

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ



Μελέτη ιδιοτήτων προϊόντων αρτοποιίας
εμπλουτισμένων με λειτουργικά συστατικά και
υποκατάστατα λιπαρού ή ζάχαρης

Διδακτορική Διατριβή

Βασιλικής Ψιμούλη

Αθήνα 2015

Η παρούσα διδακτορική διατριβή χρηματοδοτήθηκε με υποτροφία (2007-2011) από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του Ε.Μ.Π.

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

(Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

Πρόλογος

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας κας Βασιλικής Ωραιοπούλου. Την ευχαριστώ θερμά που με υποδέχτηκε στην επιστημονική της ομάδα, και για την καθοδήγηση και τη συμβολή της στη διδακτορική διατριβή.

Ευχαριστώ, επίσης, θερμά τα μέλη της τριμελούς επιτροπής τον Καθηγητή κ. Π. Ταούκη και την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Μ. Κροκίδα για τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την Καθηγήτρια Κ. Τζια (ΕΜΠ), τον Καθηγητή Β. Καραθάνο (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο), τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ν. Στοφόρο (ΓΠΑ) και την Επίκουρη Καθηγήτρια Μ. Γιαννακούρου (ΤΕΙ Αθήνας).

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Β. Γιάννου, Δρ. Ε. Δερμενσολούογλου και Δρ. Δ. Τσιμογιάννη για την υποστήριξή τους σε όλους τους τομείς, και φυσικά όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για το ευχάριστο κλίμα και την άψογη συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τους υπεύθυνους του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών, και κυρίως την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Μ. Κροκίδα και τα μέλη του εργαστηρίου για την παραχώρηση του εξοπλισμού του εργαστηρίου και την πολύτιμη βοήθειά τους στη διεξαγωγή των αναλύσεων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τις εταιρείες «Falcon», «Adam's», «Danisco», «CPKelco», «Μύλοι Π. Δάκου», «Μινέρβα» και «Φάγε» για τη δωρεάν παραχώρηση των πρώτων υλών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια για την πολύτιμη υποστήριξή τους, και την Αναστασία για την κατανόηση και την απέραντη αγάπη της.

Στους γονείς μου, στα αδέρφια μου και

Στην Αναστασία

Ν' απομονώνεις το αναπομονώσιμο, αυτό είναι το λάθος.

Και μπορεί να μένουν εσαεί κοιμάμενες οι αρετές σ' ένα δημιούργημα – κάτι που ζημιώνει πριν απ' όλα εμάς τους ίδιους – μόνο και μόνο επειδή, από την πολλή αφοσίωση σε κάτι που πιστεύουμε προσώρας, πιάνουμε τη θάλασσα ο ένας από το χρώμα της, ο άλλος από την αλμύρα της, με αποτέλεσμα, και στις δύο περιπτώσεις, ο ερευνητής μέσα μας να υποβιβάζεται στην τάξη του συμφεροντολόγου.

«Η μαγεία του Παπαδιαμάντη»

Οδυσσέας Ελύτης, 1976

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας οι καταναλωτές δείχνουν ολοένα και μεγαλύτερη προτίμηση σε τρόφιμα χαμηλού θερμιδικού φορτίου ή μειωμένων λιπαρών, στα πλαίσια της πρόληψης ή και της αντιμετώπισης επιβαρυντικών για την υγεία παθήσεων του μεταβολικού συνδρόμου (διαβήτη, παχυσαρκία, καρδιαγγειακά νοσήματα). Υλικά που μπορούν να υποκαταστήσουν τα θερμιδικά συστατικά μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμο εργαλείο στην καταπολέμηση της παχυσαρκίας, ενώ και οι διαιτητικές ίνες έχουν σημαντική συμβολή στη διατροφική αξία του τροφίμου λόγω των φυσιολογικών επιδράσεων και της τεχνολογικής λειτουργικότητάς τους.

Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη της υποκατάστασης της σακχαρόζης και του λιπαρού, και ο εμπλουτισμός με διαιτητικές ίνες σε ένα προϊόν αρτοποιίας υψηλής αρέσκειας, το κέικ. Επιλέχθηκε το κέικ ως προϊόν υψηλής αρέσκειας και ευρείας κατανάλωσης από ενήλικες και παιδιά, το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον ως προϊόν προς εμπλουτισμό. Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκε ένα κέικ λιπαρού και ακολουθήθηκε η μέθοδος της κρεμοποίησης (sugar batter) για την ανάμιξη των συστατικών

Η επιλογή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την υποκατάσταση της σακχαρόζης και του λιπαρού βασίστηκε σε βιβλιογραφικές αναφορές. Επιλέχθηκαν υποκατάστατα σακχαρόζης ή λιπαρού που έχουν αποτελέσει αντικείμενο προηγούμενων μελετών, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση τους σε χαρακτηριστικά που έως τότε δεν είχε μελετηθεί εκτενώς, καθώς και υλικά που δεν έχουν εξετασθεί διεξοδικά. Η μελέτη δεν περιορίστηκε στη διερεύνηση της επίδρασης των υποκατάστατων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κέικ (ειδικός όγκος, υφή, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) αλλά συμπεριέλαβε και χαρακτηριστικά της ζύμης (ρεολογική συμπεριφορά, ενσωμάτωση αέρα, κατανομή μεγέθους φυσαλίδων αέρα, ζελατινοποίηση του αμύλου), προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την αλληλεπίδρασή μεταξύ ιδιοτήτων της ζύμης και του τελικού προϊόντος. Από τη συγκριτική μελέτη μεταξύ των διαφόρων υποκατάστατων σακχαρόζης ή λιπαρού, εξήχθησαν συμπεράσματα ως προς την απόδοσή τους.

Διερευνήθηκε η πλήρης υποκατάστασης της σακχαρόζης, ώστε το προϊόν να είναι μειωμένου θερμιδικού φορτίου, και/ή κατάλληλο για διαβητικούς. Ως υποκατάστατα χρησιμοποιήθηκαν πολυόλες (σορβιτόλη, μαλτιτόλη, μαννιτόλη, λακτιτόλη), πολυδεξτρόζη, ολιγοφρουκτόζη και φρουκτόζη. Τα υποκατάστατα προστέθηκαν στο κέικ σε ίσες ποσότητες με τη σακχαρόζη, και η ανάμιξή τους στη ζύμη έγινε με τον ίδιο τρόπο με το δείγμα αναφοράς (κέικ με σακχαρόζη). Για τη

ρύθμιση της γλυκύτητας στα δείγματα με υποκατάσταση της ζάχαρης (εκτός των κέικ με φρουκτόζη) που εξετάστηκαν οργανοληπτικά, προστέθηκε ένα εμπορικό γλυκαντικό, που περιείχε ασπαρτάμη και ακετοσουλφαμικό κάλιο. Τα χαρακτηριστικά της ζύμης και οι ιδιότητες του κέικ με υποκατάστατα ζάχαρης συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες ιδιότητες του δείγματος αναφοράς. Η ολιγοφρουκτόζη, η λακτιτόλη και η μαλτιτόλη ήταν τα υποκατάστατα που παρείχαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, προσέγγισαν τη σακχαρόζη ως προς τη ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης (συντελεστής συνεκτικότητας: 17.7, 26.2 και 23.7 Pa*sⁿ αντίστοιχα σε σύγκριση με 21.9 Pa*sⁿ για το δείγμα αναφοράς), ενώ παρουσίασαν παρόμοια ή και μεγαλύτερη ικανότητα στην αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης σε σύγκριση με τη σακχαρόζη (θερμοκρασία έναρξης: 85.5, 82.8 και 83.2 °C σε σύγκριση με 82.5 °C για το δείγμα αναφοράς). Δεν παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση ως προς τον ειδικό όγκο και τη σκληρότητα του κέικ από το δείγμα αναφοράς. Σημαντική διαφοροποίηση δεν παρουσίασαν και ως προς τις περισσότερες οργανοληπτικές ιδιότητες, σε συμφωνία με τις ενόργανες μετρήσεις για την υφή, ενώ οι διαφοροποιήσεις που εντοπίστηκαν με το χρωματόμετρο για το πιο σκούρο χρώμα της κόρας στο κέικ της ολιγοφρουκτόζης δεν ανιχνεύθηκαν από τους δοκιμαστές. Η σορβιτόλη και η πολυδεξτρόζη δεν διέφεραν σημαντικά από τη σακχαρόζη ως προς τα περισσότερα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ, αλλά αξιολογήθηκαν με μικρότερη βαθμολογία ως προς τη γεύση και κατά συνέπεια και την ολική αποδοχή.

Από την άλλη η φρουκτόζη και η μαννιτόλη ήταν τα λιγότερο αποτελεσματικά υποκατάστατα, καθώς παρείχαν μη αποδεκτά προϊόντα. Πιο συγκεκριμένα η μαννιτόλη παρουσίασε την υψηλότερη σκληρότητα, η οποία αποδόθηκε στην υψηλότερη συνεκτικότητα της ζύμης (52.0 Pa*sⁿ) και στη χαμηλότερη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου (56.6 °C) σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς (21.9 Pa*sⁿ , 82.5 °C αντίστοιχα). Η φρουκτόζη παρείχε προϊόν με το χαμηλότερο όγκο, ως αποτέλεσμα της αδυναμίας μετάθεσης της ζελατινοποίησης του αμύλου σε υψηλότερη θερμοκρασία (73.9 °C).

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω αποτελέσματα, η επίδραση των υποκατάστατων στα χαρακτηριστικά της ζύμης και τη ζελατινοποίηση του αμύλου (που παίζει κρίσιμο ρόλο στην επιθυμητή σταθεροποίηση της ζύμης), αποτελούν καθοριστικό παράγοντα της ανάπτυξης του όγκου και των ιδιοτήτων της υφής του τελικού προϊόντος. Επομένως κατά την υποκατάσταση της σακχαρόζης, η επίδραση των υποκατάστατων στη ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης και στην ενσωμάτωση αέρα, σε συνδυασμό με την ικανότητα τους να μεταθέτουν τη ζελατινοποίηση του

αμύλου σε υψηλότερη θερμοκρασία, μπορεί να προβλέψει τα χαρακτηριστικά υφής του τελικού προϊόντος, και ειδικότερα τη σκληρότητα :

$$\text{Σκληρότητα} = 5.8413 + 0.00485 * K_{cp} - 0.0763 * T_{on}$$

όπου K_{cp} ο συντελεστής συνεκτικότητας και T_{on} η θερμοκρασία έναρξης της ζελατινοποίησης του αμύλου.

Η υποκατάσταση του λιπαρού μελετήθηκε σε ποσοστό από 35% έως 100%, από υδατανθρακικής βάσης (μαλτοδεξτρίνη, ινουλίνη, πηκτίνη, ολιγοφρουκτόζη) και πρωτεϊνικής βάσης (μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη) υποκατάστατα. Τα υποκατάστατα προστέθηκαν με τη μορφή πηκτής. Διαλύονταν σε νερό, στην ελάχιστη συγκέντρωση που απαιτούνταν για το σχηματισμό πηκτής μετά την αποθήκευση τους στους 4 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας. Πιο συγκεκριμένα η ινουλίνη HP (με βαθμό πολυμερισμού >23), η ινουλίνη GR (με βαθμό πολυμερισμού >10) και η μαλτοδεξτρίνη διαλύονταν σε νερό σε συγκέντρωση 20%, η μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη σε συγκέντρωση 35%, η ολιγοφρουκτόζη 70% και η πηκτίνη 4.5%. Επιπλέον μελετήθηκε η επίδραση του βαθμού πολυμερισμού και του βαθμού εστεροποίησης στην απόδοση της ινουλίνης και της πηκτίνης αντίστοιχα. Η υποκατάσταση σε ποσοστό 35% δεν επέφερε σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς. Η υποκατάσταση πάνω από 65%, οδήγησε σε σημαντική μείωση του ιξώδους (εκτός από την πηκτίνη υψηλής εστεροποίησης), η οποία συνοδεύτηκε από σημαντική μείωση της ενσωμάτωσης του αέρα και ευρύτερη κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων. Σημαντική διαφοροποίηση ως προς τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου παρατηρήθηκε στην περίπτωση των φρουκτάνων (91.10 °C και 86.25 °C για την ολιγοφρουκτόζη και την ινουλίνη με βαθμό πολυμερισμού <8 και >10 αντίστοιχα, έναντι 83.69 °C του δείγματος αναφοράς) με αποτέλεσμα το σημαντικά αυξημένο όγκο του τελικού προϊόντος.

Η επίδραση των υποκατάστατων στα χαρακτηριστικά της ζύμης αποτέλεσε ρυθμιστικό παράγοντα της υφής και του όγκου του τελικού προϊόντος. Τα δείγματα με υποκατάσταση λιπαρού πάνω από 65% παρουσίασαν σημαντικά αυξημένη σκληρότητα και ελαστικότητα, και μειωμένο όγκο. Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν και κατά την οργανοληπτική εξέταση. Ειδικότερα, οι διαφοροποιήσεις των οργανοληπτικών ιδιοτήτων της υφής μπορούν να εκτιμηθούν από το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τη σχέση τάσης-παραμόρφωσης, που προκύπτει με την υποβολή του προϊόντος σε συμπίεση:

$$\sigma = C_1 [1 - \exp(-C_2 * \varepsilon)]^{1/C_3}$$

όπου σ είναι η τάση και ϵ η παραμόρφωση και C_1, C_2, C_3 σταθερές που σχετίζονται με το σχήμα της σιγμοειδούς καμπύλης. Η σταθερά C_1 σχετίζεται με την σκληρότητα και η C_2 με την ελαστικότητα και την ευθρυπτότητα.

Επιπλέον στα υψηλότερα (65%) ποσοστά υποκατάστασης παρατηρήθηκε σημαντική απώλεια της γεύσης και του αρώματος, ενώ στην πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού τα προϊόντα αξιολογήθηκαν ως μη αποδεκτά ανεξαρτήτως του τύπου του υποκατάστατου. Ωστόσο η υποκατάσταση λιπαρού σε ποσοστό 65% παρείχε αποδεκτό προϊόν ως προς τις ιδιότητες της υφής, τα φυσικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, με την ινουλίνη και την πηκτίνη να αποτελούν τα πιο αποτελεσματικά υποκατάστατα.

Βάσει των αποτελεσμάτων της συγκριτικής μελέτης των υποκατάστατων λιπαρού, καθορίστηκε το επίπεδο υποκατάστασης λιπαρού (65%) και το υποκατάστατο (ινουλίνη) στο προϊόν μειωμένων λιπαρών, το οποίο μελετήθηκε για περαιτέρω εμπλουτισμό με πηγή ινών. Ειδικότερα μελετήθηκε η επίδραση της ενσωμάτωσης ινών καρότου στο κέικ μειωμένων λιπαρών και διερευνήθηκε η βελτίωση του εμπλουτισμένου προϊόντος με τη χρήση γαλακτωματοποιητών. Οι ίνες καρότου έχουν σημαντικές ωφέλιμες επιδράσεις, ωστόσο η εφαρμογή τους στο κέικ δεν έχει μελετηθεί. Επιπλέον η χρησιμοποίηση των ινών καρότου παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης του αντίστοιχου παραπροϊόντος της βιομηχανίας, με σημαντικό όφελος τόσο για τη βιομηχανία όσο και για το περιβάλλον. Η ινουλίνη επιλέχθηκε για την υποκατάσταση λιπαρού στο εμπλουτισμένο με ίνες καρότου προϊόν λόγω της ικανοποιητικής απόδοσής της σε σύγκριση με τα άλλα υποκατάστατα λιπαρού που μελετήθηκαν, αλλά και λόγω των σημαντικών φυσιολογικών επιδράσεών της.

Η προσθήκη των ινών καρότου στο πλήρες σε λιπαρά προϊόν (δείγμα αναφοράς) πραγματοποιήθηκε με υποκατάσταση του αλεύρου σε ποσοστά 10 έως 30%. Η υποκατάσταση σε επίπεδο 10% οδήγησε σε διαφοροποίηση των ρεολογικών χαρακτηριστικών της ζύμης ($34.8 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ σε σύγκριση με $31.8 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ του δείγματος αναφοράς), ωστόσο δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς ως προς τον όγκο και τη σκληρότητα του τελικού προϊόντος. Η υποκατάσταση του αλεύρου σε επίπεδο 20% και 30% οδήγησε σε σημαντική αύξηση του ιξώδους και μείωση της ενσωμάτωσης αέρα, με αποτέλεσμα την πυκνότερη δομή και την αυξημένη σκληρότητα του προϊόντος, ενώ προκάλεσε και πιο φωτεινό χρώμα της κόρας. Εφόσον, τα δείγματα με 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες δεν παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς ως προς τον όγκο και τη σκληρότητα, επιλέχθηκε η προσθήκη των ινών καρότου ως υποκατάστατο αλεύρου 10% για τον εμπλουτισμό κέικ με 65%

υποκατάσταση του λιπαρού από ινουλίνη. Επίσης δοκιμάστηκε η κατά 20% υποκατάσταση του αλεύρου σε προϊόν με πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού, η οποία παρείχε μη αποδεκτό κέικ. Η συνδυαστική υποκατάσταση του αλεύρου και του λιπαρού (10% και 65%, αντίστοιχα) αντιστάθμισε την επίδραση του κάθε υποκατάστατου στα ρεολογικά χαρακτηριστικά και την κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων, ωστόσο οδήγησε σε περαιτέρω μείωση της ενσωμάτωσης του αέρα, με αποτέλεσμα και την περαιτέρω μείωση του όγκου σε σύγκριση 65% υποκατάσταση λιπαρού και αύξηση της σκληρότητας σε σύγκριση με το δείγμα με 10% ίνες καρότου. Τα δείγματα με ίνες καρότου (10%) και ινουλίνη αξιολογήθηκαν ως σημαντικά σκληρότερα (6.0) σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς (3.7) και κατά την οργανοληπτική εξέταση.

Η βελτίωση του εμπλουτισμένου προϊόντος διερευνήθηκε με τη χρήση τριών γαλακτωματοποιητών, που συμπεριλαμβάνονται σε εκείνους των οποίων η προσθήκη διέπεται από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία. Επιλέχθηκαν γαλακτωματοποιητές (μονογλυκερίδια, SSL, DATEM) με διαφορετικές τιμές HLB, που κυμαίνονταν από λιπόφιλο έως υδρόφιλο χαρακτήρα, ενώ τα ποσοστά προσθήκης τους ορίστηκαν βάσει των νομοθετικών ρυθμίσεων και βιβλιογραφικών αναφορών. Η προσθήκη των γαλακτωματοποιητών διευκόλυνε την ενσωμάτωση του αέρα, λόγω της σταθεροποιητικής δράσης τους στο σχηματισμό των φυσαλίδων, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ανάπτυξης του όγκου και τη μείωση της σκληρότητας. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρείχε το SSL, καθώς παρουσίασε τη σημαντικότερη αύξηση του πορώδους και του όγκου, και τη σημαντικότερη μείωση της σκληρότητας του εμπλουτισμένου προϊόντος.

**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CHEMICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF SYNTHESIS AND DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL
PROCESS
FOOD CHEMISTRY AND TECHNOLOGY LABORATORY**

**A study of bakery products enriched with functional ingredients and fat or
sugar replacers**

Ph.D. Thesis

By

Vassiliki A. Psimouli

Abstract

Nowadays consumers show growing preference to low calorie or reduced fat products, so as to prevent or deal with health threatening diseases of the metabolic syndrome (diabetes, obesity, cardiovascular disease). Substances that can replace caloric ingredients, can be used as a valuable tool against obesity, whereas dietary fibres as well have significant contribution to the dietary value of the product due to their physiological effects and their technological functionality.

The objective of the present thesis is to study the sugar and fat replacement, as well as the enrichment with dietary fibre of a highly preferred bakery product, the cake. The cake was selected as it is broadly consumed product by adults and children, which in the recent years has attracted the scientific interest as a product suitable for enrichment. In the present research a shortened-style cake was selected, which was prepared with the sugar batter mixing method.

The selection of the materials which were used for the replacement of sucrose and fat was based on literature data. Sugar and fat replacers which have been the objective of previous studies were selected in order to investigate their effect on characteristics which have not been extensively studied, as well as materials which have not been studied thoroughly. The research was not limited only to the investigation of the effect of the replacers on the quality characteristics of cake (specific volume, texture, colour, sensory characteristics) but it included the batter

characteristics (rheological behaviour, air incorporation, bubble size distribution, starch gelatinization) as well, in order to draw conclusions on the interaction between the properties of the batter and those of the final product. Also the comparative study between the sucrose or fat replacers, led to conclusions regarding their performance.

The total replacement of sucrose was investigated, so that the product would be low calorie, and/or suitable for diabetics. Polyols (sorbitol, maltitol, mannitol, lactitol), polydextrose, oligofructose and fructose were used to replace sugar by an equal amount and their incorporation in the batter was conducted with the same procedure as with the control sample (cake with sucrose). In the cake samples containing sugar substitutes (except for the fructose preparations), a commercial blend of aspartame and acesulfame-K was added for sweetening purposes. The batter characteristics and the cake properties of the cakes containing sugar substitutes were compared with the respective attributes of the control cake. The best results were obtained by using oligofructose, lactitol and maltitol as sugar replacers. More specifically they exhibited similar behaviour to sucrose in terms of batter rheology (consistency coefficient: 17.7, 26.2 και 23.7 Pa*sⁿ respectively compared to 21.9 Pa*sⁿ of control) and also exhibited similar or even higher ability to increase the starch gelatinization temperature compared to sucrose (onset temperature: 85.5, 82.8 και 83.2 °C compared to 82.5 °C of the control). They did not exhibit significant difference compared to control in terms of specific volume and hardness. They did not present significant difference in most sensory properties, in accordance with the instrumental measurements of textural properties, while some differences which were detected in the darker crust colour of the oligofructose cake was not perceived by the panelists. Sorbitol and polydextrose did not differ significantly in most batter and cake compared to sucrose, but ranked low in terms of taste and consequently in overall acceptance.

On the other hand mannitol and fructose led to cakes of poor quality. More specifically mannitol present the highest hardness, which was attributed to the higher batter consistency coefficient (52.0 Pa*sⁿ) and to the lower starch gelatinisation temperature (56.6 °C) compared to control (21.9 Pa*sⁿ, 82.5 °C respectively). Fructose provided a product of the lowest specific volume, which can be attributed to its lack of ability to set gelatinisation of starch to higher temperature (73.9 °C).

Therefore the effect of the replacers on the batter characteristics and on starch gelatinisation (which is a crucial factor of the appropriate setting of the batter) are

controlling factors on of the volume development and of the textural attributes of the end product. Hence at sugar replacement, the effect of the replacers on the batter rheological behaviour and air incorporation, combined with their ability to set starch gelatinisation to higher temperature, could predict the textural characteristics of the end product, and hardness in specific:

$$\text{Hardness} = 5.8413 + 0.00485 * K_{cp} - 0.0763 * T_{on}$$

where K_{cp} is the consistency coefficient and T_{on} is the onset temperature of starch gelatinization.

Fat was replaced at 35% to 100% by carbohydrate-based (maltodextrin, inulin, pectin, oligofructose) and protein-based (microparticulated protein) replacers. The fat replacers were incorporated in the form of gel. They were dissolved in water, in the minimum concentration that was required for gel formation after their storage at 4 °C overnight. More specifically inulin HP (with polymerization degree >23), inulin GR (with polymerization degree >10) and maltodextrin were dissolved in water at concentration 20%, microparticulated whey protein at 35%, oligofructose at 70% and pectin at 4.5%. Furthermore the effect of the degree of polymerization and of the degree of esterification on the performance of inulin and pectin respectively, was investigated. Fat replacement by 35% did not exhibit significant difference compared to control. Above 65% fat replacement resulted in significantly decreased viscosity (except for pectin of high esterification degree), that was followed by significant decrease in air incorporation and broader bubble size distribution. Significant difference on the starch gelatinization temperature was observed in the case of fructans (91.10 °C and 86.25 °C for oligofructose and inulin with polymerization degrees <8 και >10 respectively, compared to 83.69 °C of the control), resulting in significantly higher volume of the end product.

The effect of fat replacers on the batter characteristics appeared to be controlling factor of the textural properties and the development of the cake volume. The samples with 65% fat replacement exhibited significant increase of hardness, elasticity and decrease of volume development. Similar results were obtained by the sensory analysis. More specifically the differentiations of the sensorial properties of texture can be estimated by a mathematical model which describes the stress-strain relationship, which is obtained through the subjection of the product to force compression:

$$\sigma = C_1 [1 - \exp(-C_2 * \varepsilon)]^{1/C_3}$$

where σ is the stress, ϵ is the strain and C1, C2, C3 are constants related to the shape of the sigmoid curve. C1 is correlated to hardness and C2 to elasticity and crumbliness.

At fat replacement above 65% the cakes received lower scores in terms of taste and flavor, whereas at total replacement all samples were evaluated as not acceptable regardless of the fat replacer. Nevertheless at 65% fat replacement, the samples presented acceptable textural, physical and sensorial characteristics. Pectin and inulin proved the most efficient fat replacers.

Based on the results of the comparative study between the fat replacers, the level of fat replacement (65%) and the fat replacer (inulin) were determined, for the further investigation of fibre enrichment. More specifically the effect of the carrot fibre enrichment of fat reduced cake was studied, and the enhancement of the enriched product by the use of emulsifiers was also investigated. Carrot fibres have significant health beneficial effects, however their compatibility to cakes has been investigated. Moreover, the commercial exploitation of carrot fibres could be beneficial to the industry and the environment since they comprise a by-product of the carrot processing industry. Inulin was selected, since it performed better compared to the rest of the fat replacers which were studied, and because of the significant physiological effects it exerts.

Carrot fibre was added to the full fat product (control) as flour replacement at 10% to 30%. Flour replacement by 10% led to significant difference in terms of the batter rheological characteristics ($34.8 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ compared to $31.8 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ of control), however no significant difference was observed compared to control on volume and hardness of the end product. The replacement of flour by 20% and 30% increased batter viscosity and decreased air incorporation, providing harder cakes with dense structure, which also presented lighter crust color. Since the samples with 10% flour replacement did not exhibit significant difference compared to control in terms of volume and hardness, carrot fibre was incorporated as 10% flour replacer for the enrichment of cake with 65% fat replacement by inulin. The 20% replacement of flour in cake with total fat replacement provided unacceptable product. The combined flour and fat replacement (10% and 65%, respectively) counteracted the effect of each replacer in terms of batter rheological characteristics and bubble size distribution, nevertheless it led to further decrease of the air incorporation, resulting to further decrease of volume compared to the 65% fat replacement and to further increase of hardness compared to the sample with 10% carrot fibre. The samples

with carrot fibre (10%) and inulin were evaluated as significantly harder (6.0) compared to the control (3.7).

The enhancement of the enriched product by the use of three emulsifiers, whose addition is established by the EU Legislation, was investigated. Emulsifiers (monoglycerides, SSL, DATEM) with different HLB values, varying from lipophilic to hydrophilic character, were selected and the levels of their incorporation were based on legislative regulation and literature data. The incorporation of the emulsifiers facilitated air incorporation, due to their stabilizing effect on bubble formulation, resulting in increased volume development and decrease of hardness. SSL exhibited the best result, since it appeared to be the most effective in terms of volume and porosity increase and hardness decrease.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	1
---------------	---

Κεφάλαιο 1

1.1 Γενικά χαρακτηριστικά και ανάπτυξη της πορώδους δομής του κέικ....	4
1.2 Συστατικά του κέικ και η λειτουργικότητά τους.....	6
1.2.1 Άλευρο.....	6
1.2.2 Διογκωτικά.....	8
1.2.3 Αυγά.....	11
1.2.4 Σακχαρόζη (Ζάχαρη).....	12
1.2.5 Λιπαρό.....	13
1.2.6 Γαλακτωματοποιητές.....	15
1.2.7 Γάλα.....	17
1.2.8 Αλάτι.....	17
1.3 Τύπο Κέικ.....	17
1.3.1 Κέικ λιπαρού-Μέθοδοι αναμιξης.....	18
1.3.2 Κέικ αφρού-Μέθοδοι ανάμιξης.....	19

Κεφάλαιο 2

Υποκατάσταση ζάχαρης

2.1 Γλυκαντικά με βάση τη φρουκτόζη.....	20
2.1.1 Κρυσταλλική φρουκτόζη.....	20
2.1.2 Σιρόπια καλαμποκίου υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη.....	22
2.2 Πολυόλες.....	23
2.2.1 Μαλιτόλη.....	24
2.2.2 Σορβιτόλη.....	25
2.2.3 Μαννιτόλη.....	26
2.2.4 Λακτιτόλη.....	27
2.2.5 Ξυλιτόλη.....	29
2.2.6 Εριθρυτόλη.....	31
2.2.7 Ισομαλτόζη.....	32
2.3 D-Ταγκατόζη.....	33
2.4 Πολυδεξτρόζη.....	34
2.5 Υδατανθρακικά πολυμερή.....	36
2.6 Ισχυρά γλυκαντικά χαμηλού θερμιδικού φορτίου.....	38

2.6.1 Γλυκοζίτες στεβιόλης.....	38
2.6.2 Σουκραλόζη.....	39
2.6.3 Ακετοσουλφαμικό κάλιο.....	40
2.6.4 Ασπαρτάμη.....	42
2.6.5 Λοιπά ισχυρά γλυκαντικά.....	44
2.5 Νομοθεσία της Ε.Ε.....	46
2.6 Υποκατάσταση της σακχαρόζης στο κέικ.....	48
2.7 Υποκατάσταση της σακχαρόζης σε άλλα προϊόντα αρτοποιίας.....	54
2.8 Συμπεράσματα.....	58

Κεφάλαιο 3

Διαιτητικές ίνες

3.1 Ορισμός.....	65
3.2 Σύσταση και δομή των διαιτητικών ινών.....	67
3.2.1 Κυτταρίνη.....	67
3.2.2 Ημικυτταρίνες.....	68
3.2.2.1 Β-γλυκάνες.....	68
3.2.3 Πηκτίνη.....	68
3.2.4 Ινουλίνη.....	71
3.2.5 Ολιγοφρουκτόζη.....	72
3.2.6 Κόμμεα.....	73
3.2.6.1 Εκκρίματα φυτών.....	73
3.2.6.2 Εκχυλίσματα από ρίζες.....	74
3.2.6.3 Εκχυλίσματα σπόρων.....	74
3.2.6.4 Εκχυλίσματα από φύκη.....	75
3.2.6.5 Κόμμεα παραγόμενα από μικροοργανισμούς.....	76
3.2.7 Συνθετικοί ή τροποποιημένοι πολυσακχαρίτες.....	76
3.2.7.1 Παράγωγα της κυτταρίνης.....	76
3.2.7.2 Πολυδεξτρόζη.....	77
3.3 Πηγές Διαιτητικών ινών-Συμπυκνώματα, Υπερσυμπυκνώματα ινών... ..	78
3.3.1 Ίνες από φρούτα και λαχανικά.....	78
3.3.1.1 Ίνες καρότου.....	79
3.4 Ιδιότητες των ινών.....	80
3.4.1 Ιδιότητες ενυδάτωσης.....	80
3.4.2 Διαλυτότητα.....	82
3.4.3 Ικανότητα δέσμευσης ελαίου.....	82

3.4.4	Ιξώδες.....	82
3.5	Φυσιολογικές επιδράσεις των διαιτητικών ινών.....	83
3.5.1	Επίδραση των διαιτητικών ινών στον έλεγχο του σωματικού βάρους.....	84
3.5.2	Επίδραση των διαιτητικών ινών στα επίπεδα της γλυκόζης..	84
3.5.3	Επίδραση των διαιτητικών ινών στα επίπεδα της χοληστερόλης.....	8
	5	
3.5.4	Επίδραση των διαιτητικών ινών στο έντερο.....	86
3.5.5	Φυσιολογικές επιδράσεις ινουλίνης, ολιγοφρουκτόζης.....	87
3.6	Λειτουργικά τρόφιμα.....	88
3.7	Τεχνολογική λειτουργικότητα διαιτητικών ινών.....	89
3.8	Ίνες στα προϊόντα αρτοποιίας.....	90
3.8.1	Ίνες στον άρτο.....	90
3.8.2	Ίνες σε μπισκότα και cookies.....	91
3.8.3	Ίνες σε κέικ και muffin.....	92
3.9	Συμπεράσματα.....	97

Κεφάλαιο 4

Υποκατάσταση λιπαρού

4.1	Υποκατάστατα λιπαρού υδατανθρακικής βάσης.....	100
4.1.1	Μαλτοδεξτρίνες.....	100
4.1.2	B-γλυκάνη.....	101
4.1.3	Πηκτίνη.....	102
4.1.4	Ινουλίνη.....	103
4.1.5	Παράγωγα κυτταρίνης.....	103
	4.1.5.1 Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη.....	103
	4.1.5.2 Κόμμεα μεθυλοκυτταρίνης.....	104
4.1.6	Πολυδεξτρόζη.....	105
4.1.7	Κόμμεα.....	105
4.2	Υποκατάστατα λιπαρού πρωτεϊνικής βάσης.....	106
4.2.1	Μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.....	106
4.2.2	Λοιπά υποκατάστατα.....	107
4.3	Υποκατάστατα λιπαρής φάσης.....	107
4.4	Νομοθεσία της Ε.Ε.....	109
4.5	Υποκατάσταση του λιπαρού σε κέικ.....	110

4.6 Υποκατάσταση του λιπαρού σε άλλα προϊόντα αρτοποιίας.....	115
4.6.1 Υποκατάσταση του λιπαρού σε μπισκότα και cookies.....	115
4.6.2 Υποκατάσταση λιπαρού σε άρτο.....	117
4.7 Ίνες ως υποκατάστατο σε άλλα προϊόντα.....	118
4.8 Συμπεράσματα.....	119

Κεφάλαιο 5

Πειραματικό μέρος

Σχεδιασμός Πειραμάτων.....	125
5.1 Υλικά.....	128
5.1.1 Υποκατάσταση ζάχαρης.....	129
5.1.2 Υποκατάσταση λιπαρού.....	129
5.1.3 Εμπλουτισμός κέικ μειωμένων λιπαρών με ίνες.....	131
5.2 Μέθοδοι-Μετρήσεις.....	133
5.2.1 Χαρακτηριστικά ζύμης.....	133
Ρεολογικές μετρήσεις.....	133
Μικροσκοπική παρατήρηση.....	133
Προσδιορισμός θερμικών χαρακτηριστικών.....	134
Ιδιότητες ιών καρότου.....	135
5.2.2 Παράμετροι του κέικ.....	135
Ειδικός όγκος.....	135
Υφή.....	135
Πορώδες.....	136
Χρώμα.....	137
Υγρασία.....	137
Ενεργότητα νερού.....	138
5.3 Οργανοληπτική εξέταση.....	138
5.4 Στατιστική ανάλυση.....	139

Κεφάλαιο 6

Συζήτηση αποτελεσμάτων

6.1 Υποκατάσταση ζάχαρης.....	140
6.1.1 Χαρακτηριστικά ζύμης.....	140
6.1.2 Χαρακτηριστικά κέικ.....	143
6.1.2.1 Ειδικός όγκος και υγρασία.....	143
6.1.2.2 Χαρακτηριστικά υφής.....	145

6.1.2.3 Χρώμα.....	148
6.1.2.4 Οργανοληπτική εξέταση.....	150
6.1.5 Ανάλυση κυρίων συνιστωσών.....	152
6.1.6 Συμπεράσματα υποκατάστασης σακχαρόζης.....	154
6.2 Υποκατάσταση λιπαρού.....	155
6.2.1 Χαρακτηριστικά ζύμης.....	155
Ζελατινοποίηση του αμύλου.....	162
6.2.2 Χαρακτηριστικά κέικ.....	163
6.2.2.1 Ειδικός όγκος.....	163
6.2.2.2 Ιδιότητες υφής.....	164
6.2.2.3 Χρώμα.....	167
6.2.3 Οργανοληπτική εξέταση.....	170
6.2.4 Μαθηματική επεξεργασία δεδομένων τάσης-παραμόρφωσης και συσχετισμός με τα χαρακτηριστικά υφής.....	174
6.2.5 Υγρασία, ενεργότητα νερού.....	179
6.2.6 Παραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών.....	181
6.2.7 Συμπεράσματα υποκατάστασης λιπαρού.....	183
6.3 Εμπλουτισμός κέικ μειωμένων λιπαρών με ίνες.....	184
6.3.1 Επίδραση των ινών καρότου στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ.....	184
6.3.1.1 Χαρακτηριστικά ζύμης.....	184
6.3.1.2 Χαρακτηριστικά κέικ.....	186
6.3.2 Επίδραση των ινών καρότου και της ινουλίνης στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ.....	188
6.3.2.1 Χαρακτηριστικά ζύμης.....	188
6.3.2.2 Χαρακτηριστικά κέικ.....	191
6.3.2.3 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κέικ.....	194
6.3.2.4 Υγρασία, ενεργότητα νερού.....	196
6.3.3 Επίδραση της προσθήκης γαλακτωματοποιητών στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ με ινουλίνη και ίνες καρότου.....	197
6.3.3.1 Χαρακτηριστικά ζύμης.....	197
6.3.3.2 Χαρακτηριστικά κέικ.....	201
6.3.3.3 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κέικ.....	204
6.3.4 Συμπεράσματα.....	205

Κεφάλαιο 7	
Συμπεράσματα-Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	207
Βιβλιογραφία.....	213
Παράρτημα.....	265

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Ιδιότητες των πολυολών σε σύγκριση με τη σακχαρόζη.....	23
Πίνακας 2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση σακχαρόζης σε κέικ ή muffin.....	60
Πίνακας 4.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση λιπαρού σε κέικ ή muffin.....	121
Πίνακας 5.1 Συνταγή παρασκευής κέικ.....	128
Πίνακας 5.2 Συνταγή παρασκευής κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	130
Πίνακας 5.3 Συνταγή παρασκευής μειωμένων λιπαρών και εμπλουτισμένου με ίνες.....	132
Πίνακας 6.1 Ρεολογικές μετρήσεις ζύμης με υποκατάσταση σακχαρόζης.....	141
Πίνακας 6.2 Θερμοκρασίες ζελατινοποίησης αμύλου σε δείγματα ζύμης με υποκατάσταση σακχαρόζης.....	142
Πίνακας 6.3 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης...	149
Πίνακας 6.4 Οργανοληπτική ανάλυση των κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης..	151
Πίνακας 6.5 Θερμοκρασίες ζελατινοποίησης αμύλου σε δείγματα ζύμης με υποκατάσταση λιπαρού.....	163
Πίνακας 6.6 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	168
Πίνακας 6.7 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	173
Πίνακας 6.8 Σταθερές προσαρμογής μοντέλου στα κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	176
Πίνακας 6.9 Επίδραση της υποκατάστασης αλεύρου από ίνες καρότου στα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης.....	185
Πίνακας 6.10 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με ίνες καρότου.....	188

Πίνακας 6.11 Επίδραση των ινών στα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης.....	189
Πίνακας 6.12 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη....	193
Πίνακας 6.13 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με υποκατάσταση αλεύρου και/ή λιπαρού.....	195
Πίνακας 6.14 Επίδραση των γαλακτωματοποιητών στα χαρακτηριστικά των δειγμάτων ζύμης με ινουλίνη (65% υποκατάσταση αλεύρου) και ίνες καρότου (10% υποκατάσταση αλεύρου).....	198
Πίνακας 6.15 Επίδραση των γαλακτωματοποιητών στο χρώμα των δειγμάτων κέικ με ινουλίνη (65% υποκατάσταση αλεύρου) και ίνες καρότου (10% υποκατάσταση αλεύρου).....	204
Πίνακας 6.16 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ με ίνες και γαλακτωματοποιητές.....	206

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Υδρογόνωση της μαλτόζης προς μαλιτόλη	25
Σχήμα 2.2 Δομή της σορβιτόλης.....	26
Σχήμα 2.3 Δομή της μαννιτόλης.....	27
Σχήμα 2.4 Δομή της λακτιτόλης.....	28
Σχήμα 2.5 Δομή της ξυλιτόλης.....	29
Σχήμα 2.6 Μοριακή δομή και χημικός τύπος εριθρυτόλης.....	32
Σχήμα 2.7 Δομή της ταγκατόζης.....	33
Σχήμα 2.8 Δομή της πολυδεξτρόζης.....	35
Σχήμα 2.9 Ολιγοφρουκτόζη.....	37
Σχήμα 2.10 Δομή των στεβιοσίδη και ρεμπαουδιοσίδη A.....	39
Σχήμα 2.11 Δομή της σουκραλόζης.....	40
Σχήμα 2.12 Ακετοσουλφαμικό κάλλιο.....	42
Σχήμα 2.13 Δομή της Ασπαρτάμης.....	42
Σχήμα 2.14 Ασπαρτάμη-Ακετοσουλφαμικό κάλιο.....	44
Σχήμα 3.1 Δομή μερικώς εστεροποιημένης ομογαλακτουράνης.....	69
Σχήμα 3.2 Απόδοση της πηκτινικής αλυσίδας.....	70
Σχήμα 3.3 Δομή της ινουλίνης και της ολιγοφρουκτόζης.....	72
Σχήμα 5.1 Διάγραμμα διαφορικής θερμιδομετρικής ανάλυσης.....	135
Σχήμα 5.2 Ανάλυση προφίλ υφής.....	136
Σχήμα 5.3 Χρωματικοί παράμετροι συστήματος CIELAB.....	137
Σχήμα 6.1 Ειδικός όγκος του κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης.....	144
Σχήμα 6.2 Ιδιότητες υφής των κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης.....	146
Σχήμα 6.3 Γράφημα μοντέλου συσχέτισης της σκληρότητας με το συντελεστή συνεκτικότητας (K_{cp}) και τη θερμοκρασία έναρξης (T_{on}) της ζελατινοποίησης του αμύλου των κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης	148

Σχήμα 6.4 Ανάλυση κυρίων συνιστωσών των (α) ιδιοτήτων της ζύμης και του κέικ με υποκατάσταση ζάχαρης και (β) των δειγμάτων με υποκατάσταση ζάχαρης	153
Σχήμα 6.5 Γράφημα τάσης-ρυθμού διάτμησης της ζύμης με υποκατάσταση λιπαρού με ινουλίνη GR (inGR).....	156
Σχήμα 6.6 Ρεολογικές μετρήσεις ζύμης με υποκατάσταση λιπαρού.....	157
Σχήμα 6.7 Ειδικό βάρος της ζύμης του κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	158
Σχήμα 6.8 Μικροδομή των φυσαλίδων.....	160
Σχήμα 6.9 Κατανομή μεγέθους φυσαλίδων του κέικ αναφοράς (control) και των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού.....	161
Σχήμα 6.10 Ειδικός όγκος των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	164
Σχήμα 6.11 Ιδιότητες υψής των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	166
Σχήμα 6.12 Ολική αποδοχή του κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	172
Σχήμα 6.13 Γραφήματα τάσης-παραμόρφωσης των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.....	177
Σχήμα 6.14 Γραφήματα τάσης-παραμόρφωσης των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού.....	178
Σχήμα 6.15 Υγρασία των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού.....	180
Σχήμα 6.16 Ενεργότητα νερού των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού.....	180
Σχήμα 6.17 Παραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών των (α) ιδιοτήτων της ζύμης και του κέικ με υποκατάσταση λιπαρού (β) των δειγμάτων με 35%, 65% και 100% υποκατάσταση λιπαρού.....	182
Σχήμα 6.18 Ειδικό βάρος της ζύμης και ειδικός όγκος των κέικ αναφοράς (control) και των κέικ με 10% , 20% και 30% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου..	185
Σχήμα 6.19 Κατανομή μεγέθους φυσαλίδων του δείγματος αναφοράς κέικ (control) και των δειγμάτων με 10% και, 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου.....	186
Σχήμα 6.20 Ιδιότητες υψής του δείγματος αναφοράς κέικ (control) και των κέικ 10% , 20% και 30% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου.....	187

Σχήμα 6.21 Ειδικό βάρος της ζύμης και ειδικός όγκος του δείγματος αναφοράς (control) και των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη.....	190
Σχήμα 6.22 Κατανομή μεγέθους φυσαλίδων του δείγματος αναφοράς κέικ (control) και των κέικ με 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου (cf10), 65% υποκατάσταση λιπαρού. από ινουλίνη (inulin), ή και τα δύο (cfinuln).....	191
Σχήμα 6.23 Ιδιότητες υφής του δείγματος αναφοράς κέικ (control) και των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη.....	192
Σχήμα 6.24 Υγρασία των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη.....	196
Σχήμα 6.25 Ενεργότητα και των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη.....	197
Σχήμα 6.26 Κατανομή μεγέθους φυσαλίδων των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη και γαλακτωματοποιητές(α) MG, (β) SSL και (γ) DATEM.....	201
Σχήμα 6.27 Ειδικός όγκος και πορώδες των δειγμάτων κέικ με ίνες και γαλακτωματοποιητές.....	202
Σχήμα 6.28 Ιδιότητες υφής των δειγμάτων κέικ με ίνες και γαλακτωματοποιητές.....	203

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας, οι καταναλωτές δείχνουν αυξανόμενη προτίμηση σε προϊόντα μειωμένων θερμίδων, μειωμένων λιπαρών, ή/και χωρίς ζάχαρη, προκειμένου να αποφύγουν απειλητικές για την υγεία παθήσεις όπως παχυσαρκία, διαβήτη (μεταβολικό σύνδρομο), καρδιαγγειακά νοσήματα. Ειδικότερα τα ποσοστά υπέρβαρων ή παχύσαρκων έχουν αυξηθεί σημαντικά. Στις Η.Π.Α. η παχυσαρκία αυξήθηκε σημαντικά στις δεκαετίες του 1980 και 1990, αν και στα επόμενα χρόνια δεν παρατηρήθηκαν οι ίδιοι ρυθμοί αύξησης (Flegal et al., 2010). Στην Ευρώπη, από τη δεκαετία του '80 έως τις αρχές της δεκαετίας του 2000, η παχυσαρκία τριπλασιάστηκε. Τα ποσοστά παιδικής παχυσαρκίας είναι πιο ανησυχητικά, καθώς στις αρχές της δεκαετίας του 2000 ήταν δεκαπλάσια από εκείνα της δεκαετίας του '70 (WHO, 2007). Παρόλο που από το 2000 στις προαναφερθείσες περιοχές παρατηρείται σταθεροποίηση των τάσεων στους ενήλικες και τα παιδιά, τα επίπεδα παχυσαρκίας παραμένουν υψηλά, καθιστώντας την παχυσαρκία πρόκληση για τη δημόσια υγεία (Rokholm et al., 2010, WHO, 2007). Πιο συγκεκριμένα το 2008 ένας στους τρεις ενήλικες ήταν υπέρβαρος και ειδικότερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 50% του πληθυσμού θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως υπέρβαρο, ενώ και τα ποσοστά παχυσαρκίας (23% των γυναικών και 20% των ανδρών) είναι ανησυχητικά (WHO, 2013).

Επιπλέον, σύμφωνα με πρόσφατα στατιστικά δεδομένα η πρόσληψη διαιτητικών ινών είναι σε χαμηλά επίπεδα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μέση κατανάλωση διαιτητικών ινών από ενήλικες στις ΗΠΑ δεν υπερβαίνει το μισό της συνιστώμενης ποσότητας (Anderson et al., 2009). Οι διαιτητικές ίνες παρουσιάζουν σημαντικά οφέλη για τον οργανισμό καθώς μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμο εργαλείο στον έλεγχο του σωματικού βάρους, ενώ συμβάλλουν στη μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης και είναι ιδιαίτερα σημαντική η ευεργετική επίδραση των ινών στο έντερο.

Οι σύγχρονες απαιτήσεις του καταναλωτικού κοινού για προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη προϊόντων μειωμένων θερμίδων (μειωμένης περιεκτικότητας σε σακχαρόζη και/ή λιπαρά) καθώς και στον εμπλουτισμό των τροφίμων με διαιτητικές ίνες. Ένας παράγοντας που επίσης δεν θα πρέπει να παραβλεφθεί είναι η επιθυμία των καταναλωτών για προϊόντα, που περιέχουν χαμηλά ποσοστά λιπαρού και σακχαρόζης, χωρίς όμως την απώλεια των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και γενικά της ποιότητας του πλήρους σε λιπαρά ή ζάχαρη προϊόντος. Το κέικ είναι ένα προϊόν υψηλής αρέσκειας, που

καταναλώνεται από ενήλικες και παιδιά, ωστόσο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε σακχαρόζη και λιπαρό.

Η μείωση του θερμιδικού φορτίου των προϊόντων αρτοποιίας μπορεί να επιτευχθεί μέσω της υποκατάστασης της σακχαρόζης ή του λιπαρού. Ωστόσο η συμβολή της σακχαρόζης στα γευστικά χαρακτηριστικά, την υφή, το χρώμα, την ανάπτυξη του όγκου και τη διατηρησιμότητα του προϊόντος καθιστά την υποκατάστασή της περίπλοκη. Παράλληλα και το λιπαρό έχει σημαντικό λειτουργικό ρόλο στα προϊόντα αρτοποιίας, καθώς συμβάλλει στη γεύση και το άρωμα, στην τρυφερότητα της υφής, στον εγκλωβισμό του αέρα στη ζύμη και στην ανάπτυξη του όγκου, με αποτέλεσμα η μείωση της ποσότητάς του να συνοδεύεται από σημαντική υποβάθμιση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του. Επομένως η υποκατάσταση της σακχαρόζης ή του λιπαρού, από τα κατάλληλα υλικά καθώς μπορούν να μιμηθούν ή να προσεγγίσουν το σύνολο των λειτουργιών τους, προκειμένου το μειωμένης περιεκτικότητας σε σακχαρόζη ή λιπαρό προϊόν να είναι συγκρίσιμο με το πλήρες προϊόν, αποτελεί πρόκληση.

Ο εμπλουτισμός του κέικ με διαιτητικές ίνες μπορεί να γίνει ως υποκατάστατο του λιπαρού ή του αλεύρου. Στην περίπτωση που οι ίνες προέρχονται από παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων, η αξιοποίησή τους είναι επωφελής για τη βιομηχανία και για το περιβάλλον. Επιπλέον οι ίνες πέρα από την αύξηση της περιεκτικότητας σε ολικές διαιτητικές ίνες που προσδίδουν στα τρόφιμα στα οποία προστίθενται έχουν σημαντική τεχνολογική λειτουργικότητα, καθώς μπορούν να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα πάχυνσης, ως σταθεροποιητές γαλακτωμάτων και αιωρημάτων, ως πηκτικά ή για τη ρύθμιση του θερμιδικού φορτίου. Ειδικότερα οι διαιτητικές ίνες μπορούν να τροποποιήσουν τη ρεολογική συμπεριφορά και να βελτιώσουν την υφή, τη σταθερότητα, τη διατηρησιμότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος στο οποίο προστίθενται (Elleuch et al., 2011; Guillon & Champ, 2000).

Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται αναφορά στις πρόσφατες μελέτες που αφορούν την υποκατάσταση της σακχαρόζης ή του λιπαρού σε κέικ διαφόρων τύπων (sponge, high ratio, round, chiffon) και muffin και στα συμπεράσματα που έχουν προκύψει για την επίδραση των υποκατάστατων στα χαρακτηριστικά της ζύμης ή του προϊόντος που μελετήθηκαν σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον γίνεται αναφορά και μελέτες για την υποκατάσταση της σακχαρόζης ή του λιπαρού και σε άλλα προϊόντα αρτοποιίας (μπισκότα, cookies, άρτο). Στη βιβλιογραφική ανασκόπηση συμπεριλαμβάνονται και οι πρόσφατες μελέτες με αντικείμενο την εφαρμογή διαιτητικών ινών στα προϊόντα αρτοποιίας.

Η παρούσα έρευνα εστιάζει στην επίδραση των υποκατάστατων σακχαρόζης (πολυόλες, πολυδεξτρόζη, ολιγοφρουκτόζη, φρουκτόζη) ή λιπαρού (μαλτοδεξτρίνη, ινουλίνη, πηκτίνη, μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη) στα χαρακτηριστικά της ζύμης και στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η πλήρης υποκατάσταση της σακχαρόζης, ώστε το προϊόν να είναι μειωμένου θερμιδικού φορτίου, και/ή κατάλληλο για διαβητικούς. Επιπλέον μελετάται η επίδραση των διαφόρων υποκατάστατων (υδατανθρακικής και πρωτεϊνικής βάσης), και του επίπεδου υποκατάστασης του λιπαρού (0-100%). Από τη συγκριτική μελέτη των διαφόρων υποκατάστατων προκύπτουν συμπεράσματα για τα υποκατάστατα που παρέχουν τα καλύτερα αποτελέσματα, καθώς και για το επίπεδο στο οποίο μπορούν να υποκαταστήσουν το λιπαρό προκειμένου να παρασκευασθεί ένα αποδεκτό προϊόν μειωμένων λιπαρών. Διερευνάται επίσης η επίδραση του εμπλουτισμού με ίνες καρότου (ως υποκατάστατο του αλεύρου) σε πλήρες και μειωμένων λιπαρών κέικ. Η μελέτη της επίδρασης των υποκατάστατων δεν περιορίζεται μόνο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κέικ (ιδιότητες της υφής, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όγκος) αλλά συμπεριλαμβάνει και τις διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στα χαρακτηριστικά της ζύμης και περιγράφονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν ως προς την αλληλεπίδραση των ιδιοτήτων της ζύμης με τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Κεφάλαιο 1

1.1 Γενικά χαρακτηριστικά και ανάπτυξη της πορώδους δομής του κέικ

Το κέικ είναι προϊόν ευρείας κατανάλωσης με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τη γλυκιά/ευχάριστη γεύση και την ανοιχτή δομή της ψίχας που οφείλεται στη διόγκωση του προϊόντος κατά τον κλιβανισμό. Τα χαρακτηριστικά αυτά οφείλονται στα συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του καθώς και στον τρόπο παρασκευής. Πριν αναφερθούμε αναλυτικά στα συστατικά και στο ρόλο τους στην ανάπτυξη του όγκου του κέικ κατά τον κλιβανισμό θα πρέπει να αναφερθούμε στους παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη της πορώδους δομής του προϊόντος.

Προκειμένου να επιτευχθεί η διόγκωση του προϊόντος, είναι απαραίτητο να έχει προηγηθεί η ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη κατά την ανάμιξη με τη μορφή φυσαλίδων, οι οποίες αποτελούν το όχημα της διόγκωσης (Hoseney, 1994). Πιο συγκεκριμένα οι φυσαλίδες αέρα διογκώνονται κατά τον κλιβανισμό και η διόγκωσή τους οφείλεται κατά βάση σε τρεις συνιστώσες: στη διαστολή του περιεχόμενου αέρα λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, στους υδρατμούς που σχηματίζονται από την περιεχόμενη υγρασία και πιο συγκεκριμένα στην αύξηση της τάσης των ατμών του νερού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, και στο διοξειδίο του άνθρακα που παράγεται από τη δράση των διογκωτικών ουσιών (Mizukoshi, 1983; Mizukoshi, Maeda & Amano, 1980). Η διόγκωση των φυσαλίδων προκαλεί το άνοιγμα του δικτύου των πρωτεϊνών που δίνει την ανοικτή δομή της ψίχας του κέικ.

Η ενσωμάτωση των φυσαλίδων αέρα κατά την ανάμιξη πραγματοποιείται μέσω του σχηματισμού μιας δομής αφρού στη ζύμη, ο οποίος μπορεί να σταθεροποιηθεί μέσω της ανάπτυξης ενός δικτύου πρωτεϊνών (σημαντική είναι η συμβολή του αυγού και σε μικρότερο βαθμό της γλουτένης), αλλά και μέσω της σταθεροποιητικής επίδρασης του λιπαρού και των γαλακτωματοποιητών (Cauvain & Young, 2006a). Είναι απαραίτητο οι φυσαλίδες αέρα που θα ενσωματωθούν στη ζύμη κατά την ανάμιξη, να παραμείνουν παγιδευμένες και κατά τον κλιβανισμό. Επομένως σημαντική επίδραση στη διόγκωση του κέικ, έχει και η σταθερότητα του συστήματος (ζύμης), η οποία εξαρτάται από το ιξώδες και την επίδραση ορισμένων συστατικών.

Η ζύμη μπορεί να χαρακτηριστεί ως γαλάκτωμα ελαίου σε νερό, όπου διακρίνονται τέσσερις φάσεις, η υδατική, η λιπαρή, η αέρια και τα στερεά σωματίδια αμύλου (Shelke et al., 1990). Επομένως η σταθερότητα των φυσαλίδων αέρα, εξαρτάται από την παρουσία συγκεκριμένων συστατικών π.χ. λιπαρού, γαλακτωματοποιητών, αυγού. Η αστάθεια των φυσαλίδων οδηγεί σε συνένωση γειτονικών φυσαλίδων (ιδιαίτερα κατά τα πρώτα στάδια του κλιβανισμού που η ζύμη γίνεται πιο λεπτόρευστη), με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλου μεγέθους φυσαλίδων εις βάρος των μικρότερων και τη δυσανάλογη κατανομή τους στο σύστημα. Επομένως η κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων καθορίζει τη σταθερότητα της ζύμης, με τις ζύμες με ευρεία κατανομή και μεγάλη διακύμανση του μεγέθους των φυσαλίδων να χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη αστάθεια.

Η ζύμη με χαμηλό ιξώδες, παρουσιάζει μειωμένη δυναμικότητα ως προς τη διατήρηση του αέρα κατά τον κλιβανισμό, καθώς δεν παρεμποδίζεται η συνένωση των φυσαλίδων και διευκολύνεται η διαφυγή τους, και ιδιαίτερα κατά αρχικά στάδια οπότε παρατηρείται μείωση του ιξώδους, λόγω της τήξης του λιπαρού και της διαλυτοποίησης της ζάχαρης. Έτσι οι μεγάλοι μεγέθους φυσαλίδες σε μία ζύμη χαμηλού ιξώδους μπορούν εύκολα να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά τον κλιβανισμό, λόγω της αυξημένης πλευστότητας τους (Cauvain & Young 2006a). Επιπλέον το χαμηλό ιξώδες δεν ενισχύει την ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη κατά το στάδιο της ανάμιξης. Ουσιαστικά το ιξώδες δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ χαμηλό αλλά ούτε και πολύ υψηλό, καθώς το υψηλό ιξώδες μπορεί να περιορίσει τη διόγκωση των φυσαλίδων κατά τον κλιβανισμό. Περιοριστικός ως προς τη διόγκωση των φυσαλίδων αέρα, ωστόσο μπορεί να είναι και ο ρόλος του πλέγματος γλουτένης.

Τέλος η δράση των διογκωτικών πρέπει να εξασφαλίσει την έκλυση του μεγαλύτερου μέρους του διοξειδίου του άνθρακα, πριν τη σταθεροποίηση της ζύμης κατά τον κλιβανισμό (Koksel & Gokmen, 2008).

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα βασικά συστατικά του κέικ και η λειτουργικότητά τους, και ειδικότερα η συμβολή τους στη δομή, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη διατηρησιμότητα του προϊόντος.

1.2 Συστατικά του κέικ και η λειτουργικότητά τους

1.2.1 Άλευρο

Το άλευρο σίτου αποτελεί βασικό συστατικό των προϊόντων αρτοποιίας. Η ποιότητα του προϊόντος επηρεάζεται από την ποιότητα του αλεύρου, η οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από το γενότυπο του σιταριού, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την επεξεργασία του. Το άλευρο έχει σημαντική συμβολή στη δομή, τον όγκο, την υφή, το άρωμα και τη γεύση του κέικ. Οι πρωτεΐνες, το άμυλο, οι πεντοζάνες και τα λιπίδια αποτελούν τα κύρια συστατικά του αλεύρου ζαχαροπλαστικής.

Οι πρωτεΐνες, και ειδικότερα οι γλοιαδίνες (προλαμίνες) και οι γλουτενίνες (γλουτελίνες), όταν αναμιχθούν με νερό σχηματίζουν το δίκτυο της γλουτένης, που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την παρασκευή προϊόντων όπως το ψωμί. Οι γλουτενίνες είναι μεγάλα πρωτεϊνικά πολυμερή που συνδέονται με δισουλφιδικούς δεσμούς και προσδίδουν ελαστικότητα στο ζυμάρι, ενώ οι γλοιαδίνες είναι μικρότερα πρωτεϊνικά πολυμερή και προσδίδουν εκτατότητα. Ωστόσο στο κέικ η ανάπτυξη της γλουτένης είναι περιορισμένη λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες (8-10%) του μαλακού αλεύρου σίτου, της απουσίας δυνατών πρωτεϊνών (Tanhehco & Perry, 2008), καθώς και λόγω της παρουσίας της ζάχαρης που περιορίζει τη διαθεσιμότητα του νερού που απαιτείται για την ενυδάτωση των πρωτεϊνών (Cauvain & Young, 2006a). Ειδικότερα στο κέικ η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του (Kaldy & Rubenthaler, 1987; Yamamoto et al., 1996) ενώ και η σύσταση των πρωτεϊνών αποτελεί σημαντικό παράγοντα (Cauvain & Young, 2006a; Hou et al., 1996b; Tanhehco & Perry, 2008).

Το άλευρο σίτου περιέχει σε ποσοστό περίπου 70% άμυλο. Το άμυλο βρίσκεται σε μορφή κόκκων διαμέτρου 1-45 μm και παρουσιάζει μερική κρυσταλλικότητα (30-40%) (Conde-Petit, 2003; Rao, 2003). Είναι πολυμερές της γλυκόζης και αποτελείται περίπου κατά 25% από αμυλόζη και 75% από αμυλοπηκτίνη. Η αμυλόζη είναι γραμμικό πολυμερές α -1,4-γλυκόζης, με μοριακό βάρος 10^5 - 10^6 και 500-5000 μονάδες γλυκόζης ανά μόριο (Rao, 2003). Η αμυλοπηκτίνη είναι διακαδισμένο πολυμερές α -1,4-γλυκόζης με τις πλευρικές μονάδες να συνδέονται με α -1,6 δεσμούς, με μοριακό βάρος 10^8 και ευθύνεται για την κρυσταλλικότητα του αμύλου

(Rao, 2003). Με περίσσεια νερού με θέρμανση οι κόκκοι του αμύλου απορροφούν νερό και διογκώνονται. Μέχρι μία ορισμένη θερμοκρασία (θερμοκρασία ζελατινοποίησης) η διαδικασία αυτή είναι αναστρέψιμη. Πάνω από τη θερμοκρασία αυτή το άμυλο υφίσταται μη αναστρέψιμη μεταβολή της δομής κατά την οποία λαμβάνει χώρα η μετάβαση από μία σχετικά διατεταγμένη προς μία άμορφη δομή (ζελατινοποίηση) (Eliasson & Gudmundsson, 2006; Cauvain & Young, 2006b). Αποτέλεσμα της ζελατινοποίησης είναι η αύξηση του ιξώδους του αιωρήματος αμύλου σε νερό (Rao, 2003; Tanhehco & Perry, 2008). Η ζελατινοποίηση του αμύλου λαμβάνει χώρα σε εύρος θερμοκρασιών 7-10°C και επηρεάζεται από χαρακτηριστικά του αμύλου (μοριακό βάρος, λόγο αμυλόζης/αμυλοπηκτίνης, μήκος και διακλαδώσεις της αμυλοπηκτίνης) και παράγοντες του μίγματος όπως την περιεκτικότητα σε νερό και την παρουσία σακχάρων, άλατος, λιπαρών, και γαλακτωματοποιητών. Συγκεκριμένα η προσθήκη σακχάρων οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης ανάλογα με την ποσότητα και τον τύπο του σακχάρου και την ενεργότητα του νερού του μίγματος (Hoseney, 1998). Η προσθήκη άλατος επίσης επηρεάζει τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης ενώ τα λιπαρά και οι γαλακτωματοποιητές εμφανίζουν περιορισμένη επίδραση (Rao, 2003). Ειδικότερα οι γαλακτωματοποιητές φαίνεται να δημιουργούν σύμπλοκα με το άμυλο, περιορίζοντας τη διόγκωση και τη διαλυτοποίησή του (Conde-Petit, 2003). Περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε διάρρηξη των κόκκων του αμύλου, οπότε και απελευθερώνεται η αμυλόζη, η οποία διαχέεται στη συνεχή φάση του αιωρήματος στο οποίο είναι διεσπαρμένοι οι διογκωμένοι κόκκοι του αμύλου, σχηματίζοντας την πάστα αμύλου (Rao, 2003; Tanhehco & Perry, 2008). Κατά τη ψύξη τα μόρια του αμύλου, και ιδιαίτερα της αμυλόζης, μπορούν να επανασυνδεθούν σχηματίζοντας πήγμα (Tanhehco & Perry, 2008). Η επανασύνδεση προς μια κρυσταλλική δομή που λαμβάνει χώρα κατά την αποθήκευση, καλείται αναδιαμόρφωση του αμύλου, περιλαμβάνει τη μετακίνηση νερού μεταξύ πρωτεΐνης και αμύλου και ευθύνεται για την παλαιώση (μπαγιατέμα) του προϊόντος (σκλήρυνση της υφής) (Cauvain & Young, 2006b).

Η ζελατινοποίηση παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της δομής προϊόντων όπως το κέικ, ενώ ο ρόλος της περιορίζεται σε προϊόντα με χαμηλή διαθεσιμότητα του νερού όπως τα μπισκότα (Cauvain & Young,

2006a). Ειδικότερα στο κέικ η ζελατινοποίηση του αμύλου που λαμβάνει χώρα κατά τον κλιβανισμό, οδηγεί σε αύξηση του ιξώδους της ζύμης που αρχικά αναχαιτίζει τη συσσωμάτωση των φυσαλίδων αέρα (Bennion & Bamford 1997b), ενώ η πλήρης ζελατινοποίηση του αμύλου και η πήξη των πρωτεϊνών, οδηγεί στη σταθεροποίηση της ζύμης και την ολοκλήρωση της διόγκωσής της, σηματοδοτώντας ουσιαστικά τη μετάβασή της από το γαλάκτωμα στην πορώδη δομή (Mizukoshi et al., 1979; Ngo & Taranto, 1986).

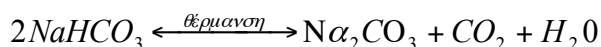
Οι πεντοζάνες επίσης έχουν την ικανότητα να απορροφούν νερό. Βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα του ενδοσπερμίου του σίτου και του πίτυρου και στο άλευρο περιέχονται σε χαμηλά ποσοστά (1-2%) (Cauvain & Young, 2006b). Αποτελούνται κυρίως από αραβινοξυλάνες, οι οποίες όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο των διαιτητικών ινών, είναι πολυμερή β-D-1,4-ξυλόζης με πλευρικές αλυσίδες αραβινόζης και υφίστανται σε διαλυτή και αδιάλυτη μορφή ανάλογα με το βαθμό διακλάδωσης των αλυσίδων αραβινόζης (υψηλότερος βαθμός διακλάδωσης σχετίζεται με υψηλότερη διαλυτότητα) (Tanhehco & Perry, 2008). Εκτός της συμβολής τους στην αύξηση του ιξώδους της ζύμης, έχουν σταθεροποιητική δράση στις φυσαλίδες του αέρα (Sahi, 2008).

Τα λιπίδια αποτελούν μικρό ποσοστό του αλεύρου και υφίστανται ως μη αμυλούχα και ως αμυλούχα. Τα αμυλούχα λιπίδια βρίσκονται στους κόκκους αμύλου, συγκρατούνται σε συμπλέγματα που περιλαμβάνουν αμυλόζη και εμφανίζουν μικρότερη λειτουργικότητα σε σύγκριση με τα μη αμυλούχα λιπίδια, τα οποία διακρίνονται σε ελεύθερα και δεσμευμένα. Τα μη αμυλούχα λιπίδια περιλαμβάνουν τριγλυκερίδια, μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια, λιπαρά οξέα, και φωσφολιπίδια (Tanhehco & Perry, 2008). Τα λιπίδια έχουν σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά του κέικ (όγκο, υφή), και η απομάκρυνση των ελεύθερων λιπιδίων έχει οδηγήσει σε μείωση του όγκου του (Takeda, 1994).

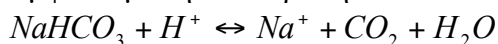
1.2.2 Διογκωτικά

Τα διογκωτικά συμβάλλουν στην ανάπτυξη του όγκου του κέικ με την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα. Μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διογκωτικές ουσίες (και το συνηθέστερο συστατικό του baking powder)

είναι το όξινο ανθρακικό νάτριο, επειδή παρουσιάζει χαμηλή τοξικότητα, χαμηλό κόστος, ευκολία στη χρήση, και δεν επιδρά στη γεύση του προϊόντος. Ωστόσο η θερμική αποικοδόμηση του, που παρουσιάζεται στην παρακάτω αντίδραση και η οποία λαμβάνει χώρα σε υψηλή θερμοκρασία (άνω των 90 °C), οδηγεί στο σχηματισμό ανθρακικού νατρίου που έχει αρνητική επίδραση στα οργανοληπτικά (γεύση) χαρακτηριστικά του κέικ (Hoseney, 1994).



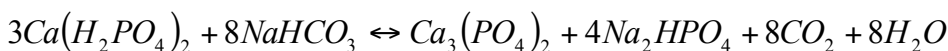
Σε υδατικό διάλυμα αντιδρά με τα ιόντα υδρογόνου, σύμφωνα με την αντίδραση:



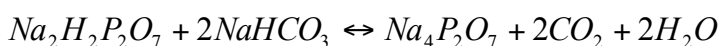
Κατά την προσθήκη του όξινου ανθρακικού νατρίου στη ζύμη, τα ιόντα υδρογόνου ευνοούν το σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα, ωστόσο απουσία οξέων, η ζύμη θα αποκτήσει γρήγορα αλκαλικό χαρακτήρα και η παραγωγή αερίου θα μειωθεί. Προκειμένου να ελεγχθεί η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα, προστίθενται όξινα διογκωτικά μαζί με το όξινο ανθρακικό νάτριο. Η επιλογή της διογκωτικής ουσίας όξινου χαρακτήρα γίνεται βάσει του ρυθμού της αντίδρασης και τιμής ουδετεροποίησης. Ο ρυθμός της αντίδρασης προσδιορίζεται ως η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται σε ορισμένο χρόνο, και η τιμή ουδετεροποίησης (neutralizing value) ως τα g του όξινου ανθρακικού νατρίου που εξουδετερώνονται από 100 g του όξινου διογκωτικού (Matz, 1992; Koksel & Gokmen, 2008). Οι ποσότητες των διογκωτικών ρυθμίζονται σε κάθε περίπτωση προκειμένου να επιτευχθεί εξισορρόπηση μεταξύ των όξινων και αλκαλικών συστατικών και να επιτευχθεί η επιθυμητή παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα κατά την ανάμιξη των συστατικών ή/και τον κλιβανισμό. (Bennion & Bamford, 1997b; Matz, 1992).

Στα όξινα διογκωτικά συμπεριλαμβάνονται το δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο (monocalcium phosphate-MCP), το όξινο πυροφωσφορικό νάτριο (sodium acid pyrophosphate-SAPP), το τρυγικό οξύ, το κιτρικό οξύ και ουδέτερα άλατα όπως το φωσφορικό νάτριο αργίλιο (sodium aluminium phosphate). Το δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο

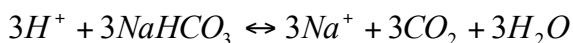
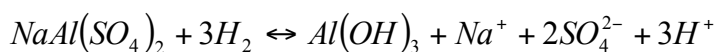
$(Ca(H_2PO_4)_2)$ αντιδρά πολύ γρήγορα με το όξινο ανθρακικό νάτριο σύμφωνα με την αντίδραση:



απελευθερώνοντας περίπου το 60% του διοξειδίου του άνθρακα κατά την απόδραση της ζύμης, ενώ το υπόλοιπο απελευθερώνεται κατά τον κλιβανισμό. Είναι επομένως σημαντικός ο ρόλος του στην ενσωμάτωση αερίων κατά το στάδιο της ανάμιξης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με διογκωτικά που δρουν βραδύτερα, όπως το δυσόξινο πυροφωσφορικό νάτριο ($Na_2H_2P_2O_7$), το οποίο αντιδρά αργά με το όξινο ανθρακικό νάτριο κατά τον κλιβανισμό σύμφωνα με την αντίδραση:



Τα ισχυρά οξέα, που δίνουν υψηλά επίπεδα ιόντων υδρογόνου, σε αντίθεση με τα ασθενή οξέα (π.χ. τρυγικό οξύ) αντιδρούν πολύ γρήγορα με το όξινο ανθρακικό νάτριο. Τα μερικώς ουδέτερα οξέα όπως το όξινο φωσφορικό ασβέστιο (acid calcium phosphate) έχουν μια ενδιάμεση συμπεριφορά, ενώ τα ουδέτερα άλατα όπως το φωσφορικό νάτριο αργίλιο μπορούν να δράσουν ως οξέα μέσω της υδρόλυσης τους, όπως φαίνεται παρακάτω: (Matz, 1992; Koksel & Gokmen, 2008)



Το baking powder αποτελείται από όξινο ανθρακικό νάτριο, ένα ή περισσότερα όξινα συστατικά και ένα φορέα (άμυλο, άλευρο καλαμποκιού), ο οποίος εμποδίζει την αντίδραση του οξέος και της βάσης κατά την αποθήκευση του προϊόντος. Το baking powder μπορεί να είναι απλής ή διπλής δράσης. Στην πρώτη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως βραδείας ή ταχείας δράσης ανάλογα με το αν περιέχει ένα οξύ που αντιδρά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, οπότε και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα κατά την ανάμιξη των συστατικών, ή οξύ που αντιδρά κατά τον κλιβανισμό αντίστοιχα, ενώ το διπλής δράσης baking powder περιέχει συνδυασμό των δύο αυτών οξέων (Indrani & Venkateswara Rao, 2008; Koksel & Gokmen, 2008; Lai & Lin, 2006).

1.2.3 Αυγά

Τα αυγά έχουν σημαντική συνεισφορά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ, καθώς συμβάλλουν στη γεύση, το άρωμα, το χρώμα, την υφή ενώ παρέχουν και σημαντικά θρεπτικά συστατικά λόγω της περιεκτικότητας τους σε πρωτεΐνες, μέταλλα και βιταμίνες.

Σημαντική είναι η συμβολή τους και στη δομή του προϊόντος λόγω της ικανότητας σχηματισμού αφρού, της γαλακτωματοποιητικής τους δράσης και της πήξης των πρωτεϊνών τους. Οι πρωτεΐνες του αυγού, και ιδιαίτερα οι πρωτεΐνες του λευκώματος (αλβουμίνες), έχουν την ικανότητα να δημιουργούν αφρό κατά την απόδαρσή τους, συντελώντας κατά αυτό τον τρόπο στην ενσωμάτωση αέρα. Πιο συγκεκριμένα οι πρωτεΐνες κατά την απόδαρσή τους δημιουργούν ένα τριδιάστατο πλέγμα στο οποίο παγιδεύονται φυσαλίδες αέρα. Τα αυγά συμβάλλουν επίσης στη διόγκωση μέσω της υγρασίας που περιέχουν (Indrani & Venkateswara Rao, 2008). Στην σταθερότητα του αφρού συμβάλλει η γαλακτωματοποιητική δράση η οποία εντοπίζεται στη λεκιθίνη, τη χοληστερόλη, τις λιποπρωτεΐνες και τις πρωτεΐνες του κρόκου, αν και γαλακτωματοποιητική δράση εμφανίζει και το λεύκωμα (Matz, 1992). Η σταθεροποιητική δράση των υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών (αλβουμίνης, γλοβουλίνης) διαφέρει από εκείνη των γαλακτωματοποιητών λιπαρής φύσης. Ειδικότερα τα μόρια των πρωτεϊνών σχηματίζουν στη διεπιφάνεια αέρα-υγρού ή λιπαρού-υγρού μία ιξωδοελαστική μεμβράνη, πιο ισχυρή από τη μεμβράνη που σχηματίζεται στην περίπτωση των γαλακτωματοποιητών λιπαρής φύσης, η οποία και μειώνει την επιφανειακή τάση και αποτρέπει τη συνένωση των φυσαλίδων αέρα (Sahi, 2008). Τέλος η πήξη των πρωτεϊνών του αυγού, που λαμβάνει χώρα κατά τον κλιβανισμό, συμβάλει στη σταθεροποίηση της ζύμης (Bennion & Bamford, 1997c; Matz, 1992; Indrani & Venkateswara Rao, 2008). Το pH, η παρουσία αλατιού, τα άλλα συστατικά και η θερμοκρασία είναι παράγοντες που επηρεάζουν το εύρος των θερμοκρασιών στα οποία λαμβάνει χώρα η πήξη των πρωτεϊνών του αυγού (Bennion & Bamford, 1997c).

Λόγω της υγρασίας, τα αυγά, και ειδικότερα το λεύκωμα, συμβάλουν στη ζελατινοποίηση του αμύλου και στην σκλήρυνση της υφής

(πιο σφιχτή δομή). Αντίθετα ο κρόκος φαίνεται να αποδίδει τρυφερότητα στην υφή του προϊόντος, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε λιπαρά (Indrani & Venkateswara Rao, 2008).

1.2.4 Σακχαρόζη (Ζάχαρη)

Η σακχαρόζη (ή ζάχαρη όπως αναφέρεται συχνότερα), εκτός της γλυκύτητας που προσδίδει στο κέικ, διαδραματίζει σημαντικό λειτουργικό ρόλο καθώς συμβάλλει στη δομή, το χρώμα και τη διατηρησιμότητα του προϊόντος. Η σακχαρόζη είναι δισακχαρίτης αποτελούμενος από γλυκόζη και φρουκτόζη. Παραλαμβάνεται από το ζαχαροκάλαμο και το ζαχαρότευτλο και υφίσταται σε διάφορους τύπους ανάλογα με το αν περιέχει ή όχι μελάσα από ζαχαροκάλαμο (καστανή και λευκή αντίστοιχα) και με το μέγεθος των κρυστάλλων (κρυσταλλική, άχνη) (Bennion & Bamford, 1997d)..

Συμβάλλει στη διόγκωση, την πορώδη δομή, και την τρυφερότητα της υφής του κέικ, καθώς έχει σημαντική επίδραση στη ζελατινοποίηση του αμύλου, στην πήξη των πρωτεϊνών και στην ανάπτυξη του δικτύου γλουτένης (Indrani & Venkateswara Rao, 2008), ενώ συντελεί και στην ενσωμάτωση του αέρα στη ζύμη (Bennion & Bamford, 1997d; Paton et al., 1981).

Η ζάχαρη μεταθέτει την έναρξη της ζελατινοποίησης του αμύλου σε υψηλότερη θερμοκρασία μέσω της μείωσης της ενεργότητας του νερού του διαλύματος και της αλληλεπίδρασης με τις αλυσίδες αμύλου προς τη σταθεροποίηση των άμορφων περιοχών των κόκκων του αμύλου (Spies & Hosney, 1982; Kim and Walker, 1992a,b; Bean et al., 1978). Η αύξηση της θερμοκρασίας της ζελατινοποίησης του αμύλου διατηρεί χαμηλό το ιξώδες και παρέχει χρόνο να αναπτυχθούν οι φυσαλίδες του αέρα κατά τον κλιβανισμό πριν τη σταθεροποίηση της ζύμης (Mizukoshi et al., 1980). Η ζάχαρη αυξάνει και τη θερμοκρασία πήξης των πρωτεϊνών, που επίσης επηρεάζει τη δομή του προϊόντος. Επιπλέον, περιορίζοντας τη διαθεσιμότητα του νερού, περιορίζει την ανάπτυξη του δικτύου γλουτένης. Ωστόσο η δυσανάλογη αύξηση της περιεκτικότητας σε ζάχαρη, χωρίς να ακολουθείται από ανάλογη αύξηση της ποσότητας νερού, οδηγεί σε κατάρρευση της δομής του κέικ (Bennion & Bamford, 1997a,d).

Επιπλέον λόγω της υγροσκοπικότητάς της, η ζάχαρη συμβάλλει στη διατήρηση της τρυφερότητας της υφής (Bennion & Bamford , 1997d) και παρατείνει το χρόνο ζωής του κέικ (Cauvain & Young, 2006b). Τέλος συμβάλλει στο χρώμα του προϊόντος μέσω της καραμελοποίησης και της αντίδρασης Maillard. Η πρώτη λαμβάνει χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 120 °C), οπότε και αποικοδομείται η ζάχαρη προς το σχηματισμό προϊόντων, που με πολυμερισμό οδηγούν σε ενώσεις με σκούρο χρωματισμό (Ktogh, 1994). Η δεύτερη λαμβάνει χώρα, όταν τα αναγωγικά σάκχαρα που σχηματίζονται από την υδρόλυση της ζάχαρης αντιδρούν με αζωτούχες ενώσεις (πρωτεΐνες) προς το σχηματισμό ενώσεων σκούρου χρώματος (Fennema, 1996).

1.2.5 Λιπαρό

Παρόμοια με τα άλλα συστατικά που αναφέρθηκαν, το λιπαρό εκτός από τη συνεισφορά στα γευστικά χαρακτηριστικά και το άρωμα του κέικ έχει σημαντική λειτουργικότητα στη δομή και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Συμβάλλει στην ενσωμάτωση του αέρα στη ζύμη αλλά και στη σταθερότητα των φυσαλίδων αέρα, λόγω της γαλακτωματοποιητικής δράσης του (Matthews & Dawson, 1966), ενώ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην τρυφερότητα της υφής και στη διατηρησιμότητα του κέικ.

Όπως αναφέρθηκε η ενσωμάτωση του αέρα και η κατανομή των φυσαλίδων αέρα στη ζύμη είναι καθοριστική για την ανάπτυξη του όγκου και της υφής του τελικού προϊόντος. Κατά την ανάμιξη (κρεμοποίηση) του λιπαρού με τη ζάχαρη, τα σωματίδια του λιπαρού διαχωρίζονται λόγω της διάτμησης που υφίστανται οπότε και ενθαρρύνεται ο εγκλωβισμός φυσαλίδων αέρα στα διεσπαρμένα σωματίδια του λιπαρού. Επιπλέον το λιπαρό συμβάλλει στη σταθερότητα του αφρού της ζύμης, καθώς οι κρύσταλλοι του λιπαρού περιβάλλουν τις φυσαλίδες αέρα. Πιο συγκεκριμένα, κατά την απόδραση οι κρύσταλλοι εξέρχονται από τα σταγονίδια του λιπαρού, διασπείρονται στην υδατική φάση της ζύμης και διατάσσονται στη διεπιφάνεια υγρού-αέρα. Κατά τον κλιβανισμό οι κρύσταλλοι του λιπαρού τήκονται επιτρέποντας τη διόγκωση των φυσαλίδων, ενώ η σταθεροποιητική δράση τους στη διεπιφάνεια αποτρέπει

τη διάρρηξη των φυσαλίδων (Brooker, 1993a, 1993b; Indrani & Venkateswara Rao, 2008; Sahi, 2008).

Η κρυσταλλική δομή και η περιεκτικότητα σε στερεά λιπαρά (solid fat content ή solid fat index) αποτελούν ρυθμιστικούς παράγοντες των λειτουργικών ιδιοτήτων των λιπαρών. Έτσι η ισορροπία μεταξύ στερεής και υγρής φάσης και ειδικότερα ο αριθμός των κρυστάλλων (ο οποίος εκφράζεται από το λόγο στερεό/υγρό) καθορίζει την πλαστικότητα του λιπαρού δηλαδή το πώς ανταποκρίνεται στην άσκηση πίεσης. Επιπλέον το σημείο τήξης του λιπαρού, το μέγεθος, το σχήμα και η κατανομή των κρυστάλλων επηρεάζουν την κρεμοποιητική ικανότητα του λιπαρού, δηλαδή την ικανότητα ενσωμάτωσης αέρα. Η κρυσταλλική μορφή (α, β' και β), εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το ρυθμό ψύξης κατά την επεξεργασία (στερεοποίηση) του λιπαρού. Η α αποτελεί τη λιγότερο σταθερή δομή με το χαμηλότερο σημείο τήξης και η β την πιο σταθερή μορφή με το υψηλότερο σημείο τήξης, ενώ οι β' κρύσταλλοι εμφανίζουν ανώτερη κρεμοποιητική ικανότητα και προσδίδουν στο λιπαρό ομαλή υφή (Bennion & Bamford, 1997; Cauvain & Young, 2006b; Lai & Lin, 2006).

Επιπλέον το λιπαρό παρεμποδίζει την ανάπτυξη του δικτύου γλουτένης με την παρεμβολή του μεταξύ των πρωτεϊνικών σωματιδίων οπότε και εμποδίζει την ενυδάτωση τους, ενώ συγκρατεί και ικανή ποσότητα υγρού, με αποτέλεσμα να προσδίδει τρυφερότητα στην υφή του κέικ (Bennion & Bamford, 1997). Το λιπαρό φαίνεται να παρεμποδίζει και την αναδιαμόρφωση του αμύλου καθώς περιβάλλει τους κόκκους αμύλου και αποτρέπει τη επανασύνδεσή τους (Conforti & Archilla, 2001).

Τα λιπαρά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή κέικ είναι το βούτυρο, η μαργαρίνη και τα μαγειρικά λίπη (shortening) που μπορεί να είναι πλαστικά λιπαρά (plastic fats) ή ρευστά (fluid shortenings). Το βούτυρο παρασκευάζεται από γάλα ή κρέμα και περιέχει τουλάχιστον 80% λιπαρό, ενώ το νερό, το αλάτι και τα στερεά γάλακτος αποτελούν τα υπόλοιπα συστατικά (σε περιεκτικότητα 16%, 2.5% και 1.5% αντίστοιχα). Παρέχει πλούσια γεύση ωστόσο το χαμηλό σημείο τήξης του (25-28°C) καθιστά δύσκολο το χειρισμό του και οδηγεί σε μη ικανοποιητική κρεμοποιητική ικανότητα. Η μαργαρίνη παρασκευάζεται από ζωικά και φυτικά λιπαρά. Περιέχει 80-85% λιπαρά, 10-15% υγρασία και 5% άλλα συστατικά (αλάτι, στερεά γάλακτος, γαλακτωματοποιητές, χρωστικές,

γευστικά συστατικά). Παρουσιάζει καλή κρεμοποιητική ικανότητα, ενώ η περιεχόμενη υγρασία ενισχύει τη διόγκωση της ζύμης. (Cauvain & Young, 2006b; Lai & Lin, 2006) Το μαγειρικό λιπαρό (shortening) αποτελείται σχεδόν εξ'ολοκλήρου από λιπαρά που μπορεί να είναι ζωικά ή φυτικά λιπαρά ή και τα δύο και διακρίνονται σε δύο τύπους, regular και emulsified, ανάλογα με το αν περιέχουν ή όχι γαλακτωματοποιητή. Το λιπαρό χωρίς γαλακτωματοποιητή χαρακτηρίζεται από υψηλό σημείο τήξης, σκληρή και κηρώδη υφή, αλλά παρουσιάζει ικανοποιητική κρεμοποιητική ικανότητα. Το λιπαρό με γαλακτωματοποιητή είναι πιο μαλακό και διασπείρεται εύκολα στη ζύμη. Στην περίπτωση του ρευστού shortening είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση ενός συνδυασμού γαλακτωματοποιητών. Πρόκειται ουσιαστικά για μίγμα σκληρού λιπαρού και γαλακτωματοποιητών σε φυτικό έλαιο (Sahi, 2008). Τέλος μπορούν να χρησιμοποιηθούν και φυτικά έλαια, όπως σογιέλαιο, αραβοσιτέλαιο, βαμβακέλαιο κ.α. (Berglund & Hertsgaard, 1986). Το φοινικέλαιο ειδικότερα προάγει τη β' κρυστάλλωση (Lai & Lin, 2006).

Οι γαλακτωματοποιητές μπορούν είτε να περιέχονται στο λιπαρό είτε να προστίθενται απ'ευθείας στη ζύμη και έχουν σημαντικό ρόλο στη δομή του κέικ.

1.2.6 Γαλακτωματοποιητές

Όπως αναφέρθηκε η ζύμη μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα πολύπλοκο σύστημα αφρού σε γαλάκτωμα ελαίου σε νερό, με τις φυσαλίδες αέρα να αποτελούν τη διεσπαρμένη φάση και η «συνεχής» φάση να αποτελείται από το μίγμα αυγού, ζάχαρης, νερού και λιπαρού στην οποία είναι διεσπαρμένα τα σωματίδια του αλεύρου (Mizukoshi, 1983; Ngo & Taranto, 1986; Shelke et al., 1990). Οι γαλακτωματοποιητές έχουν την ικανότητα να δρουν σταθεροποιητικά στη διεπιφάνεια μεταξύ δύο φάσεων, μέσω της μείωσης της διεπιφανειακής τάσης. Η τάση τους να δεσμεύονται από πολική ή άπολη (λιπαρή) φάση εκφράζεται από την HLB τιμή τους, με τους γαλακτωματοποιητές με υψηλή τιμή HLB να εμφανίζουν υδρόφιλο χαρακτήρα και εκείνους με χαμηλή λιπόφιλη συμπεριφορά (O' Brien, 2009).

Οι γαλακτωματοποιητές μπορούν να υφίστανται σε διάφορες κρυσταλλικές μορφές, ανάλογα με τη θερμοκρασία, με πιο σταθερή τη β'. Κατά τη διασπορά τους σε νερό με θέρμανση κοντά στο σημείο τήξης τους, το νερό διαπερνά τις στοιβάδες των πολικών ομάδων με αποτέλεσμα τη διασπορά των κρυστάλλων στο υγρό και τη μετάβαση του γαλακτωματοποιητή στη λιγότερο σταθερή α μορφή (Krog & Spargo, 2004). Με ψύξη προκύπτει πήγμα στο οποίο ο γαλακτωματοποιητής θα είναι διεσπαρμένος με τη μορφή των μικρών σε μέγεθος κρυστάλλων α μορφής, που είναι πολύ σημαντική για την ενσωμάτωση του αέρα στα κέικ και για τη σταθερότητα του αφρού καθώς τα πήγματα της α μορφής φαίνεται να σχηματίζουν στοιβάδα στην επιφάνεια των φυσαλίδων αέρα (Richardson et al., 2002, 2004). Έτσι αποτρέπουν τη συνένωση των φυσαλίδων και προάγουν την ομοιόμορφη κατανομή τους στη ζύμη (Sahi & Alava, 2003).

Ωστόσο ο λειτουργικός ρόλος των γαλακτωματοποιητών δεν περιορίζεται αποκλειστικά στη σταθερότητα του αφρού, αλλά εκτείνεται και σε άλλες αλληλεπιδράσεις τους. Έτσι ορισμένοι γαλακτωματοποιητές, αλληλεπιδρούν με το άμυλο, σχηματίζοντας σύμπλοκα με την αμυλόζη, και εμποδίζουν την αναδιαμόρφωση του αμύλου. Κατά αυτόν τον τρόπο οι γαλακτωματοποιητές συμβάλλουν στην παρεμπόδιση του μπαγιατέματος και στην καλύτερη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος (Bennion & Bamford, 1997e).

Λόγω της πολυμορφίας τόσο των γαλακτωματοποιητών όσο και των λιπαρών, οι γαλακτωματοποιητές μπορούν να επηρεάσουν την κρυσταλλική δομή του λιπαρού στο οποίο βρίσκονται διεσπαρμένοι, και κατ'επέκταση επιδρούν στη λειτουργικότητα του λιπαρού στο προϊόν. Ως συστατικά του λιπαρού ενισχύουν τη διασπορά του τελευταίου στη ζύμη (Sahi, 2008) αλλά και τη γαλακτωματοποιητική δράση του, με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανομή του αέρα στη ζύμη (Bennion & Bamford, 1997e). Στην περίπτωση που το λιπαρό περιέχει νερό (για την καλύτερη διασπορά των κρυστάλλων), η παρουσία του γαλακτωματοποιητή διευκολύνει τη διασπορά του νερού στο λιπαρό και τη σταθερότητα του λιπαρού προϊόντος κατά την αποθήκευση (Cauvain & Young, 2006b).

Τα μονο- και δι-γλυκερίδια είναι προϊόντα της γλυκερόλυσης, δηλ. της αντίδρασης τριγλυκεριδίων με τη γλυκερόλη σε θερμοκρασία 200-260

°C (Krog & Sparso, 2004). Τα μονογλυκερίδια με περαιτέρω εστεροποίηση με οργανικά οξέα όπως οξικό, κιτρικό, γαλακτικό, και διακετυλοτρυγικό οδηγούν στο σχηματισμό των αντίστοιχων εστέρων (εστέρες του οξικού οξέος (acetem), του κιτρικού οξέος (citrem), του γαλακτικού οξέος (lactem) και του μονο- και διακετυλο- τρυγικού οξέος (datem)) (Krog & Sparso, 2004). Και άλλοι γαλακτωματοποιητές προκύπτουν με διαδικασία ανάλογη με τη γλυκερόλυση, ως εστέρες της προπυλενογλυκόλης με στεατικό οξύ (propylene glycol monostearate-PGMS), της πολυγλυκερόλης με κάποιο λιπαρό οξύ (polyglycerol esters- PGE), και της σορβιτόλης. Τα στερεοϋλο-γαλακτυλικό νάτριο (sodium stearyl lactylates (SSL)) και στεαροϋλο-γαλακτυλικό ασβέστιο (calcium stearyl lactylates (CSL)) προκύπτουν με εστεροποίηση του γαλακτικού οξέος με λιπαρά οξέα και ακολούθως εξουδετέρωση με άλατα νατρίου και ασβεστίου αντίστοιχα. (Bennion & Bamford, 1997f; Sahi, 2008).

1.2.7 Γάλα

Το γάλα συνεισφέρει στη διαλυτοποίηση και τη διασπορά των συστατικών κατά την ανάμιξη και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (γεύση, χρώμα) του κέικ. Ειδικότερα λόγω της περιεκτικότητάς του σε σάκχαρα και πρωτεΐνες συμβάλει στο χρώμα της κόρας του κέικ. Επιπλέον παρέχει υγρασία, η οποία απαιτείται για τη διόγκωση της ζύμης και για την ενυδάτωση των συστατικών της (ζελατινοποίηση αμύλου, ανάπτυξη δικτύου γλουτένης) (Cauvain & Young, 2006b; Indrani & Venkateswara Rao, 2008)

1.2.8 Αλάτι

Το αλάτι λειτουργεί ως ενισχυτικό της γεύσης και συμβάλλει στη διατηρησιμότητα του προϊόντος (Cauvain & Young, 2006b).

1.3. Τύποι κέικ

Ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής τους τα κέικ διακρίνονται στα κέικ λιπαρού, τα οποία περιέχουν σημαντική ποσότητα λιπαρού (π.χ. round

κέικ, yellow κέικ, white κέικ), και στα κέικ αφρού (angel food κέικ, sponge κέικ, chiffon κέικ). Η δομή και ο όγκος των κέικ λιπαρού εξαρτάται από το λειτουργικό ρόλο του λιπαρού ενώ των κέικ αφρού εξαρτάται από την ικανότητα του αυγού για το σχηματισμό αφρού.

1.3.1 Κέικ λιπαρού-Μέθοδοι ανάμιξης

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το round κέικ (ίση ποσότητα (1 round) αλεύρου, ζάχαρης, λιπαρού και αυγού) το yellow κέικ (περιέχει ολόκληρα αυγά), το white κέικ (περιέχει μόνο το λεύκωμα των αυγών) και το high ratio κέικ με υψηλή περιεκτικότητα ζάχαρης (Bennion & Bamford, 1997). Η ανάμιξη των συστατικών στοχεύει στην ενσωμάτωση του αέρα και στην όσο το δυνατόν καλύτερη διασπορά (ή ομοιόμορφη κατανομή) των συστατικών. Οι μέθοδοι ανάμιξης διαφοροποιούνται ως προς τη σειρά ανάμιξης των συστατικών, το ρυθμό και τη διάρκεια ανάμιξης.

Κατά τη μέθοδο της κρεμοποίησης (sugar batter) αρχικά αναμιγνύονται η ζάχαρη και το λιπαρό μέχρι να πάρουν τη μορφή κρέμας. Ακολουθεί η σταδιακή προσθήκη αυγών και τέλος το άλευρο με τα διογκωτικά και το απαιτούμενο γάλα ή το νερό. Η μέθοδος αυτή διευκολύνει την ενσωμάτωση μεγάλου όγκου αέρα στη ζύμη και καθυστερεί την ενυδάτωση του αλεύρου και τη διαλυτοποίηση της ζάχαρης (Conforti 2006, Tireki, 2008, Bennion,& Bamford, 1997a).

Κατά τη μέθοδο ανάμιξης (blending (flour batter) method) το λιπαρό αναμιγνύεται με ίση ή μικρότερη ποσότητα αλεύρου. Ξεχωριστά αναμιγνύονται τα αυγά με τη ζάχαρη και προστίθενται στο μίγμα λιπαρού-αλεύρου. Το γάλα και το υπόλοιπο άλευρο προστίθενται στο τέλος. Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνεται η καλύτερη διασπορά του λιπαρού (Conforti, 2006, Tireki 2008, Bennion& Bamford 1997a).

Η ανάμιξη όλων των συστατικών σε ένα στάδιο (single-stage mixing) παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα όπως, η εξοικονόμηση χρόνου, η ελαχιστοποίηση της απασχόλησης ανθρώπινου δυναμικού, και ο μεγαλύτερος βαθμός ευκολίας. Άλλη μέθοδος, που εφαρμόζεται κυρίως όταν χρησιμοποιούνται υλικά σε μορφή σκόνης (σκόνη αυγού και σκόνη γάλακτος), περιλαμβάνει την ανάμιξη όλων των στερεών υλικών (ζάχαρη,

αλάτι, σκόνη αυγού, σκόνη γάλακτος, λιπαρό και άλευρο) μέχρι να παρασκευαστεί ένα εύθρυπτο μίγμα και ακολούθως προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού (Conforti 2006, Tireki, 2008).

Κατά τη μέθοδο του γαλακτώματος (emulsion method) αρχικά αναμιγνύονται (κρεμοποιούνται) το λιπαρό με τη ζάχαρη και στη συνέχεια προστίθεται το γάλα υπό συνεχή ανάδευση, μέχρι το σχηματισμό μιας ελαφριάς και αφρώδους μάζας. Κατόπιν προστίθεται το άλευρο και τέλος τα αυγά. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για μίξερ μεγάλου όγκου (Conforti 2006, Tireki 2008).

1.3.2 Κέικ αφρού-Μέθοδοι ανάμιξης

Στην κατηγορία αυτή ανήκει το angel food κέικ, του οποίου βασικά συστατικά είναι το άλευρο, η ζάχαρη και τα ασπράδια αυγού. Η ζάχαρη είναι το συστατικό που συμβάλει στην τρυφερότητα του κέικ, καθώς αυτό δεν περιέχει λιπαρό. Η διαδικασία παρασκευής περιλαμβάνει την απόδαρση του λευκώματος των αυγών μέχρι το σχηματισμό αφρού και στη συνέχεια προστίθενται τα υπόλοιπα συστατικά με αργό ρυθμό. Για την παρασκευή των sponge κέικ αρχικά γίνεται απόδαρση των αυγών με αργή προσθήκη ζάχαρης, μέχρι το σχηματισμό αφρού κατάλληλου όγκου. Ακολουθεί η προσθήκη του αλεύρου και του υγρού με αργή ανάμιξη («δίπλωμα»). Στο τέλος μπορεί να προστεθεί λιπαρό επίσης με αργό ανακάτεμα εφόσον έχει προηγουμένως τακεί. Τα chiffon κέικ είναι συνδυασμός των δύο κατηγοριών κέικ. Γίνεται χωριστά η απόδαρση του λευκώματος των αυγών μέχρι σταθερού όγκου και τα υπόλοιπα συστατικά (συμπεριλαμβανομένου του λιπαρού και των κρόκων αυγού) αναμιγνύονται και στη συνέχεια προστίθενται με αργό ανακάτεμα στον αφρό του λευκώματος των αυγών (Conforti 2006).

Κεφάλαιο 2

ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΖΑΧΑΡΗΣ

Η βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιεί εναλλακτικά γλυκαντικά για την υποκατάσταση της ζάχαρης (π.χ. σε προϊόντα με μειωμένες θερμίδες ή για διαβητικούς) ή και τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος. Στην πρώτη περίπτωση αναζητούνται εναλλακτικά γλυκαντικά που παρέχουν τις λειτουργίες της σακχαρόζης στο εκάστοτε προϊόν.

Κατά την επιλογή του γλυκαντικού, πέραν από την επίδραση του στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (εμφάνιση, υφή, γευστικά χαρακτηριστικά), θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι φυσικοχημικές ιδιότητες του γλυκαντικού (π.χ. διαλυτότητα, ιξώδες, υγροσκοπικότητα, αλληλεπίδραση με άλλα συστατικά), η σταθερότητα του σε διεργασίες (π.χ. θερμική επεξεργασία) και κατά την αποθήκευση, οι φυσιολογικές επιδράσεις του (π.χ. θερμιδικό φορτίο, ανεκτικότητα), το κόστος και το νομοθετικό πλαίσιο. Εκτός από την ένταση της γλυκύτητας σημαντικός παράγοντας είναι το πόσο προσεγγίζει την ποιότητα γεύσης της σακχαρόζης. Σε ορισμένα προϊόντα (όπως το κέικ) μπορεί να απαιτηθεί ο συνδυασμός γλυκαντικών καθώς καθίσταται αναποτελεσματική η χρήση μόνο ισχυρών γλυκαντικών και επιπλέον ορισμένα μέσα πάχυνσης (bulking agents) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικά της ζάχαρης (Bereboom, 1979; Deis, 1993; Giese, 1993) δε μπορούν να υποκαταστήσουν το σύνολο των λειτουργικών χαρακτηριστικών της (π.χ. τη γλυκύτητα). Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στα εναλλακτικά γλυκαντικά των οποίων έχει μελετηθεί η χρήση τους σε προϊόντα αρτοποιίας και περιλαμβάνουν τη φρουκτόζη, μέσα πάχυνσης (πολυόλες, πολυδεξτρόζη, ολιγοφρουκτόζη) και ισχυρά γλυκαντικά.

2.1 Γλυκαντικά με βάση τη φρουκτόζη

2.1.1 Κρυσταλλική Φρουκτόζη

Η φρουκτόζη είναι το κύριο συστατικό του μελιού και φυσικά απατάνται σε φρούτα. Είναι 1.7 φορές γλυκύτερη από τη σακχαρόζη (Nir, 2006) και η γλυκύτητά της γίνεται αντιληπτή πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ένταση από ότι της σακχαρόζης. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το pH, η

συγκέντρωση του διαλύματος και η παρουσία άλλων γλυκαντικών είναι παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση της γλυκύτητας (White, 2012). Η φρουκτόζη παρουσιάζει συνέργεια με άλλα γλυκαντικά, και ειδικότερα όταν αναμιχθεί με σακχαρόζη, ασπαρτάμη, σακχαρίνη ή σουκραλόζη η γλυκύτητα είναι μεγαλύτερη από ότι όταν χρησιμοποιείται το καθένα μεμονωμένα (Batterman et al. 1988; Batterman and Lambert 1988; Van Tournout et al. 1985). Έτσι δίνεται η δυνατότητα για συνδυασμό της φρουκτόζης με χαμηλότερα επίπεδα ισχυρών γλυκαντικών (που συνεπάγεται και εξοικονόμηση κόστους) και επιπλέον περιορίζει την δυσάρεστη (πικρή, μεταλλική) μετάγευση ορισμένων από αυτά (Hyvonen, 1981).

Για την παρασκευή της φρουκτόζης χρησιμοποιείται πρώτη ύλη πλούσια σε φρουκτόζη όπως το High Fructose Corn Syrup (που αναπτύσσεται παρακάτω) (White, 2012). Στο παρελθόν έχει εξεταστεί η παρασκευή της με υδρόλυση της σακχαρόζης προς φρουκτόζη και δεξτρόζη, καθώς και με υδρόλυση της ινουλίνης. Ωστόσο οι διαδικασίες αυτές απαιτούν χρόνο ή κόστος, αντίστοιχα, που τις καθιστά μη πρακτικές.

Η διαλυτότητα της φρουκτόζης είναι μεγαλύτερη από εκείνη της σακχαρόζης και της δεξτρόζης και σε συνδυασμό με το μικρότερο μοριακό της βάρος σε σύγκριση με τη σακχαρόζη, την καθιστά πιο αποτελεσματική στη μείωση της ενεργότητας νερού και του σημείου πήξης. Έτσι συμβάλλει στη διατηρησιμότητα του προϊόντος, ενώ η ανθεκτικότητά της στην ανακρυστάλλωση (λόγω της υψηλής διαλυτότητάς της) αποτελεί επίσης σημαντικό πλεονέκτημα για την ποιότητα ορισμένων προϊόντων (π.χ. κατεψυγμένων συμπυκνωμένων χυμών φρούτων). Η φρουκτόζη είναι αναγωγικό σάκχαρο και επομένως έχει σημαντική συμβολή στην ανάπτυξη του καστανού χρώματος, ιδιότητα που μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση στο χρόνο και στη θερμοκρασία κλιβανισμού των προϊόντων. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή ποτών, αναψυκτικών και σιροπιών με μειωμένη περιεκτικότητα σε γλυκνικά, λόγω της ισχυρής γλυκύτητάς της και της συνέργειάς της με τη σακχαρόζη, τη σακχαρίνη και την ασπαρτάμη. Με τη χρήση μικρότερων ποσοτήτων αυτών των ακριβών συστατικών ενισχύεται το άρωμα των άλλων συστατικών (π.χ. φρούτων) (White, 2012).

Η φρουκτόζη μεταβολίζεται στο ήπαρ και φαίνεται να έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερα επίπεδα ινσουλίνης και γλυκαιμικής απόκρισης (Crapo et al., 1980). Ωστόσο τα συμπεράσματα για την επίδραση της στον οργανισμό (π.χ. επίπεδα τριγλυκεριδίων, σωματικό βάρος) δεν είναι σαφή (Dolan et al. 2010; Gerrits and Tsalikian 1993; Ha V et al., 2012; Livesey 2009; Sievenpiper et al. 2012; Silbernagel et al. 2011; Wang et al. 2014; Tappy & Le 2010).

2.1.2 Σιρόπια καλαμποκιού υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη (High Fructose Corn Syrup, HFCS)

Το HFCS παρασκευάζεται από άμυλο καλαμποκιού, με υδρόλυση και ισομερίωση της γλυκόζης που προκύπτει. Το σιρόπι που προκύπτει περιέχει 42% φρουκτόζη επί ξηρού (71% περιεκτικότητα σε στερεά) και με κλασματικό διαχωρισμό δίνει σιρόπια με 55% έως 90% φρουκτόζη επί ξηρού, με το 55% να είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο (κυρίως στα αναψυκτικά) (Buck 2012; Nip 2006). Η γλυκύτητα αυξάνεται με την αύξηση του επιπέδου φρουκτόζης και σε σύγκριση με τη σακχαρόζη η γλυκύτητά τους γίνεται γρήγορα αντιληπτή αλλά έχει δράση μικρότερης διάρκειας, με αποτέλεσμα να βελτιώνουν το άρωμα των άλλων συστατικών. Το HFCS συμμετέχει σε αντιδράσεις Maillard, παρέχει μικροβιακή σταθερότητα και σε σύγκριση με τη σακχαρόζη εμφανίζει χαμηλότερη ενεργότητα νερού και προκαλεί μεγαλύτερη ταπείνωση του σημείου πήξης (Buck, 2012). Αποδίδει 4 kcal/g και μεταβολίζεται παρόμοια με τη σακχαρόζη (Coulston and Johnson 2002; Melanson et al. 2007; Sigman-Grant and Jorita 2003).

Το μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής αποτελεί εκείνο των ποτών, όπου κυρίως χρησιμοποιείται HFCS 55%. Το HFCS χρησιμοποιείται στην κονσερβοποιία (φρούτων και λαχανικών, όπως καρότο, αρακάς, καλαμπόκι) και στις μαρμελάδες, καθώς βελτιώνει τα αρώματα φρούτου, το χρώμα και αποτρέπει την κρυστάλλωση. Στα κατεψυγμένα επιδόρπια, όπως το παγωτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα μέσα πάχυνσης (μέσα πάχυνσης), προκειμένου να επιτευχθεί η ρύθμιση του σημείου πήξης και της γλυκύτητας (Buck, 2012).

2.2 Πολυόλες

Οι πολυόλες ή πολυαλκοόλες παράγονται με υδρογόνωση κατάλληλων σακχάρων κατά την οποία η ομάδα της αλδεύδης ή της κετόνης μετατρέπονται σε αλκοόλη. Έτσι μετατρέπεται ο αναγωγικός χαρακτήρας σε μη αναγωγικό με αποτέλεσμα να μη συμμετέχουν σε αντιδράσεις Maillard (de Cock, 2012). Λόγω του ότι δεν μεταβολίζονται όπως τα άλλα σάκχαρα, αποδίδουν λιγότερες θερμίδες, έχουν χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη και είναι κατάλληλα για διαβητικούς (de Cock, 2012; Lai & Lin 2006). Σε ότι αφορά το θερμιδικό τους φορτίο η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αποδώσει στις πολυόλες θερμιδική αξία 2,4 kcal/g. Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι δεν επιβαρύνουν την υγεία των δοντιών (Loesche, 1985). Άλλο χαρακτηριστικό ορισμένων πολυολών είναι η δροσερή αίσθηση, που οφείλεται στην ενέργεια που απαιτείται/απορροφάται για τη διαλυτοποίηση των πολυολών. Η δροσερή αίσθηση εξαρτάται από την απαιτούμενη ενέργεια και από την ταχύτητα της διάλυσης και δεν γίνεται αντιληπτή για θερμότητα διάλυσης (heat of solution) υψηλότερη από -20 cal/g (de Cock, 2012).

Πίνακας 2.1 Ιδιότητες των πολυολών σε σύγκριση με τη σακχαρόζη

	Γλυκύτητα (Σακχαρόζη=1)	Μοριακό βάρος	Θερμότητα διάλυσης (cal/g)	Διαλυτότητα % (H ₂ O- 25°C)
Σακχαρόζη	1.0	342	-4.3	67
Μαλιτιτόλη	0.9	344	-5.5	60
Λακτιτόλη	0.4	344	-14	57
Ξυλιτόλη	1.0	152	-36.6	64
Μαννιτόλη	0.6	182	-28.9	20
Σορβιτόλη	0.6	182	-26.5	70
Εριθριτόλη	0.6-0.7	122	-43	37

Οι παρενέργειες των πολυολών εντοπίζονται σε εντερικές διαταραχές και πιθανές ανεπιθύμητες δράσεις στην περίπτωση της κατανάλωσης μεγάλης ποσότητας. Ο Codex Alimentarius απαιτεί να αναγράφεται στην ετικέτα προϊόντων που παρέχουν ημερήσια πρόσληψη πολυολών μεγαλύτερη των 20 g ότι μπορεί να έχουν υπακτική δράση. Στην

Ε.Ε. η αναγραφή είναι υποχρεωτική, όταν η πολυόλη αποτελεί το 10% του τροφίμου. Με συνεχή έκθεση ωστόσο αναπτύσσεται η ανοχή (Foerster, 1978; Mäkinen & Scheinin, 1975).

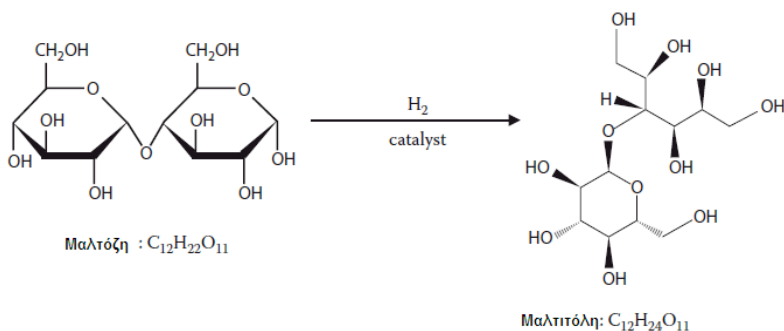
2.2.1 Μαλιτόλη

Η μαλιτόλη παρασκευάζεται με καταλυτική υδρογόνωση υπό υψηλή θερμοκρασία και πίεση της μαλτόζης (ή του σιροπιού μαλτόζης) που προκύπτει από υδρόλυση του αμύλου (Lai & Lin, 2006), και η δομή της δίνεται στο σχήμα 2.1. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της μαλιτόλης (στην κρυσταλλική μορφή της) είναι παρόμοια με εκείνα της ζάχαρης. Έχει το 90% της γλυκύτητας της ζάχαρης οπότε και δεν απαιτείται στις περισσότερες εφαρμογές συνδυασμός της με ισχυρά γλυκαντικά. Το γεγονός ότι η μαλιτόλη είναι υδρογονωμένος δισακχαρίτης, με μοριακό βάρος παρόμοιο με εκείνο της σακχαρόζης (Πίνακας 2.1) την καθιστά πλησιέστερη στη σακχαρόζη σε σύγκριση με τις άλλες πολυόλες. Είναι λιγότερο υγροσκοπική από άλλες πολυόλες (δεν απορροφά υγρασία παραμόνον όταν η ατμοσφαιρική υγρασία υπερβεί το 80%) γεγονός που διευκολύνει την αποθήκευση και το χειρισμό της αλλά και τη λειτουργικότητά της ως μέσο επικάλυψης (coating) (συμβάλλει στη διατήρηση της υφής και της εμφάνισης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με τις άλλες πολυόλες) (Kearsley & Boghani, 2012; Kearsley & Deis 2006a).

Στα πλεονεκτήματά της επίσης εντάσσεται η σταθερότητά της σε υψηλή θερμοκρασία και ότι δεν επιβαρύνει την υγεία των δοντιών.

Η μαλιτόλη μεταβολίζεται αργά στο λεπτό έντερο και ακολουθεί απορρόφηση της γλυκόζης και της σορβιτόλης που παράγονται. Το μέρος της μαλιτόλης που δεν αποικοδομείται, υφίσταται ζύμωση από τα βακτήρια του κατώτερου γαστρεντερικού συστήματος, και σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε εντερικές διαταραχές (Grabitske & Slavin, 2009). Αλλά και κατά την αποικοδόμησή της μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή ποσότητας σορβιτόλης ικανής να προκαλέσει ανάλογα συμπτώματα (Livesey, 2001). Σε ότι αφορά την ανοχή από τον οργανισμό, ποσότητα 30 g μπορεί να καταναλωθεί σε μία δόση ενώ ποσότητα έως 50 g καταμερισμένη στη διάρκεια της ημέρας είναι ανεκτή. Φυσικά στην ανοχή

σημαντική επίδραση εκτός από την ποσότητα παίζει η ηλικία, το φύλο, το σωματικό βάρος και η γενικότερη κατάσταση της υγείας. Γενικότερα, οι πολυόλες που προκύπτουν από υδρογόνωση δισακχαριτών μπορούν να γίνουν ανεκτές σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις πολυόλες μονοσακχαριτών καθώς εμφανίζουν χαμηλότερη ωσμωτική δράση στο έντερο (Sicard & Le Bot, 1988; Livesey, 2001).



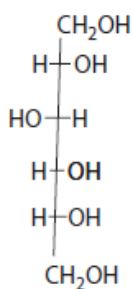
Σχήμα 2.1 Υδρογόνωση της μαλτόζης προς μαλτιτόλη

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην υποκατάσταση της ζάχαρης στη σοκολάτα, στις τσίγλες, ως μέσο επικάλυψης, σε γαλακτοκομικά προϊόντα (και ιδιαίτερα στο παγωτό όπου, λόγω του ότι έχει παρόμοιο μοριακό βάρος με τη ζάχαρη, παρέχει την ίδια ταπείνωση του σημείου πήξης και συνεπώς την ίδια υφή) (Sicard & Le Bot, 1994; Zumbe et al., 2001).

2.2.2 Σορβιτόλη

Η σορβιτόλη είναι ένας υδρογωνομένος μονοσακχαρίτης και η δομή της δίνεται στο σχήμα 2.2. Παρασκευάζεται με καταλυτική υδρογόνωση της γλυκόζης από σιρόπια γλυκόζης, αμύλου και από ιμβερτοσάκχαρο. Στην κρυσταλλική της μορφή εμφανίζει πολυμορφικότητα με τη γ μορφή να είναι πιο σταθερή με το υψηλότερο σημείο τήξης ($99-101^\circ\text{C}$), η οποία και αποτελεί την πιο διαθέσιμη εμπορικά. Η σταθερότερη κρυσταλλική μορφή διασφαλίζει ότι δεν θα μεταβληθεί κατά την επεξεργασία (η πιο ασταθής μορφή θα μετατραπεί στη σταθερότερη μορφή πολυμορφισμού) και κατά συνέπεια δεν θα επηρεάσει το τελικό προϊόν. Η σορβιτόλη έχει 60% της γλυκύτητας της σακχαρόζης και πολύ ενδόθερμη διάλυση με αποτέλεσμα τη δροσερή αίσθηση. Η εξισσορόπηση της γλυκύτητας κατά την

υποκατάσταση της σακχαρόζης μπορεί να επιτευχθεί με ισχυρά γλυκαντικά. Η σορβιτόλη είναι περισσότερο υγροσκοπική από τις άλλες πολυόλες, ιδιότητα που επηρεάζει και τις εφαρμογές της (Kearsley & Deis, 2006a). Έχει ωστόσο την ικανότητα να προσλαμβάνει ή να αποβάλλει υγρασία με αργό ρυθμό (Jamieson, 2012; Kearsley & Deis, 2006b). Κατά το μεταβολισμό της απορροφάται με αργό ρυθμό από το γαστρεντερικό σύστημα και μεταβολίζεται από το ήπαρ ως φρουκτόζη.



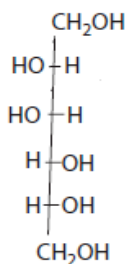
Σχήμα 2.2 Δομή της σορβιτόλης

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο πάχυνσης και γλυκαντικό σε τσίχλες, καραμέλες, προϊόντα αρτοποιίας και ζαχαροπλαστικής. Ειδικότερα στις τσίχλες και τα ζαχαρωτά η δροσερή αίσθηση εμφανίζει συνέργεια με αρωματικές ουσίες. Στα προϊόντα αρτοποιίας συμβάλλει στη διατήρηση της ποιότητάς τους, λόγω της ικανότητάς της να ρυθμίζει την περιεχόμενη υγρασία. Ωστόσο η υψηλή υγροσκοπικότητα της σορβιτόλης δρα περιοριστικά κατά την εφαρμογή της σε φαρμακευτικά προϊόντα, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση συστατικών ευαίσθητων στη υγρασία. Σε οδοντόκρεμες η διατήρηση της υγρασίας αλλά και η δροσερή αίσθηση την καθιστούν κατάλληλη ως γλυκαντικό και ως μέσο πάχυνσης (Jamieson, 2012).

2.2.3 Μαννιτόλη

Η μαννιτόλη (Σχήμα 2.3) είναι ισομερές της σορβιτόλης (η διαφοροποίηση εντοπίζεται στον προσανατολισμό της υδροξυλομάδας του δεύτερου ατόμου άνθρακα). Μπορεί να παραληφθεί με ζύμωση ή εκχύλιση από συγκεκριμένους τύπους φυκιών. Συνήθως παρασκευάζεται με υδρογόνωση φρουκτόζης από σιρόπια αμύλου ή ζάχαρης, οπότε και παραλαμβάνονται

σορβιτόλη και μαννιτόλη. Η μαννιτόλη διαχωρίζεται από τη σορβιτόλη βάσει της μικρότερης διαλυτότητάς της με κρυστάλλωση του διαλύματος. Οι κρύσταλλοι της μαννιτόλης στη συνέχεια φιλτράρονται, ξηραίνονται και διατίθενται ως λευκή σκόνη. Όμοια με τη σορβιτόλη, εμφανίζει πολυμορφικότητα με πιο σταθερή μορφή τη β. Η μαννιτόλη είναι η λιγότερο υγροσκοπική από τις πολυόλες και έχει 60% της γλυκύτητας της σακχαρόζης (Jamieson, 2012; Kearsley & Deis, 2006b).



Σχήμα 2.3 Δομή της μαννιτόλης

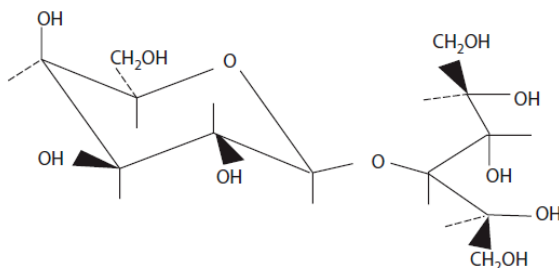
Μεταβολίζεται όμοια με τη σορβιτόλη και όταν φτάνει σε υψηλές συγκεντρώσεις στο κατώτερο τμήμα της γαστρεντερικής οδού, μπορεί να προκαλέσει υπακτική δράση. Η μαννιτόλη εμφανίζει χαμηλότερο επίπεδο ανοχής (20 g/day) από τη σορβιτόλη (50 g/day).

Η μαννιτόλη έχει περιρισμένες χρήσεις λόγω της υπακτικής δράσης της. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σταθεροποιητής π.χ. σοκολάτα επικάλυψης χωρίς ζάχαρη, τσίγλες, ή σε φαρμακευτικά προϊόντα λόγω του μη υγροσκοπικού χαρακτήρα της, ενώ η μέτρια γλυκύτητά της σε συνδυασμό με τη δροσερή αίσθηση μπορεί να βελτιώσει τα γευστικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (π.χ. κάλυψη της πικρής γεύσης φαρμακευτικών ουσιών) (Jamieson, 2012).

2.2.4 Λακτιτόλη

Η λακτιτόλη (Σχήμα 2.4) παρασκευάζεται με υδρογόνωση διαλύματος 30-40% λακτόζης στους 100 °C με καταλύτη νικελίου. Η αντίδραση λαμβάνει χώρα υπό πίεση 40 bar (ή και μεγαλύτερη) και μετά την καθίζηση του καταλύτη ακολουθεί φιλτράρισμα και καθαρισμός του διαλύματος της λακτιτόλης, και κρυστάλλωσή του. Ανάλογα με τις συνθήκες

κρυστάλλωσης λαμβάνεται η άνυδρη ή οι ένυδρες (μονο- και δι-) μορφές της λακτιτόλης (Wijnman et al., 1983).



Σχήμα 2.4 Δομή της λακτιτόλης

Είναι λευκή κρυσταλλική σκόνη και έχει 40% της γλυκύτητας της σακχαρόζης, χωρίς να εμφανίζει μετάγευση. Η χαμηλή γλυκύτητά της μπορεί να εξισορροπηθεί με ισχυρά γλυκαντικά. Η επίδραση της λακτιτόλης στην ενεργότητα νερού και στην ταπείνωση του σημείου πήξης είναι παρόμοια με εκείνη της σακχαρόζης λόγω του παρόμοιου μοριακού βάρους. Η διαλυτότητα της λακτιτόλης σε χαμηλές θερμοκρασίες (< 40 °C) είναι χαμηλότερη από εκείνη της σακχαρόζης, ικανή ωστόσο να μην προκαλέσει προβλήματα στις διεργασίες (π.χ. στην παρασκευή ζαχαρωτών η επιπλέον ποσότητα νερού που θα προστεθεί λόγω της χαμηλότερης διαλυτότητας θα πρέπει να απομακρυνθεί (εξατμιστεί)). Η λακτιτόλη έχει δροσερή αίσθηση ελαφρώς πιο ισχυρή από τη σακχαρόζη αλλά σημαντικά ασθενέστερη από τη σορβιτόλη ή τη ξυλιτόλη, ιδιότητα που την καθιστά καταλληλότερη για προϊόντα όπως η σοκολάτα που η δροσερή αίσθηση δεν είναι επιθυμητή.

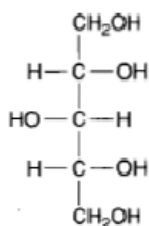
Σημαντική είναι και η πρεβιοτική δράση της. Η λακτιτόλη δεν υδρολύεται ούτε απορροφάται στο λεπτό έντερο. Μεταβολίζεται στο παχύ έντερο προς λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (καθώς και γαλακτικό οξύ, CO₂ και μικρότερη ποσότητα H₂), και διεγείρει την παραγωγή ωφέλιμων βακτηρίων (*Bifidobacteria*, *Lactobacillus* spp), ενώ παρεμποδίζει την παραγωγή των προτεολυτικών βακτηρίων (όπως *Enterobacteria*, *Enterococci*) (Drakoularakou et al., 2007; Finney et al., 2007).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο πάχυνσης για την παρασκευή προϊόντων (αρτοποιίας, γαλακτομικών) μειωμένου θερμιδικού φορτίου. Αν χρησιμοποιηθεί για την υποκατάσταση της ζάχαρης είναι απαραίτητο να συνδυαστεί με ισχυρά γλυκαντικά, λόγω της χαμηλής γλυκύτητας της.

Επιπλέον η επίδραση της στην ταπείνωση του σημείου πήξης την καθιστά κατάλληλη για την υποκατάσταση της σακχαρόζης στο παγωτό. Η μη τερηδογόνος δράση της την καθιστά κατάλληλη για τις τσίγλες, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γλυκαντικό στο κόμμι βάσης ή στο στρώμα επικάλυψης και υπερτερεί λόγω της μεγαλύτερης διαλυτότητάς της έναντι της μαννιτόλης ως προς τη βελτίωση της αίσθησης στο στόμα (αποφυγή αμμώδους αίσθησης). Σε φαρμακευτικές εφαρμογές η χαμηλή υγροσκοπικότητά της παρατείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος και προστατεύει τα συστατικά από την υγρασία. Επι πλέον, πλεονεκτεί έναντι της σορβιτόλης λόγω της χαμηλότερης υγροσκοπικότητας και έναντι της μαννιτόλης λόγω της μεγαλύτερης διαλυτότητάς της (Zacharis & Srowell, 2012; Young 2006).

2.2.5 Ξυλιτόλη

Η ξυλιτόλη (σχήμα 2.5) βρίσκεται σε μικρές ποσότητες σε διάφορα φρούτα και λαχανικά (Mäkinen and Söderling 1980) και παρασκευάζεται με καταλυτική υδρογόνωση της ξυλόζης. Η ξυλόζη προκύπτει με υδρόλυση της ξυλάνης (Carson et al. 1943, Jaffe 1978; Aminoff et al. 1978), πηγές της οποίας είναι το ξύλο (σημύδας), κελύφη αμυγδάλου, άχυρο, καρποί αραβόσιτου και παραπροϊόντα της χαρτοβιομηχανίας και η καταλληλότητα των πηγών αυτών εξαρτάται από την περιεκτικότητά τους σε ξυλάνη και την παρουσία παραπροϊόντων (π.χ. πολυ- ή ολιγοσακχαριτών).



Σχήμα 2.5 Δομή της ξυλιτόλης

Είναι η πιο γλυκιά από τις πολυόλες (Lee 1977) με γλυκύτητα παρόμοια με εκείνη της σακχαρόζης (Munton & Birch 1985) και εμφανίζει συνέργεια όταν συνδυαστεί με άλλες πολυόλες, π.χ. σορβιτόλη. Η δροσερή αίσθηση είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη της σακχαρόζης και

γίνεται περισσότερο αισθητή σε προϊόντα όπως τσίχλες, καραμέλες, αλλά δεν γίνεται αντιληπτή σε προϊόντα στα οποία η ξυλιτόλη είναι ήδη διαλυμένη (π.χ. οδοντόκρεμα). Η υψηλή διαλυτότητά της (σε θερμοκρασία σώματος η διαλυτότητα της είναι 2% υψηλότερη από εκείνη της σακχαρόζης) επηρεάζει την αίσθηση στο στόμα και την υφή του τελικού προϊόντος, καθώς και το άρωμα και την αντίληψη της γλυκύτητας, αλλά και την απελευθέρωση και βιοδιαθεσιμότητα των ενεργών συστατικών στα φαρμακευτικά προϊόντα (Zacharis & Stwell, 2012). Παρέχει μικρότερη ενεργότητα νερού από τη σακχαρόζη, λόγω του μικρότερου μοριακού βάρους (Bond & Dunning, 2006). Επιπλέον δεν εμφανίζει τερηδογόνο δράση ενώ συμβάλλει στη μείωση εμφάνισης τερηδόνας (Mäkinen et al., 1995, 1996), και οδοντικής πλάκας (Splieth et al., 2009).

Η ξυλιτόλη (όπως όλες οι πολυόλες) απορροφάται αργά από το πεπτικό σύστημα. Όταν καταναλωθεί μεγάλη ποσότητα, μόνο ένα μέρος αυτής θα μεταβολιστεί από το ήπαρ και το υπόλοιπο υφίσταται ζύμωση στο έντερο προς την παραγωγή κυρίως λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας και μικρής ποσότητας αερίων (Salyers & Leedle, 1983; Cummings, 1981). Η ξυλιτόλη είναι ανεκτή ακόμη και σε υψηλές ποσότητες (50-70 g/day) (Bond & Dunning, 2006; Zacharis & Stwell, 2012).

Η ξυλιτόλη χρησιμοποιείται ως γλυκαντικό σε τσίχλες και καραμέλες, στις οποίες η υψηλή διαλυτότητά της οδηγεί σε ταχεία εκδήλωση της γλυκύτητας και του αρώματος του προϊόντος, και παράλληλα τα αρωματικά συστατικά ενισχύονται από την έντονα δροσερή αίσθηση που αποδίδει. Χρησιμοποιείται σε μικρή ποσότητα σε αναψυκτικά για τη βελτίωση της αίσθησης στο στόμα και της γλυκύτητας. Η έντονη αίσθηση του δρόσου περιορίζει τη χρήση της σε προϊόντα όπως η σοκολάτα (Olinger, 1994). Στα προϊόντα αρτοποιίας πέρα από τη μη συμμετοχή της ξυλιτόλης στην ανάπτυξη του χρώματος ένας παράγοντας που πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψιν είναι ότι ο παρεμποδιστικός ρόλος της ξυλιτόλης στην ανάπτυξη και ζύμωση της μαγιάς (Askar et al., 1987; Vago et al., 1979). Ωστόσο η υψηλή γλυκύτητά της και η συμβολή της στη διατήρηση της υγρασίας του προϊόντος την καθιστούν κατάλληλο υποκατάστατο της ζάχαρης. Στις φαρμακευτικές εφαρμογές (σιρόπια, δισκία) η εφαρμογή της ξυλιτόλης έγκειται στην καταλληλότητά της για τους διαβητικούς, στη χημική αδράνειά της (δηλαδή δεν αντιδρά με τα

άλλα έκδοχα ή δραστικά συστατικά), στη συμβολή της στα γευστικά χαρακτηριστικά και στην απελευθέρωση των δραστικών συστατικών. Στην οδοντόκρεμα η ξυλιτόλη μπορεί να υποκαταστήσει μέρος ή ολικά τη σορβιτόλη ως υγροσκοπικό μέσο και λόγω της υψηλότερης γλυκύτητας αλλά και λόγω της σημαντικής συμβολής της στη στοματική υγεία (Pepper & Olinger, 1988).

2.2.6 Εριθριτόλη

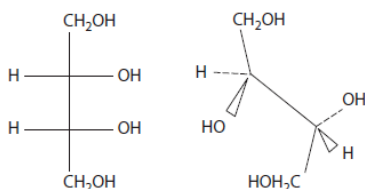
Η εριθριτόλη (Σχήμα 2.6) είναι φυσική ουσία και βρίσκεται σε τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση (πχ. κρασί) (Sponholz & Dittrich, 1985; Shindou et al., 1988), σε φύκια και μανιτάρια (Yoshida et al., 1984), ενώ έχει ανιχνευθεί και σε ιστούς του ανθρώπου και των ζώων (Goossens & Röper, 1994; Noda et al., 1994; Oku & Noda, 1990). Παράγεται κυρίως με ζύμωση (Goossens & Röper, 1994). Ως πρώτη ύλη για την παρασκευή της χρησιμοποιείται συνήθως άμυλο σίτου ή καλαμποκιού, με υδρόλυση του οποίου παραλαμβάνεται γλυκόζη και ακολουθεί η ζύμωσή της με την επίδραση κατάλληλων μικροοργανισμών προς εριθριτόλη (de Cock, 2012).

Η εριθριτόλη έχει 60%-80% τη γλυκύτητα της σακχαρόζης (Goossens & Röper, 1994), δεν παρουσιάζει μετάγευση, και δεν αποδίδει θερμίδες.

Απορροφάται εύκολα από το λεπτό έντερο (σε ποσοστό πάνω από 90% (Bornet et al., 1996a, 1996b; Ishikawa et al., 1996; Munro et al., 1998)), και σε αντίθεση με τη γλυκόζη και τη σακχαρόζη δεν μεταβολίζεται και εκκρίνεται αμετάβλητη από τον οργανισμό (Munro et al., 1998; Oku & Noda, 1990; Til et al., 1996). Το μέρος της εριθριτόλης που απορροφάται στο παχύ έντερο δεν φαίνεται να υφίσταται ζύμωση με αποτέλεσμα το θερμιδικό φορτίο της να είναι μηδέν (Arrigoni et al., 2005; Hiele et al., 1993). Έτσι δεν αυξάνει τα επίπεδα ινσουλίνης και γλυκόζης του αίματος (Noda et al., 1994) και η κατανάλωση έως 40 g ή 80 g αν καταναλωθεί σε μία ή σε περισσότερες δόσεις μέσα στην ημέρα αντίστοιχα είναι ανεκτή από τον ανθρώπινο οργανισμό (Tetzloff et al., 1996).

Λόγω της υψηλής αίσθησης δρόσου (Πίνακας 2.1), μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φαρμακευτικά προϊόντα και σε τρόφιμα που περιέχουν αρωματικά π.χ. μέντα. Η πολύ χαμηλή υγροσκοπικότητά της συμβάλλει στη μικροβιολογική σταθερότητα των προϊόντων στα οποία

χρησιμοποιείται είτε ως συστατικό είτε ως μέσο επικάλυψης ενώ περιορίζοντας την απορρόφηση υγρασίας από το περιβάλλον αποτρέπει και την υποβάθμιση των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών (π.χ. υφή). Χρησιμοποιείται σε ποτά χαμηλών θερμίδων και σε επιτραπέζια γλυκαντικά σε συνδυασμό με ισχυρά γλυκαντικά των οποίων καλύπτει τη δυσάρεστη μετάγευση. Επίσης συμβάλλει στη μείωση του θερμιδικού φορτίου των γαλακτομικών (πχ. γιαούρτι) και επιπλέον στα παγωτά βελτιώνει την υφή λόγω της ταπείνωσης του σημείου πήξεως. Στις τσίχλες πέρα από την δροσερή αίσθηση, παρέχει γλυκύτητα που διαρκεί περισσότερο λόγω της μικρής διαλυτότητάς της. Στην παρασκευή σοκολάτας μειωμένων θερμίδων ο συνδυασμός της με ουσίες όπως η ινουλίνη (με θετική θερμότητα διαλυτοποίησης) εξουδετερώνει την αίσθηση του δρόσου (Vercauteren, 2008), όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση της ξυλιτόλης. Βρίσκει εφαρμογή σε φαρμακευτικά προϊόντα καθώς το γεγονός ότι δεν μεταβολίζεται την καθιστά κατάλληλη για τη βελτίωση της γεύσης (de Cock, 2012; Perko & De Cock, 2006).



Σχήμα 2.6 Μοριακή δομή και χημικός τύπος εριθριτόλης

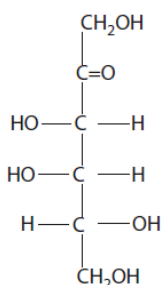
2.2.7 Ισομαλτόζη

Η ισομαλτόζη είναι μίγμα των ισομερών α-D-γλυκοπυρανοζυλο-1,6-σορβιτόλη και α-D- γλυκοπυρανοζυλο-1,1-μαννιτόλη, τα οποία μπορεί να βρίσκονται σε αναλογία 1:1 (isomalt ST) ή 3:1 (Isomalt GS) (Frye & Setser, 1992; Ronda et al., 2005). Παράγεται με υδρογόνωση της ισομαλτουλόζης, η οποία έχει παραληφθεί με ενζυμική επεξεργασία της σακχαρόζης, και έχει 0.45-0.6 της γλυκύτητας της σακχαρόζης (Sentko & Bernard, 2012). Δεν παρουσιάζει μετάγευση και δροσερή αίσθηση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ζαχαρωτά, τσίχλες, στη σοκολάτα, σε μαρμελάδες, ως μέσο επικάλυψης. Επίσης σε φαρμακευτικά προϊόντα και σε τρόφιμα

που περιέχουν π.χ. μέντα (Sentko & Bernard, 2012). Η χαμηλή υγροσκοπικότητά της συμβάλλει στη διατηρησιμότητα των προϊόντων στα οποία χρησιμοποιείται. Η υποκατάσταση της ζάχαρης από ισομαλτόζη σε cookies παρέχει προϊόν μεγαλύτερης τραγανότητας (Bollinger & Steinhage, 1989).

2.3 D-Ταγκατόζη

Η D-ταγκατόζη είναι αναγωγικός μονοσακχαρίτης (με δομή παρόμοια με εκείνη της φρουκτόζης) που απατάνται σε προϊόντα γάλακτος. Έχει 92% της γλυκύτητας της ζάχαρης αλλά χαμηλότερο θερμιδικό φορτίο (1.5 kcal/g) και εμφανίζει συνέργεια με άλλα γλυκαντικά (ασπαρτάμη, ακετοσουλφαμικό κάλιο), μειώνει την πικρή μετάγευση, ενώ ενισχύει και το άρωμα. Είναι λευκή κρυσταλλική σκόνη, μη υγροσκοπική (εμφανίζει μικρότερη ενεργότητα νερού από τη σακχαρόζη σε ισοδύναμες συγκεντρώσεις) και παρουσιάζει παρόμοιες ιδιότητες πάχυνσης με εκείνες της σακχαρόζης (Nir, 2006). Η καταλληλότητά της για την υποκατάσταση της σακχαρόζης ενισχύεται και από την παραπλήσια διαλυτότητά της στο νερό. Λόγω του αναγωγικού χαρακτήρα της λαμβάνει μέρος σε αντιδράσεις Maillard (Vastenavond et al., 2012).



Σχήμα 2.7 Δομή της ταγκατόζης

Παρασκευάζεται με υδρόλυση της λακτόζης προς γαλακτόζη και γλυκόζη. Ακολουθεί διαχωρισμός της γαλακτόζης από τη γλυκόζη, και με ισομερείωση της γαλακτόζης παραλαμβάνεται η D-ταγκατόζη (Vastenavond et al., 2012; Skytte, 2006).

Η D-ταγκατόζη σε ποσοστό 20% απορροφάται στο λεπτό έντερο και στη συνέχεια μεταβολίζεται από το συκώτι όπως και η φρουκτόζη, ενώ

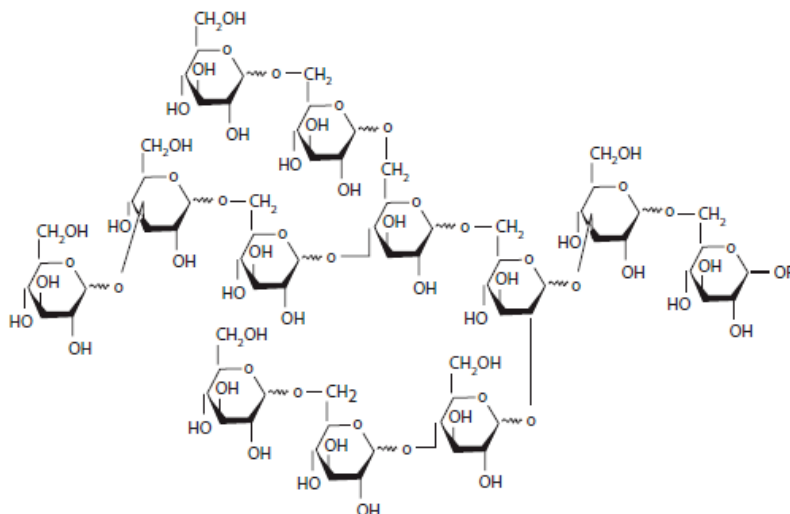
το μεγαλύτερο μέρος της που δεν απορροφάται υφίσταται ζύμωση από τη μικροχλωρίδα του παχέος εντέρου προς την παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας (Vastenavond et al., 2012). Μπορεί να θεωρηθεί πρεβιοτικό καθώς ενισχύει την παραγωγή ωφέλιμων βακτηρίων (Bertelsen et al., 1999; Farnworth 2001). Στη μειωμένη απορρόφησή της και στην ειδική ζύμωση οφείλεται το μικρό θερμιδικό φορτίο της, ενώ δεν προκαλεί αύξηση των επιπέδων ινσουλίνης ή γλυκόζης του αίματος γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για διαβητικούς. Τέλος δεν επιβαρύνει την υγεία των δοντιών. Ως προς την ανοχή της εμφανίζει τις επιδράσεις (εντερικές διαταραχές, τυμπανισμό, υπακτική δράση) που έχουν και τα άλλα σάκχαρα που δεν υφίστανται πέψη. Κατανάλωση 20 g/day ή βαθμιαία κατανάλωση 30 g είναι καλά ανεκτή (Donner et al., 1999).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποκατάσταση της ζάχαρης σε σοκολάτα, σε τσίγλες και καραμέλες (εφόσον έχει μη τερηδογόνο χαρακτήρα), σε παγωτά, σε αναψυκτικά όπου ο συνδυασμός της με άλλα ισχυρά γλυκαντικά βελτιώνει το άρωμα και ιδιαίτερα με την ασπαρτάμη και το ακετοσουλφαμικό κάλιο σταθεροποιείται η γλυκύτητα. Στα περισσότερα από τα παραπάνω προϊόντα (σοκολάτα, τσίγλα, ποτά) συμβάλλει στην ενίσχυση ή βελτίωση του αρώματος, ωστόσο ανάλογη δράση ως βελτιωτικό αρώματος δεν εμφανίζει σε προϊόντα αρτοποιίας (κέικ, cookies) όπως αναπτύσσεται παρακάτω.

2.4 Πολυδεξτρόζη

Η πολυδεξτρόζη στοχεύει στην υποκατάσταση της ικανότητας πάχυνσης της ζάχαρης, όταν η γλυκύτητά της δεύτερης υποκαθίσταται από ισχυρά γλυκαντικά. Οι ωφέλιμες για τον οργανισμό επιδράσεις της πέρα από το χαμηλό θερμιδικό της φορτίο (παρέχει 1 kcal/g) απεκονίζονται στο γεγονός ότι συγκαταλέγεται στις διαιτητικές ίνες (αναφέρεται στο Κεφάλαιο των διαιτητικών ινών), στην πρεβιοτική της δράση και στη συμβολή της στην υγεία των δοντιών (Stowell, 2009). Παράγεται με συμπύκνωση ενός τετηγμένου μίγματος γλυκόζης, σορβιτόλης και κιτρικού οξέος ή φωσφορικού οξέος σε αναλογία 89:10:0.1-1. Το τελικό προϊόν της αντίδρασης είναι ένα ελαφρώς όξινο υδατοδιαλυτό πολυμερές που περιέχει μικρή ποσότητα ελεύθερης σορβιτόλης και γλυκόζης και δεσμευμένου

κιτρικού ή φωσφορικού οξέος. Το Σχήμα 2.8 δείχνει τη θεωρητική χημική δομή της πολυδεξτρόζης και δείχνει τους τύπους των δεσμών που μπορούν να προκύψουν κατά τον πολυμερισμό.



Σχήμα 2.8 Δομή της πολυδεξτρόζης

Η ομάδα R μπορεί να είναι υδρογόνο, γλυκόζη ή συνέχεια του πολυμερούς της γλυκόζης. Το μόριο της πολυδεξτρόζης είναι πολύπλοκο με υψηλό βαθμό διακλάδωσης με διάφορους γλυκοζιτικούς δεσμούς, α και β 1-2, 1-3, 1-4 και 1-6, με τους α -1,6 να είναι οι κυρίαρχοι, και έχει μέσο βαθμό πολυμερισμού 12-15 και μέσο μοριακό βάρος 2000-2500. Στην πολυπλοκότητα και το μέγεθος του πολυμερούς οφείλεται η υδατοδιαλυτότητα αλλά και το χαμηλό θερμιδικό φορτίο της πολυδεξτρόζης, καθώς δεν αποικοδομείται από το πεπτικό σύστημα αλλά μεταβολίζεται στο εντερικό σύστημα. Υφίσταται σε μορφές που ποικίλουν από ουδέτερη σκόνη έως υγρό με ελαφρώς γλυκιά γεύση. Η πολυδεξτρόζη συμμετέχει σε αντιδράσεις Maillard, εκτός από τον τύπο της πολυδεξτρόζης με την εμπορική ονομασία Litesse Ultra. Πρόκειται για τη μορφή που προκύπτει με καταλυτική υδρογόνωση της πολυδεξτρόζης, δεν περιέχει αναγωγικές ομάδες και δεν συμμετέχει σε αντιδράσεις Maillard, παρέχει σταθερό, διαυγές, λευκό διάλυμα και είναι χωρίς ζάχαρη (Auerbach et al., 2012).

Η πολυδεξτρόζη είναι ανεκτή όταν καταναλώνεται στα πλαίσια κανονικής διαίτας. Όταν καταναλωθεί σε υπερβολικές ποσότητες μπορεί να

έχει ηπακτική δράση (Flood et al., 2004) (εντερικές διαταραχές έχουν παρατηρηθεί σε ποσότητες άνω των 90 g/day (Stowell, 2009)). Λόγω της υπακτικής δράσης της σε προϊόντα που περιέχεται σε ποσότητα άνω των 15 g ανά μερίδα απαιτείται να αναγράφεται στη συσκευασία ότι «η υπερβολική κατανάλωση του προϊόντος μπορεί να έχει υπακτική επίδραση σε ευαίσθητα άτομα» (Giesse, 1993; Nip, 2006).

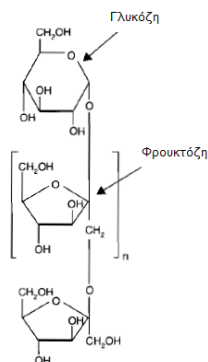
Η πολυδεξτρόζη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρασκευή προϊόντων μειωμένων θερμίδων καθώς μπορεί να υποκαταστήσει τις λειτουργικές ιδιότητες της σακχαρόζης και να λειτουργήσει ως μέσο πάχυνσης χωρίς την πρόσθηκη επιπλέον θερμίδων (φαίνεται να υπερτερεί έναντι άλλων μέσων πάχυνσης όπως μαλτοδεξτρίνες ή διαιτητικές ίνες λόγω του μικρότερου θερμιδικού της φορτίου), ως υγροσκοπικό μέσο για τη διατήρηση της υγρασίας, ως μέσο συμβολής στην υφή και κατ'επέκταση στην αίσθηση στο στόμα και την εμφάνιση, ως ίνα για τη αύξηση της περιεκτικότητας σε διαλυτές ίνες (Stowell, 2009). Η θετική ενέργεια διαλυτοποίησης (δεν απαιτείται ενέργεια) διευκολύνει την εφαρμογή της σε προϊόντα ζαχαροπλαστικής (Stowell, 2009). Όταν χρησιμοποιείται για την υποκατάσταση της ζάχαρης (π.χ. σε τσίχλες, καραμέλες, προϊόντα αρτοποιίας, ζαχαροπλαστικής, σάλτσες) απαιτείται ο συνδυασμός της με ισχυρά γλυκαντικά (Cridland, 1987; Lim et al., 1989). Κατά την εφαρμογή της σε κατεψυγμένα γαλακτομικά επιδόρπια πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μικρότερη επίδρασή της έναντι της σακχαρόζης στην ταπείνωση του σημείου πήξεως (Baer & Baldwin, 1984; Ribeiro, 2003).

2.5 Υδατανθρακικά πολυμερή

Η ολιγοφρουκτόζη αποτελείται από 2 έως 10 μονάδες φρουκτόζης που συνδέονται με β (2-1) δεσμούς και συχνά τερματίζεται με γλυκόζη (σχήμα 2.8). Λόγω των βραχείας αλυσίδας ολιγομερών της, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποκατάσταση της ζάχαρης (Coussement, 1999; Coussement & Franck, 2001). Είναι περισσότερο ευδιάλυτη από τη ζάχαρη και καθώς παρέχει το 30-50% της γλυκύτητας της, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ισχυρά γλυκαντικά ενώ καλύπτει και τη δυσάρεστη μετάγευση ορισμένων από αυτά (π.χ. ακετοσουλφαμικό κάλιο, ασπαρτάμη) (Wiedmann & Jager, 1997). Το θερμιδικό φορτίο της είναι 1-

1.5 kcal/g και οι φυσιολογικές επιδράσεις της ολιγοφρουκτόζης αναπτύσσονται εκτενώς στο κεφάλαιο των διαιτητικών ινών. Εκτός της γλυκύτητας, η ολιγοφρουκτόζη μειώνει το σημείο πήξης σε κατεψυγμένα προϊόντα, μειώνει τη συναίρεση στο γιαούρτι ενώ βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και άλλων γαλακτοκομικών προϊόντων (π.χ. παγωτό) (Niness, 1999). Ειδικότερα η υποκατάσταση της ζάχαρης σε παγωτό, σορμπέ και επιδόρπια γάλακτος από ολιγοφρουκτόζη δίνει προϊόντα με καλή υφή, γεύση και χαρακτηριστικά τήξης συγκρίσιμα με το προϊόν αναφοράς. Στα προϊόντα αρτοποιίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ισχυρά γλυκαντικά για να καλυφθεί η μικρότερη γλυκύτητά της και θα οδηγήσει σε ελαφρώς πιο σκούρο χρώμα κατά τον κλιβανισμό (Auerbach et al., 2006). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε μπάρες δημητριακών και στη σοκολάτα με στόχο τη μείωση των θερμίδων και την αύξηση των διαιτητικών ινών (Auerbach et al., 2006).

Η ινουλίνη αποτελεί επίσης μία φρουκτάνη που έχει μελετηθεί για τη λειτουργικότητά της ως μέσο πάχυνσης κατά την υποκατάσταση της σακχαρόζης (Zahn et al., 2013). Σε τρόφιμα όξινου χαρακτήρα με μακρά διάρκεια ζωής π.χ. αναψυκτικά, δεν συνηθίζεται η χρησιμοποίηση της ολιγοφρουκτόζης και της ινουλίνης λόγω της βαθμιαίας υδρόλυσής τους προς φρουκτόζη (Coussement, 1999).



Σχήμα 2.9 Ολιγοφρουκτόζη

Άλλοι ολιγοσακχαρίτες που έχουν προταθεί για την υποκατάσταση της σακχαρόζης περιλαμβάνουν ίνες (φρούτων, λαχανικών και σιτηρών) (Zahn et al., 2013) και μαλτοδεξτρίνη (παράγωγο του αμύλου που αναπτύσσεται

εκτενώς στο Κεφάλαιο για τα υποκατάστατα λιπαρού) (Savitha et al., 2008).

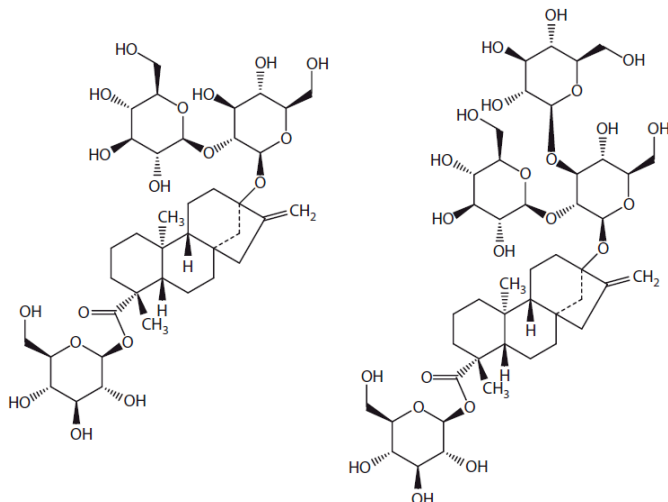
Επίσης έχουν μελετηθεί οι ισομαλτοολιγοσακχαρίτες. Οι ισομαλτοολιγοσακχαρίτες είναι μίγμα ολιγοσακχαριτών (στους οποίους συμπεριλαμβάνεται και η ισοματλόζη) με α -1,6 γλυκοζιτικούς δεσμούς και παράγονται από το άμυλο καλαμποκιού με ενζυμική κατεργασία (Kohmoto et al., 1992).

2.6 Ισχυρά γλυκαντικά χαμηλού θερμιδικού φορτίου

2.6.1 Γλυκοζίτες στεβιόλης

Το μηδενικών θερμίδων εκχύλισμα του φυτού στέβια έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας τροφίμων καθώς λόγω της φυσικής της πηγής είναι ελκυστική στους καταναλωτές. Έχουν απομονωθεί δέκα γλυκοζίτες με γλυκιά γεύση, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αριθμό και τον τύπο των προσαρτημένων σακχάρων αλλά κυρίως χρησιμοποιούνται η στεβιοσίδη (Stevioside) και η ρεμπαουδιοσίδη Α (Rebaudioside A) (Carakostas et al., 2012), που είναι 150-250 και 200-300 φορές γλυκύτερες από τη σακχαρόζη αντίστοιχα. Η δομή τους παρουσιάζεται στο σχήμα 2.10. Στην κρυσταλλική τους μορφή οι γλυκοζίτες έχουν υψηλά σημεία τήξης και μπορούν να υφίστανται σε διάφορες κρυσταλλικές μορφές πολυμορφισμού. Είναι σταθεροί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ελεγχόμενη υγρασία, ενώ η σταθερότητα μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Ωστόσο η γλυκύτητα δείχνει σταθερότητα σε υψηλής θερμοκρασίας - μικρής διάρκειας θερμική επεξεργασία σε προϊόντα όπως τσάι, χυμούς, γάλα,. Όπως και τα περισσότερα ισχυρά γλυκαντικά, εμφανίζουν καθαρή γλυκύτητα σε χαμηλές συγκεντρώσεις, ενώ σε υψηλά επίπεδα εμφανίζουν αρνητικές γευστικές ιδιότητες π.χ. πικρή μετάγευση, με τη στεβιοσίδη να παρουσιάζει περισσότερο πικρή μετάγευση από τη ρεμπαουδιοσίδη Α. Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να αντιμετωπιστούν με ανάμιξή τους με άλλα μη θερμιδογόνα γλυκαντικά, όπως η εριθριτόλη, ασπαρατόμη, ακετοσουλφαμικό κάλιο, κυκλαμικό, άλατα σακχαρίνης και σουκραλόζης (Prakash et al., 2007). Τα θερμιδικά γλυκαντικά που μπορούν να αναμιχθούν αποτελεσματικά με τη ρεμπαουδιοσίδη Α είναι οι

πολύλες (π.χ. σορβιτόλη, ξυλιτόλη) και υδατάνθρακες όπως γλυκερόλη, γλυκόζη, φρουκτόζη, σακχαρόζη και HFCS. Έτσι επιτυγχάνεται γλυκαντικό προφίλ παρόμοιο με εκείνο της ζάχαρης ενώ η πικρή μετάγευση δεν γίνεται αντιληπτή (Carakostas et al., 2012).

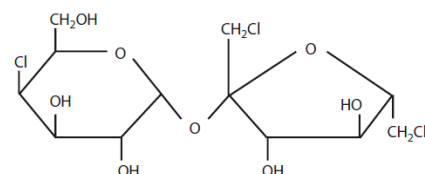


Σχήμα 2.10 Δομή των στεβιοσίδη και ρεμπαουδιοσίδη A

Οι γλυκοζίτες της στεβιόλης δεν υδρολύονται από ένζυμα ή οξέα του στόματος, του στομαχιού και του λεπτού εντέρου. Υδρολύονται από τα βακτήρια του παχέος εντέρου αν και ένα μέρος τους θα περάσει μερικώς ή εντελώς άθικτο από την εντερική οδό. Από το μεταβολισμό των γλυκοζιτών στεβιόλης απελευθερώνονται μονάδες γλυκόζης, οι οποίες πιθανόν να καταναλώνονται ως ενέργεια από τα βακτήρια του παχέος εντέρου και δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι η γλυκόζη απορροφάται. Ουσιαστικά δεν γίνεται απορρόφηση των γλυκοζιτών της στεβιόλης από το γαστρεντερικό σύστημα ενώ δεν υπάρχουν ενδείξεις για συσσώρευση της στεβιόλης στον οργανισμό από τη διαδοχική κατανάλωση γλυκοζιτών στεβιόλης (Roberts and Renwick 2008). Το 2011 οι γλυκοζίτες από στέβια συμπεριλήφθηκαν στα πρόσθετα τροφίμων και τους αποδόθηκε το E 960, και η αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη (ADI) ορίστηκε στα 4 mg/kg bw (JECFA (Joint FAO/WHO Expert Comitee on Food AAdditives) , 2008).

2.6.2 Σουκραλόζη

Η σουκραλόζη παρασκευάζεται με επιλεκτική χλωρίωση (δηλαδή επιλεκτική υποκατάσταση τριών υδροξυλομάδων από άτομα χλωρίου) της σακχαρόζης και έχει 600 φορές τη γλυκύτητα της σακχαρόζης (Lai & Lin, 2006) χωρίς να εμφανίζει δυσάρεστη μετάγευση (Nip, 2006). Παρουσιάζει παρόμοια έναρξη έντασης αλλά και διάρκεια γλυκύτητας με τη σακχαρόζη. Είναι λευκή, κρυσταλλική, μη υγροσκοπική σκόνη, χημικά αδρανής, ευδιάλυτη στο νερό, τη μεθανόλη και την αιθανόλη. Δεν παρέχει θερμίδες, καθώς οι γλυκοζιτικοί δεσμοί της είναι ανθεκτικοί στην όξινη και ενζυματική υδρόλυση, και δεν προκαλεί τερηδόνα (Grotz et al. 2012, Molinary & Quinlan 2006). Η αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη (ADI) έχει οριστεί στα 15 mg/kg/bw day (JECFA, 1990a).



Σχήμα 2.11 Δομή της σουκραλόζης

Η σταθερότητά της στη θερμική επεξεργασία (παστερίωση, αποστείρωση, κλιβανισμό) την καθιστούν κατάλληλη για γαλακτομικά και προϊόντα αρτοποιίας καθώς δε φαίνεται να υπάρχει αποικοδόμηση ή αντίδραση με τα άλλα συστατικά (Barndt & Jackson, 1990; Knight, 1994). Το μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής της αποτελούν τα ποτά, στα οποία δίνει μεγαλύτερη σταθερότητα διατηρώντας τη γλυκύτητα κατά την επεξεργασία και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος καλύτερα από το ακετοσουλφαμικό κάλιο και την ασπαρτάμη (Grotz et al., 2012; Molinary & Quinlan, 2006).

2.6.3 Ακετοσουλφαμικό κάλιο

Το ακετοσουλφαμικό κάλιο (Acesulfame K) είναι παράγωγο της μεθυλο-οξαθιαζινόνη και πιο συγκεκριμένα το άλας με κάλιο της ένωσης 6-μεθυλ-1,2,3-οξαθιαζιν-4(3H)ονη-2,2-διοξειδίο (Nip, 2006).

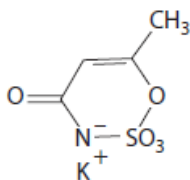
Παρουσιάζει περίπου 200 φορές τη γλυκύτητα της ζάχαρης (Lai & Lin, 2006), και η γλυκύτητά του εκδηλώνεται πιο γρήγορα από άλλα

ισχυρά γλυκαντικά (ασπαρτάμη, αλιτάμη). Πικρή μετάγευση μπορεί να ανιχνευθεί σε υδατικά διαλύματα με υψηλές συγκεντρώσεις ακετοσουλφαμικού K, η οποία αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης (Schiffman et al., 1995). Η σταθερότητά του στις θερμοκρασίες κλιβανισμού (Klug et al., 1992), καθώς και η ευδιαλυτότητά του στο νερό το καθιστούν κατάλληλο για την υποκατάσταση της σακχαρόζης (Klug & von Rymon Lipinski, 2012).

Εμφανίζει ισχυρή συνέργεια με την ασπαρτάμη, το κυκλαμικό νάτριο και τη σουκραλόζη, και σε μικρότερο βαθμό με την σακχαρίνη (Ayya & Lawless, 1992). Ειδικότερα με την ασπαρτάμη εμφανίζει συνέργεια 40-50%, ενώ η συνέργεια μίγματος ακετοσουλφαμικού καλίου, ασπαρτάμης και κυκλαμικού ανέρχεται στο 90% (Frank et al., 1989). Μάλιστα με συνδυασμό του ακετοσουλφαμικού καλίου με άλλα ισχυρά γλυκαντικά αμβλύνονται οι διαφοροποιήσεις των γλυκαντικών ως προς τη μετάγευση ενώ προσεγγίζεται περισσότερο η γεύση της σακχαρόζης σε σχέση με το κάθε γλυκαντικό ξεχωριστά (Schiffman et al., 2003). Ικανοποιητικά είναι και τα γευστικά αποτελέσματα, ως προς την προσέγγιση της σακχαρόζης, που παρουσιάζουν τα μίγματα του ακετοσουλφαμικού καλίου με μέσα πάχυνσης όπως οι πολυόλες καθώς και για το συνδυασμό με φρουκτόζη ή HFCS σε ποτά αλλά και με ινουλίνη ή ολιγοφρουκτόζη (Klug & von Rymon Lipinski, 2012; von Rymon Lipinski, 1985; Wiedmann & Jager, 1997).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρασκευή ποτών χαμηλών θερμίδων υποκαθιστώντας τη ζάχαρη, λόγω της διαλυτότητάς του αλλά και της σταθερότητας σε χαμηλό pH. Συνήθως συνδυάζεται με άλλα ισχυρά γλυκαντικά με τα οποία παρουσιάζει συνέργεια σε αναλογία που καθορίζεται ανάλογα με το επιδιωκόμενο γευστικό προφίλ (Saelzer, 2004; Meyer 2000, 2001). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μαρμελάδες, όπου και συνδυάζεται με μέσα πάχυνσης (π.χ. πολυόλες, πολυδεξτρόζη), σε τσίχλες, σε προϊόντα αρτοποιίας. Ειδικότερα στα προϊόντα αρτοποιίας το ακετοσουλφαμικό κάλιο συνδυάζεται με μέσα πάχυνσης όπως οι πολυόλες συμβάλλοντας στην παρασκευή προϊόντων μειωμένων θερμίδων (Klug & von Rymon Lipinski, 2012). Σταθερότητα δείχνει και κατά την προσθήκη του σε γαλακτομικά προϊόντα που υφίστανται παστερίωση ή ζύμωση (Lotz et al., 1992). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε σάλτσες, επιτραπέζια

γλυκαντικά, αλλά και σε φαρμακευτικές εφαρμογές (οδοντόκρεμα, στοματικά διαλύματα).

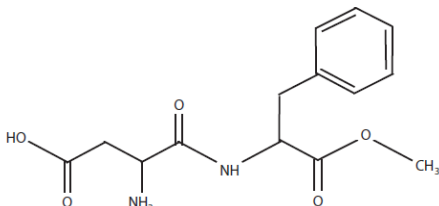


Σχήμα 2.12 Ακετοσουλφαμικό κάλλιο (Acesulfame K)

Είναι μη θερμιδογόνο (δεν μεταβολίζεται) και δεν επηρεάζει τα επίπεδα ινσουλίνης και γλυκόζης του αίματος. Η αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη (ADI) έχει οριστεί στα 0-9 mg/kg σωματικού βάρους (JECFA, 1990b).

2.6.4 Ασπαρτάμη

Η ασπαρτάμη συνδυάζει τα αμινοξέα L-ασπαραγινικό οξύ και μεθυλεστέρα της L-φαινυλαλανίνης, και η χημική δομή της απεικονίζεται στο σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13 Δομή της Ασπαρτάμης

Είναι 160-220 φορές γλυκύτερη από τη σακχαρόζη, χωρίς να εμφανίζει πικρή μετάγευση, ενώ μπορεί να καλύψει την πικρή ή μεταλλική μετάγευση άλλων γλυκαντικών όταν συνδυαστεί με αυτά (Abegaz et al. 2012). Αποδίδει 4 kcal/g (Lai & Lin 2006, Nip 2006) και η ένταση της γλυκύτητας εξαρτάται από το σύστημα στο οποίο εφαρμόζεται, το pH και την ποσότητα στην οποία προστίθεται (Beck, 1978; Homler et al., 1991). Κατά το μεταβολισμό της αποικοδομείται στα δύο αμινοξέα από τα οποία αποτελείται (Nip, 2006) και για το λόγο αυτό απαιτείται από τη νομοθεσία (EU Regulation No 1169/2011) να αναγράφεται στη συσκευασία των προϊόντων που περιέχουν ασπαρτάμη η ένδειξη «περιέχει πηγή

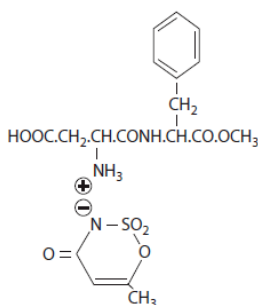
φαινυλαλανίνης». Είναι ελάχιστα διαλυτή στο νερό, με τη διαλυτότητα να εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το pH, και δεν είναι διαλυτή σε λίπη και έλαια (Abegaz et al., 2012). Η σταθερότητά της εξαρτάται από την υγρασία, τη θερμοκρασία και το pH. Ειδικότερα στα υγρά και ανάλογα με τις συνθήκες (pH, θερμοκρασία) λαμβάνει χώρα η υδρόλυση του εστερικού δεσμού προς τη διπεπτιδική ασπαρτυλοφαινυλαλανίνη και μεθανόλη. Εναλλακτικά μπορεί να λάβει χώρα ο σχηματισμός των δύο αμινοξέων ή δικετοπιπεραζίνης (Mazur et al., 1969; Mazur, 1974). Ωστόσο εμφανίζει μεγάλη σταθερότητα σε ξηρά προϊόντα εφόσον δεν υποβάλλονται σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες (Beck, 1978).

Η απώλεια της σταθερότητάς της υπό ορισμένες συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας περιορίζει τις χρήσεις της ασπαρτάμης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προϊόντα όπως γαλακτομικά, ζαχαρωτά και αναψυκτικά όπου απαιτείται η επεξεργασία υπό υψηλή θερμοκρασία για περιορισμένο χρόνο. Επίσης χρησιμοποιείται σε ξηρά προϊόντα (όπως επιτραπέζια γλυκαντικά, ξηρά μίγματα (dessert mixes) λόγω της σταθερότητάς της καθώς και αναψυκτικά, ποτά, προϊόντα ζαχαροπλαστικής. Κατά τον κλιβανισμό αποικοδομείται (Ripper et al., 1986), ωστόσο με εγκλεισμό μπορεί να επιτευχθεί η σταθερότητά της στη θερμοκρασία. Ειδικότερα έχει μελετηθεί σε κέικ η αποτελεσματικότητα του εγκλεισμού στη σταθερότητα της ασπαρτάμης κατά τον κλιβανισμό και κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος (Wetzel & Bell, 1998; Wetzel et al., 1997).

Η ασπαρτάμη μεταβολίζεται στον οργανισμό προς τα αμινοξέα από τα οποία αποτελείται και τη μεθανόλη. Η αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη (ADI) έχει οριστεί στα 40 mg/ kg σωματικού βάρους / ημέρα (JECFA, 1981).

Με συνδυασμό του ακετοσουλφαμικό καλίου με την ασπαρτάμη (σε κατά βάρος αναλογία 60:40, αλλά με ισομοριακή ποσότητα των δύο ουσιών) βελτιώνεται η γλυκαντική τους ικανότητα σε σύγκριση με τη μεμονωμένη γλυκαντική δυναμικότητα καθενός ξεχωριστά, καθώς το άλας δεν περιέχει κάλλιο (Σχήμα 2.13) και επιπλέον έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε υγρασία. Στα πλεονέκτημα του άλατος περιλαμβάνεται και η μεγαλύτερη σταθερότητα από τα μεμονωμένα γλυκαντικά, πιθανόν λόγω του ότι παρεμποδίζεται η αποικοδόμηση της ασπαρτάμης από την παρουσία του ακετοσουλφαμικού καλίου. Ο μη

υγροσκοπικός χαρακτήρας του άλατος επίσης συμβάλλει στη σταθερότητά του, καθώς όπως αναφέρθηκε παραπάνω η παρουσία του νερού συμβάλλει στην αποικοδόμηση της ασπαρτάμης. Επιπλέον σε προϊόντα με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό (π.χ. τσίχλες) η δομή του άλατος ασπαρτάμης – ακετοσουλφαμικού καλίου, αποτρέπει την απώλεια της ασπαρτάμης, καθώς την καθιστά λιγότερο προσβάσιμη από αρωματικές ουσίες με υψηλή περιεκτικότητα σε αλδεΐδη (π.χ. κανέλλα) και αποτρέπει την αντίδραση της με τις ουσίες αυτές (Fry et al., 2012).



Σχήμα 2.14 Ασπαρτάμη-Ακετοσουλφαμικό κάλιο

2.6.5 Λοιπά ισχυρά γλυκαντικά

Στα ισχυρά γλυκαντικά επίσης συγκαταλέγεται η advantame, η οποία παράγεται από την ασπαρτάμη και τη βανιλίνη. Είναι 20000 φορές γλυκύτερη από τη σακχαρόζη και έχει γεύση παρόμοια με την ασπαρτάμη, αλλά παρουσιάζει μεγαλύτερης διάρκειας γλυκύτητα. Έχει μηδενικό θερμιδικό φορτίο και λειτουργεί και ως βελτιωτικό γεύσης. Η έγκριση της στην Ε.Ε. δεν έχει ολοκληρωθεί (Bishay & Bursey, 2012).

Η αλιτάμη έχει 2000 φορές τη γλυκύτητα της σακχαρόζης, χωρίς να χαρακτηρίζεται από πικρή ή άλλη μετάγευση και εμφανίζει συνέργεια με άλλα γλυκαντικά (ακετοσουλφαμικό κάλιο, σακχαρίνη). Αποτελείται από L- ασπαραγινικό οξύ, D- αλανίνη και ένα αμίδιο ως τερματική μονάδα, το οποίο ευθύνεται για την υψηλή γλυκαντική ικανότητα της αλιτάμης. Η αλιτάμη είναι σταθερή σε προϊόντα ουδέτερου pH που υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία (όπως τα προϊόντα αρτοποιίας) (Auerbach et al., 2012).

Οι κυκλαμικές ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γλυκαντικά είναι το κυκλαμικό οξύ (ή κυκλοεξυλσουλφαμικό οξύ), το κυκλαμικό νάτριο και το κυκλαμικό ασβέστιο. Τα κυκλαμικά άλατα είναι περίπου 30 φορές γλυκύτερα από τη σακχαρόζη και σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις (που ωστόσο δεν είναι οι συνήθειες) εμφανίζουν πικρή μετάγευση. Το κυκλαμικό νάτριο είναι λίγο γλυκύτερο και εμφανίζει μετάγευση σε υψηλότερες συγκεντρώσεις από το κυκλαμικό ασβέστιο. Τα κυκλαμικά άλατα μπορούν να συνδυαστούν με άλλα γλυκαντικά (σακχαρίνη, ασπαρτάμη), οπότε επιτυγχάνεται υψηλότερη γλυκύτητα από εκείνη των μεμονωμένων γλυκαντικών, ενώ περιορίζεται η μετάγευση. Επιπλέον τα κυκλαμικά μπορούν να λειτουργήσουν ως βελτιωτικά αρώματος και παρουσιάζουν συμβατότητα με τα περισσότερα συστατικά των τροφίμων (αρωματικές ύλες, συντηρητικά, γλυκαντικά). Είναι σταθερά σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες και σε ευρύ πεδίο pH. Μεταβολίζεται προς κυκλοεξυλαμίνη, το ποσοστό όμως του μεταβολισμού ποικίλει (Hunt et al., 2012).

Η νεοεσπεριδίνη DC είναι γλυκοζίτης φλαβονοειδούς, 1500 φορές γλυκύτερη από τη ζάχαρη. Σε σύγκριση με τη ζάχαρη και άλλα γλυκαντικά όπως την ασπαρτάμη η εμφάνιση της γεύσης είναι βραδύτερη αλλά έχει μεγαλύτερη διάρκεια. Ωστόσο οι περιορισμοί αυτοί υπερβαίνονται με συνδυασμό της νεοεσπεριδίνης DC με άλλα γλυκαντικά. Πέρα από τη γλυκύτητα συμβάλλει στην εξομάλυνση των γευστικών χαρακτηριστικών και του αρωματικού προφίλ των συστατικών του προϊόντος στο οποίο προστίθεται π.χ. είναι πιο αποτελεσματικό στην επικάλυψη της πικρής γεύσης σε σύγκριση με τη σακχαρόζη. Η επίδραση της νεοεσπεριδίνης DC στο αρωματικό προφίλ είναι σημαντική ακόμη και σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες από εκείνες που αντιστοιχούν στη λειτουργικότητά της ως γλυκαντικό, με αποτέλεσμα να συμπεριλαμβάνεται στις νομοθετικές ρυθμίσεις που διέπουν τα πρόσθετα τροφίμων εκτός των χρωστικών και των γλυκαντικών (Boigeo, 2012).

Η νεοτάμη είναι 7000-13000 φορές γλυκύτερη από τη σακχαρόζη, χωρίς να εμφανίζει μετάγευση και συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλα γλυκαντικά. Παρασκευάζεται από την ασπαρτάμη και τη 3,3 διμεθυλβουτυραλδεΐδη με αναγωγική αλκυλίωση. Είναι σταθερή σε ευρεία γκάμα τροφίμων και εμφανίζει μεγαλύτερη σταθερότητα στη θερμοκρασία

από την ασπαρτάμη. Συμβάλλει στη βελτίωση του αρώματος των προϊόντων στα οποία προστίθεται με αποτέλεσμα να επιτρέπει τη μείωση της συγκέντρωσης αρωματικών υλών π.χ. μέντα σε τσίχλα. Επιπλέον καλύπτει την πικρή γεύση άλλων συστατικών (π.χ. καφεΐνης) ή άλλων γλυκαντικών (π.χ. σακχαρίνης). Λόγω της υψηλής γλυκαντικής ικανότητας της αλλά και της συμβολής στη βελτίωση του αρώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα γλυκαντικά και τη σακχαρόζη (Mayhew, 2012).

Ως προς τη σακχαρίνη, τρεις μορφές είναι εμπορικά διαθέσιμες: το οξύ, το άλας νατρίου και το άλας ασβεστίου. Παρασκευάζεται με οξείδωση του ορθο-σουλφοναμιδίου του τουλουολίου. Η μορφή της σακχαρίνης δεν επηρεάζει τη δραστηριότητα της γλυκύτητάς της, ωστόσο το άλας νατρίου είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο, λόγω της υψηλής διαλυτότητάς του και της ευκολίας παραγωγής του. Είναι περίπου 300 φορές γλυκύτερη από τη ζάχαρη. Εμφανίζει συνέργεια με τα περισσότερα ισχυρά γλυκαντικά (στέβια, αλιτάμη, νεοτάμη, σουκραλόζη, ζάχαρη και φρουκτόζη) αλλά όχι με το ακετοσουλφαμικό κάλιο. Οι συνδυασμοί της σακχαρίνης με άλλα γλυκαντικά παρουσιάζουν ελαττωμένη επίγευση σε σύγκριση με τη σακχαρίνη. Είναι σταθερή στο εύρος των θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων (Bakal & O'Brien Nabors, 2012).

2.5 Νομοθεσία της Ε.Ε

Ένα στερεό τρόφιμο θεωρείται χαμηλής περιεκτικότητας ή χωρίς σάκχαρα όταν δεν περιέχει περισσότερα από 5 g σακχάρων/100 g ή 0,5 g σακχάρων/100 g, αντίστοιχα (EC Regulation 1924/2006).

Η προσθήκη των περισσότερων από τα υποκατάστατα ζάχαρης (πολυόλες, ισχυρά γλυκαντικά) διέπεται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (Regulation EC 1333/2008, EU Regulation 1129/2011, EU Regulation 1130/2011) που προσδιορίζει τα τρόφιμα στα οποία μπορούν να προστεθούν τα συγκεκριμένα πρόσθετα και τους όρους χρήσης των πρόσθετων (π.χ. τη μέγιστη ποσότητα προσθήκης τους).

Σε ότι αφορά την επισήμανσή τους, τα προϊόντα που περιέχουν πολυόλες πρέπει να φέρουν την προειδοποίηση «η υπερβολική

κατανάλωση μπορεί να έχει υπακτική δράση» και εκείνα που περιέχουν ασπαρτάμη ή/και άλας ασπαρτάμης-ακετοσουλφαμικού καλίου την προειδοποίηση «περιέχει πηγή φαινυλαλανίνης». Επιπλέον η ονομασία ενός τροφίμου που περιέχει ένα ή περισσότερα γλυκαντικά ή περιέχει ένα ή περισσότερα πρόσθετα σάκχαρα και ταυτόχρονα ένα ή περισσότερα γλυκαντικά, πρέπει να συνοδεύεται από τη δήλωση «με γλυκαντικά» και «με σάκχαρα και γλυκαντικά» αντίστοιχα (EU Regulation 1169/2011). Φυσικά πρέπει να αναφέρεται στη συσκευασία του τροφίμου και η ονομασία και ο αριθμός E του πρόσθετου.

Η προσθήκη των πολυολών (σορβιτόλες (E 420), μαννιτόλη (E 421), isomalt (E 953), μαλτιτόλες (E 965), λακτιτόλη (E 966), ξυλιτόλη (E 967), εριθριτόλη E (968)) στα εκλεκτά αρτοσκευάσματα (fine bakery wares), στα οποία περιλαμβάνονται και τα κέικ, και εφόσον πρόκειται για προϊόντα με μειωμένη ενεργειακή αξία (με θερμίδες ελαττωμένες κατά 30% τουλάχιστον σε σύγκριση με την αρχική τροφή ή με παρεμφερές προϊόν) ή προϊόντα χωρίς πρόσθετα σάκχαρα (χωρίς προσθήκη μονοσακχαρίτη ή δισακχαρίτη ή άλλου τροφίμου χρησιμοποιούμενου για τις γλυκαντικές του ιδιότητες), εμπίπτει στην αρχή «quantum santis» δηλαδή προστίθενται σύμφωνα με την ορθή παρασκευαστική πρακτική (Regulation 1333/2008, 1129/2011; Ελληνικός Κώδικας Τροφίμων Ποτών Άρθρο 68, 2010; Ελληνικός Κώδικας Τροφίμων Ποτών Άρθρο 114, 2011). Το σιρόπι πολυγλυκιτόλης (E 964) μπορεί να προστεθεί σε προϊόντα με μειωμένη ενεργειακή αξία ή χωρίς πρόσθετα σάκχαρα, με ανώτατο όριο τα 300000 mg/kg (EU Regulation 1049/2012). Η πολυδεξτρόζη (E 1200) εντάσσεται στα πρόσθετα τροφίμων πλην των χρωστικών και των γλυκαντικών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε quantum santis επίπεδα (EU Regulation 1129/2011). Στα εκλεκτά αρτοσκευάσματα (fine bakery wares) προοριζόμενα για ειδική διατροφή τα ανώτερα επίπεδα για το ακετοσουλφαμικό κάλιο K (E 950), την ασπαρτάμη (E 951), το κυκλαμικό οξύ και τα άλατα του νατρίου και ασβεστίου του (E 952), τις σακχαρίνες (E 954), τη σουκραλόζη (E 955), τη νεοεσπεριδίνη DC (E 959), τη νεοτάμη (E 961) και το άλας ασπαρτάμης-ακετοσουλφαμικού καλίου (E 962) είναι 1000, 1700, 1600, 170, 700, 150, 55, 1000 mg/kg (EU Regulation 1129/2011). Ειδικότερα με τη χρήση του άλατος ασπαρτάμης-ακετοσουλφαμικού καλίου, το όριο εκφράζεται είτε ως ισοδύναμα

ασπαρτάμης είτε ως ακετοσουλφαμικό κάλιο, και δεν πρέπει να γίνεται υπέρβαση των επιπέδων των επιμέρους συστατικών είτε μόνα τους είτε σε συνδυασμό. Οι γλυκοζίτες στεβιόλης E 960 (EU Regulation 1131/2011) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδώδιμο φύλλο γκοφρέτας (essoblaten-wafer paper) με ανώτατο όριο 330 mg/kg (EU Regulation 1131/2011).

2.6 Υποκατάσταση της σακχαρόζης στο κέικ

Η σακχαρόζη, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, αποτελεί βασικό συστατικό του κέικ, και ο λειτουργικός ρόλος της εκτείνεται πέρα από την απόδοση γλυκύτητας και ενέργειας, καθώς διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στα δομικά και λοιπά, πέραν της γλυκύτητας, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ. Ειδικότερα λόγω του περιοριστικού ρόλου της στην ανάπτυξη του πλέγματος της γλουτένης και της συμβολής της στην αύξηση της θερμοκρασίας της ζελατινοποίησης του αμύλου και της μετουσίωσης των πρωτεϊνών, η μείωση της ζάχαρης επιφέρει μεταβολές στην υφή και την ανάπτυξη του όγκου του κέικ. Άλλα προβλήματα που ανακύπτουν κατά τη μείωση της ζάχαρης αφορούν στη μείωση του ιξώδους της ζύμης με συνέπεια τη μειωμένη ενσωμάτωση αέρα και κατ' επέκταση τη μειωμένη ανάπτυξη του όγκου και της κυψελώδους δομής του τελικού προϊόντος. Επιλέον ανακύπτουν προβλήματα που αφορούν στη μεταφορά θερμότητας, στον χρωματισμό στη διατηρησιμότητα του προϊόντος, στην απελευθέρωση αρώματος και στο γευστικό προφίλ του τελικού προϊόντος.

Η χρήση εναλλακτικών γλυκαντικών, που είτε στοχεύει στην πλήρη κατά βάρος υποκατάσταση της σακχαρόζης είτε στην αντιστάθμιση ενός μέρους της αφαιρούμενης ποσότητας σακχαρόζης, παρέχει προϊόν με βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το προϊόν στο οποίο έχει πραγματοποιηθεί ολική ή μερική αφαίρεση της σακχαρόζης χωρίς την προσθήκη εναλλακτικών γλυκαντικών (Manisha et al., 2012; Martinez-Cervera et al., 2012a; Schirmer et al., 2012). Οι περισσότερες μελέτες αφορούν στην υποκατάσταση της σακχαρόζης με ένα από τα μέσα πάχυνσης σε συνδυασμό με κάποιο ισχυρό γλυκαντικό και συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2. Οι μελέτες αυτές εφαρμόζονται σε διαφορετικούς τύπους κέικ, γεγονός που δυσχεραίνει τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη σχετική τους απόδοση ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις τα

αποτελέσματα/συμπεράσματα δεν συγκλίνουν. Συγκριτικές μελέτες που συγκρίνουν εναλλακτικά γλυκαντικά περιορίζονται στην επίδρασή τους στα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος και μόνο στις πιο πρόσφατες γίνεται συσχέτιση των διαφοροποιήσεων που παρατηρούνται στις ιδιότητες του κέικ με τα χαρακτηριστικά της ζύμης.

Γενικά η προσθήκη των ισχυρών γλυκαντικών δεν επηρεάζει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης (Mariotti & Alamprese, 2012; Zoulias et al., 2000). Επιπλέον, η μεμονωμένη χρήση τους επιφέρει σημαντική υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών (μείωση όγκου, υποβάθμιση υφής, απώλεια οργανοληπτικών ιδιοτήτων) του τελικού προϊόντος, η οποία ωστόσο βελτιώνεται σημαντικά με την προσθήκη του κατάλληλου μέσου πάχυνσης (Attia et al., 1993; Hess & Setser, 1983; Lim et al., 1989). Επομένως η υποκατάσταση της σακχαρόζης δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη χρήση ισχυρών γλυκαντικών και καθίσταται απαραίτητη η χρήση μέσων πάχυνσης που καλούνται να αντισταθμίσουν τις συμπληρωματικές της γλυκύτητας λειτουργίες της σακχαρόζης.

➤ Πολυδεξτρόζη

Η πολυδεξτρόζη δείχνει αποδοτική στη μερική (25-30%) υποκατάσταση της σακχαρόζης σε muffin ενώ η περαιτέρω αύξηση του επιπέδου της υποκατάστασης οδήγησε σε μείωση του όγκου, του ύψους, του πορώδους, της σκληρότητας και σε ελαφρώς πιο σκούρο χρώμα ψίχας και κόρας (Hicsasmz et al., 2003; Kocer et al., 2007; Martinez-Cervera et al., 2012b; Zahn et al., 2013). Η πυκνή δομή κατά την υποκατάσταση της ζάχαρης μπορεί να αποδοθεί στη μειωμένη σταθερότητα της ζύμης κατά τον κλιβανισμό, που ενισχύει την ανάδυση των φυσαλίδων και ελαττώνει την ικανότητα συγκράτησής τους, και στην επίδραση της πολυδεξτρόζης στο μηχανισμό σταθεροποίησης της ζύμης (Hicsasmaz et al., 2003; Martinez-Cervera et al., 2012b). Ειδικότερα, η πολυδεξτρόζη αυξάνει τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου σε σύγκριση με τη σακχαρόζη (Pateras et al., 1992; Rosenthal, 1995), ωστόσο δεν μεταβάλλει τη θερμοκρασία μετουσίωσης των πρωτεϊνών (Rosenthal, 1995), με αποτέλεσμα την πρόωμη σταθεροποίηση του πρωτεϊνικού πλέγματος που περιορίζει την ανάπτυξη των φυσαλίδων (Hicsasmz et al., 2003; Martinez-

Cervera et al., 2012b). Σύμφωνα με τη μελέτη των Pateras et al. (1994), η πολυδεξτρόζη παρουσίασε βραδύτερο ρυθμό ανάπτυξης των φυσαλίδων, η οποία ολοκληρώθηκε σε υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τη ζάχαρη. Επίσης η πολυδεξτρόζη εμφανίστηκε ικανή να μιμηθεί τη ζάχαρη ως προς την κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων (ακόμη κατά την πλήρη υποκατάσταση της ζάχαρης, το μέγεθος των φυσαλίδων στην πλειοψηφία τους κυμάνθηκε στο εύρος μεγέθους των φυσαλίδων της ζύμης με ζάχαρη) και επιπλέον με την πολυδεξτρόζη επιτεύχθηκε καλύτερη διασπορά των φυσαλίδων στη ζύμη, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα να λειτουργεί και ως υποκατάστατο του λιπαρού (Hicsasmaz et al., 2003). Οι Kocer et al. (2007) απέδωσαν τη μείωση του όγκου και του πορώδους του κέικ κυρίως στη μείωση του μεγέθους των πόρων της κόρας. Τα muffin με υποκατάστασης 50% αξιολογήθηκαν ως αποδεκτά ενώ με την ολική υποκατάσταση μειώθηκε σημαντικά η αποδεκτότητα κυρίως λόγω της υποβάθμισης της υφής (Martinez-Cervera et al., 2012b).

Ανάλογα αποτελέσματα (μειωμένο ύψος κέικ, υψηλότερη υγρασία και σκληρότερη υφή) προέκυψαν με τη χρήση ενός συστήματος 1.5% ασπαρτάμη, 35.5% φρουκτόζη και 63% πολυδεξτρόζη σε κέικ, τα οποία βρίσκονται σε συμφωνία με το μεγαλύτερο ειδικό βάρος της ζύμης. Ωστόσο το χρώμα της κόρας ήταν πιο φωτεινό από το δείγμα αναφοράς, γεγονός που αποδόθηκε στην περιορισμένη ποσότητα της φρουκτόζης (Pong et al., 1991).

Διαφορετικά αποτελέσματα παρουσίασαν οι Shirmer et al. (2012) οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση του ειδικού όγκου και μείωση της σκληρότητας του κέικ, που συσχετίστηκαν με τη μείωση του ειδικού βάρους της ζύμης. Η ζύμη με πολυδεξτρόζη εμφάνισε μεγαλύτερη θιξοτροπία λόγω του μεγαλύτερου μοριακού βάρους της πολυδεξτρόζης, και μεγαλύτερη σκληρότητα (η οποία ωστόσο κατά τον κλιβανισμό δεν ήταν σημαντικά διαφοροποιημένη από εκείνη της σακχαρόζης) λόγω της υψηλότερης απορρόφησης νερού της πολυδεξτρόζης σε σύγκριση με τη σακχαρόζη. Επιπλέον η πολυδεξτρόζη παρείχε παραπλήσια χαρακτηριστικά υφής με τη σακχαρόζη ακόμη και κατά τη διάρκεια αποθήκευσης 18 ημερών, σε αντίθεση με προγενέστερη μελέτη στην οποία παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της σκληρότητας του κέικ σε διάστημα 4 ημερών (Ronda et al., 2005).

Ο συνδυασμός ισχυρών γλυκαντικών με την πολυδεξτρόζη έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών ερευνών. Ειδικότερα έχει μελετηθεί η επίδραση της πολυδεξτρόζης σε συνδυασμό με σουκραλόζη, γλυκοζίτη της στέβια, ασπαρτάμη, μίγμα ασπαρτάμης και/ή ακετοσουλφαμικό κάλιο και/ή φρουκτόζης (Attia et al., 1993; Martinez-Cervera et al., 2012; Pong et al., 1991; Zahn et al., 2013).

Σε συγκριτικές μελέτες η πολυδεξτρόζη παρείχε καλύτερα οργανοληπτικά αποτελέσματα από άλλα μέσα πάχυνσης (λακτιτόλη, σορβιτόλη, ισομαλτόζη, μαλτοδεξτρίνη με ισοδύναμο δεξτρόζης 18) (Frye & Setser, 1992) και ίνες (Zahn et al., 2013). Ειδικότερα έναντι των ινών (αρακά, βρώμης, σίτου, μήλου, πίτυρου σίτου, μαλτοδεξτρίνης) η πολυδεξτρόζη παρείχε καλύτερα αποτελέσματα ως προς το χρώμα, τις ιδιότητες υφής και τα γευστικά χαρακτηριστικά. Ειδικότερα, το πίτυρο σίτου και οι ίνες μήλου επιδρούν στο χρώμα της ψίχας και προκαλούν μετάγευση, ενώ οι υπόλοιπες ίνες διαφοροποιούν την υφή (αυξημένη ευθρυπτότητα και μειωμένη ελαστικότητα) (Zahn et al., 2013).

➤ HFCS

Με τη χρήση σιροπιού καλαμποκιού υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη ως υποκατάστατο της ζάχαρης, τα προβλήματα που ανακύπτουν αφορούν στο σκούρο χρωματισμό του προϊόντος, το μειωμένο όγκο, την πικρή γεύση και την απώλεια της τρυφερότητας της υφής (Coleman & Harbers, 1983; Koepsel & Hosenev, 1980; Marx, 1990). Το σκούρο χρώμα περιορίστηκε με την προσθήκη οξειδωτικών, χωρίς να επηρεαστούν τα χαρακτηριστικά της ζύμης (ειδικό βάρος) και του κέικ (όγκος, υγρασία) (Johnson & Harris, 1989).

➤ Πολυόλες

Μελέτες για τη χρήση των πολυολών αφορούν τη συμπεριφορά μεμονωμένων πολυολών (σορβιτόλη, εριθριτόλη, μαννιτόλη) κατά την υποκατάσταση της σακχαρόζης και συγκριτικές μελέτες μεταξύ τεσσάρων ή πέντε πολυολών. Η εριθριτόλη δεν παρουσίασε διαφοροποίηση ως προς τον ειδικό όγκο της ζύμης και τον όγκο του κέικ. Διαφοροποιήσεις δεν παρατηρήθηκαν ούτε ως προς την υγρασία, αλλά σε υψηλά επίπεδα

υποκατάστασης (75% και 100%) τα δείγματα είχαν πιο ανοιχτό χρώμα, σημαντικά ελαττωμένη γλυκύτητα, ενώ δεν αξιολογήθηκαν διαφορετικά ως προς την υφή (Lin et al., 2003). Ωστόσο, μεταγενέστερη έρευνα κατέδειξε ότι η ικανότητα της εριθριτόλης να προσεγγίζει την επίδραση της σακχαρόζης στη μείωση της ελαστικότητας της ζύμης κατά τον κλιβανισμό και στην καθυστέρηση της σταθεροποίησης της, δεν επαρκεί για να βελτιώσει τον όγκο και την υφή του τελικού προϊόντος. Ειδικότερα στα υψηλά επίπεδα υποκατάστασης της σακχαρόζης σε muffin παρατηρήθηκε ελαττωμένη ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη (μεγάλο ειδικό βάρος ζύμης, μειωμένο μέγεθος και πλήθος φυσαλίδων) με αποτέλεσμα το σημαντικά μειωμένο όγκο και ύψος του τελικού προϊόντος (παρά την παρουσία μεγαλύτερων κυψελίδων) και σημαντική διαφοροποίηση της υφής (αύξηση της σκληρότητας και μείωση της ελαστικότητας και της συνεκτικότητας) σε σύγκριση με το πλήρες σε σακχαρόζη προϊόν (Martinez-Cervera et al., 2012a, 2014).

Η χρήση της σορβιτόλης σε συνδυασμό με στεβιοσίδη παρείχε ζύμη μειωμένου ιξώδους και, σε υψηλά επίπεδα υποκατάστασης της σακχαρόζης, ζύμη χαμηλότερου ειδικού βάρους με το κέικ να χαρακτηρίζεται από ελαττωμένο όγκο, αυξημένη σκληρότητα και πιο ανοικτόχρωμη κόρα (Manisha et al., 2012). Η μείωση του όγκου και του πορώδους παρατηρήθηκε και κατά την υποκατάσταση της ζάχαρης από σορβιτόλη και άμυλο (η οποία συνοδεύτηκε και από την προσθήκη νερού), και αποδόθηκε στην πιο εκτεταμένη ζελατινοποίηση του αμύλου και σε διαφοροποιήσεις στη μεταφορά θερμότητας κατά τον κλιβανισμό (η δομή του sponge κέικ σχηματίστηκε σε χαμηλότερες θερμοκρασίες) (Baeva et al., 2003). Τα χαρακτηριστικά του κέικ βελτιώνονται σημαντικά όταν η ολική υποκατάσταση της ζάχαρης συνοδεύεται από την προσθήκη κατάλληλου γαλακτωματοποιητή και υδροκολλοειδούς (Manisha et al., 2012). Επιπλέον η σορβιτόλη συνέβαλε στη διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (επιβράδυνση της σκλήρυνσης της υφής) κατά την αποθήκευση του προϊόντος (για διάστημα 4 ημερών) (Kamel & Rasper, 1988; Ronda et al., 2005).

Οι συγκριτικές μελέτες μεταξύ πολυολών, ολιγοφρουκτόζης και πολυδεξτρόζης κατέδειξαν μείωση του όγκου για όλα τα υποκατάστατα ενώ οι διαφοροποιήσεις στην υφή εξαρτώνται από τον τύπο του

υποκατάστατου. Η ξυλιτόλη εμφάνισε τα καλύτερα χαρακτηριστικά (Ronda et al., 2005) ενώ λιγότερο αποτελεσματική παρουσιάστηκε η εριθριτόλη (Martinez-Cervera, 2014) και η μαννιτόλη (Ronda et al., 2005; Kim et al., 2014). Πιο συγκεκριμένα η ξυλιτόλη παρείχε τα καλύτερα αποτελέσματα κατά την πλήρη υποκατάσταση της σακχαρόζης σε sponge κέικ σε σύγκριση με άλλες πολυόλες (μαλτιτόλη, μαννιτόλη, σορβιτόλη, ισομαλτόζη), την ολιγοφρουκτόζη και την πολυδεξτρόζη και συγκέντρωσε την υψηλότερη και πλησιέστερη στο δείγμα αναφοράς βαθμολογία ως προς την ολική αποδεκτότητα, με εξαίρεση το λιγότερο σκούρο χρωματισμό του προϊόντος λόγω της απουσίας αντιδράσεων Maillard. Παρείχε κέικ με ειδικό όγκο ανάλογο με το δείγμα αναφοράς, μειωμένης σκληρότητας που σε διάστημα αποθήκευσης 4 ημερών αυξήθηκε σε παρόμοια με το δείγμα αναφοράς επίπεδα. Αντίθετα η μαννιτόλη οδήγησε στη μεγαλύτερη σκληρότητα σε σύγκριση με άλλες πολυόλες (μαλτιτόλη, ξυλιτόλη, σορβιτόλη, ισομαλτόζη), την ολιγοφρουκτόζη και την πολυδεξτρόζη, η οποία σε διάστημα 4 ημερών αυξήθηκε σημαντικά (Ronda et al., 2005), τη χαμηλότερη συνεκτικότητα και ελαστικότητα (Kim et al., 2014) και τη χαμηλότερη οργανοληπτική αποδοχή (Kim et al., 2014; Ronda et al., 2005). Η εριθριτόλη, σε σύγκριση με τη σορβιτόλη, τη μαλτιτόλη και την ισομαλτόζη, ήταν η λιγότερο αποτελεσματική στην υποκατάσταση της ζάχαρης, παρουσιάζοντας τις σημαντικότερες διαφοροποιήσεις από το δείγμα αναφοράς ως προς τις ιδιότητες της υφής και τα χαρακτηριστικά της ζύμης. Πιο συγκεκριμένα η εριθριτόλη επέφερε τη μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης του αμύλου (που μπορεί να αποδοθεί στο μικρότερο μοριακό της βάρος σε σύγκριση με τις άλλες πολυόλες και τη σακχαρόζη), ενώ επέδειξε και τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση από τη σακχαρόζη ως προς τη ρεολογική συμπεριφορά πριν και κατά τον κλιβανισμό (Martinez-Cervera, 2014). Η σορβιτόλη, η μαλτιτόλη και η ισομαλτόζη δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα (Martinez-Cervera, 2014; Ronda et al., 2005) και ειδικότερα η ισομαλτόζη καθυστέρησε σημαντικά την αύξηση της σκληρότητας κατά την αποθήκευση (Ronda et al., 2005).

➤ Ολιγοσακχαρίτες

Η χρήση σιροπιού ισομαλτοολιγοσακχαριτών σε sponge κέικ είχε θετική επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος.

Παρατηρήθηκε σημαντικά αυξημένος όγκος, με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης, σε σύγκριση με το πλήρες σε σακχαρόζη προϊόν, ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης ποσότητας ενσωματωμένου αέρα σε συνδυασμό με το αυξημένο ιξώδες. Η αύξηση του ιξώδους μπορεί να αποδοθεί στο βαθμό πολυμερισμού (2 έως 4) των ολιγοσακχαριτών. Αυξήθηκε και η τρυφερότητα της υφής, που αποδόθηκε στον αυξημένο όγκο. Τα κέικ με ισομαλτοολογοσακχαρίτες είχαν πιο σκούρο χρώμα λόγω της αύξησης της περιεκτικότητας σε αναγωγικά σάκχαρα που συμμετέχουν σε αντιδράσεις Maillard και συγκέντρωσαν υψηλότερη βαθμολογία ως προς την αρέσκεια σε σύγκριση με το πλήρες σε σακχαρόζη προϊόν, με την υποκατάσταση σε επίπεδο 75% να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αποδοχή (Lee et al., 2008). Η ολιγοφρουκτόζη παρείχε προϊόν παρόμοιου όγκου και τρυφερότητας με το πλήρες σε σακχαρόζη προϊόν, ωστόσο οδήγησε σε σημαντική αύξηση της σκληρότητας σε διάστημα 4 ημερών (Ronda et al., 2005).

➤ Ταγκατόζη

Η ταγκατόζη έχει μελετηθεί ως προς την αρέσκεια προϊόντων αρτοποιίας (κέικ, muffin και cookies) στα οποία προστέθηκε σε χαμηλό ποσοστό υποκατάστασης της σακχαρόζης. Τα προϊόντα με την ταγκατόζη δεν αξιολογήθηκαν διαφορετικά ως προς την αρέσκεια (άρωμα) από τα αντίστοιχα με ζάχαρη. Ωστόσο στα συγκεκριμένα προϊόντα η ταγκατόζη δε συνέβαλε στην ενίσχυση ή τη βελτίωση των αρωματικών συστατικών τους (Armstrong et al., 2009).

2.7 Υποκατάσταση της σακχαρόζης σε άλλα προϊόντα αρτοποιίας

Σημαντική είναι η συμβολή της ζάχαρης και στα μπισκότα και στα cookies, και ειδικότερα στα χαρακτηριστικά της ζύμης αλλά και του τελικού προϊόντος (υφή, γλυκύτητα, γεύση, χρώμα). Πρόσφατες μελέτες για την υποκατάσταση της σακχαρόζης στο μπισκότο αφορούν στη χρήση πολυολών (εριθριτόλη, μαλιτιτόλη), αναγωγικών σακχάρων, μαλτοδεξτρίνης (σε συνδυασμό με ισχυρό γλυκαντικό), και ολιγοφρουκτόζης.

➤ Μπισκότα

Η εριθριτόλη παρείχε προϊόν αυξημένης ελαστικότητας καθώς δεν είχε ανάλογη με τη σακχαρόζη επίδραση στην ανάπτυξη γλουτένης λόγω της χαμηλότερης υγροσκοπικότητας και υδατοδιαλυτότητάς της σε σύγκριση με τη σακχαρόζη. Αντίθετα η μαλτιτόλη προσέγγισε περισσότερο από την εριθριτόλη τη ρεολογική συμπεριφορά της πλήρους σε σακχαρόζη ζύμης λόγω των παραπλήσιων ιδιοτήτων της (διαλυτότητα, υγροσκοπικότητα, μοριακό βάρος), με αποτέλεσμα να παρέχει και πλησιέστερα στο πλήρες σακχαρόζης προϊόν χαρακτηριστικά ως προς την υφή και τις διαστάσεις του μπισκότου (Laguna et al., 2013).

Τα αναγωγικά σάκχαρα (δεξτρόζη, υγρή γλυκόζη, ιμβερτοσάκχαρο, σιρόπι καλαμποκιού υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη) όταν προστέθηκαν σε μικρή ποσότητα είχαν ανάλογη επίδραση στα χαρακτηριστικά της ζύμης με την προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας σακχαρόζης, παρέχοντας ζύμη μειωμένου ιξώδους, σκληρότητας και ελαστικότητας, και αυξημένης προσκολλησιμότητάς και συνεκτικότητας. Τα σάκχαρα σε μορφή σιροπιού εμφάνισαν την εντονότερη διαφοροποίηση στα χαρακτηριστικά της ζύμης. Με την προσθήκη των αναγωγικών σακχάρων το χρώμα του μπισκότου έγινε πιο σκούρο, αυξήθηκε το άπλωμα και το πάχος του μπισκότου, μειώθηκε η πυκνότητα και η δύναμη συμπίεσής τους, χωρίς να παρουσιάζεται σημαντική διαφοροποίηση στην επίδραση μεταξύ των αναγωγικών σακχάρων. Το σιρόπι καλαμποκιού υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη παρείχε το λιγότερο φωτεινό χρώμα. (Manohar & Rao, 1997).

Η μαλτοδεξτρίνη σε συνδυασμό με τη σουκραλόζη έδωσε συγκρίσιμα με το πλήρες σε ζάχαρη αποτελέσματα ως προς τις διαστάσεις (διάμετρος/πάχος), τη σκληρότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, καθώς είχε ανάλογη επίδραση στα χαρακτηριστικά της ζύμης (Savitha et al., 2008).

Η χρήση της ολιγοφρουκτόζης στην υποκατάσταση 30% της ζάχαρης παρείχε μπισκότα μεγαλύτερης τρυφερότητας, ως αποτέλεσμα της μικρότερης σκληρότητας της ζύμης, και σημαντικά πιο σκούρου χρώματος, λόγω της συμμετοχής της ολιγοφρουκτόζης σε αντιδράσεις Maillard (Gallagher et al., 2003).

➤ cookies

Σε cookies έχει μελετηθεί η διαφοροποίηση που προκαλούν τα γλυκαντικά (ειδικότερα η φρουκτόζη, ασπαρτάμη, ακετοσουλφαμικό κάλιο, σακχαρίνη, κυκλαμικό) ως προς την ένταση και τη διάρκεια της γλυκύτητας μεταξύ του τελικού προϊόντος και της ζύμης (Redlinger & Setser, 1987). Η χρήση του ακετοσουλφαμικού καλίου, της ασπαρτάμης και της σακχαρίνης είτε σε συνδυασμό ανά δύο είτε σε συνδυασμό και των τριών γλυκαντικών παρείχε προϊόν με παρόμοιο προφίλ γλυκύτητας με cookies που περιείχαν σακχαρόζη (Lim et al., 1989). Η βελτίωση της γλυκύτητας είναι η βασική επίδραση του ακετοσουλφαμικού καλίου, καθώς κατά την προσθήκη του σε cookies με πολυόλες δεν επέφερε καμμία διαφοροποίηση στα χαρακτηριστικά της ζύμης ή του τελικού προϊόντος (Zoulias et al., 2000). Όπως και στην περίπτωση των κέικ, η υποκατάσταση της σακχαρόζης από ισχυρά γλυκαντικά πρέπει να συμπληρωθεί με την προσθήκη των κατάλληλων μέσων πάχυνσης, όπως προκύπτει και από πρόσφατη μελέτη υποκατάστασης 15-20% της ζάχαρης από σκόνη φύλων στέβιας όπου παρατήρηθηκε μείωση της διαμέτρου, του πάχους και της σκληρότητας των cookies (Kulthe et al., 2014).

Η προσθήκη πολυδεξτρόζης σε cookies χωρίς σακχαρόζη που περιείχαν συνδυασμό ισχυρών γλυκαντικών, βελτίωσε σημαντικά την υφή του προϊόντος (αύξησε τη σκληρότητα και την τραγανότητα και μείωσε τη συνεκτικότητα) προσεγγίζοντας την υφή του πλήρους σε σακχαρόζη προϊόντος (Lim et al., 1989).

Η χρήση πολυολών (μαλτιτόλης, σορβιτόλης, λακτιτόλης, μαννιτόλης, ξυλιτόλης) επηρέασε τα χαρακτηριστικά της ζύμης όσο και του τελικού προϊόντος. Γενικά η σκληρότητα και η τραγανότητα των cookies ακολούθησαν την τάση της σκληρότητας και της συνεκτικότητας της ζύμης, με την υποκατάσταση της ζάχαρης από πολυόλες να οδηγούν σε μείωση της σκληρότητας και της τραγανότητας του τελικού προϊόντος. Ωστόσο παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις και μεταξύ των πολυολών, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους (διαλυτότητα, μοριακό βάρος). Ειδικότερα η μαννιτόλη παρείχε το πιο ανοιχτόχρωμο προϊόν και τη μικρότερη διάμετρο, που μπορεί να αποδοθεί στη μικρή διαλυτότητά της, και αξιολογήθηκε ως το λιγότερο αποδεκτό. Περιορισμένο «άπλωμα» παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της σορβιτόλης και της ξυλιτόλης, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση τους στη σταθεροποίηση της

ζύμης αλλά και στην ανάπτυξη του πλέγματος γλουτένης. Η μαλιτιτόλη, η σορβιτόλη και η λακτιτόλη συγκέντρωσαν τη μεγαλύτερη αποδεκτότητα, με τη σορβιτόλη και τη λακτιτόλη να συμβάλλουν στη βελτίωση της υφής (μείωση της σκληρότητας και της τραγανότητας) (Zoulias et al., 2000). Ανάλογη ήταν και η επίδραση της μαλιτιτόλης, της σορβιτόλης και της λακτιτόλης σε cookies χαμηλών λιπαρών (Zoulias et al., 2002). Η χρήση της ξυλιτόλης σε cookies παρουσίασε μεγαλύτερη μικροβιολογική σταθερότητα από τη σακχαρόζη και τη γλυκόζη, με τάση προς επιμήκυνση του χρόνου ζωής (Winkelhausen et al., 2007). Η χρήση της εριθριτόλης σε επίπεδα υποκατάστασης 25% και 50%, οδήγησε σε σημαντικά αυξημένη σκληρότητα, ενώ η δομή των cookies αξιολογήθηκε ως πιο πυκνή από το πλήρες σε ζάχαρη προϊόν. Η υποκατάσταση με εριθριτόλη ακόμη και σε επίπεδο 25% οδήγησε σε σημαντική μείωση της αποδεκτότητας του προϊόντος (Laguna et al., 2013).

Η χρήση της φρουκτόζης παρείχε πιο μαλακή ζύμη, μεγαλύτερης προσκολλησιμότητας και συνεκτικότητας, και ελαττωμένης ελαστικότητας σε σύγκριση με τη ζάχαρη. Οι διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά της ζύμης μπορούν να αποδοθούν στη μεγαλύτερη διαλυτότητα της φρουκτόζης, καθώς τα σάκχαρα με μεγαλύτερη διαλυτότητα παρεμποδίζουν την ανάπτυξη της γλουτένης και παρέχουν πιο μαλακή αλλά και μεγαλύτερης προσκολλησιμότητας ζύμη. Το τελικό προϊόν είχε μικρότερο διάμετρο σε σύγκριση με το πλήρες σε σακχαρόζη, λόγω του ότι το μεγαλύτερο μέρος της φρουκτόζης διαλύεται πριν τον κλιβανισμό με αποτέλεσμα να περιορίζεται το «άπλωμα» που λαμβάνει χώρα κατά τον κλιβανισμό. Επίσης, η χρήση φρουκτόζης έδωσε προϊόν σημαντικά μικρότερης σκληρότητας από τη σακχαρόζη, λόγω της μειωμένης ανάπτυξης της γλουτένης αλλά και της μειωμένης κρυστάλλωσης (Taylor et al., 2008). Τα cookies με φρουκτόζη αξιολογήθηκαν ως μη αποδεκτά λόγω των γευστικών χαρακτηριστικών (πικρή μετάγευση) και του σκούρου χρώματος (Zoulias et al., 2000).

Σε αντίθεση με τη φρουκτόζη, η ταγκατόζη, που έχει ελαφρώς μικρότερη διαλυτότητα από τη ζάχαρη, παρείχε ζύμη με παραπλήσια ρεολογικά χαρακτηριστικά με τη ζάχαρη. Η ταγκατόζη οδήγησε ωστόσο σε σημαντική αύξηση του ύψους των cookies, λόγω της μικρότερης υγροσκοπικότητας της που επιτρέπει την πιο εκτεταμένη ανάπτυξης

γλουτένης σε σύγκριση με τη σακχαρόζη. Εκτός από την ανάπτυξη της γλουτένης, η μικρότερη διαλυτότητα της ταγκατόζης ενισχύει και την κρυστάλλωση, με αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητας κατά την υποκατάσταση της σακχαρόζης. Η ταγκατόζη παρείχε πιο σκούρο προϊόν και το προϊόν μερικής υποκατάστασης (50%) της σακχαρόζης αξιολογήθηκε ως αποδεκτό (Taylor et al., 2008).

Η ινουλίνη αποδείχτηκε αποτελεσματική για την υποκατάσταση της ζάχαρης σε χαμηλά επίπεδα (25%), παρέχοντας προϊόν μειωμένης σκληρότητας χωρίς σημαντική διαφοροποίηση ως προς την αποδεκτότητα σε σύγκριση με το πλήρες προϊόν (Laguna et al., 2013).

➤ Άρτος

Η προσθήκη της ξυλιτόλης ως συστατικό εμπλουτισμού και όχι υποκατάστασης σε άρτο επηρέασε την ανάπτυξη της μαγιάς (η ξυλιτόλη δε μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα από τη μαγιά), με αποτέλεσμα τη μείωση της ανάπτυξης της ζύμης κατά το στάδιο της ζύμωσης, η οποία με τη σειρά της οδήγησε σε προϊόν μειωμένου όγκου σε σύγκριση με τον άρτο χωρίς ξυλιτόλη. Η μείωση του όγκου του τελικού προϊόντος μπορεί επίσης να αποδοθεί στο πιο αδύναμο πλέγμα γλουτένης, λόγω του ανταγωνισμού μεταξύ της ξυλιτόλης και της γλουτένης για τα μόρια νερού. Μέχρι επίπεδα προσθήκης 10% η σκληρότητα μειώθηκε και αυξήθηκε η ελαστικότητα της ψίχας παρέχοντας προϊόν αυξημένης αποδοχής (Sun et al., 2014).

2.8 Συμπεράσματα

Γενικά η υποκατάσταση της σακχαρόζης από μέσα πάχυνσης σε κέικ οδηγεί σε προϊόν μειωμένου όγκου και αυξημένης σκληρότητας, ενώ η υποβάθμιση της γλυκύτητας μπορεί να εξισοροποιηθεί με τη χρήση ισχυρών γλυκαντικών. Επίσης παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στο χρώμα του προϊόντος, και ιδιαίτερα στη φωτεινότητα της κόρας του κέικ, ανάλογα με το αν το υποκατάστατο λαμβάνει ή όχι μέρος σε αντιδράσεις Maillard. Ωστόσο σε ορισμένα υποκατάστατα τα αποτελέσματα διαφορετικών ερευνών δεν συγκλίνουν (π.χ. ως προς την επίδραση της πολυδεξτρόζης στον ειδικό όγκο του κέικ).

Οι έρευνες που εξετάζουν την υποκατάσταση της σακχαρόζης σε κέικ αφορούν μεμονωμένα, τις περισσότερες φορές, υποκατάστατα, και αφορούν διαφορετικές παρασκευές κέικ, γεγονός που δυσχεραίνει τη συγκριτική εξέταση της αποτελεσματικότητας των υποκαταστατών και τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Ειδικότερα η πολυδεξτρόζη είναι από τα μέσα πάχυνσης που έχουν εξετασθεί εκτενέστερα και έχει διαφανεί η συσχέτιση της επίδρασης της στα χαρακτηριστικά της ζύμης (θερμικά χαρακτηριστικά, ρεολογική συμπεριφορά, ενσωμάτωση αέρα) με την επίδραση της στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Ωστόσο στις συγκριτικές μελέτες που αφορούν πολυόλες ή ίνες διερευνήθηκε κυρίως η επίδραση των υποκατάστατων στα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, και μόνο σε πρόσφατη μελέτη έχει συμπεριληφθεί και η επίδραση ορισμένων πολυολών στα χαρακτηριστικά της ζύμης (ρεολογική συμπεριφορά, ειδικό βάρος). Ειδικότερα η επίδραση της υποκατάστασης της σακχαρόζης στη ζελατινοποίηση του αμύλου έχει μελετηθεί για την πολυδεξτρόζη, και πιο πρόσφατα για τη σορβιτόλη, την εριθριτόλη, την ισομαλτόζη και τη μαλτιτόλη. Επιπλέον από τις πολυόλες έχει μελετηθεί περισσότερο η εριθριτόλη και η σορβιτόλη, με την πρώτη να παρουσιάζεται ως η λιγότερο αποτελεσματική στην υποκατάσταση της σακχαρόζης, ενώ η λακτιτόλη δεν έχει μελετηθεί.

Η παρούσα έρευνα επικεντρώθηκε στη διερεύνηση της πλήρους υποκατάστασης της σακχαρόζης από μέσα πάχυνσης που δεν έχουν εξετασθεί διεξοδικά, όπως η λακτιτόλη και η ολιγοφρουκτόζη. Συμπεριλήφθησαν ωστόσο και υποκατάστατα που έχουν αποτελέσει αντικείμενο προηγούμενων μελετών, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδρασή τους σε παραμέτρους που δεν έχουν εξετασθεί διεξοδικά για τα περισσότερα από αυτά (π.χ. ζελατινοποίηση του αμύλου). Επιπλέον έγινε συσχέτιση της επίδρασης των υποκατάστατων στα χαρακτηριστικά της ζύμης με την επίδραση που έχουν τα υποκατάστατα στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Τέλος η έρευνα περιελάμβανε πολυόλες, ίνες και φρουκτόζη προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα από τη συγκριτική μελέτη τους ως προς την αποελεσματικότητα τους στην υποκατάσταση του λειτουργικού ρόλου της σακχαρόζης στο κέικ.

Πίνακας 2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση σακχαρόζης σε κέικ ή muffin

Προϊόν	Υποκατάστατο	Παράμετροι που μετρήθηκαν	Αναφορά
Κέικ	Ασπαρτάμη, ακετοσουλφάμη-K, φρουκτόζη, πολυδεξτρόζη (επίπεδο υποκατάστασης 100%)	Χρώμα, υγρασία, ύψος, όγκος, ειδικός όγκος, σύσταση, ενεργειακό φορτίο, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Attia et al., 1993
Sponge Κέικ	Σορβιτόλη σε συνδυασμό με άμυλο σίτου και ασπαρτάμη (επίπεδο υποκατάστασης 100%)	Καταγραφή θερμοκρασίας στο κέντρο της ψίχας και κάτω από την κόρα, υγρασία κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού, ειδικό βάρος ζύμης, Όγκος, ύψος, πορώδες ανάλυση δομής (SEM) συμμετρία, βάρος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Baeva et al., 2003
Κέικ	Πολυδεξτρόζη, λακτιτόλη, σορβιτόλη, ισομαλτόζη και μαλτοδεξτρίνης με ισοδύναμο δεξτρόζης 18 (επίπεδο υποκατάστασης: 50% και 100%)	Ιξώδες, ειδικό βάρος (ζύμη) Όγκος, συμμετρία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (ευθρυπτότητα, σκληρότητα, ελαστικότητα, μέγεθος και ομοιομορφία κυψελίδων, αίσθηση στο στόμα) (κέικ)	Frye & Setser, 1992
Layer κέικ	Ασπαρτάμη, φρουκτόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 18.5%, 25%)	Υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Hess & Setser, 1983

Πίνακας 2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση σακχαρόζης σε κέικ ή muffin (Συν.)

Προϊόν	Υποκατάστατο	Παράμετροι που μετρήθηκαν	Αναφορά
High ratio κέικ	Πολυδεξτρόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75% και 100%)	Μέγεθος φυσαλίδων, κατανομή μεγέθους και ομοιομορφία φυσαλίδων, χρόνος αποστράγγισης (ζύμη) Ύψος, πορώδες, μέγεθος και σχήμα κυψελίδων, κατανομή μεγέθους κυψελίδων, χρώμα ψίχας (κέικ)	Hicsasmaz et al., 2003
Chiffon κέικ	Μαλιτιτόλη, μαννιτόλη, ξυλιτόλη, σορβιτόλη. (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%, 100%)	Σταθερότητα (ζύμη) Υφή, όγκος, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Kim et al., 2014
Κέικ high ratio	Πολυδεξτρόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 20%, 40%, 60%)	Μέγεθος φυσαλίδων, κατανομή μεγέθους και ομοιομορφία φυσαλίδων, χρόνος αποστράγγισης (ζύμη) Ύψος, χρώμα, πορώδες (μέγεθος, σχήμα, ομοιομορφία μεγέθους, κατανομή μεγέθους και σχήματος πόρων) (κέικ)	Kocer et al., 2007
Sponge Κέικ	Σιρόπι ισομαλτολιγосακχαριτών (επίπεδο υποκατάστασης 100%)	Ειδικό βάρος, ιξώδες, pH (ζύμη) Όγκος, ύψος, χρώμα, υγρασία, ενεργότητα νερού, σκληρότητα, διατηρησιμότητα (χρώμα, υγρασία, ενεργότητα νερού, σκληρότητα, μικροβιολογική ανάλυση, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) (κέικ)	Lee, 2008

Πίνακας 2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση σακχαρόζης σε κέικ ή muffin (Συν.)

Προϊόν	Υποκατάστατο	Παράμετροι που μετρήθηκαν	Αναφορά
Κέικ	Εριθριτόλη και άμυλο σίτου (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%, 100%)	Ειδικό βάρος (ζύμη) Όγκος, ύψος, χρώμα, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Lin et al., 2003
Κέικ	Σορβιτόλη και στεβιοζίτη (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%, 100%)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά, μικροσκοπική ανάλυση, ειδικό βάρος (ζύμη) Ανάλυση δομής (SEM), υφή, όγκος, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Manisha et al., 2012
Muffin	Εριθριτόλη (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%, 100%)	Ειδικό βάρος, ρεολογικά χαρακτηριστικά, μέγεθος και αριθμός φυσαλίδων (ζύμη) Απώλεια βάρους, ύψος, όγκος, χρώμα, υφή, μέγεθος και αριθμός κυψελίδων, (κέικ)	Martinez- Cerevera et al., 2012a
Muffin	Πολυδεξτρόζη και σουκραλόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%, 100%)	Ειδικό βάρος, ρεολογικά χαρακτηριστικά, μέγεθος και αριθμός φυσαλίδων (ζύμη) Απώλεια βάρους, ύψος, όγκος, χρώμα, υφή, μέγεθος και αριθμός κυψελίδων, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Martinez- Cerevera et al., 2012b
Muffin	Εριθριτόλη, ισομαλτόζη, μαλιτιόλη, σορβιτόλη (επίπεδο υποκατάστασης: 100%)	Διαφορική Θερμιδομετρική Ανάλυση, ρεολογικά χαρακτηριστικά, ειδικό βάρος (ζύμη) Ύψος, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Martinez- Cerevera et al., 2014

Πίνακας 2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση σακχαρόζης σε κέικ ή muffin (Συν.)

Προϊόν	Υποκατάστατο	Παράμετροι που μετρήθηκαν	Αναφορά
Κέικ	Σιρόπι καλαμποκιού υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη (HFCS) (επίπεδο υποκατάστασης: 50%, 75% και 100%)	Δοκιμή απλώματος, ειδικό βάρος (ζύμης) Όγκος, υγρασία, υφή, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Marx et al., 1990
High ratio κέικ	Πολυδεξτρόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 50% και 100%)	Διαφορική Θερμιδομετρική Ανάλυση	Pateras et al., 1992
High ratio κέικ	Πολυδεξτρόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 50% και 100%)	Μέγεθος φυσαλίδων, κατανομή μεγέθους και ομοιομορφία φυσαλίδων	Pateras et al., 1994
Cupcakes	Ασπαρτάμη με φρουκτόζη και πολυδεξτρόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 100%)	Ειδικό βάρος, pH (ζύμη) Ύψος, χρώμα, υφή, υγρασία οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Pong et al., 1991
Sponge κέικ	Μαλιτιτόλη, μαννιτόλη, ξυλιτόλη, σορβιτόλη, ισομαλτόζη, ολιγοφρουκτόζη, πολυδεξτρόζη. (επίπεδο υποκατάστασης: 100%)	Χρώμα, όγκος, ειδικός όγκος, σκληρότητα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Ronda et al., 2005
Pound κέικ	Πολυδεξτρόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 20%, 40%, 60%, 80% 100%)	Ειδικό βάρος, ρεολογικά χαρακτηριστικά (ζύμη) Ειδικός όγκος, υφή, μέγεθος και αριθμός κυψελίδων (κέικ)	Schirmer et al., 2012

Muffin	Ύψος (αρακά, βρώμη, σίτου, μήλου), πίτυρο σίτου, κυτταρίνη, μαλτοδεξτρίνη, πολυδεξτρόζη, ινουλίνη, ρεμπαουδιοσίδη Α (επίπεδο υποκατάστασης: 30%)	Ύψος, διάμετρος, όγκος, υγρασία, ενεργότητα νερού, υφή, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Zahn et al., 2013
--------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Κεφάλαιο 3

Διαιτητικές ίνες

Οι διαιτητικές ίνες έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον λόγω των ωφέλιμων επιδράσεών τους στον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και λόγω των τεχνολογικών ιδιοτήτων τους βάσει των οποίων συντελούν στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών ορισμένων τροφίμων. Επιπλέον παρέχουν τη δυνατότητα της αξιοποίησης παραπροϊόντων, πλούσιων σε διαιτητικές ίνες, που παράγονται κατά την επεξεργασία προϊόντων φυτικής προέλευσης.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν οι φυσιολογικές επιδράσεις των διαιτητικών ινών στον οργανισμό καθώς και οι επιδράσεις τους στα προϊόντα αρτοποιίας. Θα αναφερθούμε στις ιδιότητες των ινών, οι οποίες επηρεάζουν την τεχνολογική λειτουργικότητά των διαιτητικών ινών και τη λειτουργικότητά τους στον ανθρώπινο οργανισμό.

3.1 Ορισμός

Ο ορισμός των διαιτητικών ινών είναι πολύπλοκος και εξελίσσεται (ανανεώνεται) μέσα στο χρόνο. Σύμφωνα με τον American Association of Cereal Chemists (AACC, 2001) οι διαιτητικές ίνες είναι τα εδώδιμα μέρη των φυτών ή ανάλογοι υδατάνθρακες, που δεν αφομοιώνονται ή απορροφώνται στο λεπτό έντερο και υφίστανται μερική ή ολική ζύμωση στο παχύ έντερο. Οι διαιτητικές ίνες περιλαμβάνουν πολυσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες, τη λιγνίνη και συνδεδεμένες φυτικές ουσίες. Η λιγνίνη δεν είναι πολυσακχαρίτης αλλά συνδέεται με τους πολυσακχαρίτες των διαιτητικών ινών και αυξάνει την αντίσταση στην πέψη. Οι συνδεδεμένες φυτικές ουσίες περιλαμβάνουν τους κηρούς, την κουτίνη και τη σουβερίνη. Είναι μη αφομοιώσιμα παράγωγα λιπαρών οξέων, που συνδέονται με τους πολυσακχαρίτες των διαιτητικών ινών και αυξάνουν την αντίσταση στην πέψη. Οι διαιτητικές ίνες έχουν ευεργετικές φυσιολογικές επιδράσεις συμπεριλαμβανομένων της καλής λειτουργίας του εντέρου, και/ή της μείωσης της χοληστερόλης και της γλυκόζης.

Σύμφωνα με τον ορισμό του Institute of Medicine, ΗΠΑ (FNB, IOM, 2002), είχαν διακριθεί δύο κατηγορίες ινών; οι διαιτητικές ίνες, που αποτελούνται από τους μη αφομοιώσιμους υδατάνθρακες και τη λιγνίνη και

απατώνται ως εγγενή συστατικά στα φυτά, και οι λειτουργικές ή προστιθέμενες ίνες, που αποτελούνται από μη αφομοιώσιμους υδατάνθρακες που έχουν απομονωθεί και οι οποίοι έχουν ευεργετικές φυσιολογικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Το άθροισμα των διαιτητικών και των λειτουργικών ινών είναι οι ολικές ίνες.

Το 2009 η επιτροπή του Codex Alimentarius (Codex, 2009) ορίζει τις διαιτητικές ίνες ως πολυμερή υδατανθράκων με δέκα ή περισσότερα μονομερή, τα οποία δεν υδρολύονται από τα ένζυμα του λεπτού εντέρου του ανθρώπου και που ανήκουν στις εξής κατηγορίες;

- edώδιμα υδατανθρακικά πολυμερή που απατώνται φυσικά στα τρόφιμα,
- υδατανθρακικά πολυμερή που έχουν ανακτηθεί από πρώτες ύλες τροφίμων με φυσικά, χημικά ή ενζυμικά μέσα και έχουν ευεργετική φυσιολογική επίδραση στον οργανισμό, η οποία αποδεικνύεται με γενικώς αποδεκτά επιστημονικά στοιχεία,
- συνθετικά υδατανθρακικά πολυμερή που έχουν ευεργετική φυσιολογική επίδραση στον οργανισμό, η οποία αποδεικνύεται με γενικώς αποδεκτά επιστημονικά στοιχεία.

Ο ανωτέρω ορισμός συνοδεύεται από δύο υποσημειώσεις. Η πρώτη υποσημείωση συμπεριλαμβάνει στις διαιτητικές ίνες συγκεκριμένα φυτικά κλάσματα (π.χ. λιγνίνη) που είναι συνδεδεμένα με τους πολυσακχαρίτες ή ολιγοσακχαρίτες και εκχυλίζονται με τις διαιτητικές ίνες. Η δεύτερη υποσημείωση δίνει την ευχέρεια στις εθνικές αρχές να συμπεριλαμβάνουν στις διαιτητικές ίνες υδατάνθρακες με 3 έως 9 μονομερή.

Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία ακολουθεί τον ορισμό του Codex, με τη διαφοροποίηση ότι ως ίνες ορίζονται edώδιμα υδατανθρακικά πολυμερή με τρία ή περισσότερα μονομερή (European Commission Directive, 2008).

Οι ίνες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη διαλυτότητα τους στο νερό και οι διαλυτές ίνες, οι οποίες υφίστανται ζύμωση στο παχύ έντερο, περιλαμβάνουν την πηκτίνη, τα κόμμεα, και ορισμένες ημικυτταρίνες, ενώ οι αδιάλυτες υφίστανται μερική ζύμωση στο παχύ έντερο και περιλαμβάνουν την κυτταρίνη, ορισμένες ημικυτταρίνες και τη λιγνίνη. Η περιεκτικότητα σε ίνες εξαρτάται από την πηγή προέλευσης αλλά και από την επεξεργασία. Τα σιτηρά περιέχουν κυρίως αδιάλυτες ίνες (η περιεκτικότητα σε διαλυτές δεν υπερβαίνει το 25% των ολικών ινών), με

εξαίρεση τη βρώμη, που περιέχει διαλυτές ίνες σε ποσοστό 50% . Τα όσπρια περιέχουν αδιάλυτες και διαλυτές ίνες, ενώ τα φρούτα και τα λαχανικά έχουν σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε διαλυτές ίνες από τα σιτηρά.

3.2 Σύσταση και Δομή Διαιτητικών Ινών

Οι διαιτητικές ίνες, όπως αναφέρθηκε, είναι μη αφομοιώσιμοι υδατάνθρακες και περιλαμβάνουν πολυσακχαρίτες (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, ινουλίνη, κόμμεα, πηκτίνες), ολιγοσακχαρίτες (φρουκτοολιγοσακχαρίτες, γαλακτοολογοσακχαρίτες) και συνθετικούς ή τροποποιημένους υδατάνθρακες (π.χ. ανθεκτικό άμυλο, πολυδεξτρώζη, μέθυλο-κυτταρίνη, ύδροξυ-προπυλο-μεθυλο-κυτταρίνη) (AACC, 2001).

3.2.1 Κυτταρίνη

Η κυτταρίνη βρίσκεται στο κυτταρικά τοιχώματα των φυτών και έχει σημαντικό ρόλο στη δύναμη αυτών. Είναι ομοπολυμερές της γλυκόζης και οι μονάδες της γλυκόζης συνδέονται β-D-1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς. Οι αλυσίδες γλυκάνης συνδέονται με δεσμούς υδρογόνου προς το σχηματισμό κρυσταλλικών μικροϊνιδίων (διαμέτρου έως 25nm) (Lineback, 1999). Οι περιοχές, όπου οι αντιπαράλληλες αλυσίδες γλυκάνης είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένες και η σύνδεση με δεσμούς υδρογόνου είναι μέγιστη, απαρτίζουν την κρυσταλλική περιοχή, η οποία είναι διασπαρμένη μαζί με την άμορφη περιοχή (Chesson, 2006). Η άμορφη περιοχή της κυτταρίνης αποτελεί μικρότερο ποσοστό (10-15%) του συνόλου της κυτταρίνης. Η παρουσία ενδομοριακών και διαμοριακών δεσμών υδρογόνου ευθύνεται για τη χαμηλή διαλυτότητά της κυτταρίνης, την αντίσταση της στη βιολογική αποικοδόμηση και σε χημικές κατεργασίες (Chesson, 2006; Lineback, 1999). Η κυτταρίνη χρησιμοποιείται ως παράγοντας πάχυνσης λόγω της ικανότητας απορρόφησης νερού (Dreher, 1999; Guillon et al., 2000; Lineback, 1999).

3.2.2 Ημικυτταρίνες

Οι ημικυτταρίνες είναι πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων των φυτών και αποτελούνται από ξυλόζη, αραβινόζη, γαλακτόζη, μαννόζη, γλυκόζη, γλυκουρονικό και γαλακτουρονικό οξύ. Κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το κυρίαρχο μονομερές και περιλαμβάνουν: ξυλογλυκάνες (β -D-1,4-γλυκόζη με διακλάδωση α -D-ξυλόζη), ξυλάνες (β -D-1,4-ξυλόζη), αραβινοξυλάνες (β -D-1,4-ξυλόζη με διακλάδωση αραβινόζη), γλυκουρονοαραβινοξυλάνες, γαλακτομαννάνες (οι οποίες περιγράφονται παρακάτω) και μικτής σύνδεσης β -D-(1,3 και 1,4)- γλυκάνες. Έχουν μοριακό βάρος μικρότερο από την κυτταρίνη και υφίστανται πιο εκτεταμένη ζύμωση στο παχύ έντερο. Μπορούν να βρίσκονται σε διαλυτή και αδιάλυτη μορφή και χρησιμοποιούνται ως παράγοντες πάχυνσης λόγω της ικανότητας δέσμευσης νερού (Lineback, 1999; Guillon et al., 2000; Dreher, 1999).

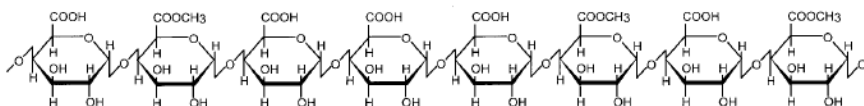
3.2.2.1 Β-γλυκάνες

Οι μικτής σύνδεσης β -γλυκάνες, (1,3)(1,4)- β -D-γλυκάνες, είναι γραμμικά πολυμερή της γλυκόζης και το 70% των δεσμών είναι β -1,4 ενώ το 30% β -1,3. Οι δεσμοί 1,3 συνδέουν μονάδες τρισακχαριτών και τετρασακχαριτών, στις οποίες οι μονάδες γλυκόζης συνδέονται με 1,4 δεσμούς. Αποτελούν σημαντικό συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων στη βρώμη και το κριθάρι, και σε μικρότερες ποσότητες στο σιτάρι. Επίσης βρίσκονται στις ζύμες και στα μανιτάρια (όπου συνδέονται με β -1,3 και β -1,6 δεσμούς) και σε βακτήρια και φύκη (β -1,3 δεσμοί). Είναι διαλυτές ίνες και σχηματίζουν ιξώδη υδατικά διαλύματα (Lineback, 1999; Tapola & Sarkkinen, 2009).

3.2.3 Πηκτίνη

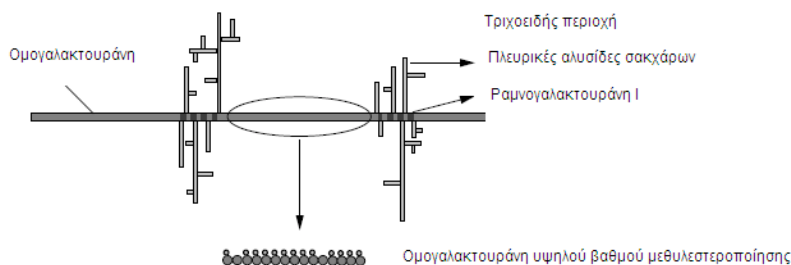
Εκτός από την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες, στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών βρίσκεται και η πηκτίνη, η οποία καθορίζει το πορώδες τους και συνεπώς περιορίζει τη διάχυση σωματιδίων μέσω των τοιχωμάτων (Guillon et al., 2000). Συνδέεται με την κυτταρίνη, προς το σχηματισμό της αδιάλυτης πρωτοπηκτίνης, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό της πηκτίνης κατά την ωρίμανση του φρούτου (Fernandez, 1999). Αποτελείται κυρίως

από επαναλαμβανόμενες μονάδες D-γαλακτουρονικού οξέος, που συνδέονται με α-(1,4) γλυκοζιτικούς δεσμούς, ενώ περιέχει και ουδέτερα σάκχαρα όπως L-ραμνόζη, D-γαλακτόζη και L-αραβινόζη και σε μικρότερο βαθμό D-ξυλόζη (Fernandez, 2001, MacDougall & Ring, 2004). Μέρος των μονάδων του γαλακτουρανικού οξέος έχει εστεροποιηθεί από μεθανόλη (Σχήμα 3.1) και ανάλογα με το αν το ποσοστό εστεροποίησης είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από 50%, οι πηκτίνες διακρίνονται σε υψηλού και χαμηλού βαθμού μεθυλίωσης αντίστοιχα (Dreher, 1999). Στην αλυσίδα των γαλακτουρονικών οξέων παρεμβάλλονται μονάδες ραμνόζης οι οποίες σύμφωνα με μοντέλα που έχουν προταθεί μπορεί να είναι είτε ομοιόμορφα κατανεμημένες είτε να παρεμβάλλονται στην μακριά αλυσίδα ομογαλακτουράνης με τη μορφή «τριχοειδών» περιοχών.



Σχήμα 3.1 Δομή μερικώς εστεροποιημένης ομογαλακτουράνης (Daas et al., 2001).

Οι τριχοειδείς περιοχές περιλαμβάνουν τις μονάδες ραμνόζης και τις πλευρικές αλυσίδες, οι οποίες αποτελούν τα «τριχοειδή» (Σχήμα 2). Οι περιοχές με υψηλή περιεκτικότητα σε ραμνόζη αποτελούν τις ραμνογαλακτουράνες. Στις μονάδες ραμνόζης είναι προσαρτημένες πλευρικές αλυσίδες σακχάρων κυρίως γαλακτόζης και αραβινόζης (αραβινάνες, αραβινογαλακτάνες) και βραχύτερες πλευρικές αλυσίδες άλλων ουδέτερων σακχάρων (γλυκόζη, ξυλόζη, απιόζη, φουκόζη), σε ποσοστό 5-10% του γαλακτουρονικού οξέος (Nielsen, 1996; Powell et al., 1982; de Vries et al., 1982; Endress, 2009; Lopes da Silva & Rao, 2006). Έτσι το πολύπλοκο δίκτυο της πηκτίνης περιλαμβάνει τους εξής πολυσακχαρίτες; ομογαλακτουράνες (α-1,4-D-γαλακτουρονικό οξύ με μερικές από τις καρβοξυλοομάδες μεθυλεστεροποιημένες), και ραμνογαλακτουράνες I και II (Ridley et al., 2001).



Σχήμα 3.2 Απόδοση της πηκτινικής αλυσίδας (Ralet & Thibault, 2002)

Στις ραμνογαλακτουράνες-I η κύρια αλυσίδα αποτελείται από επαναλαμβανόμενους δισακχαρίτες α -1,4-γαλακτουρονικού οξέος και α -1,2-ραμνόζης με πλευρικές αλυσίδες γαλακτόζης, ή αραβινογαλακτάνης και αραβινάνης, ενώ μπορεί να υπάρχουν και μονάδες γλυκουρονικού οξέος, φουκόζης, μεθυλ-ο-γλυκουρονικού οξέος. Στις ραμνογαλακτουράνες-II η κύρια αλυσίδα αποτελείται από τουλάχιστον 8 μονάδες α -1,4-γαλακτουρονικού οξέος και έχει τέσσερις πλευρικές αλυσίδες ολιγοσακχαριτών και ασυνήθιστα σάκχαρα όπως ariose, aceric acid (MacDougall & Ring, 2004; O'Neill et al., 1996; Vidal et al., 2000). Σε σχέση με τις ραμνογαλακτουράνες-I, έχουν μικρότερο αριθμό μονάδων ραμνόζης, οι οποίες βρίσκονται στις πλευρικές αλυσίδες και όχι στην κύρια αλυσίδα. Σε ότι αφορά τη μακρομοριακή δομή της πηκτίνης παλαιότερα είχε προταθεί ότι οι ομογαλακτουράνες και ραμνογαλακτουράνες I (συμπεριλαμβανομένων και των τριχοειδών) σχημάτιζαν μια συνεχή κύρια αλυσίδα στην οποία μεμονωμένες μονάδες ραμνόζης παρεμβάλλονταν μεταξύ των ομογαλακτουρανών, ενώ πιο σύγχρονες μελέτες απεικονίζουν τις ομογαλακτουράνες ως πλευρικές αλυσίδες των ραμνογαλακτουρανών I (Vincken et al., 2003). Οι ραμνογαλακτουράνες II πιθανόν να συνδέονται με τις ομογαλακτουράνες ομοιοπολικά λόγω του ότι και στις δύο περιπτώσεις η κύρια αλυσίδα αποτελείται από μονάδες α -1,4-γαλακτουρονικού οξέος (Ridley et al., 2001).

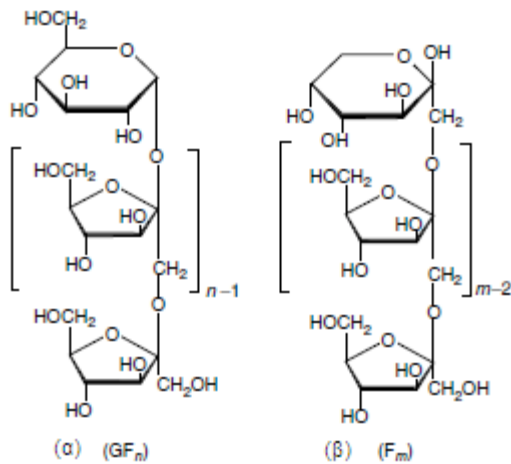
Η πηκτίνη λαμβάνεται με όξινη εκχύλιση κυρίως από φλοιούς εσπεριδοειδών, υπολείμματα έκθλιψης μήλου και πολύτο ζαχαρότευτλων. Η πηκτίνη που λαμβάνεται από τα εσπεριδοειδή και το μήλο έχει υψηλό μοριακό βάρος και υψηλή ικανότητα δέσμευσης νερού, ενώ τα ζαχαρότευτλα δίνουν πηκτίνη μικρότερου μοριακού βάρους. Είναι διαλυτή

στο νερό και έχει την ικανότητα να δεσμεύει νερό και να σχηματίζει πηκτή. Ο βαθμός μεθυλίωσης καθορίζει το σχηματισμό πηκτής (χρόνος σχηματισμού, δύναμη πηκτής), ενώ και η κατανομή των μεθυλο-ομάδων στη αλυσίδα της ομογαλακτουράνης επηρεάζει τις ιδιότητες της πηκτίνης. Ειδικότερα η παρουσία 10 συνεχόμενων μη εστεροποιημένων γαλακτουρονικών μονάδων καθιστά το μόριο της πηκτίνης ευαίσθητο σε αλληλεπιδράσεις με ιόντα ασβεστίου (Daas et al., 2001; Dreher, 1999; Vincken et al., 2003). Κατά κανόνα οι χαμηλού βαθμού μεθυλίωσης πηκτίνες εμφανίζουν αλληλεπίδραση με τα ιόντα ασβεστίου, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη δύναμη της πηκτής (Endress & Mattes, 2009; Fernandez, 2001).

Χρησιμοποιείται ως πηκτικό και ως μέσο πάχυνσης σε μαρμελάδες, προϊόντα ζαχαροπλαστικής, σάλτσες, ανθρακούχα ποτά. Μικρή ποσότητα πηκτίνης χαμηλού βαθμού μεθυλίωσης βελτιώνει την υφή του γιαουρτιού ενώ η υψηλού βαθμού μεθυλίωσης χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητής γαλακτωμάτων και για να βελτιώσει την αίσθηση στο στόμα σε ποτά και σορμπέ χαμηλών θερμίδων (Dreher, 1999; Fernandez, 2001; Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso, 1999b, 2000; Rodriguez et al., 2006). Ειδικότερα στα προϊόντα αρτοποιίας, η πηκτίνη, λόγω της ικανότητας δέσμευσης νερού, μπορεί να συμβάλει στη ρύθμιση της υγρασίας και της παλαιώσης (μπαγιατέματος) του προϊόντος (Endress & Mattes, 2009).

3.2.4 Ινουλίνη

Η ινουλίνη βρίσκεται σε διάφορα φυτά, όπως οι ρίζες του ραδικιού, οι κόνδυλοι ντάλιας και αγκινάρας (Jerusalem), κρεμμύδια, σπαράγγια, ραδίκια, πράσα και σκόρδα (Van Loo et al., 1995). Είναι μίγμα πολυμερών και ολιγομερών β-2,1 φρουκτόζης, με μήκος αλυσίδας που κυμαίνεται από 2 έως 60 μονάδες, ενώ στο τέλος των αλυσίδων φρουκτόζης μπορεί να συνδέονται μονάδες γλυκόζης με α-1,2 δεσμό (Σχήμα 3α) (Niness, 1999). Περιλαμβάνει επίσης και μικρή ποσότητα φρουκτανών στις οποίες δεν υπάρχει η τελική μονάδα γλυκόζης (Σχήμα 3β) (Cousement & Franck, 2001).



Σχήμα 3.3 Δομή της ινουλίνης και της ολιγοφρουκτόζης. (G; μονάδα γλυκόζης, F; μονάδα φρουκτόζης)

Η ινουλίνη λαμβάνεται κυρίως από τις ρίζες ραδικιού με εκχύλιση (Franck & Bosscher, 2009). Το προϊόν έχει μέσο βαθμό πολυμερισμού 10-12 ενώ περιέχει και 6-10% σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη, σακχαρόζη). Με απομάκρυνση των μορίων βραχείας αλυσίδας προκύπτει η «High Performance» ινουλίνη με μέσο βαθμό πολυμερισμού περίπου 25 και αλυσίδα με 11-60 μονάδες (Niness 1999; Franck, 2006). Η ινουλίνη παρουσιάζει μέτρια διαλυτότητα στο νερό και δίνει διαλύματα χαμηλού ιξώδους. Σε υψηλές συγκεντρώσεις ωστόσο σχηματίζει πηκτή και η κρεμώδης υφή που παρέχει την καθιστά κατάλληλη για την υποκατάσταση λιπαρού (de Deckere & Verschuren, 2000; Franck & Bosscher, 2009; Franck, 2006). Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω των σταθεροποιητικών ιδιοτήτων της σε προϊόντα όπως παγωτό, μους, σάλτσες και για την αποφυγή συναίρεσης (Franck & Bosscher, 2009; Srisuvor et al., 2013).

3.2.5 Ολιγοφρουκτόζη

Η ολιγοφρουκτόζη αποτελείται από 2 έως 10 μονάδες β-2,1 φρουκτόζης (Σχήμα 3) (Cousement & Franck, 2001). Παρασκευάζεται από τις ρίζες ραδικιού με όμοια διαδικασία με εκείνη της ινουλίνης με την προσθήκη

ενός σταδίου υδρόλυσης μετά την εκχύλιση. Το προϊόν έχει μέσο βαθμό πολυμερισμού 4 και περιλαμβάνει αλυσίδες φρουκτόζης με την τελική μονάδα γλυκόζης και αλυσίδες φρουκτόζης που δεν διαθέτουν τελική μονάδα γλυκόζης. Επίσης μπορεί να συντεθεί από σακχαρόζη με την επίδραση του ενζύμου β -fructofuranosidase, που συνδέει επιπλέον μονομερή φρουκτόζης στο μόριο της σακχαρόζης, οπότε προκύπτουν φρουκτάνες με 2 έως 4 μονάδες φρουκτόζης, που συνδέονται με την τελική μονάδα γλυκόζης (Niness 1999).

3.2.6 Κόμμεα

Τα κόμμεα μπορεί να είναι εκκρίματα φυτών ή προέρχονται από σπόρους, ρίζες, φύκη και μικροοργανισμούς.

3.2.6.1 Εκκρίματα φυτών

Περιλαμβάνουν το αραβικό κόμμι, το κόμμι καράγια (karaya) και το τραγκακανθικό (tragacanth) κόμμι. Το αραβικό κόμμι προέρχεται από διάφορα είδη ακακίας και έχει δομή παρόμοια με την αραβινογαλακτάνη τύπου II με πιο πολύπλοκες πλευρικές αλυσίδες και πιο συγκεκριμένα αποτελείται από γαλακτόζη, αραβινόζη, ραμνόζη, γλυκουρονικό οξύ και μεθυλ-γλυκουρονικό οξύ. Το αραβικό κόμμι περιέχει ιόντα μαγνησίου, ασβεστίου και καλλίου και μικρή ποσότητα πρωτεΐνης (Williams & Phillips, 2001). Λόγω του υψηλού βαθμού διακλάδωσης παρουσιάζει μεγαλύτερη διαλυτότητα και μικρότερο ιξώδες από τα άλλα υδροκολλοειδή. Χρησιμοποιείται στη ζαχαροπλαστική και τη βιομηχανία αναψυκτικών για τη γαλακτωματοποιητική και σταθεροποιητική του δράση καθώς και για τον εγκλεισμό αρώματος (Dreher, 1999; Williams & Phillips, 2001).

Το κόμμι καράγια παράγεται από το δένδρο *Sterculia* και έχει δομή παρόμοια με εκείνη των πηκτινών, με την κύρια αλυσίδα να αποτελείται από D-γαλακτουρονικό οξύ, L-ραμνόζη και D-γαλακτόζη και τις πλευρικές αλυσίδες να περιέχουν γλυκουρονικό οξύ. Απορροφά νερό και διογκώνεται, παρέχοντας αιωρήματα (διασπορές) υψηλού ιξώδους.

Χρησιμοποιείται σε σάλτσες ως σταθεροποιητής και λόγω της ικανότητας δέσμευσης νερού στο παγωτό (για την αποφυγή σχηματισμού παγοκρυστάλλων) και σε προϊόντα κιμά (Dreher, 1999).

Το τραγακανθικό κόμμι προέρχεται από το φυτό *Atragalus* και αποτελείται από τραγακανθικό οξύ και αραβινογαλακτάνη τύπου II, που του προσδίδουν την ικανότητα διόγκωσης και τη διαλυτότητα αντίστοιχα. Εμφανίζει γαλακτωματοποιητική δράση και βρίσκει εφαρμογή σε σάλτσες και milk shakes μειωμένων λιπαρών (Dreher, 1999; Guillon et al., 2000).

3.2.6.2 Εκχυλίσματα από ρίζες

Το κόμμι κοijnac προέρχεται από τη ρίζα του βοτάνου *Amorphophallus koijnac*. Οι ακετυλοομάδες που βρίσκονται τυχαία διασκορπισμένες στη γραμμική αλυσίδα της γλυκομαννάνης προάγουν τη διαλυτότά του στο νερό. Διαθέτει ιδιότητες σχηματισμού πηκτής και εμφανίζει συνέργεια με την κ-καραγεννάνη, το κόμμι ξανθάνης και τα άμυλα, που το καθιστούν κατάλληλο στη διατήρηση του σχήματος των τροφίμων κατά το μαγείρεμα (Dreher, 1999).

3.2.6.3 Εκχυλίσματα σπόρων

Τα εκχυλίσματα περιλαμβάνουν το κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιών (locust bean gum) και το ψύλλιο. Το κόμμι γκουάρ και το κόμμι χαρουπιών (locust bean gum) είναι γαλακτομαννάνες και αποτελούνται από γραμμική αλυσίδα από μονάδες D-μαννόζης που συνδέονται με β-1,4 δεσμούς και οι μονάδες α-D-γαλακτόζης συνδέονται με την αλυσίδα με 1,6 δεσμούς. Το κόμμι χαρουπιών έχει αναλογία μαννόζης προς γαλακτόζη 4;1 και βρίσκεται στο ενδοσπέρμιο των σπόρων του φυτού *Cerotona siliqua*. Για την ενυδάτωσή του, απαιτείται θέρμανση, οπότε και παρέχει αυξημένο ιξώδες (Cho & Prosky, 1999). Χρησιμοποιείται ως μέσο πάχυνσης και για τη σταθεροποίηση γαλακτωμάτων και την αποφυγή συναίρεσης (Guillon et al., 2000; Dreher, 1999).

Το κόμμι γκουάρ λαμβάνεται από το ενδοσπέρμιο του φυτού *Cyamopsis tetragonolobus*, με προέλευση από την Ινδία και το Πακιστάν. Η αναλογία μαννόζης προς γαλακτόζη είναι 2;1. Το κόμμι γκουάρ διαλύεται

σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, σε σύγκριση με το κόμμι χαρουπιών, λόγω της μικρότερης αναλογίας μαννόζης;γαλακτόζης, παρέχοντας διαλύματα υψηλού ιξώδους,. Χρησιμοποιείται ως μέσο πάχυνσης, ως σταθεροποιητικό και ως παράγοντας δέσμευσης νερού ενώ σε χαμηλές συγκεντρώσεις προσδίδει κρεμώδη υφή (Cho & Prosky, 1999; Dreher, 1999).

Το ψύλλιο προέρχεται από το φυτό *Plantago ovata* το οποίο συναντούμε στην Ασία, τη Βόρειο Αφρική και στις Μεσογειακές χώρες της Ευρώπης. Ο όρος ψύλλιο χρησιμοποιείται εναλλακτικά για το σπόρο, το κέλυφος αλλά και για ολόκληρο το φυτό. Είναι πηγή ινών, που αποτελούνται κυρίως από αραβινοξυλάνες, και βρίσκει εφαρμογή ως σταθεροποιητής σε παγωτό, γιαούρτι και σορμπέ (Cho & Clark, 2001).

3.2.6.4 Εκχυλίσματα από φύκη

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι καραγεννάνες και τα αλγινικά. Οι καραγεννάνες είναι θεϊκά πολυμερή αποτελούμενα από γαλακτόζη και ανυδρογαλακτόζη και παράγονται από ερυθρά φύκη. Οι τρεις τύποι της καραγεννάνης (κ-, ι- και λ-), διαφέρουν ως προς το βαθμό εστεροποίησης και την κατανομή των ομάδων εστεροποίησης με θειικό οξύ. Η ι-καραγεννάνη σχηματίζει ελαστικές πηκτές που δεν εμφανίζουν συναίρεση παρουσία ιόντων ασβεστίου. Η κ-καραγεννάνη επίσης σχηματίζει ισχυρές πηκτές των οποίων η συναίρεση ρυθμίζεται με ανάμιξη με ι-καραγεννάνη (Inglett, 1997; Bollinger, 1995). Η λ-καραγεννάνη δρα ως μέσο πάχυνσης αλλά δεν έχει ιδιότητες σχηματισμού πηκτής (Bollinger, 1995). Οι καραγεννάνες χρησιμοποιούνται λόγω της ικανότητάς τους να σχηματίζουν πηκτή, της γαλακτωματοποιητικής και σταθεροποιητικής δράσης τους και ως μέσα πάχυνσης (Dreher, 1999), στην παρασκευή προϊόντων τυριού χαμηλών λιπαρών, ροφημάτων γάλακτος και μαρμελάδων μειωμένης ζάχαρης (Herald, 1986; Morris, 1990; Cho & Prosky, 1999).

Τα αλγινικά εξάγονται από τα καφέ φύκη (*Phaeophyceae*) και είναι πολυμερή του β-(1,4)-D-μανουρονικού οξέος ή του α-(1,4)-L-γουλουρονικού οξέος, τα οποία είναι διαταγμένα είτε σε ομοπολυμερή (M-blocks, G-blocks) είτε σε ετεροπολυμερή όπου εναλλάσσονται οι μονάδες των δύο οξέων. Οι ιδιότητες των αλγινικών διαλυμάτων καθορίζονται από την αναλογία του μανουρονικού οξέος προς το γουλουρονικό καθώς και

από τη δομή του πολυμερούς. Τα αλγινικά σχηματίζουν μη αναστρέψιμες πηκτές σε ψυχρό νερό παρουσία ιόντων ασβεστίου, ιδιότητα που τα διακρίνει από τα υδροκολλοειδή των ερυθρών φυκών. Τα αλγινικά χρησιμοποιούνται ως μέσα πάχυνσης, ζελοποίησης, σταθεροποίησης γαλακτωμάτων καθώς και για το σχηματισμό μεμβρανών και την αποφυγή συναίρεσης (Dreher, 1999; Onsoyen, 2001).

3.2.6.5 Κόμμεα παραγόμενα από μικροοργανισμούς

Το κόμμι ξανθάνης παράγεται από τον μικροοργανισμό *Xanthanomonas campestris* με αναερόβια ζύμωση. Αποτελείται από μονάδες D-γλυκόζης που συνδέονται με β-1,4 δεσμούς όπως στην κυτταρίνη, και πλευρικές αλυσίδες με δύο μόρια μαννόζης και ένα μόριο γαλακτουρανικού οξέος. Η ξανθάνη είναι ευδιάλυτη σε θερμό ή ψυχρό νερό, και παρέχει υψηλά ιξώδη. Χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητής και ως παράγοντας πάχυνσης, ενώ βρίσκεται εφαρμογές και σε προϊόντα μειωμένων λιπαρών (Cho & Prosky, 1999; Dreher, 1999; Clegg, 1996).

Το κόμμι τζέλαν παράγεται από τον μικροοργανισμό *Pseudomonas elodea* και αποτελείται από 1,3-β-D-γλυκόζη, 1,4-β-D- γλυκουρονικό οξύ, 1,4-β-D-γλυκόζη και 1,4-α-D-ραμνόζη. Χρησιμοποιείται ως μέσο πάχυνσης, σταθεροποίησης, και για το σχηματισμό μεμβρανών ενώ έχει και ιδιότητες σχηματισμού πηκτής. Ειδικότερα στα προϊόντα αρτοποιίας το κόμμι τζέλαν βελτιώνει την υγρασία του προϊόντος, και σε αντίθεση με άλλα κόμμεα (ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη) που ενυδατώνονται κατά το στάδιο της ανάμιξης, το κόμμι τζέλαν ενυδατώνεται κατά τον κλιβανισμό με αποτέλεσμα να μην επιφέρει αύξηση του ιξώδους της ζύμης (Valli & Miskiel, 2001; Guillon et al., 2000; Dreher, 1999).

3.2.7 Συνθετικοί ή τροποποιημένοι πολυσακχαρίτες

3.2.7.1 Παράγωγα της κυτταρίνης

Με χημική και φυσική τροποποίηση της κυτταρίνης λαμβάνονται τα παράγωγά της, τα οποία διαφέρουν από την κυτταρίνη ως προς την έκταση της κρυσταλλικότητας, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν υψηλή διαλυτότητα και να παρέχουν ιξώδη διαλύματα. Η μετατροπή της

κυτταρίνης στα παράγωγά της απαιτεί διατάραξη της κρυσταλλικής δομής της και σπάσιμο των δεσμών υδρογόνου (Takahashi, 2009). Με χημική τροποποίηση της κυτταρίνης παραλαμβάνονται υδατοδιαλυτά κόμματα αυτής, που περιλαμβάνουν την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, τη μεθυλοκυτταρίνη και την υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (Guillon et al., 2000). Το άλας της καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης έχει την ικανότητα σχηματισμού πηκτής και χρησιμοποιείται ως μέσο πάχυνσης και ως σταθεροποιητής σε τρόφιμα χαμηλών λιπαρών. Η μεθυλοκυτταρίνη και η υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη σχηματίζουν πηκτή κατά τη θέρμανσή τους, με αποτέλεσμα να έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν μεμβράνες που δρουν ως προστατευτικό επικάλυμμα από το λάδι στα τηγανητά προϊόντα, ενώ μειώνουν την απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Ang & Miller, 1991; Dreher, 1999). Στα προϊόντα αρτοποιίας βελτιώνουν τη συνεκτικότητα της ζύμης και ενδυναμώνουν τα τοιχώματα των φυσαλίδων αέρα που αναπτύσσονται κατά τον κλιβανισμό. Χρησιμοποιούνται επίσης ως πρόσθετα σε σάλτσες και σούπες για τη βελτίωση της σταθερότητας τους, ενώ βρίσκουν εφαρμογή και στην υποκατάσταση του λιπαρού, όπως θα αναπτυχθεί στο επόμενο κεφάλαιο (Cho & Prosky, 1999; Dreher, 1999). Με φυσική τροποποίηση της κυτταρίνης λαμβάνονται η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη και η κυτταρίνη σε μορφή σκόνης (powdered). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα πάχυνσης και ειδικότερα η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη ως υποκατάστατο λιπαρού (Cho & Prosky, 1999; Guillon et al., 2000; Takahashi, 2009).

3.2.7.2 Πολυδεξτρόζη

Η δομή και η ιδιότητες της πολυδεξτρόζης αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2. Εκτός από τον εμπλουτισμό με διαιτητικές ίνες μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο λιπαρού ή ζάχαρης, ως υγροσκοπική και κρυσταλλική ουσία (Craig et al., 1999; Stowell, 2009; Sungsoo Cho & Prosky, 1999).

3.3 Πηγές Διαιτητικών Ινών - Συμπυκνώματα, Υπερσυμπυκνώματα Διαιτητικών Ινών

Οι διαιτητικές ίνες απαντώνται ως εγγενή συστατικά διαφόρων φυτικών τροφίμων και ως πρόσθετα τροφίμων. Πηγές των διαιτητικών ινών είναι τα σιτηρά, οι ρίζες, οι βολβοί, τα φρούτα, τα λαχανικά και τα όσπρια. Τα πρόσθετα περιλαμβάνουν τα συμπυκνώματα ινών (concentrates), τα οποία λαμβάνονται με επεξεργασία των φρούτων, λαχανικών, οσπρίων και σιτηρών, και τα υπερσυμπυκνώματα (isolates). Ειδικότερα τα συμπυκνώματα από τα φρούτα και τα λαχανικά λαμβάνονται με διεργασίες αφυδάτωσης (π.χ. θερμική αφυδάτωση, λυοφιλίωση), ή είναι παραπροϊόντα που προκύπτουν κατά την επεξεργασία των φρούτων και των λαχανικών (π.χ. κατά την παραλαβή του χυμού τους) ή κατά την εκχύλιση για την απομόνωση συγκεκριμένων συστατικών, όπως πηκτινών, αμύλου, πρωτεϊνών (Guillon et al., 2000).

Τα υπερσυμπυκνώματα λαμβάνονται με εκχύλιση, καθαρισμό και ανάκτηση ενός τύπου πολυσακχαριτών (π.χ. πηκτίνες, αλγινικά, β-γλυκάνες, ινουλίνη), με ξήρανση και άλεση φυτικών εκκριμάτων (π.χ. αραβικό κόμμι), ή με οργανική σύνθεση (πολυδεξτρόζη). Οι συνθήκες εξαγωγής διαφοροποιούνται ανάλογα με τους πολυσακχαρίτες που παραλαμβάνονται. Στα υπερσυμπυκνώματα συμπεριλαμβάνονται η κυτταρίνη και οι τροποποιημένες κυτταρίνες, το ανθεκτικό άμυλο και οι φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (Guillon et al., 2000).

3.3.1 Ίνες από φρούτα και λαχανικά

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα παραπροϊόντα της επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών συχνά αποτελούν σημαντική πηγή ανάκτησης διαιτητικών ινών. Έτσι λαχανικά, όπως η πιπεριά, η αγκινάρα, το κρεμμύδι και το σπαράγγι αποτελούν πηγή πλούσια σε διαλυτές και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (Rodríguez et al., 2006). Πλούσια σε πηκτίνες είναι τα παραπροϊόντα εσπεριδοειδών, μήλου (Fernando et al., 2005), σταφυλιού (Schieber et al., 2001), και μάγκο (Sudakar & Maini, 2000). Το γεγονός ότι πολλές από τις ίνες αυτές παρουσιάζουν και αντιοξειδωτική ικανότητα, αυξάνει τη διατροφική αξία τους. Υψηλή περιεκτικότητα σε ίνες παρουσιάζει και το ακτινίδιο (Martin-Carbejas et al., 1995), ενώ το κέλυφος

του ανανά εμφανίζει υψηλό ποσοστό αδιάλυτων διαιτητικών ινών, με επίσης υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα (Larrauri et al., 1997).

Στα λαχανικά, των οποίων παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκτηση λειτουργικών συστατικών, περιλαμβάνονται η πατάτα, το καρότο, η τομάτα, και το κρεμμύδι (Schieber et al., 2001). Τα υποπροϊόντα της παραγωγής του ελαιολάδου είναι πλούσια σε ίνες και φαινολικά συστατικά (Haredia et al., 1993). Ίνες λαμβάνονται από την πούλπα του ζαχαρότευτλου, η οποία είναι παραπροϊόν της παραγωγής ζάχαρης, ή απευθείας από τις ρίζες του ζαχαρότευτλου (Guillon et al., 2000).

3.3.1.1 Ίνες καρότου

Τα παραπροϊόντα της επεξεργασίας καρότου (πολτός (romace), φλοιός (peels)) εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε ωφέλιμα συστατικά, και ιδιαίτερα σε αντιοξειδωτικά (Zhang & Hamauzu, 2004). Ειδικότερα ο πολτός καρότου, που παραλαμβάνεται κατά τη χυμοποίηση, αποτελεί το 50% της πρώτης ύλης και είτε χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή είτε απορρίπτεται με συνέπεια τη σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση (Sharma et al., 2012). Ωστόσο ο πολτός καρότου περιέχει διαιτητικές ίνες σε ποσοστό 37-48%, με την κυτταρίνη και τη λιγνίνη, να αποτελούν το 51% και 32% του συνόλου των διαιτητικών ινών, αντίστοιχα (Bao & Chang, 1994, Nawirska & Kwasniewska, 2005). Οι πηκτίνες συνιστούν το χαμηλότερο ποσοστό, όπως παρατηρείται και στον πολτό φρούτων (μήλου, κερασιού, σταφυλιού, αχλαδιού) (Nawirska & Kwasniewska, 2005). Στο φλοιό του καρότου η περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες είναι χαμηλότερη από εκείνη του πολτού αλλά είναι υψηλότερη η περιεκτικότητα σε πηκτίνες (Chantaro et al., 2008).

Οι ίνες καρότου παρουσιάζουν τις ευεργετικές επιδράσεις των διαιτητικών ινών, που θα αναπτυχθούν εκτενώς παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα μειώνουν τα επίπεδα λιπιδίων και χοληστερόλης (Hsu et al., 2006), βελτιώνουν τη λειτουργία του εντέρου (Chau & Chen, 2006), προάγουν την αίσθηση του κορεσμού (Moorhead et al., 2006) και μπορούν να εμφανίζουν υπογλυκαιμική επίδραση μέσω της προσρόφησης της

γλυκόζης και της παρεμπόδισης της δράσης της α-αμυλάσης (Chau et al., 2004).

3.4 Ιδιότητες των ινών

Οι ιδιότητες των ινών επηρεάζουν την επίδραση τους στον οργανισμό αλλά και την τεχνολογική λειτουργικότητά τους, οι οποίες και καθορίζουν την προσθήκη τους στα τρόφιμα.

3.4.1 Ιδιότητες ενυδάτωσης

Η ενυδάτωση περιλαμβάνει τις έννοιες της απορρόφησης, της συγκράτησης, της δέσμευσης νερού και της διατήρησης. Πιο συγκεκριμένα οι ιδιότητες ενυδάτωσης ορίζονται ως εξής;

- Απορρόφηση νερού (Water absorption); ο ρυθμός απορρόφησης του νερού υπό ορισμένες συνθήκες. Η απορρόφηση νερού παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον όγκο των πόρων των ινών και ειδικότερα για την κατανόηση της συμπεριφοράς των ινών κατά τη διέλευση τους από το γαστρεντερικό σύστημα (Guillon & Champ, 2000, Thibault et al., 1992, 1994, 1997).
- Ικανότητα συγκράτησης νερού (Water holding capacity); η ποσότητα του νερού που είναι δεσμευμένη στις ίνες χωρίς την εφαρμογή εξωτερικής δύναμης (πλην της βαρύτητας και της ατμοσφαιρικής πίεσης)
- Ικανότητα δέσμευσης νερού (Water binding capacity); η ποσότητα του νερού που παραμένει δεσμευμένη στις ίνες μετά την εφαρμογή εξωτερικής δύναμης (πίεσης ή φυγοκέντρωσης)
- Ικανότητα διατήρησης νερού (Water retention capacity); η ποσότητα του νερού που διατηρείται από γνωστό βάρος αδιάλυτων ινών, υπό τις συνθήκες χρήσης και κατόπιν φυγοκέντρωσης, στο αδιάλυτο υπόστρωμα (ίζημα)
- Διόγκωση (Swelling); ο όγκος που καταλαμβάνεται από γνωστό βάρος ινών όταν αποκαθίσταται ισορροπία παρουσία περίσσειας διαλύτη (συνήθως νερού)

Οι ιδιότητες ενυδάτωσης των διαιτητικών ινών εξαρτώνται από τη χημική σύνθεση, και συγκεκριμένα τις υδρόφιλες ή υδρόφοβες περιοχές των πολυσακχαριτών, τα φορτισμένα πολυμερή, τις άμορφες και κρυσταλλικές περιοχές των πολυμερών καθώς και τα φυσικά χαρακτηριστικά των ινών όπως το πορώδες και το σωματιδιακό μέγεθος, με τις ίνες που αποτελούνται από πολυσακχαρίτες των πρωτογενών κυτταρικών τοιχωμάτων να παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές των ιδιοτήτων ενυδάτωσης από εκείνες που αποτελούνται από πολυσακχαρίτες των δευτερογενών κυτταρικών τοιχωμάτων (Guillon & Champ, 2000; Thibault et al., 1992, 1994). Επίσης η επεξεργασία που επιφέρει τροποποίηση της σύνθεσης και των φυσικών ιδιοτήτων των ινών, έχει σημαντική επίδραση και στις ιδιότητες ενυδάτωσης τους (Thibault et al., 1992, 1994). Παράγοντα αποτελεί και το φυσικο-χημικό περιβάλλον, και συγκεκριμένα συνθήκες, όπως το pH, η θερμοκρασία, η παρουσία ιόντων ή άλλων μορίων επηρεάζουν τις ιδιότητες ενυδάτωσης τους (Fleury & Lahaye, 1991; Thibault et al., 1992, 1994). Πιο συγκριμένα οι τιμές των ιδιοτήτων ενυδάτωσης αυξάνουν με την αύξηση της θερμοκρασίας, πιθανόν λόγω της αύξησης της διαλυτότητας (Fleury & Lahaye, 1991). Κατά τη διέλευσή των ινών από το γαστρεντερικό σύστημα, οι ιδιότητες ενυδάτωσης τους μπορεί να αποκλίνουν από εκείνες των ινών πριν την πέψη, λόγω των συνθηκών του γαστρεντερικού συστήματος και της ζύμωσης που υφίστανται (Guillon et al., 2000).

Η διόγκωση σχετίζεται με τη διαλυτότητα και πιο συγκεκριμένα η διαλυτοποίηση έπεται της διόγκωσης των πολυσακχαριτών. Ορισμένοι πολυσακχαρίτες ωστόσο, όπως η κυτταρίνη, διογκώνονται αλλά δεν διαλύονται. Ειδικότερα στους αδιάλυτους πολυσακχαρίτες (για τους οποίους οι ιδιότητες της συγκράτησης και της δέσμευσης νερού είναι περισσότερο σχετικές) το νερό δεσμεύεται είτε μέσω της επιφανειακής τάσης στους πόρους της μήτρας είτε με δεσμούς υδρογόνου, ιοντικούς δεσμούς και/ή υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις, ανάλογα με τη χημική δομή, την ένωση των μορίων, το μέγεθος των σωματιδίων, το πορώδες των ινών και την επίδραση του διαλύτη και της θερμοκρασίας. (Thebaudin et al., 1997).

3.4.2 Διαλυτότητα

Η διαλυτότητα αφορά ουσιαστικά τη διασπορά των μακρομορίων στο νερό και εξαρτάται από τη δομή των πολυσακχαριτών και από παράγοντες όπως η ιοντική δύναμη και η θερμοκρασία. Οι αλυσίδες με διακλαδώσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαλυτότητα έναντι των γραμμικών, λόγω των ασθενέστερων δεσμών μεταξύ των μορίων. Επιπλέον οι τύποι των δεσμών μεταξύ των σακχάρων, π.χ. α (1-6), αυξάνουν την ευελιξία της αλυσίδας και κατ'επέκταση τη διαλυτότητα των πολυσακχαριτών. Η ύπαρξη φορτισμένων ή ιονισμένων ομάδων (π.χ. ουρονικών οξέων) αυξάνει τη διαλυτότητα των πολυσακχαριτών, ανάλογα με το pH, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση άλλων συστατικών στο νερό (π.χ. αλάτων, σακχάρων) (Thebaudin et al., 1997; Guillon & Champ, 2000).

3.4.3 Ικανότητα δέσμευσης ελαίου (*Oil Holding Capacity*)

Η ικανότητα δέσμευσης ελαίου είναι η ποσότητα του ελαίου που συγκρατείται από τις ίνες μετά από φυγοκέντρωση και εξαρτάται από τις ιδιότητες της επιφάνειας των σωματιδίων, την παρουσία ιόντων και τον υδρόφιλο χαρακτήρα των συστατικών (Fleury & Lahaye, 1991).

3.4.4 Ιξώδες

Η ικανότητα αύξησης του ιξώδους ενός διαλύματος σχετίζεται κυρίως με τις διαλυτές ίνες και εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως η δομή, η χημική σύσταση, η συγκέντρωση, το μοριακό βάρος τους, ενώ το pH, η θερμοκρασία, η υγρασία, ο ρυθμός διάτμησης και η επεξεργασία που έχουν υποστεί αποτελούν επίσης σημαντικούς παράγοντες (Dikeman & Fahey, 2006; Guillon et al., 2000). Συγκεκριμένα επεξεργασίες που προκαλούν την υδρόλυση των διαιτητικών ινών προς χαμηλότερου μοριακού βάρους μόρια, περιορίζουν την ικανότητά τους για αύξηση του ιξώδους, σε αντίθεση με επεξεργασίες, όπως η εκβολή, που οδηγούν σε αύξηση της ποσότητας των υδατοδιαλυτών μορίων χωρίς τον εκτενή διαχωρισμό τους. Υπό ορισμένες συνθήκες κάποιοι πολυσακχαρίτες μπορούν να σχηματίσουν πηκτές (Guillon et al., 2000; Guillon & Champ, 2000).

Κατά τη διέλευση των ινών από το γαστρεντερικό σύστημα το ιξώδες διαφοροποιείται από εκείνο πριν την πέψη, καθώς υπόκεινται σε μεταβολές του pH, της συγκέντρωσης, και υφίστανται και αποπολυμερισμό (Dikeman & Fahey, 2007; Guillon et al., 2000; Guillon & Champ, 2000). Το ιξώδες διασπορών ινών όπως οι πηκτίνες, που εμφανίζονται σε όξινη μορφή ή υπό μορφή άλατος, είναι περισσότερο ευαίσθητες σε μεταβολές του pH (Guillon & Champ, 2000).

3.5 Φυσιολογικές επιδράσεις των διαιτητικών ινών

Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη διαιτητικών για τους ενήλικες άντρες και τις γυναίκες έχει οριστεί στα 36 και 28 g, αντίστοιχα, βάσει της ποσότητας για την οποία έχει παρατηρηθεί μείωση του κινδύνου εμφάνισης στεφανιαίας νόσου (FNB, IOM, 2002). Ωστόσο πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι η μέση κατανάλωση διαιτητικών ινών από ενήλικες στις ΗΠΑ δεν υπερβαίνει το μισό της συνιστώμενης ποσότητας (Anderson et al., 2009). Επιπλέον οι χαμηλών θερμίδων δίαιτες είναι μειωμένες περιεκτικότητας σε διαιτητικές ίνες, ενώ δίαιτες πλούσιες σε πρωτεΐνες και μειωμένου υδατανθρακικού φορτίου περιορίζουν περαιτέρω την πρόσληψη διαιτητικών ινών.

Ωστόσο οι διαιτητικές ίνες μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο για τη μείωση του σωματικού βάρους ενώ ενθαρρυντικά είναι τα στοιχεία και για άλλες παθήσεις του μεταβολικού συνδρόμου. Κλινικές μελέτες καταδεικνύουν την επίδραση των διαιτητικών ινών στη μείωση της LDL-χοληστερόλης (Anderson et al., 1999; Brown et al., 1999; Ripsin et al., 1992), στον έλεγχο (Burke et al., 2001; Jenkins et al., 2002) ή και την πρόληψη της υπέρτασης (He et al., 2004), ενώ επιδημιολογικές μελέτες καταδεικνύουν την αντίστροφη συσχέτιση της πρόσληψης διαιτητικών ινών με το κίνδυνο εμφάνισης στεφανιαίας νόσου (Bazanno et al., 2003; Pereira et al., 2004), διαβήτη (Fung et al., 2002; Salmeron et al., 1997; Sierra et al., 2002; Pereira et al., 2002; Ylonen et al., 2003), καρκίνου του εντέρου και του μαστού (Cummings et al., 1992; Howe et al., 1992; Kim 2000; Prentice 2000; Young et al., 2005), ενώ φαίνεται να έχουν και αντιφλεγμονώδη δράση (Kaczmarczyk et al., 2012).

3.5.1 Επίδραση των διαιτητικών ινών στον έλεγχο του σωματικού βάρους

Οι διαιτητικές ίνες ανάλογα με το επίπεδο της ζύμωσης που απαιτείται στο παχύ έντερο αποδίδουν χαμηλό θερμιδικό φορτίο (0 έως 2 kcal/g), ενώ δημιουργούν την αίσθηση κορεσμού μέσω της αύξησης του ιξώδους του περιεχομένου στο στομάχι και της επιβράδυνσης της γαστρικής κένωσης (Kristensen & Jensen, 2011; Touyrou et al., 2012). Σύμφωνα με τους Howarth et al. (2001), οι διαιτητικές ίνες προάγουν περισσότερο την αίσθηση του κορεσμού σε σύγκριση με τους σύνθετους αφομοιώσιμους υδατάνθρακες και τα σάκχαρα. Επιπλέον επιφέρουν μείωση στα μεταγευματικά επίπεδα γλυκόζης και ινσουλίνης, όπως αναφέρεται παρακάτω, που ρυθμίζουν την όρεξη (Raninen et al., 2011; Slavin, 2005).

3.5.2 Επίδραση των διαιτητικών ινών στα επίπεδα της γλυκόζης

Σύμφωνα με μελέτες (Oestmann et al., 2006; Behall et al., 2006), οι διαλυτές διαιτητικές ίνες ελαττώνουν τα μεταγευματικά επίπεδα της γλυκόζης και της ινσουλίνης. Οι μηχανισμοί της επίδρασης των ινών στη γλυκαιμική απόκριση εξαρτώνται από τη δομή και τα χαρακτηριστικά τους και κυρίως την ικανότητα αύξησης του ιξώδους (Guillon & Champ, 2000; Wood et al., 2000). Ειδικότερα το ιξώδες των διαλυτών ινών (π.χ. β-γλυκάνη, πηκτίνη) μπορεί να επηρεάσει την απορρόφηση της γλυκόζης μέσω ορισμένων μηχανισμών; επιβράδυνση της γαστρικής κένωσης, μείωση της πρόσβασης της α-αμυλάσης στο υπόστρωμά της (άμυλο), επιβράδυνση της απορρόφησης της γλυκόζης που παράγεται από την υδρόλυση του αμύλου λόγω της επιβράδυνσης της διάχυσης της και της αύξησης του στάσιμου στρώματος νερού στην επιφάνεια του λεπτού εντέρου (Guillon & Champ, 2000; Papathanasopoulos & Camilleri, 2010; Jenkins et al., 2004). Στο ιξώδες οφείλεται και η επίδραση των κόμμεων υψηλού μοριακού βάρους (πχ. κόμμα γκουάρ) στη γλυκαιμική απόκριση (Guillon & Champ, 2000). Η επίδραση των αδιάλυτων ινών πιθανόν να σχετίζεται με μεταβολές που προκαλούν στη μικροχλωρίδα του εντέρου. Ειδικότερα η βρώμη, η σίκαλη και το κριθάρι (που είναι πλούσιες στη διαλυτή β-γλυκάνη) εμφανίζουν μεγαλύτερη υπογλυκαιμική επίδραση σε σύγκριση με το σιτάρι. Το μεγαλύτερο σωματιδιακό μέγεθος των ινών, ο μικρότερος βαθμός επεξεργασίας, που έχει ως αποτέλεσμα την

επιβράδυνση της γαστρικής κένωσης, και η υψηλή αναλογία αμυλόζης/αμυλοπηκτικής αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν την υπογλυκαιμική επίδραση των σιτηρών (Parathanosopoulos & Camilleri, 2010). Επίσης οι διαιτητικές ίνες ενδέχεται να επηρεάζουν την έκκριση ορισμένων ορμονών, που ρυθμίζουν τα μεταγευματικά επίπεδα της ινσουλίνης και της γλυκόζης (Lairon, 2007; Lattimer et al., 2010; Pereira et al., 2001).

3.5.3 Επίδραση των διαιτητικών ινών στα επίπεδα της χοληστερόλης

Σημαντική είναι και η επίδραση των διαλυτών διαιτητικών ινών στη μείωση των επιπέδων της LDL-χοληστερόλης (Anderson et al., 2009; Jenkins et al., 2000; Karmally et al., 2005; Wood, 2004). Αν και ο μηχανισμός της μείωσης της χοληστερόλης λόγω των διαιτητικών ινών δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως, ο πιο πιθανός μηχανισμός φαίνεται να είναι η μείωση της απορρόφησης των χολικών οξέων. Ειδικότερα για τις διαλυτές ίνες οι μηχανισμοί που έχουν προταθεί για τη μείωση της χοληστερόλης περιλαμβάνουν τη δράση των λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας που παράγονται από τη ζύμωση των ινών στο παχύ έντερο αλλά και την επίδραση τους στο μεταβολισμό των λιπιδίων και των χολικών οξέων. Πιο συγκεκριμένα οι διαλυτές ίνες όπως το ψύλλιο, η β-γλυκάνη, η πηκτίνη, μέσω της αύξησης του ιξώδους του εντερικού περιεχομένου, προκαλούν μείωση του ρυθμού διάχυσης των χολικών οξέων και τελικά την αποβολή τους. Έχει επίσης προταθεί ότι οι διαλυτές ίνες δημιουργούν ένα παχύ στρώμα στο έντερο που περιορίζει την απορρόφηση των λιπαρών, συμπεριλαμβανόμενων των χολικών οξέων και της χοληστερόλης (Theuwissen & Mensink, 2008). Η απώλεια των χολικών οξέων αντισταθμίζεται μέσω της σύνθεσης τους από την LDL-χοληστερόλη με αποτέλεσμα τη μείωση των συγκεντρώσεων της τελευταίας (Hillman et al., 1986). Οι αδιάλυτες ίνες δεσμεύουν τα χολικά οξέα στο λεπτό έντερο, τα οποία αποβάλλονται από τον οργανισμό μαζί με τις μη αφομοιωμένες ίνες, με αποτέλεσμα τη μείωση της χοληστερόλης (Chau et al., 2004). Ωστόσο η επίδραση των αδιάλυτων ινών, που χαρακτηρίζονται από χαμηλή ή μέτρια δέσμευση χολικών οξέων στη μείωση της χοληστερόλης, οφείλεται κυρίως στη μειωμένη πρόσληψη χοληστερόλης μέσω της τροφής λόγω της

αύξησης του κορεσμού που προκαλούν (van Bennekum et al., 2005). Οι διαιτητικές ίνες μπορεί να επηρεάζουν το μεταβολισμό των λιπιδίων και μέσω της παραγωγής λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας (Kaczmarezyk et al., 2012). Ωστόσο τα αποτελέσματα των ερευνών σχετικά με την επίδραση των λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας και ειδικότερα των μεταβολών της αναλογίας προπιονικού προς οξικό στο μεταβολισμό των λιπιδίων είναι αντικρουόμενα (Theuwissen & Mensink, 2008).

Σύμφωνα με την έρευνα των Zacherl et al. (2011), η δέσμευση των χολικών οξέων από τις διαιτητικές ίνες μπορεί να επηρεάζεται και από άλλες δεσμευτικές δυνάμεις πλην του ιξώδους των ινών. Η ικανότητα δέσμευσης των ινών μπορεί επίσης να επηρεαστεί από επεξεργασίες όπως η άλεση, που διευκολύνει την πρόσβαση στη δεσμευτική επιφάνεια (Guillon et al., 2000).

3.5.4 Επίδραση των διαιτητικών ινών στο έντερο

Η ευεργετική επίδραση των ινών στο έντερο περιλαμβάνει τη μείωση της έκθεσης σε τοξίνες μέσω της μείωσης του χρόνου διέλευσης των κοπράνων και της απορρόφησης τοξικών ουσιών (π.χ. χολικά οξέα, τοξίνες από βακτήρια) από τις διαιτητικές ίνες. Σημαντική είναι και η επίδραση λόγω της ζύμωσης των διαιτητικών ινών στο εντερικό σύστημα προς λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (οξικό, προπιονικό και βουτυρικό), όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα οποία με τη σειρά τους συμβάλλουν στη μείωση του pH και παρεμποδίζουν την ανάπτυξη μη ωφέλιμων βακτηρίων. Η επίδραση των ινών εξαρτάται από την ποσότητα και τον τύπο των λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας, που με τη σειρά τους εξαρτώνται από το είδος των ινών (Guillon & Champ, 2000). Για παράδειγμα η ζύμωση της πηκτίνης οδηγεί κυρίως σε οξικό οξύ (Lupton and Kurtz, 1993), ενώ από τη ζύμωση του αραβικού κόμμεος και των κυκλοδεξτρίνων παράγεται προπιονικό (Kaewprasert et al., 2001; Ushida et al., 2011). Ευεργετική είναι και η πρεβιοτική δράση ορισμένων ινών (φρουκτο-ολιγοσακχαριτών, γαλάκτο-ολιγοσακχαριτών). Ειδικότερα η δράση της ολιγοφρουκτόζης και της ινουλίνης αναπτύσσεται παρακάτω.

Αρνητικές επιδράσεις που μπορούν να εμφανιστούν λόγω της υπερβολικής κατανάλωσης διαιτητικών ινών αφορούν κυρίως εντερικές

διαταραχές και τη μειωμένη απορρόφηση βιταμινών, μετάλλων, πρωτεϊνών και πρόσληψη ενέργειας (ADA, 2008).

3.5.5 Φυσιολογικές επιδράσεις ινουλίνης, ολιγοφρουκτόζης

Η μέση ημερήσια κατανάλωση ινουλίνης και ολιγοφρουκτόζης κυμαίνεται μεταξύ 1 και 4 g στις ΗΠΑ_ και 3 με 11 g στην Ευρώπη (MoshFeng et al., 1999; Miremadī & Shah, 2012) και κύριες πηγές κατανάλωσης είναι το σιτάρι, τα κρεμμύδια, το σκόρδο και το πράσο (Van Loo et al., 1995).

Οι β2-1 γλυκοζιτικοί δεσμοί τους προσδίδουν τις ιδιότητες των διαιτητικών ινών καθώς και το χαμηλό θερμιδικό φορτίο τους (Roberfroid, 1999a,b 2002). Η περιγραφή τους ως μη-αφομοιώσιμοι υδατάνθρακες (Delzenne & Roberfroid, 1994; Roberfroid and Slavin, 2000) ενισχύεται από στοιχεία *in vitro* (Alles et al., 1996) και *in vivo* (Knudsen & Hessov, 1995) μελετών. Έτσι φτάνουν στο παχύ έντερο, όπου υφίστανται ζύμωση, που οδηγεί στην παραγωγή γαλακτικού οξέος και λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας (κυρίως οξικού) που με τη σειρά τους επιφέρουν μείωση του pH και παρεμποδίζουν την ανάπτυξη παθογόνων (Alles et al., 1996; McBain & Macfarlane, 1997). Επιπλέον όπως και άλλες διαιτητικές ίνες συμβάλλουν στη καλή λειτουργία του εντέρου (Nyman, 2002; Den Hond et al., 2000, Cherbut, 2002). Ειδικότερα σε ότι αφορά την επίδραση στο γαστρεντερικό σύστημα, εκτός από τα κοινά χαρακτηριστικά της ινουλίνης και της ολιγοφρουκτόζης με άλλες διαιτητικές ίνες (μη αφομοίωση στο λεπτό έντερο, ζύμωση), διαφοροποιούνται ως προς την ικανότητα αύξησης του ιξώδους και δέσμευσης ορισμένων ουσιών, όπως τα χολικά οξέα (Schneeman, 1999). Επιπλέον διαθέτουν και πρεβιοτική δράση καθώς προάγουν την ανάπτυξη των bifidobacteria, τα οποία ωφελούν τον οργανισμό καθώς παρεμποδίζουν την ανάπτυξη βλαβερών βακτηρίων και ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα, την απορρόφηση ορισμένων ιόντων και τη σύνθεση βιταμινών του συμπλέγματος B (Boehm et al., 2002; Bouhnik et al., 1996; Gibson, 2000; Kolida et al., 2002; Ramirez-Farias et al., 2009; Van Loo et al., 1998). Έτσι συμβάλλουν στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης παθήσεων του παχέος εντέρου (Gibson et al., 2005; Johnson 2002; Wollowski et al., 2000).

Η ευεργετική για τον οργανισμό επίδραση των συγκεκριμένων φρουκτάνων περιλαμβάνει ακόμη τη βελτίωση της απορρόφησης ασβεστίου (Scholz-Arhens et al., 2001; Scholz-Ahrens & Scherenmier, 2002; Abrams et al., 2005), τη μείωση των τριγλυκεριδίων και της LDL-χοληστερόλης (Beylot, 2005; Davidson et al., 1998 Jackson et al., 1999;), ενώ σε αντίθεση με ορισμένες αδιάλυτες ίνες η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη δε διαταράσσουν την ισορροπία μετάλλων και ασβεστίου (Coudray et al., 1997; Turecki et al., 1992).

Οι κυριότερες επιπτώσεις τους στον οργανισμό αφορούν γαστρεντερικές ανωμαλίες, με σοβαρότερα τα διαρροϊκά επεισόδια τα οποία ενδέχεται να παρατηρηθούν με κατανάλωση ποσότητας 30 g/day και άνω. Γενικά η κατανάλωση 15 g ινουλίνης σε δόσεις μέσα στη ημέρα δε συνοδεύεται από γαστρεντερικά συμπτώματα (Grabitske & Slavin, 2009). Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η ινουλίνη εμφανίζει ελαφρώς καλύτερη συμπεριφορά ως προς τις ανεπιθύμητες επιδράσεις από την ολιγοφρουκτόζη και η δεύτερη από τις πολυόλες (Coussement, 1999).

3.6 Λειτουργικά τρόφιμα

Ως λειτουργικά τρόφιμα χαρακτηρίζονται τα τρόφιμα που μπορούν να έχουν ευεργετική επίδραση στον οργανισμό κατά την τακτική κατανάλωση τους στα πλαίσια της διατροφής. Σύμφωνα με το International Life Science Institute -ILSI Europe (Diplock, 1999) «ένα τρόφιμο μπορεί να θεωρηθεί ως λειτουργικό εφόσον έχει αποδειχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό ότι έχει ευεργετική επίδραση σε μία ή περισσότερες λειτουργίες του οργανισμού, πέραν των επαρκών θρεπτικών επιδράσεων, η οποία σχετίζεται με τη βελτίωση της κατάστασης της υγείας και/ή τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης πάθησης. Η επίδραση αυτή του τροφίμου θα πρέπει να εκδηλώνεται από ποσότητες του τροφίμου που μπορούν να καταναλωθούν φυσιολογικά στα πλαίσια της διατροφής». Έτσι ένα λειτουργικό τρόφιμο μπορεί να είναι ένα φυσικό τρόφιμο, τρόφιμο στο οποίο έχει γίνει προσθήκη ή αφαίρεση κάποιου συστατικού, τρόφιμο στο οποίο έχει τροποποιηθεί η βιοδιαθεσιμότητα ενός ή περισσότερων συστατικών, ή οποιοσδήποτε συνδυασμός των παραπάνω (Roberfroid, 2002).

Οι διαιτητικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή λειτουργικών τροφίμων, ενώ στα λειτουργικά συστατικά μπορούν να συμπεριληφθούν και τα πρεβιοτικά -ινουλίνη, ολιγοφρουκτόζη- λόγω των ωφέλιμων επιδράσεων τους στον οργανισμό (Roberfroid, 2002).

Προκειμένου ένα τρόφιμο να χαρακτηριστεί ως πηγή ινών ή ότι έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ίνες θα πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 3 ή 6 g ινών/100 g, αντίστοιχα (ή 1.5 και 3 g/100 kcal, αντίστοιχα) (EC Regulation 1924/2006).

3.7 Τεχνολογική λειτουργικότητα διαιτητικών ινών

Οι ίνες προστίθενται στα τρόφιμα για την αύξηση της περιεκτικότητας σε ολικές διαιτητικές ίνες ή/και για να τροποποιήσουν τη ρεολογική συμπεριφορά και να βελτιώσουν την υφή, τη σταθερότητα, τη διατηρησιμότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (Elleuch et al., 2011; Guillon & Champ, 2000). Όπως αναφέρθηκε οι διαιτητικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα πάχυνσης, ως σταθεροποιητές γαλακτωμάτων και αιωρημάτων, ως πηκτικά ή για τη ρύθμιση του θερμιδικού φορτίου (Dreher, 1999; Fenemia et al., 1997). Με τη χρήση διαιτητικών ινών ή συστατικών πλούσιων σε ίνες για την υποκατάσταση λιπαρού ή ζάχαρης σε προϊόντα όπως λουκάνικα φρανκφούρτης και κιμά, ή μπισκότα και σοκολάτα, αντίστοιχα, μπορεί να επιτευχθεί η παρασκευή προϊόντων μειωμένου θερμιδικού φορτίου (Elleuch et al., 2011; Thebaudin et al., 1997). Ειδικότερα η εφαρμογή των ινών στην υποκατάσταση λιπαρού ή ζάχαρης σε προϊόντα αρτοποιίας θα αναπτυχθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις (χαρακτηριστικά παραδείγματα αναφέρονται παρακάτω) έχει παρατηρηθεί και αντιοξειδωτική δράση των ινών που βελτιώνει το χρόνο ζωής του προϊόντος στο οποίο προστίθενται,

Η λειτουργικότητα των διαιτητικών ινών ως πρόσθετα τροφίμων επηρεάζεται από τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες; διαστάσεις και πορώδες των ινών, ρεολογικές ιδιότητες, ιδιότητες ενυδάτωσης, ιδιότητες συγκράτησης λιπαρού, την επεξεργασία στην οποία έχουν υποβληθεί, ενώ και το χρώμα και η γεύση/άρωμα παίζουν επίσης ρόλο καθώς επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Έτσι ίνες με υψηλή

ικανότητα συγκράτησης λιπαρού συμβάλλουν στη σταθερότητα προϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, και περιορίζουν την απώλεια του λιπαρού κατά το μαγείρεμα σε προϊόντα όπως το μαγειρεμένο κρέας συμβάλλοντας στη βελτίωση των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών (Thebaudin et al., 1997). Οι ίνες με υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) ρυθμίζουν τη συναίρεση, τροποποιούν το ιξώδες και συνεισφέρουν στην υφή των προϊόντων στα οποία προστίθενται (Grigelmo-Miguel & Martina-Belloso, 1999). Οι ιδιότητες αυτές καθορίζουν και την ποσότητα στην οποία προστίθενται στα τρόφιμα. Για παράδειγμα διαιτητικές ίνες, όπως τα κόμμεα και οι πηκτίνες, συνήθως χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες λόγω της επίδραση τους στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Οι μικρές ποσότητες επιπλέον περιορίζουν και το ρόλο τους στον εμπλουτισμό του τροφίμου σε διαιτητικές ίνες. Επίσης συχνά απαιτείται προσαρμογή της συνταγής κατά την προσθήκη των διαιτητικών ινών, όπως αυξημένη προσθήκη νερού. (Guillon & Champ, 2000; Guillon et al., 2000).

3.8 Ίνες στα προϊόντα αρτοποιίας

3.8.1 Ίνες στον άρτο

Στον άρτο, και γενικότερα στα προϊόντα αρτοποιίας, έχει μελετηθεί η προσθήκη ινών χωρίς μείωση του αλεύρου με σκοπό τη βελτίωση της διατροφικής αξίας, ή η υποκατάσταση μέρους του αλεύρου από διαιτητικές ίνες (ιδιαίτερα σε προϊόντα ελεύθερα γλουτένης) με σκοπό τη βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της διατροφικής αξίας. Ίνες από σιτηρά, λαχανικά (αρακά, μπιζέλι) αλλά και υπερσυμπυκνώματα (ινουλίνη) συμβάλλουν στην ενίσχυση του διαιτητικού περιεχομένου του άρτου. Πιο συγκεκριμένα αύξηση της περιεκτικότητας σε διαιτητικές ίνες, επιτεύχθηκε με την προσθήκη ινών αρακά, μπιζελιού και ινουλίνης (Wang et al., 2002), και τον εμπλουτισμό των προϊόντων ελευθέρων γλουτένης με την προσθήκη ινών σίτου, καλαμποκιού, βρώμης και κριθαριού, ινουλίνης, και ανθεκτικού αμύλου (Capriles et al., 2013, Jaroslaw et al., 2009, Sabanis et al., 2009). Γενικά η προσθήκη ινών στον άρτο επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της ζύμης και κατ' επέκταση και του τελικού προϊόντος. Έτσι η προσθήκη ινών αρακά ή μπιζελιού (σε επίπεδο 3% επί του αλεύρου) οδήγησε σε πιο τρυφερή υφή της ψίχας αλλά μειωμένο όγκο του προϊόντος,

χωρίς ωστόσο να επηρεάσει αρνητικά την αποδοχή του (Wang et al., 2002). Η προσθήκη της ινουλίνης επέφερε μείωση του όγκου, αύξηση της σκληρότητας και πιο σκούρο χρώμα της κόρας (Morris & Morris, 2012), ωστόσο τα προϊόντα με υποκατάσταση αλεύρου έως 5% αξιολογήθηκαν ως αποδεκτά (Peressini & Sensidoni, 2009). Το πίτυρο σίτου επίσης οδήγησε σε μείωση του όγκου, ωστόσο συνέβαλε στη διατήρηση τη υγρασίας κατά την αποθήκευση του προϊόντος (Almeida et al., 2013). Καλύτερη διατήρηση της υγρασίας αλλά και της υφής του προϊόντος παρατηρήθηκε και με την προσθήκη πηκτίνης, και ειδικότερα πηκτίνης υψηλού βαθμού εστεροποίησης, η οποία επιπλέον οδήγησε σε αύξηση του ειδικού όγκου και της τρυφερότητας της ψίχας του άρτου (Correa et al., 2011). Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν και με την προσθήκη πηκτίνης σε μερικώς ψημένο κατεψυγμένο άρτο σε αντίθεση με την ινουλίνη που οδήγησε σε υποβάθμιση του όγκου και της υφής του προϊόντος. Ωστόσο η επίδραση της ινουλίνης ως προς την υφή αμβλύθηκε κατά το συνδυασμό της με κόμμι γκουάρ, ενώ δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση της ινουλίνης με την πηκτίνη ως προς τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος (Nikica et al., 2013). Η προσθήκη της ινουλίνης σε άρτο ελεύθερο γλουτένης είχε θετική επίδραση παρέχοντας προϊόν βελτιωμένων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, αυξημένου όγκου και τρυφερότερης υφής σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς (Capriles et al., 2013). Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν σε άρτο ελεύθερο γλουτένης και με την προσθήκη ινών καλαμποκιού και βρώμης (Sabanis et al., 2009) ή τη χρήση ανθεκτικού αμύλου για τη μερική υποκατάσταση του αμύλου καλαμποκιού (Jaroslaw et al., 2009), οπότε και αυξήθηκε την τρυφερότητα του προϊόντος, και επιπλέον οι ίνες καλαμποκιού και βρώμης βελτίωσαν τον όγκο και την αποδεκτότητά του προϊόντος.

3.8.2 Ίνες σε μπισκότα και cookies

Στα μπισκότα, ενδεικτική της συμβολής των διαιτητικών ινών στη διατροφική αξία είναι η αύξηση της περιεκτικότητας σε ίνες, φαινολικά συστατικά και μέταλλα, που παρατηρείται με την προσθήκη ινουλίνης σε συνδυασμό με άλευρο μπιζελιού, αμάρανθου, και σόγιας καθώς και με ίνες μήλου και βρώμης. Επιπλέον παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της

αντιοξειδωτικής ικανότητας (Vitali et al., 2009). Αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας παρατηρήθηκε και με την υποκατάσταση του αλεύρου από φλοιούς πατάτας (Agora & Camire, 1994). Επίσης, παρατηρήθηκε επιβράδυνση της αποικοδόμησης του αμύλου με υποκατάστασή του από ίνες, συμπεριλαμβανομένης και της ινουλίνης (Brennan and Samyue, 2004).

Και στην περίπτωση των μπισκότων/cookies, η προσθήκη ινών επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του προϊόντος. Η υποκατάσταση του αλεύρου από πίτυρο σίτου, ρυζιού, βρώμης και κριθαριού σε μπισκότα (Sudha et al., 2007a) και από ίνες μήλου, λεμονιού, σίτου, πίτυρο σίτου και φλοιούς πατάτας σε cookies (Uysal et al., 2007) οδήγησε σε προϊόντα μειωμένων διαστάσεων και αυξημένης σκληρότητας. Τα μπισκότα με τα πίτυρα κριθαριού και βρώμης σε ποσοστά 20% και 30%, αντίστοιχα (Sudha et al., 2007a) και τα cookies με 30% υποκατάσταση αλεύρου από πίτυρο σίτου αξιολογήθηκαν ως τα περισσότερο αποδεκτά (Uysal et al., 2007). Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν από την υποκατάσταση του αλεύρου από δύο υδροκολλοειδή βρώμης με περιεκτικότητα 10% και 20% σε β-γλυκάνες (Nutrim-OB και Ctrim-20, αντίστοιχα), η οποία δεν οδήγησε σε σημαντική διαφοροποίηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των cookies (άρωμα, υφή) σε επίπεδα υποκατάστασης έως 20% (Lee et al., 2009).

Η εφαρμογή ινών καρότου σε προϊόντα αρτοποιίας είναι περιορισμένη. Πιο συγκεκριμένα έχει εξετασθεί η χρήση του πολτού καρότου ως υποκατάστατο αλεύρου πλούσιου σε ίνες και μειωμένου ενεργειακού φορτίου σε cookies και σε wheat rolls, η οποία οδήγησε σε προϊόντα αυξημένης σκληρότητας και μειωμένων διαστάσεων σε σύγκριση με το πρότυπο, ενώ διαφοροποιήθηκαν και τα φαινογραφικά χαρακτηριστικά της ζύμης (υψηλότερα ποσοστά απορρόφησης νερού και σταθερότητας) (Kohajdova et al., 2012; Turksoy & Ozkaya, 2011).

3.8.3 Ίνες σε κέικ και muffin

Στα κέικ και muffin έχει μελετηθεί η επίδραση ινών από φρούτα και λαχανικά, όσπρια, σιτηρά καθώς επίσης και η επίδραση αλεύρων διαιτητικών ινών και υπερσυμπυκνωμάτων.

- Φρούτα και λαχανικά

Τα φρούτα που έχουν χρησιμοποιηθεί ως πηγή ινών σε κέικ ή muffin περιλαμβάνουν το μήλο, το ροδάκινο, το πορτοκάλι και τον ανανά και ενίσχυσαν το διαιτητικό προφίλ του προϊόντος (Chen et al., 1988; Grigelmo-Miguel et al., 1999; Masoodi et al., 2002; Romero-Lopez et al., 2011; Sreenath et al., 1996; Sudha et al., 2007; Vasantha Rupasinghe et al., 2008). Ειδικότερα ο αφυδατωμένος πολτός μήλου, η σκόνη φλοιού μήλου και οι ίνες ανανά έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα ως πηγή διαιτητικών ινών καθώς αύξησαν σημαντικά την περιεκτικότητα των προϊόντων σε διαιτητικές ίνες, φαινολικά συστατικά καθώς και την αντιοξειδωτική ικανότητα του προϊόντος (Sreenath et al., 1996; Sudha et al., 2007; Vasantha Rupasinghe et al., 2008). Και η χρήση ινών ροδακίνου και πορτοκαλιού ως υποκατάστατο του αλεύρου σε muffin, βελτίωσε το διαιτητικό προφίλ του προϊόντος καθώς οδήγησε σε μείωση του ενεργειακού φορτίου, και σημαντικά αυξημένη περιεκτικότητα σε βραδέως αφομοιώσιμο άμυλο και μειωμένο προβλεπόμενο γλυκαιμικό δείκτη (predicted glyceamic index), αντίστοιχα (Grigelmo-Miguel et al., 1999; Romero-Lopez et al., 2011). Η προσθήκη αλεύρου καρύδας σε κέικ καρότου αύξησε τη διαθεσιμότητα ορισμένων μετάλλων (σιδήρου και ψευδαργύρου) και μείωσε το γλυκαιμικό δείκτη (Trinidad et al., 2006).

Ωστόσο η υποκατάσταση του αλεύρου επηρέασε τα χαρακτηριστικά της ζύμης, με τη χρήση του αφυδατωμένου πολτού και των ινών μήλου να οδηγεί σε αυξημένη απορρόφηση νερού, αύξηση του ιξώδους και μείωση του ειδικού βάρους και του pH της ζύμης (Chen et al., 1988; Masoodi et al., 2002; Sudha et al., 2007). Κατ'επέκταση, διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος οδηγώντας σε σημαντική αύξηση της σκληρότητας, μείωση του όγκου ή αύξηση της πυκνότητας και υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος (Chen et al., 1988; Grigelmo-Miguel et al., 1999; Masoodi et al., 2002; Sreenath et al., 1996; Sudha et al., 2007). Ωστόσο τα κέικ με υποκατάσταση αλεύρου κατά 25% και 5% από αφυδατωμένο πολτό μήλου και ίνες ανανά, αντίστοιχα, και τα muffin με 16% και 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες ροδακίνου και πορτοκαλιού, αντίστοιχα, αξιολογήθηκαν ως αποδεκτά (Grigelmo-Miguel et al., 1999; Romero-Lopez et al., 2011; Sreenath et al., 1996; Sudha et al., 2007).

Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες οι ίνες μήλου αποτελούν πλουσιότερη πηγή διαιτητικών ινών σε σύγκριση με το πίτυρο σίτου και βρώμης (Chen et al., 1988), ενώ η χρήση αφυδατωμένου πολτού μήλου σε muffin βελτίωσε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος σε σύγκριση με το πίτυρο σίτου (Wang & Thomas, 1989). Η επίδραση των πίτυρων αναπτύσσεται παρακάτω.

Ανάλογα ήταν και τα αποτελέσματα της χρήσης φλοιών πατάτας -με ή χωρίς εκβολή- ως υποκατάστατο του αλεύρου σε ποσοστό 25%. Παρήχθησαν muffin μειωμένου όγκου, πιο σκούρου χρώματος και αυξημένης ανθεκτικότητας στη συμπίεση, με τα προϊόντα που περιείχαν φλοιούς πατάτας με εκβολή να υπερτερούν ως προς την αίσθηση στο στόμα έναντι εκείνων με φλοιούς πατάτας χωρίς εκβολή (Agora & Camire, 1994).

➤ Όσπρια

Τα όσπρια που έχουν χρησιμοποιηθεί ως πηγή ινών περιλαμβάνουν τα φασόλια, τη φακή, τα μπιζέλια και τα ρεβύθια. Η υποκατάσταση του αλεύρου κατά 5% από ίνες ή κατά 15% από άλευρο από κελύφη φασολιών αύξησε την περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, και, παρά τη μείωση του όγκου του κέικ και τη διαφοροποίηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του (υφή, χρώμα), τα προϊόντα αξιολογήθηκαν ως αποδεκτά (DeFouw et al., 1982; Sreenath et al., 1996). Η χρήση αλεύρου ρεβιθιού, μπιζελιού και φακής για την υποκατάσταση αλεύρου σίτου σε δύο τύπους κέικ (layer και sponge) οδήγησε σε προϊόν μικρότερου όγκου, σκουρότερου χρώματος, αυξημένης σκληρότητας, και μειωμένης συνεκτικότητας και ελαστικότητας, με αποτέλεσμα και την ελαττωμένη αποδοχή από τους δοκιμαστές (Gomez et al., 2008, 2012; de la Hera et al., 2012). Ωστόσο, τόσο με το άλευρο μπιζελιού όσο και με το άλευρο φακής, οι διαφοροποιήσεις σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς ήταν πιο έντονες για το layer κέικ σε σχέση με το sponge (Gomez et al., 2012; de la Hera et al., 2012).

➤ Σιτηρά

Τα σιτηρά έχουν χρησιμοποιηθεί είτε με τη μορφή ινών είτε ως πίτυρα για την υποκατάσταση του αλεύρου, ενώ έχει μελετηθεί και η επίδραση της χρήσης αλεύρων (π.χ. σίκαλης, βρώμης) ή υβριδίων (τριτικάλε, tritordeum)

αντί του αλεύρου σίτου σε κέικ. Ειδικότερα οι ίνες καλαμποκιού, ως υποκατάστατο αλεύρου και λιπαρού σε brownies, οδήγησαν σε σημαντική μείωση του θερμιδικού φορτίου τους (Warner & Inglett, 1997), ενώ οι ίνες σίτου, καλαμποκιού, βρώμης και σίκαλης συντέλεσαν στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του προϊόντος περιορίζοντας την απώλεια της υγρασίας και την αύξηση της σκληρότητας (Lebesi & Tzia, 2011). Επιπλέον η υποκατάσταση του αλεύρου από ίνες σίτου, καλαμποκιού, βρώμης και σίκαλης βελτίωσε τον όγκο, την υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ, με τις ίνες σίτου και βρώμης σε ποσοστά υποκατάστασης 20 % και 30%, αντίστοιχα να παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς τον όγκο, τη σκληρότητα και την ολική αποδοχή (Lebesi & Tzia, 2011). Αντίθετα τα πίτυρα σίτου, βρώμης, ρυζιού και καλαμποκιού οδήγησαν σε αύξηση της σκληρότητας, μείωση του όγκου και υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του κέικ με αποτέλεσμα να εμφανίζουν χαμηλότερη αποδοχή σε σύγκριση με τις ίνες (Lebesi & Tzia, 2011; Λεμπέση, 2012). Ωστόσο σε ποσοστό υποκατάστασης του αλεύρου έως 20% παρείχαν αποδεκτό προϊόν (Lebesi & Tzia, 2011; Singh et al., 2012; Gomez et al., 2010a).

Τα κέικ με άλευρα σίκαλης, κριθαριού, τριτικάλε, tritordeum παρουσίασαν μικρές διαφοροποιήσεις ως προς τον όγκο, την υφή και το χρώμα από εκείνα με άλευρο σίτου, οι οποίες δε συνοδεύτηκαν από σημαντική μείωση της αποδοχής τους (Gomez et al., 2010b; Oliete et al., 2010). Επιπλέον η χρήση αλεύρων ολικής άλεσης εμφανίζεται ως καλύτερη εναλλακτική λύση έναντι των εξευγενισμένων, καθώς, αν και παρέχουν προϊόν μικρότερου όγκου και μεγαλύτερης αρχικής σκληρότητας, παρουσιάζουν βραδύτερο ρυθμό παλαίωσης (Gomez et al., 2010b).

➤ Υπερσυμπυκνώματα

Τα υπερσυμπυκνώματα που έχουν μελετηθεί περιλαμβάνουν την ινουλίνη, τις β-γλυκάνες, και τα κόμμεα. Η προσθήκη ινουλίνης σε κέικ πορτοκαλιού, έτσι ώστε το τελικό προϊόν να περιέχει 5.4 g / 60 g προϊόντος, καθώς και η χρήση της ως υποκατάστατο αλεύρου ρυζιού σε κέικ ελεύθερο γλουτένης οδηγούν σε διαφοροποίηση της υφής (αύξηση της σκληρότητας και μείωση της ευθρυπτότητας ή μείωση της ελαστικότητας αντίστοιχα) (Gularte et al., 2012; Volpini-Rapina et al., 2012). Ειδικότερα η ινουλίνη σε

συνδυασμό με ίνες βρώμης ως υποκατάστατο αλεύρου ρυζιού (κατά 20%) σε κέικ ελεύθερο γλουτένης αύξησε την περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, και επέφερε μείωση της περιεχόμενης πρωτεΐνης, αλλά και του θερμιδικού φορτίου, ενώ βελτίωσε τον ειδικό όγκο του τελικού προϊόντος (Gularte et al., 2012). Ο εμπλουτισμός κέικ με φρουκτάνες, και ειδικότερα η υποκατάσταση του αλεύρου σίτου κατά 40% από σκόνη από πλούσιες σε ολιγοφρουκτόζη ρίζες *yacon* (*P. sonchifolia* Poepp & Endl) και 6% ινουλίνη μπορεί να δώσει ένα κέικ εμπλουτισμένο με φρουκτάνες και συγκρίσιμα χαρακτηριστικά υφής (σκληρότητα, συνεκτικότητα) και όγκου με το δείγμα αναφοράς (Moscatto et al., 2006)

Η προσθήκη ενός υδροκολλοειδούς βρώμης με περιεκτικότητα 20% σε β-γλυκάνες (Ctrim-20) σε κέικ, έτσι ώστε το τελικό προϊόν να περιέχει 1g β-γλυκανών ανά μερίδα, δεν παρουσίασε σημαντική διαφοροποίηση ως προς τον όγκο και την υφή του κέικ σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς (Lee et al., 2005). Η προσθήκη κόμμεων (αλγινικού νατρίου, караγεννάνης, πηκτίνης, υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνης, χαρουπιού, γκουάρ και ξανθικού κόμμεος) βελτίωσε τον όγκο και την αποδοχή του κέικ, αλλά οδήγησε σε αύξηση της σκληρότητας (Gomez et al., 2007). Ωστόσο η επίδραση στην υφή διαφοροποιείται μεταξύ των διαφόρων κόμμεων, με το κόμμι γκουάρ να παρουσιάζει σημαντική αύξηση της σκληρότητας είτε χρησιμοποιηθεί μόνο του είτε σε συνδυασμό με ίνες βρώμης (Gularte et al., 2012), ενώ το κόμμι ξανθάνης συμβάλλει στην καθυστέρηση της παλαιώσης του προϊόντος μέσω της διατήρησης της υφής του κατά την αποθήκευση (Gomez et al., 2007) και στην αύξηση του όγκου καθώς παρέχει τη δυνατότητα να αναπτύσσεται ο όγκος του κέικ κατά τον κλιβανισμό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Miller & Hosney, 1993). Η υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη και η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη (ως υποκατάστατο του αλεύρου), παρείχαν προϊόν με παρόμοια με το δείγμα αναφοράς χαρακτηριστικά, παρουσιάζοντας καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τα παραπάνω κόμμεα και τα πίτυρα βρώμης ή σίτου αντίστοιχα (Gomez et al., 2010a, 2007).

➤ Άλλες πηγές ινών

Τέλος νέες πηγές διαιτητικών ινών που έχουν διερευνηθεί περιλαμβάνουν το τσάι GABA και τον κάκτο. Η προσθήκη τους παρείχε κέικ αυξημένης

σκληρότητας, μειωμένου όγκου ή πυκνής δομής, αντίστοιχα, και μειωμένης αποδοχής (Ayadi et al., 2009; Lee & Lin, 2008) Αντίθετα σε sponge κέικ η υποκατάσταση αλεύρου από κάκτο σε ποσοστό 9% βελτίωσε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (Kim et al., 2012).

3.9 Συμπεράσματα

Σε κέικ και muffin έχει μελετηθεί η επίδραση ινών από φρούτα και λαχανικά, όσπρια, σιτηρά καθώς επίσης και η επίδραση αλεύρων διαιτητικών ινών και υπερσυμπυκνωμάτων. Η προσθήκη των ινών (είτε ως μερικό υποκατάστατο του αλεύρου είτε ως επιπλέον συστατικό) οδήγησε σε διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών του προϊόντος σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς. Ωστόσο διαφοροποιήσεις παρατηρήθηκαν στην επίδραση στα χαρακτηριστικά του κέικ μεταξύ των διαφορετικών τύπων ινών.

Γενικά η προσθήκη των ινών βελτίωσε το διαιτητικό προφίλ του προϊόντος καθώς εκτός από την αύξηση της περιεκτικότητας σε διαιτητικές ίνες οδήγησαν σε αύξηση της περιεκτικότητας σε φαινολικά συστατικά, της αντιοξειδωτικής ικανότητας και μείωση του προβλεπόμενου γλυκαιμικού δείκτη. Η συμβολή στη διατροφική αξία του προϊόντος εξαρτάται σε κάθε περίπτωση από την πηγή των ινών.

Ωστόσο, η υποκατάσταση του αλεύρου επηρέασε τα χαρακτηριστικά της ζύμης (αύξηση του ιξώδους, μείωση του ειδικού βάρους). Κατ'επέκταση διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος, με την προσθήκη των ινών λαχανικών, φρούτων και των πιτύρων να οδηγούν σε σημαντική αύξηση της σκληρότητας, μείωση του όγκου ή αύξηση της πυκνότητας και υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος. Από την άλλη πλευρά η υποκατάσταση του αλεύρου από ίνες σίτου, καλαμποκιού, βρώμης και σίκαλης βελτίωσε τον όγκο, την υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ. Τα ποσοστά υποκατάστασης του αλεύρου που παρείχαν αποδεκτό προϊόν ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο των ινών που προστέθηκαν.

Η προσθήκη των υπερσυμπυκνωμάτων έχει εξεταστεί σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις και στις περιπτώσεις των κόμμεων παρατηρήθηκε αύξηση της σκληρότητας αλλά βελτίωση του όγκου. Η

ινουλίνη επίσης παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα, ιδιαίτερα ως υποκατάστατο αλεύρου ριζιού σε κέικ ελεύθερο γλουτένης.

Οι ίνες καρότου, όπως αναφέρθηκε, παρουσιάζουν σημαντικές ευεργετικές επιδράσεις για τον οργανισμό και επιπλέον συμβάλλουν στην αξιοποίηση των παραπροϊόντων της επεξεργασίας καρότου. Η εφαρμογή των ιών καρότου έχει μελετηθεί σε cookies και wheat rolls, ωστόσο δεν έχει διερευνηθεί η συμβατότητα των ιών καρότου στα κέικ. Επιπλέον είναι περιορισμένες οι μελέτες που αφορούν συνδυασμό διαφορετικών πηγών διαιτητικών ιών. Ειδικότερα στην παρούσα έρευνα διερευνήθηκε η επίδραση της συνδυασμένης υποκατάστασης αλεύρου και λιπαρού από ίνες καρότου και ινουλίνη, αντίστοιχα, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κέικ. Η μελέτη περιλάμβανε και τη διερεύνηση της επίδρασης των ιών στα χαρακτηριστικά της ζύμης προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τη συσχέτιση των διαφοροποιήσεων που παρατηρούνται στη ζύμη με την επίδραση των ιών στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Κεφάλαιο 4

ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΙΠΑΡΟΥ

Η υποκατάσταση λιπαρού στα τρόφιμα στοχεύει στη μείωση της ενεργειακής τους αξίας ή και της ίδιας της περιεκτικότητας σε λιπαρά. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία ο ισχυρισμός ότι ένα τρόφιμο έχει χαμηλή ενεργειακή αξία μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν το προϊόν δεν περιέχει περισσότερες από 40 kcal/100 g για στέρεες τροφές (solids) και ο ισχυρισμός ότι ένα τρόφιμο έχει μειωμένη ενεργειακή αξία μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν η ενεργειακή αξία έχει μειωθεί τουλάχιστον κατά 30%, με ένδειξη του ή των χαρακτηριστικών που μειώνουν τη συνολική ενεργειακή αξία του τροφίμου. Ο ισχυρισμός ότι ένα τρόφιμο έχει μειωμένη ή χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά ή δεν περιέχει λιπαρά μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν η περιεκτικότητα του έχει μειωθεί κατά 30% σε σύγκριση με το παρόμοιο προϊόν, ή μόνον όταν δεν περιέχει περισσότερα από 3 g λιπαρών/100 g ή 0,5 g λιπαρών/100 g για στερεές τροφές, αντίστοιχα. Τα προϊόντα που θεωρούνται light πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις που ορίζονται για τον όρο «μειωμένο» (EC Regulation 1924/2006).

Το λιπαρό έχει σημαντική συμβολή στη δομή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Συμβάλλει στα γευστικά χαρακτηριστικά και το άρωμα, στην ανάπτυξη του όγκου, την πορώδη δομή και στην τρυφερότητα της υφής. Ωστόσο το λιπαρό κατά τον μεταβολισμό του αποδίδει 9 kcal /g ενώ 1 g πρωτεΐνης ή υδατάνθρακα αποδίδουν 4 kcal (Stryer, 1988). Έτσι η υποκατάσταση της λειτουργικότητας του λιπαρού έχει αναζητηθεί σε συστατικά υδατανθρακικής βάσης, που περιλαμβάνουν παράγωγα του αμύλου (μαλτοδεξτρίνες) και προϊόντα ινών (ινουλίνη, πηκτίνες, κόμμεα), πρωτεϊνικής βάσης (μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη), και λιπαρής βάσης.

Στην υποκατάσταση του λιπαρού, είναι σημαντικό τα υποκατάστατα να βρίσκονται υπό μορφή πηκτής, βασικά συστατικά των της οποίας αποτελούν οι υδατάνθρακες και οι πρωτεΐνες. Η πηκτή επιτυγχάνεται μέσω του σχηματισμού ενός τριδιάστατου πλέγματος από τις αλυσίδες των πολυσακχαριτών ή των πρωτεϊνών, με το διαλύτη να «παγιδεύεται» στο πλέγμα. Πρόκειται για σχηματισμούς ημιστέρας δομής, όπου τμήματα των αλυσίδων διαφορετικών πολυμερών συνδέονται σε

διατεταγμένες ζώνες, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους μέσω των υπόλοιπων (μη διατεταγμένων) τμημάτων των πολυμερικών αλυσίδων (Morris, 1990a, b). Στην περίπτωση των υποκαταστάτων πρωτεϊνικής βάσης, ο σχηματισμός του τριδιάστατου πλέγματος βασίζεται σε σωματίδια που σχηματίζονται με κατάλληλη επεξεργασία από τα μόρια των πρωτεϊνών (η επεξεργασία σχηματισμού σωματιδίων αναπτύσσεται παρακάτω). Τα σωματίδια συσσωματώνονται προς μεγαλύτερες δομές, οι οποίες με τη σειρά τους σχηματίζουν το τριδιάστατο πλέγμα (Maragoni et al., 2000). Η δύναμη της πηκτής επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του πολυμερούς, τη θερμοκρασία, το pH και την παρουσία ιόντων (Funami et al, 1999; Picuelli 1995; Clegg, 1996; Taco & Durand, 2007).

4.1 Υποκατάστατα λιπαρού υδατανθρακικής βάσης

4.1.1 Μαλτοδεξτρίνες

Οι μαλτοδεξτρίνες παράγονται με ενζυμική υδρόλυση του αμύλου και αποτελούνται από μονάδες α-γλυκόζης που συνδέονται με 1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς (Knill & Kennedy, 2005). Μπορούν να παρασκευασθούν και με όξινη υδρόλυση η οποία ωστόσο οδηγεί σε μαλτοδεξτρίνες με υψηλή αναλογία σε γλυκόζη και δέξτρίνες υψηλού μοριακού βάρους, που εμφανίζουν μεγάλη τάση προς αναδιαμόρφωση (Knill & Kennedy, 2005). Το ισοδύναμο δεξτρόζης (DE) αποτελεί δείκτη της έκτασης της υδρόλυσης του αμύλου, με την αύξηση του ισοδυναμίου δεξτρόζης να δηλώνει τη μείωση του μέσου μοριακού βάρους των πολυμερών γλυκόζης. Επιπλέον με την αύξηση του ισοδυναμίου δεξτρόζης επηρεάζονται οι ιδιότητες της μαλτοδεξτρίνης (αύξηση της γλυκύτητας, της ταπείνωσης του σημείου τήξης, της υγροσκοπικότητας, της διαλυτότητας, μείωση του ιξώδους). Έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν θερμοαντιστρέψιμες πηκτές, οι οποίες τήκονται με θέρμανση και με ψύξη σχηματίζουν ξανά πηκτή (Roller, 1996; Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Ο σχηματισμός πηκτής ενισχύεται (ρυθμός σχηματισμού, αντοχή πηκτής) εξαρτάται από το ισοδύναμο δεξτρόζης, τη συγκέντρωση, τη θερμοκρασία ενώ ενισχύεται και από την παρουσία ορισμένων γαλακτωματοποιητών (SSL, sucrose ester, glycerol monostearate) (Harkema, 1996). Αποδίδουν 4 kcal/g, ωστόσο η χρήση τους με τη μορφή πηκτής μειώνει τη θερμιδική

τους απόδοση περίπου σε 1 kcal/g πηκτής. Έτσι έχει προταθεί η χρήση τους ως υποκατάστατα λιπαρού σε προϊόντα αρτοποιίας (Harkema, 1996), σε αλειφόμενα τυριά χαμηλών λιπαρών και σε προϊόντα κρέατος (π.χ. λουκάνικα, χάμπουργκερ), σάλτσες και σούπες (Roller, 1996; Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Λόγω του υψηλού ιξώδους, μπορούν να λειτουργήσουν και ως μέσα πάχυνσης και ως σταθεροποιητικοί παράγοντες σε γαλακτοκομικά προϊόντα και παγωτό (Sungsoo Cho & Prosky, 1999).

Όπως και τα άμυλα, οι μαλτοδεξτρίνες έχουν την τάση να υφίστανται αναδιαμόρφωση κατά την αποθήκευση, ενώ αν χρησιμοποιηθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να προσδώσουν στο προϊόν ανεπιθύμητη αμυλώδη μετάγευση. Ωστόσο οι μαλτοδεξτρίνες με χαμηλό ισοδύναμο δεξτρόζης από άμυλο πατάτας υφίστανται αναδιαμόρφωση λιγότερο εύκολα σε σύγκριση με τα άμυλα από δημητριακά, λόγω των μεγαλύτερης αλυσίδας μορίων αμυλόζης, ενώ έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπίδια και πρωτεΐνες τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων (π.χ. μετάγευση, ιξώδες) (Roller, 1996; Sungsoo Cho & Prosky, 1999).

4.1.2 Β-γλυκάνη

Η β-γλυκάνη από δημητριακά έχει την ικανότητα να σχηματίζει πηκτή (Burkus & Temelli 1998, 1999, 2000), και επομένως αναμένεται να μπορεί να υποκαθιστά το λιπαρό, επιπροσθέτως των ωφέλιμων επιδράσεων της ως διαιτητική ίνα. Προϊόντα πλούσια σε β-γλυκάνη περιλαμβάνουν το Oatrim, Nutrim, Z-trim, C-trim. Το Oatrim είναι υποκατάστατο λιπαρού βασισμένο στη βρώμη και παρασκευάστηκε με ενζυμική υδρόλυση του αμύλου του αλεύρου βρώμης από την α-αμυλάση προς μαλτοδεξτρίνη (Inglett 1992, 1993). Οι συνθήκες της ενζυμικής επεξεργασίας επιλέχθηκαν έτσι ώστε να απελευθερωθεί η β-γλυκάνη, που είναι συνδεδεμένη με την κυτταρίνη, σε ποσοστά 1-10%. Το μίγμα β-γλυκάνης και μαλτοδεξτρίνης με χαμηλό ισοδύναμο δεξτρόζης εμφανίζει βελτιωμένες λειτουργικές ιδιότητες και αίσθηση λιπαρού στο στόμα σε σύγκριση με άλλες πηκτές μαλτοδεξτρίνης (Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Το Nutrim είναι υδροκολλοειδές που παρασκευάζεται από το πίτυρο βρώμης χωρίς την αμυλολυτική επεξεργασία (Inglett, 1998). Το Z-trim παρασκευάζεται με διπλή

επεξεργασία διάτμησης των κελυφών βρώμης, σόγιας, μπιζελλιού, ρυζιού, πίτυρου βρώμης ή σιταριού, οπότε η ινώδης δομή τους μειώνεται σε μικροσκοπικό μέγεθος με τη βοήθεια υπεροξειδίου και αλκαλίου. Πρόκειται για μη θερμιδική ουσία, είναι άγευστο, έχει υψηλό ιξώδες και υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) και παρέχει υγρασία σε προϊόντα μειωμένων θερμίδων προϊόντων τυριού και προϊόντα αρτοποιίας (Warner and Inglett 1997; Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Το C-trim αναπτύχθηκε πιο πρόσφατα και είναι υδροκολλοειδές από πίτυρο βρώμης με 20% περιεκτικότητα σε β-γλυκάνη και μελετήθηκε η επίδρασή του στο κέικ ως υποκατάστατο του αλεύρου (Lee et al., 2005a).

4.1.3 Πηκτίνη

Ο σχηματισμός πηκτής της πηκτίνης διαφέρει ανάλογα με το βαθμό μεθυλίωσης. Στην σχηματισμό της πηκτής των πηκτινών υψηλού βαθμού μεθυλίωσης, συνεισφέρουν οι δεσμοί υδρογόνου, μέσω των οποίων σχηματίζεται πλέγμα από αλυσίδες της πηκτίνης, και η υδροφοβικότητα, που οδηγεί στη σύνδεση των μεθυλεστέρων που περιβάλλονται από μόρια νερού. Ο σχηματισμός της πηκτής ενισχύεται από την παρουσία σακχαρόζης (ή ανάλογων συνδιαλυμένων ουσιών π.χ. σορβιτόλη) και το χαμηλό pH, οπότε ελαχιστοποιούνται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της πηκτίνης και του διαλύτη (μέσω της μείωσης της ενεργότητας του νερού) και η αποσύνδεση των ομάδων καρβοξυλικών οξέων λόγω ηλεκτροστατικής απώθησης (μέσω του χαμηλότερου βαθμού ιονισμού των καρβοξυλίων) αντίστοιχα. Στην περίπτωση της πηκτίνης χαμηλού βαθμού εστεροποίησης, η πηκτή σχηματίζεται μέσω της σύνδεσης λιγότερων αλυσίδων. Οι αλυσίδες συνδέονται αρχικά με τη μορφή διμερών μέσω δεσμών υδρογόνου και van der Waals, σχηματίζοντας κοιλότητες στις οποίες εντάσσονται ιόντα ασβεστίου, μέσω των οποίων ακολουθεί η σύνδεση και άλλου μορίου πηκτίνης (Endress & Mattes, 2009; Lopes da Silva & Rao, 2006). Σε κάθε περίπτωση ο σχηματισμός της πηκτής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που εξαρτώνται από τη δομή της πηκτής, τα ιοντικά χαρακτηριστικά, την παρουσία συνδιαλυμένων ουσιών (Lopes da Silva & Rao, 2006). Ειδικότερα η δύναμη της πηκτής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της πηκτίνης, π.χ. μοριακό βάρος, βαθμό εστεροποίησης, κατανομή των σακχάρων και των φορτισμένων ομάδων

στην αλυσίδα , αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες (pH, θερμοκρασία, συγκέντρωση των συνδιαλυμένων ουσιών και της πηκτίνης) (Fernandez, 2001; Lopes da Silva & Rao, 2006). Η πηκτίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μερική ή ολική υποκατάσταση του λιπαρού σε μαγιονέζα, αλειφόμενα προϊόντα, σάλτσες, σούπες, επεξεργασμένα κρέατα και τυριά, επιδόρπια και προϊόντα αρτοποιίας (Nielsen, 1996).

4.1.4 Ινουλίνη

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ινουλίνη είναι πολυσακχαρίτης με σημαντικές ευεργετικές επιδράσεις για τον οργανισμό ως προϊόν διαιτητικών ινών και ως πρεβιοτικό.

Έχει την ικανότητα κατά την προσθήκη της σε υδατικά διαλύματα υπό την επίδραση διατμητικών δυνάμεων να οδηγεί στη δημιουργία πηκτής που μπορεί να μιμηθεί το λιπαρό. Συγκεκριμένα τα αδιάλυτα μικροσωματίδια της ινουλίνης (μεγέθους περίπου 100 nm) δημιουργούν ένα τριδιάστατο πλέγμα, μέσα στο οποίο ακινητοποιείται το νερό. Επιπλέον η ινουλίνη δρα συνεργιστικά με άλλα πηκτικά μέσα, όπως ζελατίνη, καραγεννάνη, gellan κόμμι, μαλτοδεξτρίνη (Franck, 2002, 2006). Η δύναμη της πηκτής εξαρτάται από τη συγκέντρωση της ινουλίνης και τις παραμέτρους της διάτμησης (χρόνος, θερμοκρασία, ταχύτητα) αλλά όχι από το pH (Franck, 2006). Για παράδειγμα η θέρμανση συνοδευόμενη από ψύξη παρείχε πιο σταθερή πηκτή σε σύγκριση με τη διαδικασία της διάτμησης-ανάδευσης, ενώ με αύξηση της θερμοκρασίας θέρμανσης απαιτούνταν μικρότερη συγκέντρωση ινουλίνης για το σχηματισμό πηκτής (Kim et al., 2001a). Η ινουλίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποκατάσταση λιπαρού σε προϊόντα κρέατος, σοκολάτα, προϊόντα τύπου μαργαρίνης, και γαλακτοκομικά (κρέμες τυριού, τυρί, κρέμες, γιαούρτι, παγωτό).

4.1.5 Παράγωγα της κυτταρίνης

4.1.5.1 Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη (σκόνη ή κολλοειδής) λαμβάνεται με όξινη επεξεργασία της

κυτταρίνης (Coffey et al., 2006). Η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη σε σκόνη χρησιμοποιείται ως πηγή ινών και ως παράγοντας πάχυνσης (Humphreys, 1996; Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Η κολλοειδής μικροκρυσταλλική κυτταρίνη περιέχει υδατοδιαλυτό κόμμι (όπως καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, ξανθικό), που κατά τη διασπορά της κυτταρίνης στο νερό συντελεί στη δημιουργία ενός τριδιάστατου πλέγματος διεσπαρμένων κρυστάλλων που προσομοιάζει τα διεσπαρμένα σταγονίδια ελαίου σε γαλάκτωμα ελαίου σε νερό, δηλαδή εμφανίζει δομή παρόμοια με γαλάκτωμα ελαίου σε νερό, η οποία της προσδίδει τη λειτουργικότητα υποκατάστατου λιπαρού (Clegg, 1996; Humphreys, 1996; Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Η κολλοειδής μικροκρυσταλλική κυτταρίνη χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο λιπαρού σε σάλτσες για σαλάτες, προϊόντα αρτοποιίας, γαλακτομικά προϊόντα, παγωτό και κατεψυγμένα επιδόρπια, τυριά, αλειφόμενα προϊόντα και επεξεργασμένα κρέατα (Humphreys, 1996). Στα κατεψυγμένα προϊόντα η κολλοειδής μικροκρυσταλλική κυτταρίνη αποτρέπει το σχηματισμό παγοκρυστάλλων (Clegg, 1996; Sungsoo Cho & Prosky, 1999).

4.1.5.2 Κόμμεα μεθυλοκυτταρίνης

Η μεθυλοκυτταρίνη και η υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι κόμμεα που παράγονται με χημική τροποποίηση της κυτταρίνης. Τα υδατικά διαλύματα τους δίνουν πηκτή κατά τη θέρμανση, η οποία μπορεί να αποδοθεί σε αφυδάτωση και στην σύνδεση των αλυσίδων λόγω υδροφοβικότητας. Πιο συγκεκριμένα με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η κινητικότητα των μορίων νερού και υπερνικώντας τους δεσμούς υδρογόνου απομακρύνονται από τις αλυσίδες του πολυμερούς που περιβάλλουν, με αποτέλεσμα την αλληλεπίδραση και σύνδεση των υδρόφοβων τμημάτων του πολυμερούς. (De Mariscal & Bell, 1996). Η δύναμη της πηκτής καθορίζεται από χαρακτηριστικά του πολυμερούς, δηλαδή τη συγκέντρωση των μεθυλομάδων και την αναλογία μεθυλίου:υδροξυπροπυλίου. Πιο συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των μεθυλίων αυξάνεται η σταθερότητα του πήγματος, ενώ η παρουσία των υδροξυπροπυλοομάδων αυξάνει τη θερμοκρασία σχηματισμού πήγματος και μειώνει τη δύναμη του, λόγω του περισσότερο υδρόφιλου χαρακτήρα τους έναντι των μεθυλοομάδων (Coffey et al., 2006). Επιπλέον ο υδρόφιλος χαρακτήρας

των υδροξυλιομάδων και υδροξυπροπυλοομάδων και οι λιπόφιλες μεθυλοομάδες καθιστούν τα συγκεκριμένα κόμμεα ενεργά επιφανειακές ουσίες (De Mariscal & Bell, 1996).

Έτσι έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν μεμβράνες, οι οποίες αφενός σταθεροποιούν τα σταγονίδια του λιπαρού και φυσαλίδων αέρα, μεγιστοποιώντας την λειτουργικότητα του εναπομείναντος λιπαρού σε προϊόν μειωμένων λιπαρών, και αφετέρου μπορούν να μιμηθούν την αίσθηση του λιπαρού στο στόμα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σάλτσες, προϊόντα αρτοποιίας, κατεψυγμένα επιδόρπια και whipped toppings μειωμένων λιπαρών (De Mariscal & Bell, 1996; Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Σε κέικ μειωμένων λιπαρών βελτιώνουν την υφή μέσω της ικανότητας πάχυνσης, σχηματισμού μεμβρανών και διατήρησης της υγρασίας (Naruenartwongsakul et al., 2004; Bell, 1990). Ειδικότερα συμβάλλουν στη σταθερότητα των φυσαλίδων αέρα η οποία ενισχύεται από το σχηματισμό πηκτής κατά τη θέρμανση, ενώ η πηκτή παρεμποδίζει και την απώλεια της υγρασίας (De Mariscal & Bell, 1996).

4.1.6 Πολυδεξτρόζη

Η πολυδεξτρόζη είναι πολύ ευδιάλυτη στο νερό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποκατάσταση του λιπαρού, καθώς μιμείται χαρακτηριστικά, όπως η αίσθηση στο στόμα (Mitchell, 1996). Ειδικότερα στα προϊόντα αρτοποιίας η πολυδεξτρόζη εμφανίζει παρεμποδιστική δράση ως προς την ανάπτυξη του πλέγματος γλουτένης, ανάλογη με εκείνη του λιπαρού. Έχει προταθεί ότι η αυτή η δράση της πολυδεξτρόζης λαμβάνει χώρα μέσω της απορρόφησης νερού, οπότε και μειώνεται η διαθέσιμη ποσότητα νερού για την ανάπτυξη της γλουτένης (Groves et al., 1990; Stowell, 2009).

4.1.7 Κόμμεα

Όπως αναφέρθηκε τα κόμμεα δρουν ως μέσα πάχυνσης και ορισμένα σχηματίζουν πηκτή. Χρησιμοποιούνται στη μείωση του λιπαρού λόγω της ρύθμισης του ιξώδους, της ικανότητας συγκράτησης νερού και της

συνεισφοράς τους στην υφή (Clegg, 1996; Lucca & Tepper, 1994; Ward, 1997).

Ειδικότερα οι γαλακτομαννάνες δεν έχουν την ικανότητα σχηματισμού πηκτής αλλά εμφανίζουν συνέργεια με άλλα κόμματα (ξανθάνη, κ-καραγεννάνη) παρέχοντας μεγαλύτερο ιξώδες από το κάθε κόμμα ξεχωριστά (Clegg, 1996; Dreher, 1999; Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Ο συνδυασμός της ξανθάνης με άλλα κόμματα χρησιμοποιείται συχνά (Glicksman, 1991; Lucca & Tepper, 1994; McClemets & Demetriades, 1998; Ward, 1997). Ειδικότερα με θέρμανση του κόμματος χαρουπιού και της ξανθάνης και ακολούθως ψύξη, λαμβάνεται πηκτή (Clegg, 1996). Το κόμμα χαρουπιού αλληλεπιδρά πιο έντονα με τη ξανθάνη και την καραγεννάνη από ότι το κόμμα γκούαρ λόγω της υψηλότερης αναλογίας μανόζης προς γαλακτόζη (Ridley & Grant Reid, 2006). Δε χρησιμοποιούνται για απ'ευθείας υποκατάσταση του λιπαρού, ωστόσο λόγω της σταθεροποιητικής τους δράσης, και ειδικότερα της ικανότητας δέσμευσης νερού και ρύθμισης του ιξώδους, βρίσκουν εφαρμογή σε χαμηλών λιπαρών προϊόντα τυριού, παγωτό, προϊόντα αρτοποιίας και σάλτσες. (Clegg, 1996; Sungsoo Cho & Prosky, 1999). Το ξανθικό κόμμα χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητής σε σάλτσες και μαγιονέζες χαμηλών λιπαρών (Clegg, 1996). Το κόμμα konjac επίσης παρέχει ιξώδες και προσομοιώνει τις οργανοληπτικές ιδιότητες του λιπαρού (Sungsoo Cho & Prosky, 1999).

4.2 Υποκατάστατα λιπαρού πρωτεϊνικής βάσης

4.2.1 Μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη

Η μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη αποτελείται από μικροσωματίδια διαμέτρου 1 μm, σφαιρικού σχήματος καθένα από τα οποία αποτελείται από μόρια πρωτεΐνης (Dudley et al., 1989; Tang et al., 1989). Η ικανότητα της μικροσωματιδιακής πρωτεΐνης να μιμείται το λιπαρό, και ειδικότερα την κρεμώδη υφή του λιπαρού, στη διεσπαρμένη μορφή της, οφείλεται στο μέγεθος, το σχήμα και την ομοιομορφία των μικροσωματιδίων, καθώς και στην ικανότητα τους να μη συσσωματώνονται περαιτέρω. Όπως και στα άλλα υποκατάστατα λιπαρού, η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων

επιρεάζει την αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου προϊόντος στην υποκατάσταση του λιπαρού. Επιπλέον ως πρωτεϊνικό προϊόν εμφανίζει υδρόφιλο και υδρόφοβο χαρακτήρα, με αποτέλεσμα να δρα ως γαλακτωματοποιητής.

Οι πρωτεΐνες προέρχονται από αυγό ή γάλα και κατά τη διαδικασία παραγωγής (microparticulation process), που πρόκειται για παστερίωση και ομογενοποίηση που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα, δεν μεταβάλλεται η τριδιάστατη δομή των πρωτεϊνών και η αλληλουχία των αμινοξέων, παρά μόνο ο τρόπος με τον οποίο τα μόρια των πρωτεϊνών συσσωματώνονται (Singer & Moser, 1993). Το θερμιδικό φορτίο είναι 4 kcal/g επί ξηρού, ωστόσο λόγω της ενυδάτωσης των πρωτεϊνών κατά τη διαδικασία παρασκευής του πήγματος η θερμιδική αξία είναι ιδιαίτερα μειωμένη (1-2 kcal/g) (Singer and Moser, 1993). Πέρα από το χαμηλότερο θερμιδικό φορτίο σε σύγκριση με το λιπαρό, σημαντικό όφελος για τον οργανισμό αποτελεί και η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (λυσίνη και μεθιονίνη στην περίπτωση του Simplesse) (Barker & Cauvain, 1994; Morris, 1992; Singer, 1996).

Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν την υποκατάσταση λιπαρού σε παγωτό, τυριά, παγωμένα επιδόρπια, σάλτσες σαλάτας, μαγιονέζα και προϊόντα αρτοποιίας (Chung & Min, 2004; Corliss, 1992; Singer, 1996).

4.2.2 Λοιπά υποκατάστατα

Στην κατηγορία των υποκαταστατών πρωτεϊνικής βάσης συμπεριλαμβάνονται και προϊόντα (π.χ. DairyLight, DairyLo) που παράγονται με ελεγχόμενη μετουσίωση των πρωτεϊνών προκειμένου να παρέχουν το κατάλληλο ιξώδες, καθώς και πρωτεΐνες σόγιας. Οι δευτερες μπορεί να είναι συμπυκνώματα (concentrates) ή υπερσυμπυκνώματα (isolates) που χρησιμοποιούνται κυρίως σε προϊόντα κρέατος και συμβάλλουν στη βελτίωση της υφής (Deis, 2012, Oreopoulou, 2006).

4.3 Υποκατάστατα λιπαρής φύσης

Πρόκειται για συνθετικά στοιχεία με δομή παρόμοια με εκείνη των τριγλυκεριδίων. Περιλαμβάνουν γαλακτωματοποιητές, μόρια στα οποία

είναι προσαρτημένα λιπαρά οξέα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υφίστανται πέψη, και γλυκερίνες στις οποίες είναι προσαρτημένες ομάδες χαμηλής αφομοίωσης. Το μειωμένο ή σχεδόν μηδενικό φορτίο τους οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υδρολύονται πλήρως από τα ένζυμα του πεπτικού συστήματος.

Οι πολυεστέρες της σακχαρόζης λαμβάνονται με την αντίδραση 6, 7 ή 8 λιπαρών οξέων με τις υδροξυλομάδες της σακχαρόζης παρουσία κατάλυτη (Gardner & Sanders, 1990). Οι ιδιότητες του προϊόντος καθορίζονται από τα λιπαρά οξέα (Ako, 2002) και μπορεί να εφαρμοστεί στην πλήρη υποκατάσταση λιπαρού σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. κλιβανισμό, τηγάνισμα) όπως στην παραγωγή σνακ (πατατάκια, κράκερς). Αντίθετα οι μονο-, δι- ή τρι- εστέρες της σακχαρόζης υφίστανται πέψη, με αποτέλεσμα να παρέχουν θερμίδες. Λόγω της παρουσίας 5 έως 7 υδροξυλομάδων και 1 έως 3 εστέρων λιπαρού οξέος εμφανίζουν υδρόφιλο και λιπόφιλο χαρακτήρα. Χρησιμοποιούνται ως γαλακτωματοποιητές σε μαργαρίνες, προϊόντα αρτοποιίας, επιδόρπια ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέρος ενός υποκατάστατου λιπαρού (Shand, 1997).

Τα τριγλυκερίδια μέσης και μεγάλης ανθρακικής αλυσίδας αποτελούνται από λιπαρά οξέα με 8 (καρυλικό) ή 10 (καπρονικό) άτομα άνθρακα, και περισσότερα από 12 άτομα άνθρακα αντίστοιχα. Τα τριγλυκερίδια μέσης ανθρακικής αλυσίδας περιέχουν κορεσμένα λιπαρά οξέα, με αποτέλεσμα να είναι πολύ σταθερά σε υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες και μπορούν να υποκαταστήσουν τα φυτικά έλαια σε προϊόντα μειωμένου ή χαμηλού θερμιδικού φορτίου (Ako, 1998; Babayan & Rosenau, 1991). Απορροφώνται στο έντερο και μεταβολίζονται στο συκώτι αποδίδοντας ενέργεια 8.3 kcal/g. Επομένως τα τριγλυκερίδια μέσης αλυσίδας μπορούν να αποτελέσουν πηγή ενέργειας, ωστόσο η απαιτούμενη ποσότητα λιπαρών οξέων συμπληρώνεται από τα μακράς αλυσίδας τριγλυκερίδια (Megremis, 1991). Το Caprenin παράγεται με εστεροποίηση ενός μορίου γλυκερόλης με τρία μόρια λιπαρών οξέων, το καρυλικό (C8), το καπρινικό (C10) και το βεχενικό (C22). Το χαμηλότερο θερμιδικό φορτίο του (5 kcal/g) οφείλεται στο διαφορετικό μεταβολισμό του καρυλικού και του καπρινικού και στη μερική απορρόφηση του βεχενικού στο έντερο. Οι εφαρμογές του περιλαμβάνουν προϊόντα ζαχαροπλαστικής, αρτοποιίας και γαλακτοκομικά (Giese, 1996a). Το Salatrim περιέχει λιπαρά

οξέα βραχείας (οξικό, προπιονικό, και βουτυρικό) και μακράς (στεατικό) αλυσίδας, η αναλογία των οποίων καθορίζει τις ιδιότητες του προϊόντος (π.χ. σημείο τήξης, σκληρότητα, εμφάνιση). Αποδίδει επίσης 5 kcal/g λόγω της μερικής απορρόφησης του λιπαρού όξέος μακράς αλυσίδας και της μικρότερης ενέργειας που αποδίδουν τα λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποκατάσταση λιπαρού σε σοκολάτα, σάλτσες, τυριά, γαλακτομικά επιδόρπια, προϊόντα αρτοποιίας (Kosmark, 1996).

Το DDM (dialkyl dihexadecylmalonate) είναι εστέρας λιπαρών αλκοολών με το μηλονικό και το αλκυλομηλονικό οξύ. Είναι μη θερμιδικό και κατάλληλο για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών (Ako, 2002).

Το trialkoxytricarballoylate (TATCA) είναι εστέρας κορεσμένων ή ακόρεστων αλκοολών με 2 έως 4 καρβοξυλικά οξέα (LaBarge, 1988). Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο φυτικών ελαίων σε μαργαρίνη, μαγιονέζα, σάλτσες, ωστόσο ο μεταβολισμός του δεν έχει διερευνηθεί (Harrigan & Breene, 1993).

4.4 Νομοθεσία της Ε.Ε.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, τα υποκατάστατα λιπαρού (κόμμεα, πολυδεξτρόζη, κυτταρίνες), περιλαμβάνονται μεταξύ των πρόσθετων (γαλακτοματοποιητών, σταθεροποιητών, μέσων πάχυνσης, διογκωτικών, μέσων σχηματισμού πηκτής). Η προσθήκη τους στα τρόφιμα διέπεται από τους κανονισμούς EC 1333/2008, EU 1129/2011, και EU 1130/2011, οι οποίοι προσδιορίζουν τα τρόφιμα στα οποία μπορούν να προστεθούν τα πρόσθετα και τους όρους χρήσης των προσθέτων (π.χ. τη μέγιστη ποσότητα προσθήκης τους). Η ινουλίνη και η μαλτοδεξτρίνη δε συμπεριλαμβάνονται στα πρόσθετα τροφίμων.

Σε ότι αφορά την επισήμανση, η κατηγορία (π.χ. σταθεροποιητής) και η ονομασία ή ο αριθμός E του πρόσθετου πρέπει να αναφέρεται στη συσκευασία του τροφίμου (EU Regulation 1169/2011). Στη συνέχεια αναφέρονται οι αριθμοί E ορισμένων κόμμεων, κυτταρινών, και της πολυδεξτρόζης (EU Regulation 1129/2011):

Καραγεννάνη E 407, κόμμι χαρουπιών E 410, κόμμι γκουάρ E 412, αραβικό κόμμι E 414, κόμμι ξανθάνης E 415, κόμμι τζέλαν E 418, πηκτίνες

E 440, κυτταρίνη E 460, μεθυλοκυτταρίνη E 461, υδροξυπροπυλοκυτταρίνη E 463, υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη E 464, κόμμι κυτταρίνης (καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνη, άλας με νάτριο της καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης E 466 (EU Regulation 1274/2013), πολυδεξτρόζη E 1200

Η προσθήκη των παραπάνω πρόσθετων εμπίπτει στην αρχή «quantum santis» δηλαδή προστίθενται σύμφωνα με την ορθή παρασκευαστική πρακτική (EU Regulation 1129/2011), εκτός από την προσθήκη σε συγκεκριμένα τρόφιμα που ορίζει η νομοθεσία.

Ειδικότερα η προθήκη των στεαροϋλο-2-γαλακτυλικών αλάτων (SSL, CSL E481-482) στα εκλεκτά αρτοσκευάσματα, στα οποία συμπεριλαμβάνεται και το κέικ, ορίζεται στα 5000 mg/kg, των πολυσορβικών (E 432-436) στα 3000 mg/kg, των εστέρων των λιπαρών οξέων με σακχαρόζη-σακχαρογλικερίδια (E 473-E474) στα 10000 mg/kg, των πολυγλυκεριδίων λιπαρών οξέων (E 475) στα 10000 mg/kg, των εστέρων λιπαρών οξέων με προπανο-διόλη-1,2 (E 477) στα 5000 mg/kg, του τρυγικού στεαρυλεστέρα (E 483) στα 4000 mg/kg και των εστέρων της σορβιτάνης (E 491-495) στα 10000 mg/kg (EU Regulation 1129/2011).

4.5 Υποκατάσταση λιπαρού σε κέικ

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, το λιπαρό διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην δομή και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ. Έτσι προβλήματα που ανακύπτουν κατά την υποκατάσταση του λιπαρού σχετίζονται με τη μείωση του ιξώδους (ή σε ορισμένες περιπτώσεις αύξηση του ιξώδους) και τη μειωμένη ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη και κατ'επέκταση την υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος (μείωση του όγκου και της τρυφερότητας της υφής, διαφοροποίηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών). Η διαφοροποίηση εντείνεται με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης. Στα κέικ ή muffins τα υποκατάστατα που έχουν μελετηθεί (Πίνακας 4.1) είναι υδατανθρακικά και περιλαμβάνουν τη μαλτοδεξτρίνη καθώς και προϊόντα διαιτητικών ινών και πιο συγκεκριμένα την πολυδεξτρόζη, την ινουλίνη, τα κόμμεα, την πηκτίνη, τη μικροκρυσταλλική κυτταρίνη, συμπυκνώματα β-γλυκάνης, ίνες κακάο και ίνες ροδάκινου (Conforti & Archilla, 2001; Conforti & Archilla,

2001; Griguelmo-Miguel et al., 2001; Inglett et al., 2004; Jia et al., 2008; Kalinga & Mishra, 2009; Khalil, 1998; Kim et al., 2001b; Kocer et al., 2007; Lakshminarayan et al., 2006; Lee et al., 2004, 2005; Martinez-Cervera et al., 2011; Rodriguez-Garcia et al., 2012; Rodriguez-Garcia et al., 2014; Sowmya et al., 2009; Wafaa et al., 2011; Zambrano et al., 2004; Zahn et al., 2010). Επιπλέον για την υποκατάσταση του λιπαρού σε κέικ έχουν χρησιμοποιηθεί η αγκινάρα, σπόροι του φυτού chia (*Salvia hispanica* L.), πούλπα πατάτας και άλευρο από κελύφη μπιζελιού (Borneo et al., 2010; Husein et al., 2011; Kaack & Pedersen, 2005).

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι οι παραπάνω μελέτες αφορούν διαφορετικές παρασκευές κέικ (διαφορετικός τύπος κέικ, διαφορετικό λιπαρό που υποκαθίσταται (μαργαρίνη, έλαιο), διαφορετικές συνθήκες παρασκευής). Επιπλέον είναι περιορισμένος ο αριθμός των μελετών με αντικείμενο την επίδραση των υποκαταστάτων στα χαρακτηριστικά τόσο της ζύμης όσο και του τελικού προϊόντος, ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη συσχέτιση μεταξύ της διαφοροποίησης που παρατηρείται στα χαρακτηριστικά της ζύμης και στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος, ως αποτέλεσμα της υποκατάστασης του λιπαρού. Τέλος οι μελέτες εξετάζουν την επίδραση συγκεκριμένων υποκαταστάτων οπότε και προκύπτουν κατά περίπτωση συμπεράσματα για την απόδοση τους.

Η ολική ή μερική υποκατάσταση του λιπαρού σε κέικ high ratio από μαλτοδεξτρίνη καλαμποκιού (υπό μορφή πηκτής) οδήγησε σε μείωση του ιξώδους της ζύμης, σημαντική μείωση του όγκου του κέικ, αύξηση της σκληρότητας, πιο σκούρα ψίχα, αυξημένη υγρασία και συνεκτικότητα και αυξημένο ρυθμό παλαίωσης (Conforti & Archilla, 2001; Lakshminarayan et al., 2006). Ο μειωμένος όγκος μπορεί να αποδοθεί στην μειωμένη ικανότητα ενσωμάτωσης και συγκράτησης φυσαλίδων αέρα στη ζύμη (Bath et al., 2001; Shelke et al., 1990). Η αύξηση της σκληρότητας είναι αναμενόμενη ως απόρροια της απώλειας της συμβολής του λιπαρού στην τρυφερότητα της υφής. Επιπλέον η αύξηση της σκληρότητας και της συνεκτικότητας μπορούν να αποδοθούν στην απουσία του παρεμποδιστικού ρόλου του λιπαρού στην ανάπτυξη του πλέγματος της γλουτένης. Η αυξημένη υγρασία μπορεί να αποδοθεί στον υδρόφιλο χαρακτήρα της μαλτοδεξτρίνης. Με τη μείωση του λιπαρού παρατηρήθηκε αύξηση του ρυθμού παλαίωσης λόγω του ότι το λιπαρό περιορίζει την

αναδιαμόρφωση του αμύλου καθώς περιβάλλει του κόκκους του αμύλου. Ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με την αύξηση της ποσότητας της μαλτοδεξτρίνης τα δείγματα αξιολογήθηκαν ως αυξημένης υγρασίας, με λιγότερο τρυφερή υφή, μειωμένης ευθρυπτότητας, προσκολλησιμότητας και γλυκύτητας (Conforti & Archilla, 2001).

Όπως αναφέρθηκε, η χρήση της μαλτοδεξτρίνης επέφερε μείωση του ιξώδους της ζύμης και κατ'επέκταση μείωση του όγκου και αύξηση της σκληρότητας του τελικού προϊόντος. Με την προσθήκη γαλακτωματοποιητή (glycerol monostearate) βελτιώθηκαν τα χαρακτηριστικά του κέικ (αύξηση του όγκου και μικρή βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών) (Lakshminarayan et al., 2006), η οποία μπορεί να αποδοθεί στο σχηματισμό συμπλόκου αμυλόζης-γαλακτωματοποιητή που αυξάνει τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου με αποτέλεσμα να αυξάνεται και ο χρόνος δράσης των διογκωτικών ουσιών (Sobczynska & Setser, 1991). Η πλήρης υποκατάσταση του λιπαρού από μαλτοδεξτρίνη, η οποία δεν προστέθηκε σε μορφή πηκτής και δε συνοδεύτηκε από προσθήκη επιπλέον ποσότητας νερού, οδήγησε σε μείωση του ειδικού βάρους και αύξηση του ιξώδους της ζύμης. Ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση το κέικ είχε σημαντικά μειωμένο όγκο σε σύγκριση με το πλήρες προϊόν (Kim et al., 2001b).

Ανάλογα αποτελέσματα σε μείωση του όγκου, αυξημένη σκληρότητα, συνεκτικότητα, ελαστικότητα, ταχύτερη παλαίωση (εκτιμώμενη ως προς την αύξηση της σκληρότητας), πιο ανοιχτόχρωμη κόρα και πιο σκούρα ψίχα ελήφθησαν και με τη χρήση συμπυκνωμάτων β γλυκάνης (Kalinga & Mishra, 2009; Lee et al., 2005, 2004). Ωστόσο η υποκατάσταση του λιπαρού από συμπυκνώματα β-γλυκάνης από κριθάρι και βρώμη, με περιεκτικότητα σε β-γλυκάνη 60% και 50% αντίστοιχα, ή υδροκολλοειδούς από πίτυρο βρώμης πλούσιου σε β-γλυκάνη (10% Nutrim) οδήγησε σε αύξηση του ιξώδους και των ιξωδοελαστικών χαρακτηριστικών της ζύμης λόγω της αυξημένης ικανότητας συγκράτησης νερού της β-γλυκάνης (Kalinga & Mishra, 2009; Lee et al., 2004). Κατά τη θέρμανση, η υποκατάσταση λιπαρού από β-γλυκάνη οδήγησε σε αυξημένη ελαστικότητα της ζύμης (Kalinga & Mishra, 2009; Lee et al., 2005) που μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα δέσμευσης νερού και σχηματισμού πηκτής της β-γλυκάνης. Πλησιέστερα στο δείγμα αναφοράς ήταν τα

δείγματα με 20% υποκατάσταση από το συμπύκνωμα β-γλυκάνης κριθαριού ή Oatrim (Kalinga & Mishra, 2009; Lee et al., 2005). Ανάλογα αποτελέσματα επέφερε και η χρησιμοποίηση λιναρόσπορου ως υποκατάστατο λιπαρού, αλλά παρατηρήθηκε μείωση του ιξώδους (Lee et al., 2004). Στην περίπτωση χρησιμοποίησης συμπυκνώματος με μικρότερη συγκέντρωση σε β-γλυκάνη (Oatrim - 5,8% β-γλυκάνη και 82,7% αμυλοδεξτρίνη) παρατηρήθηκε μείωση του ιξώδους και μικρότερη ποσότητα ενσωμάτωσης αέρα στη ζύμη (Lee et al., 2005).

Η πολυδεξτρόζη, σε επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού 60%, οδήγησε σε μείωση του όγκου και αύξηση της πυκνότητας του τελικού προϊόντος λόγω της μειωμένης σταθερότητας της ζύμης, η οποία με τη σειρά της μπορεί να αποδοθεί στην άμορφη φύση της πολυδεξτρόζης και την περιορισμένη σταθεροποιητική δράση της στην ανάπτυξη των φυσαλίδων κατά τον κλιβανισμό. Ωστόσο με την πολυδεξτρόζη παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της ομοιομορφίας των φυσαλίδων αέρα στη ζύμη με αποτέλεσμα η μείωση του μεγέθους των πόρων στην ψίχα να είναι λιγότερο σημαντική από την κόρα (Kocer et al., 2007). Αντίθετα η υποκατάσταση λιπαρού έως 50% σε κέικ Madeira από μαλτοδεξτρίνη και πολυδεξτρόζη βελτίωσε τον όγκο, την τρυφερότητα της υφής και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (άρωμα, τρυφερότητα), σε σύγκριση με το πλήρες λιπαρών ενώ η προσθήκη μονο- και δι-γλυκεριδίων βελτίωσε περαιτέρω την υφή (Khalil, 1998).

Σε κέικ που παρασκευάζονται με φυτικά έλαια, όπως το chinese moon cake με φυστικέλαιο, η υποκατάσταση του λιπαρού σε χαμηλά ποσοστά (έως 15%) από μίγμα αραβικού και ξανθικού κόμμεος μείωσε την προσκολλησιμότητα και την αίσθηση του λιπαρού στο στόμα, ενώ η προσθήκη των κόμμεων μετρίασε την αύξηση της σκληρότητας που προκλήθηκε όταν μειώθηκε το λιπαρό, και ενίσχυσε σημαντικά την μασητικότητα του προϊόντος, ιδιότητα που αποδόθηκε στην ικανότητα απορρόφησης νερού των κόμμεων (Jia et al., 2008). Η υποκατάσταση λιπαρού από κόμμι γκουάρ ή ξανθικό κόμμι αύξησε σημαντικά το ειδικό βάρος της ζύμης και μείωσε τον ειδικό όγκο και την τρυφερότητα του κέικ, με το ξανθικό κόμμι να παρουσιάζει υψηλότερα ποσοστά αποδοχής από το κόμμι γκουάρ. Σε επίπεδο υποκατάστασης 50%, μετά την 5^η ημέρα αποθήκευσης δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση της υφής σε

σύγκριση με το δείγμα αναφοράς, που μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα συγκράτησης νερού των κόμμεων, Πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση των κόμμεων οδήγησε σε μείωση της περιεκτικότητας του προϊόντος σε λιπαρά, όχι όμως σε αντίστοιχη μείωση και του θερμιδικού φορτίου λόγω του μεγαλύτερου υδατανθρακικού φορτίου των κόμμεων. Επιπλέον με την προσθήκη των κόμμεων δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση ως προς την ενεργότητα νερού (Zambrano et al., 2004).

Η ινουλίνη επίσης επέφερε μείωση του ιξώδους της ζύμης, πιο σκούρο χρώμα κόρας, αύξηση της υγρασίας, της πυκνότητας και της σκληρότητας του τελικού προϊόντος και επηρέασε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (με κυριότερη την υποβάθμιση της υφής και της εμφάνισης) (Rodriguez-Garcia et al., 2012, 2014a,b; Zahn et al., 2010). Η αύξηση της ρευστότητας της ζύμης επηρεάζεται όχι μόνο από το επίπεδο της υποκατάστασης αλλά και τον τύπο της ινουλίνης, και ήταν χαμηλότερη όταν η ινουλίνη προστέθηκε υπό μορφή πηκτής σε σύγκριση με την προσθήκη υπό μορφή σκόνης συνοδευόμενη από την προσθήκη της απαιτούμενης ποσότητας νερού (Zahn et al., 2010). Επιπλέον ο τύπος της ινουλίνης έχει επίδραση και στο καστανό χρώμα της κόρας, με την ινουλίνη με μικρότερο βαθμό πολυμερισμού να οδηγεί σε σκουρότερο χρώμα λόγω του εντονότερου αναγωγικού χαρακτήρα της (Zahn et al., 2010). Η υποκατάσταση ηλιέλαιου σε sponge κέικ από ινουλίνη επέφερε ευρύτερη κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων περιλαμβάνοντας και μεγαλύτερα μεγέθη φυσαλίδων της ζύμης, που σε συνδυασμό με την ελάττωση του ιξώδους περιόρισαν τη σταθερότητα και την ανάπτυξη των φυσαλίδων και οδήγησαν σε πιο πυκνή δομή (μείωση του μεγέθους των κυψελίδων και του ύψους του κέικ με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης). Με την πυκνότερη δομή του κέικ, ως αποτέλεσμα της μείωσης του λιπαρού, συνδέονται και η αύξηση της σκληρότητας και της συνεκτικότητας της ψίχας (Rodriguez-Garcia et al., 2012; 2014a). Παρ' όλα αυτά, υποκατάσταση μαργαρίνης και ηλιελαίου από ινουλίνη σε επίπεδο έως 50% και 70% σε muffin και sponge κέικ, αντίστοιχα, παρείχε αποδεκτό προϊόν (Rodriguez-Garcia et al., 2012; Zahn et al., 2010).

Μελέτες για την υποκατάσταση της μαργαρίνης από προϊόντα διαιτητικών ινών (πηκτίνη, μικροκρυσταλλική κυτταρίνη, υδροκολλοειδές από πίτυρο ρυζιού και άλευρο κριθαριού- Ricetrim ή από συνδυασμό

ελαίου με κόμμεα (σησαμέλαιο με υδροξυλοπροπυλομεθυλοκυτταρίνη ή ξανθάνη)) έδειξαν σημαντική μείωση της περιεκτικότητας σε κορεσμένα λιπαρά οξέα (Inglett et al., 2004; Sowmya et al., 2009; Wafaa et al., 2011), και μείωση του θερμιδικού φορτίου (Inglett et al., 2004). Ειδικότερα η χρήση σησαμέλαιου προκάλεσε και αύξηση των ακόρεστων λιπαρών οξέων (Sowmya et al., 2009). Σημαντική μείωση του θερμιδικού φορτίου επιτεύχθηκε με τη χρήση αλεσμένων κονδύλων αγκινάρας, πηκτής από σπόρους του φυτού chia, πούλπας πατάτας και άλευρου από κελύφη μπιζελιού, ή ινών ροδάκινου (Borneo et al., 2010; Grigelmo-Miguel et al., 2001; Husein et al., 2011; Kaack & Pedersen, 2005) ενώ η προσθήκη ινών κακάο παρείχε προϊόν αυξημένης περιεκτικότητας σε διαιτητικές ίνες (Martinez-Cervera et al., 2011). Και με τα υποκατάστατα αυτά παρατηρήθηκε μείωση του όγκου, αύξηση της σκληρότητας και υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος (Borneo et al., 2010; Grigelmo-Miguel et al., 2001; Husein et al., 2011; Sowmya et al., 2009). Ωστόσο υποκατάσταση ηλιέλαιου κατά περίπου 27% από ίνες ροδάκινου δεν παρουσίασε απόκλιση από το δείγμα αναφοράς ως προς την αποδεκτότητα για διάστημα αποθήκευσης 7 ημερών (Grigelmo-Miguel et al., 2001). Επίσης, οι ίνες κακάο παρείχαν βραδύτερο ρυθμό παλαίωσης (αύξησης της σκληρότητας) σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς στο οποίο είχε προστεθεί σκόνη κακάο αλλά σημαντική υποβάθμιση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων (δυσκολία στη μάσηση και την κατάποση, πικρή μετάγευση) (Martinez-Cervera et al., 2011). Η προσθήκη γαλακτωματοποιητή (SSL) σε συνδυασμό με την υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη κατά την μερική (50%) υποκατάσταση του λιπαρού από σησαμέλαιο, βελτίωσε την ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη (μείωσε το ειδικό βάρος της ζύμης και αύξησε το ιξώδες) και κατ'έπекταση βελτίωσε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (υφή, οργανοληπτικά) του κέικ (Sowmya et al., 2009).

4.6 Υποκατάσταση του λιπαρού σε άλλα προϊόντα αρτοποιίας

4.6.1 Υποκατάσταση του λιπαρού σε μπισκότα, cookies

Στα μπισκότα και σε cookies έχει μελετηθεί η υποκατάσταση του λιπαρού από υδατανθρακικά υποκατάστατα, όπως μαλτοδεξτρίνη, πολυδεξτρώζη,

ινουλίνη, πηκτίνη, παράγωγα βρώμης πλούσια σε β-γλυκάνη, υδροξυπροπυλο-μεθυλο-κυτταρίνη ή πρωτεϊνικά, όπως η μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη αλλά και εκχύλισμα λούπινου ή ίνες καλαμποκιού (Forker et al., 2012, Gallagher et al., 2003; Kaur et al., 2000, Laguna et al., 2013, Lee et al., 2009; Min et al., 2010; Rodriguez-Garcia et al., 2013; Sanchez et al., 1995; Sudha et al., 2007; Wekwete & Navder, 2008, Zoulias et al., 2000, 2002a,b). Γενικά η υποκατάσταση του λιπαρού οδήγησε σε αύξηση της συνεκτικότητας (Sudha et al., 2007, Forker et al., 2012) ή της σκληρότητας των προϊόντων (Gallagher et al., 2003) λόγω του περιορισμού της παρεμποδιστικής δράσης του λιπαρού στην ανάπτυξη του πλέγματος της γλουτένης. Η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της ζύμης συνοδεύτηκε από αύξηση της σκληρότητας και μείωση του «απλώματος» του τελικού προϊόντος, ενώ παρατηρήθηκε και υψηλότερη υγρασία και ενεργότητα νερού των τελικών προϊόντων και λιγότερο σκούρο χρώμα επιφάνειας (Forker et al., 2012, Gallagher et al., 2003; Kaur et al., 2000, Laguna et al., 2013, Lee et al., 2009; Min et al., 2010; Rodriguez-Garcia et al., 2013; Sanchez et al., 1995; Sudha et al., 2007; Wekwete & Navder, 2008, Zoulias et al., 2000, 2002a,b). Η υγρασία και η ενεργότητα νερού σε μπισκότα ή cookie με υποκατάσταση λιπαρού είναι αυξημένες, αλλά μείωση της περιεχόμενης υγρασίας και της ενεργότητας νερού παρατηρήθηκε κατά την υποκατάσταση του λιπαρού σε μπισκότα από ινουλίνη ή υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη χωρίς την προσθήκη επιπλέον ποσότητας νερού σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς (Laguna et al., 2013).

Γενικότερα έχει μελετηθεί η μερική υποκατάσταση (έως 50%) του λιπαρού σε μπισκότα ή cookies και σε μικρότερο βαθμό η υποκατάσταση σε υψηλότερα επίπεδα (60, 70%) (Forker et al., 2012; Laguna et al., 2013; Lee et al., 2009; Sanchez et al., 1995; Seker et al., 2010; Sudha et al., 2007; Swanson & Perry, 2007; Wekwete & Navder, 2008; Zoulias et al., 2000, 2002a,b). Η προσθήκη γαλακτοματοποιητών ή κόμμεος γκουάρ ειδικότερα κατά τη χρήση της μαλτοδεξτρίνης ή της πολυδεξτρόζης σε μπισκότα ή cookies αντίστοιχα βελτίωσε ορισμένα χαρακτηριστικά (υφή, άπλωμα) αλλά όχι και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στο σύνολο τους (Sanchez et al., 1995; Sudha et al., 2007).

Σε cookies βρώμης η υποκατάσταση του λιπαρού (βούτυρου) κατά 50% από πολτό αβοκάντο ή oatrim, ή από πολτό δαμάσκηνο μείωσε την

περιεκτικότητα σε λιπαρά κατά 35%, 39% και 32% αντίστοιχα, ωστόσο παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις από το πλήρες σε λιπαρά προϊόν ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Swanson & Perry, 2007; Wekwete & Navder, 2008). Σε χαμηλότερο ποσοστό υποκατάστασης λιπαρού (έως 20%) από υδροκολλοειδή βρώμης πλούσια σε β-γλυκάνη (Nutrim-OB, C-Trim20) τα cookies δεν αξιολογήθηκαν ως διαφορετικά από το δείγμα αναφοράς ως προς τη γεύση/άρωμα και την υφή (Lee et al., 2009). Η υποκατάσταση λιπαρού έως 40% από άλευρο πυρήνων βερίκοκου, επίσης παρείχε αποδεκτό προϊόν αυξημένης περιεκτικότητας σε διαιτητικές ίνες (Seker et al., 2010). Πρόσφατες μελέτες για την ινουλίνη και την υδροξυ-προπυλο-μεθυλο-κυτταρίνη έδειξαν ότι αποδεκτό προϊόν προκύπτει σε επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού 15% (Laguna et al., 2013; Tarancon et al., 2013).

4.6.2 Υποκατάσταση λιπαρού σε άρτο

Στο ψωμί, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο των διαιτητικών ινών, έχει μελετηθεί ο εμπλουτισμός με προϊόντα ινών (π.χ. ινουλίνη, πηκτίνη), ωστόσο η μελέτη της λειτουργικότητας ορισμένων από αυτά στην υποκατάσταση του λιπαρού είναι περιορισμένη και αφορά την ινουλίνη, την πολυδεξτρόζη και τη μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη. Η χρήση της ινουλίνης και της μικροσωματιδιακής πρωτεΐνης επηρέασε τα χαρακτηριστικά της ζύμης (αύξηση της απορρόφησης νερού) με επακόλουθη τη μείωση του όγκου και την αύξηση της σκληρότητας του τελικού προϊόντος. Ειδικότερα η μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη αποδυνάμωσε την ανάπτυξη της γλουτένης με αποτέλεσμα την περιορισμένη διατήρηση αέρα. Η προσθήκη της ινουλίνης σε μορφή πηκτής έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από την μορφή της σκόνης, λόγω της περιορισμένης διασποράς της δεύτερης στη ζύμη (O'Brien et al., 2003). Η υποκατάσταση λιπαρού από πολυδεξτρόζη σε ψωμί χάμπουργκερ επέφερε σημαντική διαφοροποίηση του χρώματος της κόρας (πιο φωτεινό και χρυσαφί απόχρωση) και ικανοποιητική απόδοση ως προς τη διατήρηση της υφής σε διάστημα 10 ημερών (Sergio Esteller et al., 2006).

4.7 Ίνες ως υποκατάστατο λιπαρού σε άλλα προϊόντα

Η υποκατάσταση του λιπαρού έχει μελετηθεί σε προϊόντα γάλακτος και κρέατος. Ειδικότερα έχει μελετηθεί η παρασκευή γιαουρτιού μειωμένων λιπαρών με πρωτεϊνικής βάσης υποκατάστατα (Sandoval-Castilla et al., 2004), και υδατανθρακικής βάσης υποκατάστατα (πχ. πολυδεξτρόζη (Srisunvor et al., 2013)) με την ινουλίνη να έχει προσελκύσει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε γάλα (Debon et al., 2010; De Castro et al., 2009; Pinheiro et al., 2009), γιαούρτι (Brennan & Tudorica, 2008; Gussinberg et al., 2009; Paseephol et al., 2008), μους (Cardarelli, et al., 2008), παγωτό (El-Nagar et al., 2002; Karaca et al., 2009), τυρί (Hennelly et al., 2006), ενώ έχει μελετηθεί και η επίδραση της σε προϊόντα κρέατος (Mendoza et al., 2001).

Για την υποκατάσταση λιπαρού έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί συμπυκνώματα διαιτητικών ινών. Οι διαιτητικές ίνες βελτιώνουν την υφή των προϊόντων κρέατος (π.χ. λουκάνικα), καθώς λόγω των ιδιοτήτων συγκράτησης νερού και λιπαρού περιορίζουν την απώλεια αυτών κατά το μαγείρεμα, ενώ υποκαθιστώντας το λιπαρό συμβάλλουν στη μείωση του θερμιδικού φορτίου του προϊόντος. Για παράδειγμα η προσθήκη ινών από πίτυρο σιταριού σε μπιφτέκι μειώνει τα επίπεδα της χοληστερόλης και βελτιώνει την υφή και τις διαστάσεις του προϊόντος (Mansour & Khalil, 1997). Η προσθήκη ινών από δημητριακά ή ινών πορτοκαλιού σε λουκάνικο έδωσε προϊόν με παρόμοια οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με το πλήρες σε λιπαρά προϊόν (Garcia et al., 2002). Η προσθήκη μικρής ποσότητας ινών καρότου σε λουκάνικα (sobrassada) επίσης δε διαφοροποίησε σημαντικά τα χαρακτηριστικά του προϊόντος ενώ η προσθήκη σε ποσοστά υψηλότερα του 3% επέφερε σημαντική υποβάθμιση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων του (Eim et al., 2008). Επιπλέον η υποκατάσταση λιπαρού από διαιτητικές ίνες βελτιώνει το άρωμα των προϊόντων καθώς επιβραδύνει την απελευθέρωση των πτητικών συστατικών (Chevance et al., 2000; Desmond et al., 1998). Μικρή διαφοροποίηση ως προς το άρωμα και μειωμένη σκληρότητα παρατηρήθηκε σε κεφτεδάκια μειωμένων λιπαρών με την υποκατάσταση λιπαρού από ίνες βρώμης (Warner & Inglett, 1997). Επιπλέον η προσθήκη

ινών από εσπεριδοειδή σε προϊόντα κρέατος παρεμποδίζει την οξειδωση, μειώνει τα επίπεδα των νιτροδών και παρατείνει τη διατηρησιμότητά τους (Fernandez-Gines et al., 2003; Sayago-Ayerdi et al., 2009).

Σε παγωτό επιτεύχθηκε η υποκατάσταση λιπαρού από ίνες πορτοκαλιού σε ποσοστό 70% χωρίς σημαντική διαφοροποίηση ως προς την υφή, το χρώμα και την οσμή (De Moraes Crizel et al., 2013).

4.8 Συμπεράσματα

Στα κέικ ή muffins τα υποκατάστατα του λιπαρού που έχουν μελετηθεί είναι υδατανθρακικής φύσης και περιλαμβάνουν τη μαλτοδεξτρίνη καθώς και προϊόντα διαιτητικών ινών (πολυδεξτρόζη, ινουλίνη, κόμμαα, πηκτίνη, μικροκρυσταλλική κυτταρίνη, συμπυκνώματα β-γλυκάνης, ίνες κακάο και ίνες ροδάκινου). Ειδικότερα η υποκατάσταση της μαργαρίνης από προϊόντα διαιτητικών ινών παρείχε προϊόν μειωμένης περιεκτικότητας σε κορεσμένα λιπαρά οξέα και μειωμένου θερμιδικού φορτίου.

Ωστόσο η υποκατάσταση του λιπαρού οδήγησε σε μείωση του ιξώδους (ή σε ορισμένες περιπτώσεις αύξηση του ιξώδους) και μειωμένη ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη και κατ'επέκταση στην υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος (μείωση του όγκου, αύξηση της σκληρότητας, διαφοροποίηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών). Οι διαφοροποιήσεις από το πλήρες σε λιπαρά προϊόν εντεινόταν με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης.

Οι περισσότερες από τις έρευνες εξετάζουν την επίδραση μεμονωμένων υποκατάστατων, και αφορούν διαφορετικές παρασκευές κέικ (διαφορετικός τύπος κέικ, διαφορετικό λιπαρό που υποκαθίσταται (μαργαρίνη, έλαιο), διαφορετικές συνθήκες παρασκευής), γεγονός που δυσχεραίνει τη συγκριτική εξέταση της αποτελεσματικότητας των υποκαταστάτων και τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η πλήρης και η μερική υποκατάσταση του λιπαρού από υποκατάστατα διαφορετικού τύπου. Πιο συγκεκριμένα διερευνήθηκε η εφαρμογή υποκατάστατων υδατανθρακικής (πηκτίνη) και πρωτεϊνικής βάσης (μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη) που δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά. Συμπεριλήφθηκαν και υποκατάστατα (ινουλίνη, ολιγοφρουκτόζη, μαλτοδεξτρίνη) που έχουν αποτελέσει αντικείμενο

προηγούμενων μελετών, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση τους και σε χαρακτηριστικά που δεν έχουν μελετηθεί (ζελατινοποίηση του αμύλου, κατανομή μεγέθους φυσαλίδων), και να προκύψουν συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητά τους από τη συγκριτική μελέτη μεταξύ των διαφόρων υποκαταστάτων. Επιπλέον εξετάστηκε η επίδραση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (βαθμός πολυμερισμού, βαθμός εστεροποίησης) ορισμένων υποκατάστατων στην απόδοση τους. Τέλος, όπως και στην περίπτωση της υποκατάστασης της σακχαρόζης, έγινε συσχέτιση της επίδρασης του κάθε υποκατάστατου του λιπαρού στα χαρακτηριστικά της ζύμης με τις διαφοροποιήσεις που επέφερε στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Πίνακας 4.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση λιπαρού σε κέικ ή muffin

Προϊόν	Υποκατάστατο λιπαρού	Παράμετροι που μετρήθηκαν	Αναφορά
Κέικ	chia (<i>Salvia hispanica</i> L)	Σύσταση, όγκος, ύψος, συμμετρία, βάρος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Borneo et al., 2010
Κέικ high ratio	Μαλτοδεξτρίνη καλαμποκιού (DE=10)	Δείκτης όγκου, χρώμα, υγρασία, σκληρότητα, παλαίωση, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Conforti & Archilla, 2001
Muffin	Ίνες ροδάκινου (επίπεδο υποκατάστασης: 13,5%, 20%, 27%, 34%, 67,5%)	Σύσταση, θερμιδικό φορτίο, βάρος, ύψος, χρώμα, υγρασία υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, παλαίωση	Grigelmo-Miguel et al., 2001
Κέικ	Κόνδυλοι αγκινάρας	Ειδικός όγκος, pH (ζύμη) Ειδικός όγκος, όγκος, ύψος, χρώμα, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Husein et al., 2011
Κέικ	Ricetrim (επίπεδο υποκατάστασης: 40%, 60%, 80%)	Σύσταση, θερμιδικό φορτίο, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Inglett et al., 2004
Chinese moon cake	Αραβικό, ξανθικό κόμμι (επίπεδο υποκατάστασης: 5%, 10%, 15%)	Χρώμα, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Jia et al., 2008
Κέικ	Συμπυκνώματα β-γλυκάνης από βρώμη, κριθάρι (επίπεδο υποκατάστασης: 20%, 30%, 40%)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά (ζύμη) Όγκος, χρώμα, σκληρότητα, παλαίωση (κέικ)	Kalinga & Mishra, 2009

Πίνακας 4.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση λιπαρού σε κέικ ή muffin (Συν.)

Προϊόν	Υποκατάστατο λιπαρού	Παράμετροι που μετρήθηκαν	Αναφορά
Κέικ madeira	Πολυδεξτρόζη, μαλτοδεξτρίνη (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%)	Ειδικό βάρος, ρεολογικά χαρακτηριστικά (ζύμη) Όγκος, ειδικός όγκος, χρώμα, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Khalil, 1998
Κέικ	Μαλτοδεξτρίνη, (επίπεδο υποκατάστασης: 100%)	Ειδικό βάρος, ρεολογικά χαρακτηριστικά (ζύμη) Όγκος, χρώμα ψίχας, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Kim et al., 2001
Κέικ high ratio	Πολυδεξτρόζη (επίπεδο υποκατάστασης: 20%, 40%, 60%)	Μέγεθος φυσαλίδων, κατανομή μεγέθους και ομοιομορφία φυσαλίδων, χρόνος αποστράγγισης (ζύμη) Ύψος, χρώμα, πορώδες (μέγεθος, σχήμα, ομοιομορφία μεγέθους, κατανομή μεγέθους και σχήματος πόρων) (κέικ)	Kocer et al., 2007
Κέικ	Μαλτοδεξτρίνη (επίπεδο υποκατάστασης: 50%, 80%) Γαλακτωματοποιητές (glycerol monostearate, SSL)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά (ζύμη) Όγκος, ειδικός όγκος, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Lakshminarayan et al., 2006
Κέικ	Υδροκολλοειδές από πίτυρο βρώμης (Nutrim oat bran), λιναρόσπρος (επίπεδο υποκατάστασης: 20%, 40%, 60%)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά (ζύμη) Όγκος, χρώμα ψίχας, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Lee et al., 2004

Πίνακας 4.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση λιπαρού σε κέικ ή muffin (Συν.)

Προϊόν	Υποκατάστατο λιπαρού	Παράμετροι που μετρήθηκαν	Αναφορά
Κέικ	Oatrim (επίπεδο υποκατάστασης: 20%, 40%, 60%)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά, μικροσκοπική ανάλυση, θερμικά χαρακτηριστικά (ζύμη) Όγκος, υφή (κέικ)	Lee et al., 2005
Muffin	Ίνες κακάο (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%)	Ειδικό βάρος, ρεολογικά χαρακτηριστικά (ζύμη) Απώλεια βάρους, σύσταση, υγρασία, χρώμα, υφή, παλαιώση, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Martinez-Cerevera et al., 2011
Sponge κέικ	Ινουλίνη (επίπεδο υποκατάστασης: 35%, 50%, 70%, 100%)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά, μικροσκοπική ανάλυση, (ζύμη) Απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο, ύψος, κυψέλωση, ανάλυση δομής (SEM), υφή, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Rodriguez-Garcia et al., 2012
Κέικ	Ινουλίνη (επίπεδο υποκατάστασης: 50%)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά, μικροσκοπική ανάλυση, (ζύμη) Απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο, ύψος, κυψέλωση, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Rodriguez-Garcia et al., 2014a
Κέικ	Ινουλίνη (επίπεδο υποκατάστασης: 50%, 70%)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά, πυκνότητα, Διαφορική Θερμιδομετρική Ανάλυση (ζύμη) Όγκος, κυψέλωση, υφή, υγρασία, ενεργότητα νερού (κέικ)	Rodriguez-Garcia et al., 2014b

Πίνακας 4.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που αφορούν την υποκατάσταση λιπαρού σε κέικ ή muffin (Συν.)

Προϊόν	Υποκατάστατο λιπαρού	Παράμετροι που μετρήθηκαν	Αναφορά
Κέικ	Σησαμέλαιο (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%, 100%) Γαλακτωματοποιητές (glycerol monostearate, SSL) Κόμμεα (HPMC, ξανθικό)	Ρεολογικά χαρακτηριστικά, ειδικό βάρος, μικροσκοπική ανάλυση, (ζύμη) Όγκος, ανάλυση δομής (SEM), υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, σύσταση (κέικ)	Sowmya et al., 2009
Κέικ	Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη, πηκτίνη, λεύκωμα αυγού (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%)	Σύσταση, βάρος, ύψος, ειδικός όγκος, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά,	Wafaa et al., 2011
Muffin	Ινουλίνη (επίπεδο υποκατάστασης: 50%, 75%, 100%)	Ρευστότητα (ζύμη) Απώλεια βάρους, υγρασία, χρώμα, υφή, όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κέικ)	Zahn et al., 2010
Κέικ	Ξανθικό, γκούαρ κόμμι (επίπεδο υποκατάστασης: 25%, 50%, 75%)	Ειδικό βάρος (ζύμη) Ειδικός όγκος, υφή, θερμιδικό φορτίο, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, υγρασία, ενεργότητα νερού, παλαιώση (κέικ)	Zambrano et al., 2004

Ο πεζογράφος, συνθέτοντας ένα μυθιστόρημα, προσπαθεί ν' αποδείξει μια προκαθορισμένη θέση. ...Ο μυθιστοριογράφος είναι δημιουργός παθητικός, εφόσον η απόδειξη της θέσης του είναι ανεύθυνη ανασύνθεση μιας τυχαίας περίπτωσης, ή ακόμα πιο ανεύθυνη προβολή φανταστικών προσώπων και καταστάσεων. Το ότι τα γεγονότα που συνέβησαν σ' ένα κύκλο ανθρώπων τυχαίνει να επαληθεύει τη θέση μας, δεν είναι επιχείρημα πειστικό. Αφήνουμε στην τύχη μεγάλο ρόλο, και δεν βάζουμε ποτέ τα γεγονότα και τις ψυχολογίες των ηρώων μας στη δοκιμασία του πειράματος.

Μ' ένα λόγο, ο λογοτέχνης που επιθυμεί να πάρη θέση υπεύθυνη απέναντι στα φαινόμενα της ζωής, οφείλει να ακολουθήσει το παράδειγμα του επιστήμονα, και να προχωρήσει στην πειραματική επαλήθευση των «θέσεων» του.

Ας δούμε πως ο συγγραφέας θα οργανώσει ένα πειραματικό μυθιστόρημα. Ξεκινάει από μια θεωρητική θέση...Βέβαια, ο κάθε «πειραματάνθρωπος» θα αντιδράση διαφορετικά στις υποδείξεις του συγγραφέα, κατά κάποιο όμως ποσοστό θα επηρεασθή και θα εκδηλωθή ανάλογα. Η εκδήλωσή του θα διασταυρωθή με την αντίστοιχη εκδήλωση του άλλου πειραματάνθρώπου...

Κατά ποιο ποσοστό ο μυθιστοριογράφος θα πετύχη αυτό που θέλει, εξαρτάται από τη ραδιουργική του δεξιότητα, αλλά και από την αντίδραση των ατόμων της ομάδας. Αδιάφορο. Οποιοδήποτε και αν είναι το αποτέλεσμα, φτάνουμε σ' ένα συμπέρασμα που είτε αποδείχνει, είτε καταρρίπτει τη θέση μας. Αλλά η κατάρριψη μιας «θέσης» θα κριθεί σαν «αντίθεση», οπότεν πάλι έχουμε δικαιολογημένη αιτία συγγραφής μυθιστορήματος.

Και φτάνουμε στην τεχνική πλευρά του ζητήματος. Ο συγγραφέας συγκεντρώνει τα στοιχεία που προκάλεσε η παρεμβατική του δραστηριότητα, τα κλασάρει, τα ξεκαθαρίζει, τα μελετά, τα ισορροπεί αρμονικά. Κι ύστερα σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία, γράφει το μυθιστόρημα του.

Θα είχα άραγε το θάρρος να εφαρμόσω πραχτικά τούτη τη θεωρία μου; Ο πειρασμός είναι μεγάλος.....

«Ο Κίτρινος Φάκελος»

Μ. Καραγάτση, 1955

Κεφάλαιο 5

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Σχεδιασμός Πειραμάτων

Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής, ήταν να μελετηθεί η δυνατότητα υποκατάσταση της σακχαρόζης ή του λιπαρού σε κέικ, καθώς και ο εμπλουτισμός του σε διαιτητικές ίνες για βελτίωση του υγιεινού του προφίλ. Επιλέχθηκε το κέικ ως προϊόν υψηλής αρέσκειας και ευρείας κατανάλωσης από ενήλικες και παιδιά, το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον ως προϊόν προς εμπλουτισμό.

Αρχικά καθορίστηκε η παρασκευή του δείγματος αναφοράς (υλικά, αναλογία συστατικών, μέθοδος παρασκευής). Η επιλογή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την υποκατάσταση της σακχαρόζης και του λιπαρού και του εμπλουτισμού με ίνες βασίστηκε σε βιβλιογραφικές αναφορές. Επιλέχθησαν υλικά που έχουν αποτελέσει αντικείμενο προηγούμενων μελετών, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδρασή τους σε παραμέτρους που δεν έχουν μελετηθεί εκτενώς, καθώς και υλικά των οποίων η προσθήκη στο κέικ δεν έχει μελετηθεί. Εξετάστηκε η επίδραση των υποκατάστατων σακχαρόζης, του λιπαρού και των ινών σε χαρακτηριστικά του κέικ, καθοριστικών για την αποδοχή του προϊόντος (φυσικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, ιδιότητες της υφής) σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς. Η μελέτη συμπεριέλαβε και την επίδραση σε χαρακτηριστικά της ζύμης (ρεολογική συμπεριφορά, θερμικά χαρακτηριστικά, ενσωμάτωση αέρα) προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την αλληλεπίδρασή μεταξύ ιδιοτήτων της ζύμης και του τελικού προϊόντος. Επιπλέον από τη συγκριτική μελέτη (στατιστική επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων) των διαφόρων υποκατάστατων σακχαρόζης και λιπαρού προέκυψαν συμπεράσματα ως προς την απόδοσή τους. Βάσει των αποτελεσμάτων της υποκατάστασης του λιπαρού και της προσθήκης ινών, καθορίστηκε η παρασκευή προϊόντος μειωμένων λιπαρών εμπλουτισμένου με ίνες, και εξετάστηκε η βελτίωσή του με τη χρήση γαλακτωματοποιητών. Πιο συγκεκριμένα σχεδιάστηκαν τρεις σειρές πειραμάτων, όπως αναπτύσσονται στη συνέχεια.

1) Μελέτη πλήρους υποκατάστασης της ζάχαρης

Η σημαντική μείωση του θερμιδικού περιεχομένου του προϊόντος μπορεί να επιτευχθεί με την πλήρη υποκατάσταση της σακχαρόζης. Στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθησαν ως υποκατάστατα της σακχαρόζης διάφορες πολυόλες, που είναι εμπορικά διαθέσιμες και οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλότερο θερμιδικό φορτίο (2.4 kcal/g) έναντι της ζάχαρης (4 kcal/g) και είναι δυνατή η κατανάλωσή τους από διαβητικούς. Στα υποκατάστατα συμπεριλήφθησαν και προϊόντα διαιτητικών ινών (πολυδεξτρόζη και ολιγοφρουκτόζη) καθώς και η φρουκτόζη, η οποία είναι εμπορικά διαθέσιμη στο καταναλωτικό κοινό και είναι κατάλληλη για διαβητικούς, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα από τη συγκριτική μελέτη των υποκατάστατων ως προς την απόδοσή τους. Για την ενίσχυση της γλυκύτητας στην περίπτωση των προϊόντων με υποκατάστατα ζάχαρης (πλην της φρουκτόζης) που υποβλήθηκαν σε οργανοληπτική εξέταση, χρησιμοποιήθηκε εμπορικό γλυκαντικό με ακετοσουλφάμη-K και ασπαρτάμη.

2) Υποκατάσταση λιπαρού

Τα πειράματα σχεδιάστηκαν ώστε να μελετηθεί η δυνατότητα παρασκευής ενός προϊόντος μειωμένων λιπαρών (μείωση τουλάχιστον κατά 30% σε σχέση με το συμβατικό προϊόν) ή και ελεύθερου λιπαρών. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν τρία επίπεδα υποκατάστασης (35%, 65% και 100%). Επίσης στόχος ήταν να διερευνηθεί η εφαρμογή υποκατάστατων λιπαρού διαφορετικού τύπου, και πιο συγκεκριμένα υδατανθρακικής βάσης (μαλτοδεξτρίνη, ινουλίνη, πηκτίνη) και πρωτεϊνικής βάσης (μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη), προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση τους στα χαρακτηριστικά του κέικ αλλά και της ζύμης, και να εξαχθούν συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητά τους από τη συγκριτική μελέτη. Επιπλέον εξετάστηκε η επίδραση των χαρακτηριστικών (βαθμός πολυμερισμού, βαθμός εστεροποίησης) ορισμένων υποκατάστατων στην απόδοσή τους, ώστε να επιλεγεί το καταλληλότερο.

3) *Εμπλουτισμός κέικ μειωμένων λιπαρών με ίνες*

Βάσει των αποτελεσμάτων της συγκριτικής μελέτης των υποκατάστατων λιπαρού, καθορίστηκε το επίπεδο υποκατάστασης λιπαρού (65%) και το υποκατάστατο (ινουλίνη) στο προϊόν μειωμένων λιπαρών, το οποίο μελετήθηκε για περαιτέρω εμπλουτισμό με πηγή ινών. Ειδικότερα μελετήθηκε η επίδραση της ενσωμάτωσης ινών καρότου στο κέικ μειωμένων λιπαρών και διερευνήθηκε η βελτίωση του εμπλουτισμένου προϊόντος με τη χρήση γαλακτωματοποιητών. Οι ίνες καρότου επιλέχθηκαν λόγω των ωφέλιμων επιδράσεων τους, που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο των διαιτητικών ινών, ενώ η μελέτη της εφαρμογής τους σε προϊόντα αρτοποιίας έχει περιοριστεί σε cookies και σε wheat rolls (Turksoy & Ozkaya, 2011; Kohajdova et al., 2012) χωρίς να έχει μελετηθεί η εφαρμογή τους σε κέικ. Επιπλέον η χρησιμοποίηση των ινών καρότου παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης του αντίστοιχου παραπροϊόντος (φλοιός, πολτός) της βιομηχανίας με σημαντικό όφελος τόσο για τη βιομηχανία όσο και για το περιβάλλον. Η ινουλίνη επιλέχθηκε για την υποκατάσταση λιπαρού στο εμπλουτισμό με ίνες καρότου προϊόν λόγω της ικανοποιητικής απόδοσής του σε σύγκριση με τα άλλα υποκατάστατα λιπαρού που μελετήθηκαν, αλλά και λόγω των σημαντικών φυσιολογικών επιδράσεων της που αναπτύχθηκαν εκτενώς στο κεφάλαιο των διαιτητικών ινών. Η βελτίωση του εμπλουτισμένου προϊόντος διερευνήθηκε με τη χρήση τριών γαλακτωματοποιητών που συμπεριλαμβάνονται σε εκείνους των οποίων η προσθήκη διέπεται από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία. Επιλέχθηκαν γαλακτωματοποιητές με διαφορετικές τιμές HLB, που κυμαίνονταν από λιπόφιλο έως υδρόφιλο χαρακτήρα, ενώ τα ποσοστά προσθήκης τους ορίστηκαν βάσει των νομοθετικών ρυθμίσεων και βιβλιογραφικών αναφορών.

5.1 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του κέικ ήταν:

- Άλευρο μαλακού σίτου (υγρασία 13.8%, τέφρα 0.63%, γλουτένη 8.5%) (Μύλοι Π. Δάκου, Οινόφυτα)
- Κρυσταλλική ζάχαρη
- Αυγά
- Μαργαρίνη (Μινέρβα Α.Ε., Οινόφυτα)
- Γάλα UHT 1.5% λιπαρά (ΦΑΓΕ Α.Ε., Μεταμόρφωση)
- Διογκωτικά
 - Όξινο ανθρακικό νάτριο
 - Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο
 - Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο
- Αλάτι

Η παρασκευή του κέικ βάσει αλεύρου παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1. Ακολούθησε η μέθοδος της κρεμοποίησης (sugar batter- Bennion, & Bamford, 1997) και χρησιμοποιήθηκε μίξερ Kenwood (Model KM 800, Kenwood, UK). Αρχικά αναμιγνύονται η ζάχαρη και το λιπαρό για 10 min σε υψηλή ταχύτητα. Ακολουθεί η σταδιακή προσθήκη των αυγών και ανάμιξη για 7 min. Τέλος προστίθεται το αλεύρι με τα διογκωτικά και το γάλα και αναμιγνύονται για 5 min σε χαμηλή ταχύτητα.

Πίνακας 5.1 Συνταγή παρασκευής κέικ

Συστατικά	(g)
Άλευρο σίτου	100
Ζάχαρη	90
Αυγά	67
Λιπαρό	53.5
Γάλα	66.6
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11
Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο	1.35
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2
Αλάτι	1.9

Δύο δείγματα, 400 g το καθένα, τοποθετούνταν σε φόρμες αλουμινίου 21.0×7.2×5.0 cm. Ακολουθούσε ο κλιβανισμός των δειγμάτων για 50 min στους 180 °C (Thermawatt TG103, Thermawatt, Αθήνα). Μετά τον κλιβανισμό, τα κέικ ψύχονταν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 2.5 h, και κατόπιν διατηρούνταν σε θερμοκρασία 25±1 °C σε συσκευασία πολυαιθυλενίου. Τα κέικ υποβάλλονταν σε μετρήσεις 20 h αργότερα.

5.1.1 Υποκατάσταση ζάχαρης

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υποκατάσταση της ζάχαρης ήταν:

- σορβιτόλη (C*Sorbidex S 16603, Cargill S.r.l. (Mechelen, Βέλγιο))
- μαλιτιτόλη (C*Maltidex M 16311, Cargill S.r.l. (Mechelen, Βέλγιο))
- μαννιτόλη (C*Mannidex 16700, Cargill S.r.l. (Mechelen, Βέλγιο))
- ολιγοφρουκτόζη (Beneo P95, Orafiti Active Food Ingredients (Tienen, Βέλγιο))
- λακτιτόλη (LactitolMC, Danisco Inc. (Κοπεγχάγη, Δανία))
- πολυδεξτρόζη (Litesse Ultra, Danisco Inc. (Κοπεγχάγη, Δανία))
- φρουκτόζη (αγοράστηκε από Ζωγράφος Α.Ε.Β.Ε., Αθήνα)

Η ζάχαρη υποκαταστάθηκε πλήρως από ίση ποσότητα (σε gr) υποκατάστατου. Στα δείγματα με υποκατάσταση της ζάχαρης (εκτός των κέικ με φρουκτόζη) που εξετάστηκαν οργανοληπτικά, προστέθηκε για την εξισορρόπηση της γλυκύτητας με το πλήρες σε ζάχαρη προϊόν, ένα εμπορικό γλυκαντικό SlimLine (Ζωγράφος Α.Ε.Β.Ε., Αθήνα), που περιείχε 12.5 g kg⁻¹ ασπαρτάμη και 12.5 g kg⁻¹ ακετοσουλφάμη-K (35 g γλυκαντικού kg⁻¹ ζύμης, όπως προσδιορίστηκε με προκαταρκτικά πειράματα).

5.1.2 Υποκατάσταση λιπαρού

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υποκατάσταση λιπαρού ήταν:

- μαλτοδεξτρίνη με ισοδύναμο δεξτρόζης 3 (C|*DryLight 01970, Cargill, Haubourdin, Γαλλία)
- «high performance» ινουλίνη (inulin HP, Orafiti Active Food Ingredients, Tienen, Βέλγιο), με βαθμό πολυμερισμού >23
- granulated ινουλίνη (inulin GR, Orafiti Active Food Ingredients, Tienen, Βέλγιο), με βαθμό πολυμερισμού >10

- ολιγοφρουκτόζη (P95, Orafti Active Food Ingredients, Tienen, Βέλγιο), με βαθμό πολυμερισμού <8
- πηκτίνη χαμηλού βαθμού εστεροποίησης (Slendid type 100, CPKelco, Nijmegen, Ολλανδία)
- πηκτίνη υψηλού βαθμού εστεροποίησης (Slendid type 200, CPKelco, Nijmegen, Ολλανδία)
- μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη (MWP; Simplese 100, CPKelco, Nijmegen, Ολλανδία)

Τα υποκατάστατα διαλύονταν σε νερό, στην ελάχιστη συγκέντρωση που απαιτούνταν για το σχηματισμό πηκτής μετά την αποθήκευση τους στους 4 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας. Πιο συγκεκριμένα η ινουλίνη HP, η ινουλίνη GR και η μαλτοδεξτρίνη διαλύονταν σε νερό σε συγκέντρωση 20%, η μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη σε συγκέντρωση 35%, η ολιγοφρουκτόζη 70% και η πηκτίνη 4.5% (στην περίπτωση της πηκτίνης χρειάστηκε θέρμανση στους 50 °C).

Πίνακας 5.2 Συνταγή παρασκευής κέικ με υποκατάσταση λιπαρού

Συστατικά (g)	Επίπεδο υποκατάστασης λιπαρού		
	35%	65%	100%
Άλευρο σίτου	100	100	100
Ζάχαρη	90	90	90
Αυγά	67	67	67
Λιπαρό ^α	34.77	18.73	-
Πηκτή υποκατάστατου λιπαρού	18.73	34.77	53.5
	64.73 ^β	63.12 ^β	61.25 ^β
Γάλα	55.37 ^γ	45.73 ^γ	34.5 ^γ
	52.46 ^δ	40.34 ^δ	26.21 ^δ
	58.18 ^ε	50.95 ^ε	42.53 ^ε
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11	1.11	1.11
Όξινο Πυροφωσφορικό νάτριο	1.35	1.35	1.35
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2	0.2	0.2
Αλάτι	1.9	1.9	1.9

^α υγρασία λιπαρού: 20%

^β ολιγοφρουκτόζη, ^γ ινουλίνη GR, ινουλίνη HP, μαλτοδεξτρίνη, ^δ πηκτίνη,

^ε μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη

Το λιπαρό υποκαταστάθηκε σε επίπεδα 35%, 65% και 100% από ίση ποσότητα των παραπάνω πηκτών. Οι πηκτές αναμιγνύονταν με το λιπαρό και τη ζάχαρη στο πρώτο στάδιο της κρεμοποίησης. Σε κάθε περίπτωση η ποσότητα του γάλακτος προσαρμόστηκε ανάλογα με την περιεκτικότητα του υποκατάστατου και του λιπαρού σε νερό, έτσι ώστε η συνολική ποσότητα νερού να παραμένει η ίδια σε όλες τις παρασκευές κέικ (Πίνακας 5.2).

5.1.3 Εμπλουτισμός κέικ μειωμένων λιπαρών με ίνες

Για τον εμπλουτισμό κέικ μειωμένων λιπαρών, στο οποίο είχε πραγματοποιηθεί υποκατάσταση του λιπαρού κατά 65% με ινουλίνη, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής:

- granulated ινουλίνη (inulin GR, Orafiti Active Food Ingredients, Tienen, Βέλγιο), με βαθμό πολυμερισμού >10
- ίνες καρότου (Nesse, Γερμανία)
- distilled monoglycerides (MG, Dimodan HP KOSHER, Danisco Inc., Κοπεγχάγη, Δανία)
- DATEM (Panodan AB 100 VEG-FS KOSHER, Danisco Inc., Κοπεγχάγη, Δανία)
- sodium stearoyl lactylate (SSL, Grindsted SSL P 45 VEG, Danisco Inc., Κοπεγχάγη, Δανία)

Ο εμπλουτισμός του κέικ με ίνες καρότου πραγματοποιήθηκε με την υποκατάσταση του αλεύρου κατά 10%, 20% και 30%, και σε κάθε επίπεδο υποκατάστασης προστέθηκε ποσότητα νερού όπως προσδιορίστηκε βάσει προκαταρκτικών πειραμάτων, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.2. Σε κέικ εμπλουτισμένο με ίνες καρότου (10%) και μειωμένων λιπαρών (με 65% υποκατάσταση λιπαρού από ινουλίνη) μελετήθηκε η βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος με τη χρησιμοποίηση γαλακτωματοποιητών. Τα μονογλυκερίδια προστέθηκαν σε ποσοτήτες 1% και 2% βάσει αλεύρου, το DATEM και το SSL σε συγκεντρώσεις 0.25% και 0.5%. Το DATEM σε ημι-υγρή μορφή προστέθηκε στο λιπαρό και το υποκατάστατο λιπαρού κατά την κρεμοποίηση. Τα μονογλυκερίδια και SSL προστέθηκαν σε νερό σε αναλογία γαλακτωματοποιητή προς νερό 1:4 και θερμάνθηκαν στους 60 °C και

55 °C, αντίστοιχα. Ακολούθησε ψύξη των αιωρημάτων που προέκυψαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, προς το σχηματισμό πηκτών, οι οποίες προστέθηκαν στο πρώτο στάδιο της κρεμοποίησης.

Πίνακας 5.3 Συνταγή παρασκευής μειωμένων λιπαρών και εμπλουτισμένου με ίνες

Συστατικά (g)	Ινουλίνη (65%)	Ίνες καρότου			10% ίνες καρότου 65% ινουλίνη
		10%	20%	30%	
Άλευρο σίτου	100	90	80	70	90
Ίνες καρότου	-	10	20	30	10
Ζάχαρη	90	90	90	90	90
Αυγά	67	67	67	67	67
Λιπαρό	18.73	53.5	53.5	53.5	18.73
Πηκτής υποκατάστατου λιπαρού ινουλίνης	34.77	-	-	-	34.77
Γάλα	45.73	66.6	66.6	66.6	45.73
Νερό		19.98	39.96	59.94	19.98
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
Όξινο Πυροφωσφορικό νάτριο	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Αλάτι	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9

Πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της ζύμης και του τελικού προϊόντος. Προσδιορίστηκε η ρεολογική συμπεριφορά και το ειδικό βάρος της ζύμης, ενώ πραγματοποιήθηκε μικροσκοπική και διαφορική θερμιδομετρική ανάλυση. Στο κέικ προσδιορίστηκαν ο ειδικός

όγκος, ιδιότητες της υφής, το χρώμα, η υγρασία, η ενεργότητα νερού και πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική εξέταση.

5.2 Μέθοδοι-Μετρήσεις

5.2.1 Χαρακτηριστικά της ζύμης

Ρεολογικές μετρήσεις

Οι ρεολογικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με περιστροφικό ιξωδόμετρο (RC1 Rheometer, Rheotec Messtechnik GmbH, Raderburg, Germany) το οποίο είναι συνδεδεμένο με λουτρό ψύξης (Lauda RE312, GmbH, Germany). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατόπιν παραμονής των δειγμάτων σε ηρεμία για 20 λεπτά και επιπλέον 5 λεπτών στο κελί μέτρησης (Baiaxauli and others, 2008). Ποσότητα 18 g ζύμης υποβλήθηκε σε αυξανόμενο ρυθμό διάτμησης από 0.05 s^{-1} έως 200 s^{-1} για 5 λεπτά σε θερμοκρασία $25 \text{ }^\circ\text{C}$ με τη χρήση του κυλίνδρου MS-CC25 DIN/FTK. Οι μετρήσεις της διατμητικής τάσης συναρτήσει του ρυθμού διάτμησης που λήφθηκαν, προσαρμόστηκαν στο μοντέλο Ostwald ακολουθώντας την εξίσωση:

$$\tau = K_{cp} * \gamma^n$$

όπου τ η διατμητική τάση (Pa), K_{cp} ο συντελεστής συνεκτικότητας ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$), γ ο ρυθμός διάτμησης (s^{-1}) και n ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς.

Ειδικό βάρος

Το ειδικό βάρος προσδιορίστηκε ως ο λόγος του βάρους ενός περιέκτη 10 mL πληρωμένου με ζύμη προς το βάρος του ίδιου περιέκτη πληρωμένου με απιονισμένο νερό, και το αποτέλεσμα εκφράστηκε σε μονάδες $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

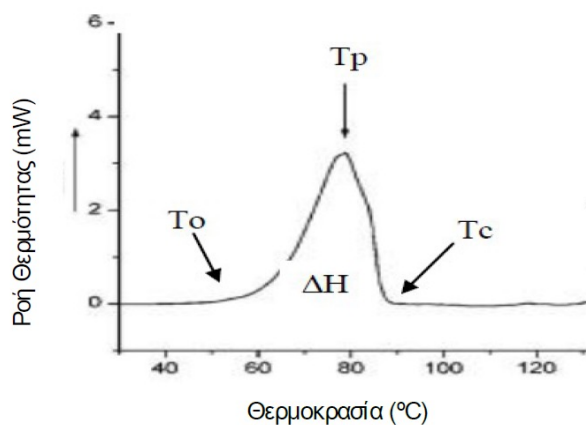
Μικροσκοπική παρατήρηση

Η παρατήρηση των δειγμάτων ζύμης πραγματοποιήθηκε με οπτικό μικροσκόπιο (Leica Microsystems DM750, Switzerland) σε 4x μεγέθυνση, εξοπλισμένου με ψηφιακή κάμερα (Leica DFC295). Μία σταγόνα ζύμης

τοποθετούταν στην αντικειμενοφόρο πλάκα και ακολουθούσε η προσεκτική τοποθέτηση της καλυπτρίδας, προκειμένου να αποφευχθεί ο εγκλωβισμός αέρα που θα αλλοίωνε τη δομή του δείγματος. Έγινε λήψη και αποθήκευση των φωτογραφιών σε 2048×1536 pixels με το λογισμικό (Leica Application Suite Software, 3.5.0, Leica Microsystems, Switzerland). Μετρήθηκε το μέγεθος (διάμετρος) των φυσαλίδων αέρα και ακολούθησε ταξινόμηση (ομαδοποίηση) των φυσαλίδων βάσει του μεγέθους. Η κατανομή του μεγέθους προσδιορίστηκε από τα δεδομένα 600 φυσαλίδων αέρα για το δείγμα αναφοράς και περίπου 200 φυσαλίδων για τα δείγματα με πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού ή με ίνες καρότου και ινουλίνη με/ή χωρίς γαλακτωματοποιητή. Οι φυσαλίδες ταξινομήθηκαν σε ομάδες εύρους 10 μm για διαμέτρους από 0 έως 80 μm , και ομάδες με διάμετρο από 80 έως 100 μm και από 100 έως 200 μm . Η συχνότητα των παρατηρήσεων σε κάθε ομάδα εκφράστηκε ως ποσοστό επί του συνόλου και απεικονίσθηκε στο μέσο της αντίστοιχης ομάδας.

Προσδιορισμός θερμικών χαρακτηριστικών

Ο προσδιορισμός των θερμικών χαρακτηριστικών, και ειδικότερα η μελέτη της ζελατινοποίησης του αμύλου, πραγματοποιήθηκε με διαφορική θερμιδομετρική ανάλυση (DSC 6, PerkinElmer Inc., Wellesley, Mass., U.S.A). Η βαθμονόμηση του οργάνου πραγματοποιείται με ίνδιο ($T_m=156.6\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta H_m=28.5\text{ J/g}$). Δείγμα 10-15 mg υποβλήθηκε σε θέρμανση από τους 20 έως τους 180 $^\circ\text{C}$ με ρυθμό 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$. Ως δείγμα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ένα κενό κελί. Η ψύξη πραγματοποιείται με μείωση της θερμοκρασίας με ρυθμό 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ και επιτυγχάνεται με κυκλοφορία νερού ενώ στο θάλαμο διοχετεύεται αέριο άζωτο προκειμένου να ελαχιστοποιείται η συμπύκνωση του νερού. Καταγράφηκαν οι θερμοκρασίες έναρξης (T_{onset}), κορύφωσης (T_{peak}) και λήξης (T_{end}) της ζελατινοποίησης του αμύλου, και η μεταβολή της ενθαλπίας (ΔH_g) υπολογίστηκε ως το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ζελατινοποίησης.



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα διαφορικής θερμιδομετρικής ανάλυσης

Ιδιότητες των ινών καρότου

Η ικανότητα συγκράτησης νερού (water holding capacity–WHC) προσδιορίστηκε με ανάμιξη 5 g των ινών ή του αλεύρου με 100 mL απιονισμένου νερού (Robertson et al, 2000). Μετά από εξισορρόπηση (για 18 h), απομακρύνθηκε η περίσσεια του νερού. Ακολούθησε η ζύγιση της ποσότητας του ενυδατωμένου στερεού, και η τιμή εκφάστηκε σε g νερού/ g στερεού.

5.2.2 Παράμετροι του κέικ

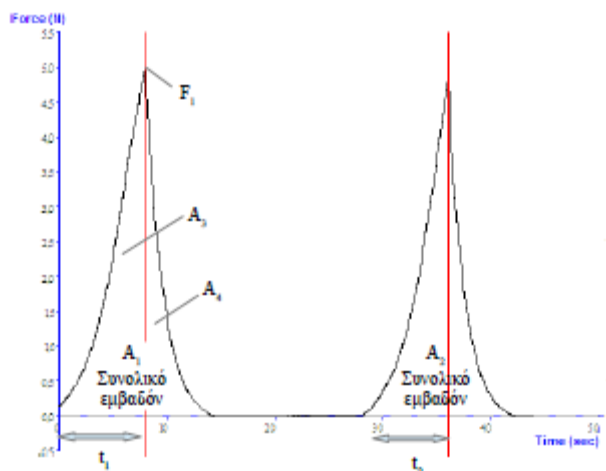
Ειδικός όγκος

Ο ειδικός όγκος ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) του κέικ προσδιορίστηκε ως ο λόγος του όγκου του προς το βάρος. Ο όγκος του κέικ προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της εκτόπισης σπόρων (AACC, 1995).

Υφή

Οι παράμετροι της υφής της ψίχας προσδιορίστηκαν με τον αναλυτή υφής (TA-XTi2 Stable Microsystems, Surrey, UK), Δείγματα μεγέθους $40 \times 40 \times 20$ mm, από τα οποία είχε αφαιρεθεί η κόρα, υποβλήθηκαν σε διπλή

συμπύση 2 cycle compression test (Texture Profile Analysis) (ταχύτητα διείδυσης 1 mm/s, βάθος διείδυσης 8 mm, χρόνος μεταξύ των δύο κύκλων συμπύσης 15 s). Η συμπύση πραγματοποιήθηκε με χρήση του στελέχους Sris P/75 (75mm aluminum platen probe) και στην περίπτωση των κέικ με ίνες και γαλακτωματοποιητές πραγματοποιήθηκε διείδυση με το στέλεχος P20 (20mm diameter cylinder probe). Από το διάγραμμα δύναμης-χρόνου υπολογίστηκαν η σκληρότητα, η ελαστικότητα (resilience, springiness), η συνεκτικότητα, και η μασητικότητα, όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Ανάλυση προφίλ υφής.

Σκληρότητα: F_1 , συνεκτικότητα: A_2/A_1 , ελαστικότητα: (springiness: t_2/t_1 , resilience: A_4/A_3), μασητικότητα: $F_1*(A_2/A_1)*(t_2/t_1)$

Πορώδες

Το πορώδες προσδιορίστηκε σε δείγματα ψίχας τα οποία είχαν υποβληθεί σε ξήρανση κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το πορώδες υπολογίστηκε από την εξίσωση:

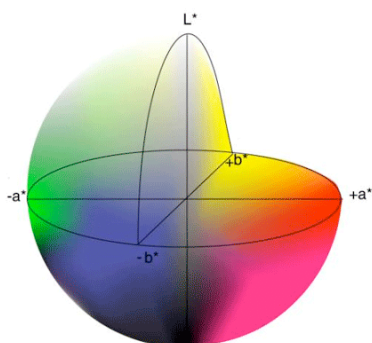
$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

Όπου $\rho_b = m/V_b$ είναι η φαινόμενη (συνολική) πυκνότητα και $\rho_s = m/V_s$ η πυκνότητα των στερεών, και V_b , V_s ο φαινόμενος όγκος και ο όγκος των στερεών των δειγμάτων αντίστοιχα. Ο φαινόμενος όγκος

προσδιορίστηκε βάσει των διαστάσεων του δείγματος, που προσδιορίστηκαν με παχύμετρο. Ο όγκος των στερεών προσδιορίστηκε με στερεοπυκνόμετρο με εκτόπιση ηλίου (Quantachrome MVP-1, Quantachrome Inc., Florida, USA).

Χρώμα

Το χρώμα της κόρας και της ψίχας του κέικ μετρήθηκαν με το χρωματόμετρο CR200, Minolta Co. (Osaka, Japan). Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 9 διαφορετικά σημεία, και σε κάθε σημείο λαμβάνονταν 3 μετρήσεις. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως ο μέσος όρος των μετρήσεων των παραμέτρων L, a και b του συστήματος CIELAB. Η παράμετρος L απεικονίζει τη φωτεινότητα και κυμαίνεται από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), το εύρος τιμών της a είναι από -100 (πράσινο) έως +100 (κόκκινο) και η b κυμαίνεται επίσης από -100 (μπλε) έως +100 (κίτρινο).



Σχήμα 5.3 Χρωματικοί παράμετροι συστήματος CIELAB

Υγρασία

Η υγρασία προσδιορίστηκε με ξήρανση τριών δειγμάτων (που λαμβάνονταν από τη ψίχα του κέικ) 1-1.5 g στους 105 °C, μέχρι σταθερού βάρους. Τα δείγματα τοποθετούνταν σε προζυγισμένα φυαλίδια ζύγισης, τα οποία κλείνονταν με το καπάκι τους πριν την απομάκρυνση τους από το φούρνο και τοποθετούνταν σε ξηραντήρα μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατόπιν με ζύγιση σε ζυγό ακριβείας (με ακρίβεια 0.001 g) προσδιορίστηκε η απώλεια βάρους των δειγμάτων.

Ενεργότητα νερού

Η ενεργότητα νερού προσδιορίστηκε με τη συσκευή aw-meter (AM3 + Aw VD; Rotronic AG, Bassersdorf, Switzerland).

5.3 Οργανοληπτική εξέταση

Πραγματοποιήθηκε περιγραφική εξέταση των δειγμάτων κέικ από 10 άτομα, με εκπαίδευση και εμπειρία στην αξιολόγηση προϊόντων αρτοποιίας. Κάθε φορά αξιολογούνταν τέσσερα δείγματα, ένα εκ των οποίων ήταν το δείγμα αναφοράς. Κάθε δείγμα ήταν μία φέτα κέικ πάχους 2 cm, και τα δείγματα παρουσιάζονταν σε πλαστικά πιάτα μιας χρήσης κωδικοποιημένα με τυχαίους τριψήφιους αριθμούς. Τα δείγματα αξιολογούνταν ως προς τη φωτεινότητα του χρώματος της κόρας και της ψίχας, τη σκληρότητα, την ευθρυπτότητα και την ελαστικότητα της ψίχας σε 9-βάθμια κλίμακα, με 1 το λιγότερο έντονο και 9 το περισσότερο έντονο. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση ως προς τη γεύση, το άρωμα και την ολική αποδοχή σε 9-βάθμια κλίμακα, με 1 δεν αρέσει καθόλου και 9 αρέσει πάρα πολύ. Τα δείγματα που έλαβαν βαθμολογία ≥ 5 ως προς την αποδοχή, θεωρήθηκαν αποδεκτά. Ειδικότερα στα προϊόντα με υποκατάσταση λιπαρού οι δοκιμαστές κλήθηκαν να απαντήσουν σχετικά με την ανίχνευση μετάγευσης ή αρώματος (γεύση ή άρωμα αυγού). Προκειμένου να αποτραπεί η επικάλυψη της ενδεχόμενης ανεπάρκειας των υποκαταστατών ως προς τη γεύση και το άρωμα του τελικού προϊόντος, αποφεύχθηκε η προσθήκη αρωματικών υλών στο δείγμα αναφοράς και στα υπό μελέτη δείγματα.

Το χρώμα και οι ιδιότητες της υφής, αν και προσδιορίστηκαν με μετρήσεις με τη χρήση των κατάλληλων οργάνων, συμπεριλήφθηκαν στην οργανοληπτική εξέταση προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση των συγκεκριμένων παραμέτρων στην ολική αποδοχή του προϊόντος.

5.4 Στατιστική ανάλυση

Σε κάθε παρασκευή κέικ πραγματοποιούταν τρεις μετρήσεις (με εξαίρεση τον ειδικό όγκο του κέικ και τη διαφορική θερμιδομετρική ανάλυση, οπότε και πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις). Τα αποτελέσματα είναι ο μέσος όρος των μετρήσεων που ελήφθησαν από διπλά πειράματα, καθένα από τα οποία διεξήχθη σε διαφορετική ημέρα.

Η στατιστική ανάλυση των πειραμάτων έγινε με ANOVA (factorial) με το λογισμικό Statistica 7.0 software (StatSoft Inc., Tulsa, Okla., U.S.A.), προκειμένου να προσδιοριστεί η σημαντικότητα της επίδρασης των υπό μελέτη παραμέτρων (τύπος υποκατάστατου, ποσοστό υποκατάστασης/προθήκης) στις ιδιότητες που μετρήθηκαν/αξιολογήθηκαν. Στις περιπτώσεις που η επίδραση των παραμέτρων στις ιδιότητες ήταν σημαντική, έγινε προσδιορισμός των σημαντικών διαφορών μεταξύ των τιμών (μέσων όρων) των ιδιοτήτων με το τεστ Duncan. Επιπλέον τα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ αναλύθηκαν με παραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών (principal component analysis).

Κεφάλαιο 6

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1 Υποκατάσταση ζάχαρης

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο μελετήθηκε η πλήρης υποκατάσταση της σακχαρόζης από ίση ποσότητα ολιγοφρουκτόζης, φρουκτόζης, πολυδεξτρόζης και τεσσάρων πολυολών (μαννιτόλη, μαλτιτόλη, σορβιτόλη, λακτιτόλη). Πρέπει να σημειωθεί ότι έως σήμερα δεν έχει δημοσιευθεί ερευνητική εργασία που να αφορά στην εφαρμογή της λακτιτόλης στο κέικ, ενώ τα υπόλοιπα υποκατάστατα (όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2) έχουν αποτελέσει αντικείμενο σποραδικών μελετών οι οποίες εστιάστηκαν κυρίως σε χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος και σε μικρότερο ποσοστό στη ζύμη.

6.1.1 Χαρακτηριστικά ζύμης

Η ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης είναι σημαντική παράμετρος κατά την παρασκευή του κέικ, όχι μόνο ως προς το χειρισμό της ζύμης αλλά και λόγω της επίδρασης της στην ενσωμάτωση του αέρα και στην ανάπτυξη του όγκου του τελικού προϊόντος. Όλα τα δείγματα ζύμης, συμπεριλαμβανομένου και του δείγματος αναφοράς, επέδειξαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά, που ακολουθούσε το εκθετικό μοντέλο Ostwald, από το οποίο υπολογίστηκαν οι τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας (K_{cp}) και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς (n), που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1. Οι τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας κυμάνθηκαν από 17.7 έως 52.0 Pa sⁿ, με τη μαννιτόλη να παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερη τιμή από τα άλλα υποκατάστατα και το δείγμα αναφοράς.

Επίσης, η πολυδεξτρόζη παρουσίασε σημαντικά υψηλότερη τιμή συντελεστή συνεκτικότητας σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς, που μπορεί να αποδοθεί στο υψηλότερο μοριακό βάρος της, ενώ τα υπόλοιπα υποκατάστατα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση.

Πίνακας 6.1 Ρεολογικές μετρήσεις ζύμης με υποκατάσταση σακχαρόζης

Συστατικό	Συντελεστής συνεκτικότητας K_{cp} (Pa s ⁿ)	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, n	Ειδικό βάρος ζύμης (g cm ⁻³)
Δείγμα αναφοράς	21.9 ^{cd} ± 1.9	0.49 ^{ab} ± 0.00	0.99 ^a ± 0.01
Φρουκτόζη	24.2 ^{bc} ± 2.7	0.44 ^b ± 0.01	0.85 ^c ± 0.04
Μαλτιτόλη	23.7 ^{bc} ± 2.8	0.47 ^b ± 0.02	0.93 ^{abc} ± 0.03
Μαννιτόλη	52.0 ^a ± 1.2	0.31 ^c ± 0.00	0.86 ^c ± 0.03
Σορβιτόλη	17.9 ^d ± 3.6	0.45 ^b ± 0.06	0.94 ^{abc} ± 0.02
Ολιγοφρουκτόζη	17.7 ^d ± 0.9	0.54 ^a ± 0.00	0.99 ^{ab} ± 0.1
Λακτιτόλη	26.2 ^{bc} ± 0.1	0.45 ^b ± 0.01	0.88 ^{bc} ± 0.03
Πολυδεξτρόζη	27.4 ^b ± 0.5	0.48 ^{ab} ± 0.01	0.91 ^{abc} ± 0.01

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d$.

Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς κυμάνθηκε από 0.31 έως 0.54, επιβεβαιώνοντας την ψευδοπλαστική συμπεριφορά. Η μαννιτόλη ήταν το μόνο υποκατάστατο που παρουσίασε πιο έντονη ψευδοπλαστική συμπεριφορά από το δείγμα αναφοράς.

Το ιξώδες συμβάλλει στην ενσωμάτωση αέρα, η οποία απεικονίζεται στο χαμηλότερο ειδικό βάρος της ζύμης. Οι τιμές του ειδικού βάρους παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1 και κυμάνθηκαν από 0.851 έως 0.991 g* cm⁻³. Τα δείγματα με υψηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας από το δείγμα αναφοράς (αν και όχι πάντα στατιστικά σημαντικό) παρουσίασαν μικρότερο ειδικό βάρος, λόγω της συμβολής του ιξώδους στην ενσωμάτωση αέρα. Το ειδικό βάρος της ζύμης με μαννιτόλη δεν ήταν όσο χαμηλό θα αναμενόταν βάσει του υψηλού συντελεστή συνεκτικότητας, πιθανόν λόγω της περισσότερο έντονης μείωσης του ιξώδους ($n=0.310$) κατά την ανάμιξη. Η μη σημαντική διαφοροποίηση του ειδικού βάρους της ζύμης με πολυδεξτρόζη από το δείγμα αναφοράς, είναι σε συμφωνία με παλαιότερες μελέτες (Hicsasmaz et al., 2003, Pateras et al., 1994) για την αποτελεσματικότητα της πολυδεξτρόζης να προσεγγίσει την επίδραση της

σακχαρόζης ως προς την κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων και επιπλέον με την πολυδεξτρόζη επιτεύχθηκε καλύτερη διασπορά των φυσαλίδων στη ζύμη, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα να λειτουργεί και ως υποκατάστατο του λιπαρού (Hicsasmaz et al., 2003).

Εκτός από τη ρεολογική συμπεριφορά, με τη δομή του τελικού προϊόντος σχετίζεται επίσης η ζελατινοποίηση του αμύλου. Πιο συγκεκριμένα η μετατόπιση της ζελατινοποίησης του αμύλου σε υψηλότερες θερμοκρασίες επιτρέπει την ανάπτυξη των φυσαλίδων κατά τον κλιβανισμό και κατά συνέπεια την ανάπτυξη της πορώδους δομής του προϊόντος (Mizukoshi et al., 1980). Η επίδραση των υποκατάστατων στη ζελατινοποίηση του αμύλου μέσω του προσδιορισμού των θερμοκρασιών ζελατινοποίησης προσδιορίστηκε με Διαφορική Θερμιδομετρική Ανάλυση. Όλα τα δείγματα παρουσίασαν το ίδιο προφίλ και οι θερμοκρασίες έναρξης, κορύφωσης και λήξης της ζελατινοποίησης, καθώς και η μεταβολή της ενθαλπίας, που ελήφθησαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2 Θερμοκρασίες ζελατινοποίησης αμύλου σε δείγματα ζύμης με υποκατάσταση σακχαρόζης

Συστατικό	T _{onset}	T _{peak}	T _{end}	ΔH _g (J*g ⁻¹)
Δείγμα αναφοράς	82.5 ^b ± 1.6	86.8 ^b ± 0.3	93.5 ^{ab} ± 0.7	1.7 ^b ± 0.3
Φρουκτόζη	73.9 ^d ± 1.0	79.0 ^d ± 1.0	85.0 ^c ± 0.7	1.7 ^b ± 0.3
Μαλτιτόλη	83.2 ^{ab} ± 1.9	87.9 ^b ± 1.2	93.2 ^{ab} ± 0.2	0.7 ^c ± 0.3
Μαννιτόλη	56.6 ^e ± 2.5	68.4 ^e ± 0.7	78.3 ^d ± 0.9	5.2 ^a ± 0.6
Σορβιτόλη	77.7 ^c ± 0.6	82.3 ^c ± 0.9	89.4 ^{bc} ± 0.1	1.4 ^{bc} ± 0.3
Ολιγοφρουκτόζη	85.5 ^a ± 0.9	91.0 ^a ± 0.2	98.5 ^a ± 1.7	1.0 ^{bc} ± 0.7
Λακτιτόλη	82.8 ^{ab} ± 1.8	87.4 ^b ± 1.9	92.8 ^{ab} ± 2.3	1.2 ^{bc} ± 0.4
Πολυδεξτρόζη	84.5 ^b ± 1.4	91.4 ^a ± 1.6	93, 8 ^{ab} ± 9.0	1.2 ^{bc} ± 0.1

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά (P < 0.05) με a > b > c > d > e.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2 οι θερμοκρασίες έναρξης, κορύφωσης και λήξης της ζελατινοποίησης των δειγμάτων με φρουκτόζη και μαννιτόλη είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς. Η μείωση των θερμοκρασιών οδηγεί σε πρόωμη σταθεροποίηση της ζύμης. Η σταθεροποίηση της ζύμης δρα κατασταλτικά

στην ανάπτυξη των φυσαλίδων αέρα. Εν τω μεταξύ η τάση ατμών στις φυσαλίδες αέρα αυξάνεται, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση του αέρα και τον περιορισμό της ανάπτυξης του όγκου. Τα δείγματα με σορβιτόλη επίσης εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές θερμοκρασιών έναρξης και κορύφωσης της ζελατινοποίησης, οι οποίες ωστόσο ήταν πλησιέστερες στο δείγμα αναφοράς. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες έναρξης και κορύφωσης της ζελατινοποίησης του αμύλου παρουσία σορβιτόλης (και οι ακόμη χαμηλότερες παρουσία φρουκτόζης) σε σύγκριση με τη σακχαρόζη, είναι σε συμφωνία με προηγούμενη μελέτη σε σύστημα αμύλου-νερού (Lii et al., 1997). Τα υπόλοιπα υποκατάστατα είτε είχαν παρόμοια επίδραση (μαλιτιτόλη, λακτιτόλη) με το δείγμα αναφοράς, είτε αύξησαν τις θερμοκρασίες ζελατινοποίησης (ολιγοφρουκτόζη, πολυδεξτρόζη). Δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στη μεταβολή της ενθαλπίας με τα παραπάνω υποκατάστατα, εκτός από τη μαλιτιτόλη που παρουσίασε τη χαμηλότερη τιμή. Η επίδραση της πολυδεξτρόζης και της φρουκτόζης στη ζελατινοποίηση του αμύλου σε συστήματα αμύλου-νερού έχει μελετηθεί και από τους Pateras & Rosenthal (1992) και Bean et al., (1978), αντίστοιχα και οι παρατηρήσεις τους συμφωνούν με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

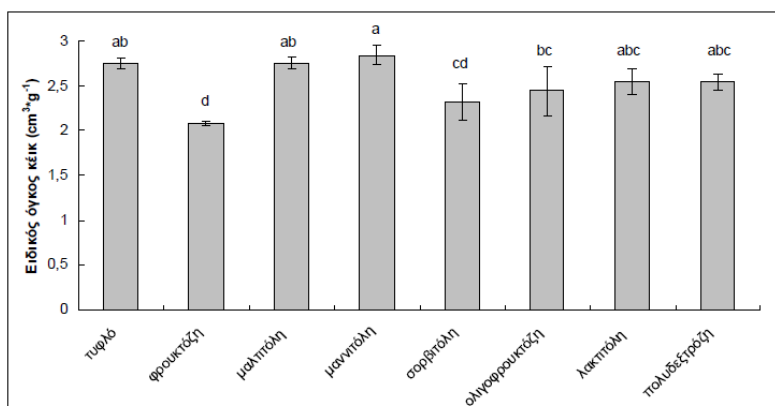
Η υψηλότερη τιμή της μεταβολής της ενθαλπίας παρατηρήθηκε στην περίπτωση της μαννιτόλης και είναι ενδεικτική της μεγαλύτερης έντασης της ζελατινοποίησης του αμύλου.

6.1.2 Χαρακτηριστικά κέικ

6.1.2.1 Ειδικός όγκος και υγρασία

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του κέικ είναι η πορώδης δομή, η οποία σχηματίζεται με τη διόγκωση των φυσαλίδων και την ανάπτυξη του όγκου του κέικ κατά τον κλιβανισμό. Ο ειδικός όγκος του κέικ είναι ενδεικτικός της ανάπτυξης του όγκου και κατ'επέκταση και της πορώδους δομής του προϊόντος. Ο ειδικός όγκος των κέικ με υποκατάστατα σακχαρόζης παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.1. Το κέικ με φρουκτόζη παρουσίασε το χαμηλότερο ειδικό όγκο, παρόλο που η ζύμη είχε παρόμοιο με το δείγμα αναφοράς συντελεστή συνεκτικότητας και χαμηλότερο ειδικό βάρος. Επομένως η ανάπτυξη του όγκου, και κατά συνέπεια και η πορώδης

δομή του προϊόντος, δεν επηρεάζονται μόνο από τη ρεολογική συμπεριφορά και την ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη. Είναι φανερό ότι η ζελατινοποίηση του αμύλου παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο, και ο χαμηλότερος ειδικός όγκος του κέικ φρουκτόζης μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση της φρουκτόζης στη ζελατινοποίηση του αμύλου, και κατ'επέκταση στη σταθεροποίηση της δομής σε χαμηλότερη θερμοκρασία πριν την πλήρη ανάπτυξη των φυσαλίδων αέρα. Εκτός από τη φρουκτόζη, και η σορβιτόλη οδήγησε σε σημαντικά χαμηλότερο ειδικό όγκο από το δείγμα αναφοράς. Η σορβιτόλη παρουσίασε παραπλήσιο συντελεστή συνεκτικότητας με το δείγμα αναφοράς, αλλά χαμηλότερη θερμοκρασία ζελατινοποίησης, βάσει της οποίας μπορεί να εξηγηθεί η επίδρασή της. Από την άλλη, η επίδραση στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης δε μπορεί από μόνη της να εξηγήσει τη συμπεριφορά των υποκατάστατων, όπως φαίνεται από τη μαννιτόλη, η οποία παρείχε κέικ ειδικού όγκου παραπλήσιου με το δείγμα αναφοράς παρά τη σημαντική μείωση που επέφερε στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου. Φαίνεται ότι στην περίπτωση της μαννιτόλης, η πρώιμη σταθεροποίηση της ζύμης αντισταθμίστηκε από το υψηλότερο ιξώδες ($K_{cp} = 52.0 \text{ Pa s}^n$), σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς ($K_{cp} = 21.0 \text{ Pa s}^n$), με αποτέλεσμα την ενσωμάτωση ικανού πλήθους φυσαλίδων που οδήγησαν στην ανάπτυξη του όγκου. Ωστόσο το πολύ υψηλό ιξώδες παρεμπόδισε τη μετακίνηση των φυσαλίδων αέρα προς την επιφάνεια κατά τον κλιβανισμό, με αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό τους και τη δημιουργία θήλακα (air rocket) στο εσωτερικό του κέικ.



Σχήμα 6.1 Ειδικός όγκος του κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

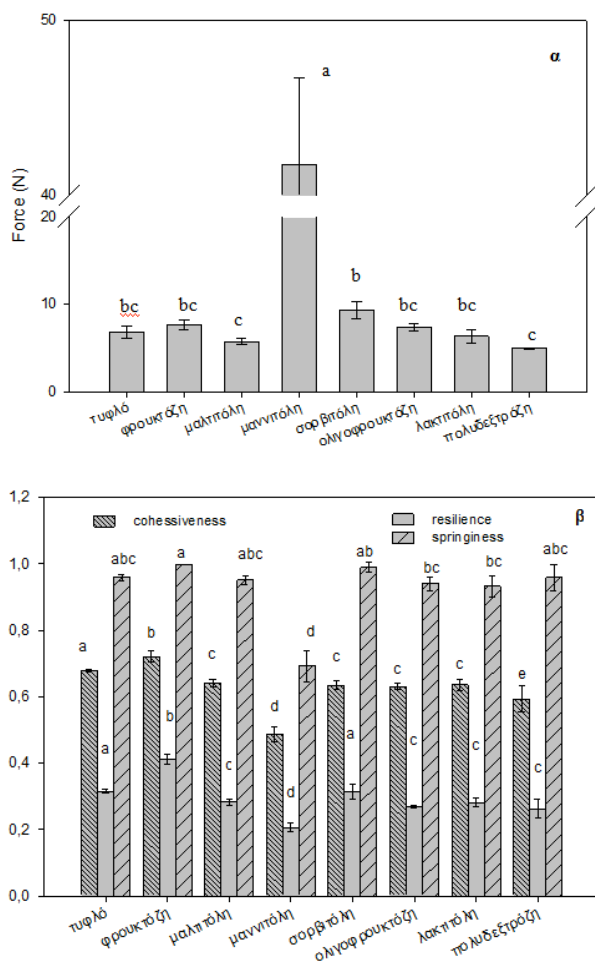
Η υγρασία των κέικ με υποκατάστατα κυμάνθηκε από 30.0% έως 35.2% και δε διέφερε σημαντικά από το δείγμα αναφοράς (33.7%). Παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις στην ενεργότητα νερού σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς, με τη μαννιτόλη, την πολυδεξτρόζη και την ολιγοφρουκτόζη να παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερη τιμή (0.901, 0.894 και 0.893 αντίστοιχα) και τη σορβιτόλη, τη φρουκτόζη και τη μαλιτιτόλη σημαντικά χαμηλότερες τιμές (0.857, 0.861 και 0.866 αντίστοιχα). Η λακτιτόλη παρουσίασε παρόμοια ενεργότητα νερού με το δείγμα αναφοράς λόγω του παραπλήσιου μοριακού βάρους της με τη σακχαρόζη (Mitchell, 2006). Οι διαφορές στην ενεργότητα νερού επηρεάζουν τη διατηρησιμότητα του προϊόντος. Ωστόσο οι διαφοροποιήσεις είναι σχετικά μικρές και δεν αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά την ανάπτυξη αλλοιογόνων μικροοργανισμών.

6.1.2.2 Χαρακτηριστικά υφής

Η τρυφερότητα και η ελαστικότητα αποτελούν τις κυριότερες ιδιότητες της υφής του κέικ. Η ανάλυση της υφής παρέχει την εκτίμηση της τρυφερότητας μέσω του προσδιορισμού του αντιθέτου της, της σκληρότητας, η οποία αντιστοιχεί στο μέγιστο της δύναμης που εφαρμόζεται κατά την πρώτη συμπίεση. Η ελαστικότητα μπορεί να εκτιμηθεί μέσω των τιμών των resilience και springiness, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την επαναφορά του προϊόντος από τη συμπίεση. Ειδικότερα η springiness αφορά την επαναφορά μεταξύ των δύο συμπίεσεων και η resilience αντανακλά τη συμμετρία της πρώτης συμπίεσης και την επαναφορά μετά την παύση της συμπίεσης (Martinez-Crevera et al., 2011). Η συνεκτικότητα είναι επίσης σημαντική ιδιότητα, και προσδιορίζεται ως ο λόγος του έργου του δεύτερου κύκλου συμπίεσης προς το έργο του πρώτου κύκλου.

Η σκληρότητα της ψίχας των κέικ με υποκατάστατα δεν ήταν στατιστικά σημαντικά διαφορετική από εκείνη του δείγματος αναφοράς (Σχήμα 6.2α), εκτός από τη μαννιτόλη που παρουσίασε σημαντικά

υψηλότερη τιμή, όπως έχει επίσης παρατηρηθεί και από τους Ronda et al., (2005). Από την άλλη, η επαναφορά μεταξύ των συμπίεσεων όπως προσδιορίστηκε από τη springiness (Σχήμα 6.2β), δε διέφερε σημαντικά από το δείγμα αναφοράς, εκτός από τη μαννιτόλη που παρουσίασε σημαντικά χαμηλότερη τιμή.



Σχήμα 6.2 Ιδιότητες υφής των κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης: (α) σκληρότητα, (β) συνεκτικότητα (cohesiveness), resilience και springiness. Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d$.

Η επαναφορά μετά την πρώτη συμπίεση, όπως προσδιορίστηκε από τη resilience, παρουσίασε σημαντικές διαφορές (Σχήμα 6.2β), ωστόσο οι

σημαντικότερες διαφοροποιήσεις παρατηρήθηκαν για το κέικ φρουκτόζης (υψηλότερη τιμή) και το κέικ με μαννιτόλη (χαμηλότερη τιμή). Η μειωμένη ικανότητα της μαννιτόλης για επαναφορά μετά τη συμπίεση μπορεί να αποδοθεί στην ανομοιόμορφη κατανομή των φυσαλίδων αέρα. Η συνεκτικότητα ακολούθησε τις διαφοροποιήσεις της resilience, ενώ η μασητικότητα, ως γινόμενο της σκληρότητας, της συνεκτικότητας και της springiness ακολούθησε τις διαφοροποιήσεις της συνεκτικότητας (και κυμάνθηκε από 0.29 έως 0.60), εκτός από το κέικ μαννιτόλης που παρουσίασε πολύ υψηλή τιμή (1.43), λόγω της υψηλής σκληρότητας του.

Γενικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης της υφής έδειξαν ότι η μαννιτόλη παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές ως προς τη συνεκτικότητα και την επαναφορά μετά τη συμπίεση σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ιδιότητες του δείγματος αναφοράς, που μαζί με την υψηλότερη σκληρότητα μπορεί να αποδοθεί στον υψηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης. Τα άλλα υποκατάστατα δε διαφοροποιήθηκαν από το δείγμα αναφοράς ως προς τη σκληρότητα και τη springiness, ενώ τα περισσότερα από αυτά (και ιδιαίτερα η φρουκτόζη) παρουσίασαν μικρή αλλά σημαντική διαφοροποίηση ως προς τη συνεκτικότητα και τη resilience. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα έγινε προσπάθεια να συσχετισθούν οι παράμετροι υφής με τα χαρακτηριστικά της ζύμης, χρησιμοποιώντας ένα απλό γραμμικό μοντέλο:

$$\text{Παράμετρος υφής} = \alpha_0 + \alpha_1 * K_{cp} + \alpha_2 * T_p$$

όπου α_0 , α_1 , και α_2 σταθερές, K_{cp} ο συντελεστής συνεκτικότητας και T_p η θερμοκρασία κορύφωσης της ζελατινοποίησης του αμύλου. Στην περίπτωση της σκληρότητας το γραμμικό μοντέλο είναι:

$$\text{Σκληρότητα} = 5.0785 + 0.0691 * K_{cp} - 0.0683 * T_p \quad (R^2=0.9072)$$

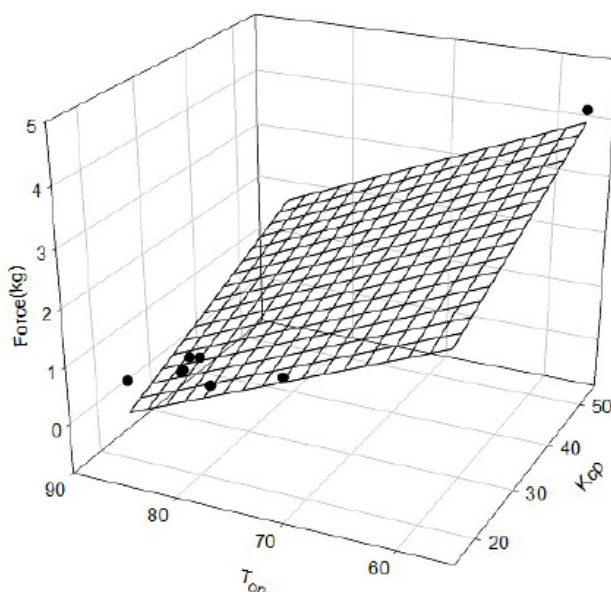
ή

$$\text{Σκληρότητα} = 5.8413 + 0.00485 * K_{cp} - 0.0763 * T_{on} \quad (R^2=0.9254)$$

όπου T_{on} η θερμοκρασία έναρξης της ζελατινοποίησης του αμύλου (Σχήμα 6.3).

Προκύπτει ότι ο συντελεστής συνεκτικότητας της ζύμης συσχετίζεται θετικά με τη σκληρότητα του κέικ, δηλαδή ζύμη υψηλής συνεκτικότητας θα δώσει κέικ υψηλής σκληρότητας. Το μοντέλο επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα π.χ. στην περίπτωση της μαννιτόλης. Από την άλλη η

θερμοκρασία έναρξης ή κορύφωσης της ζελατινοποίησης συσχετίζονται αρνητικά με τη σκληρότητα. Επομένως η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία λαμβάνει χώρα η ζελατινοποίηση θα οδηγήσει σε κέικ αυξημένης σκληρότητας, όπως παρατηρήθηκε στην περίπτωση της φρουκτόζης και της μαννιτόλης. Ως προς τις υπόλοιπες ιδιότητες υψής δε μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα εφόσον οι συντελεστές συσχέτισης για τη συνεκτικότητα, τη resilience και τη springiness είναι σχετικά χαμηλοί ($R^2=0.6751, 0.5395$ και 0.9726 αντίστοιχα).



Σχήμα 6.3 Γράφημα μοντέλου συσχέτισης της σκληρότητας με το συντελεστή συνεκτικότητας (K_{cp}) και τη θερμοκρασία έναρξης (T_{on}) της ζελατινοποίησης του αμύλου των κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης.

6.1.2.3 Χρώμα

Οι παράμετροι L , a , b της φωτεινότητας, της κόκκινης και της κίτρινης απόχρωσης, αντίστοιχα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3. Διαφοροποιήσεις παρατηρήθηκαν κυρίως στη φωτεινότητα της κόρας. Τα κέικ με μαννιτόλη και πολυδεξτρώζη είχαν σημαντικά φωτεινότερο χρώμα από το δείγμα αναφοράς, ενώ τα κέικ με φρουκτόζη και ολιγοφρουκτόζη είχαν σημαντικά σκουρότερο χρώμα κόρας, αποτελέσματα που συμφωνούν με εκείνα των

Attia et al. (1993) και Ronda et al. (2005) αντίστοιχα. Η καστάνωση της επιφάνειας του κέικ, η οποία όπως αναφέρθηκε στο θεωρητικό μέρος είναι αποτέλεσμα των αντιδράσεων Maillard και καραμελοποίησης των σακχάρων (Purllis 2009, 2010) φαίνεται να ενισχύεται από τη φρουκτόζη και την ολιγοφρουκτόζη. Στην περίπτωση της ολιγοφρουκτόζης οι αντιδράσεις καστάνωσης μπορούν να αποδοθούν στη θερμική αποικοδόμηση (Ronda et al., 2005).

Πίνακας 6.3 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης

Συστατικό	Κόρα			Ψίχα		
	L	a	b	L	a	b
Δείγμα	48.8 ^c ±	15.0 ^{bc}	29.8 ^b ±	79.4 ^b ±	-4.0 ^e ±	20.5 ^d ±
αναφοράς	0, 8	± 0, 7	0.9	1.1	0.0	0.8
Φρουκτόζη	43.9 ^d ±	15.8 ^b ±	28.0 ^{cd}	64.6 ^e ±	4.3 ^a ±	29.3 ^b ±
	1.0	0.1	± 0.7	1.0	0.5	0.1
Μαλιτιόλη	47.6 ^c ±	14.6 ^c ±	28.6 ^{bc}	78.3 ^b ±	-3.6 ^d ±	21.2 ^d ±
	1.7	0.1	± 1.5	0.5	0.0	0.3
Μαννιτόλη	66.4 ^a ±	8.0 ^f ±	29.4 ^{bc}	85.0 ^a ±	-2.4 ^c ±	16.4 ^e ±
	2.3	1.0	± 1.3	1.5	0.3	1.3
Σορβιτόλη	47.6 ^c ±	12.9 ^d ±	26.9 ^d ±	79.4 ^b ±	-3.6 ^d ±	20.2 ^d ±
	1.2	0.5	0.7	1.6	0.1	0.7
Ολιγ/κτόζη	43.9 ^d ±	18.0 ^a ±	31.6 ^a ±	69.4 ^d ±	-0.3 ^b ±	33.7 ^a ±
	0.4	0.3	0.4	0.1	0.1	0.4
Λακτιτόλη	47.6 ^c ±	14.2 ^c ±	28.5 ^{bcd}	78.0 ^b ±	-4.6 ^f ±	25.0 ^c ±
	0.9	0.2	± 0.7	0.8	0.0	0.5
Πολυδεξτρόζη	58.4 ^b ±	10.8 ^e ±	29.4 ^{bc}	74.2 ^c ±	-3.4 ^d ±	20.2 ^d ±
	1.0	0.2	± 0.6	0.9	0.0	0.9

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f$.

Η υποκατάσταση της σακχαρόζης επίσης επηρέασε τις παραμέτρους a και b της κόρας. Πιο συγκεκριμένα η μαννιτόλη και η σορβιτόλη παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές ως προς την κόκκινη και κίτρινη απόχρωση αντίστοιχα, ενώ η ολιγοφρουκτόζη έδωσε τις

υψηλότερες τιμές και για τις δύο παραμέτρους. Η φωτεινότητα του χρώματος της ψίχας επίσης επηρεάστηκε, αλλά σε μικρότερο βαθμό, με τη μαννιτόλη να οδηγεί σε σημαντικά φωτεινότερο χρώμα από το δείγμα αναφοράς, ενώ η φρουκτόζη, η ολιγοφρουκτόζη και η πολυδεξτρόζη παρείχαν σημαντικά πιο σκούρο χρώμα. Σχεδόν όλα τα άλλα υποκατάστατα αύξησαν σημαντικά την τιμή της κόκκινης παραμέτρου, ενώ η ολιγοφρουκτόζη οδήγησε σε σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς και τα άλλα υποκατάστατα ως προς την κίτρινη απόχρωση.

6.1.2.4 Οργανοληπτική ανάλυση

Βάσει της οργανοληπτικής ανάλυσης (Πίνακας 6.4), το χρώμα της κόρας των δειγμάτων με φρουκτόζη, μαννιτόλη και πολυδεξτρόζη παρουσίασε σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς, αποτελέσματα που συμφωνούν με την αντίστοιχη ενόργανη μέτρηση. Ωστόσο, σε αντίθεση με τη μέτρηση, το κέικ με ολιγοφρουκτόζη δεν εκτιμήθηκε ως πιο σκούρο από το δείγμα αναφοράς, λόγω του ότι η φωτεινότητα φαίνεται να καλύφθηκε από την ένταση αποχρώσεων (κίτρινης παραμέτρου). Το χρώμα της ψίχας των κέικ με υποκατάστατα (εκτός από τη λακτιτόλη και την πολυδεξτρόζη) αξιολογήθηκε ως σημαντικά διαφορετικό από το δείγμα αναφοράς, με τη φρουκτόζη και τη μαννιτόλη να παρουσιάζουν το πιο σκούρο και πιο φωτεινό χρώμα αντίστοιχα, σε συμφωνία με τις αντίστοιχες ενόργανες μετρήσεις. Ειδικότερα το χρώμα της κόρας παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με τις ενόργανες μετρήσεις (για την παράμετρο L, $r=0.92$, $P<0.05$), ενώ ανάλογη συσχέτιση δεν παρουσιάζεται στην περίπτωση του χρώματος της ψίχας (για την παράμετρο L, $r=0.78$, $P<0.05$).

Τα κέικ με ολιγοφρουκτόζη, λακτιτόλη, πολυδεξτρόζη και μαλτιτόλη δεν εκτιμήθηκαν ως διαφορετικά από το δείγμα αναφοράς ως προς την τρυφερότητα, σε συμφωνία με τη αντίστοιχη μέτρηση της σκληρότητας. Από την άλλη πλευρά η χαμηλή βαθμολογία της σορβιτόλης και της φρουκτόζης δεν έρχεται απαραίτητα σε αντίθεση με τις μετρήσεις υφής, οι οποίες δεν έδειξαν σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς, λόγω της υψηλής τυπικής απόκλισης της μέτρησης. Η μαννιτόλη έλαβε χαμηλή βαθμολογία, σε συμφωνία με την αντίστοιχη μέτρηση του οργάνου. Ως προς τη γεύση, τα κέικ με ολιγοφρουκτόζη, λακτιτόλη και μαλτιτόλη εκτιμήθηκαν ως πλησιέστερα στο δείγμα αναφοράς,

ακολουθούμενα από την πολυδεξτρόζη και τη σορβιτόλη. Αντίθετα τα κέικ φρουκτόζης και μαννιτόλης έλαβαν βαθμολογία κάτω του 5. Από τα αποτελέσματα ως προς τη γεύση, προκύπτει ότι τα ισχυρά γλυκαντικά εξισορρόπησαν τη χαμηλή γλυκύτητα των υποκατάστατων, στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Από την άλλη η προσθήκη των ισχυρών γλυκαντικών δεν κάλυψε την αναποτελεσματικότητα των υποκατάστατων ως προς τη γεύση, καθώς τα κέικ με μαννιτόλη έλαβαν σημαντικά χαμηλότερη βαθμολογία από το δείγμα αναφοράς και τα άλλα υποκατάστατα. Επιπλέον οι δοκιμαστές εντόπισαν την ύπαρξη μετάγευσης (πικρής) στα δείγματα με σορβιτόλη.

Πίνακας 6.4 Οργανοληπτική ανάλυση των κέικ με υποκατάσταση σακχαρόζης

Συστατικά	Χρώμα κόρας	Χρώμα ψίχας	Τρυφερό- τητα	Γεύση	Ολική αποδοχή
Δείγμα αναφοράς	5.4 ^{cd} ± 0.5	7.4 ^b ± 0.5	7.5 ^a ± 0.5	7.8 ^a ± 0.5	7.9 ^a ± 0.4
Φρουκτόζη	3.4 ^e ± 0.5	5.4 ^d ± 0.5	5.1 ^c ± 0.6	4.4 ^d ± 0.5	3.0 ^e ± 0.8
Μαλτιτόλη	5.1 ^{cd} ± 0.6	6.6 ^c ± 0.5	7.0 ^{ab} ± 0.8	7.4 ^{ab} ± 0.5	7.3 ^a ± 0.5
Μαννιτόλη	8.8 ^a ± 0.5	8.5 ^a ± 0.5	3.3 ^d ± 0.7	2.4 ^e ± 0.5	1.9 ^d ± 0.6
Σορβιτόλη	4.8 ^d ± 0.7	6.5 ^c ± 0.5	6.5 ^b ± 0.5	6.1 ^c ± 0.6	6.0 ^b ± 0.8
Ολιγ/κτόζη	5.3 ^{cd} ± 0.9	6.6 ^c ± 0.5	7.6 ^a ± 0.5	7.9 ^a ± 0.8	7.4 ^a ± 0.5
Λακτιτόλη	5.6 ^c ± 0.7	7.5 ^b ± 0.5	7.4 ^a ± 0.5	7.3 ^{ab} ± 0.7	7.4 ^a ± 0.5
Πολυδεξτρόζη	6.4 ^b ± 0.5	7.6 ^b ± 0.5	7.6 ^a ± 0.5	6.9 ^b ± 0.8	6.5 ^b ± 0.5

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

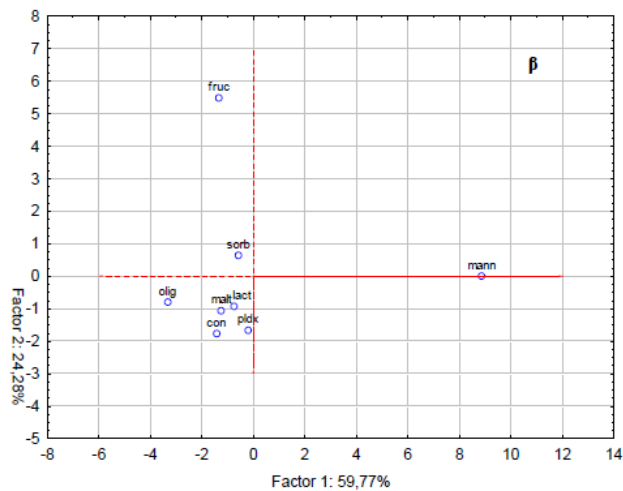
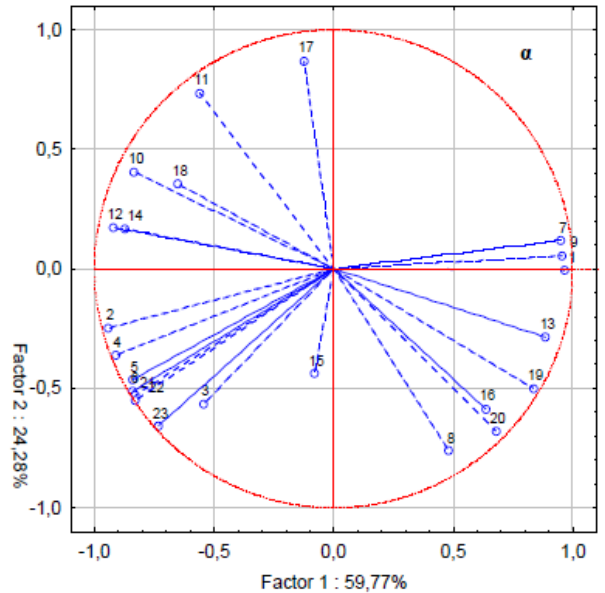
Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e$.

Η ολική αποδοχή ακολούθησε τις διαφοροποιήσεις των υπόλοιπων οργανοληπτικών ιδιοτήτων και ιδιαίτερα της τρυφερότητας και της γεύσης. Ειδικότερα η ολιγοφρουκτόζη, η λακτιτόλη και η μαλτιτόλη παρουσίασαν την υψηλότερη βαθμολογία, ακολουθούμενα από την πολυδεξτρόζη και τη σορβιτόλη. Από την άλλη πλευρά, τα δείγματα με μαννιτόλη και φρουκτόζη συγκέντρωσαν τη χαμηλότερη βαθμολογία και εκτιμήθηκαν ως μη αποδεκτά. Ειδικότερα το κέικ με μαννιτόλη βαθμολογήθηκε ως το λιγότερο αποδεκτό, λόγω της υψηλής σκληρότητας και φωτεινότητας του χρώματος και της ανεπαρκούς γεύσης. Η ανεπαρκής γεύση και τρυφερότητα καθώς και το σκούρο χρώμα σχετίζονται και με την αξιολόγηση των κέικ φρουκτόζης ως μη αποδεκτά.

6.1.5 Ανάλυση κυρίων συνιστωσών

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.4. Η συνεισφορά των κύριων συνιστωσών στην ολική διακύμανση του πειράματος εμφανίζεται να είναι 84.05% (59.77% από το PC1 και 24.28% από το PC2). Η πρώτη κύρια συνιστώσα (Σχήμα 6.4α), εμφανίζει υψηλή θετική τιμή για το συντελεστή συνεκτικότητας, τη μεταβολή της ενθαλπίας και τη σκληρότητα και υψηλή αρνητική τιμή για τη θερμοκρασία έναρξης της ζελατινοποίησης του αμύλου, το δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και ορισμένες ιδιότητες της υφής (συνεκτικότητα, springiness).

Ο συντελεστής συνεκτικότητας της ζύμης, η μεταβολή της ενθαλπίας κατά τη ζελατινοποίηση του αμύλου και η σκληρότητα συνέβαλε στο διαχωρισμό του δείγματος με μαννιτόλη από τα άλλα δείγματα και το δείγμα αναφοράς (Σχήμα 6.4β), ενώ τα δείγματα με φρουκτόζη και ολιγοφρουκτόζη διαχωρίστηκαν λόγω της υψηλής τιμής της παραμέτρου a του χρώματος της ψίχας και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς αντίστοιχα. Σε περιορισμένη περιοχή του διαγράμματος μαζί με το δείγμα αναφοράς εμφανίζονται τα προϊόντα με μαλτιτόλη και λακτιτόλη.



Σχήμα 6.4 Ανάλυση κυρίων συνιστωσών των (α) ιδιοτήτων της ζύμης και του κέικ με υποκατάσταση ζάχαρης (1: συντελεστής συνεκτικότητας, 2: δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, 3: ειδικό βάρος, 4: Tonset, 5: Tpeak, 6: Tend, 7: ΔH, 8: ειδικός όγκος, 9: σκληρότητα (μέτρηση υψής), 10: συνεκτικότητα, 11: resilience, 12: springiness, 13: Λκόρας, 14: ακόρας, 15: βκόρας, 16: Λψίχας, 17: αφίχας, 18: βψίχας, 19: χρώμα κόρας (οργανοληπτικό), 20: χρώμα ψίχας (οργανοληπτικό) 21: τρυφερότητα (οργανοληπτική), 22: γεύση, 23: ολική αποδοχή, και (β) των δειγμάτων με υποκατάσταση ζάχαρης

Con: δείγμα αναφοράς, fruc: φρουκτόζη malt: μαλιτιόλη, mann: μαννιτόλη, sorb: σορβιτόλη, lact: λακτιτόλη, olig: ολιγοφρουκτόζη, pldx: πολυδεξτρώζη.

6.1.6 Συμπεράσματα υποκατάστασης σακχαρόζης

Η επίδραση των υποκατάστατων τα σακχαρόζης στα χαρακτηριστικά της ζύμης και η ικανότητα μίμησης της λειτουργικότητας της σακχαρόζης στη μετάθεση της ζελατινοποίησης του αμύλου έχουν καθοριστικό ρόλο στην πλήρη υποκατάσταση της σακχαρόζης στο κέικ.

Τα καλύτερα αποτελέσματα (ως προς την υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) παρείχαν η ολιγοφρουκτόζη, η λακτιτόλη και η μαλτιτόλη, καθώς προσέγγισαν τη συμπεριφορά της σακχαρόζης ως προς τη ρεολογία τα ζύμης και την ενσωμάτωση αέρα καθώς και στην καθυστέρηση της ζελατινοποίησης του αμύλου. Η σορβιτόλη και η πολυδεξτρόζη παρείχαν επίσης ικανοποιητικά αποτελέσματα, ωστόσο εμφανίστηκαν λιγότερο επαρκή ως προς τη συνεισφορά τους στη γέυση με αποτέλεσμα και τη χαμηλότερη αποδοχή τους.

Η φρουκτόζη και η μαννιτόλη εμφανίστηκαν ως μη αποτελεσματικά καθώς παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς και από τα άλλα υποκατάστατα. Ειδικότερα η αύξηση της σκληρότητας και η ελάττωση του ειδικού όγκου που παρατηρήθηκε στα προϊόντα με μαννιτόλη και φρουκτόζη αντίστοιχα, μπορούν να αποδοθούν στην υψηλή συνεκτικότητα της ζύμης (που παρατηρήθηκε στην περίπτωση της μαννιτόλης) και στην αδυναμία μετάθεσης της ζελατινοποίησης του αμύλου σε υψηλότερη θερμοκρασία.

Επομένως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, η ολιγοφρουκτόζη, η λακτιτόλη και η μαλτιτόλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα της ζάχαρης σε κέικ δίνοντας προϊόν του οποίου η ολική αποδοχή δεν διαφέρει σημαντικά από το δείγμα αναφοράς.

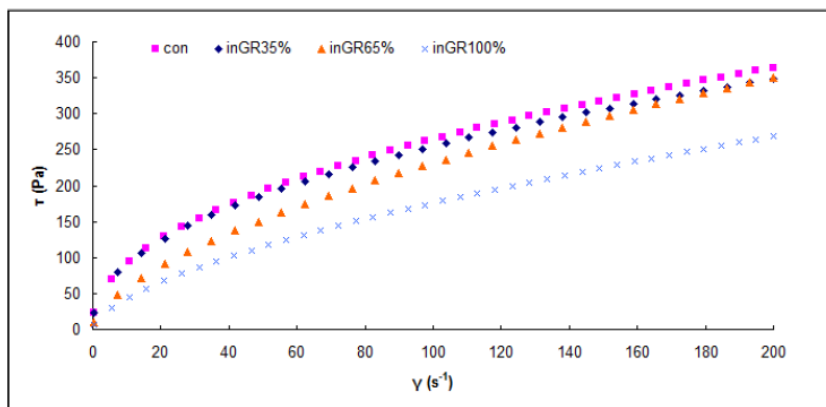
6.2 Υποκατάσταση λιπαρού

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η εφαρμογή υποκατάστατων λιπαρού διαφορετικού τύπου, και πιο συγκεκριμένα υδατανθρακικής βάσης (μαλτοδεξτρίνη, ινουλίνη, πηκτίνη) και πρωτεϊνικής βάσης (μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη) σε διάφορα επίπεδα υποκατάστασης (35%, 65% και 100%). Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, έχουν πραγματοποιηθεί σποραδικές μελέτες για την υποκατάσταση του λιπαρού σε κέικ. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν υποκατάστατα που δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά, προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση τους στα χαρακτηριστικά του κέικ αλλά και της ζύμης, και να εξαχθούν συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητά τους από τη συγκριτική μελέτη. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση της επίδρασης των υποκατάστατων στις ιδιότητες του κέικ με εκείνη στις ιδιότητες της ζύμης. Τέλος, εξετάστηκε και η επίδραση των χαρακτηριστικών (βαθμός πολυμερισμού, βαθμός εστεροποίησης) ορισμένων υποκατάστατων στην απόδοση τους.

Ειδικότερα εξετάστηκαν δύο τύποι ινουλίνης με διαφορετικό βαθμό πολυμερισμού και ολιγοφρουκτόζη, καθώς η ινουλίνη συγκατελέγεται στις διαιτητικές ίνες και βάσει πρόσφατων μελετών έχει πολλά οφέλη για την υγεία, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3. Επιπλέον, επιλέχθηκαν δύο τύποι πηκτίνης με διαφορετικό βαθμό εστεροποίησης. Έχει μελετηθεί ο εμπλουτισμός πηκτίνης και η επίδραση του βαθμού εστεροποίησης της σε ψωμί, ωστόσο η εφαρμογή της πηκτίνης και η επίδραση του βαθμού εστεροποίησης της στην υποκατάσταση λιπαρού σε κέικ, δεν έχει μελετηθεί έως τώρα.

6.2.1 Χαρακτηριστικά ζύμης

Και σε αυτή την περίπτωση τα δείγματα έδειξαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά, καταδεικνύοντας τον προσανατολισμό των συστατικών της ζύμης με τη ροή. Η μεταβολή της τάσης ως προς το ρυθμό διάτμησης για τα διάφορα επίπεδα υποκατάστασης του λιπαρού από την ινουλίνη GR παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.5.

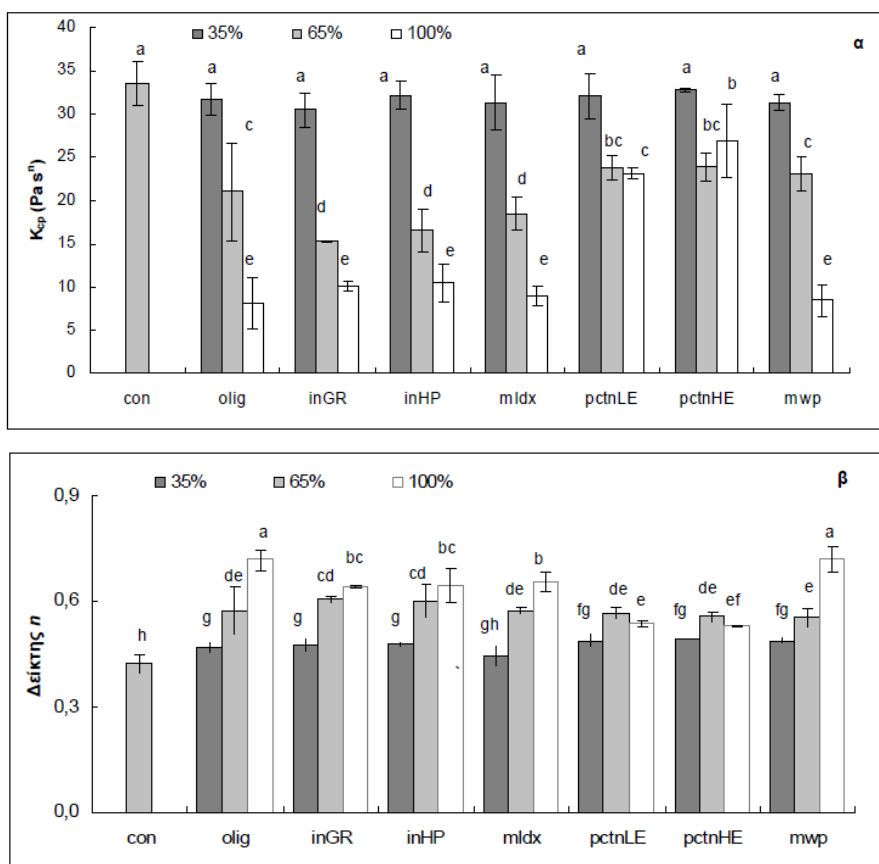


Σχήμα 6.5 Γράφημα τάσης-ρυθμού διάτμησης της ζύμης με υποκατάσταση λιπαρού με ινουλίνη GR (inGR)

Οι τιμές της διατμητικής τάσης και του ρυθμού διάτμησης είχαν καλή προσαρμογή στο εκθετικό μοντέλο Ostwald, και οι τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας (K_{cp}) και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς (n) που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.6. Ο συντελεστής συνεκτικότητας μειώθηκε με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης για όλα τα υποκατάστατα, εκτός της πηκτίνης. Επιπλέον δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών υποκατάστατων, γεγονός που καταδεικνύει ότι η μείωση του συντελεστή συνεκτικότητας μπορεί να αποδοθεί κυρίως στη μείωση του λιπαρού. Η μείωση του ιξώδους της ζύμης έχει παρατηρηθεί και κατά την υποκατάσταση του λιπαρού από μαλτοδεξτρίνη (Lakshminarayan et al., 2006), ινουλίνη (Zahn et al., 2010, Rodriguez-Garcia et al., 2012) και υποκατάστατο με β-γλυκάνη (Lee et al., 2005). Συγκρίνοντας την ολιγοφρουκτόζη, την ινουλίνη GR και την ινουλίνη HP (με βαθμό πολυμερισμού <8, >10 και >23 αντίστοιχα) φαίνεται ότι ο βαθμός πολυμερισμού του συγκεκριμένου υποκατάστατου δεν επηρεάζει σημαντικά τη συνεκτικότητα της ζύμης του κέικ.

Η πηκτίνη διατήρησε συντελεστή συνεκτικότητας σημαντικά υψηλότερο από τα άλλα υποκατάστατα και πλησιέστερο στο δείγμα αναφοράς ακόμη και κατά την πλήρη υποκατάσταση λιπαρού, που θα μπορούσε να αποδοθεί στην υψηλή ικανότητα πάχυνσης της πηκτίνης. Έχει παρατηρηθεί ότι η πηκτίνη κατά την ανάμιξη της με άμυλο σίτου αύξησε το ιξώδες του αιωρήματος (Barcenas et al., 2009). Ειδικότερα ο βαθμός

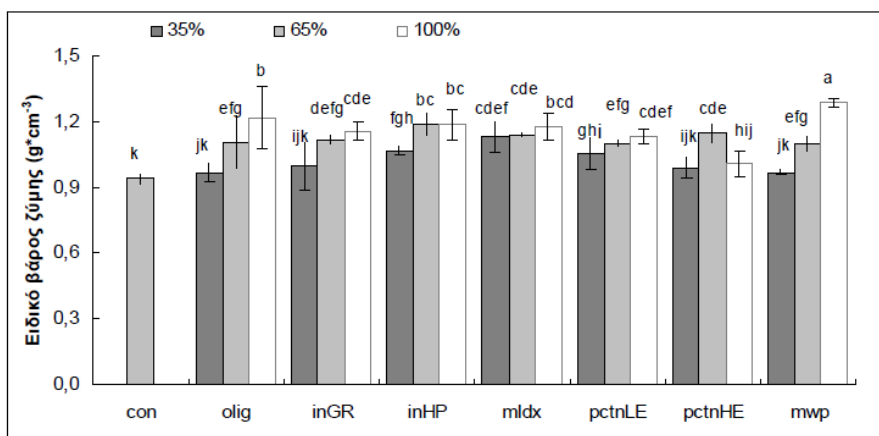
εστεροποίησης της πηκτίνης επηρεάζει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά. Κατά την πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού, η πηκτίνη χαμηλού βαθμού εστεροποίησης (XE) παρουσίασε σημαντικά χαμηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας από την πηκτίνη υψηλού βαθμού εστεροποίησης (YE), που μπορεί να αποδοθεί στη μεγαλύτερη ικανότητα της δεύτερης να αλληλεπιδρά με τις πρωτεΐνες έναντι της χαμηλού βαθμού εστεροποίησης πηκτίνης (Barcenas et al., 2009, Correa et al., 2011).



Σχήμα 6.6 Ρεολογικές μετρήσεις ζύμης με υποκατάσταση λιπαρού: (α) Συντελεστής συνεκτικότητας K_{sp} (β) Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, η . Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f > g > h$.
 Con: δείγμα αναφοράς, Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ινουλίνη GR, In HP: ινουλίνη HP, mldx: μαλτοδεξτρίνη, pctnLE: πηκτίνη (XE), pctnHE: πηκτίνη (YE) mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

Με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης, η ψευδοπλαστική συμπεριφορά ήταν λιγότερο έντονη (αυξήθηκε ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς) ανεξαρτήτως του υποκατάστατου, που αποτελεί ένδειξη μιας απλούστερης δομής όσο μειώνεται το λιπαρό, παρόμοιας με εκείνη των υδατικών μιγμάτων.

Το ιξώδες, όπως αναφέρθηκε, αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα, της ανάπτυξης του όγκου της ζύμης, με το υψηλότερο ιξώδες να διευκολύνει την ενσωμάτωση αέρα (Lee et al., 2004). Αυτό παρατηρήθηκε και στο συγκεκριμένο πείραμα, στο οποίο το ειδικό βάρος της ζύμης ακολούθησε τις διαφοροποιήσεις (με αντίστροφη τάση) της ρεολογικής συμπεριφοράς, και αυξήθηκε με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης και τη μείωση του ιξώδους της ζύμης. Για όλα τα υποκατάστατα, σε επίπεδο υποκατάστασης πάνω από 65%, το ειδικό βάρος της ζύμης ήταν σημαντικά υψηλότερο από το δείγμα αναφοράς, καταδεικνύοντας χαμηλότερη ενσωμάτωση αέρα. Ωστόσο κατά την πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού η πηκτίνη υψηλού βαθμού εστεροποίησης παρουσίασε σημαντικά χαμηλότερο ειδικό βάρος της ζύμης σε σύγκριση με τα άλλα υποκατάστατα συμπεριλαμβανομένης και της πηκτίνης χαμηλού βαθμού εστεροποίησης, υποδηλώνοντας τη μεγαλύτερη συμβολή της πρώτης στην ενσωμάτωση αέρα. Η μικρότερη ποσότητα ενσωματωμένου αέρα, με τη σειρά της μειώνει περαιτέρω το ιξώδες της ζύμης.



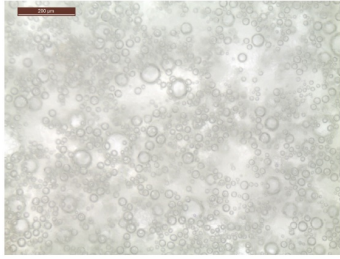
Σχήμα 6.7 Ειδικό βάρος της ζύμης του κέικ με υποκατάσταση λιπαρού

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f > g > h > i > j > k$.

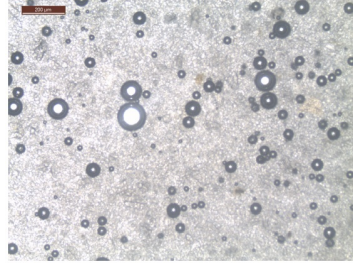
Con: δείγμα αναφοράς, Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ινουλίνη GR, In HP: ινουλίνη HP, mltx: μαλτοδεξτρίνη, rctnLE: πηκτίνη (XE), rctnHE: πηκτίνη (YE) mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

Το μέγεθος των φυσαλίδων στη ζύμη επίσης επηρεάστηκε από την υποκατάσταση λιπαρού. Οι εικόνες της μικροδομής της ζύμης και η κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων, όπως προσδιορίστηκε με τη μικροσκοπική ανάλυση, για τη ζύμη του δείγματος αναφοράς και των δειγμάτων με υποκατάσταση παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.8 και 6.9 αντίστοιχα. Το δείγμα αναφοράς παρουσίασε περιορισμένη κατανομή μεγέθους φυσαλίδων με το 87% των φυσαλίδων να είναι κατανεμημένο σε εύρος διαμέτρου 10-30 μm .

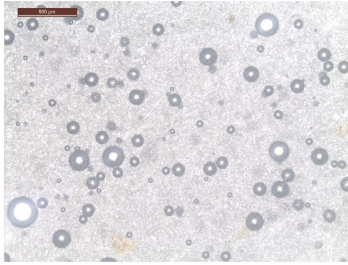
Τα δείγματα με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού, που χαρακτηρίστηκαν από χαμηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας από το δείγμα αναφοράς, παρουσίασαν ευρύτερη κατανομή μεγέθους και μεγαλύτερη διακύμανση, με λιγότερο από 45% των φυσαλίδων να βρίσκεται κατανεμημένο στο προαναφερθέν εύρος διαμέτρου. Μεταξύ των υποκατάστατων σημαντική διαφοροποίηση παρατηρήθηκε μεταξύ της ολιγοφρουκτόζης και των δύο τύπων ινουλίνης.



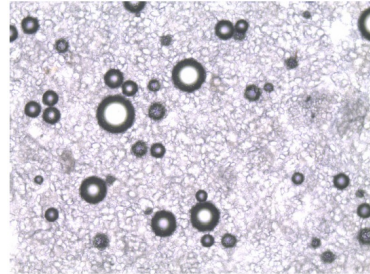
(α)



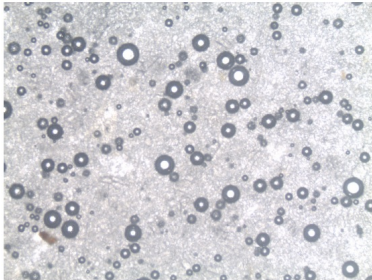
(β)



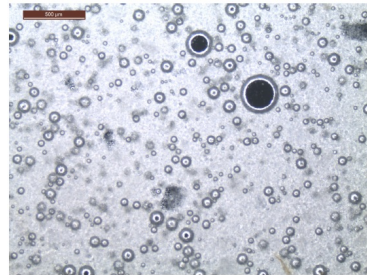
(γ)



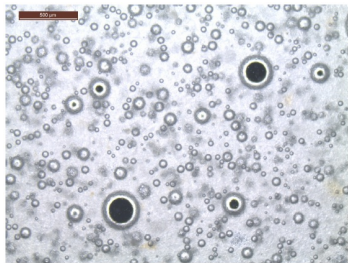
(δ)



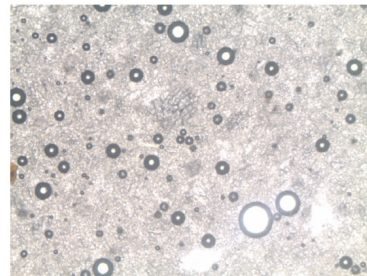
(ε)



(σ)

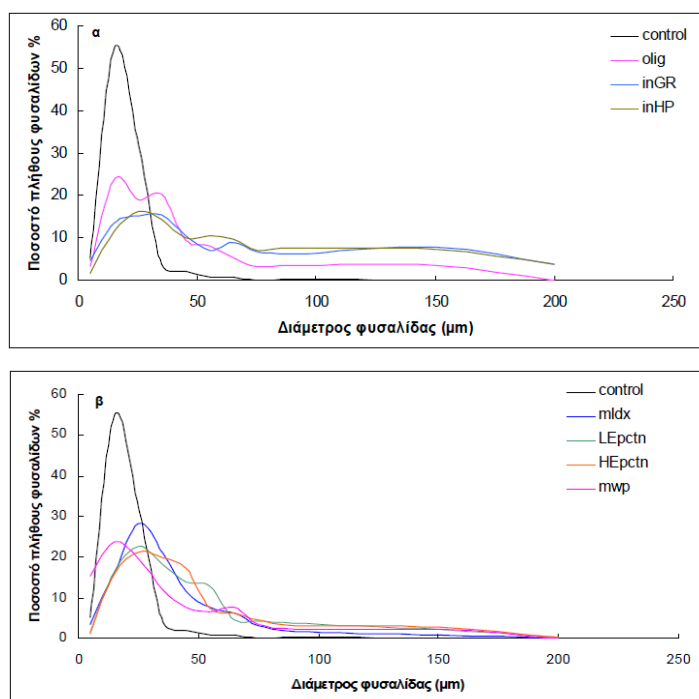


(ζ)



(η)

Σχήμα 6.8 Μικροδομή των φυσαλίδων-Εικόνες της ζύμης του κέικ αναφοράς (α) και των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού : (β) ολιγοφρουκτόζη, (γ) ινουλίνη GR, (δ) ινουλίνη HP, (ε) μαλτοδεξτρίνη, (στ) πηκτίνη ΧΕ, (ζ) πηκτίνη ΥΕ και (η) μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.



Σχήμα 6.9 Κατανομή μεγέθους φυσαλίδων του κέικ αναφοράς (control) και των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού

(α): Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ινουλίνη GR, In HP: ινουλίνη HP,
 (β): mldx: μαλτοδεξτρίνη, pctnLE: πηκτίνη ΧΕ, pctnHE: πηκτίνη ΥΕ, mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της ολιγοφρουκτόζης το 88% του πλήθους των φυσαλίδων ήταν κατανεμημένο σε εύρος διαμέτρου <70 μm, ενώ στα δείγματα με ινουλίνη το 75% των φυσαλίδων είχαν διάμετρο <70 μm. Μεταξύ των δύο τύπων ινουλίνης, καθώς και στις πηκτίνες με διαφορετικό βαθμό εστεροποίησης, δεν παρατηρήθηκε ιδιαίτερη διαφοροποίηση ως προς την κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων (Σχήμα 6.9). Στην περίπτωση της πηκτίνης παρατηρήθηκαν χαμηλότερα

ποσοστά (11%) φυσαλίδων με διάμετρο $>70 \mu\text{m}$ σε σύγκριση με την ινουλίνη. Το μικρότερο εύρος της κατανομής καθώς και το μικρότερο μέγεθος των φυσαλίδων του δείγματος αναφοράς σε σύγκριση με τα δείγματα που περιείχαν υποκατάστατα λιπαρού, μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα του λιπαρού να λειτουργεί ως σταθεροποιητής των φυσαλίδων μέσω του σχηματισμού φιλμ στη διεπιφάνεια αέρα-μίγματος. Οι Rodriguez-Garcia et al. (2012) επιβεβαίωσαν τον παραπάνω ισχυρισμό με μικροσκοπία σάρωσης ακτίνων laser (laser scanning microscopy) σε sponge κέικ με έλαιο, συγκριτικά με δείγμα στο οποίο το έλαιο είχε υποκατασταθεί από ινουλίνη. Το μειωμένο ιξώδες της ζύμης, που παρατηρήθηκε στην πλήρη υποκατάσταση, είναι επίσης σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τη συσσωμάτωση των φυσαλίδων.

Ζελατινοποίηση του αμύλου

Η επίδραση των υποκατάστατων λιπαρού στη ζελατινοποίηση του αμύλου όπως προσδιορίστηκε με τη διαφορική θερμιδομετρική ανάλυση και οι τιμές των θερμοκρασιών έναρξης, κορύφωσης και λήξης των δειγμάτων πλήρους υποκατάστασης λιπαρού παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5. Στατιστικά σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε στην περίπτωση της ινουλίνης GR και ακόμη μεγαλύτερη στην περίπτωση της ολιγοφρουκτόζης. Οι ολιγοσακχαρίτες μειώνουν την ενεργότητα νερού, περιορίζοντας την ενυδάτωση του αμύλου και λειτουργούν ως σταθεροποιητές της άμορφης περιοχής των κόκκων αμύλου, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης του (Brown & French 1977; Kim & Walker 1992; Duran et al., 2001). Επομένως η αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης του αμύλου στην περίπτωση της ολιγοφρουκτόζης είναι αναμενόμενη. Η ινουλίνη GR με χαμηλό βαθμό πολυμερισμού είχε ανάλογη επίδραση στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου. Τα άλλα υποκατάστατα λιπαρού δεν επηρέασαν τη θερμοκρασία έναρξης ενώ σημαντικές διαφοροποιήσεις στη θερμοκρασία κορύφωσης ή λήξης παρατηρήθηκαν στην περίπτωση της πηκτίνης και της μικροσωματιδιακής πρωτεΐνης.

Πίνακας 6.5 Θερμοκρασίες ζελατινοποίησης αμύλου σε δείγματα ζύμης με υποκατάσταση λιπαρού

Συστατικό	T _{onset}	T _{peak}	T _{end}
Δείγμα αναφοράς	83.69 ^c ± 1.99	89.31 ^c ± 1.12	94.63 ^c ± 0.16
Ολιγοφρουκτόζη	91.10 ^a ± 1.29	96.86 ^a ± 0.23	101.48 ^a ± 0.38
Ινουλίνη GR	86.25 ^b ± 0.30	91.69 ^b ± 1.12	96.25 ^{bc} ± 1.46
Ινουλίνη HP	84.16 ^{bc} ± 1.09	89.57 ^c ± 0.22	94.80 ^c ± 2.73
Μαλτοδεξτρίνη	83.66 ^c ± 1.92	89.87 ^c ± 2.17	96.28 ^{bc} ± 1.06
Πηκτίνη YE	83.61 ^c ± 0.41	87.35 ^d ± 0.64	94.86 ^c ± 1.00
Μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη	85.43 ^{bc} ± 0.40	91.81 ^b ± 1.01	98.26 ^b ± 1.65

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

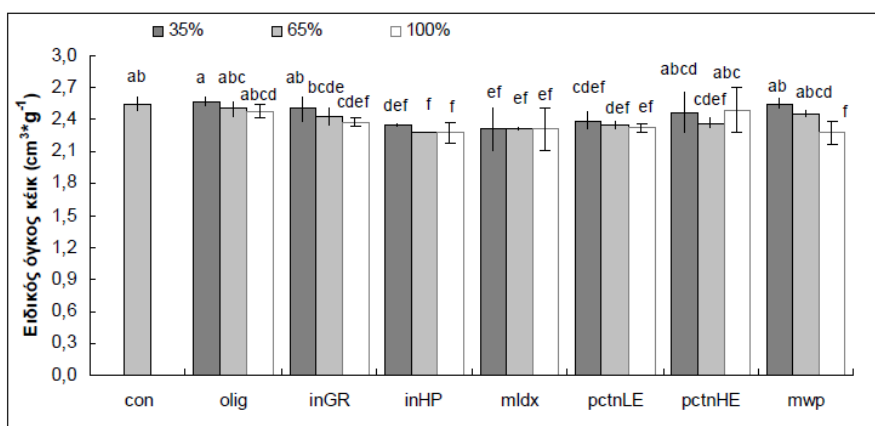
Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά (P < 0.05) με a > b > c.

6.2.2 Χαρακτηριστικά κέικ

6.2.2.1 Ειδικός όγκος

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο ειδικός όγκος αποτελεί ένδειξη της ανάπτυξης του όγκου και κατ' επέκταση της πορώδους δομής του προϊόντος. Τα δείγματα με ινουλίνη HP και μαλτοδεξτρίνη παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερο ειδικό όγκο σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς ακόμη και σε χαμηλό επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού (Σχήμα 6.10). Τα περισσότερα από τα υπόλοιπα υποκατάστατα δεν παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση, αλλά τάση μείωσης του ειδικού όγκου με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης. Οι διαφοροποιήσεις του ειδικού όγκου, οφείλονται κυρίως σε διαφοροποιήσεις στον όγκο των δειγμάτων, όπως φαίνεται και από τη σημαντική θετική συσχέτισή τους ($r = 0.99$). Ο ειδικός όγκος είχε αρνητική συσχέτιση με το ειδικό βάρος της ζύμης ($r = -0.78$). Πιο συγκεκριμένα, με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης και τη μείωση του ιξώδους περιορίστηκε η ενσωμάτωση αέρα και η ικανότητα συγκράτησης του αέρα κατά τον κλιβανισμό. Ωστόσο στην περίπτωση της πηκτίνης YE, η αύξηση της υποκατάστασης από 65% σε 100% είχε ως

αποτέλεσμα υψηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας και συνεπώς συνέβαλε στο σχηματισμό πολλών φυσαλίδων αέρα (όπως φαίνεται από το χαμηλό ειδικό βάρος) παρέχοντας κέικ με ειδικό όγκο παρόμοιο με εκείνον του δείγματος αναφοράς. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη του όγκου με την προσθήκη της πηκτίνης ΥΕ έναντι της πηκτίνης ΧΕ, έχει παρατηρηθεί και σε ψωμί ελευθέρου γλουτένης (Correa et al., 2011). Η θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου επίσης φαίνεται να συμβάλλει στην ανάπτυξη του όγκου, καθώς τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης του αμύλου, χαρακτηρίστηκαν από ειδικό όγκο παρόμοιο με τα δείγματα του δείγματος αναφοράς παρά το χαμηλότερο ειδικό βάρος των τελευταίων.



Σχήμα 6.10 Ειδικός όγκος των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού.

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f$.

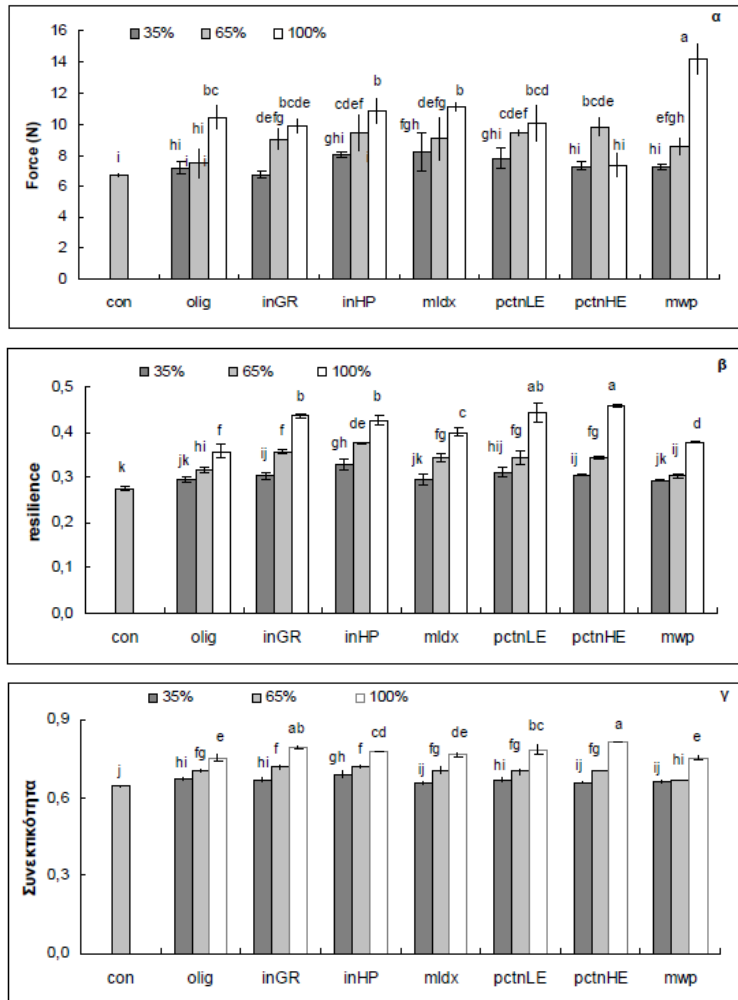
Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ινουλίνη GR, In HP: ινουλίνη HP, mldx: μαλτοδεξτρίνη, pctnLE: πηκτίνη (ΧΕ), pctnHE: πηκτίνη (ΥΕ) mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

6.2.2.2 Ιδιότητες υφής

Σε επίπεδο υποκατάστασης 35%, όλα τα υποκατάστατα, εκτός της μαλτοδεξτρίνης, δεν παρείχαν προϊόν σημαντικά διαφοροποιημένο από το δείγμα αναφοράς ως προς τη σκληρότητα. Υψηλότερα επίπεδα υποκατάστασης οδήγησαν σε προϊόν μεγαλύτερης σκληρότητας, ενώ κατά την πλήρη υποκατάσταση λιπαρού όλα τα υποκατάστατα (εκτός της πηκτίνης ΥΕ) παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερη σκληρότητα σε

σύγκριση με το δείγμα αναφοράς (Σχήμα 6.11α). Το λιπαρό έχει σημαντική συμβολή στην τρυφερότητα της υφής, και συνεπώς η υποκατάσταση του από συστατικά μη λιπαρής φύσης είναι αναμενόμενο να αυξήσει τη σκληρότητα. Εκτός αυτού, το αυξημένο πλήθος των φυσαλίδων και η ομοιόμορφη κατανομή τους σε μικρά μεγέθη στο δείγμα αναφοράς οδηγεί σε λιγότερο πυκνή δομή του κέικ και κατά συνέπεια σε χαμηλότερη σκληρότητα, όπως παρατηρήθηκε και από τους Rodriguez-Garcia et al. (2012). Καθώς με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης λιπαρού, μικρότερη ποσότητα αέρα ενσωματώνεται στη ζύμη με μεγαλύτερη διακύμανση του μεγέθους των φυσαλίδων, η αύξηση της σκληρότητας είναι αναμενόμενη. Κατά την πλήρη υποκατάσταση λιπαρού, τα δείγματα με πηκτική ΥΕ παρουσίασαν τη χαμηλότερη σκληρότητα, που μπορεί να συνδεθεί με τη μεγαλύτερη ανάπτυξη του όγκου, έναντι των άλλων υποκατάστατων. Η μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη με τη σημαντικά χαμηλότερη ανάπτυξη του όγκου, οδήγησε στην υψηλότερη σκληρότητα. Η υψηλότερη σκληρότητα της ψίχας με υποκατάστασης του λιπαρού από μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη σε σύγκριση με την ινουλίνη παρατηρήθηκε και κατά την υποκατάσταση λιπαρού σε ψωμί (O' Brien et al., 2003). Ωστόσο η σκληρότητα δεν επηρεάζεται μόνο από την ανάπτυξη του όγκου, όπως προκύπτει από τη συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών χαρακτηριστικών ($r = -0.71$).

Η ελαστικότητα επίσης αυξήθηκε με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης, όπως φαίνεται από τις τιμές της resilience (Σχήμα 6.9β), ενώ οι τιμές της springiness επηρεάστηκαν σε μικρότερο βαθμό (τα δεδομένα δεν παρουσιάζονται). Πιο συγκεκριμένα όλα τα υποκατάστατα παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερη resilience από το δείγμα αναφοράς, ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα υποκατάστασης. Η αύξηση της ελαστικότητας έχει προταθεί ως ένδειξη της αυξημένης δύναμης των δεσμών του τριδιάστατου πλέγματος της ψίχας (Zahn et al., 2010). Το λιπαρό περιβάλλει την πρωτεΐνη και τους κόκκους αμύλου, αποτρέποντας την ενυδάτωσή τους και το σχηματισμό του συνεχούς πλέγματος γλουτένης-αμύλου.



Σχήμα 6.11 Ιδιότητες υφής των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού: (α) σκληρότητα, (β) resilience και (γ) συνεκτικότητα

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f > g > h > i > j > k$.

Con: δείγμα αναφοράς, Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ινουλίνη GR, In HP: ινουλίνη HP, mldx: μαλτοδεξτρίνη, pctnLE: πηκτίνη (XE), pctnHE: πηκτίνη (YE), mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

Επομένως η υποκατάσταση του λιπαρού ενισχύει την ανάπτυξη του πλέγματος της ψίχας, ενώ τα υποκατάστατα μπορεί να ενισχύουν περαιτέρω το πλέγμα μέσω δεσμών υδρογόνου ή άλλων αλληλεπιδράσεων. Ειδικά τα υποκατάστατα υδατανθρακικής βάσης μπορούν να συμβάλλουν στη

δύναμη του πλέγματος μέσω δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων τους και των μορίων αμύλου. Ο βαθμός πολυμερισμού φαίνεται να επηρεάζει τη δύναμη του πλέγματος, καθώς τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερη resilience από τα δείγματα πλήρους υποκατάστασης με ινουλίνη. Η υψηλότερη ελαστικότητα παρατηρήθηκε στην περίπτωση της πηκτίνης και μπορεί να θεωρηθεί ένδειξη εσωτερικής σύνδεσης λόγω της παρουσίας ιονισμένων καρβοξυλιομάδων (Barcenas et al., 2009). Η μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη παρουσίασε χαμηλότερη ελαστικότητα από τα υδατανθρακικής βάσης υποκατάστατα (εκτός από την ολιγοφρουκτόζη), καταδεικνύοντας μικρότερη επίδραση στο πλέγμα της ψίχας, που μπορεί να αποδοθεί στη σωματιδιακή φύση του συγκεκριμένου υποκατάστατου. Στην περίπτωση των δειγμάτων με ολιγοφρουκτόζη η χαμηλή resilience μπορεί να συνδέεται με το μικρό βαθμό πολυμερισμού της.

Η συνεκτικότητα αυξήθηκε με το επίπεδο υποκατάστασης (Σχήμα 6.9γ), με όλα τα υποκατάστατα να παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες τιμές συνεκτικότητας από το δείγμα αναφοράς σε επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού 65%. Η αύξηση αυτή παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση (σε περιορισμένο βαθμό) με την ανάπτυξη του όγκου. Ωστόσο τα κέικ με πηκτίνη YE, παρά το μη σημαντικά διαφοροποιημένο όγκο τους από το δείγμα αναφοράς, παρουσίασαν την υψηλότερη συνεκτικότητα, καταδεικνύοντας ότι η συνεκτικότητα επηρεάζεται και από τη δύναμη του πλέγματος της ψίχας. Η μασητικότητα ως γινόμενο της σκληρότητας, της συνεκτικότητας και της springiness, ακολούθησε την τάση της σκληρότητας.

6.2.2.3 Χρώμα

Οι παράμετροι L, a, και b του χρώματος της ψίχας και της κόρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.6 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού

Συστατικό	Επίπεδο Υποκ/σης	Κόρα			Ψίχα		
		L	a	b	L	a	b
Δείγμα αναφοράς		44.22 ^{cde}	14.79 ^{def} ±	27.42 ^{defg}	74.43 ^{bcde}	-1.84 ^{efg}	22.88 ^{bcdef}
		± 0.15	0.16	± 1.81	± 0.61	± 0.63	± 0.74
Ολιγ/κτόζη	35%	41.29 ^{fg}	16.55 ^a ±	26.32 ^{fghi}	74.62 ^{bcd}	-2.82 ^{hi} ±	25.46 ^b ±
		± 1.74	0.25	± 1.00	± 0.39	0.5	0.40
	65%	38.13 ^h ±	16.34 ^{ab} ±	24.23 ^{ij} ±	65.23 ^l ±	0.93 ^b ±	31.25 ^a ±
		0.57	0.64	0.33	3.06	1.23	3.76
Ιουλίνη GR	100%	38.45 ^h ±	15.57 ^{abcdef}	22.45 ^{jk} ±	62.58 ^m ±	1.76 ^a ±	29.40 ^a ±
		0.17	± 0.33	2.57	0.08	0.35	0.52
	35%	43.74 ^{de}	15.40 ^{abcdef}	26.16 ^{fghi}	76.22 ^{ab} ±	-2.87 ^{hi} ±	20.34 ^{fg} ±
		± 0.33	± 0.26	± 0.25	0.86	0.52	0.89
Ιουλίνη HP	65%	42.83 ^{ef}	15.59 ^{abcdef}	25.53 ^{ghi} ±	72.41 ^{efgh}	-2.39 ^{ghi}	21.05 ^{efg}
		± 1.86	± 0.08	1.90	± 0.74	± 0.21	± 2.14
	100%	44.80 ^{bcde}	14.77 ^{def} ±	26.11 ^{fghi}	69.29 ^k ±	-1.92 ^{efg}	19.89 ^g ±
		± 0.97	0.30	± 1.63	0.78	± 0.12	1.74
Μαλτοδεξτρίνη	35%	47.00 ^b ±	15.62 ^{abcde}	29.71 ^{bcd}	77.78 ^a ±	-3.10 ⁱ ±	19.99 ^g ±
		1.51	± 0.10	± 1.28	2.08	0.51	1.32
	65%	44.14 ^{cde}	16.34 ^{ab} ±	28.58 ^{cde} ±	71.31 ^{hij}	-1.70 ^{defg}	21.91 ^{defg}
		± 0.88	0.43	2.12	± 0.33	± 0.43	± 0.86
Μαλτοδεξτρίνη	100%	46.23 ^{bc}	15.50 ^{abcdef}	28.17 ^{def} ±	69.88 ^{jk} ±	-1.28 ^{cde}	19.96 ^g ±
		± 0.17	± 0.30	1.35	1.21	± 0.33	1.44
	35%	41.36 ^{fg}	15.49 ^{abcdef}	24.98 ^{hi} ±	71.96 ^{ghi}	-2.29 ^{fgh}	22.04 ^{cdefg}
		± 0.24	± 1.11	1.77	± 2.35	± 0.21	± 4.52
Μαλτοδεξτρίνη	65%	44.85 ^{bcde}	15.63 ^{abcde}	27.31 ^{efgh}	71.73 ^{hij}	-1.92 ^{efg}	21.11 ^{efg}
		± 2.00	± 0.70	± 3.42	± 1.37	± 0.21	± 3.45
	100%	49.32 ^a ±	14.38 ^f ±	29.28 ^{bcde}	70.32 ^{ijk}	-1.53 ^{cdef}	20.01 ^g ±
		0.40	0.70	± 2.12	± 1.12	± 0.05	4.02

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f > g > h > i$.

Πίνακας 6.6 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού
(Συνέχεια)

Συστατικό	Επίπεδο Υποκ/σης	Κόρα			Ψίχα		
		L	a	b	L	a	b
Δείγμα		44.22 ^{cde}	14.79 ^{def} ±	27.42 ^{defg}	74.43 ^{bcde}	-1.84 ^{efg}	22.88 ^{bcdef}
αναφοράς		± 0.15	0.16	± 1.81	± 0.61	± 0.63	± 0.74
Πηκτίνη ΧΕ	35%	45.94 ^{bcd}	16.27 ^{abc} ±	30.66 ^{abc} ±	75.88 ^{abc}	-1.93 ^{efg}	23.65 ^{bcde}
		± 0.17	1.04	1.18	± 1.23	± 0.20	± 0.21
	65%	46.87 ^b ±	15.21 ^{bcdef}	28.70 ^{cde} ±	72.71 ^{defgh}	-1.85 ^{efg}	23.30 ^{bcde}
Πηκτίνη ΥΕ	100%	2.08	± 0.66	1.20	± 0.77	± 0.39	± 0.14
		50.76 ^a ±	15.04 ^{cdef}	32.73 ^a ±	74.52 ^{bcd}	-1.26 ^{cde}	22.50 ^{cdefg}
	35%	47.08 ^b ±	15.83 ^{abcd}	31.16 ^{ab} ±	74.72 ^{bcd}	-1.64 ^{defg}	23.82 ^{bcd}
Πηκτίνη ΥΕ	65%	0.86	± 0.69	0.04	± 0.20	± 0.02	± 0.26
		47.12 ^b ±	15.94 ^{abcd}	28.68 ^{cde} ±	72.05 ^{fghi}	-0.97 ^{cd}	24.17 ^{bcd}
	100%	2.35	± 1.66	0.22	± 2.36	± 0.18	± 0.24
Μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη	35%	40.25 ^{gh}	15.29 ^{bcdef}	24.91 ⁱ ±	75.09 ^{bc} ±	-2.42 ^{ghi}	25.45 ^b ±
		± 0.91	± 0.22	1.47	0.24	± 0.22	0.32
	65%	41.35 ^{fg}	15.16 ^{bcdef}	25.69 ^{ghi} ±	73.97 ^{cdefg}	-2.22 ^{fgh}	24.03 ^{bcd}
		± 0.18	± 0.21	0.64	± 0.80	± 0.47	± 1.25
	100%	39.56 ^{gh}	14.42 ^{ef} ±	20.97 ^k ±	66.68 ^l ±	-0.86 ^c ±	24.68 ^{bc} ±
		± 1.33	0.40	0.52	1.75	0.52	0.52

Τα κέικ που περιείχαν μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη και ολιγοφρουκτόζη χαρακτηρίστηκαν από σημαντικά σκουρότερο χρώμα της κόρας με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης. Ειδικότερα η ολιγοφρουκτόζη παρείχε κέικ με την σκουρότερη επιφάνεια, ενώ οι δύο τύποι της ινουλίνης δεν διέφεραν σημαντικά από το χρώμα της κόρας του δείγματος αναφοράς, όπως έχει παρατηρηθεί και σε άλλη μελέτη (Zahn et al., 2010). Το φωτεινότερο χρώμα κόρας είχαν τα δείγματα με πηκτίνη ΥΕ, που χαρακτηρίστηκαν και από αυξημένες τιμές της κίτρινης απόχρωσης σε σύγκριση με τα άλλα υποκατάστατα για το ίδιο επίπεδο υποκατάστασης του

λιπαρού. Παρόμοιες παρατηρήσεις για την αυξημένη φωτεινότητα και κίτρινη απόχρωση του χρώματος της κόρας του κέικ με υποκατάσταση λιπαρού από πηκτίνη έχει γίνει και σε πρόσφατη μελέτη (Wafaa et al., 2011).

Τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη σε ποσοστό 65% και 100% παρουσίασαν επίσης και το σκουρότερο χρώμα ψίχας. Τα άλλα υποκατάστατα λιπαρού, εκτός της πηκτίνης, επίσης οδήγησαν σε σημαντικά σκουρότερο χρώμα ψίχας από το δείγμα αναφοράς, σε επίπεδα υποκατάστασης πάνω από 65%. Τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη παρουσίασαν και αυξημένη κίτρινη απόχρωση. Η μειωμένη φωτεινότητα της ψίχας με την υποκατάσταση του λιπαρού έχει αναφερθεί και σε άλλες μελέτες (Kalinga & Mishra, 2009, Kim et al., 2001, Lee et al., 2004).

6.2.3 Οργανοληπτική εξέταση

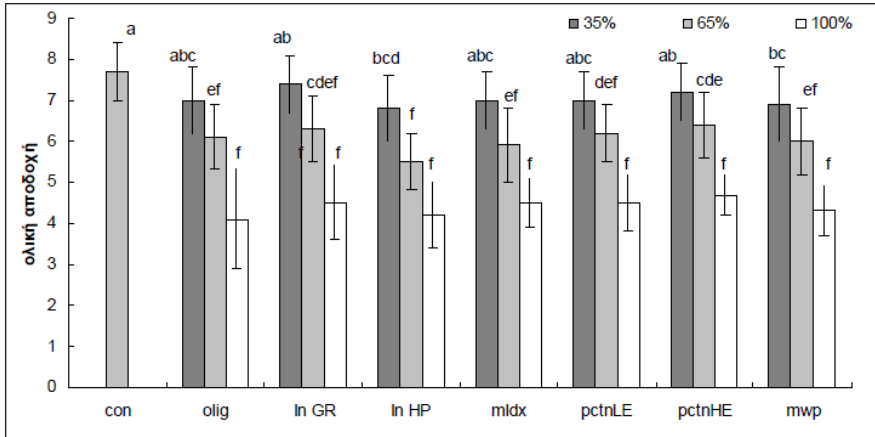
Τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής εξέτασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.7. Τα περισσότερα δείγματα με υποκατάσταση λιπαρού κατά 35% και 65% δεν παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση ως προς το χρώμα της κόρας από το πλήρες σε λιπαρά προϊόν. Κατά την πλήρη υποκατάσταση, η ολιγοφρουκτόζη παρουσίασε σημαντικά σκουρότερο χρώμα της επιφάνειας, που βρίσκεται σε συμφωνία με τις αντίστοιχες ενόργανες μετρήσεις. Και το χρώμα της ψίχας των κέικ με 65% και 100% υποκατάσταση από ολιγοφρουκτόζη και ινουλίνη εκτιμήθηκε ως σημαντικά σκουρότερο από το δείγμα αναφοράς, με την ολιγοφρουκτόζη να οδηγεί και στο πιο σκούρο χρώμα της ψίχας από όλα τα υποκατάστατα. Επίσης, κατά την πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού το χρώμα της ψίχας εκτιμήθηκε ως σημαντικά πιο σκούρο σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς για όλα τα υποκατάστατα, εκτός από την πηκτίνη που εκτιμήθηκε ως παρόμοια με το δείγμα αναφοράς. Γενικά η οργανοληπτική αξιολόγηση του χρώματος της κόρας και της ψίχας ακολούθησε τις ενόργανες μετρήσεις, ενώ οι δοκιμαστές δεν αναγνώρισαν τις μικρές διαφοροποιήσεις που ανιχνεύθηκαν από το όργανο.

Και η οργανοληπτική αξιολόγηση της σκληρότητας και της ελαστικότητας ακολούθησαν τις ενόργανες μετρήσεις της υφής. Κατά την πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού όλα τα υποκατάστατα αξιολογήθηκαν ως σημαντικά πιο σκληρά (εκτός από την πηκτίνη ΥΕ) από το δείγμα

αναφοράς, ενώ και η ελαστικότητα αυξήθηκε με το επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού. Τα κέικ με πηκτίνη ΥΕ αξιολογήθηκαν ως τα πιο τρυφερά σε σύγκριση με τα άλλα υποκατάστατα στα αντίστοιχα επίπεδα υποκατάστασης λιπαρού. Από την άλλη πλευρά η ευθρυπτότητα μειώθηκε με το επίπεδο υποκατάστασης, εμφανίζοντας αντίθετη τάση από τη συνεκτικότητα, που προσδιορίστηκε με την ανάλυση της υφής. Τα δείγματα με 65% υποκατάσταση (εκτός από την μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη) βαθμολογήθηκαν με σημαντικά χαμηλότερες τιμές ευθρυπτότητας από το δείγμα αναφοράς. Τα δείγματα με 35% υποκατάσταση δεν εκτιμήθηκαν ως σημαντικά διαφορετικά από το δείγμα αναφοράς ως προς τη σκληρότητα, την ελαστικότητα και την ευθρυπτότητα, που συμφωνεί με τα αποτελέσματα της ανάλυσης της υφής (σκληρότητα, springiness και συνεκτικότητα, αντίστοιχα).

Η γεύση και το άρωμα των δειγμάτων με υποκατάσταση 35% από ινουλίνη GR, μαλτοδεξτρίνη ή μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη δεν αξιολογήθηκαν ως διαφορετικά από το δείγμα αναφοράς, ενώ σε 100% υποκατάσταση όλα τα υποκατάστατα (πλην της μικροσωματιδιακής πρωτεΐνης) έλαβαν βαθμολογία κάτω του 5. Ωστόσο υποβάθμιση της γεύσης και του αρώματος δε συνδέθηκε με την ανίχνευση μετάγευσης ή δυσάρεστου αρώματος (π.χ. αυγού).

Η ολική αποδοχή των δειγμάτων (Σχήμα 6.12) μειώθηκε με το επίπεδο υποκατάστασης ακολουθώντας τις οργανοληπτικές παραμέτρους. Τα περισσότερα δείγματα με 35% υποκατάσταση βαθμολογήθηκαν κοντά στο δείγμα αναφοράς, ενώ σε επίπεδο υποκατάστασης 65% η πηκτίνη ΥΕ έλαβε την υψηλότερη βαθμολογία ως προς την ολική αποδοχή, ακολουθούμενη από την ινουλίνη GR, την πηκτίνη ΥΕ και την ολιγοφρουκτόζη. Τα κέικ με πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού δεν εκτιμήθηκαν ως αποδεκτά, ανεξάρτητα από τον τύπο του υποκατάστατου.



Σχήμα 6.12 Ολική αποδοχή του κέικ με υποκατάσταση λιπαρού

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f$.

Con: δείγμα αναφοράς, Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ινουλίνη GR, In HP: ινουλίνη HP, mldx: μαλτοδεξτρίνη, pctnLE: πηκτίνη (XE), pctnHE: πηκτίνη (YE), mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

Πίνακας 6.7 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού

Συστατικό	Επίπεδο Υποκ/σης	Χρώμα κόρας	Χρώμα ψίχας	Σκληρότητα	Ελαστικότητα	Ευθρυπτότητα	Γεύση	Άρωμα
Δείγμα αναφοράς		5.1 ^{bc} ± 1.2	7.2 ^a ± 0.6	3.5 ^d ± 0.8	4.4 ^{fg} ± 0.9	5.6 ^a ± 1.7	7.7 ^a ± 0.5	7.2 ^a ± 0.8
Ολιγ/κτόζη	35%	4.6 ^{bcd} ± 1.2	6.4 ^{ab} ± 1.0	3.8 ^{def} ± 0.8	5.2 ^{def} ± 0.9	4.7 ^{ab} ± 1.3	6.4 ^{bcd} ± 1.1	6.3 ^{abcd} ± 1.1
	65%	3.8 ^{de} ± 0.9	5.1 ^e ± 1.1	4.8 ^{bcd} ± 1.1	6.3 ^{abc} ± 0.9	3.7 ^{bcdef} ± 1.2	5.5 ^{fgh} ± 1.1	5.6 ^{defg} ± 1.2
	100%	2.1 ^f ± 0.7	3.7 ^f ± 0.7	5.5 ^{abc} ± 1.6	6.9 ^a ± 0.9	2.8 ^{defgh} ± 1.5	4.3 ⁱ ± 1.4	4.2 ⁱ ± 1.6
Ινουλίνη GR	35%	4.7 ^{bcd} ± 1.6	6.8 ^{ab} ± 1.1	3.7 ^{def} ± 1.7	4.4 ^{fg} ± 1.2	4.2 ^{bcd} ± 1.6	7.1 ^{abc} ± 1.1	6.8 ^{ab} ± 1.4
	65%	4.7 ^{bcd} ± 1.1	5.4 ^{cde} ± 1.1	4.8 ^{bcd} ± 1.5	6.4 ^{abc} ± 1.1	3.1 ^{defgh} ± 1.2	6.3 ^{cdef} ± 0.9	6.1 ^{bcd} ± 0.9
	100%	5.0 ^{bcd} ± 0.8	5.2 ^e ± 1.1	5.7 ^{ab} ± 0.9	6.9 ^a ± 0.7	2.6 ^{efgh} ± 1.1	4.8 ^{hi} ± 0.9	4.7 ^{ghi} ± 0.9
Ινουλίνη HP	35%	4.3 ^{bcd} ± 1.8	6.4 ^{ab} ± 1.3	3.8 ^{def} ± 1.3	4.1 ^g ± 1.0	4.9 ^{ab} ± 1.3	6.8 ^{bcd} ± 0.6	6.6 ^{abc} ± 0.7
	65%	4.2 ^{bcd} ± 1.4	5.4 ^{cde} ± 0.8	4.8 ^{bcd} ± 1.4	5.2 ^{def} ± 0.6	3.6 ^{bcdefg} ± 1.3	5.4 ^{gh} ± 0.8	5.2 ^{efgh} ± 0.7
	100%	5.1 ^{bc} ± 1.2	5.3 ^{de} ± 1.1	6.0 ^a ± 1.4	6.3 ^{abc} ± 0.9	2.2 ^{gh} ± 1.0	4.4 ⁱ ± 1.4	4.2 ^{hi} ± 1.2

Πίνακας 6.7 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού (Συνέχεια)

Συστατικό	Επίπεδο	Χρώμα κόρας	Χρώμα ψίχας	Σκληρότητα	Ελαστικότητα	Ευθρυπτότητα	Γεύση	Άρωμα
Μαλατοδέξτρι νη	35%	4.1 ^{cde} ± 1.2	6.8 ^{ab} ± 1.0	4.1 ^{def} ± 1.3	4.4 ^{fg} ± 1.3	4.8 ^{ab} ± 1.6	7.2 ^{ab} ± 0.4	6.9 ^{ab} ± 0.6
	65%	5.4 ^{ab} ± 0.8	6.3 ^{abcd} ± 0.9	4.6 ^{bcdef} ± 1.1	5.0 ^{defg} ± 1.4	3.8 ^{bcde} ± 1.4	6.0 ^{defg} ± 0.8	5.5 ^{defg} ± 1.5
	100%	6.5 ^a ± 1.1	6.0 ^{bcde} ± 0.8	6.2 ^a ± 1.2	5.8 ^{bcd} ± 1.1	2.6 ^{efgh} ± 1.1	4.4 ⁱ ± 1.1	4.2 ⁱ ± 1.1
Πηκτίνη ΧΕ	35%	5.3 ^{abc} ± 1.3	6.7 ^{ab} ± 1.2	3.7 ^{def} ± 0.8	5.2 ^{def} ± 0.8	4.5 ^{abc} ± 0.7	6.8 ^{bcd} ± 0.3	6.8 ^{ab} ± 0.6
	65%	5.3 ^{abc} ± 1.3	6.7 ^{ab} ± 1.4	4.8 ^{bcde} ± 0.6	5.5 ^{cde} ± 1.1	3.2 ^{cdefgh} ± 0.9	6.3 ^{cdef} ± 0.6	6.3 ^{abcd} ± 0.8
	100%	5.5 ^{ab} ± 0.8	6.3 ^{abc} ± 0.9	5.5 ^{abc} ± 0.7	6.6 ^{ab} ± 1.1	1.9 ^h ± 0.9	4.8 ^{hi} ± 0.9	4.8 ^{fg} ± 0.9
Πηκτίνη ΥΕ	35%	5.3 ^{abc} ± 0.9	6.8 ^{ab} ± 0.9	3.4 ^f ± 0.7	5.0 ^{defg} ± 0.7	4.6 ^{abc} ± 1.4	6.8 ^{bcd} ± 0.4	6.9 ^{ab} ± 0.6
	65%	5.4 ^{ab} ± 1.0	6.8 ^{ab} ± 0.6	4.0 ^{def} ± 0.9	5.1 ^{defg} ± 0.9	3.7 ^{bcdef} ± 1.6	6.4 ^{bcde} ± 0.6	6.4 ^{abcd} ± 0.5
	100%	5.4 ^{ab} ± 1.2	6.5 ^{ab} ± 0.5	4.6 ^{bcdef} ± 1.0	6.6 ^{ab} ± 1.3	2.3 ^{fgh} ± 1.3	4.8 ^{hi} ± 0.6	4.9 ^{fg} ± 0.6
Μικροσωματ ϊδιακή πρωτεΐνη	35%	5.0 ^{bcd} ± 1.8	6.9 ^{ab} ± 1.0	3.6 ^{ef} ± 1.4	4.7 ^{efg} ± 0.8	4.6 ^{abc} ± 2.0	7.0 ^{abc} ± 0.8	6.6 ^{abc} ± 0.8
	65%	4.6 ^{bcde} ± 1.1	6.8 ^{ab} ± 1.2	4.5 ^{cdef} ± 1.2	5.2 ^{def} ± 0.8	4.7 ^{ab} ± 1.5	5.8 ^{efg} ± 0.8	5.8 ^{cdef} ± 1.0
	100%	3.4 ^e ± 1.6	5.3 ^{de} ± 1.3	5.6 ^{abc} ± 1.3	6.0 ^{abcd} ± 1.5	3.1 ^{defgh} ± 1.0	5.4 ^{gh} ± 1.3	5.5 ^{defg} ± 1.3

6.2.4 Μαθηματική επεξεργασία (ή μοντελοποίηση) δεδομένων τάσης- παραμόρφωσης και συσχετισμός με τα χαρακτηριστικά υφής

Τα χαρακτηριστικά της υφής ενός προϊόντος με πορώδη δομή προσδιορίζονται μέσω της υποβολής του σε συμπίεση. Αποτυπώνοντας τα δεδομένα τάσης- παραμόρφωσης που προκύπτουν σε ένα μαθηματικό μοντέλο, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη συμπεριφορά του υλικού που υποβάλλεται σε συγκεκριμένη δύναμη συμπίεσης, και να εκτιμηθούν οι μεταβολές της υφής του. Στα σπογγώδη υλικά (sponges), όπως το κέικ, η σχέση τάσης-παραμόρφωσης απεικονίζεται σε σιγμοειδή καμπύλη. Με προσαρμογή μαθηματικού μοντέλου στη σιγμοειδή καμπύλη, είναι δυνατή η εξαγωγή σταθερών που σχετίζονται με το σχήμα της σιγμοειδούς καμπύλης. Στόχος είναι να διερευνηθεί αν οι σταθερές που υπολογίζονται βάσει του εμπειρικού μαθηματικού μοντέλου μπορούν να συσχετισθούν με χαρακτηριστικά του προϊόντος π.χ. με τα χαρακτηριστικά ή τις οργανοληπτικές ιδιότητες της υφής, και να εκφράσουν τις διαφοροποιήσεις που προκαλούνται κατά την υποκατάσταση του λιπαρού. Τα δεδομένα τάσης-παραμόρφωσης υπολογίστηκαν από τα δεδομένα δύναμης συμπίεσης-απόστασης από τη στιγμή που το στέλεχος αγγίζει το δείγμα μέχρι τη στιγμή της απομάκρυνσης του από το δείγμα. Τα δεδομένα που προέκυψαν ακολουθούσαν σιγμοειδή καμπύλη και προσαρμόστηκαν σε τροποποιημένο μαθηματικό μοντέλο των Swyngedau & Peleg (1992) και Peleg et al. (1989)

$$\sigma = C_1 [1 - \exp(-C_2 * \varepsilon)]^{1/C_3}$$
$$\varepsilon = \Delta l / l_0$$

όπου σ είναι η τάση και ε η παραμόρφωση, Δl και l_0 το μήκος της παραμόρφωσης και το αρχικό μήκος του δείγματος αντίστοιχα, τα οποία προκύπτουν από τα δεδομένα δύναμης-παραμόρφωσης και C_1 , C_2 , C_3 σταθερές που σχετίζονται με το σχήμα της σιγμοειδούς καμπύλης.

Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του C_1 τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της καμπύλης τάσης-διάτμησης, ενώ η σταθερά C_2 είναι ένας παράγοντας κλίμακας που καθορίζει το μέγεθος της παραμόρφωσης (ή διαφορετικά αποτελεί δείκτη της συμπιεστότητας). Όσο η τιμή του C_3

προσεγγίζει το 1, η σιγμοειδής μορφή της καμπύλης (και ειδικότερα το κάτω μέρος της καμπύλης-shoulder) γίνεται λιγότερο έντονη.

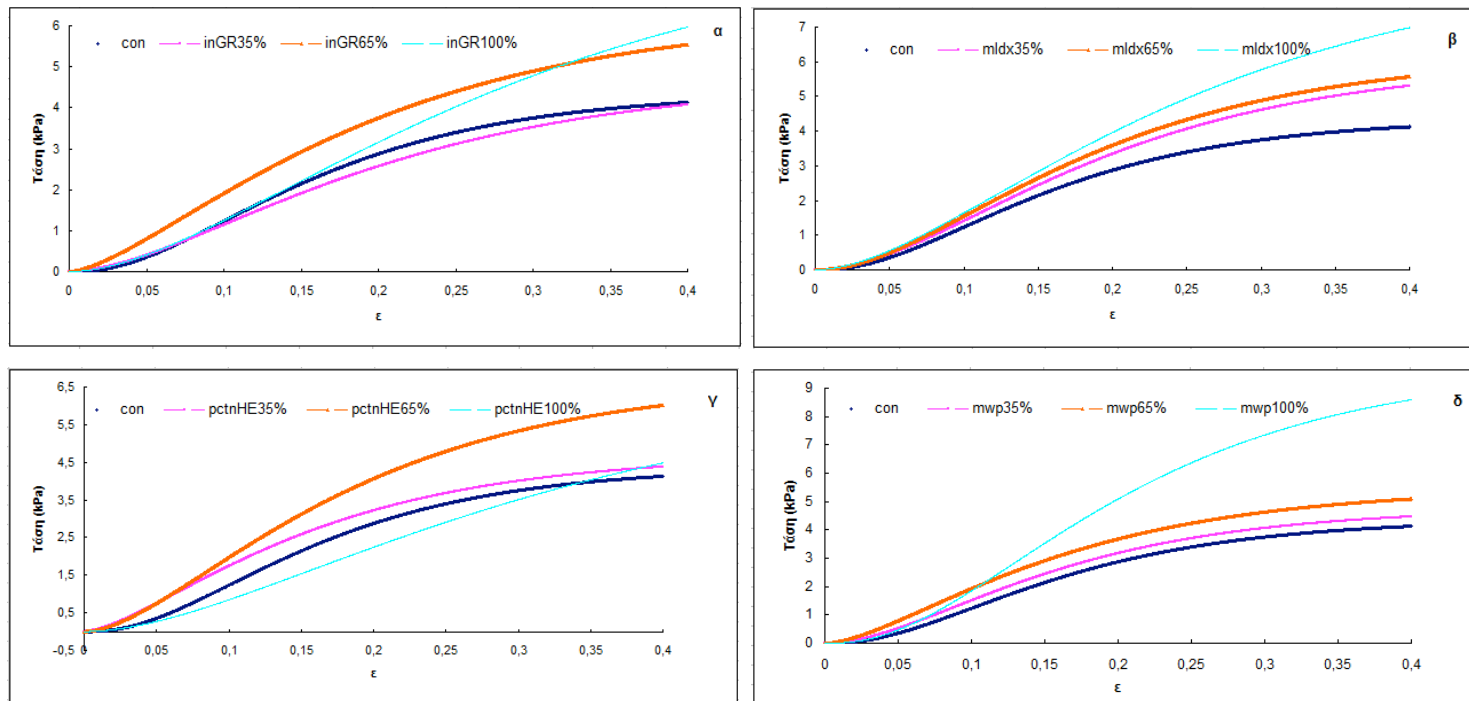
Στο Σχήμα 6.13 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα γραφήματα τάσης-παραμόρφωσης που προέκυψαν από την ανάλυση της υφής με χρήση της ινουλίνης GR, της μαλτοδεξτρίνης, της πηκτίνης YE και της μικροσωματιδιακής πρωτεΐνης σε κάθε επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού. Συγκεντρωτικά τα γραφήματα για όλα τα υποκατάστατα κατά την πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.12, ενώ η διαφοροποίηση των τιμών των σταθερών C_1 , C_2 , C_3 παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 6.8. Η τιμή της C_1 αυξήθηκε με το επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού. Για τα περισσότερα υποκατάστατα, η τιμή της C_1 σε επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού 65% και 100% ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη του δείγματος αναφοράς, η οποία απεικονίζεται σε μεγαλύτερη κλίση της καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης. Η μεγαλύτερη κλίση της καμπύλης δείχνει μεγαλύτερη αντίσταση στη δύναμη της παραμόρφωσης, η οποία με τη σειρά της μπορεί να συσχετιστεί με τα οργανοληπτική σκληρότητα του κέικ. Πιο συγκεκριμένα η σταθερά C_1 παρουσιάζει θετική συσχέτιση ($r= 0.86$) με την οργανοληπτική σκληρότητα. Στην πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού τις υψηλότερες τιμές παρουσίασαν τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη και μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη, τα οποία αξιολογήθηκαν ως τα πιο σκληρά. Η πηκτίνη YE διατήρησε τη σταθερά C_1 σε χαμηλότερο επίπεδο σε σύγκριση με τα άλλα υποκατάστατα, κατά αναλογία με την οργανοληπτική αξιολόγηση. Επιπλέον η C_1 εμφανίζει μέτρια συσχέτιση με τον ειδικό όγκο ($r= -0.54$), δηλαδή η μεγαλύτερη τιμή της C_1 καταδεικνύει την παρουσία μικρού μεγέθους κυψελίδων. Αυτό επαληθεύεται στην πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού, καθώς η μικρότερη τιμή της σταθεράς για την πηκτίνη, αντανακλάται στη μεγαλύτερη ανάπτυξη του όγκου του προϊόντος σε σύγκριση με άλλα υποκατάστατα.

Πίνακας 6.8 Σταθερές προσαρμογής μοντέλου στα κείκ με υποκατάσταση λιπαρού

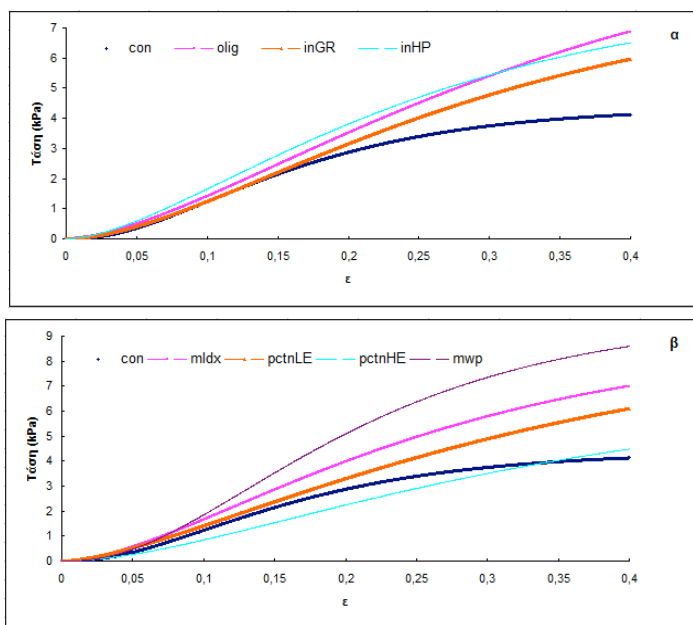
Συστατικό	Επίπεδο Υποκ/σης	C ₁	C ₂	C ₃
Δείγμα αναφοράς		4.38 ^g ± 0.12	9.46 ^a ± 1.10	0.41 ^{ab} ± 0.11
Ολιγ/κτ όζη	35%	4.98 ^{efg} ± 0.10	6.32 ^{cde} ± 0.57	0.60 ^{bc} ± 0.19
	65%	5.01 ^{efg} ± 0.50	6.30 ^{cde} ± 0.67	0.58 ^{abc} ± 0.23
	100%	10.59 ^a ± 2.08	3.81 ^g ± 1.76	0.63 ^{bc} ± 0.12
Ινουλίν η GR	35%	4.70 ^{fg} ± 0.32	6.59 ^{cde} ± 0.37	0.55 ^{abc} ± 0.00
	65%	6.29 ^{de} ± 0.65	6.42 ^{cde} ± 0.34	0.64 ^c ± 0.09
	100%	8.28 ^c ± 0.64	4.61 ^{fg} ± 0.53	0.58 ^{abc} ± 0.05
Ινουλίν η HP	35%	5.65 ^{defg} ± 0.45	6.60 ^{cde} ± 0.83	0.52 ^{abc} ± 0.02
	65%	6.75 ^d ± 0.63	5.89 ^{def} ± 0.59	0.59 ^{abc} ± 0.05
	100%	8.20 ^c ± 0.19	5.30 ^{efg} ± 0.75	0.60 ^{abc} ± 0.01
Μαλτοδ εξτρίνη	35%	6.00 ^{def} ± 1.60	7.26 ^{bcd} ± 0.17	0.48 ^{abc} ± 0.12
	65%	6.22 ^{de} ± 0.30	7.51 ^{bcd} ± 1.80	0.48 ^{abc} ± 0.03
	100%	8.92 ^{bc} ± 0.62	5.28 ^{efg} ± 0.69	0.55 ^{abc} ± 0.04
Πηκτίνη XE	35%	5.43 ^{defg} ± 0.54	7.30 ^{bcd} ± 0.59	0.63 ^c ± 0.10
	65%	6.24 ^{de} ± 0.09	7.41 ^{bcd} ± 0.69	0.55 ^{abc} ± 0.07
	100%	8.91 ^{bc} ± 1.01	3.95 ^g ± 0.89	0.64 ^c ± 0.20
Πηκτίνη YE	35%	4.70 ^{fg} ± 0.27	7.90 ^{bc} ± 0.80	0.63 ^c ± 0.04
	65%	6.70 ^d ± 0.63	7.11 ^{cd} ± 0.36	0.56 ^{abc} ± 0.01
	100%	6.67 ^d ± 0.65	4.20 ^g ± 0.50	0.57 ^{abc} ± 0.12
Μικροσ ωματίδια κή	35%	4.76 ^{fg} ± 0.05	8.80 ^{ab} ± 0.92	0.48 ^{abc} ± 0.04
	65%	5.49 ^{defg} ± 0.29	7.86 ^{bc} ± 0.52	0.59 ^c ± 0.04
	100%	9.80 ^{ab} ± 0.50	7.56 ^{bcd} ± 0.10	0.41 ^a ± 0.05

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f > g$.



Σχήμα 6.13 Γραφήματα τάσης-παραμόρφωσης των κέικ με υποκατάσταση λιπαρού με (α) ινουλίνη GR (inGR), (β) μαλτοδεξτρίνη (mldx), (γ) πηκτινή ΥΕ (pctnHE) και (δ) μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη (mwp)



Σχήμα 6.14 Γραφήματα τάσης-παραμόρφωσης των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού

Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ινουλίνη GR, In HP: ινουλίνη HP, mldx: μαλτοδεξτρίνη, pctnLE: πηκτίνη ΧΕ, pctnHE: πηκτίνη ΥΕ, mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

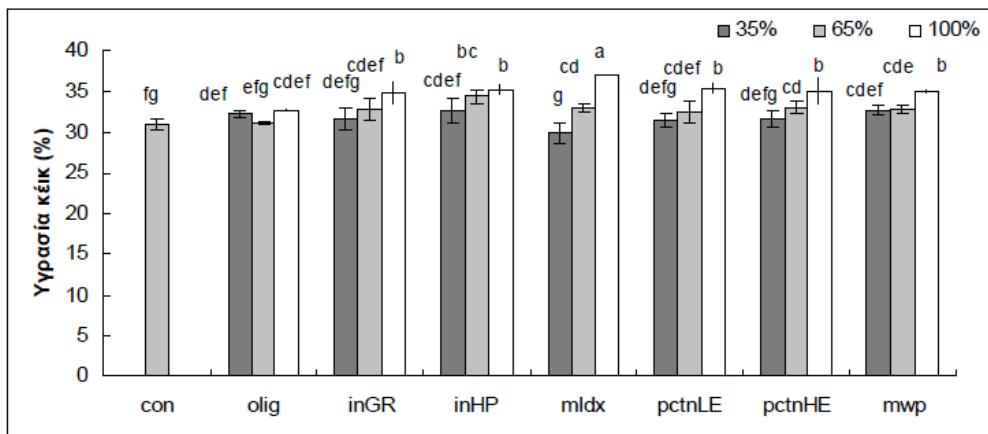
Οι τιμές της C_2 των δειγμάτων με υποκατάστατα μειώθηκαν σημαντικά σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα υποκατάστασης. Η μείωση των τιμών της C_2 είναι ενδεικτική της μείωσης της συμπίεστικότητας (και κατά συνέπεια της μεγαλύτερης δύναμης του πλέγματος της ψίχας) που προκαλείται με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης του λιπαρού. Ειδικότερα η μείωση των τιμών της C_2 αντανακλά την αύξηση της ελαστικότητας, και εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με την οργανοληπτική ελαστικότητα ($r = -0.75$) και θετική συσχέτιση με την ευθρυπτότητα ($r = 0.80$). Ανάλογες συσχετίσεις εμφανίζει και με τις ενόργανες ιδιότητες της υφής ($r = -0.83$ και $r = -0.79$ για τη συνεκτικότητα και τη resilience αντίστοιχα). Τα κέικ με 100% υποκατάσταση του λιπαρού από το πρωτεϊνικής βάσης υποκατάστατο διατήρησε σημαντικά υψηλότερες τιμές της C_2 σε σύγκριση με τα υδατανθρακικής βάσης υποκατάστατα για το ίδιο επίπεδο υποκατάστασης, καταδεικνύοντας τη μεγαλύτερη συμπίεστικότητα του, η οποία μπορεί να

συνδεθεί με τη χαμηλότερη ελαστικότητα και συνεκτικότητα έναντι των υδατανθρακικών υποκατάστατων. Η τιμή της C_3 επηρρεάστηκε σε μικρότερο βαθμό από την υποκατάσταση του λιπαρού, σε αναλογία με την επαναφορά μετά τη συμπίεση, και εμφανίζει μέτρια συσχέτιση ($r= 0.59$) με την αντίστοιχη παράμετρο της υφής (springiness).

Το εμπειρικό μοντέλο που προέκυψε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή καμπύλων τάσης-παραμόρφωσης με διαφορετικά χαρακτηριστικά σχήματος (π.χ. shoulder). Από τις σταθερές του μοντέλου είναι δυνατή η ποσοτική έκφραση (ποσοτικοποίηση) των διαφοροποιήσεων στις σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης που προκαλούνται κατά την υποκατάσταση του λιπαρού. Επομένως το μοντέλο μπορεί να αποτελέσει εργαλείο για την εκτίμηση των διαφοροποιήσεων που προκαλούνται ως προς την υφή κατά την υποκατάσταση του λιπαρού.

6.2.5 Υγρασία, ενεργότητα νερού

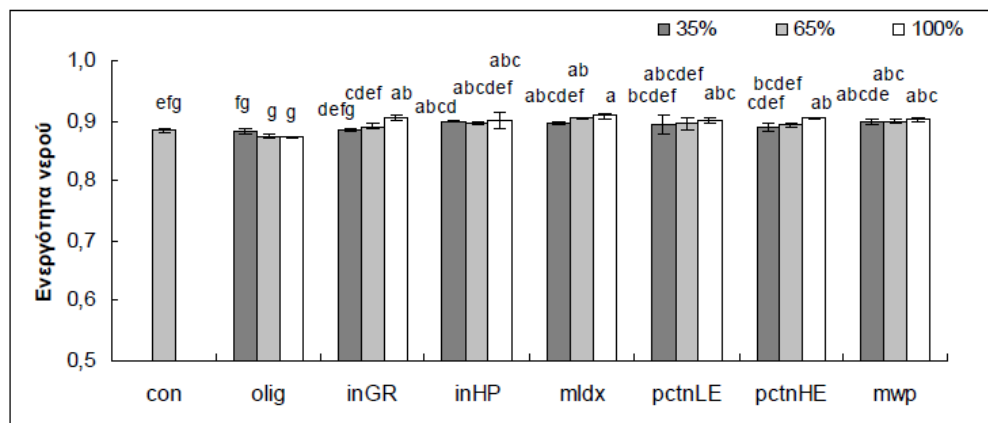
Οι τιμές της υγρασίας και της ενεργότητας νερού παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.15 και 6.16 αντίστοιχα. Η υγρασία αυξήθηκε με το επίπεδο υποκατάστασης του λιπαρού και κατά την πλήρη υποκατάσταση ήταν σημαντικά υψηλότερη από το δείγμα αναφοράς για όλα τα υποκατάστατα εκτός της ολιγοφρουκτόζης. Η αύξηση της υγρασίας με την υποκατάσταση του λιπαρού έχει παρατηρηθεί και σε άλλες μελέτες (Conforti & Archila 2001, Conforti et al., 2001, Husein et al., 2011) και έχει αποδοθεί στον υδρόφιλο χαρακτήρα των υποκατάστατων. Η ενεργότητα ακολούθησε την τάση της υγρασίας και στην πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού ήταν σημαντικά υψηλότερη από το δείγμα αναφοράς. Η αύξηση της ενεργότητας έχει αναφερθεί και κατά την υποκατάσταση του λιπαρού σε cookies (Zoulias et al., 2000). Η σημαντικά χαμηλότερη υγρασία και ενεργότητα νερού των κέικ με ολιγοφρουκτόζη σε σύγκριση με τα άλλα υποκατάστατα στα αντίστοιχα επίπεδα υποκατάστασης, μπορεί να αποδοθεί στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό των πηκτών των δευτέρων.



Σχήμα 6.15 Υγρασία των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f$.

Con: δείγμα αναφοράς, Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ιουλίνη GR, In HP: ιουλίνη HP, mldx: μαλτοδεξτρίνη, pctnLE: πηκτίνη (XE), pctnHE: πηκτίνη (YE), mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.



Σχήμα 6.16 Ενεργότητα νερού των κέικ με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d > e > f$.

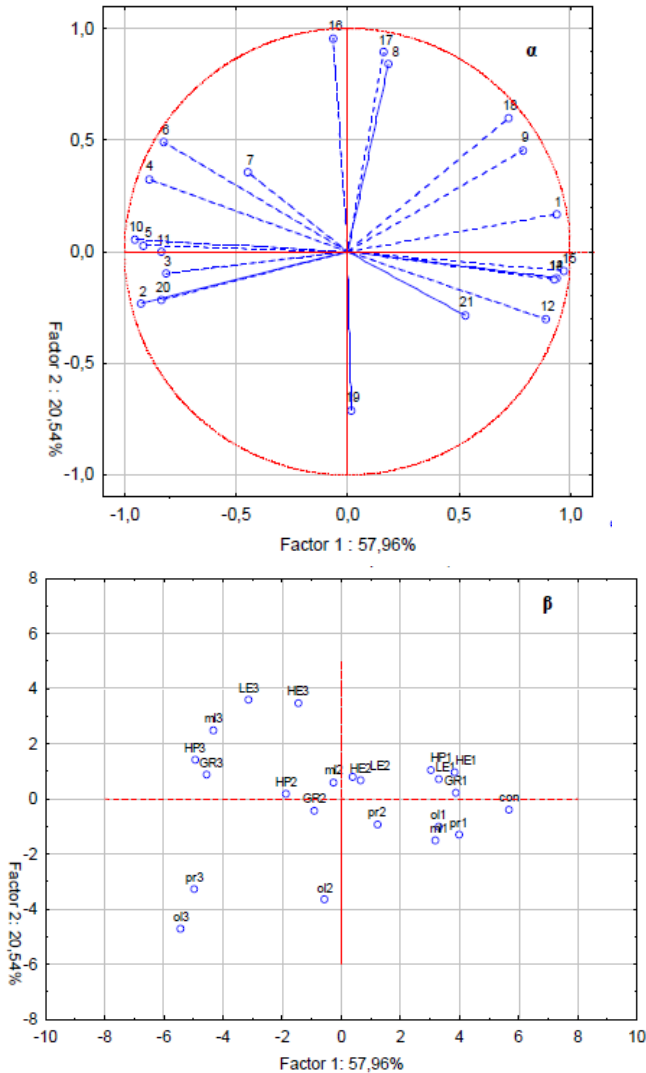
Con: δείγμα αναφοράς, Olig: ολιγοφρουκτόζη, In GR: ιουλίνη GR, In HP: ιουλίνη HP, mldx: μαλτοδεξτρίνη, pctnLE: πηκτίνη (XE), pctnHE: πηκτίνη (YE), mwp: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

6.2.6 Παραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών

Η συσχέτιση των χαρακτηριστικών της ζύμης με τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος για τα διάφορα επίπεδα και τύπους υποκατάστασης, καθώς και η επίδραση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων στην ολική αποδοχή του προϊόντος, διερευνήθηκε περαιτέρω με παραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών. Τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης κυρίων συνιστωσών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.17 με την ολική διακύμανση του πειράματος να συσχετίζεται σε ποσοστό 78.5% (57.96% από το PC1 και 20.54% από το PC2). Η κύρια συνιστώσα που διαχώρισε τα δείγματα βάσει του επιπέδου υποκατάστασης (Σχήμα 6.17β), εμφανίζει θετική συσχέτιση με τις οργανοληπτικές παραμέτρους (γεύση, ολική αποδοχή, ευθρυπτότητα, άρωμα) και το συντελεστή συνεκτικότητας, και αρνητική συσχέτιση με τις παραμέτρους υφής (σκληρότητα, συνεκτικότητα, ελαστικότητα) και το ειδικό βάρος της ζύμης. Η δεύτερη κύρια συνιστώσα εμφανίζει θετική συσχέτιση με το χρώμα της κόρας και αρνητική συσχέτιση με το χρώμα της ψίχας (παράμετρος b).

Στο Σχήμα 6.17α απεικονίζεται η θετική συσχέτιση της ολικής αποδοχής με τη γεύση, το άρωμα και την ευθρυπτότητα και η αρνητική συσχέτιση της με την ελαστικότητα, τη συνεκτικότητα και τη σκληρότητα. Επιπλέον η αρνητική συσχέτιση της ευθρυπτότητας με παραμέτρους της υφής (σκληρότητα, συνεκτικότητα, resilience) καταδεικνύει ότι η θραύση του κέικ με το χέρι όπως αξιολογείται από τους δοκιμαστές θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης των ιδιοτήτων της υφής του δείγματος.

Η σκληρότητα και το ειδικό βάρος συνέβαλαν περισσότερο στο διαχωρισμό των δειγμάτων με υποκατάστατα από το δείγμα αναφοράς, ενώ το πλήρες σε λιπαρά προϊόν διαχωρίστηκε από το συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης. Ως προς τις οργανοληπτικές παραμέτρους η γεύση, το άρωμα, η ευθρυπτότητα και η ολική αποδοχή συνέβαλαν στο διαχωρισμό του δείγματος αναφοράς ενώ τα κέικ με υποκατάστατα διαχωρίστηκαν βάσει της σκληρότητας και της ελαστικότητας.



Σχήμα 6.17 Παραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών των (α) ιδιοτήτων της ζύμης και του κέικ με υποκατάσταση λιπαρού (1: συντελεστής συνεκτικότητας, 2: δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, 3: σκληρότητα (μέτρηση υφής), , 4: συνεκτικότητα, 5: μασητικότητα 6:, resilience 7:, springiness 8:, χρώμα κόρας (οργανοληπτικό), 9:, χρώμα ψίχας (οργανοληπτικό) 10: σκληρότητα (οργανοληπτική), 11: ελαστικότητα, 12: ευθρυπτότητα, 13: γεύση, 14: άρωμα, 15: ολική αποδοχή, 16: Λκόρας, 17: βκόρας, 18: Λψίχας, 19: βψίχας 20: ειδικό βάρος , 21: ειδικός όγκος και (β) των δειγμάτων με 35%, 65% και 100% υποκατάσταση λιπαρού που αντιστοιχούν στους δείκτες 1, 2 και 3.

Con: δείγμα αναφοράς, OI: ολιγοφρουκτόζη, GR: ινουλίνη GR, HP: ινουλίνη HP, ml: μαλτοδεξτρίνη, LE: πηκτίνη ΧΕ, HE: πηκτίνη ΥΕ pr: μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη.

Ειδικότερα τα περισσότερα δείγματα με πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού εντοπίζονται σε μία περιορισμένη περιοχή του διαγράμματος (Σχήμα 6.17β) λόγω του ειδικού βάρους, της υφής και των οργανοληπτικών ιδιοτήτων τους, ενώ τα δείγματα με ολιγοφρουκτόζη σε επίπεδο υποκατάστασης 65% και 100% διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα λόγω της διαφοροποίησης του χρώματος της ψίχας.

6.2.7 Συμπεράσματα υποκατάστασης λιπαρού

Η υποκατάσταση του λιπαρού επηρέασε τα χαρακτηριστικά της ζύμης και κατ'επέκταση και του τελικού προϊόντος. Η υποκατάσταση του λιπαρού σε επίπεδο 35% δεν προκάλεσε σημαντική διαφοροποίηση στα περισσότερα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ. Σε υψηλότερα επίπεδα υποκατάστασης (άνω του 65%) παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του συντελεστή συνεκτικότητας (με εξαίρεση την πηκτίνη ΥΕ) και της ενσωμάτωσης αέρα στη ζύμη σε σύγκριση με το πλήρες σε λιπαρά δείγμα. Κατά την πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού παρατηρήθηκε περαιτέρω μεταβολή στα ρεολογικά χαρακτηριστικά και το ειδικό βάρος της ζύμης, ενώ δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου, εκτός από την περίπτωση της υποκατάστασης από ολιγοφρουκτόζη που οδήγησε σε σημαντική αύξηση της αντίστοιχης θερμοκρασίας.

Η αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης οδήγησε σε αύξηση της σκληρότητας και της ελαστικότητας του τελικού προϊόντος, και σε μείωση του ειδικού όγκου. Ανάλογες διαφοροποιήσεις σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς παρατηρήθηκαν και στις οργανοληπτικές ιδιότητες της υφής (αυξημένη σκληρότητα και ελαστικότητα, μειωμένη ευθρυπτότητα). Παράλληλα η αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης συνοδεύτηκε με υποβάθμιση της γεύσης και του αρώματος, και κατ'επέκταση μείωση της αποδοχής των δειγμάτων με υποκατάστατα. Τα δείγματα με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού αξιολογήθηκαν ως μη αποδεκτά. Ωστόσο η υποκατάσταση του λιπαρού σε ποσοστό 65%, παρείχε αποδεκτό προϊόν ως προς τις ιδιότητες της υφής και τα φυσικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Ειδικότερα η ινουλίνη και η πηκτίνη ήταν τα υποκατάστατα που παρείχαν τα καλύτερα αποτελέσματα.

6.3 Εμπλουτισμός κέικ μειωμένων λιπαρών με ίνες

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων η υποκατάσταση σε επίπεδο 65% παρείχε αποδεκτό προϊόν και η ινουλίνη ήταν το υποκατάστατο που, μαζί με την πηκτίνη, έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα. Λόγω και της ωφέλιμης επίδρασης της ως προϊόν διαιτητικών ινών και ως πρεβιοτικό, η ινουλίνη επιλέχθηκε για τη παρασκευή κέικ μειωμένων λιπαρών, το οποίο εμπλουτίστηκε περαιτέρω με ίνες καρότου. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε η επίδραση της συνδυασμένης χρήσης ινών ως υποκατάστατο λιπαρού και αλεύρου, που δεν έχει διερευνηθεί διεξοδικά.

Αρχικά μελετήθηκε η επίδραση της μερικής υποκατάστασης (10%, 20% και 30%) του αλεύρου από ίνες καρότου οπότε και καθορίστηκε το επίπεδο της υποκατάστασης που παρείχε τα καλύτερα αποτελέσματα και το οποίο εφαρμόστηκε στο κέικ μειωμένων λιπαρών. Επιπλέον μελετήθηκε η βελτίωση του εμπλουτισμένου προϊόντος μειωμένων λιπαρών με την προσθήκη γαλακτωματοποιητών.

Και σε αυτή την περίπτωση συσχετίστηκε η επίδραση των ινών ή των γαλακτωματοποιητών στα χαρακτηριστικά της ζύμης με εκείνη στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

6.3.1 Επίδραση των ινών καρότου στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ

6.3.1.1 Χαρακτηριστικά ζύμης

Οι τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.9. Σε αντίθεση με την υποκατάσταση του λιπαρού, η προσθήκη των ινών καρότου ως μερικού υποκατάστατου του αλεύρου, οδήγησε σε αύξηση του συντελεστή συνεκτικότητας. Η υποκατάσταση του αλεύρου σε επίπεδο 30% παρείχε ζύμη υψηλού ιξώδους, και δεν κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός του. Η αύξηση της συνεκτικότητας με την προσθήκη των ινών έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες μελέτες (Gomez et al., 2010, Lebesi & Tzia, 2011), και μπορεί να αποδοθεί στην υψηλότερη απορρόφηση νερού από τις ίνες. Η ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) των ινών καρότου προσδιορίστηκε στα 7.10 ± 0.66 g νερού/g στερεού, ενώ

η αντίστοιχη τιμή για το αλεύρι ήταν 1.38 ± 0.15 g νερού/g στερεού. Η επιπλέον ποσότητα νερού που προστέθηκε στη ζύμη με ίνες καρότου, δεν κάλυψε το σημαντικά υψηλότερο ιξώδες που προέκυψε κατά την υποκατάσταση του αλεύρου.

Πίνακας 6.9 Επίδραση της υποκατάστασης αλεύρου από ίνες καρότου στα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης

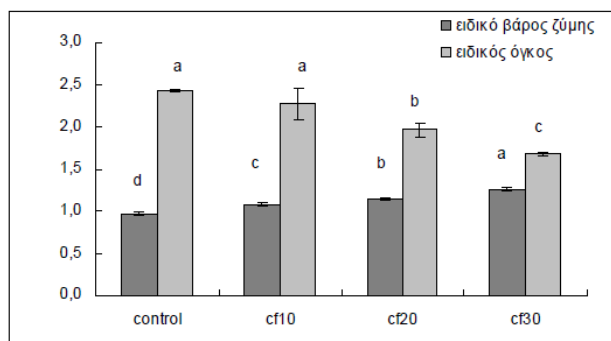
Συστατικό	Συντελεστής συνεκτικότητας Kcp (Pa sn)	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, n
Δείγμα αναφοράς	$31.8^c \pm 1.2$	$0.48^a \pm 0.02$
Ίνες καρότου 10%	$34.8^b \pm 0.4$	$0.46^c \pm 0.00$
20%	$36.8^a \pm 1.7$	$0.47^b \pm 0.00$
30%	δπ*	δπ

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος \pm τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

* Δεν προσδιορίστηκε

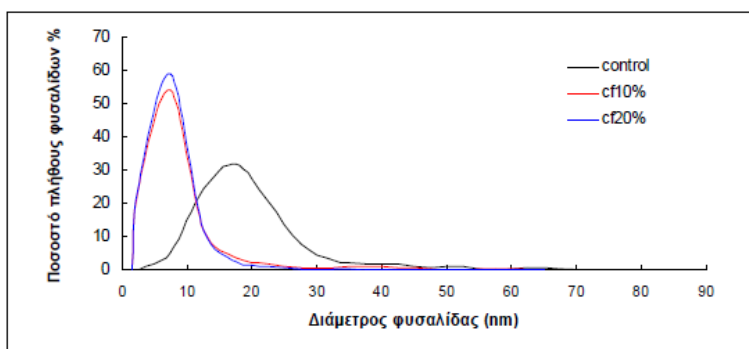
Το ειδικό βάρος της ζύμης αυξήθηκε σημαντικά με την προσθήκη των ινών, καταδεικνύοντας σημαντική μείωση του ενσωματωμένου αέρα (Σχήμα 6.18). Οι Gomez et al. (2010) παρατήρησαν επίσης αύξηση του ειδικού βάρους της ζύμης με την προσθήκη αδιάλυτων ινών.



Σχήμα 6.18 Ειδικό βάρος της ζύμης και ειδικός όγκος των κέικ αναφοράς (control) και των κέικ με 10% , 20% και 30% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου (cf10, cf20, cf30)

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

Ειδικότερες πληροφορίες για την κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων αέρα στη ζύμη προέκυψαν από τη μικροσκοπική ανάλυση. Η προσθήκη των ινών καρότου σε επίπεδα υποκατάστασης του αλεύρου 10% και 20% οδήγησε σε περιορισμένη κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων με το 80% και το 84% του πλήθους των φυσαλίδων αντίστοιχα να είναι κατανεμημένο σε εύρος διαμέτρου 0-10 μm (Σχήμα 6.19). Στο δείγμα αναφοράς μόλις το 5% των φυσαλίδων ήταν κατανεμημένο στο αντίστοιχο εύρος, ενώ το 85% των φυσαλίδων είχαν διάμετρο 10-30 μm .



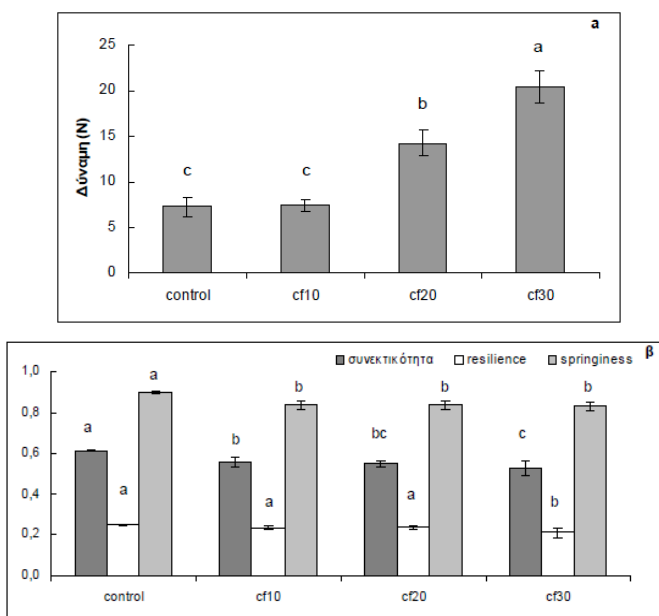
Σχήμα 6.19 Κατανομή μεγέθους φυσαλίδων του δείγματος αναφοράς κέικ (control) και των δειγμάτων με 10% και, 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου (cf10, cf20).

6.3.1.2 Χαρακτηριστικά κέικ

Η διόγκωση των δειγμάτων εκφράστηκε με τον ειδικό όγκο και το πορώδες. Καθώς ο όγκος επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της ζύμης, και πιο συγκεκριμένα από την ποσότητα του αέρα που εγκλωβίστηκε κατά την απόδραση και την ικανότητα συγκράτησης του αέρα στη ζύμη κατά τον κλιβανισμό, τα δείγματα με ίνες παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερο ειδικό όγκο και πορώδες από το δείγμα αναφοράς, ακολουθώντας (αντίστροφα) την τάση του ειδικού βάρους της ζύμης (Σχήμα 6.18). Ανάλογη με το ειδικό βάρος τάση παρουσίασε και το πορώδες, το οποίο μειώθηκε με την προσθήκη ινών (ενδεικτικά το πορώδες των δειγμάτων με

10% και 20% υποκατάσταση αλεύρου ήταν σημαντικά ελαττωμένο (0.71 και 0.67, αντίστοιχα σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς (0.76)). Ωστόσο η ανάπτυξη του όγκου δεν επηρεάζεται μόνο από την ποσότητα του αέρα που ενσωματώθηκε αρχικά στη ζύμη. Το ιξώδες μπορεί επίσης να αποτελεί παράγοντα, και ειδικότερα το σημαντικά αυξημένο ιξώδες των δειγμάτων με ίνες καρότου περιόρισε την ανάπτυξη των ήδη μικρού μεγέθους φυσαλίδων, με αποτέλεσμα τον σημαντικά μειωμένο ειδικό όγκο και πορώδες σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς.

Οι ιδιότητες της υφής παρουσιάζονται στο σχήμα 6.20. Η προσθήκη των ινών καρότου σε ποσοστό 10% δεν οδήγησε σε σημαντική διαφοροποίηση της σκληρότητας της ψίχας από το δείγμα αναφοράς, ενώ τα κέικ με 20% και 30% ίνες καρότου παρουσίασαν σημαντικά αυξημένη σκληρότητα.



Σχήμα 6.20 Ιδιότητες υφής του δείγματος αναφοράς κέικ (control) και των κέικ 10% , 20% και 30% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου (cf10, cf20, cf30) : (α) σκληρότητα, (β) συνεκτικότητα, resilience και springiness.

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

Οι ίνες καρότου οδήγησαν σε σημαντικά μειωμένη συνεκτικότητα, η οποία συνδέεται με τη μειωμένη επαναφορά μετά τη συμπίεση (springiness), σε

σύγκριση με το δείγμα αναφοράς. Γενικότερα τα δείγματα με πυκνότερη δομή χαρακτηρίστηκαν από υψηλότερη σκληρότητα.

Η αύξηση της φωτεινότητας του χρώματος της κόρας, που παρατηρήθηκε με την αύξηση του ποσοστού προσθήκης των ινών, μπορεί να αποδοθεί στη χαμηλότερη ποσότητα αλεύρου, που επηρεάζει τις αντιδράσεις Maillard και κατ'επέκταση την καστανύωση της επιφάνειας. Η φωτεινότητα του χρώματος της ψίχας των κέικ με ίνες καρότου παρουσίασε σημαντική διαφοροποίηση μόνο στο υψηλότερο ποσοστό υποκατάστασης, ενώ η τιμή της παραμέτρου της κόκκινης απόχρωσης αύξηθηκε με το επίπεδο προσθήκης των ινών καρότου, που μπορεί να αποδοθεί στη διαφοροποίηση του χρώματος της πρώτης ύλης (Πίνακας 6.10).

Πίνακας 6.10 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με ίνες καρότου

Συστατικό	Κόρα			Ψίχα		
	L	a	b	L	a	b
Δείγμα αναφοράς	42.88 ^c	16.28 ^a	29.15 ^c	74.54 ^a	-2.67 ^d	25.54 ^a
Cf10	± 0, 67	± 0, 37	± 1.19	± 1.79	± 0.08	± 0.42
Cf20	48.80 ^b	15.85 ^a	34.62 ^b	74.89 ^a	-1.87 ^c	26.84 ^a
	± 2.17	± 0.12	± 1.52	± 1.33	± 0.06	± 0.09
Cf30	60.83 ^a	12.15 ^b	38.73 ^a	73.29 ^a	-0.40 ^b	26.62 ^a
	± 1.79	± 0.33	± 0.45	± 0.76	± 0.17	± 1.04
	60.95 ^a	11.04 ^b	40.26 ^a	71.22 ^b	-0.20 ^a	26.87 ^a
	± 1.32	± 1.06	± 1.18	± 0.60	± 0.00	± 1.02

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

6.3.2 Επίδραση των ινών καρότου και της ινουλίνης στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ

6.3.2.1 Χαρακτηριστικά ζύμης

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων μελετήθηκε η συνδυασμένη προσθήκη ινών και ινουλίνης. Επιλέχθηκε η προσθήκη ινών καρότου ως υποκατάστατο αλεύρου 10%, εφόσον παρείχε τα πλησιέστερα στο δείγμα

αναφοράς αποτελέσματα σε συνδυασμό με την υποκατάσταση λιπαρού κατά 65% από ινουλίνη, η οποία βάσει της 2ης σειράς πειραμάτων παρείχε αποδεκτό προϊόν. Επίσης δοκιμάστηκε η παρασκευή κέικ με 20% υποκατάσταση του αλεύρου και πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού, αλλά το προϊόν δεν ήταν αποδεκτό (ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του παρατίθενται στη συνέχεια).

Η συνδυασμένη προσθήκη ινουλίνης και ινών καρότου (σε ποσοστό υποκατάστασης του αλεύρου κατά 10%) αντιστάθμισε τη διαφορετική επίδραση του κάθε υποκατάστατου και παρείχε ζύμη ενδιάμεσης συνεκτικότητας, αλλά σημαντικά χαμηλότερης από εκείνη του δείγματος αναφοράς (Πίνακας 6.11). Η αντιστάθμιση της επίδρασης των δύο υποκατάστατων ωστόσο δεν παρατηρήθηκε στα υψηλότερα επίπεδα προσθήκης των ινών. Πιο συγκεκριμένα η υποκατάσταση του αλεύρου κατά 20% σε συνδυασμό με την πλήρη υποκατάσταση του λιπαρού παρείχε ζύμη υψηλού ιξώδους, που δεν κατέστη δυνατός ο ποσοτικός προσδιορισμός του.

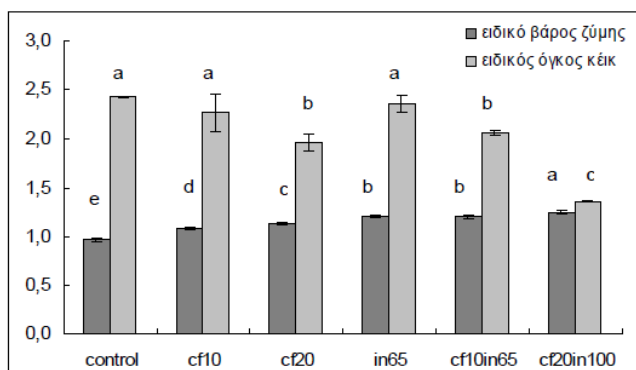
Πίνακας 6.11 Επίδραση των ινών στα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης

Συστατικό	Συντελεστής συνεκτικότητας K_{cp} (Pa s ⁿ)	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, n
Δείγμα αναφοράς	31.8 ^b ± 1.2	0.48 ^c ± 0.02
Ινουλίνη GR 65%	10.1 ^d ± 0.1	0.64 ^a ± 0.00
Ίνες καρότου 10%	34.8 ^a ± 0.4	0.46 ^c ± 0.00
20%	36.8 ^a ± 1.7	0.47 ^c ± 0.00
10% ίνες καρότου 65% ινουλίνη	23.2 ^c ± 1.7	0.61 ^b ± 0.00
20% ίνες καρότου 100% ινουλίνη	δπ	δπ

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

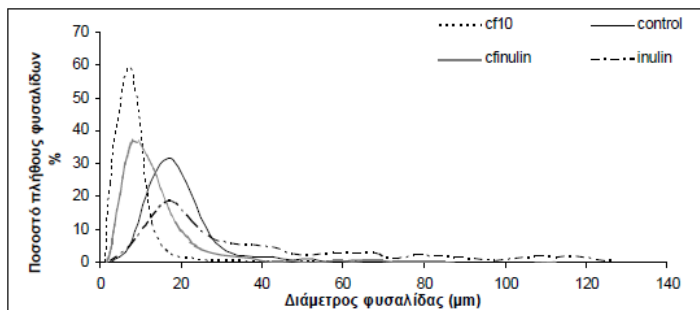
Το ειδικό βάρος αυξήθηκε σημαντικά με την προσθήκη καθενός από τα δύο υποκατάστατα, καταδεικνύοντας σημαντική μείωση του ενσωματωμένου αέρα (Σχήμα 6.21).



Σχήμα 6.21 Ειδικό βάρος της ζύμης και ειδικός όγκος του δείγματος αναφοράς (control) και των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη.

Con: δείγμα αναφοράς, cf10, cf20: 10%, 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου, in65: 65% υποκατάσταση λιπαρού από ινουλίνη GR, cf10in65: 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες και 65% υποκατάσταση λιπαρού, cf20in100: 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες και 100% υποκατάσταση λιπαρού.

Η υποκατάσταση του λιπαρού από την ινουλίνη οδήγησε σε ευρύτερη κατανομή του μεγέθους με το 43% των φυσαλίδων να εμφανίζει διάμετρο πάνω από 30 μm ενώ στο δείγμα αναφοράς μόνο το 10% του πλήθους των φυσαλίδων ήταν κατανεμημένο στο αντίστοιχο εύρος, το οποίο, όπως αναφέρθηκε και στην υποκατάσταση του λιπαρού, μπορεί να αποδοθεί στη χαμηλότερη περιεκτικότητα του λιπαρού, και επομένως στη μειωμένη σταθεροποιητική δράση του στις φυσαλίδες αέρα, καθώς και στο χαμηλότερο ιξώδες της ζύμης με ινουλίνη (Rodríguez-García et al., 2012). Κατά το συνδυασμό της ινουλίνης (65%) με ίνες καρότου (10%), οι ίνες καρότου αντιστάθμισαν της επίδραση της ινουλίνης προς τον περιορισμό του εύρους κατανομής του μεγέθους των φυσαλίδων, με το 84% των φυσαλίδων στα δείγματα με 65% υποκατάσταση λιπαρού και ίνες καρότου (10%) να έχουν διάμετρο κάτω από 20 μm (Σχήμα 6.22).



Σχήμα 6.22 Κατανομή μεγέθους φυσαλίδων του δείγματος αναφοράς κέικ (control) και των κέικ με 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου (cf10), 65% υποκατάσταση λιπαρού από ινουλίνη (inulin), ή και τα δύο (cf10ln).

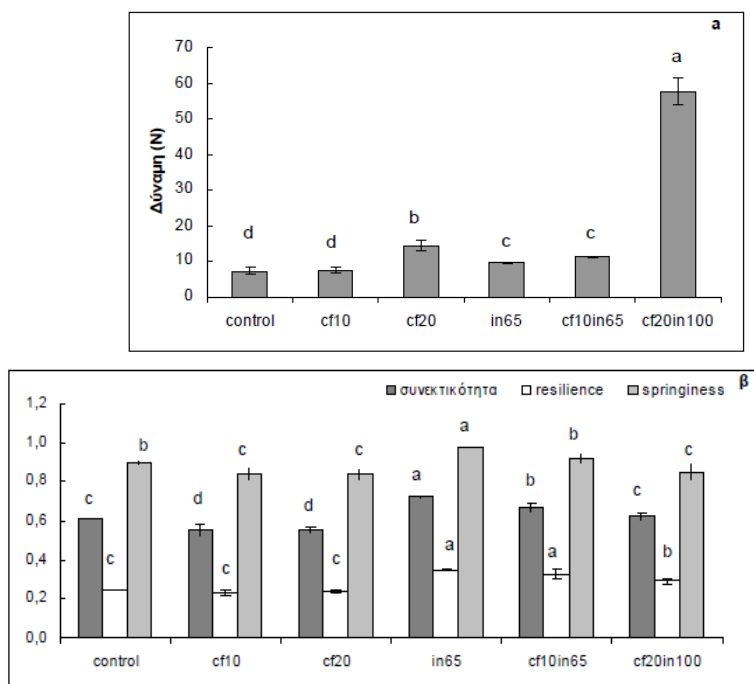
6.3.2.2 Χαρακτηριστικά κέικ

Ο συνδυασμός της υποκατάστασης λιπαρού και αλεύρου παρουσίασε χαμηλή ενσωμάτωση αέρα (όπως προκύπτει από το ειδικό βάρος), οδηγώντας σε μείωση του ειδικού όγκου σε σύγκριση με τα κέικ με 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου ή 65% υποκατάσταση του λιπαρού από ινουλίνη (Σχήμα 6.21). Ειδικότερα, ο ειδικός όγκος του κέικ με 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου και 100% υποκατάσταση του λιπαρού από ινουλίνη ήταν πολύ μικρός και το προϊόν δεν μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτό. Η μέτρια συσχέτιση του ειδικού όγκου με το ειδικό βάρος της ζύμης ($r = -0.49$) καταδεικνύει ότι η ποσότητα του ενσωματωμένου αέρα δεν αποτελεί το μοναδικό παράγοντα της ανάπτυξης του όγκου. Ειδικότερα στο δείγμα με χαμηλά επίπεδα υποκατάστασης αλεύρου και λιπαρού, η ελαττωμένη ανάπτυξη του όγκου μπορεί να αποδοθεί και στη μειωμένη ικανότητα διατήρησης των φυσαλίδων (λόγω της χαμηλής συνεκτικότητας της ζύμης).

Η μειωμένη διόγκωση του δείγματος με 10% και 65% υποκατάσταση αλεύρου και λιπαρού, αντίστοιχα, αντανακλάται και στη μείωση του πορώδους, το οποίο διατηρήθηκε στα επίπεδα των δειγμάτων με 10% ίνες καρότου (0.71) σημαντικά χαμηλότερο από το πορώδες του δείγματος αναφοράς και του δείγματος με 65% υποκατάσταση λιπαρού (0.76). Ειδικότερα η υποκατάσταση του λιπαρού από την ινουλίνη παρά

την μείωση του ιξώδους που επέφερε, δεν επηρέασε σημαντικά τον ειδικό όγκο και το πορώδες του κέικ, που όπως αναφέρθηκε στη 2^η σειρά πειραμάτων μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης του αλεύρου από την ινουλίνη με χαμηλό βαθμό πολυμερισμού.

Ο συνδυασμός ινουλίνης και ινών καρότου παρείχε κέικ αυξημένης σκληρότητας, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της απώλειας της συμβολής του λιπαρού στην τρυφερότητα της υφής αλλά και λόγω του μειωμένου όγκου του κέικ, όπως απεικονίζεται και στην ισχυρή συσχέτιση των δύο παραμέτρων ($r = -0.89$).



Σχήμα 6.23 Ιδιότητες υφής του δείγματος αναφοράς κέικ (control) και των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη : (α) σκληρότητα, (β) συνεκτικότητα, resilience και springiness.

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

Con: δείγμα αναφοράς, cf10, cf20: 10% , 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου ολιγοφρουκτόζη, in 65: 65% υποκατάσταση λιπαρού από ινουλίνη GR, cf10in65: 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες και 65% υποκατάσταση λιπαρού, cf20in100: 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες και 100% υποκατάσταση λιπαρού.

Ειδικότερα το κέικ με 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου και 100% υποκατάσταση του λιπαρού από ινουλίνη παρουσίασε υπερβολικά μεγάλη σκληρότητα. Σε αντίθεση με τα δείγματα που περιείχαν μόνο ίνες καρότου, τα δείγματα με το συνδυασμό των ινών παρουσίασαν αυξημένη συνεκτικότητα και ελαστικότητα ως προς το δείγμα αναφοράς (χωρίς σημαντική διαφορά σε ορισμένες περιπτώσεις). Αυτή η διαφοροποίηση ως προς τα χαρακτηριστικά της υφής μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση της ινουλίνης να αυξάνει τη συνεκτικότητα και την ελαστικότητα της ψίχας μέσω της ενίσχυσης του πλέγματος της (Zahn et al., 2010).

Το χρώμα της κόρας των δειγμάτων με ίνες καρότου και ινουλίνη ήταν πιο φωτεινό από εκείνο του δείγματος αναφοράς (Πίνακας 6.12), ως αποτέλεσμα της υποκατάστασης του αλεύρου και σε μικρότερο βαθμό της υποκατάστασης του λιπαρού.

Πίνακας 6.12 Χρώμα κόρας και ψίχας των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη

Συστατικό	Κόρα			Ψίχα		
	L	a	b	L	a	b
Δείγμα αναφοράς	42.88 ^d	16.28 ^a	29.15 ^d	74.54 ^{ab}	-2.67 ^f	25.54 ^a
Cf10	± 0, 67	± 0, 37	± 1.19	± 1.79	± 0.08	± 0.42
	48.80 ^c	15.85 ^a	34.62 ^{bc}	74.89 ^a	-1.87 ^c	26.84 ^a
	± 2.17	± 0.12	± 1.52	± 1.33	± 0.06	± 0.09
Cf20	60.83 ^a	12.15 ^b	38.73 ^a	73.29 ^b	-0.40 ^c	26.62 ^a
	± 1.79	± 0.33	± 0.45	± 0.76	± 0.17	± 1.04
Ινουλίνη GR	43.86 ^d	16.03 ^a	27.80 ^d	70.41 ^c	-1.44 ^d	25.89 ^{ab}
65%	± 2.22	± 0.88	± 0.56	± 0.36	± 0.08	± 0.25
10% ίνες καρότου	51.20 ^b	15.04 ^a	33.57 ^c	70.01 ^c	-0.27 ^b	23.76 ^c
65% ινουλίνη	± 0.72	± 0.08	± 0.07	± 0.65	± 0.03	± 1.76
20% ίνες καρότου	51.20 ^b	13.10 ^b	35.71 ^b	67.33 ^d	1.65 ^a	26.06 ^{ab}
100% ινουλίνη	± 1.47	± 1.75	± 0.76	± 1.11	0.01	± 0.41

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

Αντίθετα το χρώμα της ψίχας ήταν σημαντικό σκουρότερο από το δείγμα αναφοράς αλλά και από το χρώμα των αντίστοιχων δειγμάτων που περιείχαν μόνο ίνες καρότου, ως αποτέλεσμα της υποκατάστασης του λιπαρού. Στο χρώμα της ψίχας αυξήθηκε και η τιμή της κόκκινης παραμέτρου με την αύξηση του επίπεδου προσθήκης των ινών καρότου, σε συμφωνία με τις διαφοροποιήσεις που προέκυψαν και στα δείγματα με υποκατάσταση του αλεύρου. Η υποκατάσταση του λιπαρού από ινουλίνη οδήγησε σε σημαντικά σκουρότερο χρώμα ψίχας από το δείγμα αναφοράς, σε συμφωνία και με το πείραμα της υποκατάστασης του λιπαρού. Επομένως οι σημαντικές διαφοροποιήσεις χρώματος που παρατηρήθηκαν στην κόρα και τη ψίχα των δειγμάτων που περιείχαν ίνες καρότου και ινουλίνη σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς και με τα δείγματα που περιείχαν είτε ίνες καρότου είτε ινουλίνη, μπορεί να αποδοθεί στη συνδυασμένη επίδραση των ινών.

6.3.2.3 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κέικ

Κατά την οργανοληπτική εξέταση αξιολογήθηκαν τα δείγματα με 10% και 20% υποκατάσταση αλεύρου, με 65% υποκατάσταση λιπαρού και τα δείγματα με τα χαμηλότερα ποσοστά της ταυτόχρονης υποκατάστασης λιπαρού και αλεύρου. Στην οργανοληπτική υποκατάσταση δε συμπεριλήφθηκαν τα δείγματα με τα υψηλότερα ποσοστά προσθήκης ινών (30% υποκατάσταση αλεύρου, 20% υποκατάσταση αλεύρου σε συνδυασμό με πλήρη υποκατάσταση λιπαρού) καθώς βάσει των ενόργανων μετρήσεων (υψηλή σκληρότητα, ανεπαρκής ανάπτυξη του όγκου) κρίθηκαν ως μη αποδεκτά.

Οι σημαντικές διαφορές που εντοπίστηκαν από τους δοκιμαστές στο χρώμα της κόρας και της ψίχας, σε γενικές γραμμές συμφωνούν με τις μετρήσεις του χρωματομέτρου (Πίνακας 6.13). Η υποκατάσταση του αλεύρου κατά 10% αύξησε τη σκληρότητα αλλά δε διαφοροποίησε σημαντικά την ευθρυπτότητα, ενώ η υποκατάσταση σε ποσοστό 20% παρείχε προϊόν με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά υφής να εκτιμώνται με υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή αντίστοιχα. Τα δείγματα με 10% ίνες καρότου έλαβαν υψηλή βαθμολογία ως προς τη γεύση και το άρωμα.

Πίνακας 6.13 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με υποκατάσταση αλεύρου και/ή λιπαρού

Συστατικό	Επίπεδο Υποκ/σης	Χρώμα κόρας	Χρώμα ψίχας	Σκληρότητα	Ευθρυπτότητα	Γεύση	Άρωμα	Ολική αποδοχή
Δείγμα αναφοράς		5.2 ^b ± 1.5	7.5 ^a ± 0.8	3.7 ^d ± 0.5	5.4 ^a ± 0.8	7.7 ^a ± 1.1	7.4 ^a ± 0.8	7.9 ^a ± 0.6
Ινουλίνη	65%	5.2 ^b ± 0.9	5.3 ^c ± 0.8	5.2 ^b ± 1.0	3.2 ^b ± 1.0	6.2 ^c ± 0.6	6.3 ^{bc} ± 0.9	6.6 ^b ± 1.0
Ίνες καρότου	10%	5.9 ^{ab} ± 1.5	6.4 ^b ± 0.6	5.0 ^b ± 0.6	5.7 ^a ± 1.1	7.0 ^{ab} ± 0.4	7.0 ^{ab} ± 0.9	7.1 ^b ± 0.6
	20%	6.5 ^a ± 1.2	5.7 ^{bc} ± 1.6	6.8 ^a ± 0.8	3.8 ^b ± 1.2	6.0 ^c ± 0.7	6.0 ^c ± 1.0	5.4 ^c ± 0.4
10% ίνες καρότου 65% ινουλίνη		6.0 ^{ab} ± 0.9	4.9 ^c ± 1.2	6.0 ^b ± 0.8	5.5 ^a ± 1.0	6.3 ^{bc} ± 0.9	6.4 ^{bc} ± 0.8	7.1 ^b ± 0.7

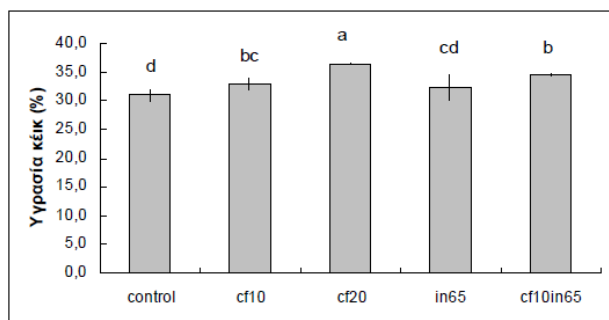
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c > d$.

Η υποκατάσταση του λιπαρού στα δείγματα που περιείχαν 10% ίνες καρότου δεν επέφερε περαιτέρω σημαντική διαφοροποίηση των ιδιοτήτων της υφής και δε συνοδεύτηκε από σημαντική απώλεια της γεύσης και του αρώματος. Ωστόσο τα δείγματα με ίνες καρότου (10%) και ινουλίνη αξιολογήθηκαν ως σημαντικά σκληρότερα σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς. Η ολική αποδοχή ακολούθησε την τάση των υπολοίπων οργανοληπτικών ιδιοτήτων, με τα δείγματα με 20% υποκατάσταση του αλεύρου να αξιολογούνται με χαμηλή βαθμολογία. Τα δείγματα με 10% ίνες καρότου με ή χωρίς υποκατάσταση λιπαρού έλαβαν υψηλή βαθμολογία, ωστόσο σημαντικά χαμηλότερη από το δείγμα αναφοράς.

6.3.2.4 Υγρασία, ενεργότητα νερού

Οι τιμές της υγρασίας και της ενεργότητας νερού παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.24 και 6.25 αντίστοιχα. Η υγρασία αυξήθηκε με το επίπεδο υποκατάστασης του αλεύρου και σε ποσοστό υποκατάστασης 20% ήταν σημαντικά υψηλότερη από το δείγμα αναφοράς.



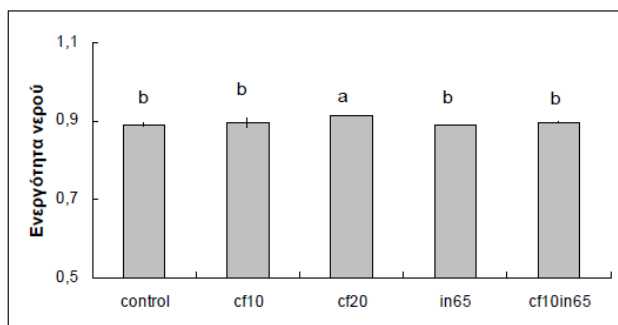
Σχήμα 6.24 Υγρασία των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

Con: δείγμα αναφοράς, cf10, cf20: 10% , 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου ολιγοφρουκτόζη, in 65: 65% υποκατάσταση λιπαρού από ινουλίνη GR, cf10in65: 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες και 65% υποκατάσταση λιπαρού

Η αύξηση της υγρασίας μπορεί να συνδεθεί με τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού που περιέχεται στη συνταγή των δειγμάτων με ίνες καρότου. Η συνδυαστική υποκατάσταση του αλεύρου και του λιπαρού αντιστάθμισε

την επίδραση του κάθε υποκατάστατου. Η ενεργότητα του νερού παρουσίασε σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς μόνο στην περίπτωση της υποκατάστασης του αλεύρου κατά 20%.



Σχήμα 6.25 Ενεργότητα και των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

Con: δείγμα αναφοράς, cf10, cf20: 10% , 20% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες καρότου ολιγοφρουκτόζη, in 65: 65% υποκατάσταση λιπαρού από ινουλίνη GR, cf10in65: 10% υποκατάσταση αλεύρου από ίνες και 65% υποκατάσταση λιπαρού,

6.3.3 Επίδραση της προσθήκης γαλακτωματοποιητών στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ με ινουλίνη (65% υποκατάσταση αλεύρου) και ίνες καρότου (10% υποκατάσταση αλεύρου)

6.3.3.1 Χαρακτηριστικά ζύμης

Για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του κέικ με υποκατάσταση λιπαρού και ίνες καρότου δοκιμάστηκαν τρεις γαλακτωματοποιητές σε δύο συγκεντρώσεις. Επιλέχθηκαν τρεις γαλακτωματοποιητές (μονογλυκερίδια, SSL, DATEM) με διαφορετικές τιμές HLB, που να καλύπτουν το φάσμα από το λιπόφιλο έως τον υδρόφιλο χαρακτήρα. Η επιλογή των συγκεκριμένων γαλακτωματοποιητών καθώς και ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων βασίστηκε σε βιβλιογραφικές μελέτες (Jyutsna et al., 2004) μερικές από τις οποίες αφορούσαν είτε προϊόν μειωμένων λιπαρών (Kumari et al., 2011, Lakshminarayan et al., 2005, Sowmya et al., 2009) είτε προϊόν ελεύθερο γλουτένης (Nunes et al., 2008, Ronda et al., 2009). Κατά τον καθορισμό

των συγκεντρώσεων λήφθηκαν υπόψιν και οι περιορισμοί στα ανώτατα όρια προσθήκης τους στα αρτοσκευάσματα που τίθενται από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία. Η επίδραση των γαλακτωματοποιητών στις ιδιότητες της ζύμης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.14. Η προσθήκη των γαλακτωματοποιητών σε υψηλότερα επίπεδα οδήγησε σε αυξημένο ιξώδες, που θα μπορούσε να αποδοθεί στην ενσωμάτωση περισσότερου αέρα στη ζύμη. Το αυξημένο ιξώδες διευκολύνει περαιτέρω τον εγκλωβισμό του αέρα.

Πίνακας 6.14 Επίδραση των γαλακτωματοποιητών στα χαρακτηριστικά των δειγμάτων ζύμης με ινουλίνη (65% υποκατάσταση αλεύρου) και ίνες καρότου (10% υποκατάσταση αλεύρου)

Συστατικό	Συντελεστής συνεκτικότητας Kcp (Pa sn)	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, n	Ειδικό βάρος ζύμης (g cm- 3)
Χωρίς γαλακτωματοποιητή	23.2 ^c ± 1.7	0.61 ^a ± 0.00	1.20 ^a ± 0.02
MG 1	23.9 ^{bc} ± 0.6	0.61 ^{ab} ± 0.00	1.19 ^a ± 0.01
MG 2	28.7 ^a ± 0.6	0.61 ^{ab} ± 0.02	1.15 ^c ± 0.01
SSL 0,25	23.8 ^{bc} ± 1.9	0.55 ^c ± 0.01	1.19 ^a ± 0.01
SSL 0,5	28.3 ^a ± 0.6	0.59 ^{ab} ± 0.02	1.14 ^c ± 0.02
DATEM 0,25	23.5 ^c ± 1.9	0.58 ^b ± 0.00	1.19 ^a ± 0.00
DATEM 0,5	27.1 ^{ab} ± 1.1	0.58 ^{ab} ± 0.00	1.17 ^b ± 0.01

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά (P < 0.05) με a > b > c.

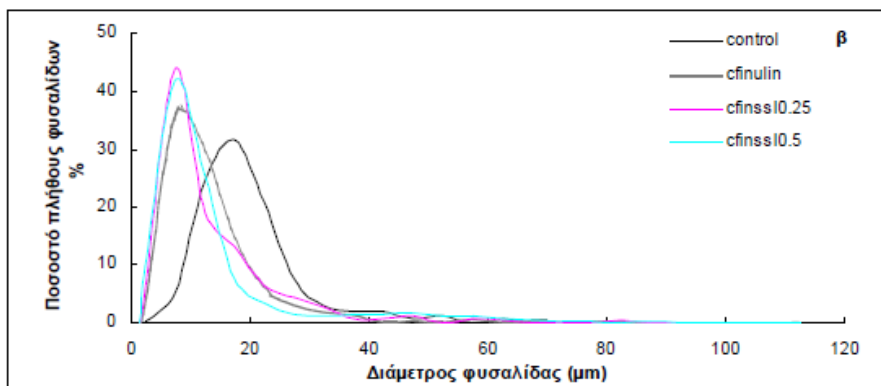
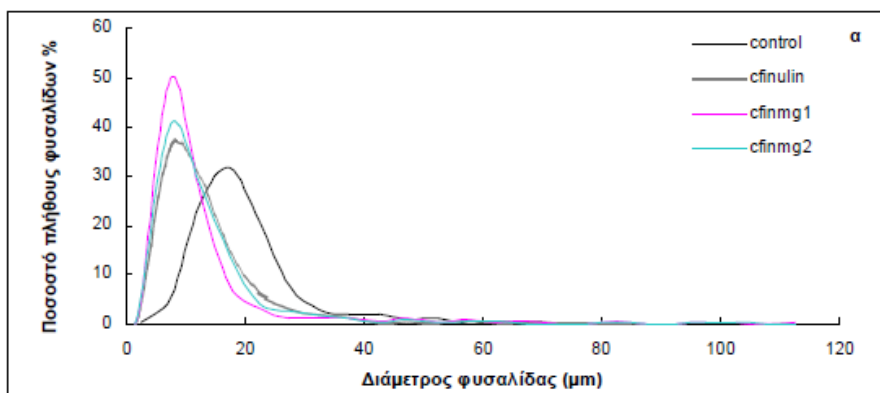
Η επίδραση των γαλακτωματοποιητών στην αύξηση της ποσότητας του ενσωματωμένου αέρα ανακλάται και στο ειδικό βάρος των αντίστοιχων δειγμάτων ζύμης. Σε χαμηλότερα επίπεδα προσθήκης, οι

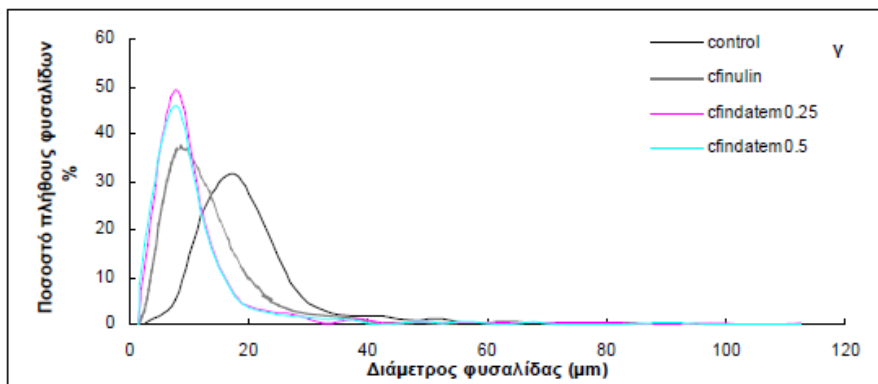
γαλακτωματοποιητές δεν επέφεραν σημαντική διαφοροποίηση του ειδικού βάρους σε σύγκριση με τα δείγματα που δεν περιείχαν γαλακτωματοποιητή. Ωστόσο σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν στα υψηλότερα επίπεδα των SSL και MG, ακολουθούμενες από το DATEM.

Όπως έχει αναφερθεί, η ζύμη μπορεί να θεωρηθεί ως γαλάκτωμα ελαίου σε νερό, με τέσσερις φάσεις, την υδατική, τη λιπαρή, την αέρια και τους στέρεους κόκκους του αμύλου (Shelke et al., 1990). Επομένως οι γαλακτωματοποιητές δρώντας ως επιφανειακά ενεργές ουσίες στη διεπιφάνεια λιπαρού-νερού σταθεροποιούν τη διασπορά των λιπαρών σωματιδίων στο γαλάκτωμα. Στην περίπτωση ζύμης μειωμένων λιπαρών, όπως στη συγκεκριμένη μελέτη, η ενσωμάτωση αέρα μπορεί να διευκολυνθεί από τη δράση των γαλακτωματοποιητών προς τη μείωση της τάσης μεταξύ της αέριας και της υγρής φάσης και μέσω του σχηματισμού μεμβράνης από τον γαλακτωματοποιητή γύρω από τις φυσαλίδες (Sahi και Alava, 2003). Επιπλέον η ενσωμάτωση του αέρα ενισχύεται από την ικανότητα των α -crystalline γαλακτωματοποιητών να σχηματίζουν φυλλιδωτή (lamellar) δομή, η οποία κατά τη ψύξη παρέχει α -gel με βελτιωμένη σταθεροποιητική επίδραση, η οποία είναι σημαντική για τον ενσωμάτωση αέρα. Πιο συγκεκριμένα τα α -gels φαίνεται να σχηματίζουν στρωματική δομή στην επιφάνεια των φυσαλίδων (Richardson et al., 2002, 2004). Στην περίπτωση των μονογλυκεριδίων και SSL προηγήθηκε η θέρμανση τους σε νερό (όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5), ακολούθησε ψύξη, και προστέθηκαν υπό τη μορφή πηκτής στο πρώτο στάδιο της κρεμοποίησης. Στόχος ήταν να επιτευχθεί η καλύτερη διασπορά τους αλλά και να προσεγγιστεί η α -gel μορφή (Krog, 1997). Η σημαντική διαφοροποίηση των μονογλυκεριδίων και SSL από το DATEM ως προς την ενσωμάτωση αέρα, μπορεί να σχετίζεται με την ενδεχόμενη α -gel μορφή των πρώτων, καθώς και με τη μεγαλύτερη ικανότητα να σχηματίζουν μεμβράνη γύρω από τις φυσαλίδες λόγω του πιο λιπόφιλου χαρακτήρα τους.

Οι γαλακτωματοποιητές επέφεραν μια ελαφριά μετατόπιση της κορυφής της καμπύλης κατανομής φυσαλίδων αέρα προς μικρότερα μεγέθη (Σχήμα 6.26). Στις υψηλότερες συγκεντρώσεις το DATEM παρουσίασε τη μεγαλύτερη μετατόπιση προς μικρότερα μεγέθη με το 64% των φυσαλίδων να βρίσκεται κατανομημένο σε εύρος 0-10 μm , ενώ στην

περίπτωση των MG και SSL λιγότερο από το 50% των φυσαλίδων ήταν κατανεμημένο στο αντίστοιχο εύρος. Ο περιορισμός της κατανομής σε μικρότερα μεγέθη φυσαλίδων είναι αναμενόμενος λόγω της σταθεροποιητικής δράσης των γαλακτωματοποιητών στις φυσαλίδες, και έχει παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές (Junge & Hosney, 1981). Στα χαμηλότερα επίπεδα προσθήκης των γαλακτωματοποιητών τα ποσοστά φυσαλίδων με διάμετρο <math><10 \mu\text{m}</math> ήταν ελαφρώς αυξημένα. Πιο συγκεκριμένα η μεγαλύτερη μεταβολή στην κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων με την αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτωματοποιητή παρατηρήθηκε στην περίπτωση του DATEM, με το 54% των φυσαλίδων να έχουν διάμετρο <math><10 \mu\text{m}</math> στο χαμηλό επίπεδο προσθήκης του.



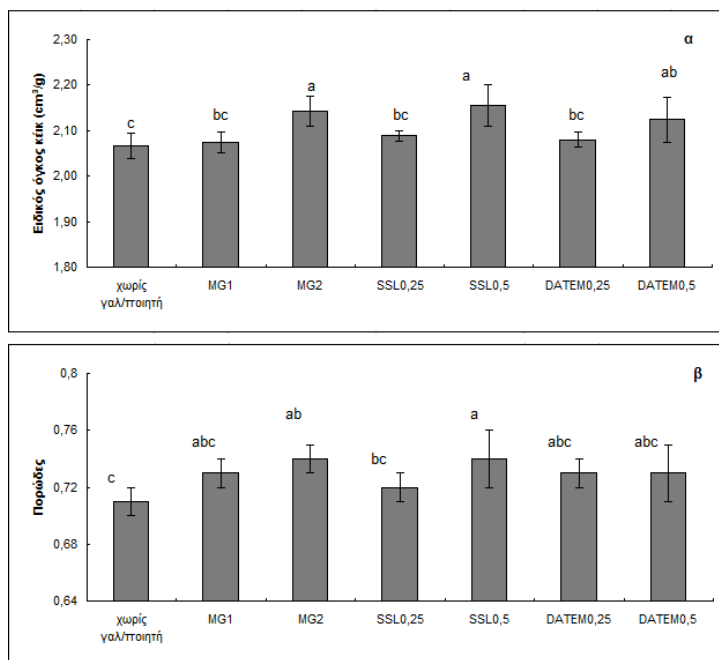


Σχήμα 6.26 Κατανομή μεγέθους φυσαλίδων των κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη και γαλακτωματοποιητές (α) MG, (β) SSL και (γ) DATEM

Control: δείγμα αναφοράς, cfInulin : ίνες καρότου και ινουλίνη, cfInulinmg1,2: με ίνες και MG1 ή 2%, cfInulinssl0.25, 0.5: με ίνες και SSL0.25 ή 0.5%, cfInulindatem0.25, 0.5: με ίνες και DATEM0.25 ή 0.5%

6.3.3.2 Χαρακτηριστικά κέικ

Η προσθήκη των γαλακτωματοποιητών σε υψηλά επίπεδα επέφερε αύξηση του ειδικού όγκου των δειγμάτων με ίνες καρότου και ινουλίνη (Σχήμα 6.27). Επιπλέον το SSL και τα MG στα υψηλότερα επίπεδα προσθήκης οδήγησαν σε σημαντική αύξηση του πορώδους. Γενικά οι διαφοροποιήσεις που παρατηρήθηκαν στο πορώδες ακολούθησαν την τάση του ειδικού όγκου, όπως αποτυπώνεται στη θετική συσχέτισή τους ($r = 0.79$). Η αύξηση του ειδικού όγκου και του πορώδους μπορεί να συνδεθεί με την αυξημένη ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη και τη σταθεροποιητική επίδραση των γαλακτωματοποιητών στις φυσαλίδες αέρα μικρού μεγέθους. Παρόμοια τάση των SSL και DATEM έχει αναφερθεί στον ειδικό όγκο άρτων ελευθέρων γλουτένης (Nunes et al., 2009), ο οποίος συσχετίστηκε με τη δύναμη της ζύμης, η οποία αυξάνει την ελαστικότητα και επιτρέπει την ανάπτυξη κατά τη ζύμωση και τον κλιβανισμό. Η αυξημένη ανάπτυξη του όγκου του κέικ ως αποτέλεσμα του εγκλωβισμού αέρα στη ζύμη, αποτυπώνεται στην αντίστροφη συσχέτιση του ειδικού βάρους της ζύμης με τον ειδικό όγκο του τελικού προϊόντος ($r = -0.99$).

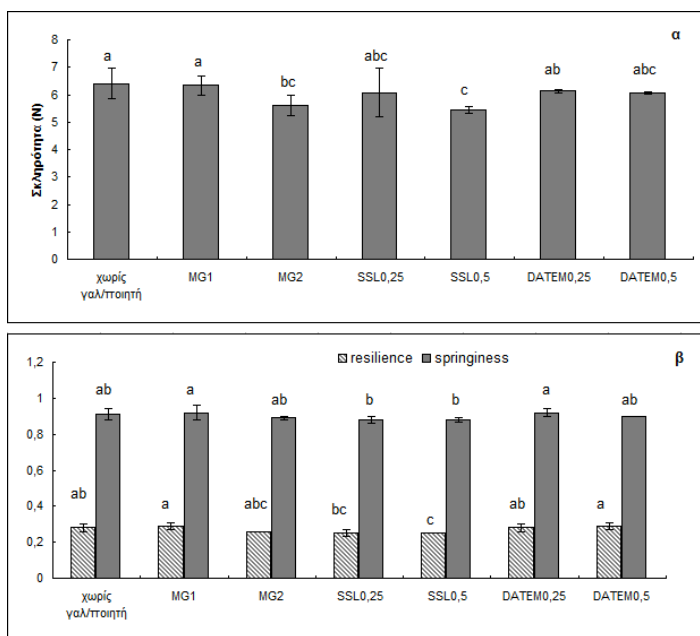


Σχήμα 6.27 Ειδικός όγκος και πορώδες των δειγμάτων κέικ με ίνες και γαλακτωματοποιητές

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

Το SSL και τα MG, όταν προστέθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα, παρουσίασαν καλύτερη επίδοση και ως προς τη βελτίωση της υφής του κέικ, καθώς οδήγησαν σε σημαντική μείωση της σκληρότητας της ψίχας (Σχήμα 6.28). Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι όπως και στην περίπτωση των άλλων χαρακτηριστικών του κέικ, δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των τριών γαλακτωματοποιητών. Η μείωση της σκληρότητας μπορεί να αποδοθεί κυρίως στη λιγότερη πυκνή δομή, όπως καταδεικνύεται από την αρνητική συσχέτιση του πορώδους με τη σκληρότητα ($r = -0.80$). Η χαμηλότερη σκληρότητα της ψίχας στην περίπτωση του SSL μπορεί να αποδοθεί επίσης και στην ισχυρή ικανότητα αλληλεπίδρασης με το άμυλο (Pisookbunterng & D'Appolonia, 1983), οπότε και αναστέλει την αναδιαμόρφωση του αμύλου. Έχει αναφερθεί η μείωση της δύναμης θραύσης cookies που περιείχαν υποκατάστατα λιπαρού υδατανθρακικής βάσης με την προσθήκη SSL και DATEM (Sanchez et al., 1995). Η μασητικότητα, ακολούθησε την τάση της

σκληρότητας, ενώ οι υπόλοιπες ιδιότητες της υφής δε διαφοροποιήθηκαν σημαντικά με την προσθήκη των γαλακτωματοποιητών.



Σχήμα 6.28 Ιδιότητες υφής των δειγμάτων κέικ με ίνες και γαλακτωματοποιητές: (α) σκληρότητα, (β) resilience και springiness.

Τα σφάλματα αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες και τα σημεία με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$.

Η προσθήκη των γαλακτωματοποιητών δεν οδήγησε σε σημαντική διαφοροποίηση του χρώματος της κόρας και της ψίχας (Πίνακας 6.15). Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς οι γαλακτωματοποιητές δεν επηρεάζουν την παρουσία των σακχάρων και των αμινοξέων, και κατά συνέπεια των αντιδράσεων Maillard.

Πίνακας 6.15 Επίδραση των γαλακτωματοποιητών στο χρώμα των δειγμάτων κέικ με ινουλίνη (65% υποκατάσταση αλεύρου) και ίνες καρότου (10% υποκατάσταση αλεύρου)

		Κόρα			Ψίχα		
Συστατικό	L	a	b	L	a	b	
Χωρίς γαλακτωματοποιητή	51.20 ^a ±	15.04 ^a ±	33.54 ^a ±	70.01 ^a ±	-0.27 ^c ±	23.76 ^{ab} ±	
MG 1	0.72	0.08	0.66	0.65	0.03	1.76	
MG 2	51.81 ^a ±	15.43 ^a ±	34.32 ^a ±	70.80 ^a ±	0.06 ^a ± 0.06	23.04 ^b ±	
SSL 0,25	1.78	0.54	1.63	0.42		0.12	
SSL 0,5	51.81 ^a ±	14.77 ^a ±0.4	34.03 ^a ±	70.26 ^a ±	-0.06 ^{ab} ±	24.31 ^{ab} ±	
DATEM 0,25	0.13	9	0.91	0.70	0.31	1.52	
DATEM 0,5	51.76 ^a ±	15.32 ^a ±	34.79 ^a ±	70.37 ^a ±	-0.25 ^{bc} ±	23.95 ^{ab} ±	
	1.94	0.15	1.63	0.35	0.17	0.41	
	51.26 ^a ±0.2	15.09 ^a ±	33.11 ^a ±	70.54 ^a ±	-0.37 ^{cd} ±	24.62 ^a ±	
	1	0.48	0.65	0.27	0.15	1.69	
	51.99 ^a ±	14.50 ^a ±	34.17 ^a ±	70.65 ^a ±	-0.55 ^d ±	23.39 ^{ab} ±	
	0.77	0.46	0.98	0.16	0.03	2.02	
	51.97 ^a ±	15.15 ^a ±	34.81 ^a ±	70.70 ^a ±	-0.42 ^{cd} ±	23.40 ^{ab} ±	
	0.62	0.13	0.04	0.29	0.34	0.50	

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν στατιστικά σημαντικά (P < 0.05) με a > b > c > d.

6.3.3.3 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κέικ

Η προσθήκη του SSL και των MG στα κέικ με ίνες καρότου και ινουλίνη δεν αξιολογήθηκαν ως σημαντικά διαφορετικά από τα κέικ χωρίς γαλακτωματοποιητή ως προς τις οργανοληπτικές ιδιότητες τους, εκτός της σκληρότητας (Πίνακας 6.16). Τα δείγματα που περιείχαν SSL αξιολογήθηκαν ως τα λιγότερο σκληρά. Από την άλλη πλευρά τα δείγματα

με DATEM δεν παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση από τα κέικ χωρίς γαλακτωματοποιητή ως προς τη σκληρότητα, και εκτιμήθηκαν χαμηλά ως προς τη γέυση και το άρωμα. Κατά συνέπεια τα δείγματα με DATEM εκτιμήθηκαν ως λιγότερο αποδεκτά σε σύγκριση με τα κέικ που περιείχαν SSI και MG.

6.3.4 Συμπεράσματα

Η μερική υποκατάσταση του αλεύρου από ίνες επέφερε σημαντική αύξηση του ιξώδους και μείωση του ενσωματωμένου αέρα, παρέχοντας προϊόν πυκνής δομής και αυξημένης σκληρότητας. Η υποκατάσταση σε ποσοστό 30% παρείχε μη αποδεκτό προϊόν.

Από την άλλη η υποκατάσταση του λιπαρού από ινουλίνη οδηγεί σε μείωση του ιξώδους της ζύμης ακολουθούμενη και από ελαττωμένη ανάπτυξη του όγκου, η οποία ωστόσο σε επίπεδο υποκατάστασης 65% δεν είναι σημαντικά διαφορετική από εκείνη του πλήρους σε λιπαρά προϊόντος. Η συνδυαστική υποκατάσταση αλεύρου και λιπαρού σε χαμηλά ποσοστά (10% και 65% αντίστοιχα) αντιστάθμισε την επίδραση του κάθε υποκατάστατου ως προς τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης και την κατανομή των φυσαλίδων αέρα, προσεγγίζοντας τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του δείγματος αναφοράς. Ωστόσο ο εμπλουτισμός με ίνες καρότου (ως υποκατάστατο του αλεύρου) σε προϊόν μειωμένων λιπαρών οδήγησε σε περαιτέρω μείωση του όγκου και αύξηση της σκληρότητας του τελικού προϊόντος. Η βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εμπλουτισμένου προϊόντος επιτεύχθηκε με τη χρήση γαλακτωματοποιητών, που παρουσίασαν σταθεροποιητική δράση στο σχηματισμό των φυσαλίδων. Το SSL παρείχε τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς τη σκληρότητα, το πορώδες και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 6.16 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ με ίνες και γαλακτωματοποιητές

Συστατικό	Χρώμα κόρας	Χρώμα ψίχας	Σκληρότητα	Ευθρυπτότητα	Γεύση	Αρωμα	Ολική αποδοχή
Χωρίς γαλακτωματοποιητή	6.0 ^a ± 0.9	4.9 ^a ± 1.2	6.0 ^a ± 0.8	5.5 ^a ± 1.0	6.3 ^a ± 0.9	6.4 ^{ab} ± 0.8	7.1 ^a ± 0.7
MG 1	5.5 ^a ± 0.7	4.7 ^a ± 1.6	5.5 ^{ab} ± 0.9	5.7 ^a ± 1.2	6.3 ^{ab} ± 1.0	6.15 ^{ab} ± 1.1	7.1 ^a ± 1.0
MG 2	5.7 ^a ± 1.2	4.6 ^a ± 1.9	4.9 ^c ± 0.6	5.9 ^a ± 1.9	6.15 ^{ab} ± 1.1	6.0 ^{ab} ± 0.7	7.0 ^{ab} ± 0.9
SSL 0,25	6.1 ^a ± 1.1	4.6 ^a ± 1.1	5.2 ^{ab} ± 1.6	5.9 ^a ± 1.2	6.4 ^a ± 0.7	6.5 ^a ± 0.7	7.2 ^a ± 0.9
SSL 0,5	5.7 ^a ± 0.9	5.0 ^a ± 1.3	4.6 ^c ± 0.9	6.0 ^a ± 1.2	6.6 ^a ± 1.0	6.8 ^a ± 1.1	7.4 ^a ± 0.7
DATEM 0,25	6.1 ^a ± 1.1	5.2 ^a ± 1.7	5.2 ^{ab} ± 0.8	5.5 ^a ± 1.0	5.3 ^{bc} ± 1.4	5.6 ^{bc} ± 0.9	6.2 ^b ± 0.8
DATEM 0,5	5.9 ^a ± 1.1	4.9 ^a ± 1.4	5.1 ^{ab} ± 1.4	5.0 ^a ± 1.3	5.0 ^c ± 1.2	5.0 ^c ± 0.8	5.2 ^c ± 1.0

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$) με $a > b > c$

Κεφάλαιο 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής ήταν η μελέτη της επίδρασης της προσθήκης των υποκατάστατων λιπαρού, ζάχαρης και των διαιτητικών ινών στα χαρακτηριστικά της ζύμης και στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη προϊόντων από τη βιομηχανία, που θα ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις των καταναλωτών για τρόφιμα υψηλής διατροφικής αξίας.

Γενικά η ενσωμάτωση των υποκατάστατων και των ινών επηρέασαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κέικ αλλά και τα χαρακτηριστικά της ζύμης. Ειδικότερα η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της ζύμης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα των ιδιοτήτων του κέικ, και ειδικότερα της ανάπτυξης του όγκου, της υφής και των οργανοληπτικών ιδιοτήτων.

Στα συνέχεια αναφέρονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα διαφορετικά είδη υποκατάστασης που μελετήθηκαν.

➤ *Υποκατάσταση σακχαρόζης*

Κατά την υποκατάσταση της σακχαρόζης, η επίδραση των υποκαταστατών στη ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης θα πρέπει να συνδυαστεί με την ικανότητα των υποκατάστατων σακχαρόζης να μεταθέτουν τη ζελατινοποίηση του αμύλου σε υψηλότερη θερμοκρασία, που παίζει κρίσιμο ρόλο στην επιθυμητή σταθεροποίηση της ζύμης, και κατά συνέπεια στον όγκο και την υφή του κέικ. Ειδικότερα η σκληρότητα της ψίχας του κέικ εμφανίζει θετική συσχέτιση με το συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης και αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου. Επομένως η χαμηλότερη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου και ο υψηλότερος συντελεστής συνεκτικότητας της ζύμης θα οδηγήσουν σε προϊόν αυξημένης σκληρότητας. Μελετήθηκαν πολυόλες (σορβιτόλη, μαλιτιτόλη, μαννιτόλη, λακτιτόλη), η ολιγοφρουκτόζη, η πολυδεξτρόζη και η φρουκτόζη για πλήρη υποκατάσταση της ζάχαρης

Η ολιγοφρουκτόζη, η λακτιτόλη και η μαλιτιτόλη παρείχαν τα καλύτερα αποτελέσματα. σε σύγκριση με τα άλλα υποκατάστατα. Παρουσίασαν παρόμοια επίδραση με τη σακχαρόζη στη ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης και στην ενσωμάτωση αέρα. Επιπλέον και τα τρία υποκατάστατα

παρουσίασαν παρόμοια ή και μεγαλύτερη ικανότητα στην αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης σε σύγκριση με τη σακχαρόζη. Κατά συνέπεια δεν παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση από το δείγμα αναφοράς ως προς την υφή και τον ειδικό όγκο του τελικού προϊόντος. Επιπλέον προσέγγισαν το πλήρες σε σακχαρόζη προϊόν και ως προς τις οργανοληπτικές ιδιότητες και σημείωσαν παραπλήσια επίπεδα ολικής αποδοχής, ενώ διαφοροποιήσεις που εντοπίστηκαν για το χρώμα στην περίπτωση της ολιγοφρουκτόζης δεν ανιχνεύθηκαν από τους δοκιμαστές.

Η σορβιτόλη και η πολυδεξτρόζη επίσης παρείχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς δε διέφεραν σημαντικά από τη σακχαρόζη ως προς τα περισσότερα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ. Ωστόσο η βασική διαφοροποίηση τους από τη λακτιτόλη, τη μαλτιτόλη και την ολιγοφρουκτόζη εντοπίζεται στην υποβάθμιση της γεύσης με αποτέλεσμα και τη χαμηλότερη αποδοχή τους.

Από την άλλη τα κέικ με φρουκτόζη και μαννιτόλη παρείχαν προϊόντα που αξιολογήθηκαν ως μη αποδεκτά, παρουσιάζοντας τις πιο σημαντικές διαφορές από το δείγμα αναφοράς τόσο ως προς την οργανοληπτική εξέταση όσο και ως προς τις ενόργανες μετρήσεις. Ειδικότερα η μαννιτόλη οδήγησε σε σημαντική αύξηση της σκληρότητας η οποία μπορεί να συνδεθεί με την αναποτελεσματική ανάπτυξη του όγκου, η οποία με τη σειρά της μπορεί να αποδοθεί στην ελαττωμένη ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς καθώς και στη χαμηλότερη θερμοκρασία έναρξης της ζελατινοποίησης του αμύλου που μαζί με τον υψηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης περιόρισαν την ανάπτυξη και την κατανομή των φυσαλίδων αέρα στη ζύμη κατά τον κλιβανισμό. Και στην περίπτωση της φρουκτόζης η μειωμένη ποσότητα εγκλωβισμένου αέρα στη ζύμη, η διαφορετική ρεολογική συμπεριφορά και κυρίως η αδυναμία μετάθεσης της ζελατινοποίησης του αμύλου σε υψηλότερη θερμοκρασία όπως η σακχαρόζη οδήγησαν σε προϊόν μειωμένου ειδικού όγκου.

➤ *Υποκατάσταση λιπαρού*

Η υποκατάσταση λιπαρού από υποκατάστατα υδατανθρακικής (πηκτίνη, ολιγοφρουκτόζη, ινουλίνη, μαλτοδεξτρίζη) και πρωτεϊνικής (.μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη) βάσης επηρέασε τις ιδιότητες της ζύμης και

του τελικού προϊόντος. Με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης (από 35 έως 100%), παρατηρήθηκε μείωση της συνεκτικότητας της ζύμης (εκτός από την περίπτωση της πηκτίνης υψηλού βαθμού εστεροποίησης), η οποία συνοδεύτηκε από μειωμένη ενσωμάτωση αέρα και ευρύτερη κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων αέρα.

Η συνεκτικότητα και το ειδικό βάρος της ζύμης παρουσιάζονται ως ρυθμιστικοί παράγοντες της ανάπτυξης του όγκου και της υφής του κέικ. Πιο συγκεκριμένα ο ειδικός όγκος εμφάνισε τάσης μείωσης με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης, ως αποτέλεσμα της ελαττωμένης ενσωμάτωσης αέρα και της περιορισμένης ικανότητας συγκράτησης του αέρα (που συμπεριλαμβάνει και μεγαλύτερου μεγέθους φυσαλίδες σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς) κατά τον κλιβανισμό. Η ικανότητα μετάθεσης της ζελατινοποίησης του αμύλου σε υψηλότερες θερμοκρασίες επίσης συμβάλλει στην ανάπτυξη του όγκου. Ειδικότερα η σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης του αμύλου που παρατηρήθηκε κατά την υποκατάσταση του λιπαρού από φρουκτάνες σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς, συνοδεύτηκε από σημαντική αύξηση του ειδικού όγκου του τελικού προϊόντος.

Η αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης του λιπαρού επέφερε αύξηση της σκληρότητας, της ελαστικότητας και της συνεκτικότητας του κέικ. Οι διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά της υφής μπορούν να αποδοθούν στην απώλεια της συμβολής του λιπαρού στη μείωση της σκληρότητας και της ελαστικότητας, καθώς και στην αυξημένη δύναμη των δεσμών του τριδιάστατου πλέγματος της ψίχας.

Από τη συγκριτική μελέτη των διαφορετικών υποκατάστατων, προέκυψαν παρατηρήσεις για την επίδραση συγκεκριμένων παραμέτρων (βαθμός πολυμερισμού φρουκτανών, βαθμός εστεροποίησης πηκτίνης) στην αποτελεσματικότητά τους. Ειδικότερα ο βαθμός εστεροποίησης επηρέασε τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης, καθώς η πηκτίνη με υψηλό βαθμό εστεροποίησης διατήρησε το συντελεστή συνεκτικότητας σε επίπεδα παρόμοια με το δείγμα αναφοράς. Στην περίπτωση της ινουλίνης ο υψηλότερος βαθμός πολυμερισμού της έναντι της ολιγοφρουκτόζης, φαίνεται να ενισχύει την ελαστικότητα του προϊόντος. Επιπλέον τα υδατανθρακικής βάσης υποκατάστατα παρείχαν μεγαλύτερη ελαστικότητα από το πρωτεϊνικής βάσης υποκατάστατο.

Κατά την οργανοληπτική αξιολόγηση, τα δείγματα με υποκατάστατα αξιολογήθηκαν ως αυξημένης σκληρότητας και ελαστικότητας και μειωμένης ευθρυπτότητας σε σύγκριση με το πλήρες σε λιπαρά προϊόν. Οι διαφοροποιήσεις των οργανοληπτικών ιδιοτήτων της υφής μπορούν να εκτιμηθούν από τη σχέση τάσης-παραμόρφωσης, που προκύπτει με την υποβολή του προϊόντος σε συμπίεση. Πιο συγκεκριμένα οι μεταβολές των οργανοληπτικών ιδιοτήτων της υφής μπορούν να εκτιμηθούν από τις σταθερές του μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει τη σχέση τάσης-παραμόρφωσης.

Τα δείγματα με πηκτίνη αξιολογήθηκαν ως τα λιγότερο σκληρά, σε συμφωνία με τις μετρήσεις της ανάλυσης υφής, ενώ τα δείγματα με ολική υποκατάσταση λιπαρού από ολιγοφρουκτόζη αξιολογήθηκαν ως τα κέικ με το σκουρότερο χρώμα επιφάνειας. Επιπλέον από την οργανοληπτική εξέταση προέκυψε ότι η αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης συνοδεύτηκε από απώλεια της γεύσης και του αρώματος. Σε χαμηλά επίπεδα υποκατάστασης δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση από το πλήρες σε λιπαρά προϊόν ως προς τις περισσότερες ιδιότητες του κέικ. Η υποκατάσταση κατά 65% παρείχε κέικ με αποδεκτά φυσικά, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, και υφή. Τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς τις ιδιότητες που προσδιορίστηκαν μέσω μετρήσεων (σκληρότητα, χρώμα, ειδικός όγκος) και μέσω της οργανοληπτικής εξέτασης (ολική αποδοχή) λήφθηκαν για την ινουλίνη και την πηκτίνη, τα οποία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη κέικ χαμηλών λιπαρών.

➤ *Εμπλουτισμός κέικ μειωμένων λιπαρών με ίνες*

Η υποκατάσταση του αλεύρου από ίνες καρότου οδήγησε σε αυξημένο ιξώδες και μειωμένη ενσωμάτωση αέρα, η οποία συνοδεύτηκε και από τον περιορισμό του μεγέθους των φυσαλίδων αέρα σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς. Η υποκατάσταση του αλεύρου σε ποσοστά άνω του 20% παρείχε κέικ πυκνής δομής και αυξημένης σκληρότητας, ενώ η προσθήκη των ινών καρότου ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα (10%) οδήγησε σε σημαντική μείωση της συνεκτικότητας και της ελαστικότητας, όπως ανακλάται στην επαναφορά μεταξύ των δύο συμπίεσεων. Η υποκατάσταση του αλεύρου κατά 30% παρείχε τις σημαντικότερες διαφοροποιήσεις και το προϊόν κρίθηκε ως μη αποδεκτό.

Ο εμπλουτισμός με ίνες καρότου (10% υποκατάσταση αλεύρου) των κέικ με μερική υποκατάσταση (65%) του λιπαρού από ινουλίνη αντιστάθμισε την επίδραση της ινουλίνης στο ιξώδες και την κατανομή του μεγέθους των φυσαλίδων αέρα στη ζύμη, προσεγγίζοντας τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του δείγματος αναφοράς. Η αντιστάθμιση της αντίθετης επίδρασης των δύο υποκαταστάσεων παρατηρήθηκε και σε χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, παρέχοντας ελαστικότητα και συνεκτικότητα πλησιέστερες στα αντίστοιχα χαρακτηριστικά υψής του δείγματος αναφοράς. Ωστόσο στα χαρακτηριστικά στα οποία η υποκατάσταση του λιπαρού και του αλεύρου παρουσίασαν παρόμοια επίδραση (τάση), η συνδυασμένη προσθήκη ινών παρείχε ανάλογα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα ο εμπλουτισμός με ίνες στο κέικ μειωμένων λιπαρών οδήγησε σε περαιτέρω αύξηση της σκληρότητας και μείωση του όγκου του κέικ.

Η βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εμπλουτισμένου προϊόντος επιτεύχθηκε με τη χρήση γαλακτωματοποιητών. Πιο συγκεκριμένα η προσθήκη των γαλακτωματοποιητών ενίσχυσε την ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη μέσω της σταθεροποιητικής δράσης τους στο σχηματισμό των φυσαλίδων, με αποτέλεσμα τη βελτιωμένη ανάπτυξη του όγκου του τελικού προϊόντος, η οποία επίσης συνοδεύτηκε από μείωση της σκληρότητας. Οι διαφοροποιήσεις σε σύγκριση με το εμπλουτισμένο δείγμα αναφοράς ήταν σημαντικές για τα ανώτερα επίπεδα της προσθήκης των γαλακτωματοποιητών. Μεταξύ των τριών γαλακτωματοποιητών SSL, MG και DATEM σημαντικές διαφοροποιήσεις εντοπίστηκαν κατά την οργανοληπτική εξέταση, με το SSL να παρέχει τα καλύτερα αποτελέσματα ως τις οργανοληπτικές ιδιότητες.

Αντικείμενο μελλοντικών ερευνών θα μπορούσε να είναι η διερεύνηση της επίδραση της προσθήκης των υποκατάστατων στην επιφανειακή τάση των φυσαλίδων αέρα στη ζύμη, ιδιαίτερα στην περίπτωση της υποκατάστασης του λιπαρού αλλά και της προσθήκης των γαλακτωματοποιητών, βάσει της οποίας θα μπορούσε να διεξαχθεί ένα μαθηματικό μοντέλο για την ανάπτυξη των φυσαλίδων. Επιπλέον μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να αφορά την ανάπτυξη μοντέλου συσχέτισης των ιξωδοελαστικών χαρακτηριστικών της ζύμης με τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Η συνδυαστική χρήση ινών για τη

μερική υποκατάσταση του αλεύρου και του λιπαρού θα μπορούσε να επεκταθεί και σε άλλες πηγές διαιτητικών ινών. Στην υποκατάσταση της σακχαρόζης θα μπορούσε να διερευνηθεί η συνδυαστική χρήση των υποκατάστατων, που παρείχαν τα καλύτερα αποτελέσματα, με τη στέβια, εν όψει και της ενδεχόμενης νομοθετικής ρύθμισης για τα εκλεκτά αρτοσκευάσματα.

Βιβλιογραφία 1^ο Κεφαλαίου

Bean M.M., Yamazaki W.T. & Donelson D.H. (1978). Wheat starch gelatinization in sugar solutions II. Fructose, glucose and sucrose: cake performance. *Cereal Chem*, 55, 945-952.

Bennion, E.B. & Bamford G.S.T. (1997a). Cake making processes. In: *The technology of cake making*. A.J. Bent (ed.). Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London, pp. 251-274.

Bennion E.B. & Bamford G.S.T. (1997b). Chemical aeration In: *The technology of cake making*. A.J. Bent (ed.). Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London; pp. 100-106.

Bennion E.B. & Bamford G.S.T. (1997c). Eggs and egg products In: *The technology of cake making*. A.J. Bent (ed.). Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London; pp. 18-24.

Bennion E.B. & Bamford G.S.T. (1997d). Sugars In: *The technology of cake making*. A.J. Bent (ed.). Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London; pp. 84-99.

Bennion E.B. & Bamford G.S.T. (1997e). Baking fats In: *The technology of cake making*. A.J. Bent (ed.). Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London; pp. 25-47.

Bennion E.B. & Bamford G.S.T. (1997f). Emulsions and emulsifiers In: *The technology of cake making*. A.J. Bent (ed.). Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London; pp. 112-120.

Berglund P.T. & Hertsgaard D.M. (1986). Use of vegetable oils at reduced levels in cake, pie crust, cookies, and muffins. *Journal of Food Science*, 51, 640-644.

Brooker B.E. (1993a). The stabilization of air in cake batters—The role of fat. *Food Structure*, 12, 285-296.

Brooker B.E. (1993b). The stabilization of air in foods containing fat—A review. *Food Structure* 12, 115-122.

Cauvain S.P. & Young L.S. (2006a). The nature of baked product structure. In: *Baked Products: Science, Technology and Practice*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Cauvain S.P. & Young L.S. (2006b). Ingredients and their influences. In: *Baked Products: Science, Technology and Practice*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

- Conde-Petit B. (2003). The structure and texture of starch-based foods. In: *Texture in food. Vol1: Semi-solid foods*. B.M. McKenna (ed). CRC Press, Boca Raton
- Conforti F.D. (2006). Cake manufacture. In: *Bakery products: Science and Technology*. Hui Y.H. (ed). Blackwell Publishing, USA.
- Conforti F.D. & Archilla L. (2001). Evaluation of a maltodextrin gel as a partial replacement for fat in a high-ratio white-layer cake. *International Journal of Consumer Studies*, 25, 238-245.
- Eliasson A.-C. & Gudmundsson M. (2006) In *Carbohydrates in Food* (2nd ed.). Eliasson A.-C. (ed.) Taylor & Francis Inc, New York.
- Fennema O.R. (1996). *Food chemistry* (3rd ed.). Marcel Dekker, New York
- Hou G., Yamamoto H. & P.K.W. Ng. (1996). Relationships of quantity of glutenin subunits of selected U.S. soft wheat flours to rheological and baking properties. *Cereal Chem*, 73, 358–363.
- Indrani D. & Venkateswara Rao G. (2008) Functions of ingredients in the baking of sweet goods. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*. S. Gulum Summu and S. Sahin (eds.). CRC Press, Boca Raton; pp. 36-37.
- Kaldy M.S. & G.L. Rubenthaler. (1987). Milling, baking, and physical-chemical properties of selected soft white winter wheat and spring wheats. *Cereal Chem*, 64, 302–307.
- Kim, C.S. & Walker C.E. (1992a). Interactions between starches, sugars and emulsifiers in high-ratio cake model systems. *Cereal Chemistry* 69, 206–212.
- Kim C.S. & Walker C.E. (1992b), Effects of sugars and emulsifiers in starch gelatinization evaluated by differential scanning calorimetry. *Cereal Chem*, 69, 212–217.
- Koksel H. & Gokmen V. (2008). Chemical reactions in the processing of soft wheat products. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*. S. Gulum Summu and S. Sahin (eds.). CRC Press, Boca Raton
- Krog N.J. & Sparso F.V. (2004). Food emulsifiers: their chemical and physical properties. In: *Food Emulsions*. Friberg SE, Larsson K & Sjoblom J. (ed) 4th edition. Merceel Dekker, USA.
- Kroh L.W. (1994). Caramelisation in food and beverages. *Food Chemistry*, 51(4), 373- 379.

- Lai H.M. & Lin T.C. (2006). Bakery products: Science and Technology. In: Bakery products: Science and Technology. Hui Y.H. (ed). Blackwell Publishing, USA.
- Matthews R.H. & Dawson E.H. (1966). Performance of fats in white cake. *Cereal Chem*, 43, 538–546.
- Matz S.A. (1992). Bakery technology and Engineering. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Mizukoshi M., Maeda H. & Amano H. (1980). Model studies of cake baking II. Expansion and heat set of cake batter during baking. *Cereal Chem*, 57, 352–355.
- Mizukoshi M. (1983). Model studies of cake baking IV. Foam drainage in cake batter. *Cereal Chem*, 60(5), 399–402.
- Mizukoshi M., Kawada T. & Matsui N. (1979). Model studies of cake baking I. Continuous observations of starch gelatinization and protein coagulation during baking. *Cereal Chem*, 56(4), 305–309.
- Ngo W.H. & Taranto M. V. (1986). Effect of sucrose level on the rheological properties of cake batters. *Cereal Food World*, 31(4), 317–322.
- O'Brien R.D. (2009). Fats and oil formulation. In: Fats and Oils. Formulating and processing for applications. CRC Press, Boca Raton
- Paton D., Larocque G.M. & Holme J. (1981). Development of cake structure: Influence of ingredients on the measurement of cohesive force during baking. *Cereal Chem*, 58, 527–529.
- Rao M.A. (2003). Phase transitions, food texture and structure. In: Texture in food. Vol1: Semi-solid foods. B.M. McKenna (ed). CRC Press, Boca Raton
- Richardson G., Bergenstahl B., Langton M., Stading M. & Hermansson A.-M. (2004). The function of α -crystalline emulsifiers on expanding foam surfaces. *Food Hydrocolloids*, 18, 655-663.
- Richardson G., Langton M., Faldt P., & Hermansson A.M. (2002). Microstructure of α -crystalline emulsifiers and their influence on air incorporation in cake batter. *Cereal Chem*, 79, 546-552.
- Sahi S.S. (2008). Cake emulsions. In: Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods. S. Gulum Summu and S. Sahin (eds.). CRC Press, Boca Raton.
- Sahi, S.S. & Alava, J.M. (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1419-1429.

Shelke K., Faubion J.M., Hosney R.C. (1990). The dynamics of cake baking as studied by a combination of viscometry and electrical resistance oven heating. *Cereal Chem*, 67, 575-580.

Spies D. & Hosney R.C.. (1982). Effect of sugars on starch gelatinization. *Cereal Chem*, 59, 128–131.

Takeda K. (1994). Effects of various lipid fractions of wheat flour on expansion of sponge cake. *Cereal Chem*, 71, 6–9.

Tanhehco E.J. & Perry K.W.Ng (2008). Soft wheat quality In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*. S. Gulum Summu and S. Sahin (eds.). CRC Press, Boca Raton.

Tireki S. (2008). Technology of cake production. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*. S. Gulum Summu and S. Sahin (eds.). CRC Press, Boca Raton

Yamamoto H., Worthington S.T. Hou G. & Ng. P.K.W. (1996). Rheological properties and baking qualities of selected soft wheats grown in the United States. *Cereal Chem*, 73, 215–221.

Βιβλιογραφία 2^ο Κεφαλαίου

Abegaz E.G., Mayhew D.A., Butchko H.H., Stargel W.W., Comer C.P. & Andress S.E. (2012). Aspartame in Alternative sweeteners. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.

Aminoff C., Vanninen E. & Doty T.E. (1978). The occurrence, manufacture and properties of xylitol. In *Xylitol*, J.N. Counsell (Ed.), pp 1–9.. London: Applied Science Publishers Ltd.

Anonymous. (1985). Report of the Scientific Committee for Food No. 16 - Sweeteners. Luxembourg: Commission of the European Communities.

Armstrong L.M., Luecke K.J. & Bell L.N. (2009). Consumer evaluation of bakery product flavour as affected by incorporating the prebiotic tagatose. *International Journal of Food Science & Technology*, 44, 815-819.

Arrigoni E., Brouns F. & Amado R. (2005). Human gut microbiota does not ferment erythritol. *Br J Nutr*, 94(5), 643–646.

Askar A., Abd El-Fadeel M.G., Sadek M.A., El Rakaybi A.M.A. & Mostafa G.A. (1987). Studies on the production of dietetic cake using sweeteners and sugar substitutes. *Dtsch Lebensm Rundschau*, 83, 389–394.

- Attia E-S.A., Shehata H.A. & Askar A. (1993). An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes. *Food Chemistry*, 48, 169-172.
- Auerbach M., Craig S. & Mitchell H. (2006). Bulking agents: Multifunctional ingredients. In *Sweeteners and sugar alternatives in Food Technology*. Mitchell H. (ed). Blackwell Publishing Ltd. India.
- Auerbach M.H., Locke G. & Hendrick M.E. (2012). Alitame in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Auerbach M.H., Mitchel H. & Moppett F.K. (2012). Polydextrose, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Ayya N. & Lawless V. (1992). Quantitative and qualitative evaluation of high intensity sweeteners and sweetener mixtures. *Chem Senses*, 17, 245–259.
- Baer R.J. & Baldwin K.A. (1984). Freezing points of bulking agents used in manufacture of low-calorie frozen desserts. *J Dairy Sci*, 67, 2860–2862.
- Baeva M.R., Panchev I.N. & Terzieva V.V. (2000). Comparative study of texture of normal and energy reduced sponge cakes. *Nahrung*, 44, 242–246.
- Baeva M.R., Terzieva V.V. & Panchev I.N. (2003). Structural development of sucrose-sweetened and sucrose-free sponge cakes during baking. *Nahrung/Food*, 47, 154-160.
- Bakal A.I. & O'Brien Nabors (2012). Saccharin in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Barndt R.L. & Antenucci R.N. (1993). Fat and calorie-modified bakery products. In R. Khan (Ed.), *Low calorie foods as food ingredients* (pp. 106e137). London: Blackie Academic and Professional.
- Barndt R.L. & Jackson G. (1990). Stability of sucralose in baked goods. *Food Technology*, 44(1), 62-66.
- Batterman C.K. & Lambert J. (1988). Synergistic sweetening composition. International Patent Publication WO88/08674: A.E. Staley Manufacturing Company.
- Batterman C.K., Augustine M.E. & Dial J.R. (1988). Sweetener Composition. US 4,737,368: A.E. Staley Manufacturing Company.
- Beck C.I. (1978). Application potential for aspartame in low calorie and dietetic foods. In *Low calorie and special dietary foods*, ed. B.K. Dwivedi, 59–114. West Palm Beach: CRC Press.

- Beereboom J.J. (1979). Low calorie bulking agents. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 11, 401–413.
- Beesley M.P. (1995). Sugar functionality review. *Food Technology International Europa*, 1, 87–89.
- Bertelsen H., Jensen B.B. & Buemann B. (1999). D-Tagatose – a novel low-calorie bulk sweetener with prebiotic properties. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 85, 98–109.
- Birasawa M., Takeuchi T., Ikeda T. (1988). Non-cariogenicity of erythritol as a substrate. *J Dent Res*, 67, 925.
- Bishay I.E. & Bursley R.G. (2012). Advantame in Alternative sweeteners. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Blankers I. (1995). Properties and applications of lacitol. *Food Technology* (January), 66, 68.
- Bollinger, H., and Steinhage, H. 1989. The production of low-calorie cereal extrudates. *Zucker- und Süßwaren Wirtschaft* 42(2):48–52.
- Bond M. & Dunning N. (2006). Sorbitol and Mannitol, in *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. Mitchell H. (ed.) Blackwell Publishing.
- Bornet F.R.J., Blayo A., Dauchy F., Slama G. (1996a). Plasma and urine kinetics of erythritol after oral ingestion by healthy humans. *Regul Toxicol Pharmacol*, 24, S280-5.
- Bornet F.R.J., Blayo A., Dauchy F., Slama G. (1996b). Gastrointestinal response and plasma and urine determinations in human subjects given erythritol. *Reg Toxicol Pharmacol*, 24, S296-302.
- Borrego F. (2012). Neohesperidin Dihydrochalcone in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Buck A.W. (2012). Crystalline Fructose, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Carakostas, M., Prakash, I., Kinghorn, A.D., Wu, C.D. & Soejarto, D.D. (2012). Steviol glycosides. In: *Alternative Sweeteners* (edited by L.O. Nabors) Pp. 159–176. Boca Raton: CRC Press.
- Carroll L.E. (1990). Polydextrose manufacturer expands production capacity. *Food Technology*, 47, 137–142.
- Carson J.F., Waisbrot S.W. & Jones F.T. (1943). A new form of crystalline xylitol. *J Am Chem Soc*, 65, 1777–1778.

- Chen H.L., Lu Y.H., Lin J.J. & Ko L.Y. (2001). Effects of isomaltooligosaccharides on bowel functions and indicators of nutritional status in constipated elderly men. *J Am Coll Nutr*, 20, 44-49.
- Cheng A.L., Pan T.M., Hung H.P. & Huang C.J. (2000). Intestinal microflora is improved by the feeding of an oligosaccharide containing soft drink in rats. *Nutr. Sci. J. (Taiwan)*, 25, 232-242.
- Coleman P.E. & Harbers C.A.Z. (1983). High fructose corn syrup: Replacement for sucrose in angel cake. *J. Food Sci*, 48, 452.
- Coulston A.M. & Johnson R.K. (2002). Sugar and sugars: Myths and realities. *J Am Diet Assoc*, 102(3), 351–353.
- Coussement P. & Franck A. (2001). Inulin and Oligofructose. In *Handbook of Dietary fiber*, Taylor & Francis Inc, New York.
- Coussement P.A.A. (1999). Inulin and oligofructose: Safe intakes and legal status. *Journal of Nutrition*, 1412S-1417S.
- Crapo P.A., Scarlett J.A., Kolterman O.G., Sanders L.R., Hofeldt F.D. & Olefsky J.M. (1982). The effects of oral fructose, sucrose, and glucose in subjects with reactive hypoglycemia. *Diabetes Care*, 5(5), 512–517.
- Cridland A. (1987). Developments in diabetic chocolate. *Confectionery Manufacturing and Marketing* 24(10).
- Cummings J.H. (1981). Short chain fatty acids in the human colon. *Gut*, 22, 763–779.
- Curley L.P. & Hosney R.C. (1984). Effects of corn sweeteners on cookie quality. *Cereal Chem*, 61, 274-278.
- de Cock P. (2012). Erythritol, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton
- Deis R. (1993). Low-calorie and bulking agents. *Food Technology* (December, 94).
- Dodson A.G. & Pepper T. (1985). Confectionery technology and the pros and cons of using non-sucrose sweeteners. *Fd Chem*, 16, 271–280.
- Doescher L.C. & Hosney R.C. (1985). Effect of sugar type and flour moisture on surface cracking of sugar-snap cookies. *Cereal Chem*, 62, 263-266.
- Dolan L.C., Potter S.M. & Burdock G.A. (2010). Evidence-based review on the effect of normal dietary consumption of fructose on development of hyperlipidemia and obesity in healthy, normal weight individuals. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 50(1), 53–84.

- Donner T., Wilber J.F. & Ostrowski D. (1999). D-tagatose, a novel hexose: Acute effects on carbohydrate tolerance in subjects with and without Type 2 diabetics. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 1(5), 285–291.
- Dorohovich A.H. & Polishchuk T .Y. (1989). *Cereal Products*, 11, 23–26.
- Drakoularakou A., Hasselwander O., Edinburgh M. & Ouwehand A.C. (2007). *Food science and technology bulletin. Functional Foods*, 3(7), 71–80.
- EC Regulation No 1333/2008 on food additives.
- EC Regulation No 1924/2006 on nutrition and health claims made on foods.
- EU Regulation No 1049/2012 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 as regards the use of polyglycitol syrup in several food categories.
- EU Regulation No 1129/2011 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 by establishing a Union list of food additives.
- EU Regulation No 1130/2011 amending Annex III to Regulation (EC) No 1333/2008 by establishing a Union list of food additives approved for use in food additives, food enzymes, food flavourings and nutrients.
- EU Regulation No 1131/2011 of 11 November 2011 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council with regard to steviol glycoside. *Official Journal of the European Union*, L 295/205 from 12.11.2011.
- EU Regulation No 1169/2011 on the provision of food information to consumers.
- Farnworth E.R. (2001). Probiotics and prebiotics. In: Wildman R, editor. *Handbook of nutraceuticals and functional foods*. Boca Raton, Fla.: CRC Press. p 407–22.
- Finney M., Smullen J., Foster H.A., Brokx S. & Storey D.M. (2007). Effects of low doses of lactitol on faecal microflora, pH, short chain fatty acids and gastrointestinal symptomology. *Eur J Nutr*, 46, 307–314.
- Flood M.T., Auerbach M.H. & Craig S.A.S. (2004). A Review of the Clinical Toleration Studies of Polydextrose in Food *Food Chem Toxicol*, 42, 1531–1542.
- Foerster H. (1978). Tolerance in the human adults and children. In Xylitol, J.N. Counsell (Ed.), pp. 43–66. London: Applied Science Publishers, Ltd.
- Frank R.A, Mize S.J. & Carter R. (1989). An assessment of binary mixture interactions for nine sweeteners. *Chem Senses*, 14, 621–632.

- Freeman T.M. (1982). Polydextrose for reduced calorie foods. *Cereal Foods World*, 27(10), 515–518.
- Fry J.C., Meyers B.I. & Mayhew D.A. (2012). Acesulfame-Aspartame in Alternative sweeteners. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Frye A.M. & Setser C.S. (1992). Optimising texture of reduced-calorie sponge cakes. *Cereal Chem*, 69, 338-343.
- Gallagher E., O'Brien C.M., Scannell A.G.M. & Arendt E.K. (2003). Evaluation of sugar replacers in short dough biscuit production. *Journal of Food Engineering*, 56, 261-263.
- Gerrits P.M. & Tsalikian E. (1993). Diabetes and fructose metabolism. *Am J Clin Nutr*, 58(Suppl), 796S–799S.
- Giesse J.H. (1993). Alternative sweeteners and bulking agents. *Food Technology*, (January), 114-115, 118, 120-122.
- Goossens J. & Röper H. (1994). Erythritol: a new sweetener. *Food Sci Technol Today*, 8(3), 144-9.
- Grabitske H.A. & Slavin J.L. (2009). Gastrointestinal effects of low-digestible carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49, 327–260.
- Grotz V.L., Molinary S., Peterson R.C., Quinlan M.E. & Reo R. (2012). Sucralose, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Ha V., Sievenpiper J.L., de Souza R.J., et al. (2012). Effect of fructose on blood pressure: a systematic review and meta-analysis of controlled feeding trials. *Hypertension*, 59, 787-795.
- Hamada S., Koga T., Fujiwara T. & Ooshima T. (1984). Role of oligosaccharides in dental caries development. *Jpn. Soc. Starch Sci*, 31, 83-91.
- Hess A. & Setser C.S. (1983). Alternative systems for sweetening layer cake using aspartame with and without fructose. *Cereal Chem*, 60, 337-341.
- Hicsasmaz Z., Yazgan Y., Bozoglu F. & Kaunas Z. (2003). Effect of polydextrose substitution on the cell structure of the high-ratio cake system. *Lebensmittel- Wissenschaft und Technologie*, 36(4), 441-450.
- Hiele M., Ghoois Y., Rutgeerts P. & Vantrappen G. (1993). Metabolism of erythritol in humans: Comparison with glucose and lactitol. *Br J Nutr*, 69, 169–176.

- Hobbs L. (1986). Corn syrups. *Cereal Foods World* 31(12): 852, 854, 856, 858.
- Homler B.E., Deis R.C. & Shazer W.H. (1991). Aspartame. In *Alternative sweeteners*, eds. L.O. Nabors and R.C. Gelardi, 39–69. New York: Marcel Dekker.
- Horn H.E. (1981). Corn sweeteners: Functional properties. *Cereal Foods World*, 26(5), 219-223.
- Hunt F., Bopp B.A. & Price P. (2012). Cyclamate in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Hyvonen L. (1981). Research report: Synergism between sweeteners. Helsinki, Finland: University of Helsinki.
- Ishikawa M., Miyashita M., Kawashima Y., Nakamura T., Saitou N. & Modderman J. (1996). Effects of oral administration of erythritol on patients with diabetes. *Regul Toxicol Pharmacol*, 24, S303–S308.
- Jaffe G.M. (1978). Xylitol—a specialty sweetener. *Sugar y Azucar*, 73, 36–42.
- Jamieson P.R. (2012). Sorbitol and Mannitol, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). (2008). Evaluation on steviol glycosides. <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=267>
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). (1990a). Evaluation on sucralose. <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=2340>
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). (1990b). Evaluation on acesulfame potassium. <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=926>
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). (1981). Evaluation on aspartame. <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=62>
- Johnson J.M. & Harris C.H. (1989). Effects of acidulants in controlling browning in cakes prepared with 100% High-Fructose Corn Syrup or Sucrose. *Cereal Chemistry*, 66, 158-161.
- Kamel B.S. & Rasper V.F. (1988). Effects of emulsifiers, sorbitol, polydextrose, and crystalline cellulose on the texture of reduced calorie cakes. *Journal of Texture Studies*, 19, 307–320.

- Kanno T. (1990). Some functional properties of so-called isomaltooligosaccharides and their applications to food industry. *J. Jpn. Soc. Starch Sci*, 37, 87-97.
- Kearsley M.W. & Boghani N. (2012). Maltitol, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Kearsley M.W. & Deis R.C. (2006a). Maltitol and Maltitol Syrups, in *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. Mitchell H. (ed.) Blackwell Publishing.
- Kearsley M.W. & Deis R.C. (2006b). Sorbitol and Mannitol, in *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. Mitchell H. (ed.) Blackwell Publishing.
- Kim J-N.A., Park S. & Shin W-S. (2014). Textural and sensory characteristics of rice chiffon cake formulated with sugar alcohols instead of sucrose. *Journal of Food Quality*, 37, 281-290.
- Kleinberg I. (1995). Oral effects of sugars and sweeteners. *Int Dent J*, 35, 180–189.
- Klug C. & von Rymon Lipinski G-W. (2012). Acesulfame Potassium in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Klug C., von Rymon Lipinski G.-W. & Boettger D. (1992). Baking stability of acesulfame K. *Z Lebensm Unters Forsch*, 194(5), 476–478.
- Knight I. (1994). The development and applications of sucralose, a new high-intensity sweetener. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 72, 435-439.
- Kocer D., Hicsazmaz Z., Bayindirli A. & Katnas S. (2007). Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. *Journal of Food Engineering*, 78, 953-964.
- Koepsel K.M. & Hosney R.C. (1980). Effect of corn syrup in layer cakes. *Cereal Chem*, 57, 49-53.
- Kohmoto S, Fukui F, Takaku H, Machida Y, Arai M & Mitsuoka T. (1988). Effect of isomaltooligosaccharides on human fecal flora. *Bifidobact. Microflora*, 7, 61-69.
- Kohmoto T., Fukui F., Takaku H. & Suoka T. (1991). Dose-response test of isomaltooligosaccharides for increasing fecal bifidobacteria. *Agric. Biol. Chem*, 55, 2157- 2159.

- Kolarov K.M., Garcheva T.V., Popov G.I. (1989). Physical Characteristics of Raw Materials, Incooked and Ready-made Food Products, Zemizdat, Sofia.
- Kulp K., Lorenz K. & Stone M. (1991). Functionality of carbohydrate ingredients in bakery products. *Food Technology*, (March), 136–142.
- Kulthe A.A., Pawar V.D., Kotecha P.M., Chavan U.D. & Bansode V.V. (2014). Development of high protein and low calorie cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 153–157.
- Laguna L., Primo-Martin C., Salvador A. & Sanz T. (2013). Inulin and erythritol as sucrose replacers in short-dough cookies: Sensory, fracture and acoustic properties. *Journal of Food Science*, 78, S777-S784.
- Laguna L., Vallons K.J.R., Jurgens A. & Sanz T. (2013). Understanding the effect of sugar and sugar replacement in short dough biscuits. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 3143-3154.
- Lai H.M. & Lin T.C. (2006). Bakery products: Science and Technology. In: *Bakery products: Science and Technology*. Hui Y.H. (ed). Blackwell Publishing, USA.
- Lee C.K. (1977). Structural functions of taste in the sugar series: Taste properties of sugar alcohols and related compounds. *Fd Chem*, 2, 95–105.
- Lee C-C., Wang H-F. & Sheng-Dun L. (2008). Effect of isomaltooligosaccharide syrup on quality characteristics of sponge cake. *Cereal Chemistry*.
- Lim H., Setser C.S. & Kim S.S. (1989). Sensory studies of high potency multiple sweetener systems for shortbread cookies with and without polydextrose. *J Food Sci*, 54(3), 625–628.
- Lin S.D., Lim P.S., Wang H.F. & Hsiao C.C. (2005). Effects of isomaltooligosaccharide chiffon cake on serum biochemical parameters, constipation, and fecal putrefactive metabolites in hyperlipidemic subjects. *Nutr. Sci. J. (Taiwan)*, 30, 108-115.
- Lin S-D., Hwang C-F. & Yeh C-H. (2003). Physical and sensory characteristics of chiffon cake prepared with erythritol as replacement for sucrose. *Journal of Food Science*, 68, 2107-2110.
- Liu S.F. & Tsai C.M.E. (1995). Effects of biotechnically synthesized oligosaccharide and polydextrose on serum lipids in the human. *Nutr. Sci. J. (Taiwan)*, 20, 1-12.

- Liu S.F., Ling Y.S. & Tsai C.M.E. (1994). Biotechnically synthesized oligosaccharides and polydextrose reduce constipation and putrefactive metabolites in the human. *Nutr. Sci. J. (Taiwan)*, 19, 221-232.
- Livesey G. (2001). Tolerance of low digestible carbohydrates – a general view. *British Journal of Nutrition*, 85(Suppl. 1), S7–S16.
- Livesey G. (2009). Fructose ingestion: Dose-dependent responses in health research. *J Nutr*, 139(6), 1246S–1252S.
- Loesche W.J. (1985). The rationale for caries prevention through the use of sugar substitutes. *Int Dent J*, 35, 1–8.
- Lotz A., Klug C. & von Rymon Lipinski G-W. (1992). Stability of acesulfame K during high temperature processing under conditions relevant for dairy products. *Z Lebensmitteltechnol Verfahrenst*, 43(5), EFS 21–23.
- Mäkinen K.K. & Scheinin A. (1975). Turku sugar studies VI. The administration of the trial and the control of the dietary regimen. *Acta Odontol Scand*, 33, 105–127.
- Mäkinen K.K. & Söderling E. (1980). A quantitative study of mannitol, sorbitol, xylitol, and xylose in wild berries and commercial fruits. *J Food Sci*, 45, 367–374.
- Mäkinen K.K., Bennett C.A., Hujoel P.P., Isokangas P.J., Isotupa K., Pape H.R. & Mäkinen P.L. (1995). Xylitol chewing gums and caries rate: A 40-month cohort study. *J Dent Res*, 74, 1904–1913.
- Mäkinen K.K., Hujoel P.P., Bennett C.A., Isotupa K.P., Mäkinen P.L. & Allen P. (1996). Polyol chewing gums and caries rates in primary dentition: A 24-month cohort study. *Caries Res*, 30, 408–417.
- Manisha G., Soumya C. & Indrani D. (2012). Studies in interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. *Food Hydrocolloids*, 29, 363-373.
- Manohar R.S. & Rao Haridas P. (1997). Effect of sugars on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of Biscuits. *J Sci Food Agric*, 75, 383-390.
- Mariotti M. & Alamprese C. (2012). About the use of different sweeteners in baked goods. Influence on the mechanical and rheological properties of the doughs. *LWT-Food Science and Technology*, 48, 9-15.
- Martinez-Cervera S., de la Hera E., Sanz T., Gomez M. & Salvador A. (2012a). Effect of using erythritol as a sucrose replacer in making Spanish

- muffins incorporating xanthan gum. *Food Bioprocess Technology*, 5, 3203-3216.
- Martinez-Cervera S., Salvador A. & Sanz T. (2014). Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: Thermal, rheological, texture and acceptability properties. *Food Hydrocolloids*, 35, 1-8.
- Martinez-Cervera S., Sanz T., Salvador A. & Fiszman S.M. (2012b). Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose/polydextrose. *LWT-Food Science and Technology*, 45, 213-220.
- Marx J.T., Marx B.D. & Johnson J.M. (1990). High-fructose corn syrup cakes made with all-purpose flour or cake flour. *Cereal Chemistry*, 67, 502-504.
- Mayhew D.A., Meyers B.I., Stargel W.W., Comer C.P. Andress S.E. & Butchko H.H. (2012). Neotame in Alternative sweeteners. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Mazur R.H. (1974). Aspartic acid-based sweeteners In Symposium: Sweeteners, ed. G.E. Inglett. Westport: AVI Publishing.
- Mazur R.H., Schlatter J., & Goldkamp A.H. (1969). Structure-taste relationships of some dipeptides. *J Am Chem Soc*, 91, 2684–2691.
- McCullough M.A.P., Johnson J.M., Phillips J.A. (1986). High fructose corn syrup replacement for sucrose in shorten cakes. *J Food Sci*, 51, 536-7.
- Melanson K.J., Zukley L., Lowndes J., Nguyen V., Angelopoulos T.J. & Rippe J.M. (2007). Effects of high-fructose corn syrup and sucrose consumption on circulating glucose, insulin, leptin, and ghrelin and on appetite in normal-weight women. *Nutrition*, 23(2), 103–112.
- Meyer S. (2000). Taste interactions—adjusting sweeteners to flavours. *World Food Ingred*, 12, 38–40.
- Meyer S. (2001). Custom-tailored sweetness for fruit flavours. *Soft Drinks Intl*, 9, 38–40.
- Miller A.R. (1985). The use of a penetrometer to measure the consistency of short doughs. In: *Rheology of Wheat Products*, ed Faridi H. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, USA, pp 117-132.
- Molinary S.V. & Quinlan M.E. (2006). Sucralose In: *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology* (edited by H. Mitchell). Pp. 262–294. Oxford, UK: Blackwell Publishing.

- Munro I.C., Bernt W.O., Borzelleca J.F., Flamm G., Lynch B.S., Kennepohl E., Bär A., Modderman J. (1998). Erythritol: an interpretive summary of biochemical, metabolic, toxicological and clinical data. *Food Chem Toxicol*, 36, 1139-74.
- Munton S.L. & Birch G.G. (1985). Accession of sweet stimuli to receptors. I. Absolute dominance of one molecular species in binary mixtures. *J Theor Biol*, 112, 539–551.
- Ngo W.H. & Taranto M.V. (1986). Effect of sucrose level on the rheological properties of cake batters. *Cereal Foods World*, 31, 317– 322.
- Niness K.R. (1999). Inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, 129, 1402S-1406S.
- Nip W-K. (2006) Sweeteners. In: *Bakery products: Science and Technology*. Hui Y.H. (ed). Blackwell Publishing, USA
- Noda K., Nakayama K., Oku T. (1994). Serum glucose and insulin levels and erythritol balance after oral administration of erythritol in healthy subjects. *Eur J Clin Nutr*, 48, 286-92.
- Oku T. & Noda K. (1990). Influence of chronic ingestion of newly developed sweetener, erythritol on growth and gastrointestinal function of the rats. *Nutr Res*, 10, 987-96.
- Olewnik M.C. & Kulp K. (1984). The effect of mixing time and ingredient variation on fraginograms of cookie doughs. *Cereal Chem*, 61, 532-537.
- Olinger P.M. (1994). New options for sucrose free chocolate. *The Manufacturing Confectioner*, 74, 77-84.
- Pateras IMC and Rosenthal AJ, Effects of sucrose replacement by polydextrose on the mechanism of structure formation in high ratio cakes. *Int J Food Sci Nutr* 43:25–30 (1992).
- Pateras I.M.C., Howells K.F., & Rosenthal A.J. (1994). Hot stage microscopy of cake batter bubbles during simulated baking: Sucrose replacement by polydextrose. *Journal of Food Science*, 59, 168–178.
- Paton D., Larocque G.M. & Holme J. (1981). Development of cake structure: Influence of ingredients on the measurement of cohesive force during baking. *Cereal Chem*, 58, 527-529.
- Pepper T. & Olinger P.M. (1988). Xylitol in sugar-free confections. *Food Techn* 42:98–106.
- Pepper T. (1987). Sugar substitutes, their use in chocolate and chocolate fillings. *Manuf Conf*, 67(6), 83, 1987.

- Perko R. & De Cock P. (2006). Erythritol, in *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. Mitchell H. (ed.) Blackwell Publishing.
- Pong L., Johnson J.M., Barbeau W.E. & Stewart D.L. (1991). Evaluation of alternative fat and sweetener systems in cupcakes. *Cereal Chemistry*, 68, 552-555.
- Prakash, I., DuBois, G.E., Clos, J.F., Wilkens, K.L., and Fosdick, L.E. 2008. Development of rebiana, a natural, non-caloric sweetener. *Food Chem Toxicol* 46:S75–S82.
- Redlinger P.A. & Setser C.S. (1987). Sensory quality of selected sweeteners: unbaked and baked flour doughs. *Journal of Food Science*, 52, 5, 1391-1393.
- Ribeiro C., Zimeri J-E., Yildiz E., Kokini J.L. (2003) Estimation of effective diffusivities and glass transition temperature of polydextrose as a function of moisture content. *Carbohydrate Polymers*, 51(3), 273–280
- Ripper A., Homler B.E., Miller G.A. (1986). Aspartame. In: Nabors LO, Gelardi RC, editors. *Alternative Sweeteners*. New York: Marcel Dekker, Inc. Pp. 43-70.
- Roberfroid M. & Slavin J. (2000). Nondigestible oligosaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(6), 461-480.
- Roberts, A., and Renwick, A.G. 2008. Comparative toxicokinetics and metabolism of rebaudioside A, stevioside and steviol in rats. *Food Chem Toxicol* 46(Suppl. 7S):S31–S39.
- Ronda F., Gomez M., Blanco C.A. & Caballero P.A. (2005). Effects of polyols and non digestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90, 549-555.
- Rosenthal A.J. (1995). Application of aged egg in enabling increased substitution of sucrose by litesse (polydextrose) in high-ratio cakes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68, 127-131.
- Saelzer K. (2004). New customised sweetening systems for tea and coffee. *Innovations in Food Technology*, 2, 2–3.
- Salyers A.A. & Leedle J.A.Z. (1983). Carbohydrate metabolism in the human colon. In *Human Intestinal Flora in Health and Disease*, D.J. Hentges (Ed.), pp. 129–146. New York: Academic Press.
- Savitha Y.S., Indrani D. & Prakash J. (2008). Effect of replacement of sugar with sucralose and maltodextrin on rheological characteristics of wheat

flour dough and quality of soft dough biscuits. *Journal of Texture Studies*, 39, 605-616.

Schiffman S.S., Booth B.J, Losee M.L., Pecoreand S.D. & Warwick Z.S. (1995). Bitterness of sweeteners as a function of concentration. *Brain Res Bull*, 36(5), 505–513.

Schiffman S.S., Sattely-Miller E.A., Graham B.G., Zervakis J., Butchko H.H., & Stargel W.W. (2003). Effect of repeated presentation on sweetness intensity of binary and ternary mixtures of sweeteners. *Chem Senses*, 28(3), 219–229.

Sentko A. & Bernard J. (2012). Isomalt, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.

Shindou T., Sasaki Y., Miki H., Eguchi T., Hagiwara K., Ichikawa T. (1988). Determination of erythritol in fermented foods by high-performance liquid chromatography. *J Food Hyg Soc Jap*, 29, 419-22.

Shirmer M., Jekle M., Arendt E. & Becker T. (2012). Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake. *Food Research International*, 48, 291-298.

Shukla T.P. (1995). Problems in fat-free and sugarless baking. *Cereal Food World*, 40(March), 159–160.

Sicard P.J. & Le Bot Y. (1988). From Lycasin to Crystalline Maltitol: A new series of versatile sweeteners. Presented at the International Conference on Sweeteners – Carbohydrate and Low Calorie, September 22–25. Los Angeles, California: Sponsored by the American Chemical Society.

Sicard P.J. & Le Bot Y. (1994). Manufacturing opportunities with non-sugar sweeteners. In: Rugg-Gunn AJ (ed.) *Sugarless-towards the year 2000*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Sievenpiper J.L., de Souza R.J., Mirrahimi A., et al. (2012). Effect of fructose on body weight in controlled feeding trials: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Internal Medicine*, 156(4), 291-304.

Sigman-Grant M. & Jorita J. (2003). Defining and interpreting intakes of sugars. *Am J Clin Nutr*, 78(4), 815S–826S.

Silbernagel G., Machann J., Unmuth S., et al. (2011). Effects of 4-week very-high-fructose/glucose diets on insulin sensitivity, visceral fat and intrahepatic lipids: an exploratory trial. *British Journal of Nutrition* 106, 79-86.

- Skytte U.P. (2006). Tagatose. In: *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology* (edited by H. Mitchell). Pp. 262–294. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Slade L. & Levine H. (1994) Structure, function relationships of cookie and cracker ingredients. In: *The Science of Cookie and Cracker Production*, ed Faridi H. Chapman and Hall, New York, USA, pp 23-141.
- Spies R.D. & Hosney R.C. (1982). Effect of sugar on starch gelatinization. *Cereal Chemistry*, 59, 128–131.
- Splieth, D.H., Alkilzy, M., Schmitt, J., Berndt, C., and Welk, A. 2009. Effect of xylitol and sorbitol in plaque acidogenesis. *Quintessence International* (40)4, April.
- Sponholz W.R. & Dittrich H.H. (1985). Sugar alcohols and myo-inositol in wines and sherries. *Vitis* 24:97-105.
- Stauffer C.E. (1990). *Functional additives for bakery foods*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Stowell J.D. (2009). Polydextrose. In *Fiber Ingredients. Food applications and health benefits*. Cho S.S.& Samuel P. (eds). CRC Press Taylor & Francis Inc, New York.
- Sun Q., Xing Y. & Xiong L. (2014). Effect of xylitol on wheat dough properties and bread characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 1159-1167.
- Tappy L. & Le K.A. (2010). Metabolic effects of fructose and the worldwide increase in obesity. *Physiol Rev*, 90, 23-46.
- Taylor T.P., Fasina O. & Bell L.N. (2008). Physical properties and consumer liking of cookies prepared by replacing sucrose with tagatose. *Journal of Food Science*, 73, S145-S151.
- Tetzloff W., Dauchy F., Medimagh S., Carr D., Bär A. (1996). Tolerance to subchronic, high-dose ingestion of erythritol in human volunteers. *Regul Toxicol Pharmacol*, 24, S286-95.
- Til H.P., Kuper C.F., Falke H.E., Bär A. (1996). Subchronic oral toxicity studies with erythritol in mice and rats. *Regul Toxicol Pharmacol*, 24, S221-31.
- Torres A. & Thomas R.D. (1980). Polydextrose and its applications in foods. *Food Technol*, 47, 44.
- Torres A., & Thomas, R. D. (1981). Polydextrose and its applications in food. *Food Technology*, 35(7), 44-49.

- Van Tournout P., Pelgroms J. & Van der Meer J. (1985). Sweetness evaluation of mixtures of fructose with saccharin, aspartame or acesulfame K. *J Food Sci*, 50, 469.
- Varo P., Westermarck-Rosendahl C., Hyvoenen L. & Koivistoinen P. (1979). The baking behavior of different sugars and sugar alcohols as determined by high pressure liquid chromatography. *Lebensm. Wiss Technol*, 12, 153–156.
- Vastenavond C.M., Bertelsen H., Hansen S.J., Laursen R.S., Saunders J. & Eriknaer K. (2012). Tagatose, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Vercauteren R.L.M. (2008). Reducing the sensory cooling effect of polyols. PCT patent application WO 2008/125344 A1.
- Vetter J.L., Bright H., Utt Mn. & McMaster G. (1984) Cookie formulating : sugar, mixing affect specific gravity, spread. *Baker's Digest* 58 6, 7, 9.
- von Rymon Lipinski, G.-W. (1985). The new intense sweetener Acesulfame K. *Food Chem* 16:259–269.
- Wang D.D., Sievenpiper J.L, de Souza R.J. et al. (2014). Effect of fructose on postprandial triglycerides: A systematic review and meta-analysis of controlled feeding trials. *Atherosclerosis*, 232, 125-133.
- Wang H.F., Lim P.S., Kao M.D., Chan E.C., Lin L.C., & Wang N.P. (2001). Use of isomaltooligosaccharide in the treatment of lipid profiles and constipation in hemodialysis patients. *J. Renal Nutr.*, 11, 73-79.
- Wetzel C.R. & Bell L.N. (1998). Chemical stability of encapsulated aspartame in cakes without added sugar. *Food Chemistry*, 63, 33-37.
- Wetzel C.R., Weese J.O. & Bell L.N. (1997). Sensory evaluation of no-sugar-added cakes containing encapsulated aspartame. *Food Research International*, 30, 395-399.
- White J.S. (2012). Crystalline Fructose, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.
- Wiedmann M., & Jager M. (1997). Innovative sweetening systems: Synergies, functional and health benefits. *Food Ingred Anal Intl* 12, 51–56.
- Wijnman C.F., van Velthuijsen J.A., & van den Berg H. (1983). Lactitol monohydrate and a method for the production of crystalline lactitol. *European Patent* 39981.
- Winkelhausen E., Jovanovic-Malinovska R., Velickova E. & Kuzmanova S. (2007). Sensory and microbiological quality of a baked product containing

xylitol as an alternative sweetener. *International Journal of Food Properties*, 10, 639–649.

Yoshida H., Sugahara T., Hayashi J. (1984). Studies on free sugars and free sugar alcohols of mushrooms. *J Jpn Soc Food Sci Technol*, 31, 765-71.

Young H. (2006). Lactitol, in *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. Mitchell H. (ed.) Blackwell Publishing.

Zacharis C & Stwell J (2012). Xylitol, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.

Zacharis C. & Srowell J. (2012). Lactitol, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.

Zahn S., Forker A., Krugel L. & Rohm H. (2013). Combined use of rebaudioside A and fibres for partial sucrose replacement in muffins. *LWT-Food Science and Technology*, 50, 695-701.

Zoulias E., Oreopoulou V. & Kounalaki E. (2002). Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1637–1644.

Zoulias E.I., Piknis S. & Oreopoulou V. (2000). Effect of sugar replacement by polyols and acesulfame-K on properties of low fat cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 2049–2056.

Zumbe A., Lee A. & Storey D. (2001). Polyols in confectionery. *British Journal of Nutrition*, 85, S31-S45.

Ελληνικός Κώδικας Τροφίμων & Ποτών. (2010). Άρθρο 68: Γλυκαντικά Τροφίμων. <http://www.gcsf.gr/media/trofima/68-iss2.pdf>

Ελληνικός Κώδικας Τροφίμων & Ποτών. (2011). Άρθρο 114: Διάφορα αρτοποιήματα. <http://www.gcsf.gr/media/trofima/114-iss3.pdf>

Βιβλιογραφία 3^ο Κεφαλαίου

Abrams S.A., Griffin I.J., Hawthorne K.M. et al. (2005). A combination of prebiotic short and long chain inulin type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*, 82, 471-476.

Acosta K., Cavender G. & Kerr W.L. (2011). Sensory and physical properties of muffins made with waxy whole wheat flour. *Journal of Food Quality*, 34, 343-351.

ADA. (2008). Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. *J Am Diet Assoc*, 108, 1716-1731.

- Alles M.S., Hautvast J.C.A., Nagengast F.M., Hartemink R., Van Laere K.M.J. & Jansen J.B.M. (1996). Fate of fructo-oligosaccharides in the human intestine, *British Journal of Nutrition*, 76, 211-221.
- Almeida E.L, Chang Y.K. & Steel C.J. (2013). Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. *LWT- Food Science and Technology*, 50, 545-553.
- American Association of Cereal Chemists. (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46, 112-129.
- Anderson J.W., Allgood L.D., Turner J., Oeltgen P.R., Daggy B.P. (1999). Effects of psyllium on glucose and serum lipid responses in men with type 2 diabetes and hypercholesterolemia. *Am J Clin Nutr*, 70, 466-473.
- Anderson J.W., Baird P., Davis R.H., Ferreri S., Knudson M., Koraym A., et al. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutr Rev*, 67, 188-205.
- Ang J.F. & Miller W.B. (1991). Multiple functions of powdered cellulose as a food ingredient. *Cereal Foods World*, 36, 558-564.
- Arora A. & Camire M.E. (1994). Performance of Potato Peels in Muffins and Cookies. *Food Res. Int* 27(1), 15-22.
- Ayadi M.A., Abdelmaksoud M., Ennouri M. & Attia H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30, 40-47.
- Bazzano L.A., He J., Ogden L.G., Loria C.M., Whelton P.K. (2003). Dietary fiber intake and reduced risk of coronary heart disease in US men and women: The National Health and Nutrition Examination Survey I Epidemiologic Follow-up Study. *Arch Intern Med.*;163:1897-1904.
- Behall KM, Schofield DJ, Hallfrisch JG, Liljeberg-Elmstahl HG. (2006). Consumption of both resistant starch and beta-glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women. *Diabetes Care*, 29, 976-981.
- Beylot M. (2005). Effects of inulin-type fructans on lipid metabolism in man and animal models. *British Journal of Nutrition*, 93, S163-S168.
- Boehm G., Lidersti M., Gasetta P., Jelinek J., Negretti F., Stahl B., et al. (2002). Supplementation of a bovine milk formula with an oligosaccharide mixture increases counts of faecal bifidobacteria in preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 86, F178-F181.
- Bollinger H. (1995). Wheat fiber gel in the food industry. *Food Marketing and Technology*, October 4–6.

- Bouhnik Y., Flourie B., Riottot M., Bisetti N., Gailing M. And Guibert A. (1996). Effects of fructo-oligosaccharides ingestion on fecal bifidobacteria and selected metabolic indexes of colon carcinogenesis in healthy humans. *Nutrition and Cancer*, 26, 21-29.
- Brennan C.S. & Samyue E. (2004). Evaluation of starch degradation and textural characteristics of dietary fiber enriched biscuits. *International Journal of Food Properties*, 7, 647-657.
- Brennan C.S., Kuri V. & Tudorica C.M. (2004). Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86, 189-193.
- Brown L, Rosner B, Willet W.W. & Sacks F.M. (1999). Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr*, 69, 30-42.
- Burke V., Hodgson J.M., Beilin L.J., et al. (2001). Dietary protein and soluble fiber reduce ambulatory blood pressure in treated hypertensives. *Hypertension*, 38, 821–826.
- Carabin I.G. & Flamm W.G. (1999). Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 30, 268-282.
- Carpiles V.D. & Areas J.A.G. (2013). Effect of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycemic response of gluten-free breads *Food & Function*, 4, 104-110.
- Carpiles V.D., Soares R.A.M., Pinto e Silva M.E.M. & Areas J.A.G. (2009). Effect of fructans-based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1895-1901.
- Chantaro P, Devahastin S & Chiewchan N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. *LWT- Food Science and Technology*, 41, 1987-1994.
- Chau C-F & Chen C-H. (2006). Effects of two pomace insoluble fibers on the activities of faecal bacterial enzymes and intestinal health. *Eur Food Res Technol*, 222, 681-685.
- Chau C-F, Chen C-H. & Lee M-H. (2004). Comparison of the characteristics, functional properties, and in vitro hypoglycaemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fractions. *Lebensm.-Wiss. u-Technol*, 37, 155-160.

- Chau C.F., Huang Y.L. & Lin C.Y. (2004). Investigation of the cholesterol-lowering action of insoluble fibre derived from the peel of *Citrus sinensis* L. cv. Liucheng. *Food Chemistry*, 87(3), 361–366.
- Chen H Rubenthaler G.L., Leung H.K. & Baranowski J.D. (1988). Chemical. Physical and baking properties of apple fiber compared with wheat and oat bran. *Cereal Chem*, 65, 244-247.
- Cherbut C. (2002). Inulin and oligofructose in the dietary fibre concept. *British Journal of Nutrition*, 87 (Suppl 2), S159-S162.
- Cho S.S. & Prosky L. (1999). Application of complex carbohydrates to food product fat mimetics. In S.S. Cho, L. Prosky and M. Dreher (eds), *Complex Carbohydrates in Foods*, New York, Marcel Dekker.
- Cho S.S. & Clark C. (2001). Psyllium: Food applications, efficacy, and safety. In *Handbook of Dietary fiber*, Taylor & Francis Inc, New York.
- Clegg S.M. (1996). The use of hydrocolloid gums as fat mimetics. In: *Handbook of fat replacers*. Roller S & Jones SA.. CRC Taylor & Francis, Boca Raton.
- Codex Committee on nutrition and foods for special dietary uses, Thirty first session, Düsseldorf, Germany, 2–6 November 2009
- Commission Directive 2008/100/EC of 28 October 2008 amending Council Directive 90/496/EEC on nutrition labelling for foodstuffs as regards recommended daily allowances, energy conversion factors and definitions. OJ L 285/9 29.10.2008. Available from: lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=ZJ:L:2008:285:0009:0012:EN:PDF.
- Correa MJ, Perez GT & Ferrero C. (2011). Pectins as breadmaking additives: effects on dough rheology and bread quality. *Food Bioprocess Technology*, doi 10.1007/s11947-011-0631-6.
- Coudray C., Bellanger J., Castiglia-Delavaud C., Remesy C., Vermodel M. & Rayssiguier Y. (1997). Effect of soluble or partly soluble dietary fibers supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *Eur. J. Clin. Nutr*, 51, 375-380.
- Coussement P. & Franck A. (2001). Inulin and Oligofructose. In *Handbook of Dietary fiber*, Taylor & Francis Inc, New York.
- Coussement P.A.A. (1999). Inulin and oligofructose: Safe intakes and legal status. *Journal of Nutrition*, 1412S-1417S.

- Craig S.A.S., Holden J.F., Troup J.P., Auerbach M.H. & Frier H. (1999). Polydextrose as soluble fiber and complex carbohydrate. In S.S. Cho, L. Prosky and M. Dreher (eds), pp. 229–48, *Complex Carbohydrates in Foods*, New York, Marcel Dekker,
- Cummings J.H., Bingham S.A., Heaton K.W., Eastwood M.A. (1992). Fecal weight, colon cancer risk and dietary intake of non-starch polysaccharides (dietary fiber). *Gastroenterology*, 104, 1783-1789.
- Daas P.J.H., Boxma B., Hopman A.M.C.P., Voragen A.G.J. & Schols H.A. (2001). Nonesterified galacturonic acid sequence homology of pectins. *Biopolymers*, 58, 1-8.
- Davidson M.H., Maki K.C., 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.
- De Deckere E.A.M. & Verschuren P.M. (2000). Functional fats and spreads. In: *Functional Foods, Concept to product*. Gibson GR & Williams CM (Eds). CRC Press, Cambridge, England.
- De la Hera E., Ruiz-Paris E., Oliete B. & Gomez M. (2012). Studies on the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *LWT-Food Science and Technology*, 49, 48-54.
- De Vries J.A., Rombouts F.M., Voragen A.G.J., & Pilnik W. (1982). Enzymic degradation of apple pectins. *Carbohydr. Polym.* 2, 25.
- DeFouw C., Zabik M.E., Uebersax M.A., Aguilera J.M. & Lusas. (1982). Use of unheated and heat-treated navy bean hulls as a source of dietary fiber in Spice-flavored layer cakes. *Cereal Chemistry*, 59, 229-230.
- Delzenne N. & Roberfroid M. (1994). Physiological effects of non digestible oligosaccharides. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 27, 1-6.
- Den Hond E., Geypens B. & Ghoo Y. (2000). Effect of high performance chicory inulin on constipation. *Nutrition Research*, 20, 731-736.
- Dikeman C.L. & Fahey Jr G.C. (2007). Viscosity as related to dietary fiber: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46: 649-663
- Dreher M. (1999). Food sources and uses of dietary fiber In *Complex Carbohydrates in Food*, Marcel Dekker Inc, New York.
- EC Regulation No 1924/2006 on nutrition and health claims made on foods.
- Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C. & Attia H. (2011). Dietary fiber and fiber-rich by-products of food processing:

Characterization, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124, 411-421.

Endress H.U. & Mattes F. (2009). Pectin. In *Fiber Ingredients. Food applications and health benefits*. Cho S.S.& Samuel P. (eds). CRC Press Taylor & Francis Inc, New York.

Femenia A., Lefebvre A.-C., Theabaudin J.-Y., Robertson J.A., & Bourgeois C.-M. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fibre. *Journal of Food Science*, 62, 635-639.

Fernandez M.L. (2001). Pectin: Composition, chemistry, physicochemical properties, Food applications, and physiological effects. In *Handbook of Dietary fiber*, Taylor & Francis Inc, New York

Fernando F., Hurtado M.L., Estevez A.M., Chiffelle I. & Asenjo F. (2005). Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. *Food Chem*, 395-401.

Flamm G., Glinsmann W., Kritchevsky D., Porsky L. & Roberfroid M. (2001). Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41, 353-362.

Flerry N. & Lahaye M. (1991). Chemical and physico-chemical characterization of fibres from *Lamiaria digitata* (Kombu Breton): A physiological approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 55, 389-401.

Franck A. & Bosscher D. (2009). Inulin. In: *Fiber Ingredients. Food Applications and health benefits*. Susan Sungsoo Cho & Priscilla Samuel (Eds). CRC Taylor & Francis, Boca Raton.

Franck A. & Bosscher D. (2009). Pectins: structure, functionality and uses. In: *Fiber Ingredients. Food Applications and health benefits*. Susan Sungsoo Cho & Priscilla Samuel (Eds). CRC Taylor & Francis, Boca Raton.

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

Franck A. (2006). Inulin. In: *Food polysaccharides and their applications*. Stephen AM, Phillips GO & Williams PA (Eds). CRC Taylor & Francis, Boca Raton.

Fung T.T., Hu F.B., Pereira M.A., Liu S., Stampfer M.J., Colditz G.A. et al., (2002). Whole grain intake and the risk of type 2 diabetes: a prospective study in men. *Am J Clin Nutr*, 76, 535-540.

- Galisteo M., Duarte J. & Zarzuelo A. (2008). Effects of dietary fibers on disturbances clustered in the metabolic syndrome. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 19, 71-84.
- Gibson G.R. (2000). Dietary modulation of the human gut microflora using the prebiotic inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, 129 (Suppl 7S), 1438S-1441S.
- Gibson G.R., Mc cartney A.L. & Rastall R.A. (2005). Prebiotics and resistance to gastrointestinal infections. *British Journal of Nutrition*, 93, S31-S34.
- Gomez M., Doyague M.J. & de la Hera E. (2012). Addition of pin-milled pea flour and ir-classified fractions in layer and sponge cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 46, 142-147.
- Gomez M., Manchon L., Oliete B., Ruiz E. & Caballero P.A. (2010b). Adequacy of wholegrain non-wheat flours for layer cake elaboration. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 507-513.
- Gomez M., Moraleja A., Oliete B., Ruiz E. & Caballero P.A. (2010a). Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 33-38.
- Gomez M., Oliete B., Rosell C.M., Pando V. & Fernandez E. (2008). Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *LWT- Food Science and Tecnology*, 41, 1701-1709.
- Gomez M., Ronda F., Caballero P.A., Blanco C.A. & Rosell C.M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf life of Bellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21, 167-173.
- Grabitske H.A. & Slavin J.L. (2009). Gastrointestinal effects of lowdigestible carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49, 327–360.
- Grigelmo-Miguel N. & Martina-Belloso O. (1999). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*, 131, 355-361.
- Grigelmo-Miguel N., Carreras-Boladeras E. & Martin-Belloso O. (1999). Development of high-fruit-dietary-fiber muffins. *European Food Research and Technology*, 210, 123–128.
- Grigelmo-Miguel N. & Marti´n-Belloso O. (1999b). Influence of fruit dietary fibre addition on physical and sensorial properties of strawberry jams. *Journal of Food Engineering*, 41, 13–21.

- Grigelmo-Miguel N. & Marti'n-Belloso O. (2000). The quality of peach jams stabilized with dietary fiber. *European Food Research and Technology*, 211, 336–341.
- Guillon F., Champ M. & Thibault J.F. (2000). Dietary fibre functional products. In: *Functional Foods, Concept to product*. Gibson GR & Williams CM (Eds). CRC Press, Cambridge, England.
- Guillon F. and Champ M. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33, 233-245.
- Gularte M.A., de la Hera E., Gomez M. & Rosell C.M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT-Food Science and Technology*, 48, 209-214.
- Haarman M. & Knol J. (2006). Quantitative real-time PCR analysis of fecal *Lactobacillus* species in infants receiving a prebiotic infant formula. *Appl Environ Microbiol*, 72, 2359-2365.
- He J., Streiffer R.H., Muntner P., et al. (2004). Effect of dietary fiber intake on blood pressure: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Hypertens*, 22, 73–80.
- Herald C.T. Guar gum. (1986) In: *Food Hydrocolloids*, Vol. 3, M. Glicksman (ed.). CRC Press, Boca Raton; pp. 171–184.
- Heredia A., Ruiz-Gutierrez V., Felizo' n, B. Guillen R., Jimenez A., & Fernandez-Bolanos J. (1993). Apparent digestibility of dietary fibre and other components in table olives. *Die Nahrung*, 37, 226–233.
- Hillman L.C, Peters S.G., Fisher C.A., Pomare E.W. (1986). Effects of fibre components pectin, cellulose, and lignin on bile salt metabolism and biliary lipid composition in man. *Gut.*, 27, 29-36.
- Howarth N.C., Saltzman E., Roberts S.B. (2001). Dietary fiber and weight regulation. *Nutrition Reviews*, 59, 129-139.
- Howe G.R., Benito E., Castelleto R., Cornee J., Esteve J., Gallagher R.P. et al., (1992). Dietary intake of fiber and decreased risk of cancers of the colon and rectum: evidence from the combined analysis of 13 case-control studies. *J Natl Cancer Inst*, 84, 1887-1896.
- Hsu P-K, Chien P-J., Chen C-H. & Chau C-F. (2006). Carrot insoluble fiber-rich fraction lowers lipid and cholesterol absorption in hamsters. *LWT*, 39, 337-342.

Inglett G.E. (1997). Development of a dietary fiber gel for calorie reduced foods. *Cereal Foods World* 42, 382–385.

Institute of Medicine (IOM), Food and Nutrition Board (FNB),. (2002). *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fibre, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients)*. Washington, DC: National Academies Press; 2002.

Jackson K.G., Taylor G.R.J., Clohessy A.M. and Williams C.M. (1999). The effect of the daily intake of inulin on fasting lipid, insulin and glucose concentrations in the middle-aged men and women. *British Journal of Nutrition*, 82, 23-30.

Jaroslaw K., Witzczak M., Ziobro R. & Juszczak L. (2009). The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23, 988-995.

Jeltema M.S. & Zabik M.E. (1979). Fiber components-quantification and relationship to cake quality. *Journal of Food Science*, 44, 1732-1735.

Jenkins D.J., Kendall C.W., Axelsen M., Augustin L.S., Vuksan V. (2000). Viscous and nonviscous fibres, nonabsorbable and low glycaemic index carbohydrates, blood lipids and coronary heart disease. *Curr Opin Lipidol*, 11, 49–56.

Jenkins D.J., Kendall C.W., Vuksan V., et al. (2002). Soluble fiber intake at a dose approved by the US Food and Drug Administration for a claim of health benefits: serum lipid risk factors for cardiovascular disease assessed in a randomized controlled crossover trial. *Am J Clin Nutr*, 75, 834–839.

Jenkins D.J.A., Marchie A., Augustin L.S.A., Ros E., Kendall C.W.C. (2004). Viscous dietary fiber and metabolic effects. *Clinical Nutrition Supplements*, 1, 39-49.

Jenkins D.J.A., Kendall C.W.C. & Vuksan V. (2000). Viscous fibers, health claims, and strategies to reduce cardiovascular disease risk. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 401–402.

Johnson I.T. (2002). Anticarcinogenic effects of diet-related apoptosis in the coloractel mucosa. *Food and Chemical Toxicology*, 40, 1171-1178.

Kaczmarczyk M.M., Miller M.J. & Freund G.G. (2012). The health benefits of dietary fiber: Beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism*, 1058-1066.

Kaewprasert S., Okada M., Aoyama Y. (2001). Nutritional effects of cyclodextrins on liver and serum lipids and cecal organic acids in rats. *J Nutr Sci Vitaminol*, 47, 335-339.

- Karmally W., Montez M.G., Palmas W., Martinez W., Branstetter A., Ramakrishnan R., et al. (2005). Cholesterol-lowering benefits of oat-containing cereal in Hispanic Americans. *Journal of the American Dietetic Association*, 105, 967–970.
- Kim J.H., Lee H.J., Lee H.S., Lim E.J., Imm J.Y. & Suh H.J. (2012). Physical and sensory characteristics of fibre-enriched sponge cakes meda with *Opuntia humifusa*. *LWT-Food Science and Technology*, 47, 478-484.
- Kim, Y.-I. (2000). Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence. *Gastroenterology*, 116(6), 1235–1257.
- 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.
- Kohajdova Z., Karovicova J. & Jurasova M. (2012). Influence of carrot pomace powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on wheat rolls quality. *Acta Sci Pol Technol Aliment*, 11, 381-387.
- Kolida S., Tuohy K. & Gibson G.R. (2002). Prebiotic effects of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87 (Suppl.2), S193-S197.
- Kristensen M. & Jensen M.G. (2011). Dietary fibers in the regulation of appetite and food intake. Importance of viscosity. *Appetite*, 56, 65-70.
- Lairon D. (2007). Dietary fiber and control of body weight. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 17, 1-5.
- Larrauri J.A., Goni I., Marti'n-Carron N., Ruperez P. & Saura- Calixto F. (1996). Measurement of health-promoting properties in fruit dietary fibres: Antioxidant capacity, fermentability and glucose retardation index. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71, 515–519.
- Larrauri JA. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products', *Trends in Food Sci and Technol*, , 10, 3–8.
- Lattimer J., Haub M. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2, 1266-1289.
- Lebesi D.M. & Tzia C, (2011). Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 710-722.
- Lee C.C. & Lin S.D. (2008). Effect of GABA tea on quality characteristics of chiffon cake. *Cereal Chemistry*, 85, 31-38.

- Lee S., Inglett G.E., palmquist D. & Warner K. (2009). Flavor and texture attributes of foods containing b-glucan-rich hydrocolloids from oats. *LWT-food Science and Technology*, 42, 350-357.
- Lee S., Kinney M.P. & Inglett G.E. (2005). Rheological characterization of a new oat hydrocolloid and its application in cake baking, 82, 717-720.
- Lineback D.R. (1999). The chemistry of complex carbohydrates In S.S. Cho, L. Prosky and M. Dreher (eds), *Complex Carbohydrates in Foods*, New York, Marcel Dekker.
- Lopes da Silva J.A. & Rao M.A. (2006). Pectins: structure, functionality and uses. In: *Food polysaccharides and their applications*. Stephen AM, Phillips GO & Williams PA (Eds). CRC Taylor & Francis, Boca Raton.
- Lupton J.R. & Kurtz P.P. (1993). Relationship of colonic luminal short chain fatty acids and pH to in vivo cell proliferation in rats. *J Nutr*, 123, 1522-1530.
- MacDougall A.J. & Ring S.G. (2004). Pectic polysaccharides. In: *Chemical and functional properties of food saccharides*. Piotr Tomasik (ed) CRC Taylor & Francis, Boca Raton.
- Marlett J.A., MBurney M.I., Slavin J.L. (2002). American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. *J Am Dit Assoc*, 102, 993-1000.
- Martín-Cabrejas M.A., Esteban R.M., Lopez-Andreu F.J., Waldron K. & Selvendran R.R. (1995). Dietary fiber content of pear and kiwi pomaces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 662-666.
- Masoodi F.A., Sharma B. & Chauhan G.S. (2002). Use of apple pomace as a source of dietary fiber in cakes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 121-128.
- McBain A. & Macfarlane G. (1997). Investigations of bifidobacterial ecology and oligosaccharide metabolism in a three-stage compound continuous culture system. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 222, 32-40.
- Miller R.A. & Hosney R.C. (1993). The role of xanthan gum in white layer cakes. *Cereal Chemistry*, 70, 585-588.
- Miremedi F. & Shah N.P. (2012). Application of inulin and probiotics in health and nutrition. *International Food Research Journal*, 19, 1337-1350.
- Moorhead S.A., Welch R.W., Barbara M., Livingstone E., McCourt M., Burns A.A. & Dunne A. (2006). The effects of the fiber content and

physical structure of carrots on satiety and subsequent intakes when eaten as part of a mixed meal. *British Journal of Nutrition*, 96, 587-595.

Morris C., Morris G.A. (2012). The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation: a review. *Food Chemistry* 133, 237-248.

Morris E.R. (1990) Mixed polymer gels. In: *Food Gels*. P. Harris (ed.). Elsevier Science, London; pp. 291.

Moscato J.A., Borsato D., Bona E., de Oliveira A.S. & de Oliveira Haully M.C. (2006). The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 181-188.

Nawirska A. & Kwasniewska M. (2005). Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91, 221-225.

Nielsen B.U. (1996). Fiber-based fat mimetic. In *Handbook of Fat Replacers*, CRC Press Inc, New York.

Nikica S., Novotni D., Cukelj N., Smerdel B. & Curic D. (2013). Combined effects of inulin, pectin and guar gum on the quality and stability of partially baked frozen bread. *Food Hydrocolloids*, 30, 428-436.

Niness K.R. (1999). Inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, 129, 1402S-1406S.

Nyman M. (2002). Fermentation and bulking capacity of indigestible carbohydrates: the case of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87 (Suppl 2), S163-S168.

O'Neill M.A., Wrenfeltz D., Kates K., Pellerin P., Doco T., Darvill A.G. & Albersheim P. (1996). Rhamnogalacturonan II, a pectic polysaccharide in the walls of growing plant cell, forms a dimer that is covalently cross-linked by a borate-ester: In vitro conditions for the formation and hydrolysis of the dimer. *The Journal of Biological Chemistry*, 271, 22923-22930.

Oestmann E., Rossi E., Larsson H., Brighenti F., & Björck I. (2006). Glucose and insulin responses in healthy men to barley and bread with different levels of (1-3; 1-4)-beta-glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests. *Journal of Cereal Science*, 43, 230-235.

Oliete B., Perez G.T., Gomez M., Ribotta P.D., Moiraghi M. & Leon A.E. (2010). Use of wheat, triticale and rye flours in layer cake production. *International Journal of Food Science & technology*, 45, 697-706.

- Onsoyen E. (2001). Alginate: production, composition, physicochemical properties, physiological effects, safety and food applications In Handbook of Dietary fiber, Taylor & Francis Inc, New York.
- Papathanosoupolos A. & Camilieri M. (2010). Dietary fiber supplements: effects in obesity and metabolic syndrome and relationship to gastrointestinal functions. *Gastroenterology*, 138, 65-72.
- Pereira M.A., Jacobs Jr D.R., Pins J.J., Raatz S.K., Gross M.D., Slavin J.L. et al., (2002). Effect of whole grains on insulin sensitivity in overweight hyperinsulinemic adults. *Am J Clin Nutr*, 75, 848-855.
- Pereira M.A., O'Reilly E., Augustsson K. et al., (2004). Dietary fiber and risk of coronary heart disease. *Arch Intern Med*, 164, 370-376.
- Peressini D. & Sensidoni A. (2009). Effect of soluble dietary fibre on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science* 49, 190-201.
- Powell D.A., Morris E.R., Gidley M.J. & Rees D.A. (1982) Conformations and interactions of pectins. II. Influence of residue sequence on chain association in calcium pectate gels. *J. Mol. Biol.* 155, 517.
- Prentoce R.L. (2000). Future possibilities in the prevention of breast cancer: fat and fiber and breast cancer research. *Breast Cancer Res*, 2, 268-276.
- Ralet M.C & Thibault J.F. (2002). *Biomacromolecules*, 3, 917.
- Ramirez-Farias C., Slezak K., Fuller Z., Duncan A., Holtrop G., Louis P. (2009). Effect of inulin on the human gut microflora: stimulation of *Bifidobacterium adolescentis* and *Faecalibacterium prausnitzii*. *Br J Nutr*, 101, 541-550.
- Raninen K., Lappi J., Mykkanen H., Poutanen K. (2011). Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin and polydextrose. *Nutr Rev*, 69, 9-21.
- Ridley B.L., O'Neill M.A. & Mohnen D. (2001). Pectins: structure, biosynthesis and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57, 929-967.
- Ripsin C.M., Keenan J.M., Jacobs Jr D.R., Elmer P.J., Welsh R.R., Van Horn L et al., (1992). Oat products and lipid lowering. A meta-analysis. *JAMA*, 267, 3317-3325.
- Roberfroid M.B. (1999b). Caloric value of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, 129, 1436S-1437S.

Roberfroid M., Gibson G.R., Hoyles L., McCartney A.L., Rastall R., Rowland et al., (2010). Prebiotics effects: metabolic and health benefits. *Br J Nutr*, 104, S1-63.

Roberfroid M.B. (1999a). Concept in functional foods: the case of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, 129, 1398S-1401S.

Roberfroid M.B. (2002). Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87 (Suppl. 2), S139-S143.

Roberfroid M.B. & Salavin J. (2000). Non digestible oligosaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 461-480.

Roberfroid M.B., Van Loo J.A.E. & Gibson G.R. (1998). The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *Journal of Nutrition*, 128, 11-19.

Rodriguez R., Jimenez A., Fernandez-Bolanos J., Guillen R. & Heredia A. (2006). Dietary fiber from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 3-15.

Romero-Lopez M.R., Osorio-Diaz P., Bello-Perez L.A., Tovar J. & Bernardino-Nicanor A. (2011). Fiber concentrate from Orange (*Citrus sinensis* L.) Bagasse: Characterization and application as bakery product ingredient. *International Journal of Molecular Sciences*, 12, 2174-2186.

Rupasinghe H.P.V., Wang L., Huber G.M. & Pitts N.L. (2008). Effect of baking on dietary fiber and phenolics of muffins incorporated with apple skin powder. *Food Chemistry*, 107, 1217-1224.

Sabanis D., Lebesi D. & Tzia C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 1380–1389.

Salgado S.M., Guerra N.B. & Melo Filho A.B. (1999). Frozen fruit pulps: Effects of the processing on dietary fiber contents. *Revista de Nutricao*, 50, 281–285.

Salmeron J., Ascherio A., Rimm E.B., Colditz G.A., Spiegelman D., Jenkins D.J. (1997). Dietary fiber, glycemic load and the risk of NIDDM in men. *Diabetes Care*, 20, 545-550.

Schieber A., Stintzing F.C. & Carle R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds: Recent developments. *Trends in Food Science and Technology*, 12, 401–413.

- Schneeman B.O. (1999). Fiber, inulin and oligofructose: Similarities and Differences. *Journal of Nutrition*, 1424S-1427S.
- Scholz-Ahrens K.E. & Scherenmeir J. (2002). Inulin, oligofructose and mineral metabolism-experimental data and mechanism. *British Journal of Nutrition*, 87, S179-S186.
- Scholz-Ahrens K.E., Schaafsma G., Van der Heuvel E.G.H.M. & Scherenmeir J. (2001). Effects of prebiotics on mineral metabolism. *American Journal of clinical nutrition*, 73, 459S-464S.
- Sharma K.D., Karki S., Thakur N.S. & Attri S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot-a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 22-32.
- Sierra M., Garcia J.J., Fernandez N., Diez M.J., Calle A.P., Farmafirba Group. (2002). Therapeutic effects of psyllium in type 2 diabetic patients. *Eur J Clin Nutr*, 56, 830-842.
- Singh M., Liu S.X. & Vaughn S.F. (2012). Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1, 348-352.
- Slavin J.L. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21, 411-418.
- Sreenath H.K., Sudarshanakrishna K.R., Prasad N.N. & Santhanam K. (1996). Characteristics of some fiber incorporated cake preparations and their dietary fiber content. *Starch/Starke*, 2, 72-76.
- Srisuvor N., Chinprahast N., Prakitchaiwattana C. & Subhimaros S. (2013). Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yogurt with probiotic-cultured banana puree. *LWT-Food Science and Technology*, 51, 30-36.
- Stowell J.D. (2009). Polydextrose. In *Fiber Ingredients. Food applications and health benefits*. Cho S.S. & Samuel P. (eds). CRC Press Taylor & Francis Inc, New York.
- Sudha M.L., Baskaran V. & Leelavathi K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104, 686-692.
- Sudha M.L., Vetrmani R. & Leeleventhi K (2007a). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100, 1365-1370.

- Sudhakar D.V. & Maini S.B. (2000). Isolation and characterization of mango peel pectins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 24, 209–227.
- Svanberg S.J.M., Nyman E.M.G-L, Andersson R. & Nilsson T. (1997). Effects of boiling and storage on dietary fibre and digestible carbohydrates in various cultivars of carrots. *J Sci Food Agric*, 73, 245-254.
- Takahashi T. (2009). Cellulose. In *Fiber Ingredients. Food applications and health benefits*. Cho S.S.& Samuel P. (eds). CRC Press Taylor & Francis Inc, New York.
- Tapola N. & Sarkkinen E. (2009). Oat β -glucan. In *Fiber Ingredients. Food applications and health benefits*. Cho S.S.& Samuel P. (eds). CRC Press Taylor & Francis Inc, New York.
- Thebaudin J.Y., Lefebvre A.C., Harrington M. & Bourgeois C.M. (1997) Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8, 41-48.
- Theuwissen E. & Mensink R.P. (2008). Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiology & Behavior*, 94, 285-292.
- Thibault J-F, Lahaye M. & Guillon F. (1992). Physicochemical properties of food plant cell walls'. In T.F. Schweizer and C. Edwards (eds) *Dietary Fibre, A Component of Food. Nutritional Function in Health and Disease*, ILSI Europe, Berlin, Springer-Verlag, pp. 21–39.
- Thibault J-F, Renard M.G.C. & Guillon F. (1994). Physical and chemical analysis of dietary fibres in sugar-beet and vegetable'. In J.F. Jackson and H.F. Linskens (eds) *Modern Methods of Plant Analysis*, vol. 16 *Vegetable and Vegetable Products*, Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 23–55.
- Toyvarou P., Sulmont-Rosse C., Cagnaire A., Issanchou S. & Brondel L. (2012). Monotonous consumption of fibre-enriched bread at breakfast increases satiety and influences subsequent food intake. *Appetite*, 58, 575-581.
- Trinidad T.P., Mallilin A.C., Valdez D.H., Loyola A.S., Askali-Mercado F.C., Castillo J.C., Encabo R.R., Masa D.B., Maglaya A.S. & Chua M.T. (2006). Dietary fiber from coconut flour: A functional food. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 309-317.
- Turecki T., Ewan R.C. & Stahr H.M. (1992). Effects of phytic acid on intestinal calcium absorption, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 53, 464-470.

- Turksoy S. & Ozkaya B. (2011). Pumpkin and carrot pomace powders as a source of dietary fiber and their effects on the mixing properties of wheat flour dough and cookie quality. *Food Sci Technol Res*, 17, 545-553.
- Ushida K., Hatanaka H., Inoue R., Tsukahara T., Phillips G. (2011). Effect of long term ingestion of gum Arabic on the adipose tissues of female mice. *Food Hydrocoll*, 25, 13-44.
- Uysal H., Bilgicli N., Elgun A., Ibanoglu S., Herken E. & Demir M.K. (2007). Effect of dietary fiber and xylanase enzyme addition on the selected properties of wire-cut cookies. *Journal of Food Engineering*, 78, 1074-1078.
- Valli R.C. & Miskiel F.J. (2001). Gellan Gum. In *Handbook of Dietary fiber*, Taylor & Francis Inc, New Yor
- Van Bennekum A.M., Nguyen D.V., Schultess G., Hauser H., Phillips M.C. (2005). Mechanisms of cholesterol lowering effects of dietary insoluble fibers: relationships with intestinal and hepatic cholesterol parameters. *Br J Nutr*, 94, 331-337.
- Van Loo J., Coussement P., De Leenher 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.
- Van Loo J., Franck A., Cummings J.H., Macfarlane G.T., Englyst H.N. & Quigly M.E. (1998). Consensus document on the functional food properties of non digestible oligosaccharides (DCXII ENDO Project). *British Journal of Nutrition*, 81, 121-132.
- Vidal S., Doco T., Williams P., Pellerin P., York W.S., O'Neill M.A., Gluska J., Darvill A.G. & Albersheim P. (2000). Structural characterization of the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II; evidence for the backbone location of the aceric acid-containing oligoglycosyl side chain. *Carbohydrate Research*, 326, 277-294.
- Vincken J-P, Schols H.A., Oomen R.J.F.J., McCann M.C., Ulvskov P., Voragen A.G.J. & Visser R.G.F. (2003). If homogalacturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I. Implications for cell wall architecture. *Scientific Correspondence Plant Physiology*, 132, 1781-1789.
- Vitali D., Vedrına Dragojevic I. & Sebecic B. (2009). Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry*, 114, 1462-1469.

- Volpini-Rapina L.F., Sokei F.R. & Conti-Silva A.C. (2012). Sensory profile and preference mapping of orange cakes with addition of prebiotics inulin and oligofructose. *LWT-Food Science and Technology*, 48, 37-42.
- Wang H.J. & Thomas R.L. (1989). Direct Use of Apple Pomace in Bakery Products. *J. Food Sci.* 54(3), 618-620.
- Wang J., Rosell C.M. & Benedito de Barber C. (2002). Effect of the addition of different fibers on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221-226.
- Warner K. & Inglett G.E. (1997). Flavor and texture characteristics of foods containing Z-Trim corn and oat fibers as fat and flour replacers. *Cereal Foods World*, 821-825.
- Wiedmann M. & Jager M. (1997). Synergistic sweeteners. *Food Ingredients International*, Nov-Dec, 51-56.
- Williams P.A. & Phillips G.O. (2001). Gum Arabic: Production, safety and physiological effects, physicochemical characterization, functional properties and food applications In *Handbook of Dietary fiber*, Taylor & Francis Inc, New York
- Wollowski I., Rechkemmer G. & Pool-Zobel B.L. (2001). Protective role of prebiotics in colon cancer. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73, 451S-455S.
- Wood P. J. (2004). Relationships between solution properties of cereal β -glucans and physiological effects – A review. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 313–320.
- Wood P.J., Beer M.U., & Butler G. (2000). Evaluation of role of concentration and molecular weight of oat β -glucan in determining effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *British Journal of Nutrition*, 84, 19–23.
- Ylonen K., Saloranta C., Kronberg-Kippila C., Groop L., Aro A., Virtanen M. et al., (2003). Associations of dietary fiber with glucose metabolism in nondiabetic relatives of subjects with type 2 diabetes: the Botnia Dietary Study. *Diabetes Care*, 26, 1979-1985.
- Young G.P., Hu Y., Le Leu R.K. & Nyskohus L. (2005). Dietary fibre and colorectal cancer: A model for environment–gene interactions. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49(6), 571–584.
- Zacherl C., Eisner P. & Engel K-H. (2011). In vitro model to correlate viscosity and bile acid-binding of digested water-soluble and insoluble dietary fibres. *Food Chemistry*, 126, 423-428.

Zhang D. & Hamauzu Y. (2004). Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots. *Food Agriculture and Environment*, 2, 95-100.

Λεμπέση Δ.Μ. (2012). Δράση ενζύμων και διαιτητικών ινών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά αρτοσκευασμάτων. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Βιβλιογραφία 4^ο Κεφαλαίου

Barker P., & Cauvain S. (1994). Fat and calorie modified bakery products. *International Food Ingredients*, 1(2), 19–24.

Bath D.E., Shelke K. & Hosney R.C. (2001). Fat replacers in high ratio layer cakes. *Cereal Foods World* 37, 495–500

Bell D.A. (1990). Methylcellulose as a structure enhancer in bread baking, *Cereal Foods World* 35(10), 1001.

Borneo R., Aguirre A., Leon A.E. (2010). Chia (*Salvia hispanica* L) gel can be used as egg or oil replacer in cake formulations. *J Am Diet Assoc*, 110, 946-949.

Brennan C. S., & Tudorica, C. M. (2008). Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: comparative study of the utilisation of barley beta-glucan, guar gum and inulin. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 824-833.

Burkus Z. & Temelli F. (2000). Stabilization of emulsions and foams using barley β-glucan. *Food Res. Int.* 33, 27–33.

Burkus Z. & Temelli, F. (1999). Gelation of barley β-glucan concentrate. *J Food Sci.* 64, 198–201.

Cardarelli H.R., Buriti F.C.A., de Castro I.A., & Saad S.M.I. (2008). Inulin and oligofructose improve sensory quality and increase the probiotic viable count in potentially symbiotic petit-suisse cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1037-1046.

Carpiles V.D., Soares R.A.M., Pinto e Silva M.E.M. & Areas J.A.G. (2009). Effect of fructans-based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1895-1901.

Chevance F.F., Farmer L.J., Desmond E.M., Novelli E., Troy D.J., & Chizzolini R. (2000). Effect of some fat replacers on the release of volatile

aroma compounds from low-fat meat products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 3476–3484.

Clark A.J. (1996). Biopolymer gels. *Current opinion in Colloids and Interface Science*, 1, 712-717.

Clegg S. M. (1996). The use of hydrocolloid gums as fat mimetics. In: *Handbook of Fat Replacers*. S. Roller and S. A. Jones (eds.). CRC Press, Boca Raton; pp. 191–211.

Coffey DG, Bell D.A. & Henderson A. (2006) Cellulose and cellulose derivatives. In: *Food Polysaccharides and their applications*. Stephen A, Phillips GO & Williams PA. CRC Press, Boca Raton

Conforti F.D. & Archilla L. (2001). Evaluation of a maltodextrin gel as a partial replacement for fat in a high-ratio white-layer cake. *International Journal of Consumer Studies*, 25, 238-245.

Conforti F.D., Charles S.A., & Duncan S.E. (1996). Sensory evaluation and consumer acceptance of carbohydrate-based fat replacers in biscuits. *Journal of Consumer Studies and Home Economics*, 20, 285–296.

Conforti F.D., Nee P. & Archilla L. (2001) The synergistic effects of maltodextrin and high-fructose corn sweetener 90 in a fat-reduced muffin. *International Journal of Consumer Studies*, 25, 3-8.

Corliss G. A., Protein-based fat substitutes in bakery foods, *AIB Tech. Bull.*, 14, 10, 1992.

Craig S.A.S., Holden J.F., Troup J.P., Auerbach M.H. & Frier H. (1999). Polydextrose as soluble fiber and complex carbohydrate. In S.S. Cho, L. Prosky and M. Dreher (eds), pp. 229–48, *Complex Carbohydrates in Foods*, New York, Marcel Dekker.

De Castro F.P., Cunha T.M., Barreto P.L.M., Camboni R.D., & Prudêncio, E. (2009). Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages. *International Journal of Dairy Technology*, 62, 68-74.

De Deckere E.A.M. & Verschuren P.M. (2000). Functional fats and spreads. In: *Functional Foods, Concept to product*. Gibson GR & Williams CM (Eds). CRC Press, Cambridge, England.

De Mariscal P. & Bell D.A. (1996). Fiber-based fat mimetics: methylcellulose gums. In: *Handbook of Fat Replacers*. S. Roller and S. A. Jones (eds.). CRC Press, Boca Raton; pp. 145–159.

De Moraes Crizel T., Jablonski A., de oliveira Rios A., Rech R. & Hickmann Flores S. (2013). Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT- Food Science and Technology*, 53, 9-14.

Debon J., Prudencio E.S., & Petrus J.C.C. (2010). Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. *Journal of Food Engineering*, 99, 128-135.

Deis R.C. (2012). Other low-calorie ingredients: Fat and Oil Replacers, in *Alternative sweeteners*. O'Brien Nabors L. (ed.) 4th Edition. CRC Press Boca Raton.

Desmond E.M., Troy D.J., & Buckley D.J. (1998). The effects of tapioca starch, oat fibre and whey protein on the physical and sensory properties on low-fat beef burgers. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31, 653–657.

EC Regulation No 1333/2008 on food additives.

EC Regulation No 1924/2006 on nutrition and health claims made on foods.

Eim VS, Simal S, Rossello C & Femenia A. (2008). Effects of the addition of carrot dietary fiber on the ripening process of a dry fermented sausage (sobrassada). *Meat Science*, 80, 173-182.

El-Nagar G., Glowers G., Tudorica C.M., & Kuri V. (2002). Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55, 89e93.

Endress H.U. & Mattes F. (2009). Pectin. In *Fiber Ingredients. Food applications and health benefits*. Cho S.S.& Samuel P. (eds). CRC Press Taylor & Francis Inc, New York.

EU Regulation No 1129/2011 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 by establishing a Union list of food additives.

EU Regulation No 1130/2011 amending Annex III to Regulation (EC) No 1333/2008 by establishing a Union list of food additives approved for use in food additives, food enzymes, food flavourings and nutrients.

EU Regulation No 1169/2011 on the provision of food information to consumers.

Fernandez M.L. (2001). Pectin: Composition, chemistry, physicochemical properties, Food applications, and physiological effects. In *Handbook of Dietary fiber*, Taylor & Francis Inc, New York

- Forker A., Zahn S., & Rohm H. (2012). A combination of fat replacers enables the production of fat-reduced shortdough biscuits with high-sensory quality. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2497–2505.
- Franck A. (2002). Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87 (Suppl.2), S287-S291.
- Franck A. (2006) Inulin. In: *Food Polysaccharides and their applications*. Stephen A, Phillips GO & Williams PA. CRC Press, Boca Raton
- Funami T., Funami M., Yada H. & Nkao Y. (1999). Rheological and thermal Studies on gelling characteristics of gelan. *Food Hydrocolloids*, 13, 317-324.
- Gallagher E, O'Brien C.M., Scannell A.G.M. & Arendt E.K. (2003). Use of response surface methodology to produce functional short dough biscuits. *Journal of Food Engineering*, 56, 269-271.
- Gidley M.J. & Grant Reid J.S. (2006) Galactomannans and other cell wall storage polysaccharides in seeds. In: *Food Polysaccharides and their applications*. Stephen A, Phillips GO & Williams PA. CRC Press, Boca Raton
- Grigelmo-Miguel N., Carreras-Boladeras E. & Martin-Belloso O. (2001). Influence of the addition of peach dietary fiber in composition, physical properties and acceptability of reduced-fat muffins. *Food Science Research International*, 7, 425-431.
- Groves K., Foster T., Buchanan M. & O'Sullivan M. (1990). An examination of the effects of Litesse addition on the texture and structure of pastry. A confidential report P3125. Leatherhead Food Research Association, Surrey, UK.
- Guggisberg D., Cuthbert-Steven J., Piccinah P., Buetikofer U., & Eberhard, P. (2009). Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yogurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, 19, 107-115.
- Harkema J. (1996). Starch-derived fat mimetics from potato.. In *Handbook of Fat Replacers*, S.Roller and S.A. Jones (eds), CRC Press, Boca Raton, pp. 119-129.
- Heidenreich S., Jaros D., Rohm H., & Ziems A. (2004). Relationship between water activity and crispness of extruded rice crisps. *Journal of Texture Studies*, 35, 621–633.

- Hempel S., Jacob A. & Rohm H. (2007). Influence of inulin modification and flour type on the sensory quality of prebiotic wafer crackers. *European Food Research and Technology*, 224, 335–341.
- Hennelly P.J., Dunne P.G., O’sullivan M., & O’Riordan E.D. (2006). Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Food Engineering*, 75, 388-395.
- Humphreys W.M. (1996). Fiber-based fat mimetics: microcrystalline cellulose. In: *Handbook of Fat Replacers*. S. Roller and S. A. Jones (eds.). CRC Press, Boca Raton; pp. 132–144.
- Husein E.A., El-Beltagy A.E. & Gaafar A.M. (2011). Production and quality evaluation of low calorie cake. *American Journal of Food Technology*, 6, 827-834.
- Inglett G.E., Cerriere G.J., Maneepun S. & Tungtrakul P. (2004). A soluble fiber gel produced from rice bran and barley flour as a fat replacer in Asian foods. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 1-10.
- Jia C., Kim Y.S., Huang W. & Huang G. (2008). Sensory and instrumental assessment of Chinese moon cake: Influences of almond flour, maltitol syrup, fat and gums. *Food Research International*, 41, 930-936.
- Kaack K. & Pedersen L. (2005). Low energy chocolate cake with potato pulp and yellow pea hulls. *Eur Food Res Technol*, 221, 367-375.
- Kalinga D. & Mishra V.K. (2009). Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal β -glucan concentrates. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 384-400.
- Karaca, O.B., Güven M., Yasar K., Kaya S., & Kahyaoglu T. (2009). The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers. *International Journal of Dairy Technology*, 62, 93-99.
- Kaur A., Singh G., & Kaur H. (2000). Studies on use of emulsifiers and hydrocolloids as fat replacers in baked products. *Journal of Food Science and Technology*, 37, 250–255.
- Khalil A.H. (1998). The influence of carbohydrate-based fat replacers with and without emulsifiers on the quality characteristics of lowfat cake. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52, 299-313.
- Kim H.Y., Yeom H.W., Lim H.S. & Lim S-T. (2001b). Replacement of shortening in yellow layer cakes by corn dextrins. *Cereal Chem.*, 78, 267-271.

- Kim Y., Faqih M.N. and Wang S.S. (2001a). Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate polymers*, 46, 135-145.
- Knill C.J. & Kennedy J.F. (2005). Starch: commercial sources and derived products. In *Polysaccharides: Structural diversity & functional diversity*. (2nd) Marcel Dekker
- Kocer D., Hicsasmaz Z., Bayindirli A. & Katnas S. (2007). Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugra- and fat-replacer, *Journal of Food Engineering*, 78, 953-964.
- Laguna I., Primo-Martin C., Varela P., Savador A. & Sanz T. (2013). HPMC and inulin as fat replacers in Biscuits: sensory and instrumental evaluation. *LWT- Food Science and Technology*, doi: 10.1016/j.lwt.2013.12.025.
- Lakshminarayan S., Rathinam V. & KrishnaRau L. (2006). Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes. *Journal of the science of Food and Agriculture*, 86, 706-712.
- Lee S., Inglett G.E. & Carriere C.J. (2004). Effect of Nutrim oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. *Cereal Chem*, 81, 637-642.
- Lee S., Inglett G.E., Palmquist D. & Warner K. (2009). Flavor and texture attributes of foods containing b-glucan-rich hydrocolloids from oats. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 350-357.
- Lee S., Kim S. & Inglett G.E. (2005b). Effect of shortening replacement with Oatrim on the physical and rheological properties of cakes. *Cereal Chem*, 82, 120-124.
- Lee S., Kim S. & Inglett G.E. (2006). Rheological and physical evaluation of jet-cooked oat bran in low calorie cookies. *Int. J. Food Sci. Technol.* 41, 553-559.
- Lee S., Kinney M.P. & Inglett G.E. (2005a). Rheological characterization of a new oat hydrocolloid and its application in cake baking. *Cereal Chem*, 82, 717-720.
- Inglett G.E. (1992). A method of making a soluble dietary fiber composition from oats. U.S. patent 4,996,063.
- Inglett G.E. (1993). Amylodextrins containing β -glucan from oat flours and bran. *Food Chem.* 47:133-136.
- Inglett G.E. (1998). Dietary fiber gels for calorie-reduced foods and method for preparing the same. US patent 5,766,662.

- Lopes da Silva J.A. & Rao M.A. (2006). Pectins: structure, functionality and uses. In: Food Polysaccharides and their applications. Stephen A, Phillips GO & Williams PA. CRC Press, Boca Raton
- Lucca, P.A. & Tepper, B. J. (1994). Fat replacers and the functionality of fat in foods. *Trends Food Sci Tech*, 5, 12–19.
- Mansour E.H. & Khaliul A.H. (1999). Characteristics of low-fat beef burgers as influenced by various types of wheat fibres. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 493–498.
- Maragoni A.G., Barbut S., McGauley S.E., Macone M. & Narine S.S. (2000). On the structure of particulate gels- the case of salt-induced cold gelation of heat-denatured whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 14, 61-74.
- Martinez-Cervera S., Salvador A., Muguerza B., Moulay L. & Fiszman S.M. (2011). Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT- Food Science and Technology*, 44, 729-736.
- Mendoza E, Garcia M.L, Casas C. & Selgas M.D. (2001). Inulin as fat substitute in low fat, fermented sausages. *Meat Science*, 57, 387-393.
- Min B., Bae I.Y., Lee H.G., Yoo S-H. & Lee S. (2010). Utilization of pectin-enriched materials from apple pomace as a fat replacer in a model food system. *Bioresource Technology*
- Mitchell H.L. (1996). The role of the bulking agent polydextrose in fat replacement. In S.Roller and S.A. Jones (eds), pp. 235–249, *Handbook of Fat Replacers*, CRC Press, Boca Raton.
- Morris C.E. (1992). Balancing act: Engineering flavours for low fat foods. *Food Engineering*, 64(8), 77–78, 80, 82.
- Morris E.R. (1990a). Industrial hydrocolloids, in *The Structure, Dynamics and Equilibrium Properties of Colloidal Systems*, Bloor, D. M. and Wyn-Jones, E., Eds., Kluwer Academic Publishers, 449.
- Morris E.R., Mixed polymer gels, in *Food Gels*, Harris, P., Ed., Elsevier Applied Science, London, 1990b, 291.
- Naruenartwongsakul S., Chinnan M.S., Bhumiratana S.& Yoovidhaya T. (2004). Pasting characteristics of wheat-flour based batters containing cellulose ethers, *Lebens.-Wissenschaft und — Technologie* 87:489.
- Nielsen B.U. (1996). Fiber-based fat mimetics: pectin. In: *Handbook of Fat Replacers*. S. Roller and S. A. Jones (eds.). CRC Press, Boca Raton; pp. 161–173.

- O'Brien C.M., Mueller A., Scannell A.G.M. & Arendt E.K. (2003). Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. *Journal of Food Engineering*, 56, 265–267.
- Oreopoulou V. (2006). Fat replacers. In: *Bakery products: Science and Technology*. Hui Y.H. (ed). Blackwell Publishing, USA.
- Pasephol T., Small D.M., & Sherkat F. (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies*, 39, 617-634.
- Picuell L. (2006). Gelling carragenans. In Stephen A.M., Phillips G.O. and Williams P.A. (Eds.) *Food Polysaccharides and their applications*. CRC Taylor and Francis.
- Pinheiro R., Pergo P., Converti A., & Nogueira M. (2009). The effect of inulin as a prebiotic on the production of probiotic fibre-enriched fermented milk. *International Journal of Dairy Technology*, 62, 195-203.
- Poinot P., Arvisenet G., Grua-Priol J., Filloneau C., Le-Bail A. & Prost C. (2010). Influence of inulin on bread: kinetics and physicochemical indicators of the formation of volatile compounds during baking. *Food Chemistry*, 119, 1474–1484.
- Rodriguez-Garcia J., Salvador A. & Hernando I. (2014a). Replacing fat and sugar with inulin in cakes: bubble size distribution, physical and sensory properties. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 964-974.
- Rodriguez-Garcia J., Laguna L., Puig A., Salvador A. & Hernando I. (2013). Effect of fat replacement by inulin on textural and structural properties of short dough biscuits. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2739-2750.
- Rodriguez-Garcia J, Puig A, Salvador A. & Hernando I. (2012). Optimization of a sponge cake formulation with inulin as a fat replacer: structure, physicochemical and sensory properties. *Journal of Food Science*, 77, C189-C197.
- Rodriguez-Garcia J, Sahi S.S. & Hernando I. (2014b). Functionality of lipase and emulsifiers in low-fat cakes with inulin. *LWT-Food Science and Technology*, 58, 173-182..
- Roller S. (1996). Starch-derived fat mimetics: maltodextrins. In S.Roller and S.A. Jones (eds), pp. 99-118, *Handbook of Fat Replacers*, CRC Press, Boca Raton.

- Sanchez C., Klopfenstein C.F., & Walker C.E. (1995). Use of carbohydrate-based fat substitutes and emulsifying agents in reduced-fat shortbread cookies. *Cereal Chemistry*, 72, 25–29.
- Sandoval-Castilla O., Lobato-Calleros C., Aguirre-Mandujano E. & Vernor-Carter E.J. (2004). Microstructure and texture of yoghurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal*, 14, 151-159.
- Seker I.T., Ozboy-Ozbas O., Gokbulut I., Ozturk S., & Koksel H. (2010). Utilization of apricot kernel flour as fat replacer in cookies. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 15–26.
- Sergio Esteller M., Amaral R.L. & da Silva Lanes S.C. (2004). Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods. *Journal of Texture Studies*, 35, 383-393.
- Sergio Esteller M., Orlandi de Lima A.C. & da Silva Lanes S.C. (2006). Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers. *LWT-Food Science and Technology*, 39, 184-187.
- Setser C.S., & Racette W.L. (1992) Macromolecule replacers in foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 32, 275–297.
- Shelke K., Faubion J.M. & Hosney R.C. (1990). The dynamics of cake baking as studied by a combination of viscometry and electrical resistance oven heating. *Cereal Chem* 67:575–580.
- Singer N.S. & Moser R.H. (1993). Microparticulated proteins as fat substitutes, *Low Calorie Foods Handbook* : Altschul, A. M., Ed., Marcel Dekker, New York.
- Singer S.N. (1996). Microparticulated proteins as fat mimetics. In S.Roller and S.A. Jones (eds), *Handbook of Fat Replacers*, CRC Press, Boca Raton.
- Sobczynska D. & Setser C.S. (1991). Replacement of shortening by maltodextrin–emulsifier combinations in chocolate layer cakes. *Cereal FoodsWorld* 36:1017–1018, 1023–1026.
- Sowmya M., Jeyarani T., Jyotsna R. & Indrani D. (2009). Effect of replacament of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. *Food Hydrocolloids*, 23, 1827-1836.
- Srisuvor N., Chinprahast N., Prakitchaiwattana C. & Subhimaros S. (2013). Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with prebiotic-cultured banana puree. *LWT - Food Science and Technology*, 51, 30-36.

- Stowell J.D. (2009). Polydextrose. In: Fiber Ingredients. Food Applications and health benefits. Susan Sungsoo Cho & Priscilla Samuel (Eds). CRC Taylor & Francis, Boca Raton.
- Stryer L. (1988). Generation and storage of metabolic energy, *Biochemistry*, 3rd ed., W.H. Freeman & Co., New York, 313.
- Sudha M.L., Srivastava A.K., Vetrmani R., & Leelavathi K. (2007). Fat replacement in soft dough biscuits: Its implications on dough rheology and biscuit quality. *Journal of Food Engineering*, 80, 922–930.
- Sungsoo S. & Prosky L. (1999). Application of complex carbohydrates to food product fat mimetics. In S.S. Cho, L. Prosky and M. Dreher (eds), *Complex Carbohydrates in Foods*, New York, Marcel Dekker.
- Swanson B.R., Garden L.A. & Parks S.S. (1999). Effect of a carbohydrate-based fat substitute and emulsifying agent on reduced-fat peanut butter cookies. *Journal of Food Quality*, 22, 19–29.
- Swanson R.B. & Perry J.M. (2007). Modified oatmeal and chocolate chip cookies: evaluation of the partial replacement of sugar and/or fat to reduce calories. *International Journal of Consumer Studies*, 31, 265-271.
- Taco N. & Durand D. (2007). Protein aggregation and gel formation studied with scattering methods and computer simulations. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 12, 23-28.
- Tarancon P., Fiszman S.M., Salvador A. & Tarrega A. (2013). Formulating Biscuits with healthier fats. Consumer profiling of textural and flavour sensations during consumption. *Food Research International*, 53, 134-140.
- Wafaa, MM Abozeid, Manal F Salama & Moawad R.K. (2011). Utilization of fat replacer in the production of reduced cakes and cookies. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5, 2833-2840.
- Ward F.M. (1997). Hydrocolloid systems as fat mimetic in bakery products: icings, glazes and fillings. *Cereal Foods World*, 42, 386–390
- Warner K.. & Itnglett. G.E. (1997). Flavor and texture characteristics offoods containing Z-trim corn and oat fibers as fat and flour replacers. *Cereal Foods World* 42, 821-825.
- Wekwete B. & Navder K.P. (2008). Effects of avocado fruit puree and oatrim as fat replacers on the physical, textural and sensory properties of oatmeal cookeis. *Journal of Food Quality*, 31, 131-141.

Zahn S., Pepke F. & Rohm H. (2010). Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 2531-2537.

Zambrano F., Despinoy P., Ormenese R.C.S.C. & Faria E.V. (2004). The use of guar and Santan gums in the production of “Light” low fat cakes. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 959-966.

Zoulias E., Kounalaki E.. & Oreopoulou,V. (2002a). Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1637–1644.

Zoulias E., Oreopoulou V. & Tzia C. (2000). Effect of fat mimetics on physical, textural and sensory properties of cookies. *International Journal of Food Properties*, 3, 385–397.

Zoulias E., Oreopoulou V. & Tzia C. (2002b). Textural properties of low-fat cookies containing carbohydrate- or protein-based fat replacers. *Journal of Food Engineering*, 55, 337–342.

Βιβλιογραφία 5^ο Κεφαλαίου

American Association of Cereal Chemists. 1995. Approved methods of the American association of cereal chemists. 9th ed. St. Paul, Minn.: AACC.

Baixauli R, Sanz T, Salvador A, Fiszman SM. 2008. Muffins with resistant starch: baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *J Cereal Sci* 47(3):502–9.

Bennion E.B. & Bamford G.S.T. (1997). Cake making processes. In: *The technology of cake making*. A.J. Bent (ed.). Blackie Academic and Professional, Chapman & Hall, London, pp. 251-274.

Maskan M. (2001) Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *J Food Eng* 48, 169-175.

Robertson J.A., De Monderon F.D., Dysseler P., Guillon F., Amado R. & Thibault J.F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT-Food Sci Technol* 33, 72-79.

Flegal KM, Carroll MD, Ogden CL and Urtin LR, Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999–2008. *JAMA* 303:235–241 (2010).

World Health Organization, *The Challenge of Obesity in the WHO European Region and the Strategies for Response*. WHO, Copenhagen (2007). Available: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/74746/E90711.pdf [05 May 2011].

Rokholm B, Baker JL & Sorensen TI (2010) The levelling off of the obesity epidemic since the year 1999 – a review of evidence and perspectives. *Obesity Rev* 11:835–846.

Turksoy S. & Ozkaya B. (2011). Pumpkin and carrot pomace powders as a source of dietary fiber and their effects on the mixing properties of wheat flour dough and cookie quality. *Food Sci Technol Res*, 17, 545-553.

Kohajdova Z., Karovicova J. & Jurasova M. (2012). Influence of carrot pomace powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on wheat rolls quality. *Acta Sci Pol Technol Aliment*, 11, 381-387.

Βιβλιογραφία 6^ο Κεφαλαίου

Attia EA, Shehata HA and Askar A, An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes. *Food Chem* 48:169–172 (1993).

Barcenas ME, De la O-Keller J, Rosell CM. (2009). Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). *J Food Engr* 94(2–3):241–7.

Bean MM, Yamazaki WT and Donelson DH, Wheat starch gelatinization in sugar solutions. II. Fructose, glucose and sucrose: Cake performance. *Cereal Chem* 55:945–952 (1978).

Brown SA, French D. 1977. Specific adsorption of starch oligosaccharides in the gel phase of starch granules. *Carbohydr Res* 59:203–12.

Correa MJ, Perez GT, Ferrero C. (2011). Pectins as breadmaking additives: effect on dough rheology and bread quality. *Food Bioprocess Technol*. DOI 10.1007/s11947-011-0631-6

Duran E, Leon A, Barber B, Benedito de Barber C. 2001. Effect of low molecular weight dextrans on gelatinization and retrogradation of starch. *Eur Food Res Technol* 212(2):203–7.

Duran E, Leon A, Barber C and Benedito de Barber C, Effect of low molecular weight dextrans on gelatinization and retrogradation of starch. *Eur Food Res Technol* 212:203–207 (2001).

Hicsasmaz Z., Yazgan Y., Bozoglu F. & Kaunas Z. (2003). Effect of polydextrose substitution on the cell structure of the high-ratio cake system. *Lebensmittel- Wissenschaft und Technologie*, 36(4), 441-450.

Junge, R. & Hosney, R. (1981). A mechanism by which shortening and certain surfactants improve loaf volume in bread. *Cereal Chemistry*, 58, 408–412.

- Kalinga D, Mishra V K. 2009. Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal β -glucan concentrates. *J Food Process Preserv* 33(3):384–400.
- Kim CS, Walker CE. 1992. Effects of sugars and emulsifiers on starch gelatinization evaluated by differential scanning calorimetry. *Cereal Chem* 69(2):212–7.
- Kim HY, Yeom HW, Lim HS, Lim S-T. 2001. Replacement of shortening in yellow layer cakes by corn dextrins. *Cereal Chem* 78(3):267–71.
- Lakshminarayan SM, Rathinam V, KrishnaRau L. 2006. Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes. *J Sci Food Agric* 86(5):706–12.
- Lee S, Inglet GE, Carriere CJ. 2004. Effect of Nutrim Oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. *Cereal Chem* 81(5):637–42.
- Lee S, Kim S, Inglett GE. 2005. Effect of shortening with oatrim on the physical and rheological properties of cakes. *Cereal Chem* 82(2):120–4.
- Lii C, Lai VM-F, Liu KF and Chang WH, Influences of polyols on thermal and dynamic viscoelastic properties of rice starches during gelatinization. *Starch/Starke* 49:346–354 (1997).
- Martinez-Cervera S, Salvador A, Muguerza B, Moulay L, Fiszman SM. 2011. Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT-Food Sci Technol* 44(3):729–36.
- Mitchell H, *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*, 1st edition. Blackwell Publishing, Oxford (2006).
- Mizukoshi M, Maeda H, Amano H. 1980. Model studies of cake baking II. Expansion and heat set of cake batter during baking. *Cereal Chem* 57(5):352–5.
- Nunes, M.H.B., Moore, M.M., Ryan, L.A.M. & Arendt, E.K. (2009). Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters. *European Food Research Technology*, 228, 633-642.
- O'Brien CM, Mueller A, Scannell AGM, Arendt EK. 2003. Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. *J Food Engr* 56(2–3):265–7.
- Pateras I.M.C., Howells K.F., & Rosenthal A.J. (1994). Hot stage microscopy of cake batter bubbles during simulated baking: Sucrose replacement by polydextrose. *Journal of Food Science*, 59, 168–178.

- Pateras IMC and Rosenthal AJ, Effects of sucrose replacement by polydextrose on the mechanism of structure formation in high ratio cakes. *Int J Food Sci Nutr* 43:25–30 (1992).
- Paton D, Larocque GM, Holme J. 1981. Development of cake structure: influence of ingredients on the measurement of cohesive force during baking. *Cereal Chem* 58(6):527–9.
- Pisesookbunternng, W. & D'Appolonia, B.L. (1983). Bread staling studies.I. Effect of surfactants on moisture migration from crumb to crust Firmness values of bread crumb. *Cereal Chemistry*, 60, 298–300.
- Pulis E, Browning development in bakery product – A review. *J Food Eng* 99:239–249 (2010).
- Purlis E and Salvadori VO, Modelling the browning of bread making. *Food Res Int* 42:865–870 (2009).
- Richardson, G., Bergenstahl, B., Langton, M., Stading, M. & Hermansson, A.-M. (2004). The function of a-crystalline emulsifiers on expanding foam surfaces. *Food Hydrocolloids*, 18, 655-663.
- Richardson, G., Langton, M., Faldt, P. & Hermansson, A. M. (2002). Microstructure of a-crystalline emulsifiers and their influence on air incorporation in cake batter. *Cereal Chemistry*, 79, 546-552.
- Rodriguez-Garcia J, Puig A, Salvador A, Hernando I. 2012. Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical and sensory properties. *J Food Sci* 77(2):C189–97.
- Ronda F, Gomez M, Blanco CA and Caballero PA, Effect of polyols and non digestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chem* 90:549–555 (2005).
- Sahi, S.S. & Alava, J.M. (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1419-1429.
- Sanchez, C., Klopffentein, C.F. & Walker, C.E. (1995). Use of carbohydrate-based fat substitutes and emulsifying agents in reduced-fat shortbread cookies. *Cereal Chemistry*, 72, 25-29.
- Shelke, K., Faubion, J.M. & Hosney, R.C. (1990). The dynamics of cake baking as studied by a combination of viscometry and electrical resistance oven heating. *Cereal Chemistry*, 67, 575-580.
- Tomasik P, Wang YJ and Jane JL, Complexes of starch with low molecular saccharides. *Starch/Starke* 47:185–191 (1995).

Wafaa MM, Abozeid, Manal F, Salama, Moawad RK. 2011. Utilization of fat replacers in the production of reduced cakes and cookies. *Aust J Basic Appl Sci* 5(12):2833–40.

Zahn S, Pepke F, Rohm H. 2010. Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *Int J Food Sci Technol* 45(12):2531–7.

Παράρτημα

Μαλτιτόλη (C*Maltidex M 16311)

Μαλτιτόλη (ξ.β.): 76.9% (74.0-77.0 %)

Σορβιτόλη (ξ.β.) : 1.6% ($\leq 2.5\%$)

Αναγωγικά σάκχαρα : $\leq 0.20\%$

pH (10% w/v διάλυμα) : 5.0-7.0

Σορβιτόλη (C*Sorbidex S 16603)

Σορβιτόλη (ξ.β.) : 98.57%

Μαλτιτόλη (ξ.β.): 0.79%

Λακτιτόλη (LactitolMC)

Λακτιτόλη (ξ.β.) : 98.0-101.0%

Άλλες πολυόλες (ξ.β.) : $\leq 1.5\%$

Αναγωγικά σάκχαρα : $\leq 0.20\%$

pH (10% w/v διάλυμα) : 4.5-7.0

Πολυδεξτρόζη (Litesse Ultra)

Σορβιτόλη + Αναγωγικά σάκχαρα (ξ.β.) : $\leq 6.0\%$

Άνυδρη-D-γλυκόζη (ξ.β.) : $\leq 4.0\%$

Αναγωγικά σάκχαρα : $\leq 0.25\%$

pH (10% w/v διάλυμα) : 4.5-6.5

Ολιγοφρουκτόζη (Beneo P95)

Ολιγοφρουκτόζη (ξ.β.) : 94.9% (93.2-100.0%)

Γλυκόζη + φρουκτόζη + σακχαρόζη (ξ.β.) : 5.1% ($\leq 6.8\%$)

Στερεό υπόλειμμα : 96.8% ($97 \pm 1.5\%$)

Μέσος βαθμός πολυμερισμού : < 8

Αγωγιμότητα (15 Brix) : 15 ($< 250 \mu\text{S}$)

pH (10° Brix) : 5.8 (5.0-7.0)

Ινουλίνη GR

Ινουλίνη (ξ.β.) : 92.8% (> 90%)
Γλυκόζη + φρουκτόζη (ξ.β.) : 1.1% (\leq 4%)
Σακχαρόζη (ξ.β.) : 6.1 (\leq 8%)
Στερεό υπόλειμμα : 98.5% (97 \pm 1.5%)
Υδατάνθρακες : > 99.5%
Μέσος βαθμός πολυμερισμού : \geq 10
Τέφρα : < 0.2%
Αγωγιμότητα (15 Brix) : 17 (< 250 μ S)
pH (10° Brix) : 6.7 (5.0-7.0)

Ινουλίνη HP

Ινουλίνη (ξ.β.) : 100% (> 99.5%)
Γλυκόζη + φρουκτόζη + σακχαρόζη (ξ.β.) : 0.0% (\leq 0.5%)
Στερεό υπόλειμμα : 96.8% (97 \pm 1.5%)
Υδατάνθρακες : > 99.5%
Μέσος βαθμός πολυμερισμού : \geq 23
Τέφρα : < 0.2%
Αγωγιμότητα (15 Brix) : < 250 μ S
pH (10° Brix) : 6.2 (5.0-7.0)

Μικροσωματιδιακή πρωτεΐνη (Simplese 100)

Λιπαρά : 3.9 % (1.0-4.5%)
Πρωτεΐνη : 52.6% (51.5-55.5%)
Τέφρα : 6% (2-8%)

Ίνες καρότου

Ικανότητα Δέσμευσης Νερού (Water Binding Capacity) : min. 20-x
το βάρος του

Υγρασία : Max. 10%

Τέφρα : ~5.3% ξ.β.

Πρωτεΐνες : 2.5%

Λιπαρά : 0.4%

Διαιτητικές ίνες : 86%

pH : 5.0±1.0