδευση με χρήση μηχανικού αναδευτήρα (IKA-WERKE GmbH, Germany). Η ανάμιξη των υλικών γίνεται στους 50°C με χρήση υδατόλουτρου (GFL,) και αφού τα υλικά διαλυτοποιηθούν πλήρως, ακολουθεί θερμική κατεργασία του μίγματος στους 76°C για 20min υπο συνεχή ανάδευση. Στη συνέχεια το μίγμα ομογενοποιείται σε εργαστηριακό ομογενοποιητή δύο σταδίων (APV Gaulin 1000, Abvertslund, Denmark). Οι πιέσεις στα δύο στάδια ομογενοποίησης ρυθμίζονται μέσω των βαλβίδων του ομογενοποιητή στα 200bar και 20bar (1^ο και 2^ο στάδιο αντίστοιχα). Το ομογενοποιημένο μίγμα ψύχεται ταχέως με χρήση παγόλουτρου στους 4°C και ακολουθεί η ωρίμανσή του για 18h στους 4°C σε θάλαμο ψύξης.

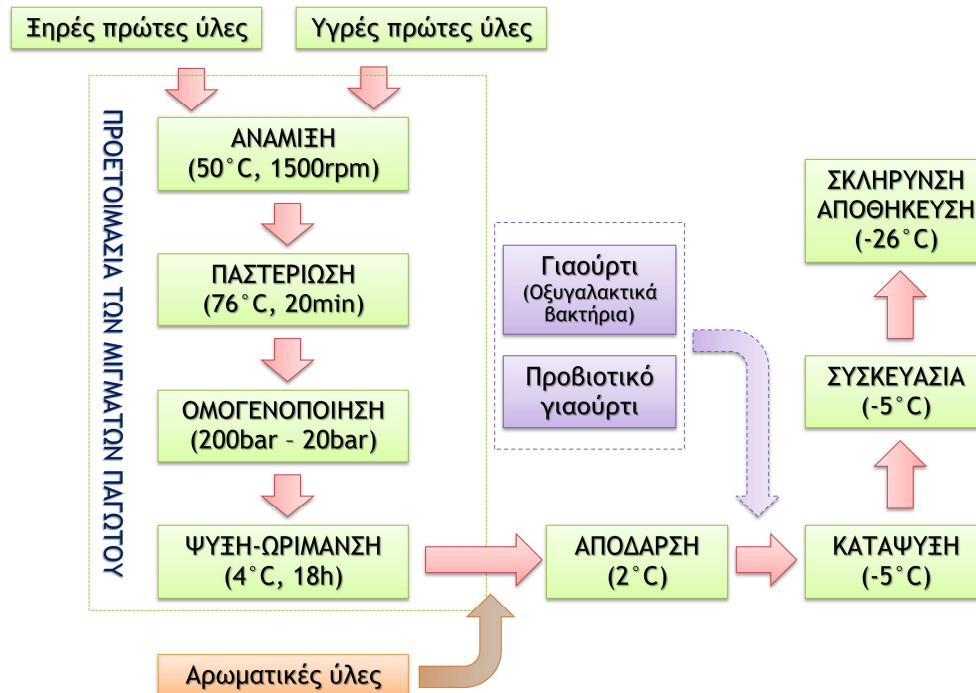
5.2.3 Προετοιμασία των μιγμάτων των ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος

Στην περίπτωση της παρασκευής των μιγμάτων παγωτού-γιαούρτι ή προβιοτικού παγωτού, εφαρμόστηκε η τεχνική της έμμεσης οξίνισης (indirect acidification) η οποία βασίζεται στην ανάμιξη ζυμωμένου γάλακτος (γιαούρτι) με ωριμασμένο μίγμα παγωτού λίγο πριν τη διαδικασία κατάψυξης. Το μίγμα παγωτού παρασκευάζεται με βάση τη διαδικασία που έχει ήδη αναφερθεί.

5.2.4 Κατάψυξη των μιγμάτων παγωτού

Η κατάψυξη των μιγμάτων παγωτού είναι ασυνεχής (batch) και πραγματοποιείται με χρήση οικιακής παγωτομηχανής με εσωτερικό αποδάρτη (Philips, HR 2303, UK). Λόγω της

περιορισμένης ικανότητας της παγωτομηχανής να αυξήσει το ποσοστό ενσωμάτωσης (τυπικά κυμαίνεται από 10 έως 20%) το μίγμα παγωτού υπόκειται σε απόδαρση με χρήση οικιακού μίξερ (Chef KM400, Kenwood, UK) σε υψηλό ρυθμό απόδαρσης (ταχύτητα 6) για 12min. Ο χρόνος απόδαρσης επιλέχθηκε με βάση προκαταρκτικά πειράματα σε τυπικά μίγματα παγωτού κατά τα οποία αποδείχθηκε ότι το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα στο μίγμα μεγιστοποιείται σε χρόνο 12-13min. Το αποδαρμένο μίγμα παγωτού κατόπιν καταψύχεται στην παγωτομηχανή για χρονικό διάστημα, έως ότου η θερμοκρασία εξόδου κατέλθει στους $-5 \pm 0.3^\circ\text{C}$. Στη συνέχεια το παγωτό συσκευάζεται ταχέως σε HDPE περιέκτες των 250mL, σκληρύνεται και αποθήκευεται στους -26°C σε οικιακό καταψύκτη (Whirlpool, UK). Στο σχήμα 5.1 απεικονίζεται η πειραματική διαδικασία παραγωγής παγωτού και ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος.



Σχήμα 5.1: Τυπικό διάγραμμα ροής διαδικασίας παρασκευής των δειγμάτων παγωτού, παγωτού-γιαούρτι ή προβιοτικού παγωτού

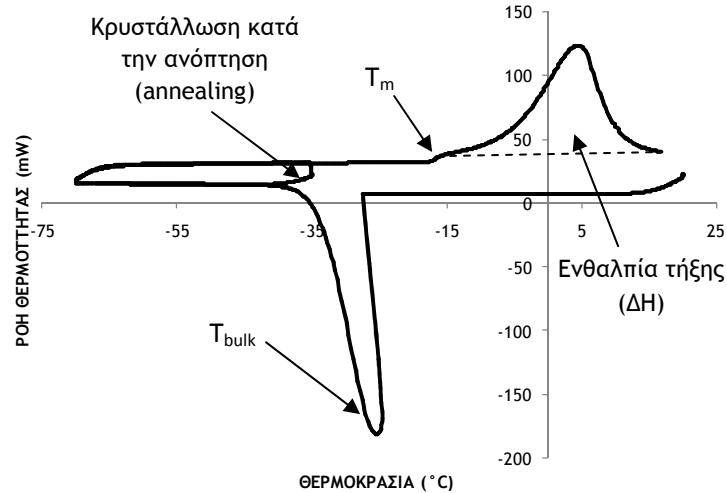
5.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ

5.3.1 Προσδιορισμός των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των μιγμάτων

Η ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς των δειγμάτων ζυμαριού πραγματοποιήθηκε με συσκευή DSC (DSC 6, PerkinElmer Inc., Wellesley, USA) η οποία ελέγχεται μέσω H/Y με το λογισμικό Pyris Manager Thermal Analysis Software. Η παραπάνω συσκευή καταγράφει το δυναμικό ροής θερμότητας (differential heat flow) μεταξύ δείγματος και κελιού αναφοράς υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η βαθμονόμηση του οργάνου πραγματοποιείται με ίνδιο ($T_m=156.6^\circ\text{C}$, $\Delta H_m=28.5\text{ J/g}$). Τα δείγματα (15-20mg) τοποθετούνται σε ερμητικά κλειστούς υποδοχείς από αλουμίνιο χωρητικότητας 50 μL και ως δείγμα αναφοράς χρησιμοποιείται ένας κενός υποδοχέας. Η ψύξη (με σταθερό ρυθμό $10^\circ\text{C}/\text{min}$) επιτυγχάνεται με έγχυση υγρού αζώτου (καθαρότητας 99.9%) στο θάλαμο όπου βρίσκονται τοποθετημένα τα δείγματα. Στον παραπάνω θάλαμο διοχετεύεται, επίσης, αέριο άζωτο, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η συμπύκνωση του νερού που θα μπορούσε να προκαλέσει την καταστροφή του θαλάμου, δεδομένου ότι το αέριο άζωτο έχει την ικανότητα να απομακρύνει την υγρασία και το οξυγόνο.

Το πρωτόκολλο ψύξης - θέρμανσης που εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των μιγμάτων παγωτού είναι το εξής: 1) ισόθερμη διατήρηση του μίγματος στους 20°C για 2min, 2) ψύξη από τους 20°C στους -70°C με ρυθμό $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 3) θέρμανση από τους -70°C στους -35°C με ρυθμό $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 4) ανόπτηση του μίγματος

(annealing) στους -35°C για 20min, 5) ψύξη του μίγματος από τους -35°C στους -70°C με ρυθμό $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ και 6) θέρμανση του μίγματος από τους -70°C στους 20°C με ρυθμό $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Ελαφρά τροποποιημένο πρωτόκολλο ψύξης - θέρμανσης εφαρμόστηκε στην περίπτωση της προσθήκης διαιτητικών ινών στα δείγματα παγωτού λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε υγρασία (χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ολικά στερεά). Στο σχήμα 5.2 απεικονίζεται μια τυπική καμπύλη ψύξης - θέρμανσης μίγματος παγωτού, όπως λαμβάνεται από τη διάταξη DSC, σύμφωνα με το παραπάνω πρωτόκολλο ψύξης - θέρμανσης.



Σχήμα 5.2: Τυπική καμπύλη ψύξης - θέρμανσης μίγματος παγωτού σε διάταξη DSC

Προσδιορισμός της ενθαλπίας τήξης πάγου (ΔH) και του ποσοστού σχηματισμένου πάγου (Ice Content - IC). Η ενθαλπία τήξης πάγου προσδιορίστηκε από το εμβαδό που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης θέρμανσης (βήμα 6 του πρωτοκόλλου) και των θερμοκρασιών έναρξης και τερματισμού της τήξης. Για τον προσδιορισμό της ενθαλπίας τήξης, η καμπύλη θέρμανσης κανονικοποιείται με βάση την ποσότητα του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε. Το ποσοστό του σχηματισμένου πάγου προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\% IC = 100 \times \left(\frac{\Delta H}{334} \right) \quad (5.1)$$

Προσδιορισμός της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας (UFW - Unfreezable water). Το ποσοστό της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\% UFW = \frac{\% \text{υγρασία δείγματος} - \% IC}{\% \text{υγρασία δείγματος}} \quad (5.2)$$

Το ποσοστό της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας αναφέρεται στην ποσότητα του νερού το οποίο δεν μπορεί να μετατραπεί σε πάγο, ανεξάρτητα από την ελάττωση της θερμοκρασίας κατά το στάδιο της ψύξης του δείγματος. Η μη κρυσταλλώσιμη υγρασία αφορά συνήθως νερό το οποίο συγκρατείται ισχυρά π.χ. μέσω δεσμών υδρογόνου, από τα βιοπολυμερή που περιέχονται στο σύστημα όπως πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες.

Προσδιορισμός της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης (T_g) και της θερμοκρασίας έναρξης τήξης του πάγου (T_m'). Αρκετή συζήτηση έχει γίνει για το πώς μπορεί να προσδιοριστεί η θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και για το αν η θερμοδομετρία σάρωσης αποτελεί μια επαρκή μέθοδο προσδιορισμού του. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή το εφαρμοζόμενο πρωτόκολλο ψύξης - ανόπτησης - θέρμανσης κρίθηκε επαρκές για τον προσδιορισμό των τιμών του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και έναρξης τήξης του πάγου. Τα δεδομένα που ελήφθησαν ήταν σε γενικές γραμμές σε συμφωνία με τα διαθέσιμα στη διεθνή

Βιβλιογραφία, ενώ στις περιπτώσεις (π.χ. σε ορισμένες πολυόλες) όπου το πρωτόκολλο κρίθηκε ανεπαρκές (λόγω των χαμηλών τιμών του T_g) χρησιμοποιήθηκαν οι θεωρητικές τιμές από τη βιβλιογραφία (Slade & Levine 1992; Roos 1995).

Προσδιορισμός του παράγοντα ομοιομορφίας των σχηματισμένων παγοκρυστάλλων. Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των σημείων έναρξης και τερματισμού της καμπύλης τήξης των μιγμάτων παγωτού χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο προσδιορισμού της ομοιογένειας της κατανομής μεγέθους των παγοκρυστάλλων σύμφωνα με τους Alvarez et al., (2005).

$$\Delta T = T_{off} - T'_m \quad (5.3)$$

Προσδιορισμός της ταπείνωσης του σημείου πήξης (FPD). Η ταπείνωση του σημείου πήξης προσδιορίστηκε ως η θερμοκρασία στην οποία εντοπίζεται η πιο απότομη κλίση κατά το αρχικό στάδιο ψύξης του μίγματος παγωτού σύμφωνα με τους Whelan et al., (2008). Ο προσδιορισμός του FPD γίνεται με βάση την καμπύλη ψύξης και όχι την καμπύλη θέρμανσης (τήξης), για να αποφευχθούν τα προβλήματα υστέρησης (μετατόπισης της καμπύλης) που συνοδεύουν το φαινόμενο της τήξης του πάγου.

Προσδιορισμός του αποτελεσματικού μοριακού βάρους (effective molecular mass - M_w). Το αποτελεσματικό μοριακό βάρος είναι μία ένδειξη του μέσου μοριακού βάρους των ολικών στερεών του μίγματος. Αυτό σημαίνει ότι το αποτελεσματικό μοριακό βάρος επηρεάζεται από το είδος των συστατικών (βιοπολυμερή, απλά σάκχαρα, ανόργανα άλατα) αλλά και από το ποσοστό υγρασίας του μίγματος. Το αποτελεσματικό μοριακό βάρος προσδιορίστηκε μέσω του υπολογισμού της ταπείνωσης του σημείου πήξης (FPD) σύμφωνα με τη σχέση:

$$\ln \left(\frac{\frac{X_w - X_b}{M_w}}{\frac{X_w - X_b}{M_w} - \frac{X_s}{M_s}} \right) = \frac{L_f T_f M_w}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_f} \right) \quad (5.4)$$

Όπου: T_f , T_0 η θερμοκρασία του σημείου πήξης του μίγματος παγωτού όπως προσδιορίστηκε από το DSC, και η θερμοκρασία πήξης του καθαρού νερού αντίστοιχα (σε °K), X_w = το κλάσμα μάζας του νερού, X_b = το κλάσμα μάζας του δεσμευμένου νερού, X_s = το κλάσμα μάζας της ξηρής βάσης, M_w = το μοριακό βάρος του καθαρού νερού (kgmol^{-1}), L_f = η ενθαλπία τήξης του πάγου (Jkg^{-1}) και R = η παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων.

Η ενθαλπία τήξης του πάγου προσδιορίστηκε με βάση τη σχέση:

$$L_f = (333.802 + 2.1165T) \times 1000 \quad (5.5)$$

5.3.2 Προσδιορισμός των ρεολογικών ιδιοτήτων

Η ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού προσδιορίστηκε με χρήση περιστροφικού ρεόμετρου (RHEOTEC RC1, Meßtechnik GmbH Germany) εφοδιασμένου με μανδύα ψύξης (LAUDA RE312, Lauda GmbH, Germany). Οι μετρήσεις διεξήχθησαν στους 4°C εφαρμόζοντας ένα πρόγραμμα μεταβολής του ρυθμού διάτμησης στο εύρος $10\text{-}300\text{s}^{-1}$ και αντίστροφα. Τα δεδομένα διατμητικής τάσης - ρυθμού διάτμησης προσαρμόστηκαν στο μοντέλο Ostwald - de Waale σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (5.6)$$

Όπου: τ = η διατμητική τάση (Pa), K = ο συντελεστής συνεκτικότητας ($\text{Pa}\cdot\text{s}^{-n}$), $\dot{\gamma}$ = ο ρυθμός διάτμησης (s^{-1}) και n = ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς. Με βάση το μοντέλο Ostwald-de Waale προσδιορίστηκε το ιξώδες Kokini για τιμή ρυθμού διάτμησης ίση με 50s^{-1} . Το ιξώδες

Kokini αποτελεί μια ένδειξη του ιξώδους του μίγματος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μάζησης (Akhtar et al., 2006).

Η θιξοτροπική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού προσδιορίστηκε με βάση τη σχέση:

$$\% \text{ θιξοτροπία} = \frac{\text{ιξώδες Kokini}_{\uparrow} - \text{ιξώδες Kokini}_{\downarrow}}{\text{ιξώδες Kokini}_{\uparrow}} \quad (5.7)$$

Τα σύμβολα $\uparrow\downarrow$ υποδηλώνουν τα στάδια αυξανόμενου και ελαττούμενου ρυθμού διάτμησης.

5.3.3 Προσδιορισμός του pH και της οξύτητας

Το pH και η οξύτητα των μιγμάτων προσδιορίστηκαν αποκλειστικά στην περίπτωση των μιγμάτων παγωτού-γιαούρτι και προβιοτικού παγωτού. Το pH προσδιορίστηκε με χρήση φορητού πεχάμετρου (WTW-pH 330, Weilheim, Germany), ενώ η οξύτητα προσδιορίστηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία του IDF (IDF 1991) και εκφράστηκε ως % γαλακτικό οξύ με βάση τη σχέση:

$$\% \text{ οξύτητα} = 0.9 \times \frac{V}{m} \quad (5.8)$$

Όπου: V = ο όγκος του καταναλισκόμενου NaOH 0.1N και m = η μάζα του τιτλοδοτούμενου δείγματος (σε g).

5.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΓΩΤΟΥ

5.4.1 Δειγματοληψία

Προκειμένου να μελετηθούν οι μεταβολές των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων παγωτού τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους (αντικειμενικά προσδιορισμένη υφή, οργανοληπτικές ιδιότητες) προσδιορίστηκαν ανά χρονικά διαστήματα 4 εβδομάδων και για συνολικό χρόνο 16 εβδομάδων. Η επιλογή αυτή έγινε με βάση με το ρυθμό των φαινομένων ανακρυστάλλωσης όπως και με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα.

5.4.2 Προσδιορισμός του ποσοστού ενσωμάτωσης αέρα (overrun)

Το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα προσδιορίστηκε στα κατεψυγμένα δείγματα παγωτού αμέσως μετά την έξοδό τους από τη διάταξη κατάψυξης. Ποσότητα μη αποδαρμένου μίγματος παγωτού (100mL) και ίση ποσότητα παγωτού ζυγίζονται σε ηλεκτρονικό ζυγό (Precisa 620, Switzerland). Το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα προσδιορίζεται κατόπιν σύμφωνα με τη σχέση:

$$\% \text{ overrun} = \frac{\text{βάρος μίγματος παγωτού (g)} - \text{βάρος παγωτού (g)}}{\text{βάρος παγωτού (g)}} \quad (5.9)$$

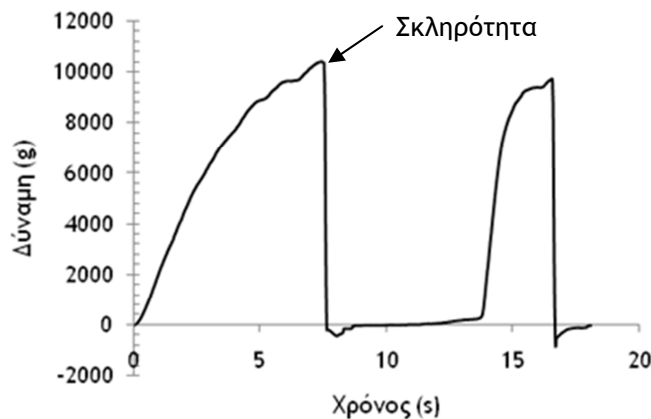
5.4.3 Προσδιορισμός της μικροδομής του παγωτού

Η μικροδομή του παγωτού αμέσως μετά την κατάψυξή του προσδιορίστηκε με χρήση οπτικού μικροσκοπίου (Olympus BH-100, Tokyo, Japan) σύμφωνα με τη μεθοδολογία που έχει περιγραφεί από τους Chang & Hartel (2002). Ειδικότερα, μικρή ποσότητα δείγματος παγωτού τοποθετείται πάνω σε γυάλινη αντικειμενοφόρο πλάκα, καλύπτεται με καλυπτρίδα και τοποθετείται σε μικροσκόπιο τοποθετημένο σε καταψύκτη. Τα υλικά του μικροσκοπίου καθώς και η λαβίδα διατηρούνται σε θερμοκρασία κατάψυξης (-18°C). Στο μικροσκόπιο προσαρμόζεται ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (Sony W50, Tokyo, Japan) και λαμβάνονται τουλάχιστον 3 φωτογραφίες από διαφορετικά σημεία του δείγματος. Οι φωτογραφίες κατόπιν επεξεργάζονται με το πρόγραμμα Photoshop CS2 στο οποίο έχει εγκατασταθεί το πρόγραμμα Fovea Pro. (Reiinder, Canada) προκειμένου να αυξηθεί η ευκρίνεια των φωτογραφιών και να

αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της μεταβαλλόμενης έντασης της φωτεινότητας των φωτογραφιών.

5.4.4 Προσδιορισμός της αντικειμενικής σκληρότητας

Η αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού προσδιορίστηκε με χρήση αναλυτή υφής (TA-XT2i Texture Analyser, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK) συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ένα πρόγραμμα απλής συμπίεσης (ταχύτητα διείσδυσης 3mm/s, βάθος διείσδυσης 2cm) εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού. Η σκληρότητα (σε N) προσδιορίστηκε ως το μέγιστο της καμπύλης που λαμβάνεται κατά τη συμπίεση του δείγματος (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Τυπική καμπύλη συμπίεσης δείγματος παγωτού με χρήση αναλυτή υφής

5.4.5 Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών τήξης

Τα χαρακτηριστικά τήξης, δεδομένου ότι δεν επηρεάζονται σημαντικά από το χρόνο αποθήκευσης του παγωτού (Marshall et al., 2003), προσδιορίστηκαν στο ενδιάμεσο του ολικού χρόνου αποθήκευσης (8 εβδομάδες) σύμφωνα με τη μεθοδολογία που έχει περιγραφεί από τους Marshall et al., (2003). Ποσότητα δείγματος (100 g) τοποθετείται σε διάτρητο μεταλλικό πλαίσιο (διατομή οπών 1mm × 1mm) το οποίο είναι τοποθετημένο σε γυάλινο κωνί. Το δείγμα τήκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ($25 \pm 1^\circ \text{C}$), ενώ το τήγμα συλλέγεται σε ποτήρι ζέσεως τοποθετημένο σε ηλεκτρονικό ζυγό (Precisa 620; Switzerland). Τα χαρακτηριστικά τήξης που προσδιορίζονται αφορούν: α) τον απαιτούμενο χρόνο για την πτώση της 1^{ης} σταγόνας τήγματος (s), και β) το ρυθμό τήξης του δείγματος ($\% \cdot \text{min}^{-1}$) ο οποίος προσδιορίζεται από την κλίση του γραμμικού τμήματος της σιγμοειδούς καμπύλης που κατασκευάζεται από τη συνεχή καταγραφή της μάζας του τήγματος για χρονικό διάστημα 50min.

5.4.6 Ποσοτική περιγραφική ανάλυση (οργανοληπτικός έλεγχος) - Quantitative Descriptive Analysis, QDA

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού προσδιορίστηκαν από 5 δοκιμαστές οι οποίοι εκπαιδεύτηκαν στην αναγνώριση και την αξιολόγηση των περιγραφικών όρων που χρησιμοποιήθηκαν. Για τον ορισμό των περιγραφικών όρων, την προετοιμασία των δειγμάτων, και την προετοιμασία των πρότυπων δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση των δοκιμαστών ελήφθησαν υπόψη οι μεθοδολογίες που περιγράφονται από τους Bodyfelt et al., (1988), Ogden (1993), Guinard et al., (1997), de Wijk et al. (2003), Soukoulis et al., (2008), Soukoulis et al., (2009b), Soukoulis & Tzia (2008); Soukoulis & Tzia (2009) και Drake (2006). Στον πίνακα 5.1 περιγράφονται οι περιγραφικοί όροι και τα πρότυπα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση των δοκιμαστών και την πραγματοποίηση των οργανοληπτικών δοκιμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Οργανοληπτικό χαρακτηριστικό	Περιγραφή χαρακτηριστικού	Κλίμακα	Προϊόν
Χρώμα	Αξιολόγηση της έντασης και της χροιάς του χρώματος	Λευκό (10) - κίτρινο (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό
Γλυκό	Αξιολόγηση της γλυκιάς γεύσης	καφέ (10) - κίτρινο (0) Υπερβολικά γλυκό (10) - ελάχιστο γλυκό (0)	Παγωτό σοκολάτα Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Άρωμα Βανίλιας	Αξιολόγηση της έντασης του αρώματος της βανιλίνης	Έντονο άρωμα (10) - μη αντιληπτό (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό
Άρωμα σοκολάτας	Αξιολόγηση της έντασης του αρώματος σοκολάτας	Έντονο άρωμα (10) - μη αντιληπτό (0)	Παγωτό σοκολάτα
Όξινο	Άρωμα που χαρακτηρίζει τα ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος (γιαούρτι)	Έντονο άρωμα (10) - μη αντιληπτό (0)	Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Στυφό	Άρωμα που οδηγεί σε αίσθηση ξηρότητας στη γλώσσα - θυμίζει την αίσθηση που προκαλούν οι ταννίνες	Υπερβολικά στυφό (10) - καθόλου στυφό (0)	Προβιοτικό παγωτό
Άρωμα γάλακτος	Άρωμα παρόμοιο με εκείνο του φρέσκου γάλακτος	Έντονο άρωμα (10) - μη αντιληπτό (0)	Προβιοτικό παγωτό
Πικρό	Αναφέρεται στην πικρή γεύση διαλύματος καφεΐνης	Έντονα πικρό (10) - καθόλου πικρό (0)	Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Σκληρό (Κ)	Αναφέρεται στην αντίσταση που προβάλλει το δείγμα (30g) κατά τον τεμαχισμό του	Υπερβολικά σκληρό (10) - ελάχιστο σκληρό (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Τραχύ (Κ)	Το δείγμα περιέχει ένα σημαντικό αριθμό παγοκρυστάλλων που γίνονται αντιληπτοί κατά τον τεμαχισμό του δείγματος	Υπερβολικά σκληρό (10) - ελάχιστο σκληρό (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Εύθρυπτο	Το δείγμα χαρακτηρίζεται από υψηλή ξηρότητα και θρυμματίζεται πολύ εύκολα κατά τον τεμαχισμό του	Υπερβολικά εύθρυπτο (10) - καθόλου εύθρυπτο (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Κομμιώδες (Κ)	Το δείγμα χαρακτηρίζεται από υψηλή συνεκτικότητα, είναι κολλώδες, και σχηματίζει καμπύλες κατά τον τεμαχισμό του	Υπερβολικά κομμιώδες (10) - ελάχιστο κομμιώδες (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Αίσθηση παγωμένου	Αναφέρεται στο πάγωμα του στόματος κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης του δείγματος και η οποία μπορεί να συνοδεύεται με παροδική νάρκωση της γλώσσας	Υπερβολικά παγωμένο (10) - ελάχιστο παγωμένο (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Σκληρό	Το δείγμα χαρακτηρίζεται από πολύ σκληρή και συνεκτική δομή η οποία σταδιακά ελαττώνεται καθώς αυτό τήκεται	Έντονα σκληρό (10) - ελάχιστο σκληρό (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Τραχύ	Η ιδιότητα γίνεται αντιληπτή κατά το δάγκωμα του δείγματος. Οι υπάρχοντες παγοκρυστάλλοι εξαφανίζονται σταδιακά καθώς το δείγμα τήκεται	Έντονα τραχύ (10) - καθόλου τραχύ (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Κομμιώδες	Το δείγμα διαλύεται κατά την κίνηση της γλώσσας, ενώ τα κομμάτια που προκύπτουν γίνονται αντιληπτά ως κολλώδη στον ουρανίσκο	Υπερβολικά κομμιώδες (10) - ελάχιστο κομμιώδες (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Υδαρές	Το δείγμα χαρακτηρίζεται από υπερβολικά γρήγορα σε ένα ασυνήθιστα υδαρές τήγμα	Υπερβολικά υδαρές (10) - καθόλου υδαρές (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Κρεμώδες	Το δείγμα χαρακτηρίζεται από απαλή, χωρίς ελαττώματα υφή και τήκεται προς ένα πλούσιο και ομοιογενές τήγμα	Κρεμώδες (10) - καθόλου κρεμώδες (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα
Λιπαρό	Το δείγμα καθώς τήκεται δημιουργεί ένα λιπαρό στρώμα στη γλώσσα το οποίο διατηρείται και μετά την κατάποση του τήγματος	Υπερβολικά λιπαρό (10) - καθόλου λιπαρό (0)	Παγωτό Βανίλια Προβιοτικό παγωτό Παγωτό σοκολάτα

Πίνακας 5.4: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτίμηση του αρώματος, της γεύσης και της υφής των δειγμάτων παγωτού και περιγραφή τους (QDA)

Ο οργανοληπτικός έλεγχος των δειγμάτων παγωτού πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Οργανοληπτικών Δοκιμών του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ. Οι δοκιμαστές αξιολογούσαν τα δείγματα παγωτού σε ξεχωριστούς φωτιζόμενους θαλάμους. Προκειμένου να εξασφαλίζονται σταθερές συνθήκες μεταξύ των οργανοληπτικών ελέγχων η θερμοκρασία του χώρου παρέμενε σταθερή ($23\pm 1^{\circ}\text{C}$), ενώ τα αναλώσιμα (πλαστικά πιάτα, κουτάλια, ποτήρια, εμφιαλωμένο νερό για την έκπλυση του στόματος κ.α.) που χρησιμοποιούνταν είχαν σταθερά χαρακτηριστικά.

Η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: τα δείγματα παγωτού τεμαχίζονται με ειδικό κουτάλι παγωτού σε σφαιρικά δείγματα των 20g, τοποθετούνται σε πλαστικά ατομικά πιάτα και αποθηκεύονται στους $-18\pm 1^{\circ}\text{C}$ για διάστημα 12-18h, προκειμένου να αποκτήσουν σταθερή θερμοκρασία (η οποία επηρεάζει καθοριστικά τα χαρακτηριστικά υψής των δειγμάτων). Σε κάθε δοκιμαστή προσφέρονται δύο δείγματα παγωτού, ένα για την εκτίμηση του χρώματος και των χαρακτηριστικών υψής κατά τον τεμαχισμό και ένα για την αξιολόγηση της γεύσης/αρώματος και των χαρακτηριστικών υψής κατά την κατανάλωσή τους. Επιπλέον, μεταξύ των διαδοχικών δοκιμών οι δοκιμαστές ξεπλένουν το στόμα τους με εμφιαλωμένο νερό, προκειμένου να ουδετεροποιήσουν τους υποδοχείς της γλώσσας.

Ένας ικανοποιητικός αριθμός από περιγραφικούς όρους χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να εκτιμηθούν κατά ολοκληρωμένο τρόπο τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των διαφόρων προϊόντων που παρασκευάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής (π.χ. τυπικό παγωτό, παγωτό σοκολάτα, προβιοτικό παγωτό, παγωτό-γιαούρτι). Η εκτίμηση και βαθμολόγηση των περιγραφικών όρων έγινε με χρήση 10-βάθμιας κλίμακας όπου: 0 = ανεπαίσθητο/μη αντιληπτό χαρακτηριστικό, 5 = αρκετά αντιληπτό και 10 = εξαιρετικά αντιληπτό/πολύ έντονο. Επιπλέον, οι δοκιμαστές καλούνταν να σημειώσουν και προσωπικές κρίσεις στα έντυπα οργανοληπτικού ελέγχου, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του δείγματος δεν μπορούσαν επαρκώς να περιγραφούν από τους αναγραφόμενους στο έντυπο περιγραφικούς όρους.

5.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

5.5.1 Μελέτη της δράσης των υδροκολλοειδών στα χαρακτηριστικά παγωτού

Για τη μελέτη της δράσης των υδροκολλοειδών επιλέχθηκαν πεντέ διαφορετικά πολυσακχαριτικά υλικά (κόμμι γκουάρ, κόμμι ξανθάνης, καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη - CMC, υδροξυλοπροπυλομεθυλοκυτταρίνη - HPMC, και αλγινικό νάτριο) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως κύρια μέσα σταθεροποίησης καθώς και κ-καρραγενάνη η οποία χρησιμοποιήθηκε ως δευτερεύον μέσο σταθεροποίησης. Ο λόγος κύριου προς δευτερεύον σταθεροποιητικό υλικό καθορίστηκε στην τιμή 96:4, σύμφωνα με προκαταρκτικά πειράματα, με στόχο την επίτευξη μιγμάτων παγωτού με μικρή ευπάθεια στο διαχωρισμό φάσεων. Η ολική περιεκτικότητα των μιγμάτων παγωτού σε σταθεροποιητή καθορίστηκε στις τιμές 0.1 και 0.2% με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα. Επιπλέον, η επιλογή των σταθεροποιητικών μέσων έγινε με βάση τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά δεδομένα, αλλά και με βάση τη συνεργιστική τους δράση με την κ-καρραγενάνη. Επιπλέον, ένα άλλο κριτήριο, που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να επιλεγούν τα συγκεκριμένα υδροκολλοειδή, ήταν η διαφοροποίησή τους ως προς το μηχανισμό σταθεροποίησης και κρυστοπροστασίας στα συστήματα παγωτού (Regand & Goff 2002; Regand & Goff 2003). Στους πίνακες 5.5, 5.6 παρατίθενται οι συστάσεις των μιγμάτων παγωτού.

5.5.2 Μελέτη της δράσης των γλυκαντικών υλών στα χαρακτηριστικά παγωτού

Για τη μελέτη της επίδρασης των γλυκαντικών υλών στα χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού επιλέχθηκαν δεκαπέντε διαφορετικές ουσίες με σημαντική διαφοροποίηση ως προς το μοριακό τους βάρος, το βαθμό πολυμερισμού, το βαθμό διακλάδωσης και το ισοδύναμο δεξτρόζης. Από χημικής πλευράς οι γλυκαντικές ύλες περιελάμβαναν: πολυόλες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

(σορβιτόλη, μαλτιτόλη, μαννιτόλη, ξυλιτόλη), φρουκτόζη, δισακχαρίτες με ίσο μοριακό βάρος με τη σακχαρόζη (μαλτόζη, τρεχαλόζη), αμυλοσιρόπια (39DE, 22DE), μαλτοδεξτρίνες (17DE, 12DE), φρουκτοολιγοσακχαρίτες (ινουλίνη, ολιγοφρουκτόζη), και μία διαλυτή διαιτητική ίνα (Nutriose®).

Είδος συστατικού	Περιεκτικότητα (g/100g)	Εμπορική ονομασία - Χαρακτηριστικά
Λιπαρά γάλακτος	10.0	Πλήρες HTST γάλα (Φάρμα ΦΑΓΕ, 3.5% λιπαρά, 8.4% ΣΥΑΛ)
Στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους (ΣΥΑΛ)	11.0	Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ) Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (Eriim, Latvia 97% ολικά στερεά, 35% στερεά πρωτεΐνης)
Σακχαρόζη	12.0	Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ)
Στερεά αμυλοσιροπίου	4.0	Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ, Λάρισα)
Υδροκολλοειδή	0.1 ή 0.2 (βλ. πίνακα 5.4)	Αμυλοσιρόπιο 36DE (Roquette Spa., Italia, A3839S) 80% ολικά στερεά (βλ. πίνακα 5.4)
Γαλακτωματοποιητής	0.2	Μono-διγλυκερίδια λιπαρών οξέων 60% περιεκτικότητα σε μονοεστέρες (Rikemal P150S-, Riken, Malaysia)
Βανιλίνη	0.15	Βανιλίνη εδώδιμη (Merck, Germany)

Πίνακας 5.5: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά υδροκολλοειδή

Δείγμα	Ποσοστό υδροκολλοειδούς (%)		Τύπος υδροκολλοειδούς
	Κύριο υδροκολλοειδές	κ-καρραγενάνη	
CMC 0.1%	0.1	-	CMC
CMC 0.2%	0.2	-	CEKOL 4000P
Γκουάρ 0.1%	0.1	-	GUAR GUM
Γκουάρ 0.2%	0.2	-	GRINSTED
Αλγινικό νάτριο 0.1%	0.1	-	SODIUM ALGINATE
Αλγινικό νάτριο 0.2%	0.2	-	PROTANAL HF120L
Ξανθάνη 0.1%	0.1	-	XANTHAN GUM
Ξανθάνη 0.2%	0.2	-	LUXARA 7571-200
HPMC 0.1%	0.1	-	THE DOW COMPANY
HPMC 0.1%	0.2	-	
CMC 0.1%	0.09	0.01	CMC/κ-CARRAGEENAN
CMC 0.2%	0.18	0.02	CEKOL 4000P/ SEAKEM IC 518
Γκουάρ 0.1%*	0.09	0.01	GUAR GUM/κ-CARRAGEENAN
Γκουάρ 0.2%*	0.18	0.02	GRINDSTED/SEAKEM IC 518
Αλγινικό νάτριο 0.1%*	0.09	0.01	SODIUM ALGINATE/κ-CARRAGEENAN
Αλγινικό νάτριο 0.2%*	0.18	0.02	PROTANAL HF120L/SEAKEM IC 518
Ξανθάνη 0.1%*	0.09	0.01	XANTHAN GUM/κ-CARRAGEENAN
Ξανθάνη 0.2%*	0.18	0.02	LUXARA 7571-200/SEAKEM IC 518
HPMC 0.1%*	0.09	0.01	HPMC/ κ-CARRAGEENAN
HPMC 0.2%*	0.18	0.02	THE DOW COMPANY/ SEAKEM IC 518

Πίνακας 5.6: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού σε υδροκολλοειδή

Αν και σε πολλές περιπτώσεις η έννοια γλυκαντική ύλη σχετίζεται άμεσα με ουσίες με υψηλή γλυκαντική ισχύ, στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε μία πιο ευρύτερη έννοια της γλυκαντικής ύλης: των υλικών που μπορούν να συμβάλλουν στη διαμόρφωση του υδατανθρακικού περιεχομένου των μιγμάτων παγωτού (Marshall et al., 2003;). Η επιλογή αυτή βασίζεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι ο βασικότερος στόχος των συγκεκριμένων πειραμάτων ήταν η μελέτη των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των μιγμάτων (για τα οποία υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα στη βιβλιογραφία), οι οποίες επηρεάζονται δραματικά τόσο από την περιεκτικότητα των μιγμάτων σε νερό (πλαστικοποιητής) όσο και από την περιεκτικότητα σε ολικά στερεά. Προκειμένου το ποσοστό των ολικών σακχάρων στα μίγματα να διατηρηθεί σταθερό, η υποκατάσταση έγινε ως προς τη σακχαρόζη, έτσι ώστε τα αποτελέσματα της ανάλυσης DSC να είναι άμεσα συγκρίσιμα με το control και να μπορεί να ερμηνεύεται επαρκώς η καθαρή επίδραση της εκάστοτε υδατανθρακικής ύλης. Επιπλέον, τονίζεται ότι δεν έγινε καμία ρύθμιση της ολικής έντασης της γλυκαντικής ισχύος με π.χ. εναλλακτικά γλυκαντικά, αφενός λόγω του διαφορετικού τρόπου συνέργειάς τους με την εκάστοτε γλυκαντική ύλη (γεγονός που θα καθιστούσε πολύ επίπονη μία διαδικασία που είναι εκτός των ερευνητικών δραστηριοτήτων της παρούσας διατριβής) και αφετέρου λόγω της ανάγκης χαρτογράφησης των καθαρών επιδράσεων των γλυκαντικών υλών στα επιμέρους χαρακτηριστικά που προσδιορίστηκαν. Κατά συνέπεια η μείωση της γλυκαντικής ισχύος στα δείγματα π.χ. με ινουλίνη είναι αναμενόμενη, αλλά η διερεύνηση των επιμέρους αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ιδιοτήτων και των δειγμάτων γίνεται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη αυτή η επίδραση. Στον πίνακα 5.7 παρατίθενται οι συστάσεις των μιγμάτων παγωτού με διαφορετικές γλυκαντικές ύλες.

Είδος συστατικού	Περιεκτικότητα (g/100g)	Εμπορική ονομασία - Χαρακτηριστικά
Λιπαρά γάλακτος	8.0	Πλήρες HTST γάλα (Φάρμα ΦΑΓΕ, 3.5% λιπαρά, 8.4% ΣΥΑΛ) Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ)
Στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους (ΣΥΑΛ)	11.0	Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (Eriim, Latvia 97% ολικά στερεά, 35% στερεά πρωτεΐνης) Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ)
Σακχαρόζη	14.4 ή 11.2	Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ, Λάρισα)
Υποκατάστατα σακχαρόζης	1.6 ή 4.8	Αμυλοσιρόπιο 36DE (Roquette Spa., Italia, A3839S) 80% ολικά στερεά
Υδροκολλοειδή	0.2	Ξανθάνη (LUXARA 7571-200, UK) και MCC (Avicel, FMC Biopolymer, Drammen, Norway) σε αναλογία 1:1
Γαλακτωματοποιητής	0.2	Μono-διγλυκερίδια λιπαρών οξέων 60% περιεκτικότητα σε μονοεστέρες (Rikemal P150S-, Riken, Malaysia)
Βανιλίνη	0.15	Βανιλίνη εδώδιμη (Merck, Germany)

Πίνακας 5.7: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικές γλυκαντικές ύλες

5.5.3 Μελέτη της δράσης των εναλλακτικών σακχάρων στα χαρακτηριστικά του παγωτού

Για τη μελέτη της επίδρασης των εναλλακτικών πηγών σακχάρων χρησιμοποιήθηκε συμπύκνωμα γλεύκος (πετιμέζι), σταφιδίνη, και μελάσσα σακχαροκάλαμου. Η επιλογή των σακχάρων αυτών έγινε με βάση τα ακόλουθα κριτήρια: τη σύνθετη υδατανθρακική τους

σύσταση η οποία μπορεί να συμβάλλει σε πιθανή κρυσταλλοστατευτική δράση, τα ιδιαίτερα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να ενισχύουν τα χαρακτηριστικά γεύσης, αρώματος και υφής των δειγμάτων παγωτού (Soukoulis & Tzia 2009), τα διατροφικά χαρακτηριστικά τους (χαμηλή θερμιδική αξία λόγω της υψηλής γλυκαντικής τους ισχύος, υψηλή περιεκτικότητα σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία π.χ. Fe, Mg, Ca, Na). Λόγω του έντονου αρωματικού τους προφίλ τα υλικά ενσωματώθηκαν σε συστήματα παγωτού σοκολάτα τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερη συμβατότητα γεύσης, αρώματος και χρώματος με τα εν λόγω συστατικά. Τα εναλλακτικά σάκχαρα χρησιμοποιήθηκαν ως μερικά υποκατάστατα της σακχαρόζης σε τρεις αναλογίες 10, 20 και 30%. Επιπλέον, ένας εκτενέστερος σχεδιασμός περιελάμβανε τη βελτιστοποίηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων παγωτού σοκολάτα με συμπύκνωμα γλεύκους και μελάσσα. Η σύσταση των δειγμάτων παγωτού με εναλλακτικά σάκχαρα δίνεται στον πίνακα 5.8.

Είδος συστατικού	Περιεκτικότητα (g/100g)	Εμπορική ονομασία - Χαρακτηριστικά
Λιπαρά γάλακτος	10.0	Πλήρες HTST γάλα (Φάρμα ΦΑΓΕ, 3.5% λιπαρά, 8.4% ΣΥΑΛ) Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ)
Στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους	11.0	Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (Eriim, Latvia 97% ολικά στερεά, 35% στερεά πρωτεΐνης) Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ)
Σακχαρόζη	14.4, 12.8 ή 11.2	Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ, Λάρισα)
Υποκατάστατα σακχαρόζης Υδροκολλοειδή	1.6, 3.2 η 4.8 0.2	Βλ. πίνακα 5.8 Ξανθάνη (LUXARA 7571-200, UK) και κόμμι γκουάρ (Grinsted, Danisco, Denmark) σε αναλογία 1:1
Γαλακτωματοποιητής	0.2	Μono-διγλυκερίδια λιπαρών οξέων 60% περιεκτικότητα σε μονοεστέρες (Rikemal P150S-, Riken, Malaysia)
Κακάο	3.0	Κακάο ολλανδικού τύπου (ION, Π. Φάληρο)

Πίνακας 5.8: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικές πηγές εναλλακτικών σακχάρων

5.5.4 Μελέτη της δράσης των διαιτητικών ινών στα χαρακτηριστικά του παγωτού

Για τη μελέτη της επίδρασης των διαιτητικών ινών σε συστήματα παγωτού, επιλέχθηκαν τέσσερα είδη διαιτητικών ινών με διαφοροποιήσεις τόσο ως προς την περιεκτικότητά τους σε διαλυτές και αδιάλυτες ίνες όσο και στο είδος των διαλυτών ινών. Τα είδη των ινών που χρησιμοποιήθηκαν είναι: ίνες σιταριού, ίνες βρώμης, ίνες μήλου και ινουλίνη μακράς αλύσου. Στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων οι ίνες χρησιμοποιήθηκαν ως συστατικά εμπλουτισμού του παγωτού, με στόχο την αύξηση της διατροφικής του αξίας και την ενίσχυση της λειτουργικής του δράσης. Έτσι το control δείγμα δεν περιείχε καθόλου διαιτητικές ίνες, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα ήταν ενισχυμένα με διαιτητικές ίνες σε ποσοστό 1 και 2%. Στον πίνακα 5.9 παρατίθεται η σύσταση των δειγμάτων παγωτού με διαιτητικές ίνες.

5.5.5 Μελέτη της δράσης των ολιγοσακχαριτών στα χαρακτηριστικά του προβιοτικού παγωτού

Στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τρία είδη ολιγοσακχαριτών (μαλτοδεξτρίνη 12DE, ινουλίνη και ολιγοφρουκτόζη) με επιβεβαιωμένη κρυσταλλοστατευτική δράση, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δεύτερης σειράς πειραμάτων (βλ. κεφ. 6.2). Τα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

υλικά αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως μέσα υποκατάστασης των λιπαρών δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά (4 και 6%).

Είδος συστατικού	Περιεκτικότητα (g/100g)	Εμπορική ονομασία - Χαρακτηριστικά
Λιπαρά γάλακτος	6.0	Πλήρες HTST γάλα (Φάρμα ΦΑΓΕ, 3.5% λιπαρά, 8.4% ΣΥΑΛ) Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ)
Στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους	11.0	Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (Eriim, Latvia 97% ολικά στερεά, 35% στερεά πρωτεΐνης) Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ)
Σακχαρόζη	16.0	Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ, Λάρισα)
Διαιτητικές ίνες Υδροκολλοειδή	1 η 2% 0.2	Βλ. πίνακα 5.10 Ξανθάνη (LUXARA 7571-200, UK) και κόμμι γκουάρ (Grinsted, Danisco, Denmark) σε αναλογία 1:1
Γαλακτωματοποιητής	0.2	Μονο-διγλυκερίδια λιπαρών οξέων 60% περιεκτικότητα σε μονοεστέρες (Rikemal P150S-, Riken, Malaysia)
Βανιλίνη	0.15	Βανιλίνη εδώδιμη (Merck, Germany)

Πίνακας 5.9: Σύσταση των δειγμάτων παγωτού ενισχυμένων με διαιτητικές ίνες

Είδος συστατικού	Περιεκτικότητα (g/100g)						Εμπορική ονομασία - Χαρακτηριστικά
Λιπαρά γάλακτος	4.0	2.8	2.0	6.0	4.2	3.0	Ημιαποβουτυρωμένο HTST γάλα (Φάρμα ΦΑΓΕ, 1.5% λιπαρά, 8.4% ΣΥΑΛ) Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ)
Στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους (ΣΥΑΛ)	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (Eriim, Latvia 97% ολικά στερεά, 35% στερεά πρωτεΐνης) Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ) Προβιοτικό γιαούρτι 2% (Αγελαδίτσα <i>Bifidus</i> , ΦΑΓΕ Α.Ε., 12.3% ΣΥΑΛ)
Σακχαρόζη	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ, Λάρισα)
Υποκατάστατα λίπους	-	1.2	2.0	-	1.8	3.0	Βλ. πίνακα 5.6
Υδροκολλοειδή	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	Ξανθάνη (LUXARA 7571-200, UK)
Γαλακτωματοποιητής	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	Μονο-διγλυκερίδια λιπαρών οξέων 60% περιεκτικότητα σε μονοεστέρες (Rikemal P150S-, Riken, Malaysia)
Βανιλίνη	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	Βανιλίνη εδώδιμη (Merck, Germany)
Προβιοτικό γιαούρτι	Υποκατάσταση 25 ή 50% επί του μίγματος παγωτού						Προβιοτικό γιαούρτι 2% (Αγελαδίτσα <i>Bifidus</i> , ΦΑΓΕ Α.Ε., 12.3% ΣΥΑΛ)

Πίνακας 5.10: Σύσταση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με διαφορετικά είδη υποκατάστατων λιπαρών υδατανθρακικής προέλευσης

Τα δείγματα προβιοτικού παγωτού παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο της έμμεσης οξίνισης, που σύμφωνα με μελέτη συμβάλλει στην παραγωγή κατεψυγμένων ζυμωμένων επιδόρπιων γάλακτος με αποδεκτά ποιοτικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το άμεσο εμβολιασμό

και ζύμωση των μιγμάτων παγωτού (Soukoulis & Tzia 2008). Τα λιπαρά υποκαταστάθηκαν σε δύο αναλογίες 30 και 50%, ενώ η ανάμιξη των μιγμάτων παγωτού με προβιοτικό γιαούρτι έγινε σε δύο επίσης αναλογίες 25 και 50%. Στην παρούσα μελέτη, εκτός από τη δράση των ολιγοσακχαριτών μελετήθηκε και η δράση των λιπαρών γάλακτος και του ποσοστού προσθήκης προβιοτικού γιαουρτιού. Τα τελευταία υλικά ελέχθηκαν για την κρουπροστατευτική τους δράση και με εφαρμ βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τη μέθοδο DSC. Στον πίνακα 5.10 δίνεται η σύσταση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με υποκατάστατα λιπαρών.

5.5.6 Μελέτη της δράσης των υδροκολλοειδών στα χαρακτηριστικά του προβιοτικού παγωτού

Στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων μελετήθηκε η επίδραση πέντε υδροκολλοειδών (κόμμι γκουάρ, αλγινικό νάτριο, CMC, HPMC και ξανθάνη) στα χαρακτηριστικά των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού. Τα υδροκολλοειδή χρησιμοποιήθηκαν ως κύριο σταθεροποιητικό μέσο σε δύο διαφορετικές αναλογίες 0.2 και 0.4%. Τα δείγματα χαρακτηρίζονταν από διαφορετική περιεκτικότητα σε λιπαρά γάλακτος (2 και 4%) και προβιοτικό γιαούρτι (25 και 50%). Η σύσταση των δειγμάτων παρατίθεται στον πίνακα 5.11.

Είδος συστατικού	Περιεκτικότητα (g/100g)		Εμπορική ονομασία - Χαρακτηριστικά
Λιπαρά γάλακτος	2.0	4.0	Ημιαποβουτυρωμένο HTST γάλα (Φάρμα ΦΑΓΕ, 1.5% λιπαρά, 8.4% ΣΥΑΛ)
Στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους	11.0	11.0	Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ) Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (Eriim, Latvia 97% ολικά στερεά, 35% στερεά πρωτεΐνης)
Σακχαρόζη	16.0	16.0	Κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ 35% λιπαρά, 5.4% ΣΥΑΛ) Προβιοτικό γιαούρτι 2% (Αγελαδίτσα <i>Bifidus</i> , ΦΑΓΕ Α.Ε., 12.3% ΣΥΑΛ)
Υδροκολλοειδή Γαλακτωματοποιητής	0.2 ή 0.4 0.2	0.2 ή 0.4 0.2	Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ, Λάρισα) Βλ. πίνακα 5.4 Μono-διγλυκερίδια λιπαρών οξέων 60% περιεκτικότητα σε μονοεστέρες (Rikemal P150S-, Riken, Malaysia)
Βανιλίνη	0.15	0.15	Βανιλίνη εδώδιμη (Merck, Germany)
Προβιοτικό γιαούρτι	Υποκατάσταση 25 ή 50% επί του μίγματος παγωτού		Προβιοτικό γιαούρτι 2% (Αγελαδίτσα <i>Bifidus</i> , ΦΑΓΕ Α.Ε., 12.3% ΣΥΑΛ)

Πίνακας 5.11: Σύσταση των δειγμάτων προβιοτικού παγωτού με διαφορετικά είδη υδροκολλοειδών

5.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Για την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων εφαρμόστηκαν στατιστικά εργαλεία παραμετρικής (Ανάλυση συνδιακύμανσης - ANOVA) και πολυπαραμετρικής ανάλυσης (PCA, CA, DA, PLSR). Οι κλασικές τεχνικές στατιστικής επεξεργασίας χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της σημαντικότητας των επιδράσεων των σχεδιαστικών παραμέτρων στις επιμέρους ιδιότητες των μιγμάτων και των δειγμάτων παγωτού, ενώ οι εφαρμοσμένες τεχνικές πολυμεταβλητής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να διερευνηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ των αντικειμενικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (ώστε να κατανοηθούν

καλύτερα οι μηχανισμοί μέσω των οποίων εκδηλώνεται η λειτουργικότητα των προστιθέμενων συστατικών) καθώς και για να χαρτογραφηθεί ο τρόπος μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων παγωτού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

5.6.1 ANOVA

Για τον έλεγχο της σημαντικότητας της επίδρασης των σχεδιαστικών παραμέτρων (είδος κρουπροστευτικού υλικού, ποσοστό προσθήκης, χρόνος αποθήκευσης) χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της ανάλυσης διακύμανσης δύο παραγόντων (two way - ANOVA) ή της πολυμεταβλητής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA) ανάλογα με το σύνολο των σχεδιαστικών παραμέτρων. Στις περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν σημαντικές επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων, εφαρμόστηκε το κριτήριο Duncan's για τον έλεγχο των διαφορών των μέσων όρων των σχεδιαστικών παραμέτρων.

Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της πολυμεταβλητής ανάλυσης συνδιακύμανσης (MANOVA) ήταν η εξής:

1) Επίδραση των υδροκολλοειδών στα δείγματα παγωτού

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΕΙΔΟΣ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΟΥΣ

1 = CMC, 2 = ΓΚΟΥΑΡ, 3 = CMC, 4 = ΞΑΝΘΑΝΗ, 5 = ΗΡΜC

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΟΥΣ

1 = 0.1%, 2 = 0.2%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΑΡΟΥΣΙΑ κ-ΚΑΡΡΑΓΕΝΑΝΗΣ

1 = απουσία κ-καρραγενάνης, 2 = παρουσία κ-καρραγενάνης

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

1 = 4 εβδομάδες αποθήκευσης, 2 = 16 εβδομάδες αποθήκευσης

2) Επίδραση των γλυκαντικών υλών στα δείγματα παγωτού

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΕΙΔΟΣ ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΗΣ ΥΛΗΣ

1 = ΣΟΡΒΙΤΟΛΗ, 2 = ΜΑΛΤΙΤΟΛΗ, 3 = ΜΑΝΝΙΤΟΛΗ, 4 = ΞΥΛΙΤΟΛΗ, 5 = ΦΡΟΥΚΤΟΖΗ, 6 = ΜΑΛΤΟΖΗ, 7 = ΤΡΕΧΑΛΟΖΗ, 8 = ΑΜΥΛΟΣΙΡΟΠΙΟ 39DE, 9 = ΑΜΥΛΟΣΙΡΟΠΙΟ 22DE, 10 = ΜΑΛΤΟΔΕΞΤΡΙΝΗ 17DE, 11 = ΜΑΛΤΟΔΕΞΤΡΙΝΗ 12DE, 12 = ΙΝΟΥΛΙΝΗ, 13 = ΟΛΙΓΟΦΡΟΥΚΤΟΖΗ, 14 = NUTRIOSE®, 15 = ΣΑΚΧΑΡΟΖΗ

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΑΚΧΑΡΟΖΗΣ

0 = 0%, 1 = 10%, 2 = 30%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

1 = 4 εβδομάδες αποθήκευσης, 2 = 16 εβδομάδες αποθήκευσης

3) Επίδραση των εναλλακτικών σακχάρων στα δείγματα παγωτού

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΕΙΔΟΣ ΓΛΥΚΑΝΤΙΚΗΣ ΥΛΗΣ

1 = ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ ΓΛΕΥΚΟΥΣ (ΠΕΤΙΜΕΖΙ), 2 = ΣΤΑΦΙΔΙΝΗ, 3 = ΜΕΛΑΣΣΑ ΣΑΚΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟΥ

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΑΚΧΑΡΟΖΗΣ

1 = 10%, 2 = 20%, 3 = 30%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

1 = 4 εβδομάδες αποθήκευσης, 2 = 16 εβδομάδες αποθήκευσης

4) Επίδραση των διαιτητικών ινών στα δείγματα παγωτού

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΕΙΔΟΣ ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

1 = ΙΝΑ ΒΡΩΜΗΣ, 2 = ΙΝΑ ΣΙΤΑΡΙΟΥ, 3 = ΙΝΑ ΜΗΛΟΥ, 4 = ΙΝΟΥΛΙΝΗ ΜΑΚΡΑΣ ΑΛΥΣΟΥ

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

1 = 1%, 2 = 2%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

1 = 4 εβδομάδες αποθήκευσης, 2 = 16 εβδομάδες αποθήκευσης

5) Επίδραση των ολιγοσακχαριτών στα δείγματα προβιοτικού παγωτού

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΕΙΔΟΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΟΥ

1 = ΜΑΛΤΟΔΕΞΤΡΙΝΗ 12DE, 2 = ΙΝΟΥΛΙΝΗ, 3 = ΟΛΙΓΟΦΡΟΥΚΤΟΖΗ,

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

1 = 30%, 2 = 50%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ

1 = 25%, 2 = 50%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΛΙΠΑΡΩΝ

1 = 4%, 2 = 6%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

1 = 4 εβδομάδες αποθήκευσης, 2 = 16 εβδομάδες αποθήκευσης

6) Επίδραση των υδροκολλοειδών στα δείγματα προβιοτικού παγωτού

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΕΙΔΟΣ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΟΥΣ

1 = ΚΟΜΜΙ ΓΚΟΥΑΡ, 2 = ΑΛΓΙΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ, 3 = CMC, 4 = ΗΡΜC, 5 = ΞΑΝΘΑΝΗ

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ

1 = 0.2%, 2 = 0.4%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ

1 = 25%, 2 = 50%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΠΟΣΟΣΤΟ ΛΙΠΑΡΩΝ

1 = 4%, 2 = 6%

- ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ: ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

1 = 4 εβδομάδες αποθήκευσης, 2 = 16 εβδομάδες αποθήκευσης

5.6.2 Ανάλυση κύριων συνιστωσών - ΑΚΣ (Principal components analysis - PCA)

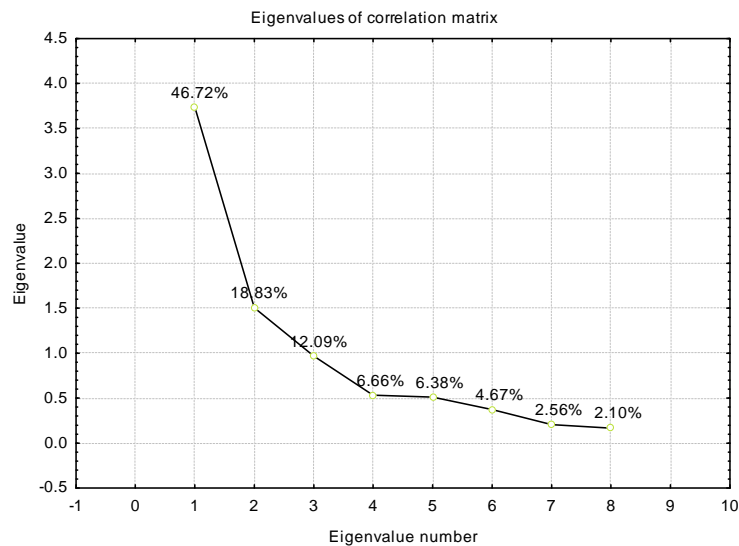
Η ανάλυση κύριων συνιστωσών είναι ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο της πολυμεταβλητής ανάλυσης. Ο όρος πολυμεταβλητή (ή πολυπαραμετρική) ανάλυση αναφέρεται στην ταυτόχρονη στατιστική ανάλυση όλων των παραμέτρων (σχεδιαστικές μεταβλητές - προσδιορισμένες ιδιότητες) ενός πειράματος. Στην περίπτωση όπου ένας μεγάλος αριθμός ιδιοτήτων έχει προσδιοριστεί σε ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων, τότε η χρήση στατιστικών μεθόδων της μονο-παραμετρικής ανάλυσης (univariate analysis) είναι πολύ χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, ενώ τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορεί να ερμηνευθούν κατά τρόπο ανεπαρκή οδηγώντας σε λανθασμένα συμπεράσματα. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται η εφαρμογή της μεθόδου της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών. Η ΑΚΣ παρέχει δύο σημαντικές δυνατότητες: α) τη μείωση του αριθμού των απαιτούμενων μεταβλητών για την επαρκή ερμηνεία των αποτελεσμάτων του πειράματος και β) τη χαρτογράφηση του τρόπου αλληλεπίδρασης των μεταβλητών και των δειγμάτων. Η μείωση του αρχικού αριθμού των μεταβλητών στον καινούργιο αριθμό των απαιτούμενων μεταβλητών (κύριες συνιστώσες) πραγματοποιείται μέσω της κατασκευής των γραμμικών συνδυασμών των αρχικών μεταβλητών και είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Κατά συνέπεια δημιουργείται ένας πίνακας συνδιακύμανσης ή συσχέτισης μεταξύ του αριθμού η των μεταβλητών, από τον οποίο προσδιορίζονται οι χαρακτηριστικές ρίζες και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά ανύσματα (scree plot). Οι χαρακτηριστικές ρίζες διατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά και αποτελούν τις συνδιακυμάνσεις των κύριων συνιστωσών. Οι κύριες συνιστώσες παρέχονται από τις εξισώσεις:

$$\begin{aligned}
 PC1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \\
 PC2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \\
 &\dots \\
 PCn &= a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n
 \end{aligned}
 \tag{5.10}$$

όπου PC1-PCn, οι κύριες συνιστώσες, $a_{11}, a_{12} \dots a_{nn}$ τα χαρακτηριστικά ανύσματα τα οποία αποτελούν τους συντελεστές των γραμμικών εξισώσεων της σχέσης 5.1, και σχετίζονται με την κλίση του υπερεπίπεδου που δημιουργείται στο χώρο από τις κύριες συνιστώσες, και $X_1, X_2 \dots X_n$. Πρακτικά μόνο ένας πολύ μικρός κύριων συνιστωσών επιλέγεται για περαιτέρω μελέτη

(PC1 - PC3). Η επιλογή του μέγιστου αριθμού των προς μελέτη κύριων συνιστωσών γίνεται με βάση το διάγραμμα ιδιοτιμών - scree plot (Σχήμα 5.4). Γενικά επιλέγονται μόνο οι κύριες συνιστώσες που χαρακτηρίζονται από τιμή ιδιοδιανύσματος μεγαλύτερη ή ίση του 1. Για παράδειγμα με βάση το scree plot του σχήματος, για την επαρκή μελέτη των μεταβλητών χρειάζονται τρεις κύριες συνιστώσες (PC1 - PC3). Εναλλακτικά, μπορούν να επιλεγούν τόσες κύριες συνιστώσες όσες απαιτούνται για να εξηγηθεί το 70% τουλάχιστον της ολικής διακύμανσης.

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών πρέπει επίσης να κατασκευαστεί ο πίνακας συσχέτισης (Πίνακας 5.2) των κύριων συνιστωσών με τις προσδιορισμένες μεταβλητές. Με βάση τον πίνακα συσχέτισης καθορίζεται ο τρόπος συσχέτισης των μεταβλητών με τους άξονες των διαγραμμάτων ΑΚΣ. Έτσι μία ιδιότητα η οποία σχετίζεται σημαντικά (>0.7 ή <-0.7) με τον άξονα PC1, θα μεταβάλλεται η τιμή της κατά μήκος του άξονα και ανάλογα με το είδος της συσχέτισης (θετική ή αρνητική). Στην περίπτωση όπου η σύσταση των μεταβλητών είναι σύνθετη, δηλαδή περιλαμβάνει ιδιότητες που έχουν προσδιοριστεί σε διαφορετική κλίμακα π.χ. οργανοληπτικά δεδομένα και αντικειμενικές μετρήσεις, τότε πριν την επεξεργασία τους τα δεδομένα κανονικοποιούνται.



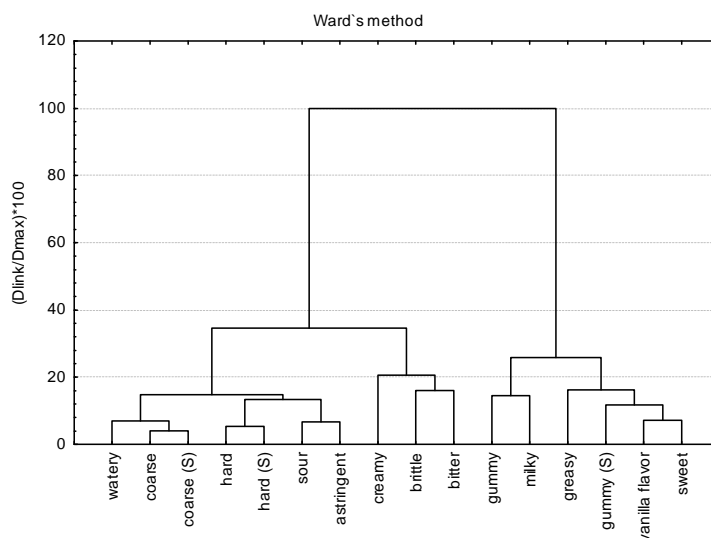
Σχήμα 5.4: Διάγραμμα ιδιοτιμών (eigenvalue) - αριθμού ιδιοδιανύσματος (eigenvalue number) για την επιλογή των απαιτούμενων κύριων συνιστωσών.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Μεταβλητή 1	0.783	0.239	-0.031	0.045	-0.426	-0.258	-0.275	0.042
Μεταβλητή 2	-0.316	0.757	-0.582	-0.418	-0.228	0.119	0.089	-0.055
Μεταβλητή 3	-0.848	0.020	-0.097	-0.118	0.105	-0.446	0.091	0.194
Μεταβλητή 4	-0.810	0.034	0.155	-0.352	0.223	0.014	-0.349	-0.147
Μεταβλητή 5	-0.828	-0.074	0.069	0.199	-0.320	0.254	-0.111	0.295
Μεταβλητή 6	0.315	-0.851	0.197	-0.499	-0.246	0.014	0.066	0.059
Μεταβλητή 7	-0.761	-0.101	0.259	0.202	-0.448	-0.100	0.112	-0.279
Μεταβλητή 8	0.107	0.659	0.711	-0.175	0.023	0.030	0.101	0.072

Πίνακας 5.12: Πίνακας συσχέτισης (correlation matrix) κύριων συνιστωσών - προσδιορισμένων μεταβλητών

5.6.3 Ανάλυση ομαδοποίησης (Cluster analysis)

Η ανάλυση ομαδοποίησης (ή ανάλυση της ομοιομορφίας των ομάδων ή ανάλυση κατά συστάδες) είναι μία τεχνική η οποία βασίζεται στην ομαδοποίηση των παρατηρήσεων κατά τρόπο ώστε οι παρατηρήσεις ανά ομάδα να παρουσιάζουν μία ομοιογένεια σε σχέση με τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό των ομάδων. Μία βασική διαφοροποίηση μεταξύ της ανάλυσης ομαδοποίησης και της ΑΚΣ είναι ότι στην πρώτη εξηγείται το 100% της ολικής διακύμανσης και επιπλέον αντί του πίνακα συσχέτισης χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις απόστασης (π.χ. ευκλείδιες αποστάσεις, Manhattan, Chebyshev κ.α.). Οι μέθοδοι της ανάλυσης ομαδοποίησης διακρίνονται σε ιεραρχικές και μη ιεραρχικές. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η ιεραρχική μέθοδος ομαδοποίησης, η οποία βασίζεται στη δημιουργία ενός δενδρογράμματος (Σχήμα 5.5). Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός των αποστάσεων κάθε αντικείμενου (παρατήρηση) από το σύνολο των υπολοίπων παρατηρήσεων. Στη συνέχεια σχηματίζονται ομάδες μέσω μίας διαδικασίας συσσωμάτωσης (agglomeration) ή διάκρισης (division). Κατά τη διαδικασία συνάθροισης όλα τα αντικείμενα ξεκινούν από ομάδες του ενός (κάθε αντικείμενο αποτελεί μια ομάδα). Οι ομάδες που βρίσκονται πιο κοντά ομογενοποιούνται έτσι ώστε τελικά όλα τα αντικείμενα να σχηματίζουν μία ομάδα. Για την κατασκευή των διαγραμμάτων της ανάλυσης ομαδοποίησης στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο συσσωμάτωσης Ward's ενώ ως μέτρο των αποστάσεων μεταξύ των ομάδων οι ευκλείδιες αποστάσεις. Τα δεδομένα πριν τη στατιστική τους επεξεργασία κανονικοποιήθηκαν.



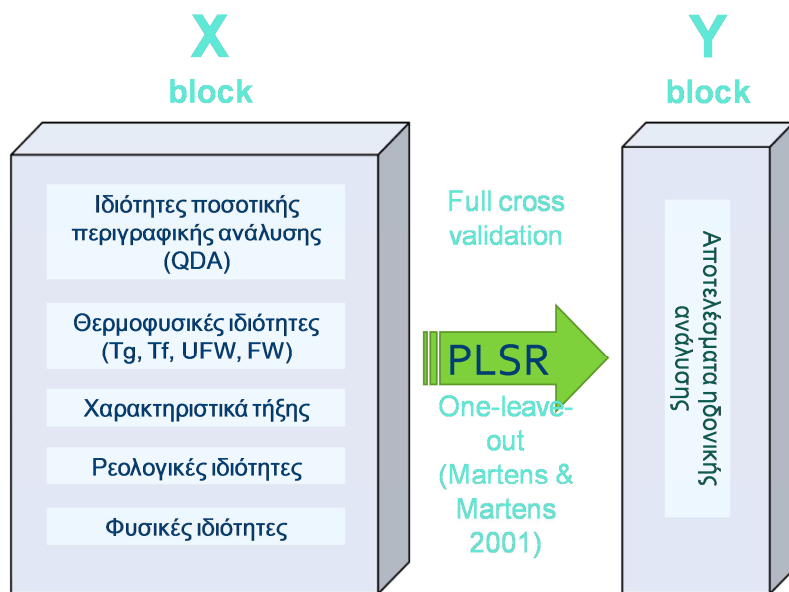
Σχήμα 5.5: Ενδεικτικό διάγραμμα της ανάλυσης ομαδοποίησης με εφαρμογή του κριτηρίου Ward και προσαρμογή των ευκλείδιων αποστάσεων σε κλίμακα του 100.

5.6.4 Παλινδρόμηση μερικών ελάχιστων τετραγώνων (Partial least squares regression - PLSR)

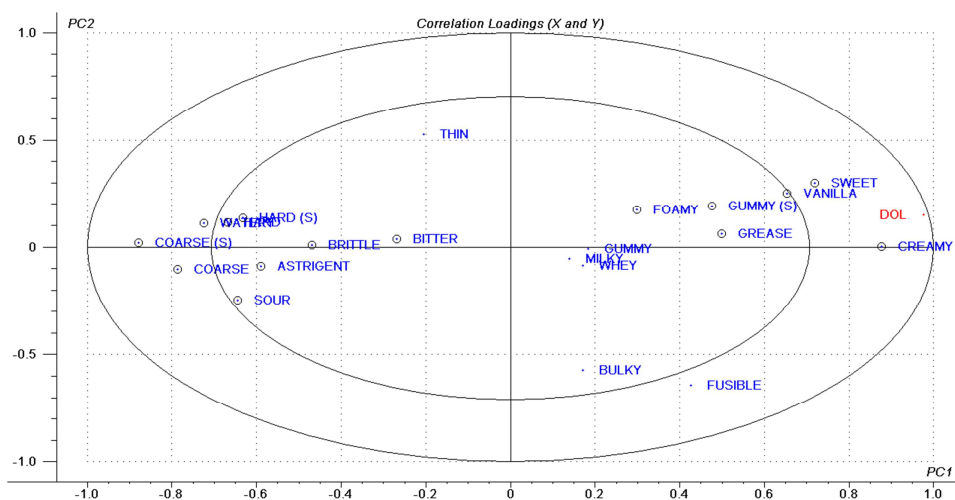
Η μέθοδος της παλινδρόμησης μερικών ελάχιστων τετραγώνων (PLSR) είναι μία τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της αλληλοσύνδεσης μεταξύ δύο διαφορετικών ομάδων δεδομένων Χ,Υ όπου η πρώτη ομάδα δεδομένων (Υ) προσδιορίζεται από τη δεύτερη (Χ). Στην περίπτωση της τεχνολογίας των τροφίμων, συνήθως η πρώτη ομάδα δεδομένων προέρχεται από οργανοληπτικούς προσδιορισμούς (αποτελέσματα ποσοτικής περιγραφικής ανάλυσης ή ηδονικής ανάλυσης), ενώ η δεύτερη ομάδα αναφέρεται σε αντικειμενικούς προσδιορισμούς (ενόργανες μετρήσεις, χημικές ιδιότητες). Η PLSR μπορεί να θεωρηθεί ως το υβρίδιο μεταξύ της ανάλυσης κύριων συνιστωσών και της πολυπαραμετρικής παλινδρόμησης αφού παρέχει λύσεις για τις μεταβλητές Χ,Υ, ενώ παράλληλα συμβάλλει στον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης του Χ που μπορεί να εξηγήσει σε ικανοποιητικό βαθμό το μεγαλύτερο

ποσοτό της διακύμανσης της μεταβλητής Y (Mac Fie & Hederley 1993; Chung et al., 2003; Martens & Martens 2000; Martens et al., 2000; de Kermadec et al., 1997).

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή οι προσδιορισμοί των μοντέλων πρόρρησης της ολικής αποδοχής (Y) των δειγμάτων έγιναν με εφαρμογή του στατιστικού προγράμματος Unscrambler 9.6 (CAMO, ASA, Trondheim, Norway), χρησιμοποιώντας μια ομάδα οργανοληπτικών και αντικειμενικών μετρήσεων (Σχήμα 5.6). Τα δεδομένα εισήχθησαν ως μέσοι όροι σε μορφή πίνακα χωρίς καμία περαιτέρω επεξεργασία. Κανονικοποίηση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μόνο στις περιπτώσεις όπου οι συντελεστές του προρρητικού μοντέλου παρουσίαζαν μεγάλες αποκλίσεις. Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου αριθμού των συνιστωσών PLS εφαρμόστηκε το κριτήριο Martens σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross-validation) (Martens & Martens 2000).



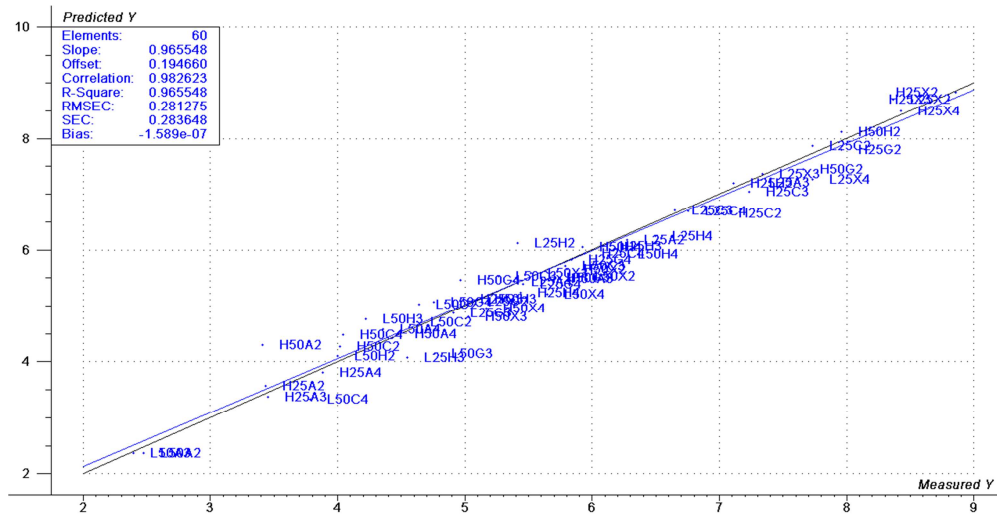
Σχήμα 5.6: Εφαρμογή της μεθόδου PLSR (Partial Least Squares Regression) για την ποσοτικοποίηση της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού χρησιμοποιώντας οργανοληπτικές και αντικειμενικές μετρήσεις



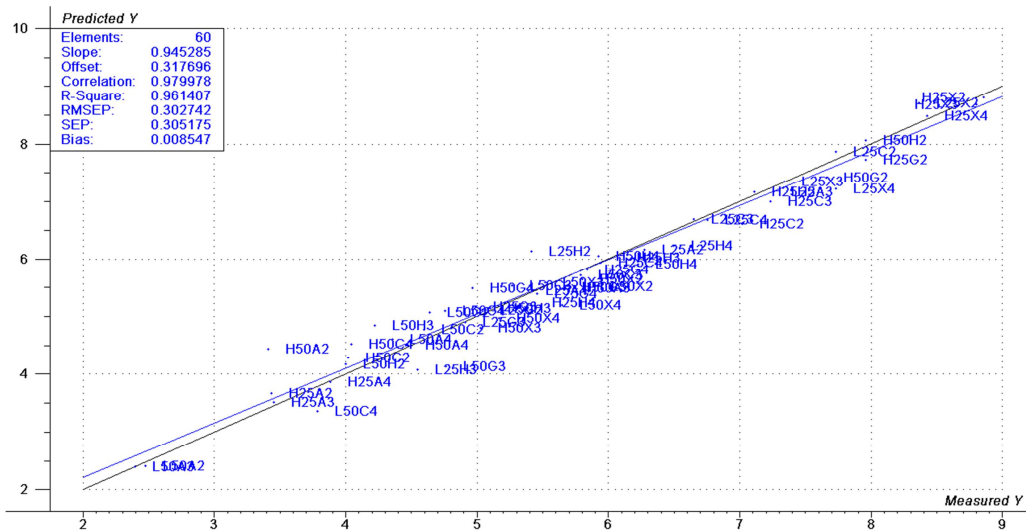
Σχήμα 5.7: Επιλογή των κατάλληλων X μεταβλητών για τη βαθμονόμηση και επαλήθευση του PLS μοντέλου με βάση το κριτήριο Martens και την εφαρμογή πλήρους διασταυρωτικής επαλήθευσης (full cross validation). Η εσωτερική και εξωτερική καμπύλη του διαγράμματος αντιστοιχούν σε 50 και 100% εξήγηση της ολικής διακύμανσης των X μεταβλητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η εφαρμογή της πλήρους διασταυρωτικής επαλήθευσης βασίζεται στην επανεκτίμηση όλων των παραμέτρων του μοντέλου η φορές, αφήνοντας κάθε φορά εκτός των προσδιορισμών ένα μικρό δείγμα από τα αντικείμενα (ένα ή και περισσότερα). Τα δείγματα που μένουν εκτός των υπολογισμών χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της προρρητικής ικανότητας του μαθηματικού μοντέλου. Έτσι, με βάση τις υποδείξεις του προγράμματος οι περιττές μεταβλητές καθώς και το σύνολο των δειγμάτων που εμφάνισαν αδυναμία προσαρμογής στο μοντέλο βαθμονόμησης απορρίφθηκαν και εν συνεχεία το μαθηματικό μοντέλο επανακατασκευάστηκε με βάση το νέο αριθμό μεταβλητών και δειγμάτων. Προκειμένου να προσδιοριστεί η αξιοπιστία των προρρητικών μοντέλων, τα σφάλματα βαθμονόμησης (RMSEC) και επαλήθευσης (RMSEP) προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος.



Σχήμα 5.8: Γραμμικό μοντέλο βαθμονόμησης και σφάλματα βαθμονόμησης

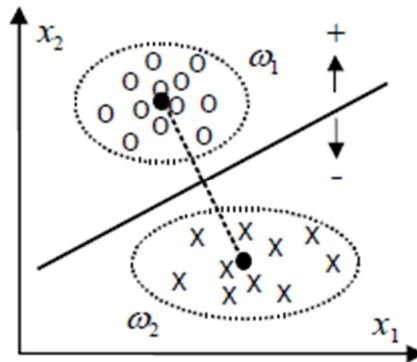


Σχήμα 5.9: Γραμμικό μοντέλο επαλήθευσης και σφάλματα επαλήθευσης

Επιπλέον, η συμμετοχή των μεταβλητών του μοντέλου στην αιτιολόγηση της ολικής διακύμανσης της ομάδας των Χ μεταβλητών (αρχικός αριθμός) καθώς και στην αιτιολόγηση της ολικής αποδοχής Y προσδιορίστηκε για κάθε μοντέλο.

5.6.5 Ανάλυση διάκρισης (Discriminant analysis)

Η ανάλυση διάκρισης (διαχωριστική ανάλυση ή διακριτική ανάλυση) βασίζεται στην ταξινόμηση ενός αριθμού παρατηρήσεων με βάση ένα συγκεκριμένο αριθμό μεταβλητών. Αν θεωρήσουμε δύο ομάδες παρατηρήσεων οι οποίες περιγράφονται από διδιάστατα ανύσματα x_1 και x_2 (Σχήμα 5.10), τότε κάθε παρατήρηση περιγράφεται από ένα διάνυσμα $x = [x_1, x_2]$.



Σχήμα 5.10: Διαχωρισμός δύο ομάδων παρατηρήσεων με εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης διάκρισης

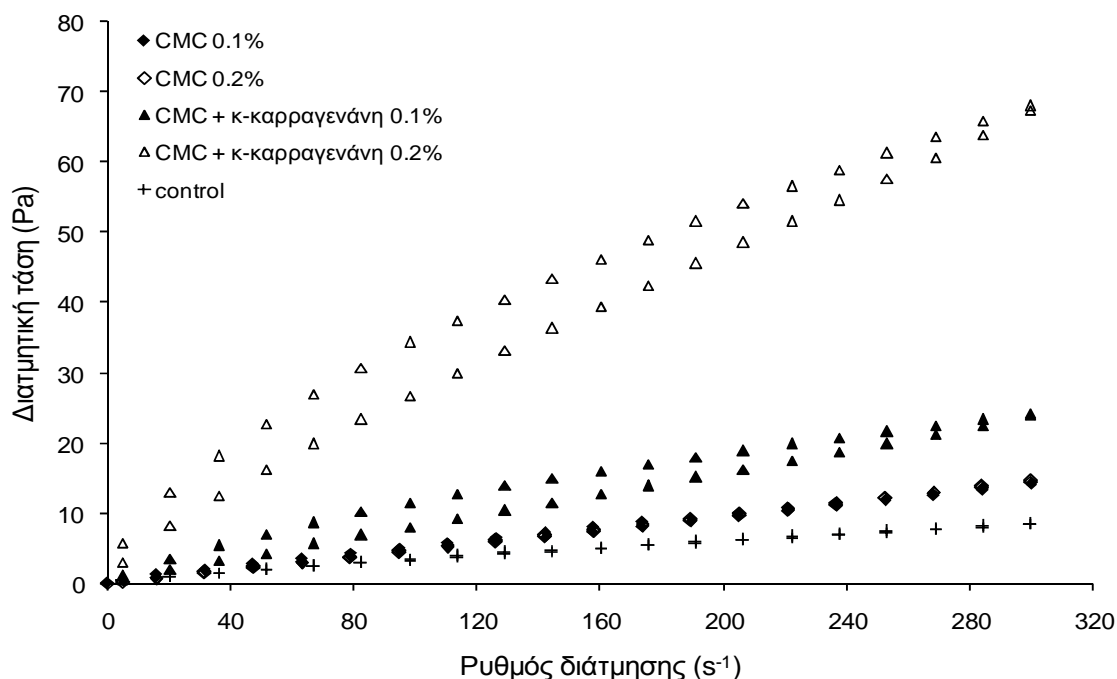
Κάθε παρατήρηση των επιμέρους ομάδων χαρακτηρίζεται από μια τυχαία κατανομή των διανυσμάτων τους (συμβολίζονται ως «x» και «o») και οι οποίες περιβάλλονται από μία συνεχή ελλειπτική γραμμή η οποία υποδηλώνει την πιθανοτική ισοδυναμία. Μεταξύ των ομάδων η συνεχής ευθεία γραμμή διαχωρίζει πλήρως τις δύο ομάδες μεταξύ τους και αποτελεί μέτρο της αποτελεσματικότητας του διαχωρισμού των δύο ομάδων. Η διακεκομμένη γραμμή που συνδέει τα κέντρα των ομάδων ω_1 και ω_2 είναι γνωστή ως απόσταση Mahalanobis και αποτελεί μέτρο της ομοιότητας (similarity) μεταξύ των ομάδων.

Στην παρούσα διατριβή η ανάλυση διάκρισης εφαρμόστηκε με χρήση του προγράμματος STATISTICA (release 7, StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA), με στόχο τη διερεύνηση των ομοιοτήτων των επιμέρους κρουπροστατευτικών υλικών ως προς τη λειτουργικότητά τους.

6.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ ΣΤΑ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΕΠΙΔΟΡΠΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

6.1.1 Ρεολογικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού

Στα σχήματα 6.1.1 - 6.1.5 απεικονίζονται οι ρεολογικές καμπύλες των ωριμασμένων μιγμάτων παγωτού για τα διάφορα είδη υδροκολλοειδών και των μιγμάτων τους με κ-καρραγενάνη ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό. Όπως φαίνεται από το σύνολο των ρεογραμμάτων η προσθήκη των υδροκολλοειδών οδήγησε σε ψευδοπλαστική συμπεριφορά ($n < 1$). Επιπλέον, η θιξοτροπική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού (όπως υποδεικνύεται από το βρόγχο ύστερησης) ενισχύθηκε κατά κύριο λόγο κατά την προσθήκη της κ-καρραγενάνης.

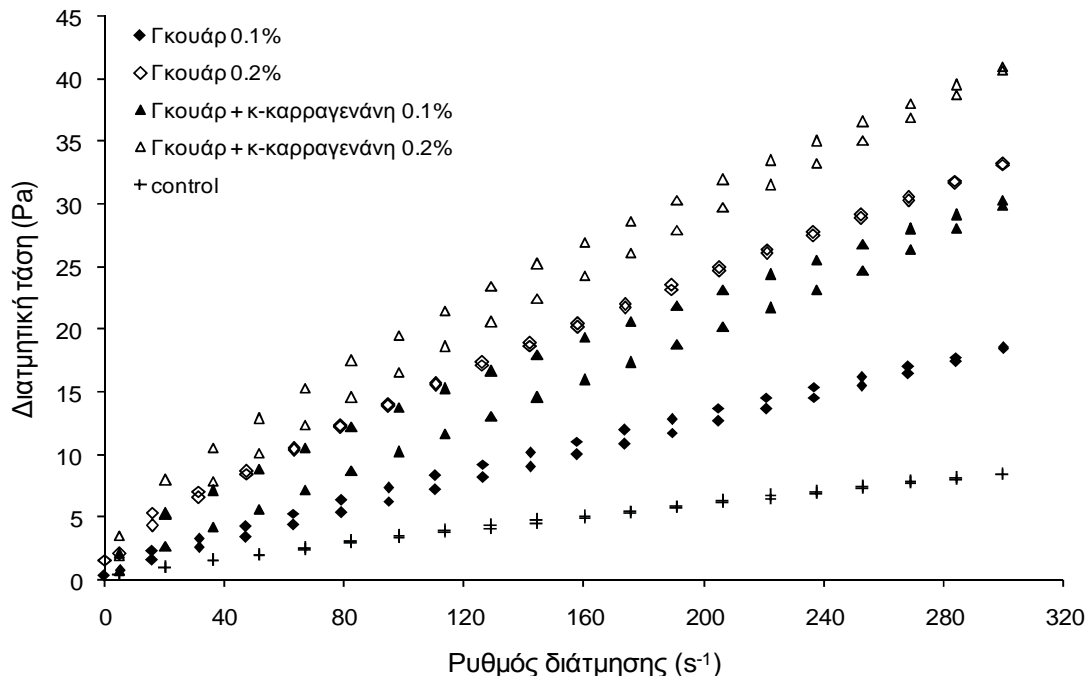


Σχήμα 6.1.1: Επίδραση της καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης (CMC) και των συνεργιστικών της μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C

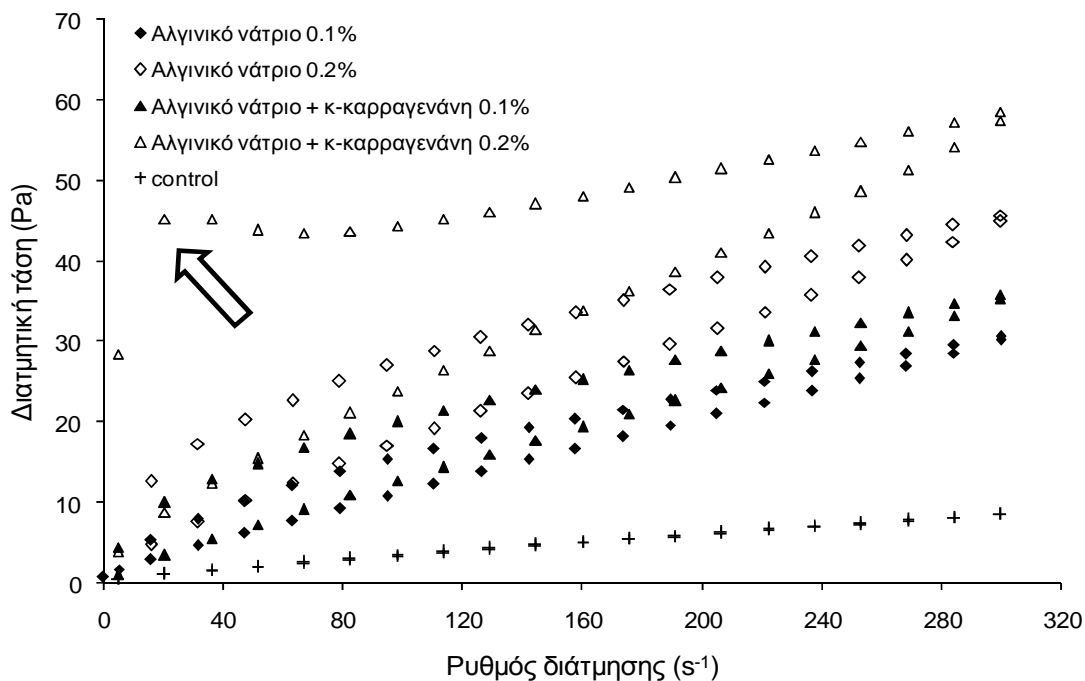
Στα διαγράμματα 6.1.6 - 6.1.9 παρέχονται οι τιμές των ρεολογικών ιδιοτήτων των μιγμάτων παγωτού όπως αυτές προσδιορίστηκαν από τις ρεολογικές καμπύλες με προσαρμογή του μοντέλου Ostwald - de Waale. Σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας (K) και του ιξώδους Kokini, όλες οι σχεδιαστικές παράμετροι (είδος και αναλογία σταθεροποιητή, παρουσία κ-καρραγενάνης) είχαν σημαντική επίδραση ($p < 0.001$). Ειδικότερα, η αύξηση του ποσοστού του υδροκολλοειδούς (3.90 έναντι 0.85 Pa*s⁻ⁿ για ποσοστό υδροκολλοειδούς 0.1 - 0.2%) και η παρουσία της κ-καρραγενάνης (4.01 έναντι 0.74 Pa*s⁻ⁿ απουσία κ-καρραγενάνης) οδήγησαν σε αύξηση του K, ενώ αναφορικά με το είδος των υδροκολλοειδών οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας παρατηρήθηκαν στα μίγματα που περιείχαν ξανθάνη (1.97 Pa*s⁻ⁿ) και αλγινικό νάτριο (7.64 Pa*s⁻ⁿ), ενώ οι χαμηλότερες στα μίγματα με CMC ή γκουάρ (0.64 και 0.67 Pa*s⁻ⁿ αντίστοιχα). Επιπλέον, τα δείγματα χωρίς σταθεροποιητή εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές K από το σύνολο των μιγμάτων παγωτού (0.48 Pa*s⁻ⁿ). Ανάλογη συμπεριφορά παρατηρήθηκε και στην περίπτωση του ιξώδους Kokini.

Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n) επηρεάστηκε σημαντικά από το είδος ($p < 0.001$) και την αναλογία ($p < 0.01$) των υδροκολλοειδών, όπως επίσης και από την προσθήκη

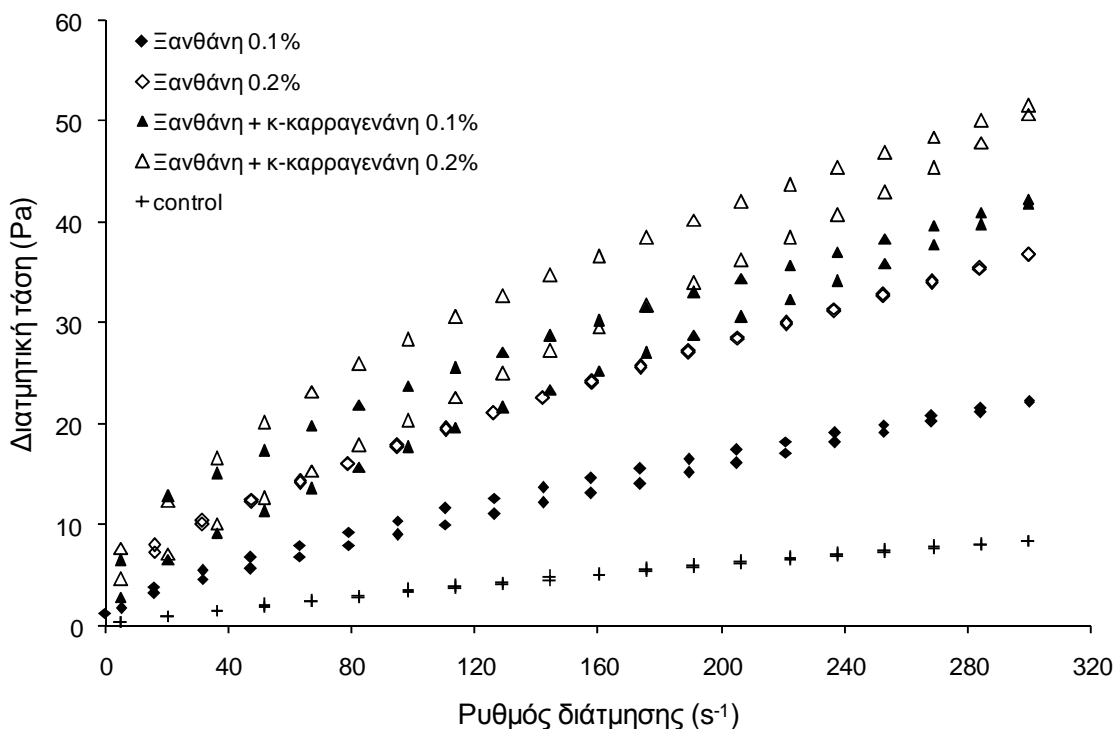
της κ-καρραγενάνης ($p < 0.001$). Η αύξηση του ποσοστού του υδροκολλοειδούς (0.58 έναντι 0.69 για ποσοστό υδροκολλοειδούς 0.1%) και η παρουσία της κ-καρραγενάνης (0.55 έναντι 0.73 χωρίς κ-καρραγενάνη) επέφεραν μείωση του συντελεστή n . Παρομοίως, τα μίγματα παγωτού που περιείχαν αλγινικό νάτριο και ξανθάνη εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές n (0.44 και 0.55 αντίστοιχα), ενώ τα μίγματα με CMC τις υψηλότερες (0.82).



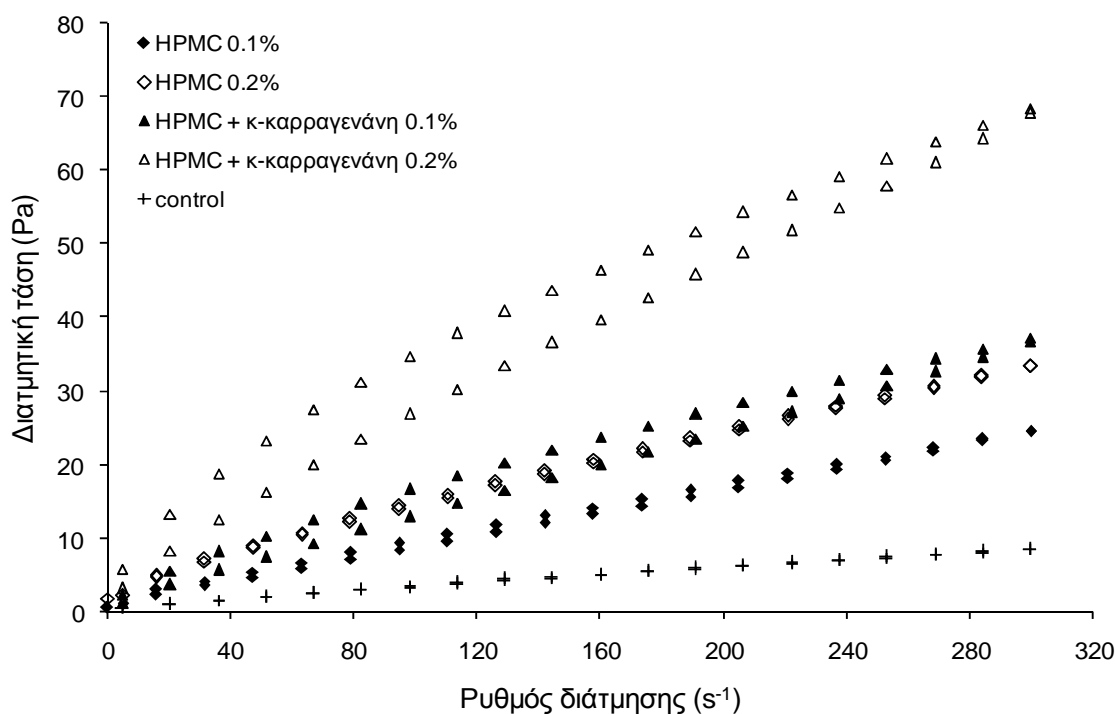
Σχήμα 6.1.2: Επίδραση του κόμμεος γκουάρ και των συνεργιστικών του μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C



Σχήμα 6.1.3: Επίδραση του αλγινικού νατρίου και των συνεργιστικών του μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4°C. Το βέλος υποδεικνύει τη θραύση του πολυσακχαριτικού πήγματος.



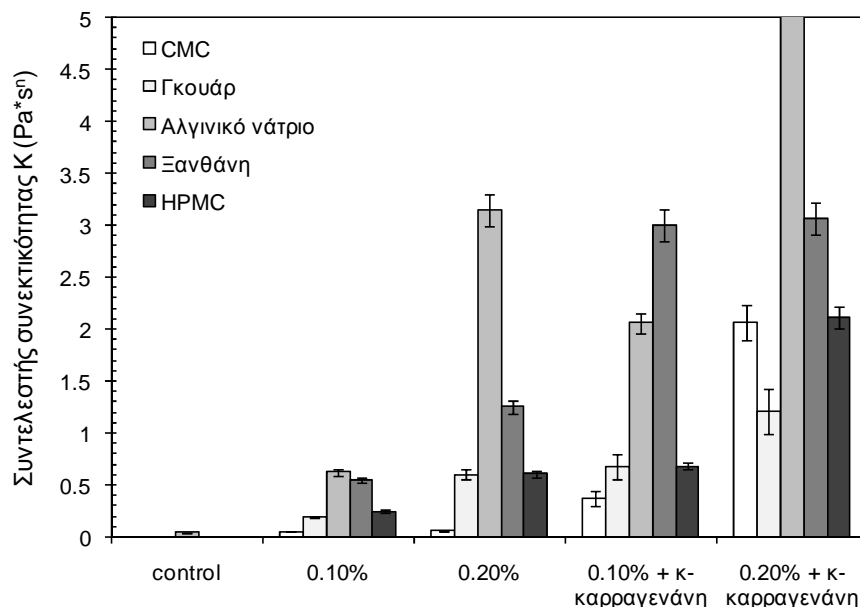
Σχήμα 6.1.4: Επίδραση της ξανθάνης και των συνεργιστικών της μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4 °C



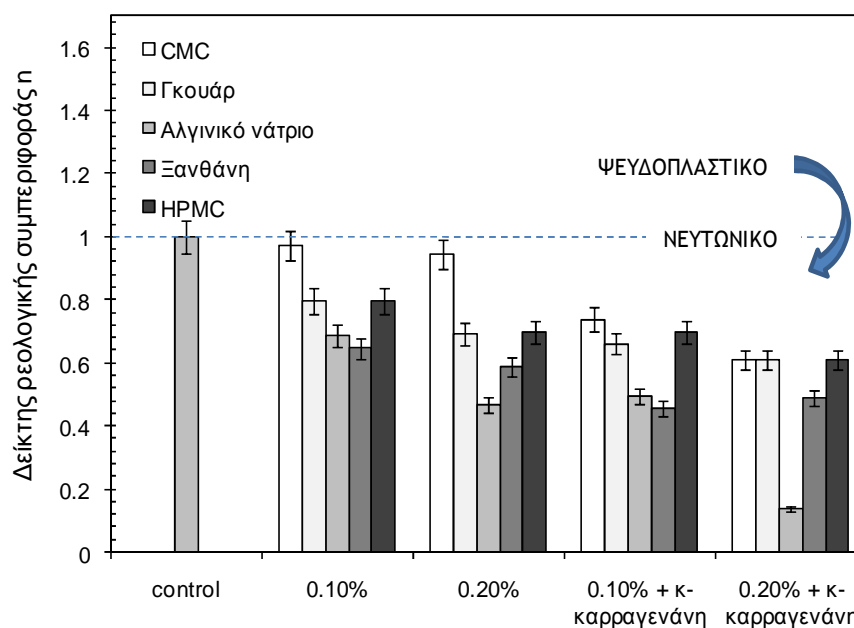
Σχήμα 6.1.5: Επίδραση της υδροξυλοπροπυλομεθυλοκυτταρίνης (HPMC) και των συνεργιστικών της μιγμάτων με κ-καρραγενάνη στη ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4 °C

Η θιξοτροπική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού επηρεάστηκε από το είδος του υδροκολλοειδούς ($p < 0.001$) καθώς και από την προσθήκη της κ-καρραγενάνης ($p < 0.001$). Η παρουσία της κ-καρραγενάνης, όπως και η χρήση αλγινικού νατρίου αποτέλεσαν τους σημαντικότερους παράγοντες ενίσχυσης της θιξοτροπικής συμπεριφοράς των μιγμάτων.

Αντίθετα, τα υπόλοιπα υδροκολλοειδή δεν παρουσίασαν αξιόλογες αποκλίσεις σε ότι αφορά την επίδρασή τους στη θιξοτροπική συμπεριφορά των μιγμάτων.



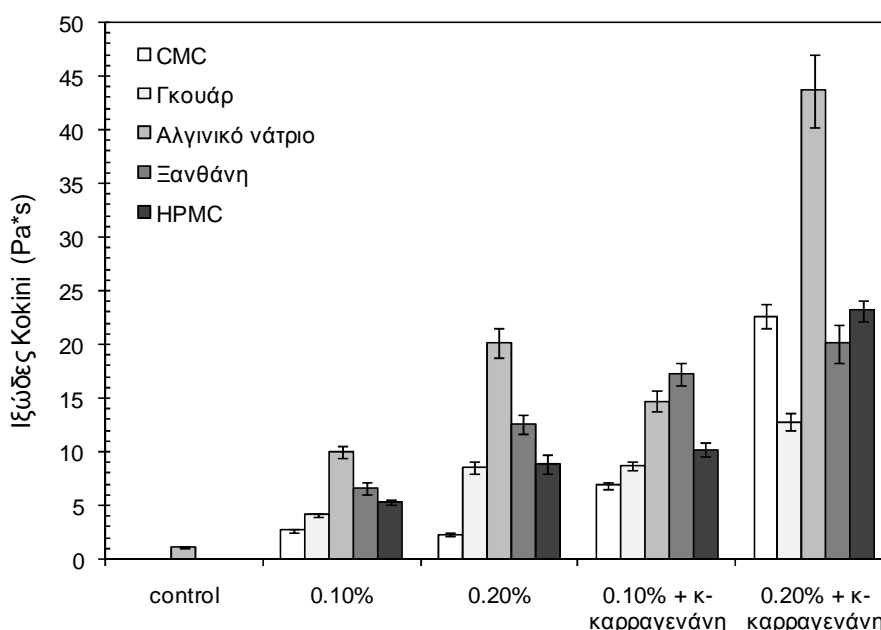
Σχήμα 6.1.6: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο συντελεστή συνεκτικότητας K των μιγμάτων παγωτού στους 4 °C (ωριμασμένων στους 4 °C για 18h)



Σχήμα 6.1.7: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των μιγμάτων παγωτού στους 4 °C (ωριμασμένων στους 4 °C για 18h)

Η ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού επηρεάζεται τόσο από το είδος και την αναλογία των συστατικών του (π.χ. βιοπολυμερή, λιπαρά κ.α.) όσο και από τις συνθήκες ομογενοποίησης και ωρίμανσης οι οποίες μεταβάλλουν τις κολλοειδείς τους ιδιότητες. Η χρήση των υδροκολλοειδών μεταβάλλει σημαντικά τη ρεολογία των μιγμάτων παγωτού, δεδομένου ότι αυτά αφενός συμβάλλουν στη συγκράτηση σημαντικής ποσότητας υγρασίας και αφετέρου

μπορούν να συνεισφέρουν στο σχηματισμό πηγμάτων ή πολυσακχαρικών αλύσων. Έτσι η σημαντική αύξηση του ιξώδους των μιγμάτων αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην ενυδάτωση των βιοπολυμερών και στο σχηματισμό πηγμάτων. Ο σχηματισμός πολυσακχαρικών διαμορφώσεων είναι επίσης καθοριστικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει τη ψευδοπλαστική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού, καθώς η σταδιακή αναδιάταξη και ο επαναπροσανατολισμός των πολυσακχαρικών αλύσων στο χώρο καθορίζει την απόκλιση από τη νευτωνική συμπεριφορά. Τα αυξημένα ιξώδη και η έντονη απόκλιση των μιγμάτων παγωτού με αλγινικό νάτριο από τη νευτωνική συμπεριφορά αποδίδεται στην ικανότητά του να αλληλεπιδρά με τις πρωτεΐνες γάλακτος (παρουσία ιόντων Ca^{2+}), με αποτέλεσμα το σχηματισμό ασθενούς αναντίστρεπτου πήγματος το οποίο μπορεί να ρέει με σχετική ευχέρεια (Linden & Lorient 1999; Moe et al., 1995). Παρομοίως, η ξανθάνη έχει την ικανότητα σχηματισμού άκαμπτων, κανονικά διατεταγμένων και ασθενών πηγμάτων τα οποία υπό την επιβολή διατμητικής τάσης μπορούν να ρέουν ελεύθερα, με αποτέλεσμα την αύξηση της ψευδοπλαστικότητας (Morris 1995; Sworn 2000).

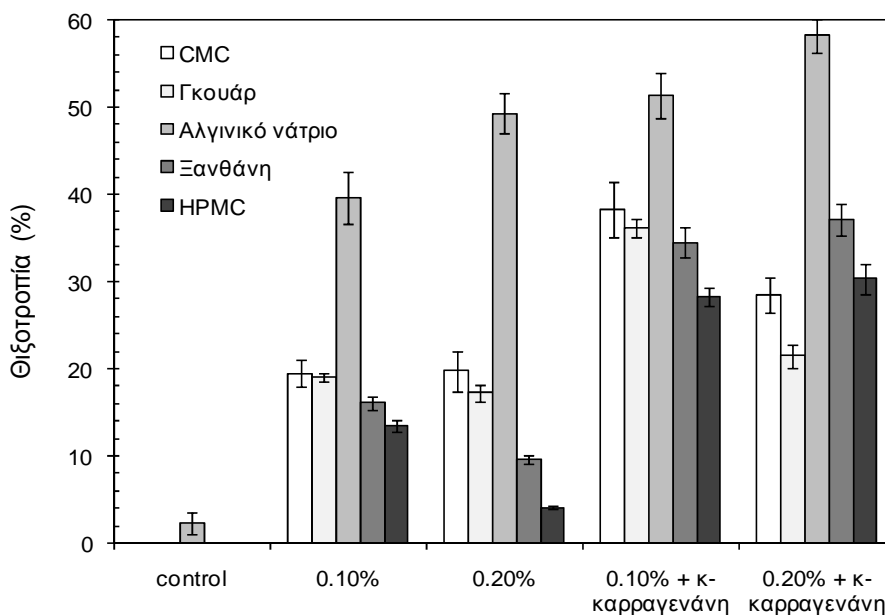


Σχήμα 6.1.8: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο ιξώδες Kokini (σε ρυθμό διάτμησης $50s^{-1}$) συμπεριφοράς των μιγμάτων παγωτού στους $4^{\circ}C$ (ωριμασμένων στους $4^{\circ}C$ για 18h)

Στην περίπτωση των CMC, HPMC και του κόμμεος γκουάρ, η ψευδοπλαστικότητα αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην ικανότητα των συγκεκριμένων υδροκολλοειδών να σχηματίζουν πολυσακχαρικές διαμορφώσεις τυχαίας σπείρας οι οποίες είναι γενικά λιγότερο ισχυρές, σε σχέση με ασθενή πήγματα που σχηματίζουν το αλγινικό νάτριο και η ξανθάνη. Έτσι η απόκλιση από τη νευτωνική συμπεριφορά είναι γενικά μικρότερη (Murrey 2000; Wielinga 2000).

Παρουσία κ-καραγενάνης η ρεολογική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού μεταβλήθηκε σημαντικά: τα ιξώδη, η ψευδοπλαστική και η θιξοτροπική συμπεριφορά ενισχύθηκαν. Η δράση είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η κ-καραγενάνη αποτελούσε το 0.02% του σταθεροποιητικού συστήματος. Οι επιδράσεις της κ-καραγενάνης μπορούν να αποδοθούν στο σχηματισμό πήγματος. Η κ-καραγενάνη έχει ικανότητα να αλληλεπιδρά με τις πρωτεΐνες γάλακτος, κατά κύριο λόγο τις καζεΐνες με αποτέλεσμα το σχηματισμό συμπλόκων με αυτές. Επιπλέον, η θερμοδυναμική ασυμβατότητα

πρωτεΐνών - πολυσακχαριτών ελαττώνεται σημαντικά από την παρουσία της κ-καρραγενάνης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολυσακχαριτικών πλεγμάτων τύπου πηκτής και την περαιτέρω ενίσχυση του ιξώδους και της ψευδοπλαστικότητας (Thauidom & Goff 2003; De Vries 2002).



Σχήμα 6.1.9: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στη θιξοτροπική συμπεριφορά των μιγμάτων παγωτού στους 4 °C (ωριμασμένων στους 4 °C για 18h)

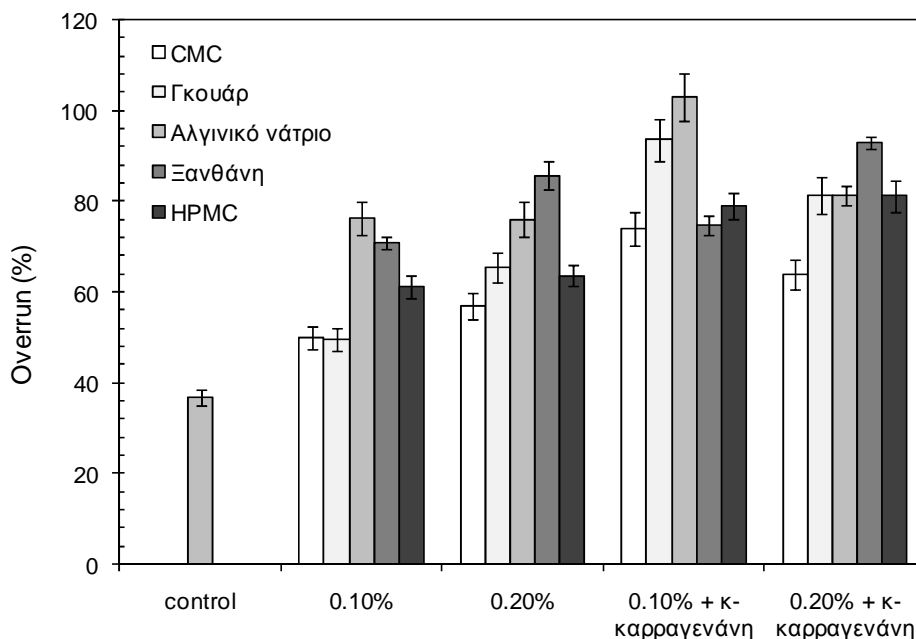
6.1.2 Overrun

Οι επιδράσεις των υδροκολλοειδών στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα των δειγμάτων παγωτού παρουσιάζονται στο σχήμα 6.1.10. Το είδος του υδροκολλοειδούς ($p < 0.05$) όπως και η προσθήκη της κ-καρραγενάνης ($p < 0.001$) επέδρασαν σημαντικά στις τιμές του overrun των δειγμάτων παγωτού. Ειδικότερα, η προσθήκη αλγινικού νατρίου και ξανθάνης οδήγησε στα υψηλότερα ποσοστά overrun (84.2 και 81.1% αντίστοιχα), ενώ το CMC στα χαμηλότερα (61.3%). Σημαντική αύξηση του overrun επέφερε επίσης η προσθήκη της κ-καρραγενάνης (82.6% έναντι 65.6% απουσία κ-καρραγενάνης). Η δημιουργία των φυσαλίδων αέρα, και η σταθεροποίησή τους στην κολλοειδή δομή του παγωτού είναι μία σύνθετη δράση η οποία λαμβάνει χώρα στη διεπιφάνεια υδατικής φάσης - πρωτεϊνών - αέρα (Zhang & Goff 2004). Η παρουσία επιφανειοεργών υλικών π.χ. γαλακτωματοποιητές και πρωτεΐνες είναι απαραίτητη για την επαρκή ενσωμάτωση αέρα στο μίγμα. Η σύσταση των επιφανειοεργών υλικών είναι καθοριστικής σημασίας για την ευχέρεια συμμετοχής των πρωτεϊνών στη διεπιφάνεια φάσης ορού - αέρα, αλλά και για την ικανότητα αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων τα οποία δημιουργούν το λιπαρό δίκτυο από συσσωματωμένα λιποσφαίρια που δρουν σταθεροποιητικά για τις σχηματιζόμενες φυσαλίδες αέρα (Zhang & Goff 2005; Goff 1997b). Οι σταθεροποιητές, ως ελάχιστα ή καθόλου επιφανειοεργές ενώσεις, μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα μέσω του ιξώδους, του σχηματισμού πολυσακχαριτικών διαμορφώσεων όπως και μέσω της θερμοδυναμικής τους ασυμβατότητας με τις πρωτεΐνες.

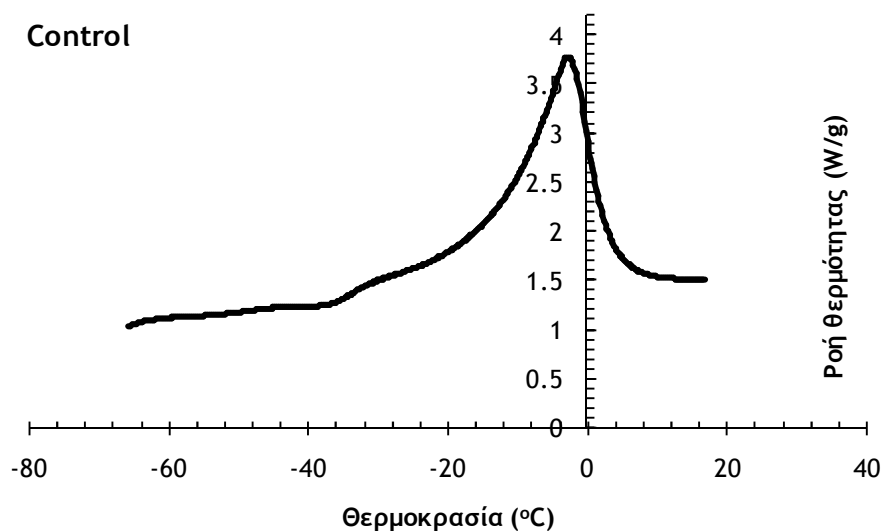
6.1.3 Θερμοφυσικές ιδιότητες

Στα σχήματα 6.1.11 - 6.1.17 παρουσιάζονται οι καμπύλες τήξης πρότυπων συστημάτων πολυσακχαρίτη - πρωτεΐνης - σακχαρόζης όπως προσδιορίστηκαν με εφαρμογή της μεθόδου DSC. Τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των πρότυπων συστημάτων πρωτεΐνης - πολυσακχαρίτη - σακχαρόζης παρουσιάζονται στους πίνακες 6.1.1 - 6.1.3. Η παρουσία των υδροκολλοειδών

στα πρότυπα συστήματα δεν οδήγησε σε σαφείς επιδράσεις στις θερμοκρασίες του σημείου πήξης και κύριας κρυστάλλωσης του νερού.



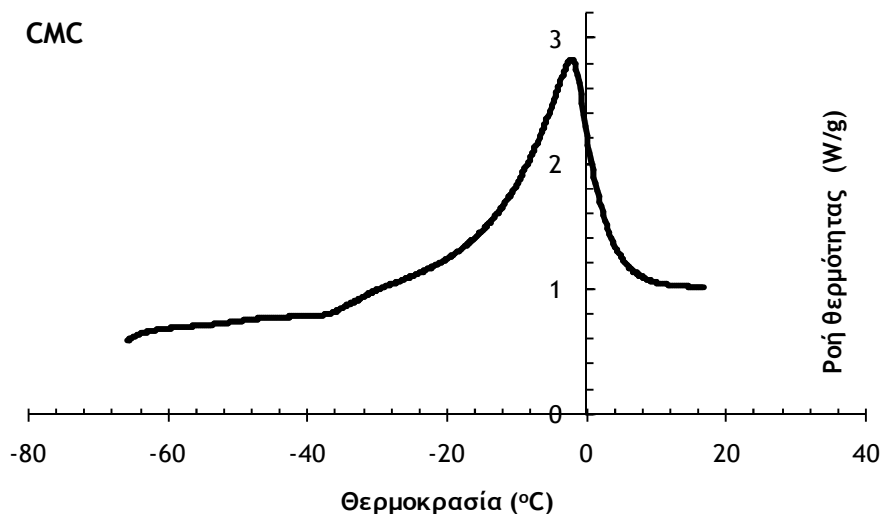
Σχήμα 6.1.10: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα (overrun) των δειγμάτων παγωτού



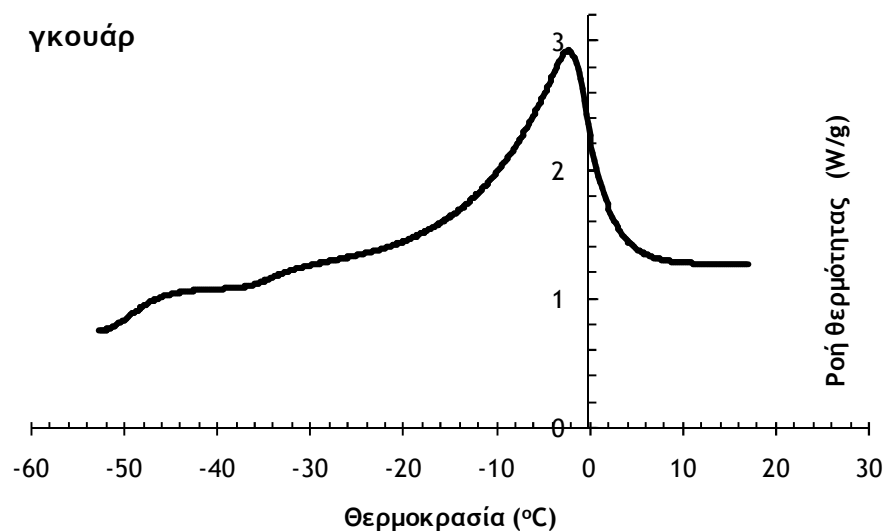
Σχήμα 6.1.11: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ)

Έτσι, ενώ τα δείγματα με ξανθάνη και κ-καρραγενάνη εμφάνισαν γενικά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη υδροκολλοειδών, οι διαφορές λόγω των μεγάλων αποκλίσεων που παρατηρήθηκαν δεν ήταν στατιστικά σημαντικές ($p > 0.05$). Γενικά, όπως αναφέρθηκε και στο κεφ. 4, τα υδροκολλοειδή, λόγω των πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων στις οποίες προστίθενται ($> 0.3-0.4\% w/w$), δεν επηρεάζουν καθοριστικά τις θερμοφυσικές ιδιότητες των δειγμάτων. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση του δείγματος με κ-καρραγενάνη παρουσιάστηκε σημαντική ($p < 0.05$) μείωση της κύριας κρυστάλλωσης του

νερού, γεγονός που υποδεικνύει σημαντικά υψηλότερο βαθμό αλληλεπίδρασης των πολυσακχαριτικών αλύσεων στην υδατική φάση.



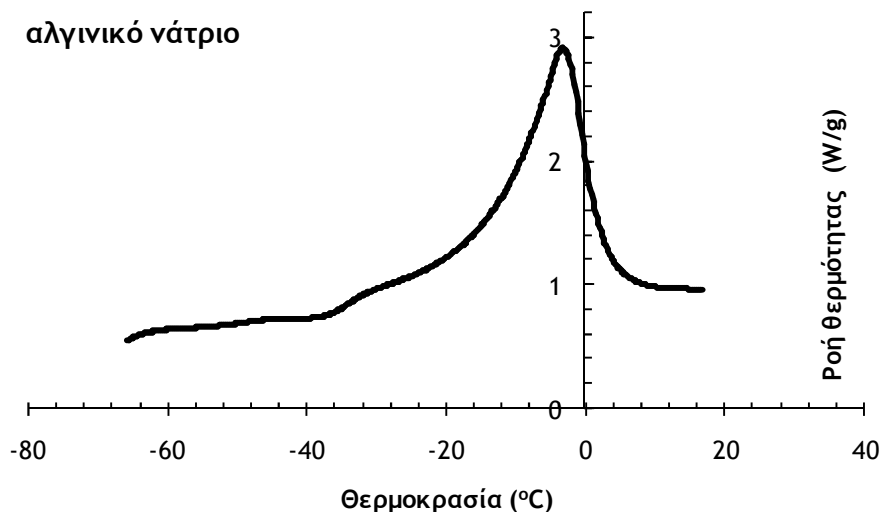
Σχήμα 6.1.12: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης (CMC) - πρωτεΐνης - σακκαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακκαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% CMC)



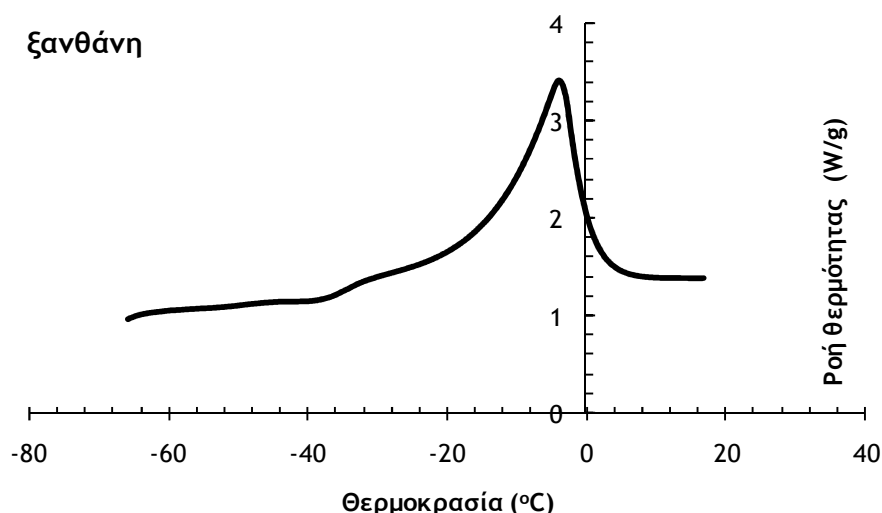
Σχήμα 6.1.13: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος κόμμιος γκουάρ - πρωτεΐνης - σακκαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακκαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% κόμμι γκουάρ)

Τα δεδομένα της ενθαλπίας τήξης του πάγου (ΔH) υποδεικνύουν ότι η προσθήκη των υδροκολλοειδών επιφέρει σημαντική ($p < 0.05$) μείωση του ποσοστού σχηματισμένου πάγου (IC) και αύξηση του ποσοστού της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας (UFW) υπό την εφαρμογή πρωτόκολλου ανόπτησης (συνθήκες μεγιστοποίησης του ποσοστού σχηματισμένου πάγου). Εκτός από την περίπτωση της κ-καρραγενάνης, τα υπόλοιπα υδροκολλοειδή παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά κατά την τήξη τους. Η προσθήκη της κ-καρραγενάνης οδήγησε στα υψηλότερα ποσοστά μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας, γεγονός που υποδηλώνει την αυξημένη αλληλεπίδραση των πολυσακχαριτικών αλύσεων και τη δημιουργία σύνθετων πλεγμάτων. Η προηγούμενη παρατήρηση εξηγείται: α) από το γεγονός ότι η συγκέντρωση της υδατικής φάσης σε κ-καρραγενάνη είναι πολύ υψηλότερη από την κρίσιμη ($c^* = 0.1\% \text{ w/w}$) και β) η κ-

καρραγενάνη εμφανίζει υψηλή συμβατότητα με τις πρωτεΐνες γάλακτος, οπότε επιφέρει αυξημένη αλληλεπίδραση με αυτές, οδηγώντας στο σχηματισμό πηγματος (Morris et al. 2000; Spagnuolo et al, 2005).

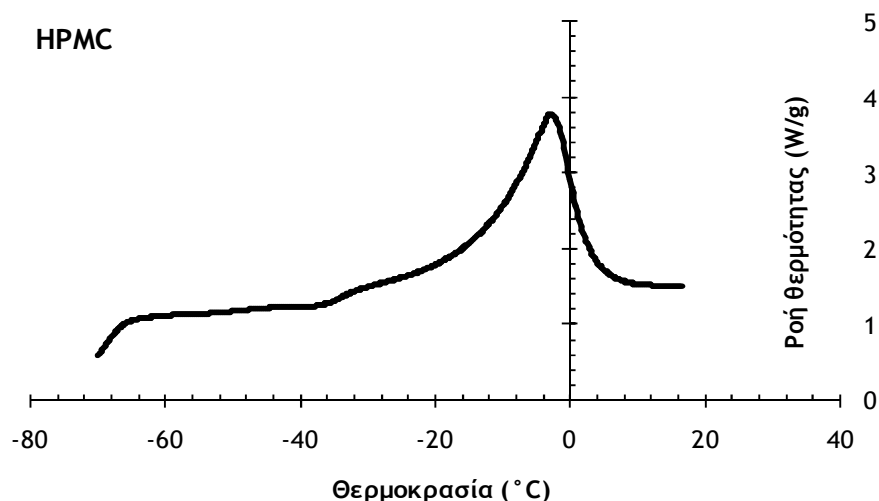


Σχήμα 6.1.14: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος αλγινικού νατρίου - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% αλγινικό νάτριο)

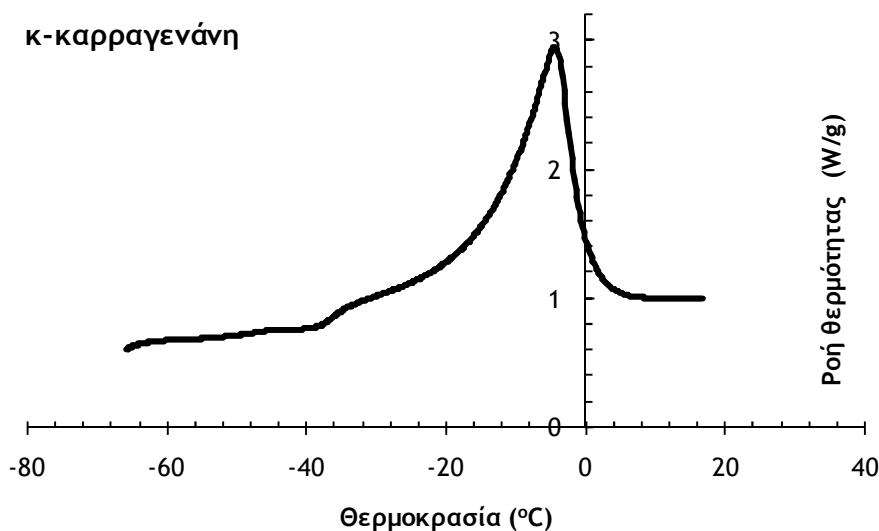


Σχήμα 6.1.15: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος ξανθάνης - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% ξανθάνη)

Τα δεδομένα του εύρους της καμπύλης τήξης υποδεικνύουν ότι η προσθήκη των υδροκολλοειδών επιφέρει σημαντική βελτίωση της ομοιογένειας της κατανομής μεγέθους των παγοκρυστάλλων, γεγονός το οποίο συνδέεται με αυξημένη θερμοδυναμική σταθερότητα των συστημάτων παγωτού έναντι της ανακρυστάλλωσης. Τέλος, παρατηρώντας τις επιδράσεις των υδροκολλοειδών στα σημεία υαλώδους μετάπτωσης η προσθήκη της κ-καρραγενάνης, του αλγινικού νατρίου και της ξανθάνης οδήγησε σε μεγαλύτερες ανυψώσεις του T_g . Αν και οι αποκλίσεις δεν είναι αξιόλογες, τα θερμοφυσικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι η προσθήκη των υδροκολλοειδών επιτυγχάνει κρυσπροστασία, αν και οι μηχανισμοί που ελέγχουν τη θερμοδυναμική αστάθεια των συστημάτων παγωτού δεν έχουν θερμοφυσική βάση, αλλά κολλοειδή (Goff et al., 1999; Regand & Goff 2002; Regand & Goff 2003; Rogers et al., 2006; Blanshard et al., 1988; Goff et al., 1993; Caldwell et al. 1992).



Σχήμα 6.1.16: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος υδροξυλοπροπυλομεθυλοκυτταρίνης (HPMC) - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% HPMC)



Σχήμα 6.1.17: Καμπύλη τήξης πρότυπου υδατικού διαλύματος κ-καραγενάνης - πρωτεΐνης - σακχαρόζης, όπως προσδιορίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου DSC (28% σακχαρόζη - 11% ΣΥΑΛ - 0.4% ξανθάνη)

6.1.4 Χαρακτηριστικά τήξης

Στα σχήματα 6.1.18 και 6.1.19 παρουσιάζονται οι επιδράσεις των υδροκολλοειδών στα χαρακτηριστικά τήξης των δειγμάτων παγωτού. Είναι προφανές ότι η προσθήκη σταθεροποιητών στα δείγματα οδήγησε σε σημαντική αύξηση ($p < 0.001$) της αντοχής τους έναντι της τήξης. Αναμφίβολα τα χαρακτηριστικά τήξης του παγωτού συνδέονται άμεσα με τις θερμοφυσικές του ιδιότητες: η ανύψωση της θερμοκρασίας του σημείου πήξης και του σημείου έναρξης της τήξης (T_m) συνεπάγεται την αύξηση του ρυθμού τήξης και τη μείωση του χρόνου στάλαξης του παγωτού (Marshall et al., 2003). Οι πολυσακχαρίτες ωστόσο, όπως αποδείχθηκε, δεν επηρεάζουν σημαντικά τις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού. Κατά συνέπεια η δράση αυτή φαίνεται να συνδέεται με την ικανότητα των σταθεροποιητών να δημιουργούν πολυσακχαρδικά πλέγματα, τα οποία αφενός συγκρατούν ένα τμήμα της παραγόμενης υγρασίας, λόγω της τήξης των παγοκρυστάλλων και αφετέρου μειώνουν την κινητικότητα των μορίων του νερού από τη φάση ορού προς τα κανάλια της πορώδους δομής του παγωτού (Soukoulis et al., 2008; Muse & Hartel 2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	Θερμοκρασία σημείου πήξης T_f (°C)	Αποτελεσματικό μοριακό βάρος M_w ($g\text{mol}^{-1}$)	Θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης νερού (bulk ice crystallization) T_b (°C)
Control	-2.75 ± 0.09^A	352.1 ± 23.6^A	-28.79 ± 0.16^A
CMC	-2.29 ± 0.61^A	435.7 ± 65.2^A	-31.01 ± 3.28^{AB}
Αλγινικό νάτριο	-2.91 ± 0.33^A	360.2 ± 57.2^A	-26.76 ± 1.54^A
Κόμμι γκουάρ	-2.45 ± 0.22^A	406.9 ± 53.1^A	-30.61 ± 1.62^{AB}
HPMC	-2.55 ± 0.45^A	429.5 ± 65.8^A	-30.02 ± 2.27^{AB}
Ξανθάνη	-3.91 ± 1.03^A	286.5 ± 97.1^A	-30.12 ± 1.82^{AB}
κ-καρραγενάνη	-3.28 ± 0.99^A	310.7 ± 91.3^A	-31.84 ± 1.23^B

Πίνακας 6.1.1: Επίδραση των πολυσακχαριτών στο σημείο πήξης, το αποτελεσματικό μοριακό βάρος και τη θερμοκρασία κύριας κρυστάλλωσης του νερού υδατικών συστημάτων πρωτεΐνης - πολυσακχαρίτη - σακχαρόζης (ολικό ποσοστό στερεών 39.4% w/w).

^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

Δείγμα	Ενθαλπία τήξης πάγου ΔH (J/g)	Ποσότητα κρυσταλλωμένου νερού IC (g/g δείγματος)	Ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας UFW (%)	Εύρος καμπύλης τήξης $T_{off} - T_{on}$ ΔT (°C)
Control	187.1 ± 4.24^A	0.560 ± 0.013^D	7.56 ± 2.09^A	56.7 ± 2.3^C
CMC	169.3 ± 3.54^B	0.507 ± 0.011^C	16.36 ± 1.74^C	51.2 ± 1.2^B
Αλγινικό νάτριο	167.6 ± 2.34^B	0.502 ± 0.007^C	17.20 ± 1.16^C	49.4 ± 0.4^A
Κόμμι γκουάρ	166.2 ± 5.35^C	0.498 ± 0.016^B	17.89 ± 2.64^C	52.2 ± 0.8^B
HPMC	167.5 ± 2.23^B	0.501 ± 0.007^C	17.24 ± 1.10^C	51.9 ± 1.0^B
Ξανθάνη	173.3 ± 1.23^{BD}	0.519 ± 0.004^C	14.38 ± 0.61^B	49.9 ± 0.3^A
κ-καρραγενάνη	145.6 ± 4.43^E	0.436 ± 0.013^A	28.06 ± 2.19^D	48.9 ± 0.9^A

Πίνακας 6.1.2: Επίδραση των πολυσακχαριτών στην ενθαλπία τήξης, το ποσοστό σχηματισμένου πάγου, το ποσοστό μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας και το θερμοκρασιακό εύρος των καμπύλων τήξης υδατικών συστημάτων πρωτεΐνης - πολυσακχαρίτη - σακχαρόζης (ολικό ποσοστό στερεών 39.4% w/w).

^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

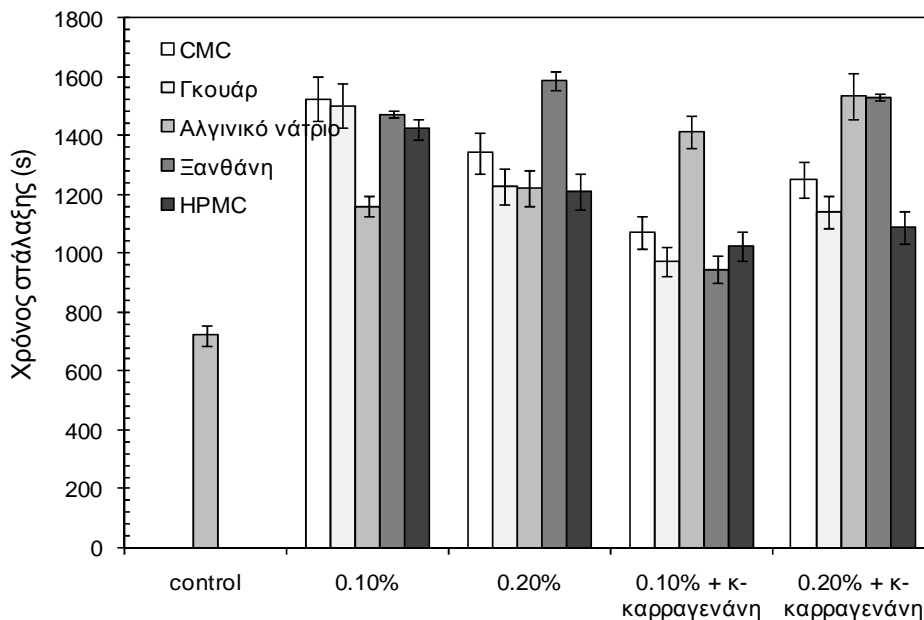
Δείγμα	T_{on}	T_g	T_{off}	T_m
Control	-53.3 ± 0.09	-49.65 ± 0.22^A	-42.1 ± 0.12	-35.15 ± 0.12^C
CMC	-57.7 ± 0.34	-49.50 ± 0.17^A	-42.9 ± 0.22	-34.50 ± 0.23^B
Αλγινικό νάτριο	-56.3 ± 0.32	-48.30 ± 0.11^B	-42.7 ± 0.23	-33.10 ± 0.22^A
Κόμμι γκουάρ	-56.7 ± 0.04	-49.40 ± 0.21^A	-41.9 ± 0.09	-34.20 ± 0.12^B
HPMC	-57.0 ± 0.45	-49.00 ± 0.28^{AB}	-41.6 ± 0.34	-34.20 ± 0.45^B
Ξανθάνη	-55.1 ± 0.23	-48.90 ± 0.18^B	-43.2 ± 0.48	-35.35 ± 0.62^C
κ-καρραγενάνη	-56.7 ± 0.14	-48.75 ± 0.23^B	-42.9 ± 0.51	-35.95 ± 0.18^D

Πίνακας 6.1.3: Επίδραση των πολυσακχαριτών στις θερμοκρασίες του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και έναρξης τήξης του πάγου υδατικών συστημάτων πρωτεΐνης - πολυσακχαρίτη - σακχαρόζης (ολικό ποσοστό στερεών 39.4% w/w).

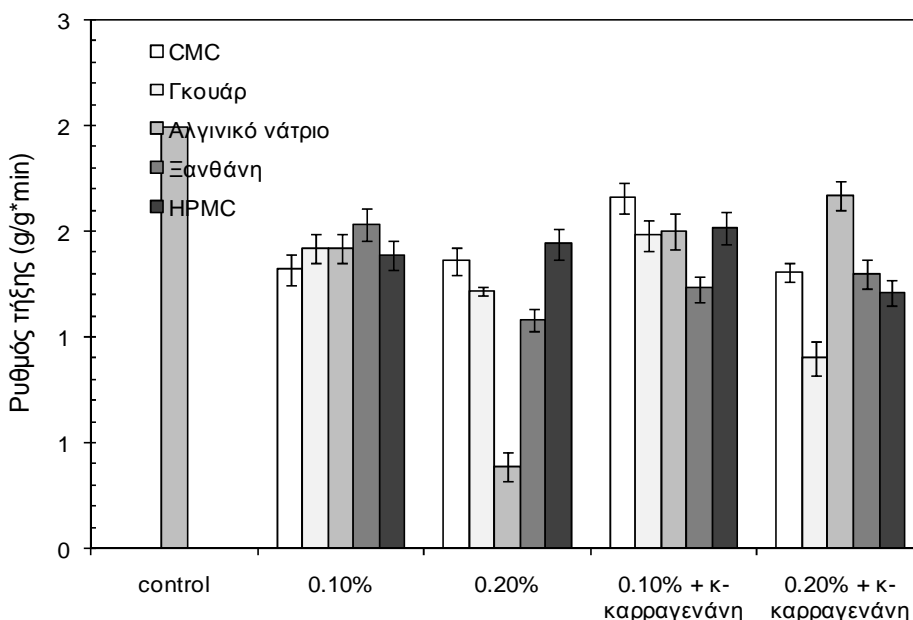
^{A-D} Διαφορετικό γράμμα μεταξύ των γραμμών υποδεικνύει σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) σύμφωνα με το Duncan's test post hoc comparison

Επιπλέον, το ποσοστό ενσωμάτωσης αέρα μπορεί να επιδράσει δευτερογενώς στα χαρακτηριστικά τήξης, λόγω της μείωσης της θερμικής αγωγιμότητας που προκαλείται από την παρουσία των φυσαλίδων αέρα. Έτσι στα δείγματα χωρίς σταθεροποιητή ευνοείται σε μεγαλύτερο βαθμό η διείσδυση θερμότητας, σε σχέση με τα σταθεροποιημένα δείγματα. Ο

ρυθμός τήξης των δειγμάτων παγωτού επηρεάστηκε σημαντικά ($p < 0.05$) μόνο από την αναλογία των σταθεροποιητών: η αύξηση του ποσοστού του σταθεροποιητή συνοδεύτηκε από σημαντική μείωση του ρυθμού τήξης (1.14 έναντι 1.46 για τα δείγματα με 0.1% σταθεροποιητή). Οι επιδράσεις στο ρυθμό τήξης φαίνεται πως συμφωνούν με τη θεώρηση ότι τα χαρακτηριστικά τήξης των δειγμάτων με διαφορετικούς πολυσακχαρίτες ελέγχονται μέσω των δομικών τους χαρακτηριστικών και όχι μέσω των θερμικών τους ιδιοτήτων.



Σχήμα 6.1.18: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο χρόνο πτώσης της 1^{ης} σταγόνας τήγματος των δειγμάτων παγωτού

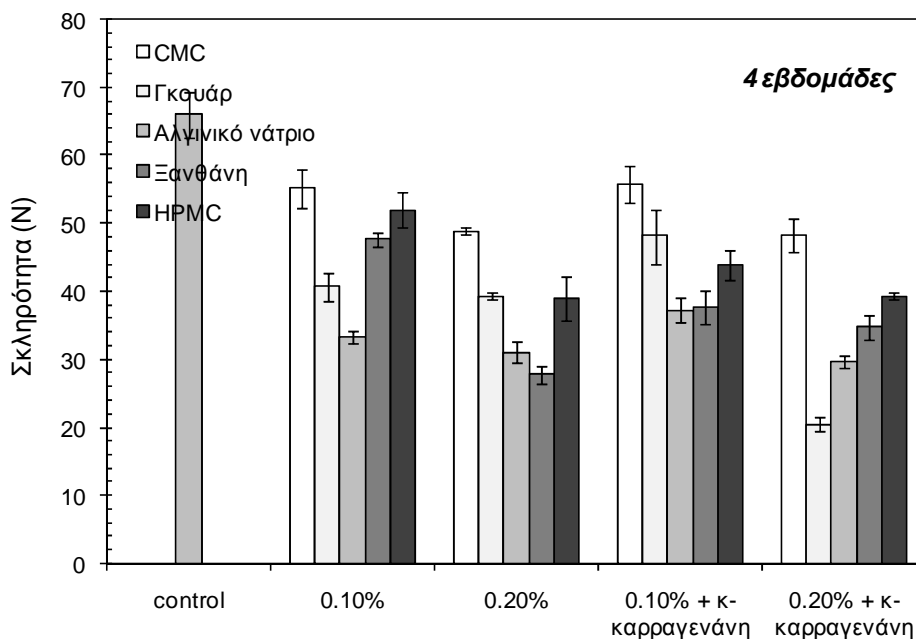


Σχήμα 6.1.19: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στο ρυθμό τήξης των δειγμάτων παγωτού

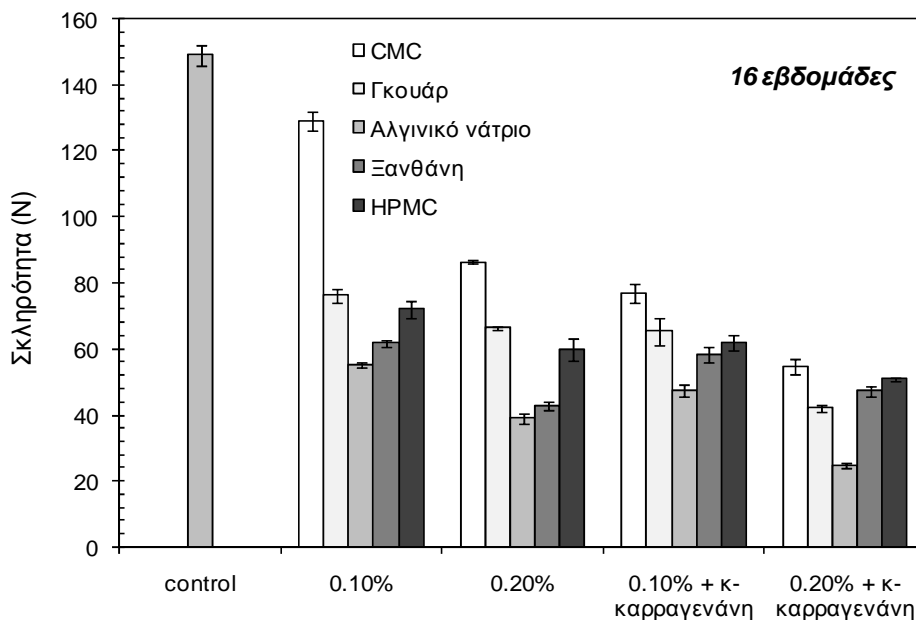
Ο χρόνος στάλαξης ελαττώθηκε σημαντικά μόνο από την προσθήκη της κ-καρραγενάνης. Η επίδραση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα της κ-καρραγενάνης να

ταπεινώνει τη θερμοκρασία έναρξης τήξης των δειγμάτων, ευνοώντας την τήξη των παγοκρυστάλλων σε συντομότερο χρονικό διάστημα.

6.1.5 Αντικειμενική σκληρότητα



Σχήμα 6.1.20: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού για χρόνο αποθήκευσης 4 εβδομάδες



Σχήμα 6.1.21: Επίδραση του είδους και της αναλογίας των υδροκολλοειδών καθώς και της προσθήκης κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό στην αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού για χρόνο αποθήκευσης 16 εβδομάδες

Στα σχήματα 6.1.20 και 6.1.21 παρουσιάζονται οι τιμές της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού όπως προσδιορίστηκαν μετά από 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης. Η προσθήκη των σταθεροποιητών συνέβαλε σε καθοριστική μείωση της αντικειμενικής σκληρότητας των δειγμάτων παγωτού. Γενικά, η σκληρότητα ως ιδιότητα επηρεάζεται από

διάφορους παράγοντες, με κυριότερο τη θερμική συμπεριφορά των δειγμάτων παγωτού (σημείο πήξης, σημείο έναρξης τήξης, ποσοστό κρυσταλλωμένου νερού) και τα δομικά χαρακτηριστικά του (φουσαλίδες αέρα, αποσταθεροποιημένα λιποσφαίρια, ποσοστό κρυσταλλωμένων λιπιδίων, παρουσία πολυσακχαριτικών και πρωτεϊνικών πλεγμάτων, μέγεθος και μορφολογία των παγοκρυστάλλων). Η αυξημένη σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού χωρίς σταθεροποιητές αποδίδεται κατά κύριο λόγο στα προβληματικά τους δομικά χαρακτηριστικά: μεγάλο μέγεθος παγοκρυστάλλων - υψηλός βαθμός συγκόλλησης των παγοκρυστάλλων λόγω της αδύναμης πορώδους δομής (οι μεγάλες φουσαλίδες αέρα ευνοούν τη προσέγγιση και τη συγκόλληση των παρακείμενων παγοκρυστάλλων), απουσία πολυσακχαριτικών πλεγμάτων που αυξάνουν την κομμωδή και ελαστική δομή των δειγμάτων κ.α. (Marshall et al., 2003; Sofjan & Hartel 2004; Soukoulis et al., 2008)

Αναφορικά με τις επιμέρους επιδράσεις των σταθεροποιητών, τα δείγματα με αλγινικό νάτριο και ξανθάνη εμφάνισαν σημαντικά ($p < 0.01$) χαμηλότερες σκληρότητες (32.8 και 34.5 N αντίστοιχα) σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν CMC τα οποία ήταν τα πιο σκληρά (52.4 N). Η χρήση της HPMC και του κόμμεος γκουάρ επέφεραν ισοδύναμο αποτέλεσμα, με τα δείγματα που τα περιείχαν να εμφανίζουν ενδιάμεσες τιμές σκληρότητας. Σημαντική ήταν η επίδραση και του ποσοστού σταθεροποιητή: τα δείγματα με 0.2% σταθεροποιητή παρουσίασαν τις χαμηλότερες σκληρότητες (35.6 έναντι 46.4 N για τα δείγματα με 0.1% σταθεροποιητή). Η παρουσία της κ-καραγενάνης δεν επηρέασε σημαντικά τις σκληρότητες των δειγμάτων παγωτού μετά από 4 εβδομάδες αποθήκευσης.

Μετά από 16 εβδομάδες αποθήκευσης, η αντικειμενική σκληρότητα των δειγμάτων αυξήθηκε κατά τη σειρά: αλγινικό νάτριο < ξανθάνη < HPMC < κόμμι γκουάρ < CMC, γεγονός που υποδεικνύει ότι η πάροδος του χρόνου αποθήκευσης οδηγεί σε σημαντικές διακρίσεις ως προς τη λειτουργικότητα των υδροκολλοειδών. Παρομοίως, η αύξηση του ποσοστού υδροκολλοειδούς αλλά και η παρουσία της κ-καραγενάνης συνέβαλαν στον αποτελεσματικό έλεγχο των φαινομένων που σχετίζονται με τη θερμοδυναμική αστάθεια των δειγμάτων (αύξηση μεγέθους των παγοκρυστάλλων - αποσταθεροποίηση των φουσαλίδων αέρα).

Συγκρίνοντας τους μέσους όρους των τιμών της αντικειμενικής σκληρότητας στις 4 και 16 εβδομάδες αποθήκευσης με εφαρμογή του T-test, διαπιστώθηκε ότι ο χρόνος αποθήκευσης οδηγεί σε σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη σκληρότητα των δειγμάτων παγωτού ($p < 0.001$). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα δείγματα παγωτού, παρά την προσθήκη των υδροκολλοειδών, υπόκεινται σε φαινόμενα ανακρυστάλλωσης τα οποία εκδηλώνονται με αύξηση της αντικειμενικής σκληρότητας (Soukoulis et al., 2008). Αν και τόσο οι μετρήσεις των θερμοφυσικών παραμέτρων, όσο και της αντικειμενικής σκληρότητας δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να αποτελέσουν ένδειξη για τους μηχανισμούς με τους οποίους τα επιμέρους υδροκολλοειδή ελέγχουν τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης, βασιζόμενοι στο σημαντικό αριθμό μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί για την περιγραφή της λειτουργικότητας των υδροκολλοειδών επισημαίνονται τα εξής:

- 1) η κρυστοπροστατευτική δράση του αλγινικού νατρίου και της ξανθάνης μπορεί κατά κύριο λόγο να αποδοθεί στην αύξηση του μικροϊξώδους και τον έλεγχο των φαινομένων διάχυσης υγρασίας από τη φάση ορού προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων (Regand & Goff 2002; Regand & Goff 2002). Δυνητικά η ξανθάνη θα μπορούσε να ελέγχει την ανακρυστάλλωση και μέσω της ικανότητας δημιουργίας κρυστο-πηγμάτων όπως έχει αναφερθεί από τους Giannouli et al., (2002). Σε ότι αφορά τις επιδράσεις των συγκεκριμένων υδροκολλοειδών στο μικροϊξώδες, τα δεδομένα του μακροϊξώδους υποδεικνύουν αυξημένη αλληλεπίδραση μεταξύ των πολυσακχαριτικών αλύσεων, γεγονός που μπορεί να αυξήσει σημαντικά την κρίσιμη συγκέντρωση της φάσης ορού, κατά την κατάψυξη.
- 2) η κρυστοπροστατευτική δράση του κόμμεος γκουάρ μπορεί να περιγραφεί από τρεις πιθανούς μηχανισμούς: την αύξηση του μικροϊξώδους, τη θερμοδυναμική

ασυμβατότητα με τις πρωτεΐνες γάλακτος και την αύξηση της ιξωδοελαστικότητας της φάσης ορού. Αν και αναμφίβολα η προσθήκη του κόμμεος γκουάρ αυξάνει το μικροϊξώδες της υδατικής φάσης σε σχέση με τα control δείγματα, ωστόσο η επίδραση αυτή είναι σημαντικά ηπιότερη από την επίδραση του αλγινικού νατρίου ή της ξανθάνης. Οι [Bolliger et al., \(2000\)](#) ανέφεραν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των δειγμάτων παγωτού από 0 σε 0.2% σε κόμμι γκουάρ οδηγεί σε σημαντική αύξηση της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς, λόγω αλληλοσυνδέσεων των πολυσακχαρικών του αλύσων, με αποτέλεσμα τη μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού στη φάση ορού. Επιπλέον, η δημιουργία πολυσακχαρικών διαμορφώσεων στη φάση ορού ενισχύεται και από την υψηλή θερμοδυναμική ασυμβατότητα του κόμμεος γκουάρ με τις καζεΐνες ([Bourriot et al., 1999](#)), γεγονός που αυξάνει την τοπική συγκέντρωση (και συνεπώς την κρίσιμη συγκέντρωση) της υδατικής φάσης σε υδροκολλοειδές. Η επίδραση του τελευταίου μηχανισμού ελαττώνεται καθοριστικά κατά την προσθήκη της κ-καρραγενάνης.

- 3) Η CMC και η HPMC, λόγω του ότι ανήκουν στην ίδια κατηγορία υδροκολλοειδών από πλευράς χημικής σύστασης, ελέγχουν τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης μέσω του μηχανισμού του μικροϊξώδους. Η αδυναμία του CMC να ελέγξει παρουσία πρωτεϊνών τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης έχει αναφερθεί και από τους [Regand & Goff \(2003\)](#). Επιπλέον, στην περίπτωση της HPMC η ικανότητά της να δημιουργεί πήγματα φαίνεται να δρα ευνοϊκά σε ότι αφορά τη θερμοδυναμική σταθερότητα των δειγμάτων παγωτού. Η κρυστοπροστατευτική τους δράση ενισχύεται σημαντικά κατά την προσθήκη της κ-καρραγενάνης, η οποία παρουσιάζει υψηλή ενεργότητα με τις πρωτεΐνες γάλακτος, οδηγώντας σε αύξηση της ιξωδοελαστικότητας της φάσης ορού.

6.1.6 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου των δειγμάτων αποθηκευμένων για 4 και 16 εβδομάδες παρουσιάζονται στους πίνακες 6.1.4 και 6.1.5 αντίστοιχα. Στον πίνακα 6.1.6 παρουσιάζονται οι κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων (είδος και ποσοστό υδροκολλοειδούς) καθώς και του χρόνου αποθήκευσης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Είναι φανερό ότι το είδος και το ποσοστό του υδροκολλοειδούς αποτελούν τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων, ενώ η παρουσία της κ-καρραγενάνης επηρέασε κατά κύριο λόγο τα χαρακτηριστικά γεύσης - αρώματος και τα κύρια χαρακτηριστικά υφής (κρεμώδες και τραχύτητα).

Η χρήση του αλγινικού νατρίου και της ξανθάνης οδήγησε σε δείγματα με τις υψηλότερες τιμές κρεμώδους, λιπαρής και κομμωδούς υφής, ενώ η χρήση της CMC δεν ήταν επαρκής για να ελέγξει αποτελεσματικά τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης. Η λειτουργική δράση του κόμμεος γκουάρ και της HPMC ήταν γενικά ισοδύναμη, οδηγώντας σε δείγματα με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά γεύσης - αρώματος και επαρκή έλεγχο των χαρακτηριστικών υφής.

Η αύξηση του ποσοστού των υδροκολλοειδών οδήγησε σε βελτίωση της κρεμώδους υφής, αύξηση της κομμωδούς και λιπαρής υφής, αλλά ταυτόχρονα συνοδεύτηκε με μείωση της έντασης της γλυκιάς γεύσης και του αρώματος βανίλιας. Γενικά, η μείωση του ρυθμού απελευθέρωσης των αρωματικών παραγόντων κατά την προσθήκη των πολυσακχαριτών έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές ([Cook 2006](#)). Πράγματι στην περίπτωση της ξανθάνης και του αλγινικού νατρίου οι βαθμολογίες του αρώματος βανίλιας ήταν υψηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες της CMC και του κόμμεος γκουάρ. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι η αποτίμηση του αρώματος επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων (χημικές ιδιότητες, μικροδομή, μεταβολές που συμβαίνουν κατά την τήξη του προϊόντος, αποσταθεροποίηση - συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων κ.α.), με αποτέλεσμα η αργή αποδέσμευση των αρωματικών ενώσεων να συνδέεται σε ορισμένες περιπτώσεις και με καλύτερα αποτιμώμενο άρωμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα βανίλιας	Σκληρό (Κ)	Τραχύ (Κ)	Εύθρυπτο	Κομμιώδες (Κ)
CMC 0.1	7.5 ± 0.2	7.2 ± 0.5	5.7 ± 0.2	5.0 ± 0.2	3.4 ± 0.2	2.5 ± 0.2	3.8 ± 0.2
CMC 0.2	6.4 ± 0.3	8.3 ± 0.3	7.9 ± 0.3	4.5 ± 0.2	2.2 ± 0.3	2.5 ± 0.3	3.9 ± 0.3
Γκουάρ 0.1	7.5 ± 0.3	6.6 ± 0.4	5.7 ± 0.2	4.5 ± 0.3	1.9 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.5 ± 0.2
Γκουάρ 0.2	6.4 ± 0.1	6.6 ± 0.4	6.2 ± 0.3	2.9 ± 0.2	2.4 ± 0.2	2.0 ± 0.3	4.6 ± 0.4
Αλγινικό Na 0.1	7.5 ± 0.4	6.6 ± 0.5	4.5 ± 0.4	4.1 ± 0.4	1.0 ± 0.2	5.0 ± 0.3	2.9 ± 0.3
Αλγινικό Na 0.2	4.3 ± 0.8	8.3 ± 0.3	7.3 ± 0.2	4.5 ± 0.5	1.0 ± 0.3	6.5 ± 0.4	1.7 ± 0.5
Ξανθάνη 0.1	6.4 ± 0.2	7.3 ± 0.4	6.8 ± 0.3	5.0 ± 0.3	2.1 ± 0.2	3.5 ± 0.2	2.6 ± 0.2
Ξανθάνη 0.2	6.4 ± 0.3	7.9 ± 0.4	6.5 ± 0.2	3.3 ± 0.2	2.3 ± 0.1	3.7 ± 0.4	2.2 ± 0.1
HPMC 0.1	6.8 ± 0.4	7.4 ± 0.3	5.7 ± 0.3	4.6 ± 0.4	3.5 ± 0.4	3.4 ± 0.2	2.3 ± 0.3
HPMC 0.2	7.1 ± 0.4	7.8 ± 0.4	6.6 ± 0.3	5.5 ± 0.2	2.0 ± 0.2	3.2 ± 0.0	2.6 ± 0.4
CMC 0.1	7.5 ± 0.3	5.9 ± 0.3	5.5 ± 0.4	5.4 ± 0.3	3.4 ± 0.3	3.5 ± 0.2	2.6 ± 0.2
CMC 0.2	6.4 ± 0.3	5.9 ± 0.5	6.7 ± 0.3	3.8 ± 0.2	2.9 ± 0.5	3.5 ± 0.4	2.9 ± 0.2
Γκουάρ 0.1*	6.4 ± 0.4	6.6 ± 0.4	6.3 ± 0.4	5.4 ± 0.4	3.4 ± 0.5	3.5 ± 0.4	2.6 ± 0.3
Γκουάρ 0.2*	7.5 ± 0.6	8.3 ± 0.2	8.4 ± 0.3	3.7 ± 0.3	1.0 ± 0.0	1.5 ± 0.2	4.3 ± 0.2
Αλγινικό Na 0.1*	7.5 ± 0.3	8.3 ± 0.4	6.2 ± 0.2	4.5 ± 0.2	1.9 ± 0.2	4.5 ± 0.4	2.8 ± 0.5
Αλγινικό Na 0.2*	6.4 ± 0.3	8.0 ± 0.1	7.7 ± 0.5	3.3 ± 0.4	1.0 ± 0.0	4.0 ± 0.2	2.1 ± 0.3
Ξανθάνη 0.1*	6.4 ± 0.5	8.3 ± 0.3	6.8 ± 0.4	4.2 ± 0.3	1.9 ± 0.2	3.5 ± 0.2	2.6 ± 0.2
Ξανθάνη 0.2*	6.4 ± 0.2	8.9 ± 0.3	7.7 ± 0.4	3.3 ± 0.2	1.9 ± 0.2	4.0 ± 0.6	2.2 ± 0.3
HPMC 0.1*	6.8 ± 0.2	7.2 ± 0.2	6.7 ± 0.2	3.5 ± 0.4	2.3 ± 0.5	3.4 ± 0.2	1.8 ± 0.2
HPMC 0.2*	7.0 ± 0.2	8.0 ± 0.7	6.4 ± 0.5	4.5 ± 0.4	1.9 ± 0.2	3.0 ± 0.1	2.3 ± 0.3
	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Υδαρές	Κομμιώδες	Κρεμώδες	Λιπαρό
CMC 0.1	7.8 ± 0.2	3.6 ± 0.2	2.5 ± 0.2	5.1 ± 0.2	3.2 ± 0.0	5.9 ± 0.1	2.7 ± 0.2
CMC 0.2	5.2 ± 0.4	3.3 ± 0.2	2.5 ± 0.1	3.4 ± 0.3	3.3 ± 0.1	6.6 ± 0.3	3.9 ± 0.4
Γκουάρ 0.1	6.3 ± 0.2	3.2 ± 0.4	3.5 ± 0.4	3.4 ± 0.4	2.1 ± 0.4	5.4 ± 0.2	2.9 ± 0.1
Γκουάρ 0.2	5.3 ± 0.5	2.1 ± 0.1	3.5 ± 0.2	4.5 ± 0.3	3.9 ± 0.3	7.1 ± 0.3	3.8 ± 0.4
Αλγινικό Na 0.1	7.4 ± 0.2	2.9 ± 0.4	2.0 ± 0.4	6.7 ± 0.5	2.1 ± 0.2	6.7 ± 0.1	2.7 ± 0.2
Αλγινικό Na 0.2	7.4 ± 0.5	3.2 ± 0.0	2.0 ± 0.2	3.4 ± 0.2	1.4 ± 0.5	8.1 ± 0.4	5.1 ± 0.3
Ξανθάνη 0.1	7.4 ± 0.3	3.6 ± 0.3	3.5 ± 0.0	5.6 ± 0.1	2.1 ± 0.2	7.5 ± 0.2	3.8 ± 0.1
Ξανθάνη 0.2	6.3 ± 0.6	2.3 ± 0.4	3.0 ± 0.2	7.9 ± 0.2	1.8 ± 0.1	7.9 ± 0.3	3.2 ± 0.4
HPMC 0.1	7.3 ± 0.4	3.2 ± 0.2	3.6 ± 0.4	4.5 ± 0.5	1.9 ± 0.2	6.5 ± 0.3	3.4 ± 0.3
HPMC 0.2	6.9 ± 0.2	3.8 ± 0.0	2.9 ± 0.2	4.2 ± 0.2	2.1 ± 0.1	6.8 ± 0.1	3.8 ± 0.5
CMC 0.1*	7.3 ± 0.5	3.9 ± 0.5	4.0 ± 0.2	7.3 ± 0.5	2.1 ± 0.5	5.3 ± 0.2	1.3 ± 0.2
CMC 0.2*	4.7 ± 0.5	2.7 ± 0.3	4.0 ± 0.4	6.8 ± 0.3	2.5 ± 0.2	6.4 ± 0.2	2.5 ± 0.3
Γκουάρ 0.1*	7.3 ± 0.3	3.8 ± 0.2	4.0 ± 0.5	7.3 ± 0.4	2.1 ± 0.1	5.3 ± 0.4	1.3 ± 0.1
Γκουάρ 0.2*	5.2 ± 0.4	2.6 ± 0.5	3.5 ± 0.5	5.1 ± 0.2	3.5 ± 0.2	7.5 ± 0.1	4.0 ± 0.4
Αλγινικό Na 0.1*	6.3 ± 0.5	3.3 ± 0.3	2.5 ± 0.3	7.3 ± 0.5	2.1 ± 0.2	8.0 ± 0.4	3.5 ± 0.2
Αλγινικό Na 0.2*	4.2 ± 0.4	2.3 ± 0.2	2.0 ± 0.2	3.3 ± 0.2	1.7 ± 0.2	8.6 ± 0.1	5.6 ± 0.3
Ξανθάνη 0.1*	6.9 ± 0.5	2.9 ± 0.1	1.5 ± 0.5	5.6 ± 0.4	2.1 ± 0.0	7.9 ± 0.4	4.1 ± 0.2
Ξανθάνη 0.2*	5.8 ± 0.6	2.3 ± 0.0	3.0 ± 0.2	6.6 ± 0.5	1.8 ± 0.0	8.1 ± 0.7	3.8 ± 0.4
HPMC 0.1*	6.5 ± 0.6	2.5 ± 0.3	2.9 ± 0.0	4.5 ± 0.2	1.5 ± 0.2	7.0 ± 0.2	3.8 ± 0.2
HPMC 0.2*	6.0 ± 0.3	3.2 ± 0.4	2.3 ± 0.2	4.0 ± 0.0	1.9 ± 0.1	7.1 ± 0.4	4.1 ± 0.3

Πίνακας 6.1.4: Επίδραση των πολυσακχαριτών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26 °C για 4 εβδομάδες. Τα δείγματα σταθεροποιήθηκαν θερμοκρασιακά στους -15 °C για 12h πριν τη διεξαγωγή των οργανοληπτικών δοκιμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Δείγμα	Χρώμα	Γλυκό	Άρωμα Βανίλιας	Σκληρό (Κ)	Τραχύ (Κ)	Εύθρυπτο	Κομμιώδες (Κ)
CMC 0.1	6.1 ± 0.2	7.7 ± 0.1	4.0 ± 0.3	5.2 ± 0.2	5.0 ± 0.3	3.6 ± 0.1	3.4 ± 0.2
CMC 0.2	6.4 ± 0.3	8.3 ± 0.2	2.3 ± 0.0	3.3 ± 0.2	4.0 ± 0.1	3.1 ± 0.3	4.0 ± 0.2
Γκουάρ 0.1	6.5 ± 0.2	7.2 ± 0.3	2.8 ± 0.6	6.7 ± 0.4	4.0 ± 0.2	3.1 ± 0.2	4.3 ± 0.1
Γκουάρ 0.2	6.2 ± 0.4	6.0 ± 0.1	2.3 ± 0.2	4.2 ± 0.2	3.0 ± 0.3	3.1 ± 0.3	5.1 ± 0.5
Αλγινικό Na 0.1	6.5 ± 0.2	7.2 ± 0.3	2.3 ± 0.2	5.8 ± 0.6	4.0 ± 0.2	6.1 ± 0.3	2.1 ± 0.3
Αλγινικό Na 0.2	6.5 ± 0.2	8.3 ± 0.4	4.5 ± 0.3	3.3 ± 0.1	2.0 ± 0.1	7.1 ± 0.2	2.6 ± 0.2
Ξανθάνη 0.1	7.0 ± 0.1	6.0 ± 0.3	1.7 ± 0.4	7.5 ± 0.2	3.0 ± 0.3	4.1 ± 0.1	2.6 ± 0.5
Ξανθάνη 0.2	7.5 ± 0.2	7.2 ± 0.4	2.8 ± 0.2	4.2 ± 0.2	3.3 ± 0.3	4.1 ± 0.2	2.6 ± 0.1
HPMC 0.1	6.4 ± 0.2	7.1 ± 0.5	3.2 ± 0.1	4.7 ± 0.5	4.7 ± 0.2	3.9 ± 0.6	2.3 ± 0.2
HPMC 0.2	6.8 ± 0.4	6.4 ± 0.3	4.1 ± 0.0	5.5 ± 0.4	3.2 ± 0.3	3.7 ± 0.2	2.1 ± 0.1
CMC 0.1	5.7 ± 0.2	9.5 ± 0.6	2.3 ± 0.8	7.9 ± 0.5	2.8 ± 0.4	3.1 ± 0.4	3.3 ± 0.2
CMC 0.2	6.0 ± 0.0	8.3 ± 0.2	4.5 ± 0.2	5.0 ± 0.2	3.2 ± 0.6	4.1 ± 0.5	2.6 ± 0.3
Γκουάρ 0.1*	6.5 ± 0.2	8.9 ± 0.6	4.5 ± 0.2	5.8 ± 0.2	3.4 ± 0.2	3.1 ± 0.2	2.6 ± 0.5
Γκουάρ 0.2*	7.5 ± 0.2	8.3 ± 0.2	5.7 ± 0.6	4.2 ± 0.3	4.1 ± 0.1	3.6 ± 0.2	3.4 ± 0.2
Αλγινικό Na 0.1*	6.5 ± 0.2	8.3 ± 0.2	3.4 ± 0.2	6.7 ± 0.3	3.4 ± 0.3	5.1 ± 0.5	2.6 ± 0.2
Αλγινικό Na 0.2*	6.5 ± 0.3	7.2 ± 0.3	3.4 ± 0.3	3.3 ± 0.3	1.0 ± 0.2	8.1 ± 0.2	2.6 ± 0.1
Ξανθάνη 0.1*	6.9 ± 0.4	8.3 ± 0.5	4.0 ± 0.2	5.8 ± 0.1	3.0 ± 0.0	4.1 ± 0.2	2.6 ± 0.2
Ξανθάνη 0.2*	6.5 ± 0.1	8.3 ± 0.1	4.0 ± 0.2	3.3 ± 0.4	2.0 ± 0.0	3.1 ± 0.6	3.0 ± 0.0
HPMC 0.1*	6.3 ± 0.4	7.2 ± 0.3	2.9 ± 0.2	4.6 ± 0.2	3.2 ± 0.2	4.3 ± 0.2	2.1 ± 0.2
HPMC 0.2*	6.6 ± 0.4	7.4 ± 0.4	3.2 ± 0.6	5.4 ± 0.0	2.1 ± 0.4	3.4 ± 0.5	2.5 ± 0.2
	Αίσθηση πάγου	Σκληρό	Τραχύ	Υδαρές	Κομμιώδες	Κρεμώδες	Λιπαρό
CMC 0.1	8.4 ± 0.1	3.6 ± 0.3	3.5 ± 0.2	7.6 ± 0.4	2.8 ± 0.1	5.0 ± 0.0	0.9 ± 0.1
CMC 0.2	6.3 ± 0.2	2.3 ± 0.1	3.0 ± 0.3	6.5 ± 0.1	3.2 ± 0.2	5.6 ± 0.2	1.9 ± 0.2
Γκουάρ 0.1	8.4 ± 0.4	4.7 ± 0.3	5.0 ± 0.2	6.7 ± 0.2	3.5 ± 0.2	4.8 ± 0.3	1.1 ± 0.3
Γκουάρ 0.2	5.2 ± 0.5	2.9 ± 0.2	4.5 ± 0.3	6.7 ± 0.3	4.2 ± 0.3	5.4 ± 0.5	1.6 ± 0.2
Αλγινικό Na 0.1	7.3 ± 0.1	4.1 ± 0.5	3.0 ± 0.4	5.8 ± 0.2	1.7 ± 0.0	5.2 ± 0.6	1.8 ± 0.4
Αλγινικό Na 0.2	6.3 ± 0.0	2.3 ± 0.6	2.0 ± 0.3	4.5 ± 0.4	2.1 ± 0.4	8.1 ± 0.2	4.6 ± 0.3
Ξανθάνη 0.1	7.3 ± 0.2	5.3 ± 0.4	3.5 ± 0.5	6.7 ± 0.3	2.1 ± 0.3	5.2 ± 0.2	1.4 ± 0.1
Ξανθάνη 0.2	5.2 ± 0.2	2.9 ± 0.3	3.6 ± 0.2	4.7 ± 0.4	2.1 ± 0.1	6.5 ± 0.1	3.3 ± 0.2
HPMC 0.1	7.4 ± 0.3	3.3 ± 0.5	4.3 ± 0.2	4.7 ± 0.2	1.9 ± 0.0	5.3 ± 0.2	2.3 ± 0.2
HPMC 0.2	7.0 ± 0.1	3.8 ± 0.2	3.4 ± 0.4	5.6 ± 0.3	1.7 ± 0.6	5.7 ± 0.3	2.3 ± 0.3
CMC 0.1*	7.9 ± 0.2	5.6 ± 0.0	2.5 ± 0.3	7.9 ± 0.3	2.7 ± 0.2	7.5 ± 0.5	3.2 ± 0.2
CMC 0.2*	6.8 ± 0.3	3.5 ± 0.2	6.0 ± 0.5	5.3 ± 0.2	2.1 ± 0.1	5.4 ± 0.2	2.1 ± 0.1
Γκουάρ 0.1*	6.3 ± 0.2	4.1 ± 0.6	5.0 ± 0.2	5.5 ± 0.4	2.1 ± 0.1	6.4 ± 0.2	3.3 ± 0.2
Γκουάρ 0.2*	7.3 ± 0.4	2.9 ± 0.6	4.5 ± 0.2	5.5 ± 0.2	2.8 ± 0.3	5.4 ± 0.1	2.5 ± 0.3
Αλγινικό Na 0.1*	6.3 ± 0.0	4.7 ± 0.2	2.0 ± 0.4	4.3 ± 0.2	2.1 ± 0.2	6.0 ± 0.0	3.5 ± 0.2
Αλγινικό Na 0.2*	4.2 ± 0.3	2.3 ± 0.2	1.0 ± 0.2	4.3 ± 0.3	2.1 ± 0.1	8.6 ± 0.2	5.5 ± 0.0
Ξανθάνη 0.1*	7.4 ± 0.1	4.1 ± 0.3	3.5 ± 0.0	4.5 ± 0.1	2.1 ± 0.0	6.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0
Ξανθάνη 0.2*	6.3 ± 0.1	2.3 ± 0.2	2.5 ± 0.2	4.1 ± 0.2	2.4 ± 0.2	6.9 ± 0.2	4.3 ± 0.1
HPMC 0.1*	7.0 ± 0.3	3.2 ± 0.4	3.0 ± 0.3	4.3 ± 0.3	1.7 ± 0.1	6.6 ± 0.2	3.5 ± 0.0
HPMC 0.2*	7.0 ± 0.4	3.8 ± 0.3	2.4 ± 0.4	4.0 ± 0.3	2.0 ± 0.1	6.9 ± 0.4	3.9 ± 0.2

Πίνακας 6.1.5: Επίδραση των πολυσακχαριτών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού αποθηκευμένων στους -26°C για 16 εβδομάδες. Τα δείγματα σταθεροποιήθηκαν θερμοκρασιακά στους -15°C για 12h πριν τη διεξαγωγή των οργανοληπτικών δοκιμών

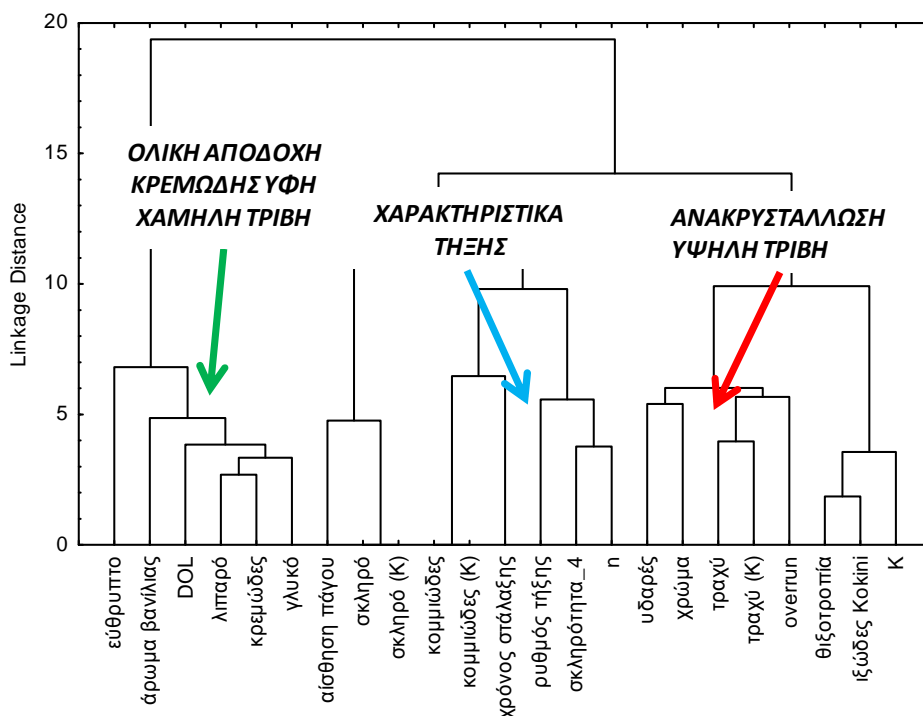
Οργανοληπτικό χαρακτηριστικό	Είδος υδροκολλοειδούς	Ποσοστό υδροκολλοειδούς	Προσθήκη κ-καρραγενάνης	Χρόνος αποθήκευσης
Χρώμα	NS	NS	NS	+
Γλυκό	+	NS	+	NS
Άρωμα βανίλιας	+	+	+++	+++
Σκληρό (Κ)	+	+++	NS	+++
Τραχύ (Κ)	+++	+++	+	+++
Εύθρυπτο	+++	NS	NS	+++
Κομμιώδες (Κ)	+++	+	NS	+
Αίσθηση πάγου	+	+	+	++
Σκληρό	NS	+++	NS	++
Τραχύ	++	+	+	++
Υδαρές	+	+++	NS	+
Κομμιώδες	+++	+	NS	+
Κρεμώδες	+++	+++	+	+++
Λιπαρό	+	+++	NS	+

Πίνακας 6.1.6: Κύριες επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων (είδος και ποσοστό υδροκολλοειδούς, προσθήκη κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό υλικό) και του χρόνου αποθήκευσης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού
 + $p < 0.05$, ++ $p < 0.01$, +++ $p < 0.001$, NS = μη σημαντική επίδραση

Προκειμένου να επιτευχθεί μία σε βάθος διερεύνηση της λειτουργικότητας των υδροκολλοειδών στα συστήματα παγωτού που παρασκευάστηκαν, το σύνολο των μετρήσεων υποβλήθηκαν σε ανάλυση ομαδοποίησης (cluster analysis) όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1.22. Η ολική αποδοχή των δειγμάτων σχετίζεται άμεσα με την κρεμώδη υφή, το άρωμα βανίλιας και τη γλυκιά γεύση, καθώς και τη λιπαρή υφή. Η άμεση επίδραση της κρεμώδους υφής στην ολική αποδοχή των ημιστερέων επιδόρπιων έχει αναφερθεί και από τους [Kilcast & Clegg \(2002\)](#). Η συσχέτιση της κρεμώδους υφής και της ολικής αποδοχής με τη λιπαρή υφή υποδηλώνει τη χαμηλή ανάπτυξη τριβής κατά τη διεργασία μύησης, με αποτέλεσμα η στοματική κοιλότητα και η επιφάνεια της γλώσσας να καλύπτονται σε μεγαλύτερο βαθμό από ένα λεπτό υμένιο από αποσταθεροποιημένα λιποσφαιρία, γεγονός που οδηγεί σε πλουσιότερη υφή και σταδιακότερη (χρονικά εκτεταμένη) αποδέσμευση των αρωματικών παραγόντων λόγω της διάλυσης της λιπόφιλης βανιλίνης στο άπολο στρώμα λίπους ([Dresselhuis et al., 2009](#); [Vingerhoeds et al., 2008](#); [de Wijk et al., 2006](#); [de Wijk et al., 2003](#); [Mela et al., 1994](#)).

Οι ιδιότητες της υφής που συσχετίζονται με την ανάπτυξη φαινομένων ανακρυστάλλωσης ήταν, εκτός από την τραχύτητα, η υδαρότητα και το χρώμα, ενώ οι ρεολογικές παράμετροι και το overrun αποτελούν επίσης αντικειμενικές ιδιότητες άμεσα σχετιζόμενες με τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης. Η τραχύτητα και η υδαρότητα είναι ιδιότητες οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους, αφού ένα τραχύ δείγμα (με υψηλή ανομοιογένεια της κατανομής μεγέθους των παγοκρυσταλλών) οδηγεί σε απότομη τήξη των παγοκρυσταλλών και ταχύτερη αραίωση του τήγματος κατά τη διεργασία μύησης. Έτσι η παραγόμενη υγρασία απομακρύνει γρηγορότερα τη λιπαρή μεμβράνη που καλύπτει τη γλώσσα, με αποτέλεσμα την αύξηση της αναπτυσσόμενης τριβής και τη μείωση της ολικής αποδοχής ([de Wijk et al., 2003](#)). Επιπλέον, οι ρεολογικές παράμετροι σχετίζονται αφενός με τον επαρκή έλεγχο της κατανομής μεγέθους των παγοκρυσταλλών (μηχανισμοί μικροϊξώδους και ιξωδοελαστικότητας), την πυκνότητα του τήγματος, αλλά και το ποσοστό της αποσταθεροποίησης των λιποσφαιρίων λόγω των κινήσεων της γλώσσας ([de Wijk et al., 2006](#); [Dresselhuis et al., 2009](#); [Janssen et al., 2007](#)). Η συσχέτιση του overrun με την ανάπτυξη

τραχιάς υφής βασίζεται στα φαινόμενα συγκόλλησης των παρακείμενων παγοκρυσταλλων στην περίπτωση που οι δημιουργημένες φυσαλίδες αέρα παρουσιάζουν υψηλή αστάθεια (αποσταθεροποίηση) λόγω σημαντικών διαφορών στις τιμές των δυναμικών Laplace (Sofjan & Hartel 2004). Η συγκόλληση των παγοκρυσταλλων συνήθως λαμβάνει χώρα μέσω της δημιουργίας μικρών συνδέσεων μεταξύ τους.



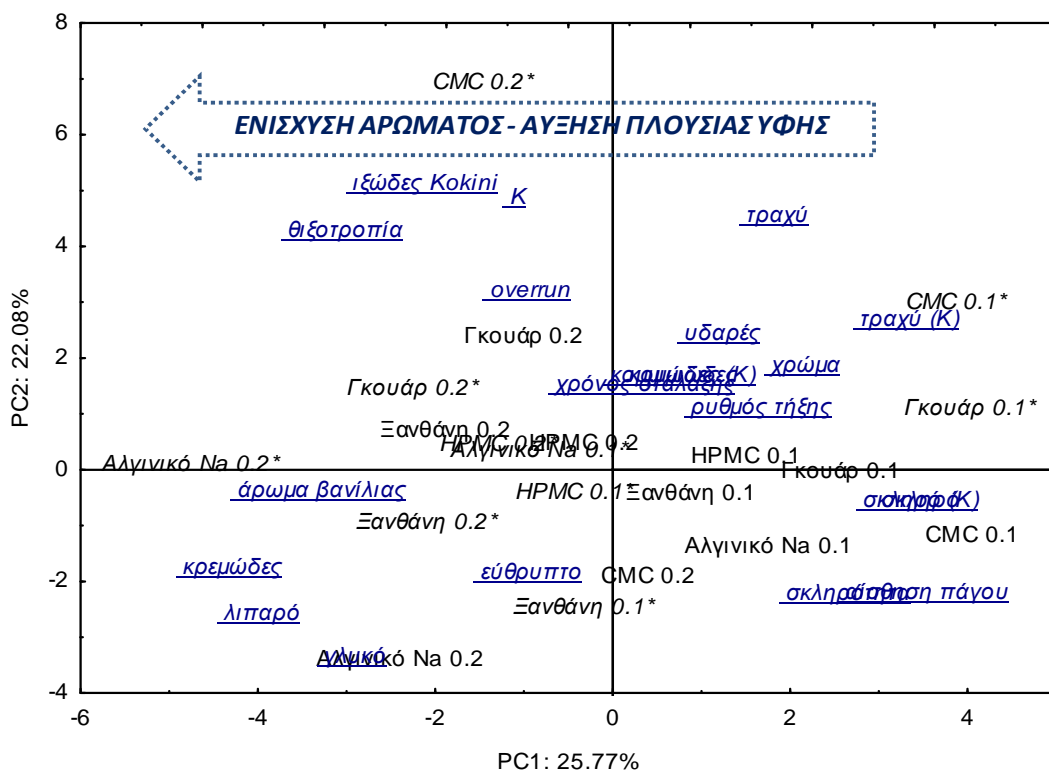
Σχήμα 6.1.22: Διερεύνηση των αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ των οργανοληπτικών και αντικειμενικών ιδιοτήτων καθώς και της ολικής αποδοχής των δειγμάτων με εφαρμογή της μεθόδου ομαδοποίησης (cluster analysis)

Τέλος, τα χαρακτηριστικά τήξης (ρυθμός τήξης, χρόνος στάλαξης) των δειγμάτων παγωτού σχετίστηκαν σημαντικά με τη σκληρότητα και την κομμώδη υφή. Οι συσχετίσεις υποδεικνύουν ότι η μοριακή δομή των υδροκολλοειδών, αλλά και ο βαθμός αλληλεπίδρασής μεταξύ τους προς σχηματισμό πολυσακχαριτικών δικτύων - πηγμάτων είναι το κυριότερο αίτιο το οποίο ελέγχει τη συμπεριφορά των δειγμάτων παγωτού κατά την τήξη τους.

Στο σχήμα 6.1.22 παρουσιάζονται οι ομοιότητες των δειγμάτων με βάση τις αντικειμενικές και οργανοληπτικές ιδιότητες (στις 4 εβδομάδες αποθήκευσης). Προκειμένου να υπάρξει μία περισσότερο σαφής ένδειξη των ομοιοτήτων των διαφορετικών σταθεροποιητικών συστημάτων ως προς τις επιδράσεις τους στην ολική αποδοχή των δειγμάτων αλλά και τον έλεγχο των φαινομένων ανακρυστάλλωσης, εφαρμόστηκε η τεχνική της ανάλυσης διάκρισης (Discriminant analysis) όπως φαίνεται στα σχήματα 6.1.23 και 6.1.24. Η προσθήκη του αλγινικού νατρίου και της CMC επιφέρει τις πιο διακριτές διαφορές ως προς την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (υψηλότερη και χαμηλότερη αντίστοιχα). Αντίθετα η ξανθάνη, το κόμμι γκουάρ και η HPMC παρουσιάζουν κοινά σημεία ως προς τον τρόπο επίδρασης στην ολική αποδοχή των δειγμάτων, με την ξανθάνη και την HPMC να εμφανίζουν τις μικρότερες αποστάσεις Mahalanobis (7.34 έναντι 13.4 της ξανθάνης με το γκουάρ) μεταξύ τους και κατά συνέπεια τη μεγαλύτερη λειτουργική συνάφεια.

Εξετάζοντας τα υδροκολλοειδή ως προς την αποτελεσματικότητά τους να ελέγχουν τα φαινόμενα ανακρυστάλλωσης διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα με CMC, αλγινικό νάτριο και

κόμμι γκουάρ παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Αντίθετα, τα δείγματα με ΗΡΜC και Ξανθάνη εμφανίζουν παρόμοια δράση έναντι της ανακρυστάλλωσης.

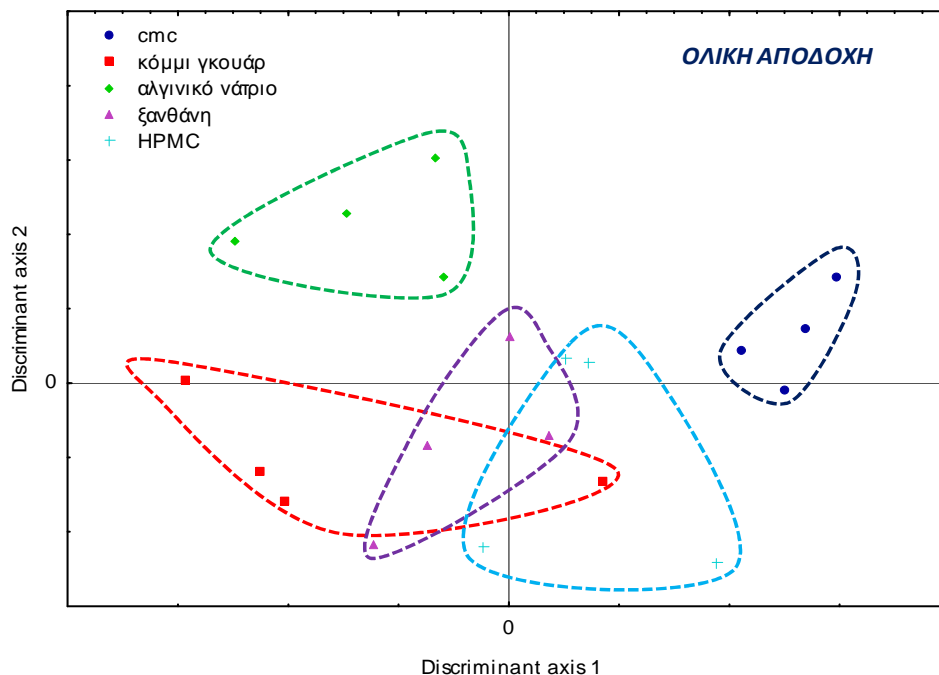


Σχήμα 6.1.23: Ανάλυση κύριων συνιστωσών για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων μεταξύ των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά είδη υδροκολλοειδών παρουσία και απουσία κ-καρραγενάνης ως δευτερογενές σταθεροποιητικό μέσο

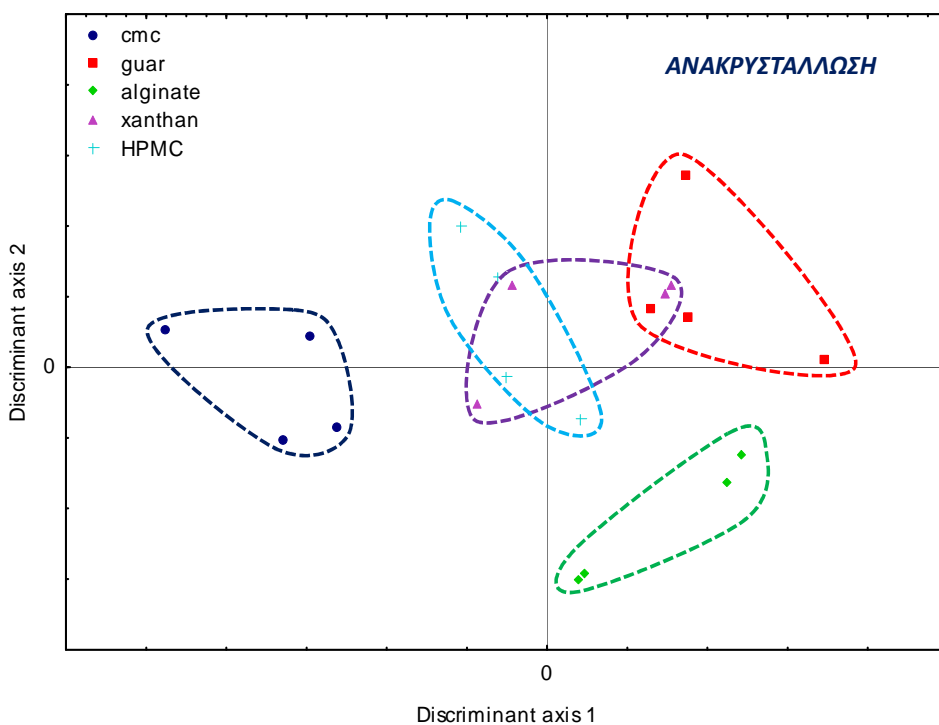
Στο σχήμα 6.1.25 εφαρμόστηκε η ΑΚΣ, προκειμένου να διαπιστωθούν οι μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων παγωτού λόγω των φαινομένων ανακρυστάλλωσης. Είναι φανερό ότι η πάροδος 12 εβδομάδων από τον αρχικό οργανοληπτικό έλεγχο των δειγμάτων συνοδεύτηκε με σημαντική αύξηση της τραχιάς, υδαρούς και εύθρυπτης υφής, καθώς επίσης και με μείωση της κρεμώδους, λιπαρής και κομμώδους υφής. Οι μεταβολές αυτές παρατηρούνται με τη μετατόπιση των δειγμάτων προς τα αρνητικά του άξονα PC2, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν πιο σύνθετες μεταβολές π.χ. στην περίπτωση της Ξανθάνης. Για το λόγο αυτό, οι ομοιότητες των υδροκολλοειδών ως προς τη λειτουργικότητά τους, μετά από 16 εβδομάδες αποθήκευσης εξετάστηκαν επίσης με εφαρμογή της ανάλυσης διάκρισης (Σχήμα 6.1.26). Τα δείγματα με Ξανθάνη, ΗΡΜC και CMC διαχωρίστηκαν κατά 100%, γεγονός που έχει ενδιαφέρον, δεδομένου ότι τα δείγματα με Ξανθάνη και ΗΡΜC παρουσίαζαν πολύ μικρή απόσταση Mahalanobis. Αντίθετα, τα δείγματα με κόμμι γκουάρ και αλγινικό νάτριο παρουσίασαν κοινά σημεία ως προς την ικανότητά τους να ελέγξουν την ανακρυστάλλωση, αν και ήταν εμφανώς διαχωρισμένα από τα υπόλοιπα δείγματα.

6.1.7 Πρόρρηση ολικής αποδοχής

Οι αντικειμενικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ενός γενικού μαθηματικού μοντέλου πρόρρησης της ολικής αποδοχής κατεψυγμένων επιδόρπιων γάλακτος με διαφορετικά είδη υδροκολλοειδών με βάση τη μέθοδο της PLSR. Για την επιλογή των μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόστηκε η τεχνική της ΑΚΣ σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation).

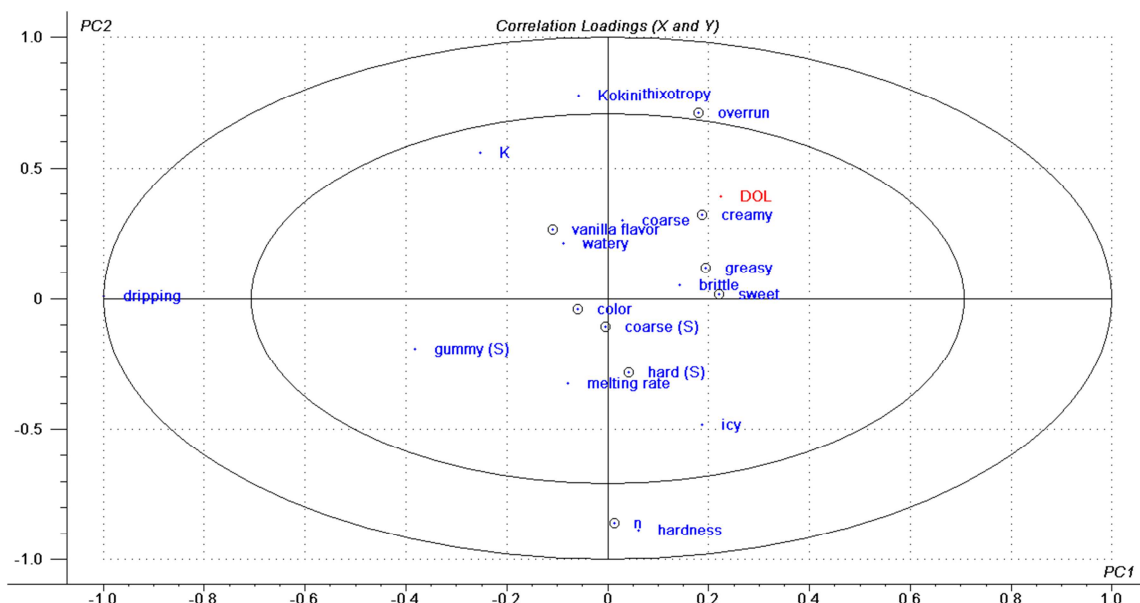


Σχήμα 6.1.24: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων της λειτουργικότητας των κύριων μέσων σταθεροποίησης που χρησιμοποιήθηκαν στα δείγματα παγωτού (ολική αποδοχή των δειγμάτων)

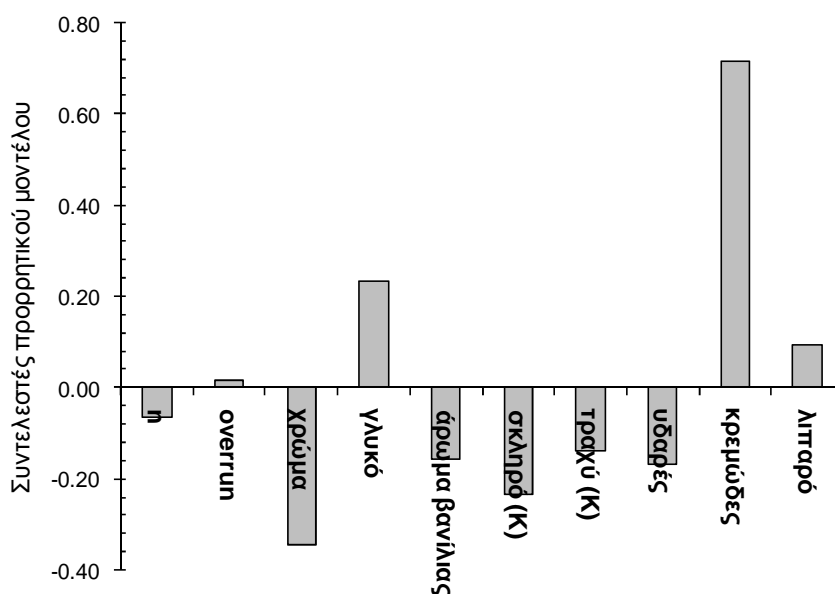


Σχήμα 6.1.25: Ανάλυση διάκρισης για τη διερεύνηση των ομοιοτήτων της λειτουργικότητας των κύριων μέσων σταθεροποίησης που χρησιμοποιήθηκαν στα δείγματα παγωτού (ανακρυστάλλωση)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

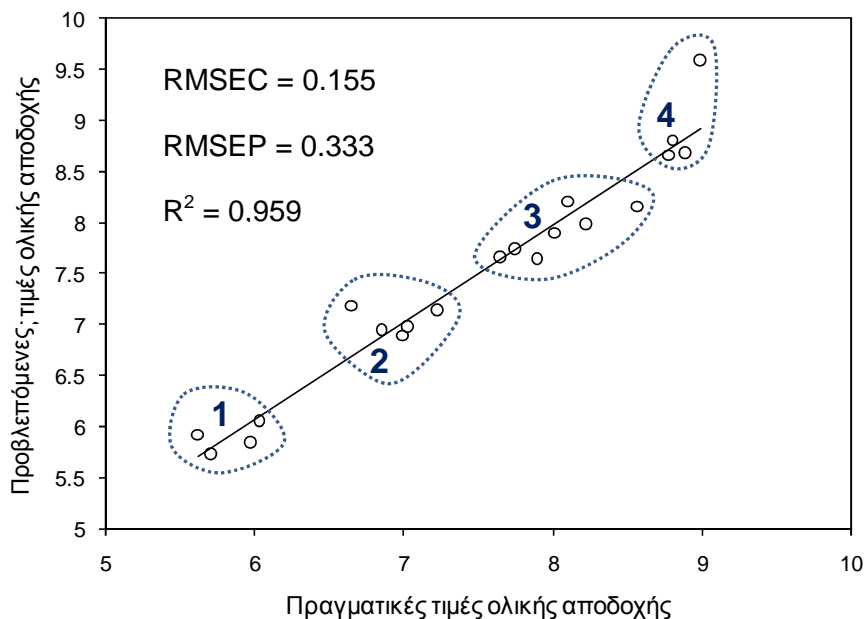


Σχήμα 6.1.28: Επιλογή των μεταβλητών (⊙) που σχετίζονται σημαντικά με την ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού (DOL), με εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, σε συνδυασμό με διασταυρωτική επαλήθευση (cross validation) σύμφωνα με το κριτήριο Martens



Σχήμα 6.1.29: Τιμές των συντελεστών του γραμμικού προρρητικού μοντέλου της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά υδροκολλοειδή (αντικειμενικές και οργανοληπτικές μετρήσεις)

Λόγω του περιορισμένου αριθμού δειγμάτων, το μοντέλα βαθμονόμησης και πρόρρησης κατασκευάστηκαν με βάση τη μέθοδο που έχει περιγραφεί από τους [Martens & Martens \(2000\)](#) - (cross validation - one-leave-out). Στο σχήμα 6.1.27 φαίνονται οι μεταβλητές οι οποίες έχουν σημαντική επίδραση στην ολική αποδοχή των δειγμάτων παγωτού. Οι μεταβλητές αυτές περιγράφουν το 99% της ολικής διακύμανσης (X-ομάδα μεταβλητών) και το 92% της διακύμανσης της ολικής αποδοχής (Y-μεταβλητή).



Σχήμα 6.1.30: Προσαρμογή των πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού με διαφορετικά υδροκολλοειδή σε γραμμικό μοντέλο με χρήση της μεθόδου PLSR

Η προσαρμογή των δεδομένων στο γραμμικό PLS μοντέλο υποδεικνύει ότι η λειτουργικότητα των υδροκολλοειδών αποτελεί σημαντικό παράγοντα που ελέγχει την ολική αποδοχή των δειγμάτων. Έτσι σύμφωνα με το διάγραμμα 6.1.29 παρατηρούνται 4 κύριες ομάδες δεδομένων όπου 1 = CMC, 2 = κόμμι γκουάρ, 3 = HPMC - ξανθάνη και 4 = αλγινικό νάτριο. Η ομαδοποίηση αυτή υποδηλώνει ότι η κατασκευή πιο ειδικευμένων γραμμικών μοντέλων με βάση τη λειτουργικότητα ή τη χημική δομή - σύσταση των υδροκολλοειδών μπορούν να κατασκευαστούν, προκειμένου να αυξηθεί η ικανότητα πρόρρησης της ολικής αποδοχής των δειγμάτων παγωτού. Τέτοια μοντέλα κατασκευάστηκαν επιτυχώς σε επόμενες παράγραφους (Κεφ. 6.2 και 6.6), όπου ο όγκος των δεδομένων ήταν επαρκής, για την ορθή βαθμονόμηση και επαλήθευση των κατασκευαζόμενων μοντέλων.