



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΥΓΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΥΘΥΜΙΑ ΑΡΓΥΡΑΚΟΠΟΥΛΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΤΖΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ
ΑΘΗΝΑ 2018-2019

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κυρία Τζιά Κωνσταντίνα, για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τη βοήθεια και τη στήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης και συγγραφής της, καθώς και την απεριόριστη υπομονή της για τη μελέτη και τη διόρθωση της εργασίας αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να καταθέσω τις ευχαριστίες μου στη Διδάκτορα Γιάννου Βιργινία για την πολύτιμη καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και την προθυμία της να βοηθήσει στην επίλυση όλων των προβλημάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία ΣΟΒΙΜΟ ΕΛΛΑΣ Α.Ε. για τη συνδρομή της με την παραχώρηση υλικών, ώστε να πραγματοποιηθεί η υλοποίηση των πειραμάτων.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ – ΤΟ ΑΥΓΟ	16
1.1 Σύσταση του αυγού της κότας	16
1.2 Σύνθεση του ασπραδιου του αυγού	18
1.3 Σύνθεση του κρόκου του αυγού.....	25
1.4 Λειτουργικές ιδιότητες του αυγού	28
1.4.1 Τα συστατικά του αυγού ως παράγοντες γαλακτωματοποίησης	28
1.4.2 Τα συστατικά του αυγού σε συστήματα παραγωγής αφρού	31
1.4.3 Πήξη και ζελατινοποίηση του αυγού.....	33
1.4.4 Χρώμα-άρωμα-γεύση του αυγού	34
1.5 Μικροβιολογία του αυγού	35
1.5.1 Μικρόβια και αυγό	36
1.5.2 Αυγά και φυσική προστασία	36
1.5.3 Αυγά και ανάπτυξη μικροοργανισμών	37
1.5.4 Καταστροφικές συνέπειες.....	37
2. ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΥΓΟΥ.....	39
2.1 Εισαγωγή.....	39
2.2 Βιομηχανική παραγωγή υγρών προϊόντων αυγού.....	40
2.2.1 Ποιότητα αυγών με κέλυφος και αποθήκευση	40
2.2.2 Σπάσιμο των αυγών με κέλυφος	40
2.2.3 Αυτόματο σπάσιμο και πλύσιμο.....	41
2.2.4 Σπάσιμο	41
2.2.5 Διαχωρισμός λευκώματος/κρόκου	41
2.2.6 Φιλτράρισμα και ψύξη.....	42
2.3 Αφυδατωμένα προϊόντα αυγού	43
2.3.1 Διεργασίες των υγρών προϊόντων αυγού πριν την αφυδάτωση	44
2.3.2 Η διαδικασία της παραγωγής αφυδατωμένων προϊόντων αυγού	45
2.4 Παστερίωση υγρών προϊόντων αυγού	46
2.4.1 Παστερίωση σε παρτίδες	47
2.4.2 Hot-filling.....	48
2.4.3 Παστερίωση σε σειρά με χρήση συγκεκριμένου εξοπλισμού	48
2.4.4 Παστερίωση σε σειρά με εξοπλισμό υψηλής θερμοκρασίας/μικρής χρονικής διάρκειας(HTST)	49

2.4.5	Παστερίωση σε σειρά για παστερίωση λευκώματος	49
2.5	Παστερίωση των κελυφών των αυγών	49
2.5.1	Υδατόλουτρο	50
2.5.2	Ζεστός αέρας	50
2.5.3	Παλλόμενο φως	50
2.5.4	Όξινο ηλεκτρολυμένο νερό	50
2.6	Τεχνολογίες ξήρανσης και ιδιότητες σκονών	50
2.6.1	Ξήρανση με ψεκασμό	51
2.6.2	Επίδραση της ξήρανσης στη δομή των τροφίμων	51
2.6.3	Θέρμανση λευκώματος	52
2.7	Ειδικά προϊόντα αυγού	52
2.8	Ζυμωμένα προϊόντα αυγού	53
2.9	Κατεψυγμένα προϊόντα αυγού	53
2.10	Κριτήρια ποιότητας και παράγοντες που επιδρούν σε αυτά	55
2.11	Τροποποίηση λίπους και χοληστερόλης σε προϊόντα αυγού	56
2.12	Άλλες ευκαιρίες και εφαρμογές	56
3.	ΤΡΙΤΟ ΜΕΡΟΣ - ΚΑΤΑΨΥΞΗ	58
3.1	Εισαγωγή	58
3.2	Κατάψυξη τροφίμων-Γενικές αρχές της κατάψυξης	58
3.2.1	Ταπείνωση σημείου πήξης	59
3.2.2	Διαδικασία της κατάψυξης	59
3.2.3	Χρόνος κατάψυξης τροφίμων	60
3.2.4	Ρυθμός κατάψυξης τροφίμων	60
3.2.5	Ποσότητα ψυχομονάδων που χρειάζεται για την κατάψυξη των τροφίμων	60
3.2.6	Μέτρηση φυσικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία ψύξης και κατάψυξης των τροφίμων	61
3.3	Ψύξη-κατάψυξη-απόψυξη	61
3.3.1	Παραγωγή ψύχους και εξοπλισμός	62
3.3.2	Ψυχόμενοι χώροι	63
3.3.3	Σχηματισμός πάγου	63
3.3.4	Αποθήκευση κατεψυγμένων τροφίμων	64
3.3.5	Καταστροφή κατά την κατάψυξη	65
3.3.6	Κατάψυξη και βακτήρια	65
3.3.7	Επίδραση της κατάψυξης στους μικροοργανισμούς	66
3.3.8	Απόψυξη	66
3.3.9	Επίδραση της απόψυξης στους μικροοργανισμούς	67

3.4 Φυσικές και χημικές μεταβολές κατά την κατάψυξη	67
3.4.1 Φυσικές μεταβολές.....	68
3.4.2 Χημικές μεταβολές.....	69
3.5 Μεταβολή των πρωτεϊνών κατά την κατάψυξη.....	70
3.5.1 Αλλαγή στη δομή των πρωτεϊνών.....	70
3.5.2 Αλλαγή στη λειτουργικότητα των πρωτεϊνών του αυγού	71
3.6 Κατάψυξη και αυγό	73
3.7 Κρυοπροστασία και μηχανισμοί κρυοπροστασίας	74
3.7.1 Εισαγωγή.....	74
3.7.2 Μηχανισμοί κρυοπροστασίας	75
3.7.3 Κρυοπροστασία και κατάψυξη.....	77
3.7.4 Κρυοπροστασία και σταθεροποίηση πρωτεϊνών	78
3.7.5 Κρυοπροστασία του αυγού	79
3.8 Εφαρμοζόμενα κρυοπροστατευτικά υλικά.....	81
3.8.1 Αντιοξειδωτικά.....	81
3.8.2 Σάκχαρα και πολυόλες	81
3.8.3 Καρβοξυλικά οξέα.....	84
3.8.4 Αμινοξέα.....	84
3.8.5 Διαιτητικές ίνες.....	85
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	86
4.1 Σκοπός.....	86
4.2 Υλικά και μέθοδοι.....	86
4.2.1 Α' ύλες-αντιδραστήρια.....	86
4.2.2 Συσκευές-Εργαστηριακός εξοπλισμός	87
4.3 Πειραματική διαδικασία	87
4.4 Αναλύσεις-Μετρήσεις.....	89
4.4.1 Ιξώδες.....	89
4.4.2 Γαλακτωματοποίηση.....	89
4.4.3 Αφροποίηση	89
4.4.4 Υφή.....	90
4.4.5 Απώλεια νερού κατά τη συμπίεση	91
4.4.6 Λευκότητα	91
4.4.7 Χρώμα κρόκου	92
4.5 Σχεδιασμός πειραμάτων	92
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	94
5.1 Αποτελέσματα για τον κρόκο, συζήτηση αποτελεσμάτων και στατιστική ανάλυση ...	94

5.2 Ανάλυση των κύριων συνιστωσών για τον κρόκο στις δύο σειρές πειραμάτων(PCA)	108
5.3 Αποτελέσματα για το ασπράδι, συζήτηση αποτελεσμάτων και στατιστική ανάλυση	112
5.4 Ανάλυση κύριων συνιστωσών για το ασπράδι στις δύο σειρές πειραμάτων(PCA)...	129
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	135
6.1 Συμπεράσματα για τον κρόκο	135
6.2 Συμπεράσματα για το ασπράδι.....	136
6.3 Προτάσεις.....	137
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	138
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	143

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των λειτουργικών ιδιοτήτων του κρόκου και του ασπραδιού του αυγού έπειτα από κατάψυξη και η μεταβολή αυτών των ιδιοτήτων έπειτα από προσθήκη ορισμένων ουσιών, προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο αυτές οι ουσίες παρουσιάζουν κρυσταλλοπροστατευτική δράση.

Η κατάψυξη γενικά μπορεί να προκαλέσει μετουσίωση στις πρωτεΐνες και ως αποτέλεσμα υποβάθμιση της λειτουργικότητάς τους και επομένως και της λειτουργικότητας των πρωτεϊνών του αυγού. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το φαινόμενο προστίθενται ορισμένα υλικά, γνωστά ως κρυσταλλοπροστατευτικά. Έχει μελετηθεί πως η ζάχαρη, το αλάτι και η φρουκτόζη εμφανίζουν κρυσταλλοπροστατευτική συμπεριφορά στο αυγό. Ακόμα υλικά όπως η τρεχαλόζη και η λακτιτόλη έχουν εμφανίσει κρυσταλλοπροστασία σε άλλα τρόφιμα, όπως τα κατεψυγμένα προϊόντα ψαριού, surimi, και σε αυτή την εργασία μελετήθηκε η συμπεριφορά τους τόσο στον κρόκο όσο και στο ασπράδι του αυγού. Μελετήθηκαν επίσης υλικά, όπως η χιτοζάνη, η ινουλίνη, καθώς και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, ώστε να προκύψουν συμπεράσματα για το πώς επιδρούν στο κατεψυγμένο αυγό.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές πειραμάτων, η πρώτη σειρά που αφορούσε τη μελέτη των μεταβολών των λειτουργικών ιδιοτήτων των πρωτεϊνών του αυγού σε κανονική κατάψυξη και η δεύτερη σε επιταχυνόμενη κατάψυξη (κύκλοι κατάψυξης-απόψυξης). Οι δύο σειρές πραγματοποιήθηκαν χωριστά για τον κρόκο και το ασπράδι του αυγού. Στις δύο σειρές πειραμάτων μελετήθηκαν δείγματα που περιείχαν αλάτι σε ποσοστό 8% w/w, ζάχαρη σε ποσοστό 9% w/w, φρουκτόζη σε ποσοστό 10% w/w, ινουλίνη σε ποσοστό 2% w/w, τρεχαλόζη σε ποσοστό 1% w/w, χιτοζάνη σε ποσοστό 3% w/w, λακτιτόλη σε ποσοστό 2% w/w και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης 1:1 σε ποσοστό 2% w/w. Επίσης για λόγους σύγκρισης παρασκευάστηκαν δείγματα χωρίς προσθήκη κάποιας ουσίας (τυφλά). Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κατάψυξη σε σταθερή θερμοκρασία -20°C . Κατά την πρώτη σειρά των μετρήσεων εξάγονταν δείγματα κάθε 15 ημέρες για μετρήσεις, ενώ κατά τη δεύτερη σειρά των μετρήσεων τα δείγματα παρέμεναν στην κατάψυξη για 13 ημέρες, έπειτα αποθηκεύονταν σε ψύξη για 2 ημέρες σε σταθερή θερμοκρασία 4°C και στη συνέχεια πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις για το συγκεκριμένο χρόνο αποθήκευσης ή επαναφέρονταν σε αποθήκευση υπό κατάψυξη (κύκλοι κατάψυξης-απόψυξης).

Η δράση των κρυσταλλοπροστατευτικών υλικών εκτιμήθηκε με βάση τη μεταβολή των ιδιοτήτων των προϊόντων αυγού όπως του χρώματος, του ιξώδους, των γαλακτωματοποιητικών ιδιοτήτων (σταθερότητα και ενεργότητα) και της υψής (σκληρότητα, συνεκτικότητα, ελαστικότητα, προσκολλησιμότητα) όσον αφορά τον κρόκο του αυγού και του χρώματος, της αφροποιητικής ικανότητας, της απώλειας νερού κατά τη συμπίεση πηγμάτων και της υψής (σκληρότητα, συνεκτικότητα, ελαστικότητα, προσκολλησιμότητα) όσον αφορά το ασπράδι του αυγού.

Με βάση τις μετρήσεις που προέκυψαν από κάθε πειραματική σειρά και τη στατιστική τους επεξεργασία αυτών μέσω του προγράμματος STATISTICA 7.0, προέκυψαν αξιόλογα αποτελέσματα.

Όσον αφορά στον κρόκο του αυγού και στις δύο σειρές πειραμάτων διαπιστώθηκε πως το είδος του κρουοπροστατευτικού υλικού είχε σημαντική επίδραση στο χρώμα του κρόκου με πιο σημαντική αυτή της χιτοζάνης που διατήρησε έντονο και ζωηρό χρώμα στα δείγματα. Σχετικά με τη γαλακτωματοποιητική ενεργότητα στην πρώτη σειρά πειραμάτων τα δείγματα που περιείχαν λακτιτόλη εμφάνισαν υψηλότερες τιμές φτάνοντας σε ένα μέγιστο περίπου 0,89, ενώ το αντίστοιχο του τυφλού ήταν 0,6 και κατά τη δεύτερη σειρά πειραμάτων καλύτερη γαλακτωματοποιητική ενεργότητα εμφάνισαν τα δείγματα που περιείχαν αλάτι με τιμές που έφτασαν περίπου το 0,8 σε σχέση με το τυφλό δείγμα που έφτασε το 0,6. Για τη γαλακτωματοποιητική σταθερότητα παρατηρήθηκε πως όλα τα δείγματα που περιείχαν κάποια κρουοπροστατευτική ουσία εμφάνισαν καλύτερη συμπεριφορά από το αντίστοιχο τυφλό δείγμα. Για τη σκληρότητα, τα δείγματα χωρίς πρόσθετο εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές από τα τυφλά δείγματα με εξαίρεση την τρεχαλόζη, η οποία κατά την πρώτη σειρά εμφάνισε ένα μέγιστο στην τιμή της έπειτα από 45 ημέρες αποθήκευσης 0,17N, ενώ η αντίστοιχη τιμή του τυφλού δείγματος ήταν 0,16N και κατά τη δεύτερη σειρά πειραμάτων εμφάνισε μέγιστο έπειτα από 60 ημέρες αποθήκευσης 0,30N, έναντι του τυφλού που είχε τιμή σκληρότητας 0,195N. Στα περισσότερα δείγματα που περιείχαν κάποιο κρουοπροστατευτικό υλικό αυξήθηκαν οι τιμές της ελαστικότητάς τους, με πιο σημαντική την αύξηση του δείγματος της χιτοζάνης που κατά την πρώτη σειρά πειραμάτων έφτασε ένα μέγιστο 0,66N, όταν η αντίστοιχη μέγιστη τιμή του τυφλού δείγματος ήταν 0,56N. Οι τιμές της προσκολλησιμότητας και της συνεκτικότητας των δειγμάτων δεν διέφεραν αρκετά από τις αντίστοιχες τιμές των τυφλών δειγμάτων.

Όσον αφορά στο ασπράδι του αυγού το είδος του κρουοπροστατευτικού παρουσίασε σημαντικό ρόλο στη μεταβολή του χρώματος, ενώ ο χρόνος αποθήκευσης σε κατάψυξη δεν έπαιξε σημαντικό ρόλο στο χρώμα. Η χιτοζάνη εμφάνισε μεγαλύτερη επίδραση στο χρώμα του ασπραδιού, καθώς τα δείγματα με χιτοζάνη έδωσαν υψηλές τιμές λευκότητας. Η χρήση του κρουοπροστατευτικού υλικού επηρέασε και το ιξώδες του ασπραδιού καθώς όλα τα δείγματα που περιείχαν κάποιο πρόσθετο εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές ιξώδους από το αντίστοιχο τυφλό δείγμα. Συγκεκριμένα χαμηλότερες τιμές ιξώδους εμφάνισαν τα δείγματα που περιείχαν χιτοζάνη και λακτιτόλη, καθώς στην πρώτη σειρά πειραμάτων έδωσαν ως ελάχιστες τιμές 6cP και 4,9cP αντίστοιχα, ενώ κατά τη δεύτερη σειρά πειραμάτων ως ελάχιστες τιμές 4,8cP και 11cP, αντίστοιχα. Όσον αφορά στη σταθερότητα του αφρού, κανένα πρόσθετο δεν έδειξε κρουοπροστατευτική συμπεριφορά, καθώς όλα τα υλικά συνέβαλαν στην αύξηση της αστάθειας του αφρού. Η συγκράτηση του νερού, διαπιστώθηκε πως εξαρτάται και από το είδος του κρουοπροστατευτικού και από το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη, καθώς με το πέρασμα του χρόνου αυξήθηκε η δυνατότητα συγκράτησης νερού. Για τη σκληρότητα παρατηρήθηκε πως όλα τα δείγματα που περιείχαν κρουοπροστατευτικό παρουσίασαν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας από το αντίστοιχο τυφλό, με εξαίρεση τα δείγματα με ινουλίνη και χιτοζάνη που έπειτα από 60 ημέρες μακροχρόνιας κατάψυξης εμφάνισαν μία αύξηση στις τιμές σκληρότητας

φτάνοντας σε ένα μέγιστο 1,15N και 1,1N αντίστοιχα. Τα δείγματα που περιείχαν κρυσταλλοπροστατευτικό υλικό εμφάνισαν μικρότερες τιμές ελαστικότητας από το τυφλό, με εκείνα που περιείχαν λακτιτόλη να δίνουν τις πιο χαμηλές τιμές ελαστικότητας και στις δύο σειρές πειραμάτων. Για την προσκολλησιμότητα όλα τα δείγματα εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές σε σύγκριση με τα τυφλά δείγματα, ενώ αυτά που περιείχαν λακτιτόλη και αλάτι εμφάνισαν αρκετά χαμηλές τιμές και εκείνα που περιείχαν χιτοζάνη εμφάνισαν τις πιο χαμηλές τιμές σε ένα εύρος τιμών 3-20N, όταν τα υπόλοιπα δείγματα έδωσαν τιμές προσκολλησιμότητας ανώτερες από 40N. Η συνεκτικότητα φάνηκε πως επηρεάστηκε από το είδος του κρυσταλλοπροστατευτικού που χρησιμοποιήθηκε και όχι από το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη. Πάντως τις πιο υψηλές τιμές συνεκτικότητας παρουσίασαν τα δείγματα που περιείχαν χιτοζάνη που κατά την πρώτη σειρά πειραμάτων έδωσαν μία μέγιστη τιμή 1,4N, ενώ η αντίστοιχη τιμή του τυφλού ήταν 0,7N και κατά τη δεύτερη σειρά πειραμάτων έδωσαν μία μέγιστη τιμή 1,4N, όταν η αντίστοιχη τιμή του τυφλού δείγματος ήταν 0,5N.

Εν κατακλείδι, με βάση τα αποτελέσματα και την επεξεργασία των μετρήσεων που προέκυψαν από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην εργασία, εξάγεται το συμπέρασμα πως όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν έδειξαν κρυσταλλοπροστατευτική δράση και το καθένα είχε διαφορετική επίδραση στις λειτουργικές ιδιότητες του αυγού.

ABSTRACT

The purpose of the present thesis is the research of the functional properties of yolk and egg white after freezing, and the change of these properties, after adding certain substances, in order to investigate whether these substances present cryoprotective action.

Freezing in general can cause denaturation in proteins, and as a result, degradation of their functionality and therefore degradation of the functionality of egg proteins. To address this phenomenon, certain materials are added, known as cryoprotectants. It has been studied that sugar, salt and fructose behave as cryoprotectants in the egg. Also, materials such as trehalose and lactitol behave as cryoprotectants in other food, such as frozen fish products, surimi, and in the present thesis their behavior was studied both in yolk and in egg white. Materials such as chitosan, inulin, and an inulin-trehalose mixture have also been studied, so that conclusions can be drawn about how they influence on the frozen egg.

In the present thesis two series of experiments were performed, the first series referred to the study of the changes of the functional properties of the egg proteins in normal freezing and the second series in accelerated freezing (freeze-thaw cycles). The two series were carried out separately for the yolk and for the egg white. In the two series of experiments samples were studied that included salt in percentage of 8% w/w, sugar in 9% w/w, fructose in 10% w/w, inulin in 2% w/w, trehalose in 1% w/w, chitosan in 3% w/w, lactitol in 2% w/w and an inulin-trehalose mixture 1:1 in 2% w/w. Also, for comparison purposes samples were prepared without adding any substance (blind sample). The samples were put in freezing in stable temperature -20°C . During the first series of measurements, samples were extracted every 15 days for measurements, while during the second series of measurements samples remained in freezing for 13 days, then stored in refrigeration for 2 days in a stable temperature of 4°C and then measurements were made for the specific storage time or they were reinstated in freezer storage (freeze-thaw cycles).

The effect of the cryoprotective agents was estimated on the basis of the change of the properties of egg products, such as colour, viscosity, emulsifying properties (stability and activity) and texture (hardness, elasticity, cohesiveness, adhesiveness) concerning the egg yolk and colour, foaming ability, water loss during gel compression and texture (hardness, elasticity, cohesiveness, adhesiveness) concerning the egg white.

Based on the resulting measurements of each experimental series and their statistical analysis through STATISTICA 7.0 program, notable results were emerged.

Regarding the egg yolk, it was found in both experimental series that the type of the cryoprotectant material has a significant impact on the colour of the yolk, with most important the one of chitosan, which maintained an intense and vibrant

colour in the samples. Relating to the emulsion activity, in the first series of experiments the samples that contained lactitol showed higher levels reaching a maximum of approximately 0,89, while the corresponding of the blind sample reached 0,6 and during the second series of experiments better emulsion activity was displayed by the samples that contained salt, with prices that reached approximately 0,8 in compared with the blind sample that reached 0,6. For the emulsion stability it was observed that all samples that contained a cryoprotectant substance have shown better behavior from the corresponding blind sample. Concerning the hardness, samples without additives showed lower levels than the blind samples with the exception of trehalose, which during the first series showed a maximum in its price after 45 days of storage 0,17N, while the corresponding price of the blind sample was 0,16N and during the second series of experiments it showed maximum after 60 days of storage 0,30 N, against the blind sample, that had level of hardness 0,195N. In most samples that contained a cryoprotectant agent, the elasticity levels were increased, with most important the increase of chitosan sample, that during the first series of experiments reached a maximum 0,66N, while the corresponding price of the blind sample was 0,56N. The levels of adhesiveness and cohesiveness of the samples did not differ enough from the corresponding levels of the blind samples.

Concerning of egg white, the type of cryoprotectant played an important role on the colour change, while the storage time in freezing did not play an important role on the colour. Chitosan showed a greater impact on the colour of egg white, as the samples that contained chitosan have given high whiteness values. The use of cryoprotectant material has affected the viscosity of the egg white, as all the samples that contained additives showed lower viscosity values from the corresponding blind sample. Specifically lower viscosity values, have been showed by the samples that contained chitosan and lactitol, as in the first series of experiments they gave as minimum prices 6cP and 4,9cP respectively, while during the second series of experiments they gave as minimum values 4,8cP and 11cP respectively. Concerning the stability of the egg noone additive showed cryoprotectant behavior as all the materials contributed to the increased instability of the foam. The retention of water was determined that it depends on both the type of cryoprotectant and the storage time during freezing, as with the passage of time the possibility of water retention was increased. It was observed for the hardness that all the samples that contained cryoprotectant, showed lower prices of hardness than the corresponding blind sample, with the exception of the samples with inulin and chitosan, that after 60 days of long-term storage showed an increase in their hardness values, reaching a maximum of 1,5N and 1,1 N respectively. The samples that contained a cryoprotectant material showed lower elasticity values than the blind sample, with these that contained lactitol to give the lowest values of elasticity in both experimental series. Concerning adhesiveness, all samples showed lower prices compared to the corresponding blind sample, while the samples that contained lactitol and salt showed quite low values and these that contained chitosan showed the lowest prices in a range of prices 3-20N, when the remaining samples gave adhesiveness prices higher than

40N. The cohesiveness seemed to be affected from the type of the cryoprotectant that had been used and not from the storage time in freezing. In any case the lowest prices of cohesiveness were shown by the samples that contained chitosan, which during the first series of experiments gave a maximum price 1,4N, while the price of the corresponding blind sample was 0,7N and during the second series of experiments they gave a maximum price 1,4N, while the price of the corresponding blind sample was 0,5N.

In conclusion, based on the results and the processing of measurements that have emerged from the experiments, that have been carried out during this thesis, it is concluded that all materials that have been used showed cryoprotectant action and each had a different impact on the functional properties of the egg.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυγό υπάρχει ως αναφορά από τα προϊστορικά χρόνια, καθώς πολλοί λαοί από τη μυθολογία περιγράφουν τη γέννηση του σύμπαντος ως ένα αυγό που εκρήγνυται ή εκκολάπτεται.

Το αυγό της κότας είναι ένα μοναδικό είδος τροφίμου που θεωρείται γευστικό και θρεπτικό, καθώς η πρωτεϊνική του αξία είναι ιδιαίτερα υψηλή, ενώ η περιεκτικότητά του σε λίπη καθώς και η θερμιδική του αξία είναι μετρίου επιπέδου. Συνιστά μία πηγή πλούσια σε πολύτιμα θρεπτικά συστατικά, συμπεριλαμβανομένων πρωτεϊνών εξαιρετικής βιολογικής αξίας (ωομυκίνη, ωοτρασφερίνη, ωοκοναλβουμίνη, ωομυκοειδές, λιβετίνη, φωσφιτίνη, λιποβιτελλίνη), φωσφολιπιδίων, ακόρεστων λιπαρών οξέων, αντιοξειδωτικών καροτενοειδών και βιταμινών Α,Β,Δ,Ε,Κ. Επιπλέον πολλά συμπληρώματα διατροφής παράγονται από αυγά με ενισχυμένα επίπεδα θρεπτικών συστατικών όπως με ωμέγα λιπαρά οξέα ή βιταμίνη Ε (Kiosseoglou and Paraskevoudoulou, 2014).

Τα αυγά είναι εξίσου σημαντικά στην ενίσχυση της θρεπτικής αξίας άλλων τροφίμων, καθώς περιέχουν τέσσερα κύρια θρεπτικά συστατικά: πρωτεΐνες, λιπίδια, όλες τις απαραίτητες βιταμίνες (εκτός από τη C) και ανόργανες ουσίες.

Τα αυγά χαρακτηρίζονται ως πολυλειτουργικά είδη τροφίμων, αφού ενσωματώνονται σε πολλά τρόφιμα, όχι μόνο για να αυξήσουν τη θρεπτική τους αξία, αλλά και για να βελτιώσουν το χρώμα και τη γεύση, να ενισχύσουν τη γαλακτωματοποίηση, την ικανότητα αφρισμού και τις ιδιότητες πήξης και ζελατινοποίησης του προϊόντος. Ως αποτέλεσμα, η προετοιμασία και η φυσικοχημική σταθερότητα προϊόντων όπως σάλτσες, μαρέγκα, κρέμες, κέικ, ομελέτες και άλλα τρόφιμα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα συστατικά των αυγών που λειτουργούν ως παράγοντες ενσωμάτωσης αέρα, γαλακτωματοποιητές, σχηματιστές δικτύων πηκτώματος και παράγοντες που συνεισφέρουν στα ρεολογικά χαρακτηριστικά.

Η παρουσία των πρωτεϊνών του αυγού σε ένα σύστημα τροφίμων μαζί με άλλα βιοπολυμερή (για παράδειγμα άμυλο ή πρωτεΐνες γάλακτος) μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα όπως η αλληλεπίδραση των βιοπολυμερών, σε διαχωρισμό φάσης, ή όταν έχει αναμειχθεί και έλαιο σε ανταγωνιστική προσρόφηση κατά τη σύνδεση όλων των συστατικών πρωτεϊνών του τροφίμου. Όλα αυτά τα αποτελέσματα καθορίζονται από εξωτερικές παραμέτρους, όπως η ανάμιξη, η ομογενοποίηση και η θέρμανση, οι οποίες οδηγούν στη σύσταση και στη δομή του τροφίμου (Kiosseoglou and Paraskevoudoulou, 2005).

Οι λειτουργικές ιδιότητες του αυγού, καθώς και η θετική συνεισφορά του σε άλλα συστήματα τροφίμων, το καθιστούν αντικείμενο ενδιαφέροντος για παραπάνω μελέτη, τόσο στην κανονική του μορφή όσο και σε επεξεργασμένη μορφή, είτε πρόκειται για αφυδατωμένα προϊόντα αυγού είτε για παστεριωμένα. Για το λόγο αυτό μελετάται και η συμπεριφορά του, καθώς και η μεταβολή των λειτουργικών του ιδιοτήτων κατά την κατάψυξη και διερευνάται πώς μπορεί να περιοριστεί η υποβάθμιση των ιδιοτήτων του με την ενσωμάτωση κρυοπροστατευτικών υλικών.

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ – ΤΟ ΑΥΓΟ

1.1 Σύσταση του αυγού της κότας

Το αυγό της κότας, περιβάλλεται από ένα ασβεστούχο, πορώδες κέλυφος, πάχους 0,2-0,4mm. Το εσωτερικό του κελύφους αποτελείται από δύο στενά συνδεδεμένες μεμβράνες (εσωτερική και εξωτερική - 22 και 48μm αντίστοιχα). Οι μεμβράνες αυτές έχουν πρωτεϊνική σύσταση και πιο συγκεκριμένα αποτελούνται από πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες.

Οι δύο μεμβράνες διαχωρίζονται στο μεγάλο άκρο του αυγού σχηματίζοντας ένα κενό, που ονομάζεται αεροθάλαμος. Ο αεροθάλαμος έχει διάμετρο περίπου 5mm στα φρέσκα αυγά και αυξάνεται σε μέγεθος κατά την αποθήκευση, με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για τον προσδιορισμό της ηλικίας του αυγού της κότας. Το κενό που δημιουργείται οφείλεται στη συρρίκνωση του περιεχομένου του αυγού της κότας με το χρόνο λόγω της εκροής υδρατμών διαμέσου των πόρων του. Η αρχική συρρίκνωση των συστατικών του αυγού της κότας αποδίδεται στην ψύξη τους αμέσως μετά την έξοδο του αυγού από το σώμα της κότας.

Το ασπράδι του αυγού (ή αλλιώς λεύκωμα ή αλβουμίνη) είναι ένα υδατικό, υποκίτρινο, παχύρρευστο υγρό, που αποτελείται από τρία κλάσματα που διαφέρουν ως προς το ιξώδες τους. Το εσωτερικό μέρος του αυγού, ο κρόκος, περιβάλλεται από αλβουμίνη. Ένα λεπτό αλλά πολύ συνεκτικό στρώμα ασπραδιού (στοιβάδα χάλαζας) περιβάλλει στενά τον κρόκο του αυγού και διακλαδίζεται στις αντίθετες άκρες του κρόκου του αυγού σε δύο χάλαζες που εκτείνονται στην παχιά αλβουμίνη. Οι χάλαζες συγκρατούν τον κρόκο του αυγού στο κέντρο, ο οποίος αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα σκουρόχρωμου και ανοιχτόχρωμου υλικού που είναι τοποθετημένα ομόκεντρα (Σταυρινάδου, 1999), (Belitz et al., 2009).

Παρακάτω δίνεται στον πίνακα 1 η μέση σύσταση του αυγού της κότας:

Κλάσμα	Ποσοστό τουολικού βάρους	Ξηρή ουσία (%)	Πρωτεΐνη (%)	Λίπος (%)	Υδατάνθρακες (%)	Ανόργανα στοιχεία (%)
Κέλυφος	10.3	98.4	3.3 ^α			95.1
Ασπράδι	56.9	12.1	10.6	0.03	0.9	0.6
Κρόκος	32.8	51.3	16.6	32.6	1.0	1.1

Πίνακας 1 Σύσταση του αυγού της κότας

^αΈνα σύμπλοκο πρωτεΐνης με βλεννοπολυσαχαρίτη

- **Το κέλυφος**

Το κέλυφος του αυγού αποτελείται κυρίως από ασβέστιο, σε μορφή κρυστάλλων οι οποίοι βρίσκονται ενσωματωμένοι σε ένα οργανικό τρισδιάστατο πλέγμα ή πλαίσιο διαπλεκόμενων πρωτεϊνών και σφαιρικών μαζών με αναλογία 50:1. Συγκεκριμένα το κέλυφος, αποτελείται κατά 98.2% ασβέστιο, 0.9% φωσφόρο και 0.9% μαγνήσιο, το οποίο προσδίδει σκληρότητα στο κέλυφος.

Η κυτταρική δομή διαιρείται σε τέσσερα μέρη: την επιδερμίδα, τη σπογγώδη στοιβάδα, τη θηλαία στοιβάδα και τους πόρους. Οι πόροι, είναι γεμισμένοι με πρωτεΐνες, διαπερνούν το κέλυφος του αυγού και συνδέουν την εξωτερική με την εσωτερική επιφάνειά του. Οι πρωτεΐνες παρεμποδίζουν την είσοδο μικροβίων στο εσωτερικό του αυγού, ενώ η κυκλοφορία αερίων απαραίτητων για την ανάπτυξη του εμβρύου, όπως το O_2 και το CO_2 , γίνεται ανεμπόδιστα διαμέσου των πόρων. Η επιδερμίδα είναι το εξωτερικό κάλυμμα του κελύφους που πρόκειται για ένα διαφανές, βλεννώδες και πρωτεϊνικό στρώμα. Κάτω από την επιδερμίδα, βρίσκεται η σπογγώδης στοιβάδα, η οποία αποτελεί τα δύο τρίτα του πάχους του κελύφους. Η θηλαία στοιβάδα αποτελείται από ένα μικρό στρώμα συμπιεσμένων σωματιδίων με τη μία πλευρά σταθερά προσδεμένη στο σπογγώδες στρώμα και την άλλη πλευρά στενά προσκολλημένη στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης του κελύφους (Σταυρινάδου, 1999), (Belitz et al., 2009).

- **Το ασπράδι του αυγού**

Το ασπράδι του αυγού είναι ένα 10% υδατικό διάλυμα πρωτεϊνών και πρόκειται για ένα ψευδοπλαστικό υγρό. Το πυκνόρρευστο ασπράδι διαφέρει από το λεπτόρρευστο ασπράδι, καθώς το πρώτο έχει περίπου τετραπλάσια συγκέντρωση ωομυκίνης. Η βασική λειτουργία του ασπραδιού του αυγού είναι η προστασία του εμβρύου από την προσβολή μικροβίων. Αποτελείται από τέσσερα στρώματα τα οποία από έξω προς τα μέσα είναι το εξωτερικό αραιό, το εξωτερικό πυκνό, το εσωτερικό αραιό, το εσωτερικό πυκνό χαλαζοφόρο, το οποίο περιέχει τη χάλαζα, η οποία είναι ένα σύστημα ασπριδερών ινών διαπλεκόμενων μεταξύ τους.

- **Η χάλαζα**

Η χάλαζα διέρχεται μέσα από το εσωτερικό αραιό στρώμα του λευκώματος του αυγού και καταλήγει στο στένωμα του εξωτερικού πυκνού ασπραδιού του αυγού. Βασική λειτουργία της είναι η συγκράτηση του κρόκου στο κέντρο του αυγού, ώστε αυτός να μην μπορεί να έρθει σε επαφή με το εσωτερικό τοίχωμα του κελύφους. Αυτό είναι απαραίτητο, γιατί λόγω της ευαισθησίας του κρόκου του αυγού στους μικροοργανισμούς, υπάρχει κίνδυνος να προσβληθεί εάν έρθει σε επαφή με το κέλυφος (Belitz et al., 2009).

- **Ο κρόκος του αυγού**

Ο κρόκος του αυγού είναι ένα ψευδοπλαστικό μη Νευτωνικό υγρό (James et al., 2000). Πρόκειται για ένα αιώρημα λιπιδίων/πρωτεϊνών σε υπόστρωμα πρωτεΐνης/νερού και οι συνδέσεις αυτές μεταξύ πρωτεϊνών και λιπιδίων ονομάζονται λιποπρωτεΐνες. Περικλείεται από μία λεπτή και διαφανή μεμβράνη, τη λεκιθική μεμβράνη και αποτελείται από μία ασπριδερή μάζα που βρίσκεται μεταξύ του κέντρου και της περιφέρειας και αποκαλείται κόλπος, καθώς και από λεπτά ομόκεντρα στρώματα ασπριδερού χρώματος που διαχωρίζουν παχύτερα ομόκεντρα στρώματα κίτρινου χρώματος.

Ο κρόκος του αυγού περιέχει σωματίδια διαφόρων μεγεθών, τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες, τα σταγονίδια κρόκου και τους κόκκους.

Τα σταγονίδια είναι ποικίλου μεγέθους, με εύρος διαμέτρου γύρω στα 20-40μm, μοιάζουν με σταγονίδια λίπους, αποτελούνται κυρίως από λιπίδια και έχουν μερικές πρωτεϊνικές μεμβράνες. Είναι ένα μίγμα λιποπρωτεϊνών με μικρή πυκνότητα.

Οι κόκκοι που έχουν διάμετρο 1,0-1,3 μm, είναι πιο ομοιόμορφοι ως προς το μέγεθος, αλλά λιγότερο ομοιόμορφοι ως προς το σχήμα και αποτελούνται από πρωτεΐνες αλλά και από λιπίδια (Belitz et al., 2009).

1.2 Σύνθεση του ασπραδιού του αυγού

Το ασπράδι του αυγού αποτελείται από περίπου σαράντα πρωτεΐνες σφαιρικής φύσης και μία γλυκοπρωτεΐνη, η οποία εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή ινών, που είναι υπεύθυνες για την κολλώδη, ως μορφή πηκτής εμφάνιση του ασπραδιού. Η περιεκτικότητα του ασπραδιού του αυγού σε πρωτεΐνη είναι περίπου 9,7-10,6% και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία της κότας. Είναι ένα υλικό φτωχό σε υδατάνθρακες (περίπου 1%) που υπάρχει και σε ελεύθερη μορφή και συνδυασμένο με πρωτεΐνες. Η παρουσία ελεύθερων υδατανθράκων στο ασπράδι του αυγού, μπορεί να αποτελέσει ένα σοβαρό πρόβλημα κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, εξαιτίας των αντιδράσεων τύπου Maillard που οδηγούν στην αλλοίωση της ποιότητας του προϊόντος. Τέλος το ασπράδι του αυγού είναι πρακτικά απαλλαγμένο από λιπίδια (περίπου 0,03%) συγκρινόμενο με τον κρόκο του αυγού (Li et al., 2018), (Mine, 2002).

Παρακάτω δίνεται η χημική σύσταση του ασπραδιού του αυγού:

Σύνθεση του ασπραδιού του αυγού

- Νερό 85-90%
- Πρωτεΐνες (αλβουμίνες) 12%
- Λίπος 0,25%
- Τέφρα 0,6%
- Υδατάνθρακες (κυρίως λακτόζη) 0,7%
- Μικρές ποσότητες λεκιθίνης, χοληστερόλης, βιταμινών Β και ενζύμων.

Παρατηρείται πως το μεγαλύτερο ποσοστό των στερεών του ασπραδιού του αυγού είναι οι πρωτεΐνες, ενώ υπάρχουν μικρά ποσοστά λιπιδίων και υδατανθράκων, οι οποίοι βρίσκονται είτε σε ελεύθερη μορφή είτε δεσμευμένοι με πρωτεΐνες. Τέλος, η τέφρα που βρίσκεται στο λεύκωμα του αυγού αποτελείται κατά κύριο λόγο από θείο, κάλιο και νάτριο (Σταυρινάδου, 1999), (Belitz et al., 2009).

Οι λειτουργικές ιδιότητες του ασπραδιού του αυγού (αφρισμός, ζελοποίηση) είναι στενά συνδεδεμένες με τις πρωτεΐνες. Το σχετικό περιεχόμενο των σημαντικότερων πρωτεϊνών του αυγού και μερικά από τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πρωτεΐνη	Ποσοστό επί του συνόλου των πρωτεϊνών (%)	Ισοηλεκτρικό σημείο	Μοριακό Βάρος	Ιδιότητες
Ωοαλβουμίνη	54	4.6	45000	Φωσφογλυκοπρωτεΐνη
Ωοκοναλβουμίνη	13	6.6	80000	Δεσμεύει μέταλλα
Ωομυκοειδές	11	3.9-4.3	28000	Αναχαιτίζει την τρυψίνη
Λυσοζύμη (G1 γλοβουλίνη)	3.5	10.7	14600	Αντιβακτηριακή δράση
G2 γλοβουλίνη	4.0	5.5	30000-45000	
G3 γλοβουλίνη	4.0	5.8		
Ωομυκίνη	1.5			Σιελοπρωτεΐνη
Φλαβοπρωτεΐνη	0.8	4.1	35000	Δεσμεύει τη ριβοφλαβίνη
Ωογλυκοπρωτεΐνη	0.5	3.9	24000	Σιελοπρωτεΐνη
Ωομακρογλοβουλίνη	0.5	4.5-4.7	760000-900000	
Ωοαναστολέας	1.0	5.2	44000	Αναχαιτίζει αρκετές πρωτεάσες
Αβιδίνη	0.05	9.5	53000	Δεσμεύει τη βιοτίνη

Πίνακας 2 Πρωτεϊνική σύσταση του ασπραδιού του αυγού

Ωοαλβουμίνη

Η ωοαλβουμίνη είναι μία γλυκοπρωτεΐνη με 3,2% υδατάνθρακες, η οποία αποτελεί την κυριότερη πρωτεΐνη του ασπραδιού του αυγού (54% σε βάση ξηρής μάζας), είναι μία μονομερής φωσφογλυκοπρωτεΐνη που υπάρχει σε τρεις τύπους A1,A2,A3. Ο

τύπος A1 περιέχει δύο φωσφορικές ομάδες ανά μόριο, ο τύπος A2 περιέχει μία φωσφορική ομάδα ανά μόριο, ενώ ο τύπος A3 καμία. Το μόριο περιλαμβάνει τέσσερα κατάλοιπα κυστεΐνης, τα οποία ακολουθώντας την προσρόφηση του μορίου, στη διεπαφή αέρα/νερού, μπορούν να σχηματίσουν δισουλφιδικές γέφυρες, οδηγώντας στην ενδυνάμωση της απορροφημένης ωοαλβουμίνης και πιθανώς στη βελτίωση της σταθερότητας του αφρού. Οι δισουλφιδικές γέφυρες επίσης σχηματίζονται ανάμεσα στα μόρια ωοαλβουμίνης, ακολουθώντας τη θέρμανση και τη μετουσίωση των μορίων και οδηγούν στο σχηματισμό πολύ δυνατών και ελαστικών δομών δικτύων πηκτής. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης αυγών πραγματοποιείται ο σχηματισμός της S-ωοαλβουμίνης, ενός μορίου που παρουσιάζει μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα. Το μόριο της S-ωοαλβουμίνης είναι ελαφρώς πιο συμπαγές από της φυσικής ωοαλβουμίνης και ο ακριβής μηχανισμός μετατροπής της ωοαλβουμίνης σε S-ωοαλβουμίνη δεν έχει ακόμα διευκρινιστεί. Η περιεκτικότητα της S-ωοαλβουμίνης αυξάνεται από 5% στα νωπά αυγά σε 81% σε αυγά που έχουν αποθηκευτεί υπό ψύξη για έξι μήνες. Η ωοαλβουμίνη αποτελείται από μία πεπτιδική αλυσίδα με 385 αμινοξέα και έχει μοριακό βάρος $M_r=42699$ και μετουσιώνεται εύκολα, με ανάμιξη ή ανατάραξη του υδατικού της διαλύματος. Αυτή είναι μία διεπιφανειακή μετουσίωση η οποία παρατηρείται με ξεδίπλωμα και συσσωμάτωση των πρωτεϊνικών μορίων (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014), (Αμπατζής, 1999).

Ωοτρανσφερίνη- ωοκοναλβουμίνη

Η ωοτρανσφερίνη- ωοκοναλβουμίνη του ασπραδιού του αυγού(12% σε βάση ξηρής μάζας) είναι μία πρωτεΐνη που δεσμεύει το σίδηρο με μοριακό βάρος 78kDa. Είναι γλυκοζυλιωμένο μόριο που περιέχει δεκαπέντε δισουλφιδικές γέφυρες, αλλοιώνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (περίπου 60°C) και μπορεί να εμπλακεί σε διαμοριακές αλληλεπιδράσεις, παίρνοντας έτσι μέρος στην ανάπτυξη της δομής του δικτύου πηκτής του ασπραδιού κατά τη θέρμανση. Αυτή η πρωτεΐνη, σε αντίθεση με την ωοαλβουμίνη δεν μετουσιώνεται στην επιφάνεια, αλλά πήζει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Έχει την ικανότητα να καθυστερεί την ανάπτυξη των μικροοργανισμών (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014).

Ωομυκοειδές

Το ωομυκοειδές (11% σε βάση ξηρής μάζας) είναι μία γλυκοπρωτεΐνη (20-25% περιεχόμενο υδατανθράκων). Είναι φτιαγμένο από τρεις τομείς, καθένας από τους οποίους περιέχει τρεις δεσμούς δισουλφιδίων μεταξύ των τομών και όχι ομάδες σουλφιδίων. Οι δισουλφιδικοί δεσμοί παρέχουν σταθερότητα στην πήξη κατά τη θέρμανση. Η πρωτεΐνη μπορεί να παραμείνει πολύ σταθερή, όταν θερμαίνεται κάτω από όξινες καταστάσεις στους 100°C, αλλά έρευνες έχουν δείξει πως χάνει τη βιολογική της δραστηριότητα, όταν υποβληθεί σε θερμική επεξεργασία σε 100°C για 60min. Το ωομυκοειδές παρεμποδίζει τη δραστηριότητα της τρυψίνης βοοειδών, αλλά όχι της ανθρώπινης (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014), (Li et al., 2018), (Raikos, Campbell and Euston, 2016).

Λυσοζύμη

Η λυσοζύμη είναι ευρέως διαδεδομένη και βρίσκεται όχι μόνο στο ασπράδι του αυγού, αλλά και σε πολλούς ζωικούς ιστούς και εκκρίσεις, καθώς και σε μερικούς μύκητες. Η λυσοζύμη (3-4% σε βάση ξηρής μάζας) είναι μία βασική πρωτεΐνη (pI10,7) χαμηλού μοριακού βάρους (14,3 KDa) που περιέχει τέσσερις δισουλφιδικές γέφυρες. Εμποδίζει τη βακτηριακή μόλυνση του αυγού της κότας και χρησιμοποιείται ως συντηρητικό τροφίμων ή ως αντιφλεγμονώδης παράγοντας στα φάρμακα. Επειδή η πρωτεΐνη έχει βασικό χαρακτήρα, μπορεί να εμπλακεί κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες pH και ιοντικού περιεχομένου σε σύνθετους σχηματισμούς με την ωλεουκωματίνη, καταλήγοντας στη βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων της πήξης της ωλεουκωματίνης (Kiosseoglou and Paraskevoudoulou, 2014), (Li et al., 2018), (Raikos, Campbell and Euston, 2016).

Ωμοκίνη

Η ωμοκίνη μπορεί να σχηματίσει ινώδεις δομές και επομένως συνεισφέρει στην αύξηση του ιξώδους την αλβουμίνης, ιδιαίτερα του πυκνόρρευστου ως πηκτή ασπραδιού του αυγού. Η ωμοκίνη (3,5% σε βάση ξηρής μάζας) είναι μία γλυκοπρωτεΐνη (30% περιεχόμενο υδατανθράκων) που δεν διαλύεται στο νερό, αλλά μπορεί να διαλυτοποιηθεί σε αραιωμένα διαλύματα αλατιού σε pH πάνω από 9. Η ωμοκίνη είναι σταθερή στη θερμοκρασία και βρίσκεται στο ασπράδι του αυγού σε δύο μορφές, την αδιάλυτη ωμοκίνη που λαμβάνεται από ολόκληρο το παχύ στρώμα και τη διαλυτή μορφή που λαμβάνεται και από το παχύ και από το αραιό στρώμα. Τόσο οι αδιάλυτοι όσο και οι διαλυτοί τύποι αποτελούνται από α- και β- ωμοκίνη που περιέχουν 15 και 50% υδατάνθρακες και έχουν μοριακά βάρη 18 και 400kDa αντίστοιχα. Η αναλογία της α και β ωμοκίνης είναι 84:20 και 40:30 αντίστοιχα. Θεωρείται πως η αραίωση του ασπραδιού του αυγού με το χρόνο συνδέεται με το διαχωρισμό της β-ωμοκίνης στο παχύ ασπράδι του αυγού (Kiosseoglou and Paraskevoudoulou, 2014), (Li et al., 2018), (Raikos, Campbell and Euston, 2016).

Ωοαναστολέας

Ο ωοαναστολέας έχει την ικανότητα να αναστέλλει τη δράση της τρυψίνης και της χυμοτρυψίνης, καθώς και τις μυκητιακές και βακτηριακές πρωτεάσες. Απομονώνεται χρωματογραφικά και ο ρόλος του στο ασπράδι του αυγού είναι η προστασία των πρωτεϊνών του από ενζυμική μετουσίωση (Kiosseoglou and Paraskevoudoulou, 2014).

Αβιδίνη

Η αβιδίνη είναι μία βασική γλυκοπρωτεΐνη. Έχει προσδιοριστεί η αλληλουχία των αμινοξέων της και 15 θέσεις είναι ακριβώς ίδιες με τις αντίστοιχες της λυσοζύμης. Η αβιδίνη αποτελείται από 128 αμινοξέα και βασική της λειτουργία είναι η δέσμευση της βιοτίνης. Η δεσμευτική της ικανότητα είναι τόσο μεγάλη, ώστε 1 mole αυτής αρκεί για να δεσμεύσει 3 mole βιοτίνης. Απομονώνεται με καταβύθιση με θειικό αμμώνιο και απορρόφηση σε μπεντονίτη και ιοντοεναλλακτική ρητίνη (James et al., 2000).

Φλαβοπρωτεΐνη

Η φλαβοπρωτεΐνη δεσμεύεται έντονα από τη ριβοφλαβίνη και ενδέχεται να βοηθά στη μεταφορά αυτού του συνενζύμου από τον ορό του αίματος στο αυγό (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014).

Υδατάνθρακες

Από τους υδατάνθρακες (περίπου 1%), μερικοί είναι δεσμευμένοι με πρωτεΐνες (περίπου 0,5%), όπως φαίνεται στον πίνακα 3 και οι υπόλοιποι είναι ελεύθεροι (0,4-0,5%).

Πρωτεΐνη	Περιεκτικότητα Υδατανθράκων (%)
Ωοαλβουμίνη	3.2
Ωομυκοειδές	23
α-Ωομυκίνη	13
Ωογλυκοπρωτεΐνη	31
Ωοαναστολέας	9.2
Αβιδίνη	10

Πίνακας 3 Περιεκτικότητα υδατανθράκων σε ορισμένες γλυκοπρωτεΐνες του ασπραδιού του αυγού

Στους ελεύθερους υδατάνθρακες συμπεριλαμβάνεται η γλυκόζη (98%) και η μαννόζη, η γαλακτόζη, αραβινόζη, ξυλόζη, ριβόζη και δεοξυριβόζη με συνολική συγκέντρωση 0,2-2,0 mg/100g ασπραδιού του αυγού. Δεν υπάρχουν ελεύθεροι ολιγοσακχαρίτες ή πολυζαχαρίτες (Belitz et al., 2009).

Ανόργανα

Η περιεκτικότητα σε ανόργανα του ασπραδιού των αυγών είναι 0,6%. Στοιχεία αναφορικά με τη σύσταση σε ανόργανα παρουσιάζονται στον πίνακα 4 (Belitz et al., 2009) :

	Ασπράδι αυγού (%)	Κρόκος αυγού (%)
Θείο	0,195	0,016
Φωσφόρος	0,015-0,03	0,543-0,980
Νάτριο	0,161-0,169	0,026-0,086
Κάλιο	0,145-0,167	0,112-0,360
Μαγνήσιο	0,009	0,016
Ασβέστιο	0,008-0,02	0,121-0,262
Σίδηρος	0,0001-0,0002	0,0053-0,011

Πίνακας 4 Σύσταση των ανόργανων στοιχείων των αυγών

Βιταμίνες

Οι βιταμίνες που βρίσκονται στο ασπράδι του αυγού παρουσιάζονται στον πίνακα 5 (Belitz et al., 2009) :

Βιταμίνη	Σύνολο αυγού	Ασπράδι αυγού	Κρόκος αυγού
Ρετινόλη (Α)	0,22	0	1,12
Θειαμίνη	0,11	0,022	0,29
Ριβοφλαβίνη	0,30	0,27	0,44
Νιασίνη	0,1	0,1	0,065
Πυριδοξίνη(Β ₆)	0,08	0,012	0,3
Παντοθενικό οξύ	1,59	0,14	3,72
Βιοτίνη	0,025	0,007	0,0053
Φολικό οξύ	0,051	0,009	0,15
Τοκοφερόλη	2,3	0	6,5
α-Τοκοφερόλη	1,9		5,4
Βιταμίνη D	0,003		0,0056
Βιταμίνη K	0,009		

Πίνακας 5 Περιεκτικότητα σε βιταμίνες του συνόλου του αυγού, του ασπραδιού του αυγού και του κρόκου του αυγού (mg/100g εδώδιμου τμήματος)

1.3 Σύνθεση του κρόκου του αυγού

Ο κρόκος του αυγού που αντιπροσωπεύει περίπου το 35% του υγρού αυγού είναι ένα πολύ σύνθετο φυσικοχημικό σύστημα που περιέχει αρκετά στερεά. Τα κύρια συστατικά του κρόκου του αυγού, εκτός από το νερό είναι πρωτεΐνες (15,7-16,6%) και λιπίδια (32-35%).

Παρακάτω δίνεται η χημική σύσταση του κρόκου του αυγού:

Σύνθεση του κρόκου του αυγού

- Νερό 45-51%
- Πρωτεΐνες 16-17%
- Λίπος 31-36%
- Τέφρα 1,3%
- Υδατάνθρακες 0,2-1,1%

Ο κρόκος του αυγού περιλαμβάνει πολύ λίγο νερό σε σχέση με το λεύκωμα του αυγού. Το μεγαλύτερο μέρος του αποτελείται από πρωτεΐνες και λιπίδια, αλλά σε μικρό ποσοστό περιέχει και υδατάνθρακες. Τα λιπαρά του κρόκου του αυγού είναι τριγλυκερίδια: 66%, φωσφολιπίδια: 28%, στερόλες με επικρατέστερη τη χοληστερόλη: 5% και μερικά ακόμα σε μικρότερες ποσότητες. Η τέφρα του κρόκου του αυγού αποτελείται κυρίως από ασβέστιο, κάλιο και φωσφόρο. Τέλος, ο κρόκος του αυγού περιέχει καροτινοειδή και κυρίως ξανθάνη (και σε μικρότερες ποσότητες βιταμίνη A και το β-καροτένιο), στην οποία ο κρόκος του αυγού οφείλει και το έντονο χρώμα του.

Το σχετικό περιεχόμενο της σύστασης του κρόκου του αυγού παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Συστατικά	%(w/v)	Κύρια συστατικά (%)
Πρωτεΐνες	15,7-16,6	Αποβιτελίνη (I-VI) (37.3)
		Lipovitellin αποproteins (40.0)
		α-λιποβιτελίνη
		β-λιποβιτελίνη
		Λιβετίνες (9.3)
		α-λιβετίνη (ορός αλβουμίνης)
		β-λιβετίνη (α2 γλυκοπρωτεΐνη)
		χ-λιβετίνη (χ-σφαιρίνη)
		Φωσφιτίνη (13.4)
		Βιοτίνη (συνδεδετική πρωτεΐνη)
Λιπίδια	32,0-35,0	Τριγλυκερόλη (66)
		Φωσφατιδυχολίνη (PC) (24)
		Φωσφατιδυλεθαναλαμίνη (PE) (2.8)
		Λυσοφωσφατιδυχολίνη (LPO) (0.6)
		Σφιγγομυελίνη (0.6)
		Χοληστερόλη (5.0)
		Άλλα (1.0)
Υδατάνθρακες	0,2-1,0	
Τέφρα	1,1	

Πίνακας 6 Σύσταση του κρόκου του αυγού

Λιβετίνες

Οι λιβετίνες απαρτίζουν περίπου το 10% των συνολικών πρωτεϊνών του κρόκου του αυγού και εμφανίζονται σε υδροδιαλυτή μορφή. Η λιβετίνη αποτελείται από τρία συστατικά γνωστά ως α-,β-,γ- λιβετίνη και έχει αποδειχτεί ότι τα συστατικά αυτά αντιστοιχούν στις πρωτεΐνες του ορού του αίματος της κότας. Τα περισσότερα εξ αυτών (λιποπρωτεΐνες, φωσφιτίνη) συνδυάζονται με τα λιπίδια του κρόκου του αυγού σε μικροσωματίδια (κυρίως τα LDL μικκύλια και τους κόκκους). Το κομμάτι των λιπιδίων του κρόκου αποτελείται από περίπου 66% τριγλυκερίδια, 28% φωσφολιπίδια, 5% χοληστερόλη και 1% άλλα λιπίδια (Jingyan et al., 2017).

Λιποβιτελλίνες

Οι κόκκοι του κρόκου του αυγού που αντιπροσωπεύουν περίπου το 23% του συνολικού κρόκου του αυγού, είναι συμπαγή σωματίδια με μέση διάμετρο 2μm. Η δομή τους αποδιοργανώνεται και τα κοκκώδη συστατικά απελευθερώνονται με την παρουσία 0,34M NaCl. Δύο λιποπρωτεΐνες, η α- και η β- λιποβιτελλίνη, αποτελούν τα κύρια συστατικά των κόκκων (70%), καθώς και μία φωσφοπρωτεΐνη που ονομάζεται φωσφιτίνη (16%) και το κοκκώδες LDL (12%). Οι λιποβιτελλίνες έχουν μοριακά βάρη περίπου 400kDa και η δομή τους είναι περισσότερο σφαιρική από τις άλλες μικυλλιακές λιποπρωτεΐνες. Σε τιμές του pH σε κλίμακα 2-7 και οι δύο λιποβιτελλίνες εμφανίζονται με τη μορφή ενός διμερούς, το οποίο υφίσταται μία αναστρέψιμη διάσπαση μονομερούς-διμερούς πάνω από pH 7 ή κάτω από pH 2. Το κλάσμα της λιποβιτελλίνης αντιπροσωπεύει τις λιποπρωτεΐνες υψηλής πυκνότητας. Οι βιτελλίνες είναι ομοιοπολικά συνδεδεμένες με ολιγοσακχαρίτες που αποτελούνται από μαννόζη, γαλακτόζη, γλυκοζαμίνη και σιαλικό οξύ. Ο ισχυρότερος όξινος χαρακτήρας της α-λιποβιτελλίνης βασίζεται όχι μόνο στη μεγαλύτερη περιεκτικότητα φωσφορικού οξέος, αλλά επίσης και στη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σιαλικού οξέος. Οι λιποβιτελλίνες είναι θερμοάντοχες, αλλά χάνουν αυτή την ιδιότητα, εάν απομακρυνθούν τα λιπίδιά τους (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014).

Φωσφιτίνη

Η φωσφιτίνη είναι μία πρωτεΐνη που χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε φωσφόρο (10%). Σε αλκαλικό pH, το μόριο έχει μία διαμόρφωση που αλλάζει σε μία πιο σταθερή μορφή κατά τη μείωση του pH. Μέσα στην κοκκώδη δομή, η φωσφιτίνη συμμετέχει σε ένα σύνθετο σχηματισμό μαζί με τις λιποβιτελλίνες. Η φωσφιτίνη έχει την ιδιότητα να συνδέεται ισχυρά με ιόντα σιδήρου, με τα οποία σχηματίζει ευδιάλυτα σύμπλοκα και για το λόγο αυτό αποτελεί τον κύριο φορέα σιδήρου στον κρόκο. Έχει ακόμα αναφερθεί πιθανή αντιοξειδωτική δράση της, καθώς και μία σχετικά σταθερή συμπεριφορά της στη θερμότητα (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014).

Λιποβιτελλενίνη

Η λιποβιτελλενίνη παραλαμβάνεται ως χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνη (LDL) με υπερφυγοκέντρηση του αραιωμένου κρόκου του αυγού. Η λιπιδική προσθετική ομάδα αντιπροσωπεύει το 84-90% της ξηρής ύλης και αποτελείται από 74% τριγλυκερίδια και 26% φωσφολιπίδια.

Ο άθικτος κρόκος του αυγού μέσα από τη μεμβράνη είναι ένα σύστημα από εναλλασσόμενα στρώματα από ανοιχτό κίτρινο και βαθύ κίτρινο κρόκο που σταθεροποιείται από μία εύθραυστη μεμβράνη σε μία κυψελοειδή δομή. Αυτή η δομή διασκορπίζεται πολύ εύκολα μετά από ανάμιξη, απελευθερώνοντας τα συστατικά των σωματιδίων του κρόκου του αυγού. Μετά τη φυγοκέντρηση του αραιωμένου κρόκου του αυγού, λαμβάνονται ένα καθαρό κίτρινο υγρό που ονομάζεται πλάσμα και ένα ίζημα που αποτελείται κυρίως από κόκκους. Το πλάσμα περιέχει τις λιβετίνες και τα μικύλλια LDL. Το δεύτερο που αντιπροσωπεύει περίπου το 60% των στερεών του κρόκου του αυγού αποτελείται από 85% λιπίδια (74% τριγλυκερίδια και 26% φωσφολιπίδια) και 15% πρωτεΐνη. Τα LDL λιπίδια φαίνονται να είναι φτιαγμένα από ουδέτερο λιπιδικό πυρήνα που περιβάλλεται από πρωτεΐνη και φωσφολιπίδια. Η μικροσκοπική δομή είναι εξαιρετικά ασταθής και μπορεί εύκολα να αποδιοργανωθεί κατά τη θέρμανση ή μετά την προσρόφηση κατά τη διεπαφή νερού/ελαίου. Σε αυτή την περίπτωση ο λιπιδικός πυρήνας ενός LDL μικυλλίου ενώνεται με τη φάση του ελαίου, ενώ τα συστατικά πρωτεΐνης και φωσφολιπιδίων συσσωρεύονται στη διεπαφή και σχηματίζουν μία ελαστική μεμβράνη (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014), (Anton et al., 2001).

1.4 Λειτουργικές ιδιότητες του αυγού

1.4.1 Τα συστατικά του αυγού ως παράγοντες γαλακτωματοποίησης

Γαλάκτωμα είναι η κολλοειδής διασπορά ενός υγρού σε ένα δεύτερο υγρό, το οποίο αποτελεί μέσο διασποράς και δεν πρέπει να είναι αναμίξιμο με το πρώτο. Στο γαλάκτωμα η μία φάση είναι λιπαρή και η άλλη υδατική. Η λιπαρή φάση μπορεί να είναι έλαιο, κηρός, ρητίνη ή κάποια άλλη υδρόφοβη ουσία. Η υδατική φάση μπορεί να είναι νερό, διάλυμα άλατος ή σακχάρου ή γενικά διάλυμα κάποιας υδρόφιλης ουσίας. Όταν η υδατική φάση είναι η συνεχής φάση, τότε το γαλάκτωμα είναι του τύπου έλαιο σε νερό, ενώ όταν η συνεχής φάση είναι η λιπαρή τότε το γαλάκτωμα είναι του τύπου νερό σε έλαιο. Κάθε ένας από τους δύο τύπους γαλακτωμάτων παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της συνεχούς φάσης, όσον αφορά στην ικανότητα ανάμιξης με άλλες ουσίες ή την ικανότητα διάλυσης συστατικών και την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014).

Ο μηχανισμός της γαλακτωματοποίησης περιλαμβάνει δύο στάδια: στο πρώτο μόρια πρωτεΐνης προσροφώνται στην επιφάνεια ελαίου/νερού. Κατά το δεύτερο στάδιο, το πρωτεϊνικό μόριο ξεδιπλώνεται, έτσι ώστε οι υδρόφιλες ομάδες του να κατευθύνονται προς την υδατική φάση και οι υδρόφοβες προς τη λιπαρή φάση. Η κατάσταση αυτή είναι κατάσταση χαμηλής ελεύθερης ενέργειας για το μόριο και για αυτό ευνοείται θερμικά. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται γύρω από τα σωματίδια του ελαίου ένα προστατευτικό περίβλημα πρωτεΐνης, που εμποδίζει τη συσσωμάτωσή τους και το διαχωρισμό των δύο φάσεων.

Η γαλακτωματοποιητική ικανότητα ολόκληρου του αυγού ή μόνο του κρόκου του αυγού χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στην

παρασκευή της μαγιονέζας ή σε κρεμώδεις αλοιφές. Τα φωσφολιπίδια, τα LDL και οι πρωτεΐνες είναι υπεύθυνα για τη γαλακτωματοποιητική δράση των αυγών (Kiosseoglou and Paraskevoroulou, 2014).

Κρόκος του αυγού και γαλακτωματοποίηση

Η γαλακτωματοποίηση του κρόκου του αυγού καθορίζεται από τις πρωτεΐνες που υπάρχουν στα μόρια του κρόκου του αυγού (LDL μικύλλια και κόκκοι) και φαίνεται να εξαρτάται από ποικίλους εσωτερικούς παράγοντες όπως η δομή και η υδροφοβικότητα της πρωτεΐνης, η σταθερότητα της δομής των μορίων του κρόκου του αυγού, όπως επίσης και από εξωτερικές παραμέτρους, όπως pH, NaCl, θέρμανση και παρουσία συνθετικών γαλακτωματοποιητών στο σύστημα.

Τα μικύλλια LDL, ως αποτέλεσμα της ασταθούς φύσης τους, αποδιοργανώνονται πολύ εύκολα όταν έρχονται σε επαφή με σταγονίδια ελαίου, το οποίο ακολουθείται από την εξάπλωση μορίων αποβιτελινών στη διεπαφή, μία διαδικασία που ευνοείται από την υψηλή μοριακή τους ευκαμψία και την υδρόφοβη επιφάνειά τους. Μερικές LDL αποβιτελίνες μπορούν ωστόσο να αποκλειστούν από τη διεπαφή, εξαιτίας των ανταγωνιστικών αποτελεσμάτων προσρόφησης που συμβαίνουν ανάμεσα στα συστατικά των LDL πρωτεϊνών. Επιπρόσθετα, οι αλληλεπιδράσεις πρωτεϊνών-λιπιδίων κατά τη διεπαφή μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό μίας απορροφημένης μεμβράνης μικτής φύσης, η οποία αποτελείται και από μόρια αποβιτελινών και επιφανειακά ενεργά λιπίδια του κρόκου, αλλά και από φωσφολιπίδια και χοληστερόλη. Οι πρωτεΐνες σχηματίζουν κόκκους που επίσης εμπλέκονται στο σχηματισμό της μεμβράνης και στη σταθεροποίηση του γαλακτώματος. Στα σταθεροποιημένα με κρόκο γαλακτώματα, τα συστατικά πρωτεΐνης που προέρχονται και από τα μικύλλια LDL και από τους κόκκους βρίσκονται στην επιφάνεια σταγονιδίων του ελαίου. Οι κόκκοι μπορούν να απορροφηθούν είτε στη φυσική τους μορφή, είτε μετά από διάσπαση με NaCl. Και στις δύο περιπτώσεις, λεπτότερα γαλακτώματα παράγονται (Kiosseoglou and Paraskevoroulou, 2014).

Οι σφαιρικές πρωτεΐνες του κρόκου του αυγού, οι λιβετίνες, είναι λιγότερο αποτελεσματικοί γαλακτωματοποιητές από τις λιποπρωτεΐνες του κρόκου του αυγού και αποκλείονται από τη διεπαφή με την παρουσία του δεύτερου. Σε τεχνητά γαλακτώματα κρέμας που σταθεροποιήθηκαν από αυγό και πρωτεΐνες γάλακτος, μόνο το 20% του συνολικού μέρους της λιβετίνης απορροφάται στη διεπαφή των σταγονιδίων ελαίου. Το επιφανειακό στρώμα των σταθεροποιημένων με κρόκο σταγονιδίων ελαίου σε γαλάκτωμα αναμένεται να κατασκευαστεί από έναν αριθμό συστατικών πρωτεϊνών και φωσφολιπιδίων. Τα μόρια απολιποπρωτεΐνης που προέρχονται από τη διάσπαση της δομής των LDL μικυλλίων, παίζουν έναν κυρίαρχο ρόλο στην ανάπτυξη του επιφανειακού στρώματος. Αυτές οι πρωτεΐνες συνδυασμένες με τα φωσφολιπίδια τείνουν να σχηματίζουν το πρωτεύον επιφανειακό στρώμα γύρω από τα σταγονίδια ελαίου, ενώ τα άθικτα μικύλλια LDL και οι μερικώς διασπασμένοι ή άθικτοι κόκκοι του κρόκου του αυγού, όπως επίσης και οι λιβετίνες φαίνονται να συνδυάζονται στη δημιουργία ενός δευτερεύοντος

επιφανειακού στρώματος που προσφέρει σταθερότητα στα σταγονίδια. Η απορρόφηση των πρωτεϊνών του κρόκου του αυγού στη διεπαφή είναι τόσο δυνατή, ώστε η μετατόπισή τους από γαλακτωματοποιητές χαμηλού μοριακού βάρους με υψηλή επιφανειακή δραστηριότητα είναι αδύνατη, και μόνο ένα σχετικά μικρό τμήμα των πρωτεϊνών του κρόκου (οι λιγότερο σφικτά απορροφημένες), εκτοπίζονται τελείως από το επιφανειακό στρώμα από τα δραστικά μόρια (Nikiforidis and Kiosseoglou, 2007).

Οι γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες του κρόκου του αυγού βελτιώνονται όταν ο κρόκος του αυγού συνδυάζεται με φωσφολιπάση A1 και φωσφολιπάση A2 (Yin et al., 2011). Τέτοια βελτίωση είναι το αποτέλεσμα του σχηματισμού λυσοφωσφολιπιδίων, αλλά κυρίως της δομικής τροποποίησης των μικυλλίων και των κόκκων του κρόκου του αυγού. Η κατεργασία του κρόκου του αυγού με φωσφολιπάση D προκαλεί βελτίωση και στη λειτουργικότητα. Αυτή η βελτίωση μπορεί να προκύψει από τη μετατροπή της φωσφατιδυλοχολίνης του κρόκου του αυγού σε φωσφατιδικό οξύ και της υψηλής δραστηριότητας μεταξύ των επιφανειών, όπως επίσης από την τροποποίηση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στις πρωτεΐνες και τα φωσφολιπίδια στις δομές σωματιδίων του κρόκου του αυγού (μικκύλια και κόκκοι) (Buxmann et al., 2010).

Ασπράδι του αυγού και γαλακτωματοποίηση

Οι πρωτεΐνες του ασπραδιού του αυγού μπορούν επίσης να δράσουν ως αποτελεσματικοί γαλακτωματοποιητές στην προετοιμασία σταθερών γαλακτωμάτων επικάλυψης σαλατών, όταν λειτουργούν μόνες τους. Με την παρουσία κρόκου όμως, οι πρωτεΐνες του ασπραδιού του αυγού δεν είναι ικανές να απορροφηθούν. Οι μη-απορροφούμενες πρωτεΐνες του ασπραδιού του αυγού, μπορεί να εμπλακούν στην εξάλειψη των αποτελεσμάτων κροκίδωσης, οδηγώντας σε αλλαγές της σταθερότητας και των ρεολογικών χαρακτηριστικών του συστήματος. Η ενσωμάτωση αφυδατωμένου ασπραδιού σε γαλακτώματα επικάλυψης σαλατών σταθεροποιημένα με κρόκο αυγού, ενισχύει την αλληλεπίδραση σταγονιδίων ελαίου και τα φαινόμενα διαχωρισμού φάσης. Έτσι κάποιες πρωτεΐνες του ασπραδιού του αυγού, όπως η ωλευκωματίνη και η ωμοκυκίνη είναι πρακτικά απύσες από την επιφάνεια των σταγονιδίων ελαίου. Τέτοια φαινόμενα μπορούν να συμβούν σε γαλακτώματα όπου ολόκληρο το αυγό ή ο εμπορικός κρόκος μολυσμένος με ασπράδι αυγού χρησιμοποιείται ως γαλακτωματοποιητής. Σε προϊόντα τροφίμων όπως το παγωτό, όπου ενσωματώνονται και αυγό και πρωτεΐνες γάλακτος, οι λιποπρωτεΐνες του κρόκου μπορούν να εκτοπίσουν ανταγωνιστικά από την επιφάνεια των σταγονιδίων ελαίου όχι μόνο τη σφαιρική β-λακτοσφαιρίνη, αλλά επίσης και τις πιο εύκαμπτες πρωτεΐνες. Η έκταση της μετατόπισης εξαρτάται από τη φάση του ελαίου. Σε συγκεκριμένους τύπους κέικ, όπου το γάλα είναι συσσωματωμένο, η ανταγωνιστική απορρόφηση μπορεί να συμβεί στη σφαιρική επιφάνεια του λίπους ανάμεσα στο αυγό και τις πρωτεΐνες γάλακτος, επηρεάζοντας τα χαρακτηριστικά του προϊόντος (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2005).

1.4.2 Τα συστατικά του αυγού σε συστήματα παραγωγής αφρού

Στον αφρό, μία συνεχής φάση υδατικής μεμβράνης διαχωρίζει τις φυσαλίδες αερίου. Απαιτείται μηχανική ενέργεια για τη δημιουργία της διεπιφάνειας αερίου/υγρού. Για να διατηρηθεί η διεπιφάνεια και να αποφευχθεί η συσσωμάτωση των φυσαλίδων, απαιτείται η παρουσία ενός επιφανειακού ενεργού υλικού. Τέτοια υλικά μειώνουν τη διεπιφανειακή τάση και σχηματίζουν ένα ελαστικό προστατευτικό στρώμα μεταξύ των φυσαλίδων του αερίου. Ορισμένες πρωτεΐνες έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν ένα προστατευτικό λεπτό στρώμα μέσω της προσρόφησής τους στη διεπιφάνεια αερίου/υγρού, παγιδεύοντας έτσι αέριο υπό μορφή φυσαλίδων. Σε αυτή την περίπτωση, η υγρή μεμβράνη που διαχωρίζει τις γειτονικές φυσαλίδες αερίου αποτελείται από δύο λεπτά πρωτεϊνικά στρώματα που χωρίζονται μεταξύ τους από ένα λεπτό υδατικό στρώμα (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014).

Οι υγροί αφροί είναι διφασικά συστήματα που αποτελούνται από μία ασυνεχή αέρια φάση διασκορπισμένη σε μία συνεχή υγρή φάση. Ο αφρισμός είναι μία πολύ σημαντική λειτουργική ιδιότητα των πρωτεϊνών για τη βελτίωση χαρακτηριστικών αρκετών τροφίμων.

Το πρώτο στάδιο για το σχηματισμό αφρού με πρωτεΐνες είναι η μετουσίωση, κατά την οποία ξεδιπλώνονται τα πρωτεϊνικά πολυπεπτίδια και ακολουθεί η προσρόφηση, κατά την οποία σχηματίζεται μονομοριακό στρώμα ή λεπτή μεμβράνη στην επιφάνεια του κολλοειδούς διαλύματος. Κατά την παγίδευση εγκλωβίζεται το αέριο στην επιφάνεια από τη λεπτή μεμβράνη και σχηματίζονται φυσαλίδες. Ακολουθεί η επιδιόρθωση, η οποία είναι η συνεχιζόμενη προσρόφηση ή ο σχηματισμός του δεύτερου μονομοριακού στρώματος γύρω από τις φυσαλίδες προς αντικατάσταση των συσσωματωμένων περιοχών της μεμβράνης. Κατά την επαφή γίνεται η προσέγγιση των πρωτεϊνικών μεμβρανών των γειτονικών φυσαλίδων και η παρεμπόδιση της ροής του υγρού. Τέλος κατά τη συσσωμάτωση αυξάνονται οι δυνάμεις αλληλεπίδρασης μεταξύ πολυπεπτιδίων, οι πρωτεΐνες συσσωματώνονται και η επιφανειακή μεμβράνη εξασθενεί, με αποτέλεσμα τη διάρρηξη της φυσαλίδας (Raikos et al., 2016).

Κρόκος του αυγού και αφρισμός

Ο κρόκος του αυγού είναι ένας φτωχός παράγοντας σχηματισμού αφρού, εξαιτίας της παρουσίας λιπιδίων, τα οποία προσροφώνται και εξαπλώνονται κατά τη διεπαφή, οδηγώντας στη μετατόπιση των μορίων της πρωτεΐνης. Όταν χρησιμοποιείται υπερκρίσιμο CO₂, η ικανότητα αφρίσματος και η σταθερότητα του αφρού βελτιώνονται σημαντικά, επειδή το λίπος που παραμένει είναι κρυμμένο μέσα στη μοριακή δομή των πρωτεϊνών του κρόκου του αυγού και δεν επηρεάζει τη λειτουργία αφρισμού τους (Raikos et al., 2016).

Ασπράδι του αυγού και αφρισμός

Οι εξαιρετικές ιδιότητες αφρισμού του ασπραδιού του αυγού, είναι το αποτέλεσμα της παρουσίας στο σύστημα ενός αριθμού σφαιρικών πρωτεϊνών που διαφέρουν στη δομή και τη λειτουργικότητα. Επιπλέον, συγκεκριμένα συστατικά των πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού, όπως οι σφαιρίνες είναι άριστοι παράγοντες σχηματισμού αφρού, ακολουθούμενες από την ωλεουκωματίνη και την ωοτρανσφερίνη. Η ωομυκίνη του ασπραδιού, από την άλλη πλευρά, ενισχύει τη σταθερότητα του αφρού, συνεισφέροντας στο σχηματισμό στην επιφάνεια της φυσαλίδας αέρα μίας πυκνής μεμβράνης, που εμποδίζει την αραίωση του υγρού στρώματος.

Η ωλεουκωματίνη που αποτελεί την κύρια πρωτεΐνη του ασπραδιού του αυγού, έχει πολύ σημαντικό ρόλο στον αφρισμό και στη σταθεροποίηση του αφρού στο αυγό. Όταν προσροφάται κατά τη διεπιφάνεια, τα μόρια ωλεουκωματίνης ξεδιπλώνονται και αναδιατάσσονται για να προσανατολίσουν τις υδροφοβικές τους πλευρές προς τη φάση ελαίου. Τα προσροφημένα μόρια τότε αλληλεπιδρούν μέσω ενός συνδυασμού δισουλφιδικών γεφυρών και μη ομοιοπολικών δεσμών για να σχηματίσουν μία συνεκτική και ελαστική μεμβράνη. Για το σχηματισμό του στρώματος, παίρνουν μέρος και ομοιοπολικές και μη ομοιοπολικές αλληλεπιδράσεις. Οι πρώτες φαίνονται να είναι λιγότερο σημαντικές για τη μακρόχρονη σταθερότητα του συστήματος (Raikos et al., 2016).

Οι ιδιότητες σχηματισμού αφρού της πρωτεΐνης ενός απομονωμένου ασπραδιού του αυγού, τροποποιούνται όταν η πρωτεΐνη πρέπει να λειτουργήσει με πρωτεΐνες από ασπράδια άλλων αυγών. Σε ουδέτερο pH, η βασική πρωτεϊνική λυσοζύμη, εμπλέκεται στο σχηματισμό ηλεκτροστατικών συγκροτημάτων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην ενίσχυση του αφρού. Επιπρόσθετα, η προσροφητική συμπεριφορά συγκεκριμένων συστατικών των πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού στη διεπιφάνεια, φαίνεται να επηρεάζεται από το σχηματισμό ενός ηλεκτροστατικού συγκροτήματος με λυσοζύμη. Η μετουσίωση της ωοτρανσφερίνης, που ακολουθεί την προσρόφηση στη διεπαφή, μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την παρουσία πρωτεϊνών ασπραδιού από άλλα αυγά. Σε μίγμα με την ωλεουκωματίνη, τα μόρια ωοτρανσφερίνης φαίνεται να υφίστανται μία εκτενή δομική τροποποίηση στη διεπαφή, πιθανώς εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων ωοτρανσφερίνης-ωλεουκωματίνης κατά τη διεπαφή (Raikos et al., 2016).

Οι ιδιότητες σχηματισμού αφρού των πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού μπορούν να επιδεινωθούν μετά την αποθήκευση των αυγών ή όταν το υγρό ασπράδι του αυγού υπόκειται σε ποικίλες επεξεργασίες, ειδικά σε αυτές που περιλαμβάνουν θέρμανση. Η αφυδάτωση συγκεκριμένα, μπορεί να οδηγήσει σε μετουσίωση της πρωτεΐνης, συσσωμάτωση και προσωρινή απώλεια της λειτουργικότητας, μία τάση που μπορεί να αντιστραφεί, όταν το αφυδατωμένο υλικό υπόκειται σε θέρμανση σε ελεγχόμενες συνθήκες. Αυτή η βελτίωση οφείλεται στο σχηματισμό κατά τη θέρμανση διαλυτών πρωτεϊνών και ολιγομερών, τα οποία μαζί με την παρουσία ενός μικρού ποσοστού μονομερών, βοηθούν στη βέλτιστη απόδοση αφρισμού των πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού (Raikos et al., 2016).

1.4.3 Πήξη και ζελοποίηση του αυγού

Η θερμική επεξεργασία του αυγού οδηγεί σε μετουσίωση της πρωτεΐνης που ακολουθείται από πήξη/ζελοποίηση. Η θερμική ρύθμιση του μίγματος αυγού, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία στο σύστημα συστατικών των πρωτεϊνών του αυγού, οι οποίες ξεδιπλώνονται και αλληλεπιδρούν, οδηγώντας στη δημιουργία πηκτής.

Και τα δύο μέρη του αυγού, ασπράδι και κρόκος, έχουν τη δυνατότητα να σχηματίσουν με τη θέρμανση πάνω από 70°C πλέγμα πηκτής που είναι θερμικά μη αναστρέψιμα.

Ασπράδι του αυγού και ζελοποίηση

Το ασπράδι του αυγού παράγει πολύ ελαστικές πηκτές με γαλακτώδη-λευκή μορφή. Αν και το ασπράδι του αυγού αρχίζει να πήζει σε χαμηλές θερμοκρασίες (περίπου 60°C), απαιτείται θέρμανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες, προκειμένου να σχηματιστεί το πήγμα και να σταθεροποιηθεί η δομή του. Η διαδικασία της ζελοποίησης ολοκληρώνεται, όταν η κύρια πρωτεΐνη του ασπραδιού του αυγού, η ωλοευκωματίνη, μετουσιώνεται στους 85°C. Ο εκτεταμένος σχηματισμός ομοιοπολικών δεσμών μεταξύ των αλληλεπιδρώντων μορίων των πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού φαίνεται να παίζει κυρίαρχο ρόλο στην ζελοποίηση του ασπραδιού του αυγού. Παρόλα αυτά οι φυσικοχημικές ιδιότητες του τελικού πηγματος επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το pH και τις ιοντικές συνθήκες αντοχής του συστήματος (Kiosseoglou and Paraskevoroulou, 2014).

Κρόκος του αυγού και ζελοποίηση

Η ζελοποίηση του κρόκου του αυγού είναι μία διαδικασία αποσταθεροποίησης των σωματιδίων του κρόκου του αυγού, που προκύπτει από τη θερμική μετουσίωση των μορίων πρωτεΐνης που βρίσκονται στην επιφάνεια του μορίου (Kiosseoglou, 2003). Η διαδικασία ζελοποίησης του κρόκου του αυγού καθορίζεται από τα συστατικά πρωτεΐνης του πλάσματος, των λιβετινών και των απολιποβιβελενικών. Οι σφαιρικές πρωτεΐνες μπορεί να δράσουν ως μη ενεργά πληρωτικά της δομής του πηγματος του κρόκου του αυγού, που αρχίζει να αναπτύσσεται ως αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων που εμπεριέχουν τα ευαίσθητα στη θερμότητα μόρια λιβετινών και ενοποιείται από τα συστατικά των απολιποβιτελινών που αλληλεπιδρούν από LDL μικύλλια, που ξεκινούν να μετουσιώνονται στους 70°C (Kiosseoglou and Paraskevoroulou, 2005). Η μετουσίωση των συστατικών των πρωτεϊνών πάνω από τους 75°C μπορεί να μην έχει έναν τόσο καθοριστικό ρόλο στο σχηματισμό της δομής του πηγματος του κρόκου του αυγού, όσο οι σφαιρικές λιποπρωτεΐνες. Οι σφαιρικές πρωτεΐνες μπορεί να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη της δομής του δικτύου του πηγματος του κρόκου του αυγού, μόνο αν ο κρόκος του αυγού είναι διασκορπισμένος σε περιβάλλον υψηλής ιοντικής ισχύος και τα συστατικά πρωτεϊνών τους

απελευθερώνονται. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ζελέ του κρόκου του αυγού εξαρτώνται από τη δομή του κρόκου (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014).

Οι δισουλφιδικές γέφυρες φαίνεται να παίζουν ένα ρόλο κλειδί στο σχηματισμό του δικτύου του πήγματος του κρόκου του αυγού. Τόσο το πλάσμα όσο και τα συστατικά των σφαιρικών πρωτεϊνών μπορούν να αλληλεπιδράσουν μέσα από διαμοριακές δισουλφιδικές γέφυρες και να συνεισφέρουν στην κατασκευή της δομής του δικτύου του πήγματος (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2005).

Η παρουσία του κρόκου του αυγού στη δομή ενός γαλακτωματοποιημένου δικτύου πήγματος με σταγόνες ελαίου μπορεί να επηρεάσει τη δύναμη του πήγματος ανάλογα με τη φύση των πρωτεϊνών αυγού που αναμιγνύονται στο σχηματισμό του πήγματος. Στην περίπτωση ενός πήγματος που βασίζεται στον κρόκο του αυγού, η αλληλεπίδραση των πρωτεϊνών του δικτύου πήγματος με τα συστατικά της επιφάνειας των σταγόνων ελαίου δεν είναι δυνατή και οι σταγόνες ελαίου λειτουργούν ως μη ενεργά πληρωτικά του δικτύου πήγματος, οδηγώντας στην αποδυνάμωση της τελικής δομής του πήγματος. Όταν το ασπράδι του αυγού ενσωματώνεται σε ένα γαλάκτωμα σταθεροποιημένο με κρόκο και το σύστημα υπόκειται σε θερμική επεξεργασία, οι πρωτεΐνες του ασπραδιού του αυγού της συνεχούς φάσης μπορεί να αλλοιωθούν και να αναμιχθούν με τις πρωτεΐνες του κρόκου του αυγού που προσροφώνται στην επιφάνεια των σταγόνων ελαίου. Σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις ασπραδιού, η δομή του δικτύου πήγματος που αναπτύσσεται ως αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων των πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού στη συνεχή φάση γαλακτώματος, ενισχύεται από τις ταυτόχρονες αλληλεπιδράσεις των πρωτεϊνών του δικτύου πήγματος με τα συστατικά των πρωτεϊνών κρόκου στην επιφάνεια των σταγόνων ελαίου, υποδεικνύοντας ότι οι σταγόνες ελαίου μπορεί να λειτουργήσουν ως ενεργά πληρωτικά σωματίδια του πήγματος των πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού (Kalkani, Paraskevoudou and Kiosseoglou, 2007).

1.4.4 Χρώμα-άρωμα-γεύση του αυγού

Χρώμα

Το ολόκληρο αυγό και ο κρόκος του αυγού συνεισφέρουν στο ευχάριστο κιτρινωπό χρώμα των τροφίμων, όπως τα παγωτά, τα ζυμαρικά και τα μαγειρεμένα προϊόντα. Πολλές φορές, η απαίτηση για κρόκο αυγού σκούρου χρώματος οδηγεί σε διατροφή πουλερικών σχεδιασμένη, ώστε τα αυγά να έχουν κρόκο κατάλληλου χρώματος με αρνητικές σε ορισμένες περιπτώσεις συνέπειες.

Το χρώμα του κρόκου του αυγού, το οποίο παράγεται από τα καροτινοειδή της ζωτροφής, θεωρείται ως χαρακτηριστικό ποιότητας. Οι ξανθοφύλλες, κυρίως η λουτεΐνη, ακολουθούμενη από τη μονολουτεΐνη και το διεστέρα, την 3'-οξολουτεΐνη και τη ζεαξανθάνη, απορροφούνται μέσω της ζωτροφής. Το χρώμα του κρόκου του αυγού μπορεί να γίνει πιο έντονο με την κατάλληλη σύσταση της ζωτροφής (Belitz et al., 2009).

Οι απαιτήσεις του χρώματος για τον κρόκο του αυγού ωστόσο, δεν είναι προτυποποιημένες, κυρίως λόγω της ευρύτατης χρήσης συνθετικών χρωστικών ουσιών ικανών να δίνουν στα προϊόντα (κυρίως μπισκότα και κέικς) το επιθυμητό χρώμα, ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις στο φυσικό χρώμα του κρόκου.

Οι χρωστικές αυτές οξειδώνονται εύκολα και για το λόγο αυτό τα αφυδατωμένα προϊόντα κρόκου και ολόκληρου αυγού μπορεί να παρουσιάσουν μικρότερη ένταση χρώματος από ότι τα φρέσκα.

Προϊόντα πλούσια σε λεύκωμα αυγού, εξάλλου, μπορεί να αποχρωματιστούν, όταν έρθουν σε επαφή με σίδηρο, λόγω του σχηματισμού του κόκκινου συμπλόκου κонаλβουμίνης-σιδήρου (Belitz et al., 2009).

Αρωματικός χαρακτήρας

Οι χαρακτηριστικές αρωματικές ενώσεις του ασπραδιού του αυγού και του κρόκου του αυγού δεν έχουν ακόμα διευκρινιστεί. Το αρωματικό ελάττωμα που έχει οσμή ψαριού προκαλείται από την τριμεθυλαμίνη, της οποίας το όριο αναγνώρισης οσμής εξαρτάται από το pH, επειδή μόνο η αδιάστατη μορφή της έχει οσμή. Η τριμεθυλαμίνη σχηματίζεται από τη μικροβιακή αποικοδόμηση της χολίνης (Belitz et al., 2009).

Γεύση

Πάνω από 100 διαφορετικές ουσίες, υπεύθυνες για τη χαρακτηριστική γεύση του αυγού και των προϊόντων του έχουν απομονωθεί μέχρι σήμερα. Η σταθερότητα γεύσης του ολόκληρου αυγού και του κρόκου του αυγού βελτιώνεται με την προσθήκη ζάχαρης.

Για την εξακρίβωση της ποιότητας, της γεύσης και της οσμής του αυγού, ορίζονται ειδικές δοκιμές και παρόλο που θεωρείται ότι μετά το μαγείρεμα η κακή γεύση και οσμή εξαφανίζονται, δεν συνιστάται η χρήση αυγών κακής γεύσης ή οσμής στα τρόφιμα (Belitz et al., 2009).

1.5 Μικροβιολογία του αυγού

Στο αυγό της κότας, μπορούν να υπάρξουν πολλοί μικροοργανισμοί, οι οποίοι θα το καταστρέψουν και θα το μετατρέψουν σε μη κατάλληλο προς χρήση. Παρόλα αυτά το αυγό διαθέτει δικούς του τρόπους φυσικής προστασίας, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια.

1.5.1 Μικροοργανισμοί και αυγό

Στο αυγό της κότας, βρίσκονται μικροοργανισμοί, που μπορούν να καταστρέψουν το αυγό, αλλά και παθογόνα βακτήρια που μπορούν να προκαλέσουν στον άνθρωπο ασθένειες.

- Καταστροφικοί μικροοργανισμοί: Μερικοί από αυτούς είναι είδη Στρεπτόκοκκου, Σταφυλόκοκκου, Μικρόκοκκου και Βάκιλλου. Βρίσκονται στην επιφάνεια του κελύφους, εξαιτίας της ανθεκτικότητάς τους σε ξηρές συνθήκες. Κατά τη φύλαξη αυγών, τα βακτήρια αυτά ελαττώνονται και τη θέση τους παίρνουν βακτήρια, όπως η Ψευδομονάδα που είναι υπεύθυνη για την αλλοίωση των αυγών. Η πλύση των αυγών με ακάθαρτο νερό ή η φύλαξή τους σε υγρές συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό μυκήτων, οι οποίοι μπορούν να διαπεράσουν την επιφάνεια του κελύφους.
- Παθογόνοι μικροοργανισμοί: Οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί που μπορεί να βρεθούν στο αυγό είναι είδη της Σαλμονέλλας και οι *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Campyobacter jejuni*. Η Σαλμονέλλα μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα από το κέλυφος στο οποίο βρίσκεται, με πλύσιμο του αυγού. Οι υπόλοιποι μικροοργανισμοί εξουδετερώνονται σε θερμοκρασίες μαγειρέματος (Σταυρινάδου, 1999).

1.5.2 Αυγά και φυσική προστασία

Το αυγό της κότας, είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα προϊόντος που προστατεύεται από φυσικές παραμέτρους. Ένα αυγό έχει τρεις δομές, όπου η κάθε μία επιδρά σε έναν βαθμό στην καθυστέρηση της εισόδου των μικροοργανισμών. Αυτές είναι η εξωτερική κηρώδης μεμβράνη, το κέλυφος και η εσωτερική μεμβράνη. Η είσοδος των μικροοργανισμών στο αυγό ευνοείται με την υψηλή υγρασία. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, η ανάπτυξη των μικροοργανισμών στην επιφάνεια των αυγών ευνοείται και ακολουθεί διείσδυση διαμέσου του κελύφους στην εσωτερική μεμβράνη. Η τελευταία δομή είναι το πιο σημαντικό εμπόδιο στη διείσδυση βακτηρίων μέσα στα αυγά και ακολουθεί το κέλυφος και τέλος η εξωτερική μεμβράνη.

Η λυσοζύμη είναι παρούσα στο ασπράδι του αυγού και αυτό το ένζυμο φαίνεται να είναι αρκετά αποτελεσματικό έναντι στα θετικά κατά Gram βακτήρια. Επιπλέον η λυσοζύμη και η ωοτρανσφερίνη αποτελούν αντιμικροβιακές πρωτεΐνες. Η λυσοζύμη είναι η πιο γνωστή πρωτεΐνη που παρέχει αντιμικροβιακή δράση, αλλά παρόλα αυτά η ωοτρανσφερίνη είναι πιο αποτελεσματική. Η λυσοζύμη δρα σε β-(1-4) γλυκοζιτικό δεσμό ανάμεσα στη Ν-ακετυλο γλυκοζαμίνη και στο Ν-ακετυλομουραμικό οξύ, ενώ η ωοτρανσφερίνη δεσμεύει μεταλλικά ιόντα, όπως το σίδηρο. Με αυτό τον τρόπο καθιστά το σίδηρο μη διαθέσιμο στα βακτήρια και περιορίζει την ικανότητα των μικροοργανισμών να αναπαραχθούν. Το ασπράδι του αυγού περιέχει ακόμα αβιδίνη, η οποία σχηματίζει ένα σύμπλεγμα με τη βιτίνη και με αυτό τον τρόπο μπορούν να καθιστούν μη διαθέσιμο το ασπράδι του αυγού στους μικροοργανισμούς. Τέλος, το

ασπράδι του αυγού έχει υψηλό pH (περίπου 9,3) και περιέχει κонаλβουμίνη, η οποία σχηματίζει ένα σύμπλεγμα με το σίδηρο, καθιστώντας το και πάλι μη διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς (Sparks, 2014).

Το ασπράδι του αυγού κατά την αποθήκευση χάνει νερό, με αποτέλεσμα ο κρόκος του αυγού να αποκτά μία λεπτότερη μορφή και το ασπράδι του αυγού να συρρικνώνεται. Έτσι ο κρόκος του αυγού έρχεται σε άμεση επαφή με την εσωτερική μεμβράνη και μολύνεται κατευθείαν από μικροοργανισμούς. Το θρεπτικό περιεχόμενο του κρόκου του αυγού και το pH του (περίπου 6,8) το κάνουν μία εξαιρετική πηγή ανάπτυξης για τους περισσότερους μικροοργανισμούς. Μέσα στον κρόκο του αυγού, τα βακτήρια αναπτύσσονται και παράγουν υπο-προϊόντα πρωτεΐνης και οξέων, όπως H₂S και άλλα στα οποία οφείλεται η άσχημη οσμή (Γεωργάκης, 2002).

1.5.3 Αυγά και ανάπτυξη μικροοργανισμών

Τα φρεσκογεννημένα αυγά είναι γενικά στείρα. Παρόλα αυτά σε μία σχετικά μικρή περίοδο από τη στιγμή που γεννήθηκαν πολλοί μικροοργανισμοί μπορεί να βρεθούν στο εξωτερικό του αυγού και κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες μπορεί να εισέλθουν στο εσωτερικό του αυγού, να αναπτυχθούν και να προκαλέσουν καταστροφή. Η ταχύτητα με την οποία τα μικρόβια εισέρχονται στα αυγά εξαρτάται από τη θερμοκρασία της αποθήκευσης, την ηλικία των αυγών και του επιπέδου της μόλυνσης. Η χρήση κρυογενικού αερίου (CO₂) που επιδρά στη γρήγορη ψύξη των αυγών βοηθά στην παρουσία λιγότερων βακτηρίων από αυτά που θα υπήρχαν με τη συμβατική ψύξη.

Τα βακτήρια που βρέθηκαν είναι μέλη από τα ακόλουθα γένη: *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Proteus*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Escherichia*, *Micrococcus*, *Salmonella*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Flavobacterium* και *Staphylococcus*. Βακτήρια που προκαλούν μούχλα είναι μέλη από τα γένη *Mucor*, *Penicillium*, *Hormodendron*, *Cladosporium* και άλλα. Ο μόνος ζυμομύκητας που έχει βρεθεί είναι ο *Torula* (Γεωργάκης, 2002).

1.5.4 Καταστροφικές συνέπειες

Ο πιο συνηθισμένος σχηματισμός από βακτηριακή καταστροφή των αυγών είναι η κατάσταση γνωστή ως 'αποσύνθεση'. Οι πράσινες αποσυνθέσεις προκαλούνται από *Pseudomonas* spp, ειδικά το *P. fluorescens*, οι άχρωμες μούχλες από *Proteus*, *Pseudomonas* και *Aeromonas*, οι ροζ μούχλες από *Pseudomonas*, οι κόκκινες μούχλες από *Serratia* spp και οι κιτρινωπές από *Proteus vulgaris* και *P. intermedium*. Η μούχλα των αυγών οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη *Penicillium* και *Cladosporium* spp.

Η μούχλα, πρώτα πολλαπλασιάζεται στην περιοχή του θύλακα αέρα, καθώς το οξυγόνο ευνοεί την ανάπτυξή της. Κάτω από συνθήκες υψηλής υγρασίας, η μούχλα μπορεί να αναπτυχθεί μέχρι την εξωτερική επιφάνεια του αυγού. Κάτω από συνθήκες

χαμηλής υγρασίας και θερμοκρασίας, δεν ευνοείται η ανάπτυξη στην επιφάνεια, αλλά τα αυγά χάνουν νερό με πιο γρήγορο ρυθμό, και αυτό τα κάνει ανεπιθύμητα ως εμπορικά προϊόντα (Γεωργάκης, 2002).

Η βιομηχανία τροφίμων εξελίσσεται με προσπάθειες που επικεντρώνονται στην εξάλειψη των μικροβιακών κινδύνων και τη βελτίωση των λειτουργικών ιδιοτήτων των τροφίμων. Προκειμένου να βρεθούν τρόποι βελτιστοποίησης των λειτουργικών ιδιοτήτων του αυγού της κότας, τα αυγά έχουν υποστεί περαιτέρω επεξεργασία, με αποτέλεσμα τη δημιουργία προϊόντων αυγού, όπως αφυδατωμένα, παστεριωμένα και κατεψυγμένα. Οι λειτουργικές ιδιότητες του αυγού και των προϊόντων του (αφυδατωμένο, παστεριωμένο, κατεψυγμένο), εξαρτώνται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των πρωτεϊνών των συστατικών του, οι οποίες φαίνεται να παίζουν έναν ρόλο κλειδί σε συστήματα όπου η γαλακτωματοποίηση, ο αφρισμός ή τα φαινόμενα πήξης, είναι οι κύριοι καθοριστικοί παράγοντες της δομής και σταθερότητας του τελικού προϊόντος.

2. ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΥΓΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Η βιομηχανία τροφίμων, παρέχει αυγά έτοιμα για χρήση. Το παστεριωμένο ολόκληρο αυγό, ο παστεριωμένος κρόκος του αυγού και το παστεριωμένο ασπράδι του αυγού παρέχονται σε υγρή μορφή, σε κατεψυγμένη μορφή ή σε μορφή σκόνης. Οι διαδικασίες που εφαρμόζονται στη βιομηχανία προϊόντων αυγού στοχεύουν στη βελτίωση των προϊόντων αυγού, στην υγιεινή και στη λειτουργική ποιότητα. Μία από τις βασικές δυσκολίες είναι η υψηλή ευαισθησία του αυγού στη θέρμανση. Τα προϊόντα αυγού προσφέρουν υψηλή ποιότητα υγιεινής και αναπτύσσονται, ώστε να καλύπτουν την ποικιλία που υπάρχει στις απαιτήσεις της αγοράς (Lechevalier et al., 2011).

Στις σύγχρονες, υψηλά μηχανοποιημένες γραμμές παραγωγής σπασίματος αυγών και διαχωρισμού των μερών του, ο πλήρης διαχωρισμός είναι δυνατός μόνο για την παρασκευή λευκώματος, χωρίς κρόκο. Στους υγρούς κρόκους του αυγού υπάρχει πάντα 15-20% ασπράδι, εξαιτίας της προσκόλλησης του ασπραδιού του αυγού στη μεμβράνη του κρόκου του αυγού. Η μόλυνση του ασπραδιού του αυγού από κρόκο μπορεί επίσης να συμβεί, όταν η μεμβράνη του κρόκου κατά λάθος τρυπηθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του σπασίματος του αυγού ή και του διαχωρισμού των μερών. Η παρουσία του ασπραδιού στον κρόκο μπορεί να μην αποτελέσει ένα σοβαρό πρόβλημα, καθώς οι πρωτεΐνες του ασπραδιού δεν ανταγωνίζονται τις πρωτεΐνες του κρόκου σε συστήματα όπου η γαλακτωματοποίηση και η σταθεροποίηση του γαλακτώματος είναι διαδικασίες που εκτελούνται μόνο από τον κρόκο. Το αντίθετο θα μπορούσε να είναι καταστροφικό, όπου η επιτυχής παρασκευή αφρού (μαρέγκα) απαιτεί την απόλυτη έλλειψη των συστατικών του κρόκου από το ασπράδι του αυγού. Η κατώτερη απόδοση αφρισμού του ασπραδιού του αυγού, εξαιτίας της παρουσίας των λιπιδίων κρόκου ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, μπορεί να περιορίσει την απορρόφηση πρωτεϊνών στη διεπιφάνεια αέρα/νερού και να εμποδίσει το σχηματισμό της μεμβράνης της πρωτεΐνης, αποσταθεροποιώντας έτσι τις φυσαλίδες αφρού.

Τα προϊόντα αυγού μπορούν να οριστούν ως το αποτέλεσμα της επεξεργασίας του αυγού και μπορούν να διαχωριστούν από τα ειδικά προϊόντα αυγού (σχηματισμένα ή μαγειρεμένα). Το πρώτο είδος περιλαμβάνει συστατικά σχεδόν αποκλειστικά προορισμένα για βιομηχανίες, ακόμα και αν σε μερικές χώρες μπορεί να είναι διαθέσιμα στους καταναλωτές. Το δεύτερο είδος παρέχει προϊόντα που απευθύνονται απευθείας στους καταναλωτές (Lechevalier et al., 2011).

2.2 Βιομηχανική παραγωγή υγρών προϊόντων αυγού

2.2.1 Ποιότητα αυγών με κέλυφος και αποθήκευση

Τα αυγά με κέλυφος συνήθως αποθηκεύονται πριν την επεξεργασία. Η εξάρτηση από τις συνθήκες του περιβάλλοντος ή η απώλεια νερού μπορεί να είναι σημαντική κατά την αποθήκευση, είτε εξαιτίας της εξάτμισης διαμέσου του κελύφους, είτε λόγω της μεταφοράς νερού από το ασπράδι του αυγού στον κρόκο του αυγού. Επίσης συμβαίνει απώλεια διοξειδίου άνθρακα διαμέσου του κελύφους, με αποτέλεσμα το pH να αυξάνεται (από 7.4 σε 9.3 σε περίπου δέκα ημέρες), με πιθανές συνέπειες στην αποτελεσματικότητα της παστερίωσης (Lechevalier et al., 2011).

Οι αφριστικές ιδιότητες του λευκώματος του αυγού μειώνονται μετά την αποθήκευση των αυγών για οχτώ εβδομάδες του στους 4°C, ενώ αυξάνονται, όταν τα αυγά αποθηκεύονται για δέκα ημέρες στους 21°C. Η σταθερότητα του αφρού του λευκώματος του αυγού είναι μέγιστη μετά την αποθήκευση των αυγών για διάστημα είκοσι με σαράντα ημερών στους 4°C (Lechevalier et al., 2011).

Κατά την αποθήκευση, η ωοαλβουμίνη, η κυριότερη πρωτεΐνη του ασπραδιού του αυγού, αλλάζει το σχηματισμό της σε S-ωοαλβουμίνη, ένα πιο θερμοσταθερό σχηματισμό της πρωτεΐνης. Η S-ωοαλβουμίνη, προκαλεί μείωση στη σταθερότητα του πήγματος μετά τη θέρμανση. Η δυνατότητα σχηματισμού πήγματος του ασπραδιού του αυγού μεγιστοποιείται μετά από αποθήκευση των αυγών για περίπου 14 ημέρες στους 4°C, με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα pH, περίπου 9 και χαμηλή συγκέντρωση S-ωοαλβουμίνης (Lechevalier et al., 2011).

Η αντίσταση της μεμβράνης από τη βιτελίνη, η οποία καθορίζει την ποιότητα του διαχωρισμού του λευκώματος από τον κρόκο του αυγού, μειώνεται από τις δονήσεις κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση, ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία είναι βασικός παράγοντας κατά την αποθήκευση των αυγών. Επίσης, η γενετική, η διατροφή και η ηλικία της κότας και οι αλλαγές στη θερμοκρασία των αυγών επηρεάζουν τη σταθερότητα της ποιότητάς τους (Lechevalier et al., 2011).

2.2.2 Σπάσιμο των αυγών με κέλυφος

Πριν την επιλογή των αυγών για σπάσιμο, τα χαλασμένα αυγά πρέπει να απορρίπτονται, καθώς ένα χαλασμένο αυγό μπορεί να μεταβιβάσει χιλιάδες βακτήρια στα προϊόντα αυγού ή να μολύνει τον εξοπλισμό. Στις περισσότερες περιπτώσεις μία διαδικασία, η οποία εξετάζει τα αυγά με φως, χρησιμοποιείται, ώστε να αναγνωρίζονται αυγά με μεγάλο βαθμό μόλυνσης. Παρόλα αυτά, η μόλυνση που προκαλείται από κάποιους μικροοργανισμούς όπως *Acinetobacter* ή *Moraxella* είναι αδύνατον να ανιχνευτεί από αυτό το χειρισμό.

Το μηχανικό σπάσιμο των αυγών είναι μία πολύ πρόσφατη τεχνολογία. Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε αρχικά, περιελάμβανε εξοπλισμό, που έσπαγε και άνοιγε τα αυγά και έπειτα η τεχνολογία εξελίχθηκε και ξεκίνησε να διαχωρίζει το λεύκωμα από τον κρόκο του αυγού (Delves Broughton, 2011).

2.2.3 Αυτόματο σπάσιμο και πλύσιμο

Η λειτουργία των μηχανών που σπάνε αυγά έχει αναπτυχθεί πολύ τα τελευταία δέκα χρόνια. Στις μέρες μας οι αυτόματες μηχανές μπορούν να σπάνε από 80000 μέχρι 160000 αυγά/h. Ειδικοί αναρροφητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούν κενό αέρα τοποθετούν τα αυγά στην ζώνη μεταφορέα που εφοδιάζει τη μηχανή σπασίματος. Το σύστημα πρέπει να εμποδίζει τη θραύση των αυγών, όπως αυτά προσγειώνονται στην ζώνη μεταφορέα.

Μηχανές πλυσίματος έχουν σχεδιαστεί, ώστε να πλένουν τα αυγά αποτελεσματικά σε 15 με 60s. Η τεχνολογία αυτή είναι κατάλληλη για να αυξήσει την ποιότητα υγείας των προϊόντων αυγού. Οι τεχνολογίες αυτές δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ευρώπη, καθώς οι μηχανές γεμίζουν πολύ γρήγορα και έτσι παρεμποδίζεται η αποτελεσματικότητα (Lechevalier et al., 2011).

2.2.4 Σπάσιμο

Όποια μηχανή και αν χρησιμοποιείται για το σπάσιμο των αυγών, η βασική αρχή είναι πάντα η ίδια. Ένα αμβλύ εργαλείο χρησιμοποιείται για να σπάσει την κατώτερη πλευρά του αυγού, επιτρέποντας τη διαρροή του αυγού. Το σπάσιμο των κελυφών είναι πιο εύκολο, όταν αυτά τοποθετούνται οριζόντια και χρησιμοποιείται μαχαίρι που κόβει το κέλυφος. Τα μαχαίρια πρέπει να απομακρύνονται γρήγορα, έτσι ώστε να μην σπάσουν τον κρόκο του αυγού. Το μέρος της μηχανής που σπάει βρίσκεται σε οριζόντιους ή κάθετους ιμάντες. Μερικές ειδικές μηχανές έχουν αναπτυχθεί, για να ελαχιστοποιήσουν πλήγματα, καθώς τα αυγά φτάνουν στη μηχανή. Ο χρόνος διαρροής από το κέλυφος μπορεί να ποικίλλει από 0.2 σε 2s, αμέσως μετά τα οποία τα κελύφη απομακρύνονται από τη μηχανή (Lechevalier et al., 2011).

Σε μερικές βιομηχανίες πραγματοποιείται και οπτικός έλεγχος, κατά τον οποίο δίπλα στη μηχανή σπασίματος υπάρχει κάποιος υπεύθυνος, ο οποίος μπορεί να σταματήσει τη διαδικασία και να αφαιρέσει ένα αυγό εάν αυτό ανιχνεύεται από την εμφάνιση ή την οσμή (Delves Broughton, 2011).

2.2.5 Διαχωρισμός λευκώματος/κρόκου του αυγού

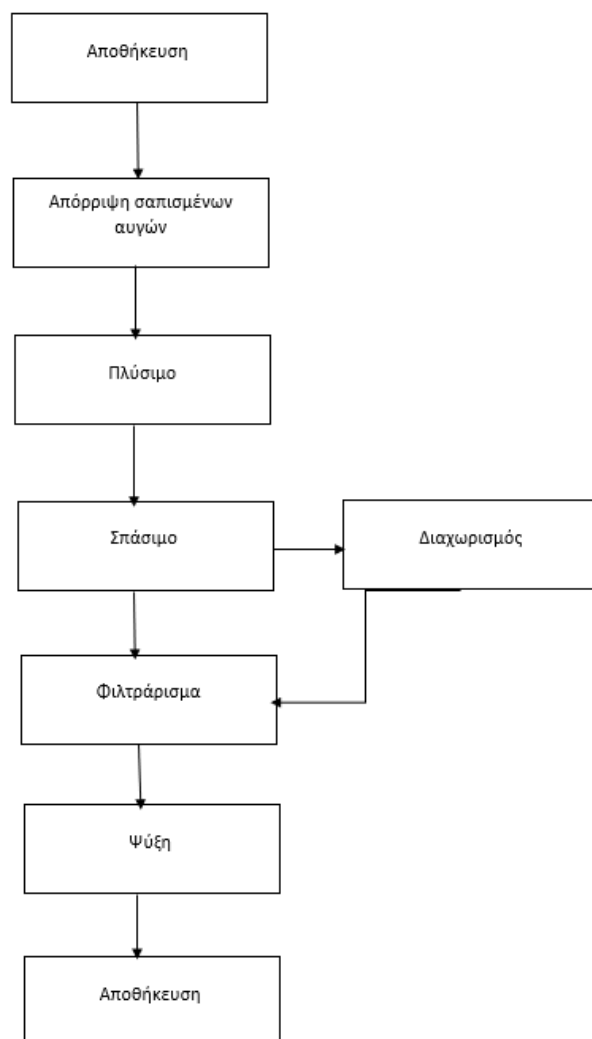
Η ποιότητα του διαχωρισμού λευκώματος/κρόκου του αυγού είναι ουσιαστική, ώστε να εγγυηθεί την ποιότητα του λευκώματος του αυγού. Ακόμα και μικρά ίχνη κρόκου αυγού (0.022%) μπορούν να χειροτερέψουν τις αφριστικές δυνατότητες και την αποτελεσματικότητα της παστερίωσης. Οπτικές μηχανές έχουν εφευρεθεί, ώστε να εντοπίζουν ίχνη κρόκου στο λεύκωμα του αυγού.

Το μέγεθος του κρόκου του αυγού αυξάνεται με την ηλικία της κότας, κάνοντας το διαχωρισμό πιο δύσκολο. Η αντίσταση της μεμβράνης από βιτελίνη μειώνεται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των αυγών, μειώνοντας την ποιότητα του διαχωρισμού. Η κακή συντήρηση των μαχαιριών ή η χρήση ραγισμένων αυγών, μπορεί επίσης να προκαλέσει καταστροφή της μεμβράνης της βιτελίνης, πριν ή κατά τη διάρκεια του διαχωρισμού. Για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός μετά το σπάσιμο του αυγού, κάθε κρόκος πέφτει σε ένα μικρό πιάτο. Το λεύκωμα του αυγού διαρρέει από τις τρύπες του κάτω μέρους του πιάτου. Η τελική ξηρή ουσία του κρόκου του αυγού εξαρτάται από την ολική ξηρή ουσία και την ποσότητα του λευκώματος που κολλά στη μεμβράνη από βιτελίνη, από τις συνθήκες αποθήκευσης των αυγών, από τη θερμοκρασία κατά το σπάσιμο και από την τεχνολογία (Lechevalier et al., 2011).

2.2.6 Φιλτράρισμα και ψύξη

Επειδή τα θραύσματα κελυφών αναπόφευκτα πέφτουν μέσα στο προϊόν, το φιλτράρισμα απαιτείται αμέσως μετά το σπάσιμο. Αυτόματα πλυντήρια μειώνουν το χρόνο επαφής μεταξύ κελύφους και προϊόντος, βελτιώνοντας την υγιεινή. Το λεύκωμα και ο κρόκος του αυγού ψύχονται μετά το φιλτράρισμα και έπειτα αποθηκεύονται σε δεξαμενές κατάψυξης, πριν την παστερίωση (Kiosseoglou and Paraskevoudou, 2014).

Παρακάτω δίνεται ένα διάγραμμα που συνοψίζει όλες τις διεργασίες που αναφέρθηκαν:



Διάγραμμα 1 Βιομηχανική επεξεργασία αυγού

2.3 Αφυδατωμένα προϊόντα αυγού

Η σκόνη κρόκου του αυγού είναι λιγότερο διαδεδομένη καθώς ο κρόκος του αυγού έχει μεγάλη περιεκτικότητα ξηρής ουσίας, οπότε η αφυδάτωση δεν επιδρά σε μεγάλη μείωση του όγκου. Αντίθετα, η σκόνη ασπραδιού του αυγού είναι ένα πολύ βασικό προϊόν αυγού στη διεθνή αγορά, καθώς η αφυδάτωση επιδρά σε μεγάλη μείωση του όγκου (τριπλάσια από αυτή του κρόκου). Επιπλέον, οι λειτουργικές ιδιότητες του ασπραδιού του αυγού μπορεί να βελτιώνονται με ξηρή θέρμανση. Ο κρόκος του αυγού και ολόκληρο το αυγό πάντα παστεριώνονται πριν από την αφυδάτωση, ενώ το λεύκωμα του αυγού πρώτα ξηραίνεται και μετά παστεριώνεται (Smith, 2007).

2.3.1 Διεργασίες των υγρών προϊόντων αυγού πριν την αφυδάτωση

Απομάκρυνση γλυκόζης

Στο λεύκωμα του αυγού, η γλυκόζη συναντάται στην αντίδραση Maillard (μη ενζυμικό μαύρισμα) που προκαλεί αλλαγές στο χρώμα της σκόνης κατά την αποθήκευση. Στη σκόνη λευκώματος παρατηρούνται αλλαγές στη γεύση και στο χρώμα, καθώς και απώλεια διαλυτότητας κατά την αποθήκευση. Η θερμοκρασία αποθήκευσης έχει βασική επίδραση σε αυτές τις αλλαγές, ειδικά όταν είναι κοντά στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (55-65 °C). Η απομάκρυνση της γλυκόζης είναι ένα κρίσιμο βήμα στην παραγωγή σκόνης αυγού, ειδικά για τη σκόνη λευκώματος. Αρκετές διεργασίες έχουν αναπτυχθεί, ώστε να εξαλειφθεί η γλυκόζη. Η βακτηριακή ζύμωση επιτρέπει τη μετατροπή της γλυκόζης σε οργανικό οξύ. Επίσης χρήση των *Enterobacter aerogenes*, *Klebsellia pneumoniae*, *Streptococcus* και *Lactobacillus* για μετατροπή της γλυκόζης έχει πραγματοποιηθεί. Οι *Lactobacillus brevis* και *Lactobacillus casei* έχουν δώσει αποτέλεσμα σε σκόνες με καλές αφριστικές ιδιότητες.

Η ζύμη αρτοποιίας (*Saccharomyces cerevisiae*), προκαλεί αποτελεσματική απομάκρυνση της γλυκόζης στο ασπράδι του αυγού σε λίγες ώρες. Ιδανικές συνθήκες είναι αυτές με pH 6.0-7.5 και θερμοκρασία 32 °C. Η κυτταρική ανάπτυξη είναι πολύ αδύναμη κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης της γλυκόζης και μπορεί εύκολα να σταματήσει κατά την ψύξη, εμποδίζοντας με αυτό τον τρόπο τα ελαττώματα γεύσης. Η ζύμωση της ζύμης είναι μία καλή εναλλακτική για τη βακτηριακή ζύμωση για ολόκληρο το αυγό, καθώς εμποδίζει την αλλαγή στη γεύση.

Η ενζυμική ζύμωση είναι εύκολο να επιτευχθεί και παράγει προϊόντα με υψηλή οργανοληπτική ποιότητα. Η οξειδάση της γλυκόζης καταλύει την οξειδωση της γλυκόζης σε γλυκονικό οξύ. Σε αυτή την αντίδραση παράγεται υπεροξειδίο του υδρογόνου και πρέπει να προστεθεί καταλύτης, ώστε να εμποδιστεί η συσσώρευση. Εμπορικά παρασκευάσματα που συνδυάζουν ένζυμα χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση της γλυκόζης του λευκώματος, απαιτώντας ένα βέλτιστο pH κοντά στο 6. Βελτίωση αυτής της διεργασίας επιτυγχάνεται με τη δέσμευση ενζύμων σε ιόντα, βελτιώνοντας τη ρητίνη και τοποθετώντας τα σε μία στήλη που δημιουργεί φυσαλίδες οξυγόνου, ώστε να επιταχυνθεί η αντίδραση.

Τροποποιήσεις στο pH

Η προσαρμογή του pH παρουσιάζεται πριν από την ξήρανση, ώστε να βελτιώσει την απομάκρυνση της γλυκόζης και να ελέγξει το pH της τελικής σκόνης. Το pH του λευκώματος αυξάνει από 6.0, 6.5, 7.3 σε 6.88, 8.55, 9.40 αντίστοιχα μετά την ξήρανση. Χωρίς προσαρμογή, το pH της σκόνης του ολόκληρου αυγού είναι 9.0-9.5, το οποίο δεν ευνοεί τη γεύση και τη σταθερότητα του χρώματος. Η μείωση του pH με χρήση οργανικών οξέων είναι μία συνηθισμένη μέθοδος για τη ρύθμιση του pH.

Οι ιδιότητες ζελοποίησης του λευκώματος του αυγού ή ολόκληρου του αυγού αυξάνονται καθώς το pH αυξάνεται. Η σκόνη λευκώματος με pH κοντά στο 10, μπορεί να βρεθεί σε εμπορικά προϊόντα. Παρόλα αυτά pH πάνω από 9.5 μειώνει τη

διαλυτότητα της πρωτεΐνης και καταστρέφει την οργανοληπτική ποιότητα. Ως αποτέλεσμα, το pH βρίσκεται συνήθως στο διάστημα 6.5-8.5. Οι σκόνες λευκώματος αυγού που προορίζονται για αφρισμό, έχουν συνήθως pH ουδέτερο ή ελαφρά όξινο, καθώς αυτό βελτιώνει την οργανοληπτική ποιότητα (Smith, 2007).

2.3.2 Η διαδικασία της παραγωγής αφυδατωμένων προϊόντων αυγού

Τα αυγά αποθηκεύονται στους 15°C μέχρι και 2 ημέρες, γιατί σε αυτή τη θερμοκρασία μπορεί εύκολα να διαχωριστεί το περιεχόμενο του αυγού από το κέλυφος. Σε μερικές χώρες τα αυγά απολυμαίνονται με ένα υδατικό διάλυμα χλωρίου (200mg/L) πριν σπάσουν.

Το υγρό περιεχόμενο των αυγών αναμιγνύεται ή αναταράσσεται είτε όπως είναι, είτε αφού διαχωριστεί ο κρόκος από το ασπράδι του αυγού. Μετά την ομογενοποίηση ακολουθεί ένα στάδιο εξευγενισμού όπου χρησιμοποιείται φυγοκεντρικός διαχωρισμός και στη συνέχεια ένα στάδιο παστερίωσης.

Τα σάκχαρα αφαιρούνται πριν την αφυδάτωση του αυγού για την αποφυγή αντίδρασης των αμινοενώσεων (φωσφατιδυλοαιθανολαμίνες) και αναγόντων σακκάρων (γλυκόζη), αποτρέποντας έτσι το σχηματισμό του ανεπιθύμητου καφέ χρώματος και του ελαττωματικού αρώματος.

Η γλυκόζη απομακρύνεται από το ασπράδι του αυγού μετά την παστερίωση, συνήθως με μικροβιολογική ζύμωση του σακκάρου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Το pH του υγρού του παστεριωμένου αυγού μετατοπίζεται από 9,0-9,3 σε 7,0-7,5 χρησιμοποιώντας κιτρικό ή γαλακτικό οξύ και μετά επωάζεται στους 30-33 °C με κατάλληλους μικροοργανισμούς, (*Streptococcus* spp., *Aerobacter* spp). Το σάκχαρο του ομογενοποιημένου αυγού ή του κρόκου του αυγού απομακρύνεται εν μέρει από ζύμες (πχ. *Saccharomyces cerevisiae*) ή κυρίως με ένζυμα γλυκοξειδάσης/καταλάσης, τα οποία οξειδώνουν τη γλυκόζη προς γλουκονικό οξύ. Προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου απελευθερώνει οξυγόνο και επιταχύνει τη διαδικασία.

Η αφυδάτωση με ψεκασμό (spray drying) είναι η πιο σημαντική μέθοδος αφυδάτωσης των αυγών. Ο κρόκος του αυγού που έχει σχετικά υψηλή περιεκτικότητα στερεών, αφυδατώνεται απευθείας. Το ασπράδι του αυγού αλλά και ολόκληρο το αυγό συμπυκνώνεται από 11 σε 18% και από 24 σε 32% στερεά αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας διήθηση με μεμβράνες. Αυτή η τεχνική βοηθά στην εξοικονόμηση ενέργειας στη διαδικασία αφυδάτωσης. Ολόκληρο το αυγό μπορεί να συμπυκνωθεί σε συμπυκνωτή πίπτουσας στοιβάδας από κενό.

Μετά τη θέρμανση στους 45-50 °C, το ασπράδι του αυγού συνήθως αφυδατώνεται με διασπορά από υψηλή πίεση σε ρεύμα αέρα στους 165 °C. Με αυτή τη μέθοδο το ασπράδι του αυγού θερμαίνεται στους 50-60 °C. Στη συνέχεια το προϊόν αποθηκεύεται σε ισοθερμικούς θαλάμους (στάδιο μετά την παστερίωση) για τουλάχιστον 7 ημέρες στους 55 °C, ώστε να θανατωθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.

Ολόκληρο το αυγό και ο κρόκος του αυγού θερμαίνονται μέχρι τους 64,5 και 63 °C αντίστοιχα για τη μείωση των μικροοργανισμών, ενώ ακολουθεί αφυδάτωση με εκνέφωση σε υψηλή πίεση ή με φυγοκεντρικό εκνεφωτή. Κατά την αφυδάτωση, η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται στους 50-60 °C, που έχει ως αποτέλεσμα περιεκτικότητα υγρασίας 4-5%. Τα προϊόντα ψύχονται γρήγορα σε ψυχρό ρεύμα αέρα στους 25-30 °C για την αποφυγή σχηματισμού υπεροξειδίων από τα λιπίδια.

Η αφυδατωμένη στιγμιαία σκόνη παρασκευάζεται με αφυδάτωση των συσσωματωμένων σωματιδίων. Η συσσωμάτωση του ασπραδιού του αυγού διευκολύνεται με την προσθήκη σακχάρου (σακχαρόζη ή λακτόζη).

Η διάρκεια ζωής του αφυδατωμένου ασπραδιού του αυγού είναι ουσιαστικά απεριόριστη. Η σκόνη του ολόκληρου αυγού έχει διάρκεια ζωής περίπου 1 έτος σε θερμοκρασία δωματίου, ενώ ο χωρίς ζάχαρη κρόκος του αυγού αντέχει 8 μήνες στους 20-24 °C και πάνω από 1 έτος σε ψυχρή αποθήκευση. Η διάρκεια ζωής σκονών που περιέχουν κρόκο περιορίζεται από ελαττώματα του αρώματος που αναπτύσσονται σταδιακά εξαιτίας της οξείδωσης του λίπους του κρόκου του αυγού (Belitz, 2009).

2.4 Παστερίωση υγρών προϊόντων αυγού

Η παστερίωση στοχεύει στην καταστροφή της πλειοψηφίας των φυσικών μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων μερικών παθογόνων μικροοργανισμών. Τα παστεριωμένα προϊόντα μπορούν να αποθηκεύονται στους 4°C, για λίγες ημέρες, μέχρι και για λίγες εβδομάδες. Παρόλα αυτά, επειδή οι πρωτεΐνες του αυγού είναι ιδιαίτερα θερμοευαίσθητες, οι θερμικές κατεργασίες που εφαρμόζονται στα προϊόντα αυγού και ειδικά στο ασπράδι, πρέπει να είναι ήπιες (Lechevalier et al., 2011).

Η ελάχιστη θερμοκρασία παστερίωσης για το αυγό είναι στους 60°C. Διαφορετικοί συνδυασμοί θερμοκρασίας-χρονικής διάρκειας παστερίωσης μπορούν να οδηγήσουν στο ίδιο αποτέλεσμα. Επιπλέον οι τιμές του pH επηρεάζουν την αποτελεσματική παστερίωση των υγρών αυγών. Υψηλότερο pH απαιτεί χαμηλότερη θερμοκρασία παστερίωσης, ενώ το αλκαλικό pH, για τιμές κοντά στο 9.0, είναι το πιο αποτελεσματικό για την καταστροφή της *Salmonella*. Αυτό εξηγεί γιατί η *Salmonella* είναι περισσότερο ανθεκτική στη θέρμανση στον κρόκο του αυγού από ότι στο ασπράδι του αυγού. Ο κρόκος του αυγού έχει χαμηλότερο pH και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε στερεό και συνεπώς πρέπει να παστεριώνεται σε υψηλότερη θερμοκρασία από ότι ολόκληρο το αυγό ή το ασπράδι του αυγού. Αντίθετα, το ασπράδι του αυγού είναι πιο ευαίσθητο σε υψηλές θερμοκρασίες από ότι ολόκληρο το αυγό ή ο κρόκος του αυγού, εξαιτίας της πιθανότητας ζελοποίησης της πρωτεΐνης. Η μέγιστη σταθεροποίηση των περισσότερων πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού συμβαίνει σε ουδέτερο pH, εκτός της κонаλβουμίνης. Με προσθήκη γαλακτικού οξέος, το οποίο προσαρμόζει το pH της αλβουμίνης σε τιμή 7.0, η αλβουμίνη μπορεί να αντέχει σε θερμοκρασίες 60.5-61.7°C (Lih-Shiuh, 2014).

Η παστερίωση συνήθως γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία σε σύντομο χρονικό διάστημα (HIST) με χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας. Παρόλα αυτά είναι εφικτή η παστερίωση χωρίς χρήση θερμότητας. Παράδειγμα αποτελεί η παστερίωση με χρήση ακτινοβολίας, η οποία παστεριώνει υγρά προϊόντα αυγού και έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή των βακτηρίων, ενώ παράλληλα η μέθοδος αυτή μειώνει το κόστος της απόψυξης και της παστερίωσης με θέρμανση. Οι λειτουργικές ιδιότητες του ασπραδιού του αυγού (αφρισμός, γαλακτωματοποίηση, ζελοποίηση) δεν επηρεάζονται ή μειώνονται ελάχιστα από την ακτινοβολία (Lih-Shiuh, 2014).

Μερικά βακτήρια και σπόροι παραμένουν ζωντανά μετά την παστερίωση. Επιπλέον ορισμένοι μικροοργανισμοί απελευθερώνουν ένζυμα, μερικά από τα οποία είναι ανθεκτικά στη θέρμανση και επιβιώνουν από την παστερίωση. Παρόλα αυτά, το γρήγορο σπάσιμο αυγών και η άμεση παστερίωση των αυγών, καθώς και η γρήγορη ψύξη πριν και μετά την παστερίωση μειώνουν σημαντικά την εμφάνιση των μικροβίων και των ενζύμων (Lih-Shiuh, 2014).

Στη συνέχεια θα αναλυθούν μερικές μέθοδοι παστερίωσης:

2.4.1 Παστερίωση σε παρτίδες

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι μία δεξαμενή που αντέχει σε πίεση και είναι εξοπλισμένη με μία συσκευή θέρμανσης-ψύξης. Στη δεξαμενή συμπιέζεται αποστειρωμένος αέρας, ώστε να εμποδίσει τη μόλυνση από τον εξωτερικό αέρα κατά την ψύξη. Στις μεγαλύτερες δεξαμενές (3000-8000L), υπάρχει ένα σύστημα επανακυκλοφορίας εξοπλισμένο με ανταλλαγή θερμότητας που επιτρέπει πιο αποτελεσματική θέρμανση και πιο γρήγορους κύκλους παστερίωσης. Για ολόκληρο το αυγό και τον κρόκο του αυγού, θερμοκρασίες μεταξύ 60°C και 62°C εφαρμόζονται για λιγότερο από 15min. Είναι δύσκολο να βρεθούν συνθήκες που να επιτρέπουν την ταυτόχρονη βακτηριακή καταστροφή και τη διατήρηση ικανοποιητικών αφριστικών ιδιοτήτων.

Η παστερίωση σε παρτίδες επιτρέπει τη μικρότερη απώλεια προϊόντος και για αυτό το λόγο η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ακόμα ως εναλλακτική για παστερίωση. Χρησιμοποιείται σε παχύρρευστα προϊόντα, σε μικρούς όγκους παραγωγής, σε παστερίωση προϊόντων με υψηλή ποσότητα ξηρού υλικού, σε παστερίωση με μεγάλους χρόνους, ή όταν απαιτείται εξαέρωση κατά τη θέρμανση. Σε αυτή την τεχνολογία αναπτύσσονται και μέθοδοι με ενζυμική επεξεργασία (Lechevalier et al., 2011).

2.4.2 Hot-filling

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει διατήρηση υψηλής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του γεμίσματος και της ψύξης μετά τη συσκευασία και μία μεγάλη ποικιλία σε συνδυασμούς χρόνου/θερμοκρασίας είναι εφικτή. Από χαμηλές θερμοκρασίες γεμίσματος 54-56 °C με ψύξη για μεγάλες περιόδους (12-72h), σε θερμοκρασίες γεμίσματος 60 °C με λίγα λεπτά ψύξης. Μερικές τεχνικές δυσκολίες που παρουσιάζονται είναι ο κίνδυνος για αφρισμό κατά το γέμισμα και η γρήγορη ψύξη στους 4 °C στο κέντρο της συσκευασίας.

Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως για μικρές συσκευασίες (λιγότερο από 5kg) ολόκληρου αυγού ή του κρόκου του αυγού. Είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί η διεργασία αυτή για το λεύκωμα του αυγού σε συμβατικές θερμοκρασίες (55-57 °C), χωρίς καταστροφή των λειτουργικών ιδιοτήτων. Υπάρχει παρόλα αυτά μία επεξεργασία σε 42-45 °C για διάρκεια 1-5 ημερών που μπορεί να παράγει λεύκωμα το οποίο είναι σταθερό σε θερμοκρασία δωματίου (Lechevalier et al., 2011).

2.4.3 Παστερίωση σε σειρά με χρήση συγκεκριμένου εξοπλισμού

Για την παστερίωση συνήθως χρησιμοποιούνται εναλλάκτες θερμότητας ή σωληνοειδείς εναλλάκτες, με ένα αρχικής θερμότητας τμήμα, στο οποίο το κρύο προϊόν προθερμαίνεται από το ζεστό παστεριωμένο προϊόν. Αυτή η μέθοδος θερμαίνει τα προϊόντα του αυγού στη θερμοκρασία παστερίωσης. Σε αυτό το τμήμα η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ζεστού νερού του εναλλάκτη και του προϊόντος αυγού πρέπει να είναι μικρότερη από 1 °C. Μετά από 3-5min και μία πρόψυξη στο αρχικό τμήμα, το τελευταίο τμήμα ψύχει το προϊόν σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τους 4 °C.

Επειδή το ιξώδες του κρόκου του αυγού, ειδικά στον αλατισμένο κρόκο, είναι πιο υψηλό σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από το αντίστοιχο του λευκώματος του αυγού, απαιτούνται τροποποιήσεις στο τμήμα ψύξης, όπως χρήση ψυκτικού για λίγο υψηλότερες θερμοκρασίες και χρήση μίας επιταχυνόμενης αντλίας πριν το τμήμα ψύξης. Ο εναλλάκτης θερμότητας με μορφή πλάκας είναι η πιο συνηθισμένη τεχνολογία για τον κρόκο του αυγού, καθώς είναι δύσκολο να φτάσει μία τυρβώδη ροή σε έναν σωληνοειδή σχηματισμό εξαιτίας του ιξώδους του κρόκου του αυγού (Lechevalier et al., 2011).

2.4.4 Παστερίωση σε σειρά με εξοπλισμό υψηλής θερμοκρασίας/μικρής χρονικής διάρκειας (HTST)

Η μέθοδος αυτή στοχεύει στη μείωση της αλλαγής της πρωτεΐνης. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί σωληνοειδείς εναλλάκτες, οι οποίοι μπορούν να διατηρήσουν σταθερή την πίεση, απαιτούν λιγότερο χρόνο και είναι πιο εύκολο να καθαριστούν. Η διάταξη “σωλήνας μέσα σε σωλήνα μέσα σε σωλήνα” είναι ικανή να φτάσει σε υψηλότερη θερμοκρασία από ότι οι εναλλάκτες με μορφή πλάκας (από 67 σε 68 °C), με χρόνους από 1 μέχρι 3min. Αυτή η θερμική επεξεργασία, περιλαμβάνει την εφαρμογή χαμηλής τάσης σε μία καθαρή ανοξειδωτή δεξαμενή, η οποία παρέχει ηλεκτρική αντίσταση και παράγει απευθείας θέρμανση μέσα στα τοιχώματα της δεξαμενής (γνωστό ως φαινόμενο Joule). Μία συνεχής διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του προϊόντος και της εσωτερικής επιφάνειας μπορεί να επιτυγχάνεται σε όλη τη δεξαμενή. Είναι πιο εύκολο να ελεγχθεί ακριβώς η θερμοκρασία, ώστε να εμποδιστεί υπερχύλιση. Μία ακόμα τεχνολογία, η Actifish, που χαρακτηρίζεται από μία δεξαμενή μικρότερης διαμέτρου και μία πιο τυρβώδη ροή, επιτρέπει θερμικές διεργασίες μεταξύ 71 °C για 60-90s και 74 °C για 10-20s, για ολόκληρο το αυγό. Τέτοιες διεργασίες είναι πιο βακτηριοκτόνες από ότι μία κλασσική διεργασία στους 65 °C για 6min (Lechevalier et al., 2011).

2.4.5 Παστερίωση σε σειρά για παστερίωση λευκώματος

Η παστερίωση του υγρού λευκώματος του αυγού είναι μία πολύ δύσκολη διεργασία, καθώς οι πρωτεΐνες του λευκώματος του αυγού είναι ιδιαίτερα θερμοευαίσθητες. Η θερμική ευαισθησία ποικίλλει από τη μία καταπόνηση στην άλλη και οι βακτηριακοί πληθυσμοί είναι πάντα πολύ σύνθετοι σε βιομηχανικό περιβάλλον. Πολλές φορές είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ο πληθυσμός τους και τα χαρακτηριστικά του. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των προϊόντων αυγού, ειδικά το pH, τροποποιεί τη θερμική ευαισθησία των βακτηρίων (Lechevalier et al., 2011), (Delves Broughton, 2011).

2.5 Παστερίωση των κελυφών των αυγών

Η μόλυνση της επιφάνειας του κελύφους του αυγού αποτελεί κίνδυνο για την εσωτερική μόλυνση των αυγών, είτε μέσω διαπέρασης του κελύφους είτε με άμεση επαφή όταν το κέλυφος σπάει, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Για αυτό το λόγο πολλές φορές τα αυγά πλένονται, αν και δεν θεωρείται πως το πλύσιμο των αυγών που προορίζονται για λιανικό εμπόριο είναι αρκετό, οπότε εφαρμόζονται και άλλες μέθοδοι (Lechevalier et al., 2011).

2.5.1 Υδατόλουτρο

Η καταβύθιση σε ένα υδατόλουτρο στους 57 °C για 25min είναι μία αποτελεσματική τεχνική απολύμανσης κατά της *Salmonella Enteritidis*, χωρίς να υπάρχει επιβλαβής επίδραση στις ιδιότητες του αυγού. Υψηλότερες θερμοκρασίες (100 °C για 3s) μπορεί να προκαλέσουν μεγάλο αριθμό σπασμένων αυγών (Lechevalier et al., 2011).

2.5.2 Ζεστός αέρας

Όταν τα κελύφη των αυγών βρίσκονται σε ζεστό αέρα σε φούρνο στους 55 °C για 180 min παρατηρείται μείωση κατά 5 λογαρίθμους της *Salmonella Enteritidis*. Έχει παρατηρηθεί από πειράματα, πως η καλύτερη μεταχείριση είναι στους 180 °C για 8s, καθώς επιτυγχάνει την υψηλότερη θερμοκρασία στην επιφάνεια που μπορεί να μην προκαλέσει επιβλαβείς αλλαγές στην ποιότητα του εσωτερικού του αυγού (Lechevalier et al., 2011).

2.5.3 Παλλόμενο φως

Αυτή η μέθοδος είναι μία μη θερμική τεχνολογία που εφαρμόζει μικρούς παλμούς (10^{-3} με 10^{-2} ms) σε ένα ευρύ φάσμα φωτός (200-1000nm) στο προϊόν. Η μέθοδος είναι πιο αποτελεσματική σε μη πλυμένα αυγά, γιατί διατηρείται η ακεραιότητά τους (Lechevalier et al., 2011).

2.5.4 Όξινο ηλεκτρολυμένο νερό

Το όξινο ηλεκτρολυμένο νερό παράγεται με ηλεκτρόλυση ενός αραιωμένου διαλύματος υδροχλωρίου, με pH 2.6 και συγκέντρωση χλωρίου 50-80ppm. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται πλήρης εξάλειψη της *Salmonella Typhimutium*, του *Staphylococcus aureus*, της *Listeria monocytogenes* και του *E.coli* από την επιφάνεια των κελυφών. Το όξινο ηλεκτρολυμένο νερό είναι ένα αποτελεσματικό απορρυπαντικό. Για να αποφεύγεται ένα πολύ όξινο pH έχει αναπτυχθεί ένα ελαφρώς όξινο ηλεκτρολυμένο νερό με pH 6-6.5, το οποίο έχει μία αντίστοιχη βακτηριακή αποτελεσματικότητα (Lechevalier et al., 2011).

2.6 Τεχνολογίες ξήρανσης και ιδιότητες σκονών

Η ξήρανση χρησιμοποιείται ως μία τεχνική συντήρησης ή ως ένα παραγωγικό βήμα κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας ενός τροφίμου. Ως μέθοδος συντήρησης, η ξήρανση συνεπάγεται μία μείωση της περιεχόμενης υγρασίας στο τρόφιμο σε ένα επίπεδο όπου η ανάπτυξη των μικροοργανισμών περιορίζεται, ή εκεί όπου ο βαθμός

μίας δυσμενούς χημικής αντίδρασης ελαχιστοποιείται. Πέρα από τη χρήση της ξήρανσης για συντήρηση, μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται ως μέθοδος αλλαγής της φυσικής μορφής ενός προϊόντος (για παράδειγμα βοηθά στην εμφάνιση νιφάδων ή κόκκων). Η ξήρανση χρησιμοποιείται για να βελτιώσει τη ροή των τροφίμων σε μορφή σκόνης, όπως επίσης να μειώσει το συνολικό βάρος και το κόστος μεταφοράς. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μεγάλη κατανάλωση θερμικής ενέργειας που απαιτείται (Smith, 2007).

2.6.1 Ξήρανση με ψεκασμό

Ανάλογα με τη σύσταση, οι σκόνες του λευκώματος, ολόκληρου του αυγού και του κρόκου του αυγού έχουν ένα ποσοστό υγρασίας 6-8%, 3-5%, 3-4%, αντίστοιχα. Επειδή οι σκόνες ολόκληρου του αυγού και του κρόκου του αυγού είναι πολύ ευαίσθητες στη θέρμανση μπορεί να εμφανίσουν απώλειες χρώματος ή σημαντικές αλλαγές στις λειτουργικές ιδιότητες κατά την ξήρανση, ανάλογα με τη θερμοκρασία, το χρόνο παραμονής και την ποσότητα του περιεχόμενου νερού. Για τη σκόνη λευκώματος, η θερμική διεργασία είναι υπεύθυνη για τη σημαντική απώλεια των αφριστικών ιδιοτήτων και οι ιδιότητες σχηματισμού αφρού μπορούν να ανακτώνται με μία επιπλέον θέρμανση της σκόνης. Η θερμοκρασία του αέρα που χρησιμοποιείται για την επιπλέον θέρμανση είναι τυπικά 180, 165 και 145 °C, για το λεύκωμα του αυγού, ολόκληρο το αυγό και τον κρόκο του αυγού αντίστοιχα.

Οι ξηραντήρες σε σχήμα κύβου χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία προϊόντων αυγού και είναι προτιμότεροι στα προϊόντα αυγού, καθώς η ροή του αέρα περιορίζει τη διασπορά της σκόνης στο θάλαμο και η απόκλιση από το χρόνο παραμονής είναι χαμηλή.

Για το ολόκληρο αυγό και τον κρόκο του αυγού είναι απαραίτητος ένας συνδυασμός μεταξύ της παραγωγικότητας και της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Παρόλα αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικές συνθήκες ξήρανσης για την παραγωγή ειδικών προϊόντων. Οι χαμηλές θερμοκρασίες ξήρανσης και πιέσεις παράγουν σκόνη ολόκληρου αυγού και κρόκου αυγού με υψηλό ιξώδες (>1000mPas) μετά την αφυδάτωση ή σκόνες λευκώματος με καλές ιδιότητες αφρισμού και ζελοποίησης. Οι υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις βελτιώνουν τις γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες της σκόνης ολόκληρου αυγού (Lechevalier et al., 2011), (Hudson, 2012)

2.6.2 Επίδραση της ξήρανσης στη δομή των τροφίμων

Μετά την αφαίρεση του νερού από ένα στερεό τρόφιμο, ώστε να επεκταθεί ο χρόνος ζωής του, η αρχική δομή, η εμφάνιση και η γεύση πρέπει να αναπαραχθούν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Τα τρόφιμα μετά την αφαίρεση του νερού, παρουσιάζουν σημαντικές φυσικές, χημικές και βιοχημικές αλλαγές. Η αφαίρεση της υγρασίας θα επηρεάσει τη φυσική εμφάνιση, όπως το χρώμα και την υφή αλλά και πιο σύνθετες ουσίες όπως τα θρεπτικά. Σε μερικά τρόφιμα, όπως τα φρούτα και τα λαχανικά, η

δομή μπορεί να καταστραφεί κατά την ξήρανση, με αποτέλεσμα να αλλάξει η εμφάνιση των τροφίμων και να μην επανέλθει στις αρχικές του ιδιότητες. Η θερμοκρασία κατά την ξήρανση και ο ρυθμός της αφαίρεσης του νερού, έχουν σημαντική επίδραση στην ποιότητα του τροφίμου. Επίσης η αρχική δομή του τροφίμου θα επηρεάσει το μηχανισμό με τον οποίο θα γίνει η αφαίρεση του νερού και κατά συνέπεια το ρυθμό ξήρανσης (Smith, 2007).

2.6.3 Θέρμανση λευκώματος

Η ξηρή θέρμανση της σκόνης του λευκώματος του αυγού είναι μία διαδικασία στη βιομηχανία προϊόντων αυγού που επιτρέπει υψηλότερα όρια παστερίωσης από εκείνα του υγρού λευκώματος. Η πιο συνηθισμένη τεχνολογία περιλαμβάνει θέρμανση και διατήρηση της σκόνης λευκώματος στην τελική του συσκευασία σε ένα χώρο όπου ελέγχεται η θερμοκρασία και αν είναι εφικτό και η υγρασία. Η θέση των συσκευασιών, η ροή του αέρα και η ρύθμιση της υγρασίας του αέρα μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα και την ομοιομορφία της θέρμανσης χωρίς ξήρανση της σκόνης. Η διαδικασία της ξηρής θέρμανσης ποικίλλει από 65 °C μέχρι 85 °C και 5-14 ημέρες, κάτι που εξαρτάται από τις απαιτούμενες ιδιότητες της σκόνης, οι οποίες καθορίζονται από συνδυασμούς χρόνου/θερμοκρασίας, το περιεχόμενο του νερού και το pH. Η μικρή αλλαγή στη φύση της πρωτεΐνης εξηγεί τη βελτίωση της λειτουργικότητας της σκόνης.

Η ξηρή θέρμανση μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί με ένα κωνικό μίξερ που περιλαμβάνει περιστροφικό κοχλία που ανακατεύει, ώστε να αυξηθεί η μεταφορά θερμότητας. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει μικρότερης διάρκειας θερμικές επεξεργασίες σε υψηλές θερμοκρασίες (85-100 °C). Για παράδειγμα, η θέρμανση στους 90 °C για πάνω από 21 h είναι αρκετή, ώστε η σκόνη να έχει καλές ιδιότητες ζελοποίησης και αφρισμού. Η θέρμανση σε κλίνη απαιτεί μια ελάχιστη διαχείριση 1h στους 115 °C, αλλά είναι περιορισμένη εξαιτίας της δυσκολίας να επιτευχθούν αποτελεσματική παστερίωση και καλές λειτουργικές ιδιότητες στη θερμαινόμενη σκόνη ταυτόχρονα.

2.7 Ειδικά προϊόντα αυγού

Καλά-μαγειρεμένα αυγά: Τα αυγά ελέγχονται κατά την προετοιμασία, ώστε να εξαλειφθούν τα σπασμένα αυγά που ανοίγουν κατά το μαγείρεμα. Αυτή είναι η κύρια δυσκολία στο μαγείρεμα και παρουσιάζει οικονομικές και υγιεινές συνέπειες. Για να παρεμποδιστεί το σπάσιμο, το κέλυφος αποδυναμώνεται πριν το μαγείρεμα, ώστε να είναι εφικτή κάποια αύξηση του όγκου. Επιπλέον το αποδυναμωμένο κέλυφος ξεφλουδίζεται πιο εύκολα. Προκειμένου να συμβεί αυτό, μεταλλικές μονάδες τρυπάνε τα κελύφη και τα αυγά πέφτουν ήπια σε μια περιοχή, όπου και μαγειρεύονται με ατμό ή με βραστήρες με ζεστό νερό. Οι συνθήκες μαγειρέματος ποικίλλουν μεταξύ 95-100 °C για 13-20min. Η εσωτερική θερμοκρασία πρέπει να είναι

περίπου 85 °C, ώστε να είναι σίγουρο πως ο κρόκος του αυγού έχει πήξει, χωρίς όμως να υπάρχει κάποιος αποχρωματισμός. Μετά το μαγείρεμα, τα αυγά βυθίζονται σε παγωμένο νερό, ώστε να έρθει η εσωτερική θερμοκρασία κάτω από τους 30 °C. Έπειτα αφαιρείται το κέλυφος και τα αυγά παραμένουν σε ένα παγωμένο οξιμισμένο λουτρό, ώστε να ολοκληρωθεί η ψύξη και να παρεμποδιστεί ο αποχρωματισμός στην επιφάνεια του κρόκου του αυγού, ο οποίος συμβαίνει εξαιτίας του σχηματισμού σουλφιδίων σιδήρου. Τα αυγά τότε συσκευάζονται είτε σε αλατόνερο, είτε σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η διατήρηση με αλατόνερο είναι μία απλή μέθοδος συντήρησης με το pH να είναι σε τιμές 3-4, έτσι ώστε να περιορίζεται η βακτηριακή ανάπτυξη. Για μικρές συσκευασίες (10 με 30 αυγά), χρησιμοποιείται η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Η συσκευασία αυτή περιλαμβάνει την προσθήκη ενός μίγματος αερίων, διοξειδίου του άνθρακα και αζώτου, μέσα στη συσκευασία, ώστε να μην είναι εφικτή η χρήση του οξυγόνου από τα βακτήρια. Αυτό το είδος συσκευασίας οδηγεί σε καλύτερη οργανοληπτική ποιότητα, αλλά ευνοεί την ανάπτυξη των αναερόβιων ειδών. Επίσης όταν ανοιχθεί η συσκευασία, το προϊόν θα πρέπει να καταναλωθεί άμεσα (Lechevalier et al., 2011).

2.8 Ζυμωμένα προϊόντα αυγού

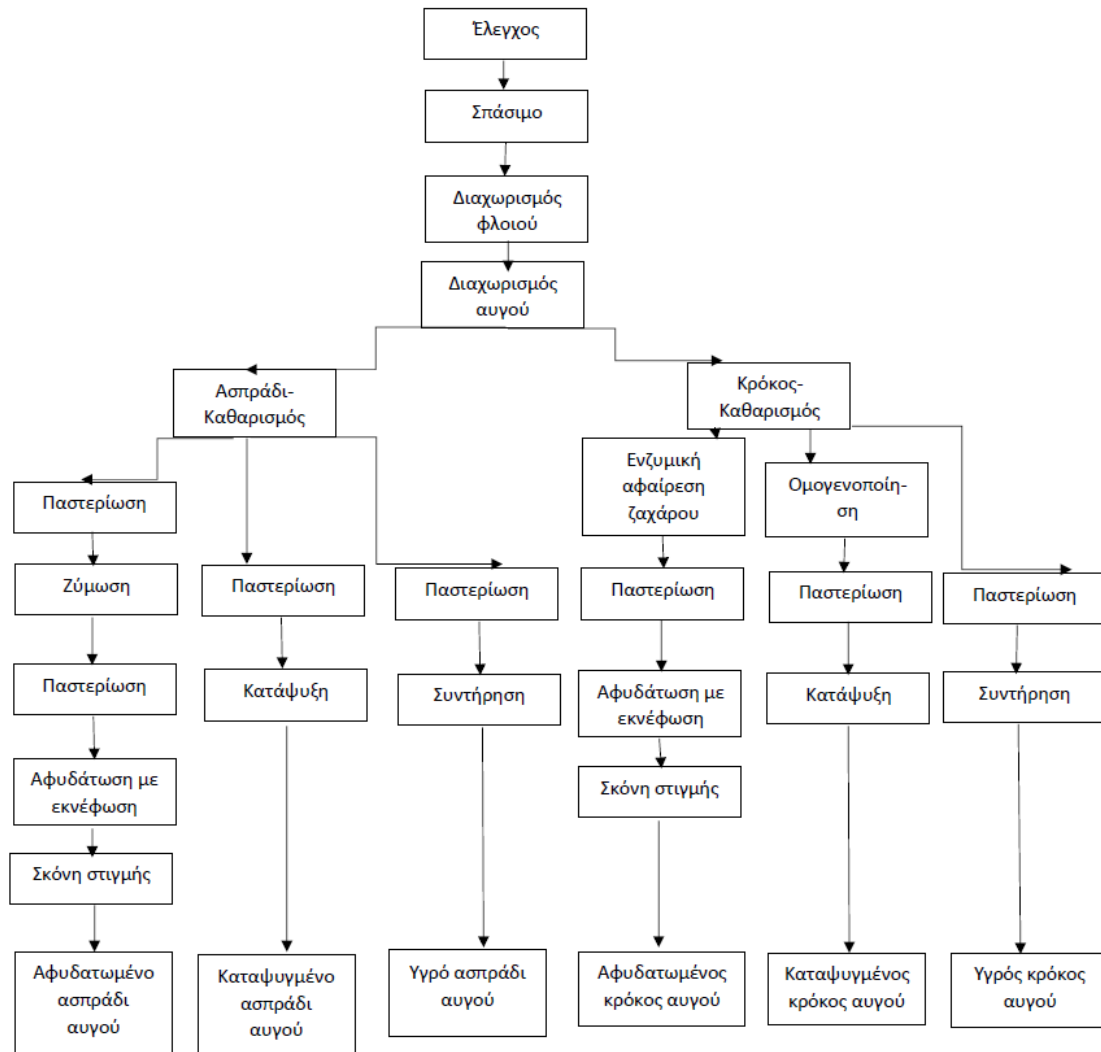
Τα ζυμωμένα προϊόντα αυγού αναμένεται να είναι μία καινοτόμος μέθοδος προϊόντων. Ένα νέο προϊόν τυριού τσένταρ φτιάχνεται από υγρά αυγά και γάλα. Όταν χρησιμοποιείται για την παρασκευή του μία αναλογία 50:50, το τυρί αυτό έχει αποδεκτή γεύση και ρεολογικές ιδιότητες. Αντίστοιχα παρασκευάζεται ένα γιαούρτι αυγού που αποτελείται από 10-40% αλβουμίνη και γάλα και το οποίο έχει εξαιρετική γεύση. Υπάρχουν δυνατότητες να παρασκευαστούν πολλά ζυμωμένα προϊόντα αυγού (Hudson, 2012).

2.9 Κατεψυγμένα προϊόντα αυγού

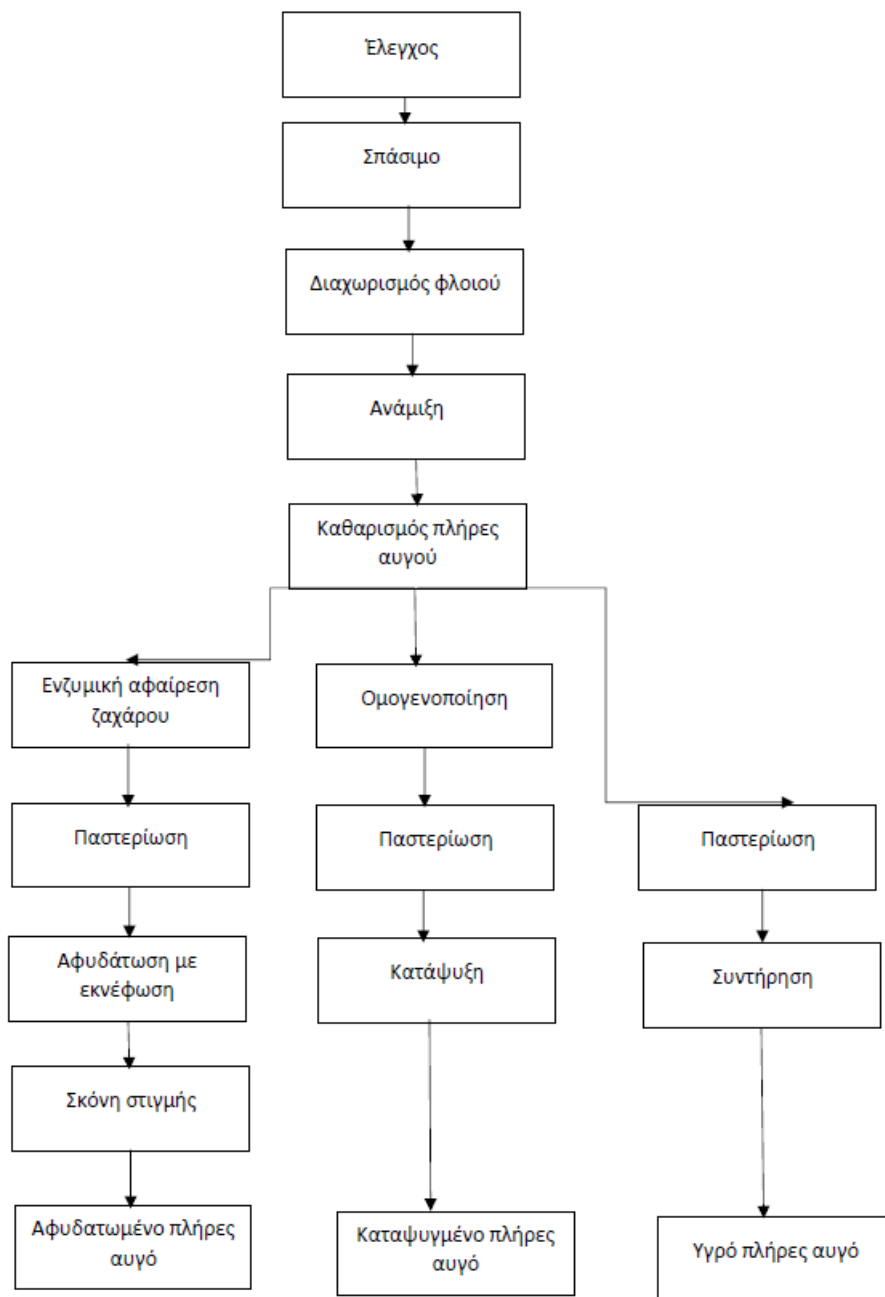
Το ομογενοποιημένο προϊόν παστεριώνεται στους 63 °C για 1min για τη μείωση του μικροβιακού πληθυσμού αυγού και στη συνέχεια καταψύχεται γρήγορα στους -40 °C. Η διάρκεια ζωής των κατεψυγμένων αυγών φτάνει μέχρι και 12 μήνες σε θερμοκρασία αποθήκευσης -15 με -18 °C.

Το κατεψυγμένο ασπράδι του αυγού γίνεται ελάχιστα πιο παχύρρευστο μετά την απόψυξη, ενώ το ιξώδες του κρόκου αυξάνεται μη αντιστρεπτά όταν οι θερμοκρασίες αποθήκευσης είναι κάτω από -6 °C. Ο κρόκος του αυγού, μετά την απόψυξη, έχει μορφή πηκτής, η οποία δυσκολεύει τη χρήση του με δοσομέτρηση ή ανάμιξη. Αποψυγμένη πηκτή (ζελέ) ολόκληρου μπορεί να προκαλέσει παρόμοια προβλήματα, αλλά σε μικρότερο βαθμό από τον κρόκο.

Παρακάτω δίνονται δύο διαγράμματα που παρουσιάζουν την παραγωγή προϊόντων αυγού στη μία περίπτωση για το διαχωρισμένο αυγό (ασπράδι και κρόκος) και στην άλλη περίπτωση για το πλήρες αυγό:



Διάγραμμα 2 Σχηματική απεικόνιση της παραγωγής προϊόντων αυγού στην περίπτωση του διαχωρισμένου αυγού



Διάγραμμα 3 Σχηματική απεικόνιση της παραγωγής προϊόντων αυγού στην περίπτωση του πλήρους αυγού

2.10 Κριτήρια ποιότητας και παράγοντες που επιδρούν σε αυτά

Όσο πιο φρέσκο είναι το αυγό, τόσο πιο εύκολο είναι να ξεφλουδιστεί. Η ευκολία στο ξεφλούδισμα οφείλεται στο pH του λευκώματος, το οποίο πρέπει να είναι πάνω από 8.5.

Το μικροβιολογικό περιεχόμενο των μαγειρεμένων αυγών εξαρτάται από τις συνθήκες υγιεινής κατά την ψύξη, την αφαίρεση του κελύφους και τη συσκευασία. Για να περιοριστεί η βακτηριακή ανάπτυξη, η ροή του νερού κατά τη διάρκεια της ψύξης πρέπει να είναι υψηλή, ώστε να περιοριστεί η θέρμανσή του. Το νερό πρέπει να απολυμαίνεται και να διατηρείται καθαρό με φιλτράρισμα (Lechevalier et al., 2011).

2.11 Τροποποίηση λίπους και χοληστερόλης σε προϊόντα αυγού

Το πιο μεγάλο πρόβλημα στη βιομηχανία αυγού είναι το υψηλό περιεχόμενο του αυγού σε χοληστερόλη.

Με το πέρασμα των χρόνων, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες, ώστε να αλλάξει η λιπιδική σύσταση και η σύσταση σε χοληστερόλη του αυγού, είτε μέσα από γενετική αλλαγή, είτε μέσω τροποποίησης της διατροφής της κότας. Η χοληστερόλη μπορεί να μειώνεται με τη διατροφή και με τη χρήση φαρμάκων, αλλά αυτή η μικρή αλλαγή στη χοληστερόλη δεν συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση της χοληστερόλης στους ανθρώπους.

Η διατροφή της κότας, έχει αποδειχτεί πως επηρεάζει σημαντικά τη λιπιδική σύσταση του αυγού. Αν η κότα έχει μία διατροφή πλούσια σε ακόρεστα λίπη, το αυγό θα είναι επίσης πιο πλούσιο σε ακόρεστα λιπαρά, ενώ όταν η διατροφή της κότας, περιλαμβάνει ιχθυέλαια, αυξάνονται τα λιπιδικά οξέα ω-3 στα αυγά.

Υποκατάστατα αυγού, ελεύθερα χοληστερόλης, κυκλοφορούν στη βιομηχανία τροφίμων. Τα προϊόντα αυτά είναι φτιαγμένα από λεύκωμα αυγού, ή λεύκωμα αυγού που περιέχει λίγο κρόκο αυγού μαζί με φυτικό έλαιο και καρικεύματα.

Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν οργανικοί διαλύτες, ώστε να μειωθεί η χοληστερόλη και τα λιπίδια. Με αυτόν τον τρόπο όμως μπορεί να αλλάξει η φύση των πρωτεϊνών και να καταστραφούν οι λειτουργικές τους ιδιότητες. Έχουν χρησιμοποιηθεί μίγματα εξανίου-ισοπροπανόλης (2:1) και χλωροφορμίου-μεθανόλης (2:1), ώστε να αφαιρεθούν τα περιεχόμενα λιπίδια από τον κρόκο του αυγού και αποδείχτηκε πως οι πολικοί διαλύτες είναι πιο αποτελεσματικοί στην αφαίρεση της χοληστερόλης (Hudson, 2012).

2.12 Άλλες ευκαιρίες και εφαρμογές

Κάποιες από τις πιο σημαντικές χρήσεις του αυγού είναι σε εφαρμογές που δεν σχετίζονται με τα τρόφιμα. Πιο παλιά το αυγό χρησιμοποιείτο για το μαύρισμα του δέρματος ή ως κόλλα. Επίσης χρησιμοποιείτο ως κόλλα σε συσκευασίες αναψυκτικών. Στις μέρες μας τα αυγά χρησιμοποιούνται ακόμα σε τροφές ζώων, σε σαμπουάν και σε παραγωγή εμβολίων γρίπης, καθώς και σε είδη χρωστικής.

Τα αυγά προσφέρουν ευκαιρίες, ώστε να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά σε νέες τεχνολογίες. Το ασπράδι του αυγού περιέχει πολλές πρωτεΐνες που περιέχουν ενζυμικούς αναστολείς, αντιβακτηριακές ιδιότητες και συστατικά που δεσμεύουν τις βιταμίνες και τα μέταλλα. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η λισοζύμη, που χρησιμοποιείται ως αντιμικροβιακή ουσία σε πολλές φαρμακευτικές ενώσεις. Η λισοζύμη χρησιμοποιείται επίσης για συντηρητικό τροφίμων με αποτελεσματική εφαρμογή στο τυρί. Η αβιδίνη είναι άλλη μία πρωτεΐνη, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, καθώς δεσμεύει τη βιοτίνη και για αυτό το λόγο μπορεί να ωφελήσει πολλές βιοχημικές τεχνικές (Hudson, 2012).

3. ΤΡΙΤΟ ΜΕΡΟΣ - ΚΑΤΑΨΥΞΗ

3.1 Εισαγωγή

Από την αρχαιότητα υπάρχουν στοιχεία για χρήση ψύχους, στη συντήρηση τροφίμων. Ο Μέγας Αλέξανδρος, κατά την εκστρατεία του στην Περσία κατόρθωνε να ψύχει το κρασί που προοριζόταν για τις στρατιώτες του, τοποθετώντας το μέσα σε λάκκους με χιόνι. Κατά τα ρωμαϊκά χρόνια, στα γεύματα των πλουσίων, προσέφεραν κρέας με πηκτή, το οποίο είχε ψυχθεί με χιόνι. Οι Χαλίφες τις Δαμασκού και τις Βαγδάτης, από τον 8^ο αιώνα μετέφεραν με καραβάνια χιόνια από την Αρμενία στη Μέκκα.

Η παραγωγή ψύχους ύστερα από εξάτμιση τις υγρού είναι γνωστή από πολύ παλιά. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί η τοποθέτηση ύδατος σε δοχεία με πόρους, τις στάμνες, από τις οποίους εξερχόταν μία ποσότητα ύδατος, που εξατμιζόμενη προκαλούσε πτώση τις θερμοκρασίας. Τέτοια δοχεία βρέθηκαν και στη Γαλλία.

Ως τα μέσα του περασμένου αιώνα για την παραγωγή χαμηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιείτο αποκλειστικά και μόνο φυσικός πάγος. Αργότερα, όταν παρήχθη τεχνητός πάγος (1890) η σημασία του φυσικού πάγου μειώθηκε μέχρι την τελική εξάλειψή του.

Από το 1900 άρχισε η κατασκευή ψυκτικών χώρων για μικρές βιομηχανίες και βιοτεχνίες και περίπου το 1910 εμφανίστηκε η πρώτη οικιακή ψυκτική συσκευή. Από τότε, η εξέλιξη τις τεχνικής και τις τεχνολογίας παραγωγής και εφαρμογής του ψύχους ήταν ραγδαία και πολύ εντυπωσιακή.

3.2 Κατάψυξη τροφίμων-Γενικές αρχές της κατάψυξης

Ως κατάψυξη ορίζεται η κατάσταση εκείνη στην οποία το νερό ενός τροφίμου, που βρίσκεται στο θερμικό κέντρο του, λόγω δράσης πολύ χαμηλών θερμοκρασιών, έχει πήξει και σταθεροποιηθεί. Ως θερμοκρασία κατάψυξης ορίζεται η περιοχή της θερμοκρασίας, μέσα στην οποία το νερό ενός τροφίμου που βρίσκεται στο θερμικό κέντρο του, έχει καταψυχθεί. Ως χρόνος κατάψυξης, θεωρείται η χρονική διάρκεια που χρειάζεται, ώστε το νερό που βρίσκεται στο θερμικό κέντρο του τροφίμου, να καταψυχθεί πλήρως (Malett, 1993).

Όταν ένα τρόφιμο τοποθετηθεί σε κατάψυξη, υπάρχει μία ορισμένη θερμοκρασία, όπου αρχίζει ο σχηματισμός κρυστάλλων νερού. Όσο ταπεινώνεται η θερμοκρασία και προχωρά η κατάψυξη, συνεπώς αυξάνει ο αριθμός των σχηματιζόμενων κρυστάλλων νερού, τόσο το υπόλοιπο νερό που δεν καταψύχθηκε ακόμα έχει ανάγκη μεγαλύτερης ποσότητας ψυχομονάδων για να καταψυχθεί. Δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί ένα συγκεκριμένο σημείο πήξης, για αυτό και καθορίζεται μία συγκεκριμένη περιοχή θερμοκρασίας μέσα στην οποία πραγματοποιείται η πήξη του νερού του τροφίμου. Ένα τρόφιμο, μπορεί να θεωρηθεί πως βρίσκεται σε κατάψυξη

όταν η θερμοκρασία στο θερμικό κέντρο του έχει κατέλθει κάτω από τη θερμοκρασία πήξης του νερού του.

Η κατάψυξη στην πράξη για πολλά είδη τροφίμων θεωρείται ότι έχει πραγματοποιηθεί, όταν η θερμοκρασία στο θερμικό κέντρο του τροφίμου έχει φτάσει τους -10°C . Η επιλογή της θερμοκρασίας αυτής δικαιολογείται, καθώς σε αυτή τη θερμοκρασία είναι πολύ μικρό το ποσοστό του νερού που ακόμα δεν έχει καταψυχθεί (Malett, 1993).

3.2.1 Ταπείνωση σημείου πήξης

Τα τρόφιμα περιέχουν σχετικά μεγάλες ποσότητες νερού, στο οποίο είναι διαλυμένα διάφορα συστατικά. Επομένως το σημείο έναρξης της πήξης του νερού στο τρόφιμο θα είναι χαμηλότερο από αυτό του καθαρού νερού. Το μέγεθος ταπείνωσης του σημείου πήξης εξαρτάται από το μοριακό βάρος και τη συγκέντρωση των διαλυμένων συστατικών στο νερό.

Στα πραγματικά διαλύματα μέρος του νερού δεσμεύεται στα στερεά συστατικά, δεν μπορεί να δράσει ως διαλύτης και δεν καταψύχεται σε οποιαδήποτε θερμοκρασία. Το ποσό του δεσμευμένου νερού για οποιοδήποτε συστατικό εξαρτάται από τη συγκέντρωση και τη θερμοκρασία (Ταούκης, 2009).

3.2.2 Διαδικασία της κατάψυξης

Κατά την κατάψυξη ενός προϊόντος, μπορούν να οριστούν τρία στάδια θερμοκρασιακών αλλαγών, το στάδιο πριν την κατάψυξη, το στάδιο της κατάψυξης και η μείωση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση. Το πρώτο στάδιο είναι η χρονική περίοδος ανάμεσα στην οποία το προϊόν με υψηλή θερμοκρασία υπόκειται σε διαδικασία κατάψυξης μέχρι τη στιγμή που το νερό αρχίζει να κρυσταλλώνει. Το δεύτερο στάδιο είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία η θερμοκρασία είναι συνεχής, καθώς η θερμότητα που εξάγεται προκαλεί την αλλαγή φάσης του μεγαλύτερου μέρους του νερού, ώστε να γίνει πάγος. Το τελευταίο στάδιο ορίζεται ως η χρονική περίοδος κατά την οποία η θερμοκρασία μειώνεται από τη θερμοκρασία που το περισσότερο νερό είχε μετατραπεί σε πάγο, μέχρι την τελική επιθυμητή θερμοκρασία. Η τελική θερμοκρασία επιτυγχάνεται, όταν η θερμοκρασία αποθήκευσης φτάνει σε όλα τα σημεία του προϊόντος, ακόμα και στο κέντρο. Η θερμοκρασία εξισορρόπησης, είναι η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται κάτω από αδιαβατικές συνθήκες, χωρίς ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον (Malett, 1993).

3.2.3 Χρόνος κατάψυξης τροφίμων

Ο χρόνος της κατάψυξης ορίζεται ως ο χρόνος από την αρχική θερμοκρασία (πριν την ψύξη) μέχρι την τελική θερμοκρασία στην οποία το τρόφιμο φτάνει (Zhang et al., 2018). Εξαρτάται από την αρχική και την τελική θερμοκρασία του τροφίμου, από την ειδική θερμότητα του τροφίμου (που δεν έχει καταψυχθεί ακόμα), από την ποσότητα των ψυχρομονάδων που χρειάζονται για την κατάψυξη, από τη θερμική αγωγιμότητα του τροφίμου, από τις εξωτερικές διαστάσεις και κυρίως από το ύψος της συσκευασίας του τροφίμου, από το πάχος και τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού συσκευασίας, από το πάχος του ενδεχομένως παρεμβαλλόμενου στρώματος αέρος, από τη μεταφορά της θερμότητας, από τη συσκευασία στον ψυχρό αέρα και από τη θερμοκρασία του αέρα που υπάρχει στο χώρο της κατάψυξης (Γεωργάκης, 2002).

3.2.4 Ρυθμός κατάψυξης τροφίμων

Ο ρυθμός με τον οποίο καταψύχεται ένα τρόφιμο καθορίζει τη δομή και την ποιότητα του τροφίμου, αλλά και το χρόνο που απαιτείται για να καταψυχθεί το τρόφιμο. Το Διεθνές Ινστιτούτο Κατάψυξης πρότεινε το 1971 τον ακόλουθο ορισμό για το ρυθμό κατάψυξης <<Ο ρυθμός κατάψυξης μίας μάζας τροφίμου είναι ο λόγος της ελάχιστης απόστασης από την επιφάνεια έως το θερμικό κέντρο προς το χρόνο που μεσολαβεί από τη στιγμή που η επιφάνεια φθάσει στους 0°C έως τη στιγμή που η θερμοκρασία του θερμικού κέντρου θα γίνει 5°C χαμηλότερη από την αρχική θερμοκρασία σχηματισμού πάγου στο θερμικό κέντρο. Όπου η απόσταση μετράται σε cm και ο χρόνος σε h, ο ρυθμός κατάψυξης θα εκφράζεται σε cm/h>>.

Ο ρυθμός κατάψυξης επηρεάζεται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του τροφίμου και του μέσου ψύξης, τους τρόπους μεταφοράς θερμότητας από το τρόφιμο προς το μέσο ψύξης και μέσα στο ίδιο το τρόφιμο, από το μέγεθος, το σχήμα και τις θερμικές ιδιότητες του τροφίμου και από το μέγεθος, τον τύπο και το σχήμα της συσκευασίας του τροφίμου, όταν αυτό είναι συσκευασμένο.

3.2.5 Ποσότητα ψυχρομονάδων που χρειάζεται για την κατάψυξη των τροφίμων

Το ποσό των ψυχρομονάδων που χρειάζεται για την κατάψυξη των τροφίμων από τη θερμοκρασία εισόδου τους στο χώρο της κατάψυξης, ως την τελική θερμοκρασία της κατάψυξης, ισούται με το άθροισμα των ψυχρομονάδων που απαιτούνται για την ψύξη του προϊόντος από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται, δηλαδή από τη θερμοκρασία έναρξης της κατάψυξης, ως την τελική θερμοκρασία της κατάψυξης, αυξανόμενο όμως κατά το ποσό των ψυχρομονάδων που απαιτούνται για την κατάψυξη του ψυχθέντος ποσοστού ύδατος (Γεωργάκης, 2002).

3.2.6 Μέτρηση φυσικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία ψύξης και κατάψυξης των τροφίμων

Τα μεγέθη που μελετώνται στους χώρους ψύξης και κατάψυξης των τροφίμων είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ταχύτητα κίνησης του αέρα.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με ειδικά θερμομέτρα που μεταβιβάζουν τις ενδείξεις έξω από το θάλαμο και έχουν τη δυνατότητα καταγραφής. Η μέτρηση της θερμοκρασίας μέσα στους ψυκτικούς χώρους πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο και σε τέτοια σημεία που οι τελικές ενδείξεις να αντιπροσωπεύουν την πραγματική θερμομετρική κατάσταση του θαλάμου. Μία διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ πραγματικής θερμοκρασίας χώρου και τελικής ένδειξης, μέχρι το πολύ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, μπορεί να γίνει αποδεκτή.

Η σχετική υγρασία του αέρα που επικρατεί στους χώρους ψύξης, επεξεργασίας ή συντήρησης, έχει ιδιαίτερη σημασία για την ποιότητα των τροφίμων. Η σχετική υγρασία δίνεται σε κλίμακα βαθμολογημένη από 0 έως 100%. Σε χώρους όπου διατηρούνται ή επεξεργάζονται νωπά προϊόντα, η σχετική υγρασία ρυθμίζεται από 45 έως 95%. Η ρύθμιση της σχετικής υγρασίας έχει σκοπό να αποτρέψει την υπερβολική ξήρανση του προϊόντος, ώστε να αποφευχθούν μεγάλες απώλειες βάρους και να παρεμποδίσει την ανάπτυξη των βακτηρίων στην επιφάνεια των τροφίμων.

Με τη σχετική υγρασία του αέρα, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη θερμοκρασία της επιφάνειας του προϊόντος μπορεί να προσδιοριστεί το σημείο κορεσμού. Με τον προσδιορισμό του, μπορεί να προβλεφθεί ο σχηματισμός ύδατος συμπύκνωσης στην επιφάνεια του τροφίμου και να αποφευχθεί η κατάσταση αυτή με την κατάλληλη ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Η κίνηση του αέρα είναι σημαντικός παράγοντας για την αποτελεσματική κατάψυξη των τροφίμων, καθώς ιδανικά θα έπρεπε η κίνηση αυτή να είναι ομοιόμορφη σε όλα τα σημεία, κάτι που όμως δύσκολα επιτυγχάνεται. Η κίνηση του αέρα αποβλέπει στην απομάκρυνση από τα τρόφιμα θερμότητας και υγρασίας (Γεωργάκης, 2002).

3.3 Ψύξη-κατάψυξη-απόψυξη

Με τη χρήση ψύχους επιτυγχάνεται η παρεμπόδιση τις εξέλιξης των βιολογικών (μικροβιακών, ενζυμικών) και φυσικοχημικών διαδικασιών, οι οποίες μπορεί να συμβούν στα τρόφιμα. Με αυτό τον τρόπο επιμηκύνεται ο χρόνος τις συντήρησης. Παθογόνοι και μη παθογόνοι μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται πλήρως 18°C , ενώ πολλοί θανατώνονται. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο βραδύτερα εξελίσσονται οι διάφορες ενζυμικές και χημικές δράσεις που συμβαίνουν στο τρόφιμο. Ορισμένες ενζυμικές δράσεις συνεχίζονται ακόμα και σε θερμοκρασία -30°C για αυτό και εφαρμόζεται το ζεμάτισμα ορισμένων τροφίμων πριν την

κατάψυξη. Επιπλέον, η κατάψυξη μέσω τις κρυστάλλωσης του νερού στο τρόφιμο μειώνει το ποσό του διαθέσιμου νερού σε υγρή μορφή, και έτσι επιβραδύνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών και την ενζυμική δραστηριότητα (Belitz, 2009).

Για το σχεδιασμό τις συστήματος κατάψυξης πρέπει να εκτιμηθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις ή αλλιώς η μεταβολή της ενθαλπίας του τροφίμου κατά την κατάψυξη, η οποία εξαρτάται από το ίδιο το τρόφιμο το οποίο καταψύχεται. Ο δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας που πρέπει να εκτιμηθεί για ένα τέτοιο σύστημα είναι ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η κατάψυξη του τροφίμου. Ο οποίος σχετίζεται με τις ενεργειακές απαιτήσεις, τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του τροφίμου και του μέσου κατάψυξης και τις ιδιότητες του τροφίμου. Ο ρυθμός κατάψυξης επηρεάζει τον τρόπο σχηματισμού του πάγου και επομένως τις ιδιότητες και την ποιότητα του προϊόντος (Tan eto al., 2012).

3.3.1 Παραγωγή ψύχους και εξοπλισμός

Σαν παραγωγή ψύχους σε έναν χώρο χαρακτηρίζεται η απομάκρυνση της θερμότητας από αυτόν, ώστε η θερμοκρασία του να κατέβει σε επίπεδα χαμηλότερα σε σχέση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Οι τρόποι παραγωγής ψύχους είναι πολλοί. Μερικά παραδείγματα αποτελούν η εξάτμιση ενός υγρού, η τήξη του πάγου, η ανάμιξη ορισμένων σωμάτων και η εκτόνωση αερίων. Σε βιομηχανική κλίμακα το ψύχος παράγεται τεχνητά από μηχανικές εγκαταστάσεις (Γεωργάκης, 2002). Οι καταψυκτικές που χρησιμοποιούνται για τα τρόφιμα διακρίνονται σε:

- Καταψυκτικές με προσφύσηση αέρα (σήραγγες)
- Καταψυκτικές επαφής με στερεές επιφάνειες
- Καταψυκτικές εμβάπτισης σε υγρά ή ψεκασμού με υγρά

Οι καταψυκτικές με προσφύσηση αέρα χρησιμοποιούν ψυχρό αέρα σε διάφορες ταχύτητες και έχουν διαφορετικό σχεδιασμό ανάλογα με τα προϊόντα που πρόκειται να καταψύξουν. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία λόγω της ευελιξίας της χρήσης τους για διάφορα προϊόντα. Πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η σήραγγα, η οποία χρησιμοποιείται για την κατάψυξη πολλών ειδών τροφίμων που έχουν τελείως διαφορετική μορφολογία, κατάσταση, σύσταση και μέγεθος, καθώς επίσης και η κατάψυξη τροφίμων που είναι ευαίσθητα σε υψηλές πιέσεις. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι χρειάζεται 15-30% μεγαλύτερη ποσότητα ψύχους από εκείνη της κατάψυξης με πλάκες. Ανάλογα με την κατασκευή και τον τρόπο εργασίας οι σήραγγες μπορεί να είναι σήραγγες με μεταφορικά αμαξίδια, σήραγγες με μεταφορικούς μάντες, σήραγγες για κατάψυξη σφαγίων, σήραγγες κατάψυξης με μικτή κίνηση (Γεωργάκης, 2002).

Οι καταψυκτικές επαφής με στερεές επιφάνειες, αποτελούνται από κοίλες επιφάνειες στο εσωτερικό των οποίων κυκλοφορεί το ψυκτικό υγρό και ανάμεσα στις

οποίες πιέζονται τα προς κατάψυξη τρόφιμα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για στερεά τρόφιμα συσκευασμένα σε λεπτά χάρτινα κιβώτια (Malett, 1993).

Οι καταψυκτικές εμβάπτισης σε υγρά ή ψεκασμού σε υγρά στηρίζονται στην άμεση επαφή του προϊόντος με ένα ψυκτικό υγρό χαμηλής θερμοκρασίας που συνεπάγεται την ταχύτερη κατάψυξή του (Malett, 1993).

3.3.2 Ψυχόμενοι χώροι

Ως ψυχόμενοι χώροι ορίζονται οι χώροι, στους οποίους η θερμοκρασία διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα και είναι κατάλληλοι για τη συντήρηση τροφίμων.

Ένα μεγάλο ποσοστό των χώρων αυτών αποτελούν τα οικιακά ηλεκτρικά ψυγεία, στα οποία η θερμοκρασία του χώρου ψύξης κυμαίνεται από 1 έως 5 °C, ενώ του χώρου κατάψυξης έως και -25°C. Στη βιομηχανία και στη βιοτεχνία χρησιμοποιούνται ανάλογοι ψυκτικοί χώροι στους οποίους η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η κίνηση του αέρα και ο φωτισμός ρυθμίζονται ανάλογα με τις ανάγκες του συντηρούμενου τροφίμου.

3.3.3 Σχηματισμός πάγου

Το υγρό νερό έχει μία θερμοχωρητικότητα περίπου 1 cal/g/K (4.18kJ/kg/K) και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, ενώ ο πάγος έχει θερμοχωρητικότητα περίπου 0.5 cal/g/K (2.04kJ/kg/K), που επίσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Στους 273K (0°C), το νερό αλλάζει φάση και γίνεται πάγος που συνοδεύεται με την απελευθέρωση 79.7 cal/g (335kJ/kg), δηλαδή τη λανθάνουσα θερμότητα της κρυστάλλωσης του νερού (Malett, 1993).

Ο σχηματισμός του πάγου συμβαίνει σε δύο στάδια, την πυρηνογένεση και την αύξηση του μεγέθους των κρυστάλλων.

Η πυρηνογένεση είναι το πρώτο στάδιο κατά το οποίο σχηματίζονται οι πυρήνες όπου στη συνέχεια θα αποτελέσουν τα κέντρα των κρυστάλλων. Η πυρηνογένεση μπορεί να είναι είτε ομογενής, είτε ετερογενής. Όταν οι πυρήνες αποτελούνται από τυχαίες συναθροίσεις ικανών μορίων νερού, τότε πρόκειται για ομογενή πυρηνογένεση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης αποτελεί το καθαρό νερό. Όταν μικρά σωματίδια που υπάρχουν μέσα στο υγρό δρουν ως πυρήνες για την εκκίνηση του σχηματισμού των κρυστάλλων, τότε πρόκειται για ετερογενή πυρηνογένεση. Ετερογενής πυρηνογένεση μπορεί επίσης να συμβεί από τοπικές διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις της διαλυμένης ουσίας αλλά και από μηχανικά αίτια (δυνάμεις κρούσης). Το μέγεθος και η δομή των κρυστάλλων που θα δημιουργηθούν, εξαρτάται από το ρυθμό πυρηνογένεσης. Η δημιουργία λίγων πυρήνων οδηγεί στο σχηματισμό λίγων και μεγάλων κρυστάλλων πάγου, ενώ η δημιουργία πολλών πυρήνων οδηγεί στο σχηματισμό λίγων και μικρών κρυστάλλων πάγου (Ταούκης, 2009).

Το δεύτερο στάδιο είναι η αύξηση του μεγέθους των κρυστάλλων του πάγου, η οποία μπορεί να συμβεί, μόνο αφού σχηματιστούν οι πυρήνες και περάσουν ένα κρίσιμο μέγεθος. Ο ρυθμός αύξησης του μεγέθους των κρυστάλλων εξαρτάται από το ρυθμό διάχυσης των μορίων του νερού από το διάλυμα στην επιφάνεια του κρυστάλλου, το ρυθμό με τον οποίο εναποτίθενται τα μόρια του νερού στην επιφάνεια των κρυστάλλων και το ρυθμό απομάκρυνσης της θερμότητας. Η θερμότητα που πρέπει να απομακρυνθεί είναι η θερμότητα κρυστάλλωσης. Η αύξηση του μεγέθους των κρυστάλλων ξεκινά σε θερμοκρασίες πολύ κοντά στο σημείο πήξης και ο ρυθμός της αυξάνεται πολύ λιγότερο με τη μείωση της θερμοκρασίας από ότι ο ρυθμός πυρηνογένεσης. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες το ιξώδες του διαλύματος αυξάνεται πολύ και ο ρυθμός αύξησης του μεγέθους των κρυστάλλων μειώνεται (Ταούκης, 2009).

Ο βραδύς ρυθμός κατάψυξης ευνοεί το σχηματισμό των κρυστάλλων στον εξωκυττάριο χώρο. Με το σχηματισμό των αρχικών κρυστάλλων η συγκέντρωση των διαλυτών συστατικών στον εξωκυττάριο χώρο αυξάνει και διαχέεται νερό από το εσωτερικό του κυττάρου προς τον εξωκυττάριο χώρο, όπου και εναποτίθεται στους εξωκυττάριους κρυστάλλους.

Αντίθετα, όταν η κατάψυξη γίνει με ταχύ ρυθμό παράγονται ομοιόμορφοι μικροί κρύσταλλοι στον εσωκυτταρικό και εξωκυτταρικό χώρο, η μετακίνηση του νερού ελαχιστοποιείται, η μικροσκοπική εικόνα των παγωμένων ιστών είναι παρόμοια με την αρχική και μετά την απόψυξη η ποιότητα του τροφίμου είναι υψηλή (James, 2000).

Μερικές φορές οι κρύσταλλοι πάγου που σχηματίζονται στο κατεψυγμένο τρόφιμο είναι ασταθείς και επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση. Το φαινόμενο αυτό ορίζεται ως ανακρυστάλλωση και οφείλεται στην τάση του συστήματος να μειώσει την ελεύθερη ενέργειά του, η οποία ελαχιστοποιείται στην κρυσταλλική φάση όταν η δομή της προς όλες τις κατευθύνσεις είναι τέλεια και το μέγεθος άπειρο. Η ανακρυστάλλωση στα κατεψυγμένα τρόφιμα περιλαμβάνει τη μεταβολή της επιφάνειας και της εσωτερικής δομής των κρυστάλλων, τη μετανάστευση μορίων από τους μικρούς κρυστάλλους στους μεγαλύτερους και τη συνένωση μικρών κρυστάλλων. Η ανακρυστάλλωση μπορεί να ελεγχθεί αποτελεσματικά, διατηρώντας χαμηλή και σταθερή θερμοκρασία κατά την αποθήκευση των κατεψυγμένων τροφίμων.

3.3.4 Αποθήκευση κατεψυγμένων τροφίμων

Οι συνθήκες αποθήκευσης των κατεψυγμένων τροφίμων είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ποιότητάς τους. Η θερμοκρασία πρέπει να διατηρηθεί σε επίπεδα που θα περιορίσουν το ρυθμό όλων των μεταβολών που υποβαθμίζουν την ποιότητα του τροφίμου.

Σε χαμηλές θερμοκρασίες (-18°C έως -40°C), οι μικροβιακές δράσεις πρακτικά αναστέλλονται. Οι ενζυμικές και χημικές δράσεις συνεχίζονται με βραδύτερο ρυθμό

όσο μειώνεται η θερμοκρασία, ενώ μπορεί να παρατηρηθούν και ορισμένες φυσικές μεταβολές, όπως η κρυστάλλωση ή ανακρυστάλλωση του πάγου και απώλεια υγρασίας. Οι κύριες ενζυμικές δράσεις που υποβαθμίζουν την ποιότητα των κατεψυγμένων τροφίμων περιλαμβάνουν το ενζυμικό μαύρισμα και οι κύριες χημικές δράσεις περιλαμβάνουν την οξειδωση των λιπαρών, την αλλοίωση αρωματικών και χρωστικών συστατικών και τη μερική καταστροφή βιταμινών. Εξαιτίας της μεταβολής του pH και της αύξησης της συγκέντρωσης των αλάτων μπορεί να προκληθεί μερική διαλυτοποίηση των πρωτεϊνών. Επίσης μπορεί να προκληθεί καθίζηση ουσιών με μικρή διαλυτότητα, όπως η λακτόζη (Γεωργάκης, 2002).

3.3.5 Καταστροφή κατά την κατάψυξη

Η διαδικασία της κατάψυξης είναι συνδεδεμένη με καταστροφή και με αλλαγή χαρακτηριστικών. Οι αλλαγές μπορεί να προκύψουν είτε κατά την κατάψυξη, είτε κατά την απόψυξη. Πιθανοί λόγοι καταστροφής είναι ο σχηματισμός του πάγου είτε άμεσα (με μηχανικές επιδράσεις), είτε έμμεσα (αλλαγή στη συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών στη μη παγωμένη φάση), με τη μεταφορά νερού από το εσωτερικό των κυττάρων στο εξωτερικό των κυττάρων, από τη συρρίκνωση των κυττάρων και την καταστροφή της μεμβράνης, από την αλλαγή στη διαλυτότητα του αερίου και από την αλλαγή φάσης. Σε υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών, ο χρόνος κατά τη διάρκεια της κατάψυξης ή της απόψυξης μπορεί να είναι σημαντικός. Σε πολλά συστήματα, ο ρυθμός αντίδρασης φτάνει σε ένα μέγιστο σε κάποια θερμοκρασία χαμηλότερη από το αρχικό σημείο παγώματος, γεγονός που οφείλεται στη μείωση της θερμοκρασίας που μειώνει το ρυθμό και αυξάνει τη συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών (McDonald, Tyre, 1997).

3.3.6 Κατάψυξη και βακτήρια

Το κάθε είδος τροφίμου περιέχει διαφορετική ποσότητα νερού. Το νερό βρίσκεται στα μεσοκυτάρια διαστήματα και μέσα στα κύτταρα των ιστών ελεύθερο ή ενωμένο με άλλα συστατικά. Κατά την κατάψυξη σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι και παρατηρούνται μεταβολές των ιστών οι οποίες επηρεάζουν λιγότερο ή περισσότερο τις ιδιότητες και πολλές φορές και τη χημική σύνθεση των τροφίμων.

Μερικά προβλήματα που φαίνεται πως συνδέονται με το περιεχόμενο νερό των τροφίμων αποτελούν η επιφανειακή ξήρανση, η συρρίκνωση, η απώλεια βάρους και η μερική αφυδάτωση. Για την αποφυγή των μεταβολών αυτών, είναι απαραίτητο η σχετική υγρασία του χώρου κατάψυξης και συντήρησης των τροφίμων να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Αυτό όμως δεν μπορεί να είναι πάντα δυνατόν, γιατί από ένα όριο και πάνω δημιουργείται κίνδυνος για τον πολλαπλασιασμό των βακτηρίων και των μυκήτων.

Ένας τρόπος αντιμετώπισης των βακτηρίων είναι οι διαταραχές ή και η διακοπή του μεταβολισμού των βακτηρίων με άμεση ή έμμεση δράση ψύχους πάνω σε αυτά,

γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα το θάνατο των βακτηρίων, που χαρακτηρίζεται ως “φυσικός θάνατος από ψύχος”.

Ακόμα, οι κρύσταλλοι πάγου που σχηματίζονται στα βακτήρια αυξάνουν τον όγκο των κυττάρων και πολλές φορές προκαλούν την καταστροφή των βακτηρίων (Primacell et al., 2018).

3.3.7 Επίδραση της κατάψυξης στους μικροοργανισμούς

Όταν οι μικροοργανισμοί υπόκεινται σε μία περιβαλλοντική αλλαγή, όπως η κατάψυξη, τότε κάποια κύτταρά τους μπορεί να μην επιφέρουν επιβλαβείς επιδράσεις, κάποια σκοτώνονται και κάποια μπορούν να υποστούν μεταβολική βλάβη. Οι επιβλαβείς αλλαγές της κατάψυξης στα κύτταρα των μικροβίων οφείλονται σε θερμικό σοκ, στη συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών, στην τοξικότητα της συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών, στην αφυδάτωση των κυττάρων, στο σχηματισμό του πάγου και στην επίτευξη ενός ελάχιστου κυτταρικού όγκου. Κάθε μία από αυτές τις αλλαγές θα μπορούσε να οδηγήσει σε θνησιμότητα. Υπάρχουν δύο θανατηφόρες επιδράσεις των μικροοργανισμών όταν υπόκεινται σε κατάψυξη, η άμεση συνέπεια της κατάψυξης και της απόψυξης και η θανάτωση κατά τη διάρκεια της παγωμένης αποθήκευσης. Το σοκ από το ψύχος (κυτταρικός τραυματισμός ή θάνατος) είναι συνηθισμένο, όταν οι μικροοργανισμοί στη φάση της ανάπτυξης εκτίθενται ξαφνικά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ο τραυματισμός των μικροοργανισμών είναι πολύ σημαντικός στη βιομηχανία τροφίμων, γιατί αν το σοκ που επιφέρει τραυματισμό αφαιρεθεί ή μειωθεί, οι οργανισμοί μπορεί να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση και να συνεχίσουν να αναπτύσσονται και να δρουν φυσιολογικά. Επιπλέον, εξαιτίας της εξασθένησης της φυσιολογικής τους κατάστασης και της αύξησης της ευαισθησίας τους σε ορισμένες χημικές ουσίες, οι τραυματισμένοι μικροοργανισμοί μπορεί να είναι δύσκολο να ανιχνευτούν σε ένα καταψυγμένο προϊόν. Σε περίπτωση που οι συνθήκες δεν είναι κατάλληλες, ώστε να επιδιορθωθεί ο τραυματισμένος μικροοργανισμός, τότε τελικά θα θανατωθεί (Tan eto al., 2012).

3.3.8 Απόψυξη

Η απόψυξη δεν είναι το αντίστροφο της κατάψυξης. Ως συνέπεια της διαφορετικής θερμοχωρητικότητας, της θερμικής αγωγιμότητας και της θερμικής διάχυσης του νερού και του πάγου, η αλλαγή της θερμοκρασίας ενός προϊόντος που αποψύχεται δεν είναι αντίστροφη αυτής κατά την κατάψυξη. Το φαινόμενο αυτό έχει αποδειχτεί με ένα πείραμα του Fennema (1973), κατά το οποίο μία κονσέρβα με ζελέ αμύλου μεταφέρθηκε από τους 80°C, στους -80°C και μία ίδια κονσέρβα μεταφέρθηκε από τους -80°C στους 80°C. Η δεύτερη διαδικασία πήρε πολύ περισσότερο χρόνο από ότι η πρώτη. Κατά τη διαδικασία της απόψυξης, η κονσέρβα έφτασε πολύ γρήγορα στους -6°C, αλλά παρέμεινε εκεί για πολύ χρόνο. Η απόψυξη πρέπει να σχεδιάζεται

με τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιείται αυτή η ενδιάμεση θερμοκρασία, όπου το προϊόν μένει αρκετό χρόνο, καθώς μεγάλη διάρκεια απόψυξης, συνεπάγεται σημαντική απώλεια ποιότητας (McDonald, Tyre, 1997).

3.3.9 Επίδραση της απόψυξης στους μικροοργανισμούς

Όταν τα παγωμένα τρόφιμα, αρχίζουν να αποψύχονται οι παγοκρύσταλλοι μεγαλώνουν και εφαρμόζουν το ίδιο φυσικό στρες στα μικροβιακά κύτταρα με αυτό που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Επιπλέον, καθώς τα παγωμένα διαλύματα αρχίζουν να τήκονται, τα μικροβιακά κύτταρα εξασθενούν και εκτίθενται σε ωσμωτικό σοκ. Ο ρυθμός της απόψυξης έχει μικρή επίδραση στην επιβίωση των μικροοργανισμών που έχουν προηγουμένως παγώσει. Η επιβίωση μικροοργανισμών σε τρόφιμα που αποψύχονται γρήγορα είναι μεγαλύτερη από ότι στα τρόφιμα που αποψύχονται πιο αργά, γεγονός που ισχύει και στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει κάποια πηγή θερμότητας για να διευκολύνει τη γρήγορη απόψυξη. Παρόλα αυτά, οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι κατάψυξης-απόψυξης οδηγούν σε μεγαλύτερη απώλεια της μικροβιακής βιωσιμότητας από ότι ένας μόνο κύκλος κατάψυξης-απόψυξης. Σύμφωνα με το ρυθμό απόψυξης, η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της απόψυξης είναι πολύ σημαντική. Κατά την απόψυξη, η επιφάνεια των μεγάλων κατεψυγμένων προϊόντων φτάνει πιο σύντομα σε υψηλές θερμοκρασίες και εκτίθεται σε αυτές περισσότερο χρόνο από ότι τα εσωτερικά τμήματα του προϊόντος. Αυτή η κατάσταση μπορεί να δημιουργήσει μικροβιακή ανάπτυξη στην επιφάνεια των προϊόντων που αποψύχονται. Τα τρόφιμα που αποψύχονται σε υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τον κίνδυνο της μικροβιακής καταστροφής και της ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών. Αν και η απόψυξη σε θερμοκρασίες ψύξης θα ήταν πιο σκόπιμη, διατηρώντας τα τρόφιμα σε θερμοκρασίες ψύξης για πολύ χρόνο, θα μπορούσαν να αναπτυχθούν παθογόνοι και αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί (McDonald, Tyre, 1997).

3.4 Φυσικές και χημικές μεταβολές κατά την κατάψυξη

Η κατάψυξη είναι μία φυσική διεργασία που περιλαμβάνει τη μεταφορά των μορίων νερού από μία άμορφη κατάσταση σε δομές παγοκρυστάλλων. Η αλλαγή της φάσης μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή της φύσης της πρωτεΐνης εξαιτίας των αλλαγών στο περιβάλλον της, και οι καταστροφές που προκαλούνται σε αυτή μπορεί να είναι είτε φυσικές είτε χημικές. Οι καταστροφές περιλαμβάνουν τρεις αλλαγές στο μικροπεριβάλλον της πρωτεΐνης:

- Αλλαγή στην υγρασία
- Αλλαγή στα λιπίδια
- Αλλαγή στον κυτταρικό μεταβολισμό

Οι αλλαγές στην υγρασία μπορούν να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Σχηματισμός παγοκρυστάλλων
- Αφυδάτωση
- Αύξηση στη συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας

Παρακάτω δίνονται μερικοί παράγοντες που προκαλούν αλλαγή της φύσης της πρωτεΐνης και μερικές πιθανές τεχνικές, ώστε αυτό να αποφευχθεί.

Αιτία	Δράση	Μέθοδος αντιμετώπισης
Σχηματισμός πάγου	Μηχανική καταστροφή	Γρήγορος ρυθμός κατάψυξης
	Διαταραχή κυτταρικής μεμβράνης	Χαμηλή θερμοκρασία απόψυξης
Ανακρυστάλλωση	Μηχανική καταστροφή	Χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης
Αφυδάτωση	Αύξηση της έκθεσης υδροφοβικών ομάδων-	Προσθήκη κρυοπροστατευτικών
Συγκέντρωση άλατος	Τροποποίηση ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων	Προσθήκη κρυοπροστατευτικών
Οξειδωση	Τροποποίηση πλευρικών αλυσίδων αμινοξέων	Προσθήκη αντιοξειδωτικών

Πίνακας 7 Παράγοντες που οδηγούν στην αλλαγή φύσης της πρωτεΐνης

3.4.1 Φυσικές μεταβολές

Μετανάστευση υγρασίας

Η κύρια φυσική αλλαγή που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των κατεψυγμένων τροφίμων είναι αποτέλεσμα της μετανάστευσης νερού. Κινητήρια δύναμη για το φαινόμενο αυτό αποτελεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμικού κέντρου και της επιφάνειας του τροφίμου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορά τάσης ατμών. Καθώς τα μόρια του νερού δεν είναι τελείως ακινητοποιημένα σε χαμηλές θερμοκρασίες, μπορεί να παρατηρηθεί σημαντική αναδιάταξη στα κατεψυγμένα προϊόντα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Η μετανάστευση του νερού προκαλεί είτε αλλαγή στο περιεχόμενο νερό είτε αλλαγή

στο μέγεθος των παγωμένων κρυστάλλων, το οποίο ονομάζεται ανακρυστάλλωση. Η μετανάστευση αυτή έχει ως αποτέλεσμα κατά την απόψυξη να υπάρξει ασυνέχεια στη δομή του προϊόντος. Η μετανάστευση του νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και συμβαίνει σε οποιαδήποτε θερμοκρασία αποθήκευσης (Ve Blonde, Le Meste, 2004).

Δημιουργία ορού- συναίρεση

Η κατάψυξη μπορεί να περιλαμβάνει εν μέρει διεργασία αφυδάτωσης κατά την οποία η υγρασία αποβάλλεται από την αρχική της θέση και σχηματίζει κρυστάλλους. Κατά την απόψυξη η υγρασία αυτή μπορεί να μην επανέλθει στην αρχική της θέση, καταστρέφοντας έτσι την υφή του προϊόντος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό είναι το μέγεθος και η κατανομή των κρυστάλλων στο τρόφιμο, ο ρυθμός με τον οποίο αποψύχεται το προϊόν και η κατάσταση των ιστών πριν την κατάψυξη. Γενικά στα λαχανικά, οι ιστοί δεν μπορούν να απορροφήσουν την υγρασία.

Η απόψυξη πρέπει να συντελείται σε χαμηλούς ρυθμούς, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα, ενώ η προσφερόμενη θερμότητα πρέπει να στοχεύει στη διάλυση των παγοκρυστάλλων. Με μεγάλη προσφορά θερμότητας για απόψυξη μπορεί να παρουσιαστούν φαινόμενα όπως αύξηση του μικροβιακού φορτίου, απελευθέρωση υγρασίας (ορού), απώλεια βάρους του προϊόντος λόγω αφυδάτωσης και άλλα επιζήμια φαινόμενα. Γενικά η απόψυξη πρέπει να διαρκεί περισσότερο από την κατάψυξη του τροφίμου (Zaritzky, 2003).

3.4.2 Χημικές μεταβολές

Οξειδωση λιπιδίων

Η οξειδωση αποτελεί περίπλοκη διαδικασία καθότι περιλαμβάνει πολλά στάδια και μπορεί να συντελεστεί ενζυμικά ή μη. Ένα από τα ένζυμα τα οποία θεωρούνται σημαντικά στην οξειδωση των λιπιδίων είναι η λιποξυγενάση, η οποία βρίσκεται σε ιστούς πολλών φυτών και ζώων. Με την ενεργοποίησή της προκαλείται απώλεια του χρώματος και του αρώματος των ιστών.

Το φαινόμενο της οξειδωσης οδηγεί σε απώλεια ποιότητας καθώς αλλοιώνεται η γεύση, η εμφάνιση, η θρεπτική αξία και η λειτουργικότητα των πρωτεϊνών. Επίσης η αποσύνθεση των λιπαρών οξέων σε αλδεΐδες και κετόνες είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία της χαρακτηριστικής γεύσης και οσμής του ταγγισμού. Τέλος θα πρέπει πριν την κατάψυξη οποιουδήποτε λαχανικού, μόνου του ή έτοιμου προϊόντος, να προηγείται λεύκανση, ώστε να μειωθούν στο ελάχιστο τα αποτελέσματα της οξειδωσης, διότι εκτός από τη λιποξυγενάση, μπορεί και η χλωροφύλλη να αποτελέσει αντίστοιχο υπόστρωμα (Ve Blonde, Le Meste, 2004), (Zaritzky, 2003).

Αλλαγή στη φύση της πρωτεΐνης

Η αποθήκευση κατά την κατάψυξη είναι μία από τις πιο σημαντικές μεθόδους συντήρησης, ώστε να διατηρείται η μικροβιακή και η χημική σταθερότητα και να επεκτείνεται ο χρόνος ζωής των προϊόντων τροφίμων. Κατά την ψύξη και την κατάψυξη μπορεί να παρατηρηθεί υποβάθμιση στην υφή, στη γεύση και στο χρώμα, ως αποτέλεσμα των βιοχημικών, ενζυμικών και λειτουργικών αλλαγών των πρωτεϊνών. Οι αλλαγές στις πρωτεΐνες, η αδρανοποίηση των ενζύμων και η απώλεια λειτουργικότητας έχουν παρατηρηθεί σε κατεψυγμένο ψάρι, κρέας, πουλερικά και αυγά. Οι αλλαγές στις πρωτεΐνες κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, μπορούν να παρατηρηθούν μετρώντας τις αλλαγές στην υδροφοβική επιφάνεια της πρωτεΐνης, στα αμινοξέα, στη σταθερότητα, στη διαλυτότητα και στην ενζυμική ενεργότητα. Η απώλεια των λειτουργικών ιδιοτήτων σχετίζονται με την ικανότητα συγκράτησης νερού, το ιξώδες, την ζελοποίηση, τη γαλακτωματοποίηση και τον αφρισμό.

Η αλλαγή στη φύσης της πρωτεΐνης συνεισφέρει στο σχηματισμό παγοκρυστάλλων, στην αφυδάτωση και στη συγκέντρωση των πρωτεϊνικών διαλυμάτων. Πολλά κρυστοπροστατευτικά, όπως η ζάχαρη, η σορβιτόλη και οι πολυόλες, ενσωματώνονται μέσα στα τρόφιμα πριν από την κατάψυξη για να ελαχιστοποιήσουν τις φυσικοχημικές αλλαγές των πρωτεϊνών και να εμποδίσουν την απώλεια της λειτουργικότητας (Primacell, 2018).

3.5 Μεταβολή των πρωτεϊνών κατά την κατάψυξη

3.5.1 Αλλαγή στη δομή των πρωτεϊνών

Σφαιρικές πρωτεΐνες: Όταν μία σφαιρική πρωτεΐνη βρίσκεται σε διαλυτοποιημένη μορφή, η δομή του μορίου διατηρείται κυρίως λόγω των ενδομοριακών μη πολικών δεσμών που υπάρχουν, ως αποτέλεσμα της θερμοδυναμικής ισορροπίας μεταξύ δύο συστημάτων. Αυτά είναι το σύστημα A, το οποίο αποτελείται από διπλωμένη πρωτεΐνη και το σύστημα B, το οποίο αποτελείται από ξεδιπλωμένη πρωτεΐνη και νερό.

Στο σύστημα A, οι μη πολικές ομάδες της πολυπεπτιδικής αλυσίδας βρίσκονται στο εσωτερικό του μορίου, ώστε να αποφεύγεται η επαφή με την υδατική φάση. Στο σύστημα B μερικές τέτοιες ομάδες έχουν κατεύθυνση προς το εξωτερικό μέρος του μορίου, προκαλώντας το σχηματισμό δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων νερού που υπάρχουν γύρω τους. Το δεύτερο σύστημα έχει μικρότερη εντροπία από το πρώτο, με αποτέλεσμα σε μη κατεψυγμένη κατάσταση το σύστημα A, να ευνοείται θερμοδυναμικά.

Αν το σύστημα είναι κατεψυγμένο, τα μόρια του νερού, γύρω από το πρωτεϊνικό μόριο απομακρύνονται και σχηματίζουν κρυστάλλους. Έτσι, η ισορροπία μεταξύ των δύο συστημάτων διαταράσσεται και μία νέα θερμοδυναμική ισορροπία πρέπει να θεωρείται ότι υπάρχει μεταξύ ενός συστήματος, που αποτελείται από το διπλωμένο

πρωτεϊνικό μόριο με λίγο ή καθόλου νερό και ενός συστήματος, το οποίο αποτελείται από το ξεδιπλωμένο μόριο με λίγο ή καθόλου νερό. Θερμοδυναμικά, το σύστημα που αποτελείται από το ξεδιπλωμένο μόριο με λίγο ή καθόλου νερό, είναι σταθερότερο στην κατεψυγμένη κατάσταση.

Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο αναδιαμορφώνονται οι πρωτεΐνες κατά την κατάψυξη. Το φυσικό πρωτεϊνικό μόριο υπόκειται σε αλλαγές δομής που προκαλούν αδρανοποίηση των ενεργών του κέντρων για ενζυμική δραστηριότητα και άλλες βιομηχανικές λειτουργίες.

Πρωτεΐνες με ελικοειδή μορφή: Οι πρωτεΐνες αυτές, δεν ξεδιπλώνονται κατά τη μετουσίωση, αλλά δημιουργούν συσσωματώματα. Καθώς ψύχονται κάτω από το σημείο κατάψυξής τους, τα μόρια νερού στις ψυχρότερες περιοχές αρχίζουν να κρυσταλλώνονται. Μόρια νερού άλλων περιοχών μεταναστεύουν προς τους παγοκρυστάλλους, με αποτέλεσμα την ανάπτυξή τους. Αυτό οδηγεί σε συνεχή απομάκρυνση του νερού από την περιοχή των πρωτεϊνικών μορίων, προκαλώντας την απελευθέρωση των επιφανειακών ομάδων των πρωτεϊνών, στις οποίες δεσμεύονταν τα μόρια του νερού. Οι ομάδες αυτές στη συνέχεια, μπορούν να σχηματίσουν δεσμούς μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τη συσσωμάτωση των πρωτεϊνικών μορίων (Σταυρινάδου, 1999).

3.5.2 Αλλαγή στη λειτουργικότητα των πρωτεϊνών του αυγού

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά καθορίζονται από τη δομή και τη συμπεριφορά των πρωτεϊνών. Κάθε φυσικός και χημικός παράγοντας που μπορεί να καταστρέψει την αρχική δομή της πρωτεΐνης, θα προκαλέσει αλλαγές στη λειτουργικότητά της. Η διαδικασία αλλαγής φάσης πολλές φορές επιτρέπει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρωτεϊνών ή τις αλληλεπιδράσεις με άλλα συστατικά των τροφίμων (McDonald, Tyre, 1997).

Διαλυτότητα

Η διαλυτότητα είναι ένας δείκτης ευαισθησίας και χρησιμοποιείται ως δείκτης για την αλλαγή φύσης της πρωτεΐνης. Με αλλαγή φύσης, οι υδροφοβικές πλευρικές αλυσίδες αμινοξέων που φράζουν τα μόρια της πρωτεΐνης, εκτίθενται στην επιφάνεια. Για να διατηρήσουν τη χαμηλότερη ελεύθερη ενέργεια, οι μη πολικές ομάδες τείνουν να αντιδράσουν με άλλα για να σχηματίσουν συσσωματώματα πρωτεΐνης και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η διαλυτότητα. Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης αυγών σε υγρή μορφή, υπάρχει μείωση διαλυτότητας, εξαιτίας της συσσωμάτωσης λιποπρωτεϊνών. Στο παγωμένο ολόκληρο αυγό, οι λιποβιτελίνες και η γ-λιβετίνη είναι τα πιο ευαίσθητα συστατικά, υπεύθυνα για το 31% και 56% αντίστοιχα της μείωσης της διαλυτότητας στα παγωμένα αυγά.

Ιξώδες

Οι πρωτεΐνες είναι υδροκολλοειδή και σε υδατικά διαλύματα παρουσιάζουν ψευδοπλαστικά χαρακτηριστικά ροής. Το ιξώδες πρωτεϊνών σε αναστολή είναι

σημαντικό, καθώς επηρεάζει τη σταθερότητα και τη ρευστότητα. Όταν μία πρωτεΐνη αλλάζει φύση, αλλάζουν η δομή και οι επιφανειακές της ιδιότητες (υδροφιλία, υδροφοβία), με αποτέλεσμα να μειώνονται οι αλληλεπιδράσεις πρωτεΐνης-νερού και η διαλυτότητα.

Οι πρωτεΐνες του ασπραδιού του αυγού είναι επιρρεπείς στη διαδικασία της κατάψυξης. Η κατάψυξη προκαλεί μείωση στο ιξώδες του ασπραδιού του αυγού. Για ολόκληρο το αυγό ή για τον κρόκο του αυγού, συνήθως παρατηρείται αύξηση του ιξώδους κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, εξαιτίας του σχηματισμού υδροκολλοειδών δομών και συμπλεγμάτων λιποπρωτεϊνών. Η αύξηση του ιξώδους παρατηρείται περισσότερο, όταν το αυγό έχει παστεριωθεί πριν την κατάψυξη, εξαιτίας της αύξησης της ευαισθησίας, που επηρεάζεται από τη θέρμανση. Οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι κατάψυξης-απόψυξης διαταράσσουν τη δομή της πρωτεΐνης, κάτι που οδηγεί σε σημαντική αλλαγή της σταθερότητας (McDonald, Tyre, 1997).

Ζελοποίηση

Η ικανότητα της πρωτεΐνης να σχηματίζει ένα ζελέ μειώνεται υπό συνθήκες κατάψυξης και αποθήκευσης, οδηγώντας σε φυσικές και χημικές υποβαθμίσεις της πρωτεΐνης, συμπεριλαμβανομένου του ρυθμού κατάψυξης, του χρόνου αποθήκευσης, της θερμοκρασίας και των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση.

Η αυθόρμητη ζελοποίηση του ολόκληρου αυγού σε υγρή μορφή κατά την κατάψυξη είναι μία ανεπιθύμητη διαδικασία. Γενικά κατά την κατάψυξη του κρόκου κάτω από τους -6°C , το ιξώδες του κρόκου αυξάνεται και συμβαίνει ζελοποίηση. Με αυτό τον τρόπο χάνεται η ρευστότητα, κάνοντας το ζελοποιημένο προϊόν δύσκολο για κατεργασία.

Ο μηχανισμός ζελοποίησης του κρόκου του αυγού δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως. Αρχικά η ζελοποίηση θεωρείτο μη αναστρέψιμη. Τα συμπλέγματα χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεϊνών και λεκιθινών μπορεί να σχετίζονται και η μεταχείριση του κρόκου του αυγού με πρωτεολυτικά ένζυμα, μπορεί αποτελεσματικά να μειώσει την ζελοποίηση. Η ζελατινοποίηση μπορεί να είναι αποτέλεσμα της συσσωμάτωσης λιποπρωτεϊνών, γεγονός που μπορεί να αλλάζει όταν αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των μη πρωτεϊνικών συστατικών και το pH αλλάζει, εξαιτίας της αφυδάτωσης και του σχηματισμού παγοκρυστάλλων. Με την προσθήκη μερικών προσθετικών, όπως άλατα, ζάχαρη και γλυκερίνη, η ζελατινοποίηση μπορεί να μειωθεί. Πολλά κρυσταλλοπροστατευτικά υλικά, όπως χλωριούχο νάτριο, σακχαρόζη, σιρόπια, και κόμμεα, προστίθενται σε ολόκληρο το αυγό ή στον κρόκο, για να μειώσουν την ζελοποίηση κατά τη διάρκεια της κατάψυξης (Li, 2014).

Γαλακτωματοποίηση

Η γαλακτωματοποιητική χωρητικότητα είναι μία λειτουργία της υδροφοβικότητας της πρωτεΐνης και της διαλυτότητας, ενώ η γαλακτωματοποιητική σταθερότητα συνδέεται με τη συγκέντρωση της πρωτεΐνης. Γενικά η σταθερότητα φαίνεται να μειώνεται κατά τη διάρκεια της κατάψυξης (Li, 2014).

Αφρισμός

Σε πολλά προετοιμασμένα τρόφιμα, όπως στη μαρέγκα και στο παγωτό, οι πρωτεΐνες παίζουν πολύ κρίσιμο ρόλο στην παγίδευση του αέρα. Η χωρητικότητα του αφρού επηρεάζεται από τη φύση των πρωτεϊνών και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η κατάψυξη είναι επιζήμια για τις αφριστικές ιδιότητες των πρωτεϊνών του ασπραδιού. Η σταθερότητα του αφρού, ολόκληρου του αυγού επηρεάζεται άμεσα από το ρυθμό κατάψυξης και λιγότερο από το χρόνο αποθήκευσης και από τη θερμοκρασία του καταψύκτη. Η μειωμένη σταθερότητα του αφρού κατά την κατάψυξη, αποδίδεται στην αλλαγή της φύσης της κωναλβουμίνης και της ωαλβουμίνης, οι οποίες είναι πολύ ευαίσθητες στην κατάψυξη (Li, 2014).

3.6 Κατάψυξη και αυγό

Η κατάψυξη του αυγού είναι μια διαδικασία που σχετίζεται με το χρόνο και τη θερμοκρασία. Η γρήγορη κατάψυξη οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα προϊόντος και σε μείωση του λειτουργικού κόστους. Είναι μία διαδικασία που μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στην υφή και στο μικροβιακό πληθυσμό του αυγού (Li, 2014).

Η κατάψυξη προκαλεί πολύ μικρές αλλαγές στο ασπράδι του αυγού σε σχέση με αυτές που προκαλεί στον κρόκο του αυγού. Κέικ και άλλα είδη ζαχαροπλαστικής που παρασκευάζονται από ασπράδι αυγού που έχει υποστεί κατάψυξη και απόψυξη είναι όμοια με εκείνα που παρασκευάζονται από ασπράδι αυγού που δεν έχει υποστεί κατάψυξη. Οι πηκτές που κατασκευάζονται από ασπράδι αυγού που έχει υποστεί κατάψυξη-απόψυξη είναι πιο σταθερές από τις αντίστοιχες που έχουν προέλθει από μη κατεψυγμένο αυγό. Το ιξώδες και η αλλαγή της φύσης της πρωτεΐνης εξαρτώνται από το ρυθμό κατάψυξης. Ο γρήγορος ρυθμός κατάψυξης οδηγεί σε τιμές ιξώδους και σταθερότητας αφρού παρόμοιες με τις αντίστοιχες των προϊόντων που έχουν παρασκευαστεί από μη κατεψυγμένο αυγό, ενώ ο χαμηλός ρυθμός κατάψυξης έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη τιμή ιξώδους, πιο ασταθή αφρό και μεγαλύτερη αλλαγή στη φύση της πρωτεΐνης. Δεν είναι όλες οι πρωτεΐνες του ασπραδιού του αυγού το ίδιο ευαίσθητες στην αλλαγή της φύσης τους. Η κωναλβουμίνη είναι περισσότερο ευαίσθητη και η ωαλβουμίνη είναι πιο σταθερή στις αλλαγές κατά την κατάψυξη από ότι είναι όλο το ασπράδι του αυγού.

Ο κρόκος του αυγού επηρεάζεται περισσότερο από το ασπράδι του αυγού κατά την κατάψυξη. Αποτελείται από σφαιρικές πρωτεΐνες και λιποπρωτεΐνες που μπορούν να γίνουν πιο ασταθείς κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και να δημιουργήσουν συσσωματώματα. Η ψύξη του κρόκου του αυγού σε θερμοκρασίες κάτω από -6°C μπορεί να προκαλέσει μία μη αναστρέψιμη μεταβολή στην υφή του, γνωστή ως ζελατινοποίηση, ενώ η μέγιστη ζελατινοποίηση παρατηρείται σε θερμοκρασίες κάτω από -18°C . Όταν ο κρόκος του αυγού αποψυχθεί δεν θα εμφανίσει την ίδια υφή με πριν, αλλά θα παρουσιάσει αυξημένο ιξώδες. Η ζελοποίηση του κρόκου του αυγού είναι μη αναστρέψιμη, καθώς μειώνει τη λειτουργικότητά του. Η κατάψυξη μπορεί να

διακόψει τη δομή του κρόκου του αυγού, αν οι συνθήκες δεν είναι οι βέλτιστες, επηρεάζοντας τις γαλακτωματοποιητικές του ιδιότητες. Οι αλλαγές στον κρόκο του αυγού κατά την κατάψυξη οφείλονται στο σχηματισμό παγοκρυστάλλων, στην αφυδάτωση και στη συγκέντρωση των αλάτων (Li, 2014).

Λιγότερο από το 1% των βακτηρίων των ωμών προϊόντων αυγού επιβιώνουν μετά την παστερίωση. Τα κύρια γένη που βρίσκονται στα παστεριωμένα προϊόντα αυγών είναι τα *Alcadigenes*, *Bacillus*, *Proteus*, *Escherichia*, *Flavobacterium* και Gram positive cocci. Παρόλα αυτά τα τελευταία τρία γένη δεν εμφανίζονται στα κατεψυγμένα προϊόντα αυγού (Li, 2014).

3.7 Κρυοπροστασία και μηχανισμοί κρυοπροστασίας

3.7.1 Εισαγωγή

Κρυοπροστασία είναι η διαδικασία κατά την οποία προστατεύεται ένα υλικό από την καταστροφή που μπορεί να προκληθεί κατά την κατάψυξη. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που μπορούν να εμποδίσουν την καταστροφή, αλλά δεν είναι απαραίτητα εφαρμόσιμες σε συστήματα που προορίζονται για κατανάλωση, όπως τα τρόφιμα. Όταν η καταστροφή κατά την κατάψυξη, προκαλείται από την αύξηση της συγκέντρωσης κάποιων διαλυμένων ουσιών όπως των αλάτων που αποτελεί πρόβλημα, η προσθήκη από κάποιες άλλες διαλυμένες ουσίες μπορεί να μειώσει ή να εμποδίσει την καταστροφή. Πρέπει να χρησιμοποιούνται ασφαλείς διαλυμένες ουσίες όπως είναι η ζάχαρη και οι πολυόλες, καθώς οι προστατευτικές διαλυμένες ουσίες, σε υψηλές συγκεντρώσεις, μπορεί να είναι καταστροφικές και για αυτό το λόγο εξελίσσονται διαδικασίες στις οποίες επιτρέπεται μερική αφυδάτωση.

Τα κρυοπροστατευτικά είναι ενώσεις που βελτιώνουν την ποιότητα και επεκτείνουν το χρόνο ζωής των κατεψυγμένων τροφίμων. Ο όρος “κρυοπροστατευτικό” περιλαμβάνει όλες τις ενώσεις που βοηθούν στην παρεμπόδιση επιβλαβών αλλαγών στα τρόφιμα που προκαλούνται κατά τις διεργασίες της κατάψυξης και της απόψυξης. Αυτά τα πρόσθετα, μπορούν να ενσωματωθούν, κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας ή παράγονται φυσικά από το ζωντανό οργανισμό, από τον οποίο προέρχεται το τρόφιμο.

Τα κρυοπροστατευτικά μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες, στα κρυοσταθεροποιητικά, όπου προστίθενται ώστε να αυξήσουν το ιξώδες του κατεψυγμένου τροφίμου και στα κρυοπροστατευτικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για να αλλάξουν ή να σταθεροποιήσουν τη δομή των συστατικών που είναι επιρρεπή σε ανεπιθύμητες αλλαγές κατά την κατάψυξη. Χρησιμοποιούνται συνήθως για να προστατεύσουν τις πρωτεΐνες από την αλλαγή της φύσης τους. Τα πρόσθετα αυτά αντιδρούν με το νερό, συμβάλλουν στην ευνοϊκή ενυδάτωση της πρωτεΐνης και προστατεύουν τις λειτουργικές ομάδες της πρωτεΐνης από αφυδάτωση (Miang et al., 2004).

3.7.2 Μηχανισμοί κρυοπροστασίας

Ο επικρατέστερος μηχανισμός κρυοπροστασίας, είναι αυτός που προτάθηκε το 1982 από τον Timashef. Ο μηχανισμός αυτός υποθέτει τον εκλεκτικό αποκλεισμό της διαλυτοποιημένης κρυοπροστατευτικής ουσίας (γλυκερόλη, σάκχαρα, αμινοξέα, άλατα, καθώς και άλλα) από την περιοχή της πρωτεΐνης, δηλαδή την εκλεκτική της ενυδάτωση. Τα πρόσθετα με βάση τη θεωρία αυτή χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, κάθε μία από τις οποίες διακρίνεται σε άλλες δύο υποκατηγορίες.

- 1) Εκείνα, των οποίων η αλληλεπίδραση με την πρωτεΐνη καθορίζεται αυστηρά από τις ιδιότητες του διαλύτη (η πρωτεΐνη είναι τελείως αδρανής σε σχέση με το πρόσθετο). Οι επιμέρους μηχανισμοί δράσης σε αυτή την κατηγορία είναι:

A) Αύξηση της επιφανειακής τάσης του νερού με την προσθήκη του προσθέτου (σάκχαρα, αμινοξέα, άλατα). Η διεπιφάνεια μεταξύ νερού και πρωτεΐνης παρουσιάζει μία διεπιφανειακή τάση. Τα μόρια του προσθέτου διαταράσσουν τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων του νερού και επομένως και την επιφανειακή του τάση. Έτσι, η περίσσεια της ένωσης στο επιφανειακό στρώμα είναι αρνητική και επομένως η ουσία αποκλείεται εκλεκτικά από τη διεπιφάνεια.

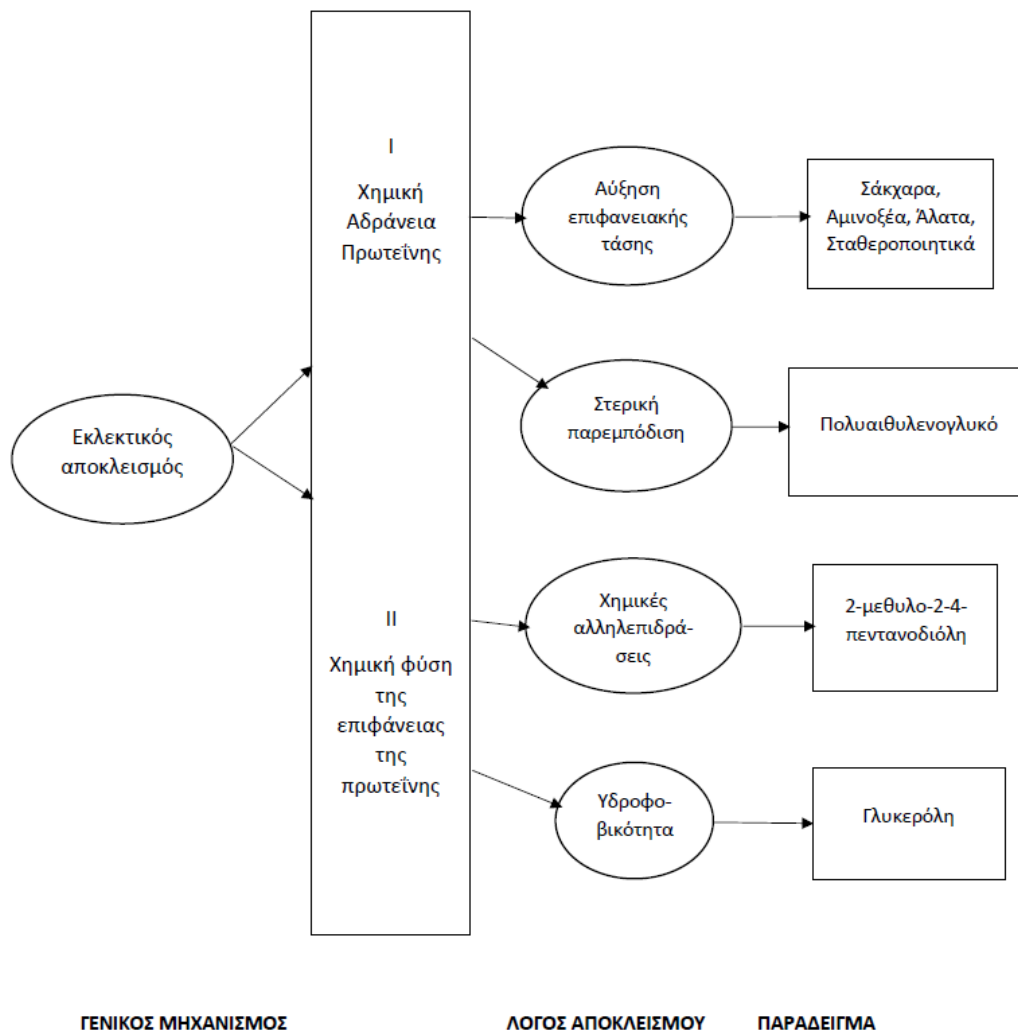
B) Στερικές παρεμποδίσεις του υψηλού μοριακού βάρους μακρομορίων. Στην περίπτωση αυτή το πρόσθετο αδυνατεί να διεισδύσει στη δομή της πρωτεΐνης, ενώ τα μικρότερα μόρια του νερού που έχουν αυτή τη δυνατότητα σχηματίζουν γύρω από το μόριο μία υδατική στοιβάδα.

- 2) Εκείνα στα οποία η χημική φύση της επιφάνειας της πρωτεΐνης καθορίζει τις αλληλεπιδράσεις με τη διαλυμένη ουσία. Στην περίπτωση αυτή ευθύνονται οι εξής παράγοντες:

A) Ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, όπου ο αποκλεισμός της ουσίας γίνεται λόγω των επιφανειακών φορτίων της πρωτεΐνης. Για παράδειγμα, η 2-μεθυλο-2-4-πενταδιόλη απωθείται ισχυρά από τα επιφανειακά φορτία και μεταναστεύει σε στρώματα εμπλουτισμένα σε νερό.

B) Το φαινόμενο της διαλυτοφοβικότητας (π.χ. υδροφοβικότητα). Με το μηχανισμό αυτό δρα η γλυκερόλη, της οποίας η δράση καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ της σύνδεσης του υδρόφιλου μορίου της με τις πολικές περιοχές και τον αποκλεισμό της από τις μη πολικές περιοχές του μορίου της πρωτεΐνης. Το ξεδίπλωμα της πρωτεΐνης ευνοεί την έκθεση περισσότερων υδροφοβικών ομάδων στο διαλύτη και έτσι ευνοείται η συμπαγής δομή της πρωτεΐνης. Η γλυκερόλη, μέσω αυτού του μηχανισμού, δρα κρυοπροστατευτικά, παρόλο που μειώνει την επιφανειακή τάση του νερού (Powrie, Nakai, 1985).

Παρακάτω δίνεται η σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού που αναφέρθηκε:



Διάγραμμα 4 Μηχανισμοί κρυοπροστασίας

Μία άλλη θεωρία που διατυπώθηκε είναι αυτή της “κάλυψης” των πρωτεϊνικών μορίων. Η θεωρία αυτή διατυπώθηκε από τον Matsamutoto το 1979. Τα κρυοπροστατευτικά υλικά “καλύπτουν” το πρωτεϊνικό μόριο, καθώς συγκρατούνται πάνω του μέσω δεσμών υδρογόνου με της ομάδες -OH της πρωτεΐνης. Οι ομάδες -OH των μορίων των προσθέτων με τη σειρά τους ενώνονται μέσω δεσμών υδρογόνου με το νερό συγκρατώντας το, και με τον τρόπο αυτό σχηματίζουν ένα προστατευτικό στρώμα γύρω από τα πρωτεϊνικά μόρια, εμποδίζοντας τη συσσωμάτωσή τους. Το στρώμα των ενυδατωμένων μορίων του προσθέτου, που σχηματίζεται με αυτό τον τρόπο, εμποδίζει τα πρωτεϊνικά μόρια να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους.

Ο μηχανισμός αυτός απαντάται κυρίως σε πρόσθετα με ιοντικές ομάδες και κυρίως ανιοντικές, όπως τα δικαρβοξυλικά οξέα και τα δικαρβοξυλικά αμινοξέα. Αφορά

κυρίως στην προστασία των πρωτεϊνών των μυών και σχετίζεται με το μεγάλο αριθμό εκτεθειμένων κατιοντικών ομάδων της πρωτεΐνης σε σχέση με τις ανιοντικές, σε ουδέτερο pH (McDonald, Tyre, 1997).

Τέλος, μία θεωρία που έχει ακόμα διατυπωθεί, είναι η αύξηση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης (T_g). Για να εξηγηθεί η δράση μεγάλου μοριακού βάρους ουσιών, όπως της πολυδεξτρόζης, διατυπώθηκε η θεωρία της "κρυοσταθεροποίησης". Η θεωρία αυτή βασίζεται στην ικανότητα πολλών ουσιών με υψηλό μοριακό βάρος να αυξάνουν τη θερμοκρασία μετάπτωσης στην υαλώδη φάση, T_g . Σε μεγάλες συγκεντρώσεις προσθέτου η T_g είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία κατάψυξης. Έτσι το μίγμα σχηματίζει υαλώδη φάση κατευθείαν από την υγρή κατάσταση. Εντός της υαλώδους φάσης ελαχιστοποιούνται οι διαδικασίες που οδηγούν στη μετουσίωση των πρωτεϊνών και σχετίζονται με το σχηματισμό παγοκρυστάλλων, αφού το νερό ακινητοποιείται. Η εν λόγω κινητικότητα των πολυμερών με σχετικά υψηλό μοριακό βάρος να αυξάνει την T_g αποδίδεται στην τάση τους τόσο να περιπλέκονται όσο και να σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου και άλλους δεσμούς, με αποτέλεσμα η προσθήκη τους να αυξάνει το T_g (Ταούκης, 2009).

3.7.3 Κρυοπροστασία και κατάψυξη

Με έρευνες που έχουν γίνει πάνω σε προϊόντα τροφίμων, έχει αποδειχτεί πως χωρίς κρυοπροστατευτικά, οι πρωτεΐνες υποβαθμίζουν τη διαλυτότητά τους και την ικανότητά τους να σχηματίσουν πηκτή κατά τη διάρκεια της κατάψυξης.

Έχουν βρεθεί αρκετά κρυοπροστατευτικά για τις πρωτεΐνες κατά τη διάρκεια κατάψυξης-απόψυξης. Αυτές περιλαμβάνουν τη ζάχαρη, τα αμινοξέα, τις πολυόλες, τα πολυμερή υδατανθράκων, συνθετικά πολυμερή (πολυαιθυλική γλυκόλη, PEG), άλλες πρωτεΐνες (BSA) και ανόργανα άλατα (θειικό αμμώνιο, φωσφορικό κάλιο). Για τις περισσότερες πρωτεΐνες, το κρυοπροστατευτικό πρέπει να είναι σε υψηλή συγκέντρωση, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη προστασία. Εξαιρέσεις αποτελούν τα πολυμερή, όπως PEG, BSA, PVP, που σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1%, προστατεύουν πλήρως τα ελεύθερα ένζυμα. Τα αντιοξειδωτικά μπορούν επίσης να επεκτείνουν το χρόνο ζωής κατεψυγμένων τροφίμων. Τα πολυμερή που δεν εισέρχονται στα κύτταρα, χρησιμοποιούνται στην αύξηση της θερμοκρασίας της κρυσταλλικής δομής. Μπορούν επίσης να ελαχιστοποιήσουν τη μετακίνηση συστατικών διαμέσου των κατεστραμμένων μεμβρανών (Malett, 1993).

Η προσθήκη μονοσακχαριτών, δισακχαριτών και αλατιού σε προϊόντα τροφίμων είναι συνηθισμένη στην τεχνολογία τροφίμων, γιατί επιδρούν σημαντικά στο σχηματισμό πηκτής της πρωτεΐνης (ζελοποίηση). Οι αλληλεπιδράσεις της ζάχαρης και του αλατιού με τις πρωτεΐνες του αυγού είναι χρήσιμες στη βιομηχανία των τροφίμων, όπου το θερμοκρασιακό εύρος των θερμικών διεργασιών, πρέπει να κυμαίνεται σε συγκεκριμένες τιμές, έτσι ώστε να υπάρξει η επιθυμητή υφή του τελικού προϊόντος. Για αυτό το λόγο η μελέτη της ζάχαρης και του αλατιού ως κρυοπροστατευτικά υλικά είναι ιδιαίτερα σημαντική (Raikos et al., 2016).

Τα περισσότερα συντηρητικά που χημικά σταθεροποιούν τα μόρια του τροφίμου σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, μπορεί να είναι το ίδιο αποτελεσματικά στην παρεμπόδιση των ανεπιθύμητων αλλαγών κατά την κατάψυξη-απόψυξη. Μερικά συστατικά, όπως τα αντιοξειδωτικά, μπορεί να είναι χρήσιμα πρόσθετα, ώστε να επιτευχθεί σταθερότητα και σε περιβαλλοντικές συνθήκες και σε συνθήκες κατάψυξης.

Είναι σημαντική η αλληλεπίδραση μεταξύ κρουοπροστασίας και σταθεροποίησης άλλων τροφίμων. Πολλές διαδικασίες που υποβαθμίζουν το τρόφιμο, είναι περισσότερο φανερές κατά την κατάψυξη, συμβαίνουν όμως και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα κρουοπροστατευτικά είναι σημαντικά στη σταθεροποίηση των τροφίμων κατά την κατάψυξη, εξαιτίας της διακοπής της μικροβιακής ανάπτυξης.

Δύο φυσικές αλλαγές (μείωση της θερμοκρασίας και σχηματισμός παγοκρυστάλλων) διακρίνουν τα κατεψυγμένα συστήματα. Η χαμηλή θερμοκρασία καθυστερεί περισσότερο τις αντιδράσεις υποβάθμισης, μειώνοντας τη μοριακή κινητικότητα. Επιπλέον, οι υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις του μορίου, που σταθεροποιούν πολλά μακρομόρια, κυρίως τις πρωτεΐνες γίνονται πιο αδύναμες, όσο η θερμοκρασία μειώνεται. Το πιο μεγάλο πρόβλημα είναι η αλλαγή στη φάση του νερού, γεγονός που επηρεάζει τον όγκο. Ο σχηματισμός των παγοκρυστάλλων δεν είναι απειλή για την ποιότητα του τροφίμου, όταν το μέγεθος των παγοκρυστάλλων είναι μικρό, αλλά η συγκέντρωσή τους μπορεί να επιφέρει σοβαρές ανισορροπίες στην κολλοειδή χημεία του τροφίμου (Raikos et al., 2016).

3.7.4 Κρουοπροστασία και σταθεροποίηση πρωτεϊνών

Ο μηχανισμός σταθεροποίησης της πρωτεΐνης με χρήση κρουοπροστατευτικών δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως. Τα κρουοπροστατευτικά έχουν τη δυνατότητα να επιδρούν στη σταθεροποίηση, επηρεάζοντας το σχηματισμό των παγοκρυστάλλων, την αφυδάτωση της πρωτεΐνης και την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων. Η ζάχαρη και οι πολυόλες σταθεροποιούν τις πρωτεΐνες, εξαιτίας της επίδρασή τους στη δομή του νερού και στις τροποποιήσεις των υδροφοβικών αλληλεπιδράσεων που μπορεί να είναι ουσιαστικές για τη δομή των πρωτεϊνών. Ένας ακόμα πιθανός μηχανισμός είναι ο σχηματισμός των δεσμών υδρογόνου ανάμεσα στους υδατάνθρακες και τις πολυόλες με τις πλευρικές αλυσίδες των πρωτεϊνών, αυξάνοντας την ενυδάτωση της πρωτεΐνης και μειώνοντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρωτεϊνών. Αυξημένη ενυδάτωση μπορεί να μειώσει την ποσότητα του παγωμένου νερού στη μήτρα της πρωτεΐνης και να ελαχιστοποιήσει τη συσσώρευση των διαλυμένων ουσιών και των ιόντων γύρω από την πρωτεΐνη.

Στα παρασκευασμένα τρόφιμα, τα κρουοπροστατευτικά χρειάζεται να σταθεροποιήσουν ένα σημαντικό συστατικό για το τρόφιμο, όπως την 'myofibrillar' πρωτεΐνη σε προϊόντα ψαριού. Στα κυτταρικά τρόφιμα, όπως φρούτα και λαχανικά, μπορεί να επιτευχθεί αύξηση του χρόνου ζωής με τη σταθεροποίηση κυτταρικών δομών και τον έλεγχο της κίνησης του νερού, ώστε να παρεμποδιστεί η κυτταρική κατάρρευση (McDonald, Tyre, 1997).

3.7.5 Κρυοπροστασία του αυγού

Στα κατεψυγμένα προϊόντα αυγού, συνήθως προστίθεται χλωριούχο νάτριο ή σακχαρόζη σε ένα ποσοστό 10%, ώστε να παρεμποδιστεί η ζελοποίηση, ενώ μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σιρόπια, γλυκερίνη, φωσφατίδια και άλλα σάκκαρα. Ο αλατισμένος κρόκος του αυγού χρησιμοποιείται για την παραγωγή μαγιονέζας, ενώ ο κρόκος του αυγού με προσθήκη σακχάρου χρησιμοποιείται σε προϊόντα ζαχαροπλαστικής και σε παγωτά (Li, 2014).

Η υφή και η σταθερότητα της πηκτής του ασπραδιού του αυγού επηρεάζονται από αλλαγές στις τιμές του pH σε συνδυασμό με προσθήκη χλωριούχου νατρίου και ζάχαρης. Σε pH 9.0, η προσθήκη χλωριούχου νατρίου ή ζάχαρης μπορεί να μειώσει σημαντικά τη σκληρότητα της πηκτής του ασπραδιού του αυγού. Σε pH 7.0, η σκληρότητα της πηκτής του ασπραδιού του αυγού είναι αρκετά χαμηλή και η προσθήκη χλωριούχου νατρίου ή ζάχαρης δεν μπορεί να τροποποιήσει σημαντικά την τιμή της (Li, 2014).

Ο κρόκος του αυγού, στην υγρή του μορφή, είναι ένα πολύτιμο συστατικό για την παραγωγή πολλών προϊόντων τροφίμων. Μεγάλη ποσότητα υγρού κρόκου καταψύχεται εμπορικά για μεγάλες χρονικές περιόδους. Τα πλεονεκτήματα της αποθήκευσης του κρόκου του αυγού στην κατάψυξη είναι η παρεμπόδιση της μικροβιακής ανάπτυξης, η διατήρηση του χρώματος και της γεύσης του κρόκου του αυγού και η παρεμπόδιση χημικών αντιδράσεων όπως είναι η αυτοξειδωση των λιπιδίων και η αντίδραση Maillard. Παρόλα αυτά, όταν ο κρόκος του αυγού παγώνει σε θερμοκρασίες κάτω από -6°C , μία μη αναστρέψιμη τροποποίηση στη ροή γνωστή ως ζελοποίηση συμβαίνει. Αυτή η αλλαγή είναι ανεπιθύμητη, εξαιτίας της μείωσης της διαλυτότητας του κρόκου του αυγού σε νερό και της απώλειας της λειτουργικότητάς του. Ο μηχανισμός της ζελοποίησης του κρόκου του αυγού κατά την κατάψυξη και την απόψυξη δεν έχει ακόμα αποσαφηνιστεί πλήρως. Σύμφωνα με προτεινόμενους μηχανισμούς, ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων κατά τη διάρκεια της κατάψυξης παίζει έναν θεμελιώδη ρόλο στην ζελοποίηση του κρόκου του αυγού. Όταν ο κρόκος του αυγού παγώνει γρήγορα σε θερμοκρασία κάτω από τους -6°C , δεν παρατηρείται καμία σημαντική αλλαγή στο ιξώδες του. Όταν ο κρόκος του αυγού παγώνει γρήγορα σε υγρό άζωτο (-196°C) και αποθηκεύεται σε μία θερμοκρασία γύρω στους -20°C , για πάνω από 49 ημέρες, το ιξώδες που παρατηρείται στα προϊόντα που έχουν αποψυχθεί είναι χαμηλότερο. Επιπλέον ο σχηματισμός των παγοκρυστάλλων πρέπει να φτάσει σε μία έκταση 81%, προκειμένου να συμβεί ζελοποίηση (Primacell et al., 2018).

Έχουν βρεθεί και άλλες μέθοδοι, ώστε να παρεμποδιστεί η ζελοποίηση στον κρόκο του αυγού. Η γρήγορη κατάψυξη και απόψυξη έχει ως αποτέλεσμα λιγότερη ζελοποίηση από την αντίστοιχη που πραγματοποιείται με αργή κατάψυξη και απόψυξη, εξαιτίας της μικρότερης καταστροφής στη δομή της πρωτεΐνης, από το σχηματισμό μικρότερων παγοκρυστάλλων και της λιγότερης αφυδάτωσής τους. Η παρεμπόδιση της ζελοποίησης μπορεί επίσης να επιτευχθεί με προσθήκη κρυοπροστατευτικών ουσιών, πρωτεολυτικών ενζύμων ή μηχανικών μεταχειρίσεων,

ώστε να παρεμποδιστεί ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων και οι φυσικοχημικές αλλαγές στον κρόκο του αυγού που ευνοούν τη συσσωμάτωση των πρωτεϊνών. Η προσθήκη στον κρόκο του αυγού πρωτεολυτικών ενζύμων, όπως η τυρψίνη, εμποδίζουν επίσης τη δημιουργία πηκτής, αλλά το προϊόν αυγού έχει μειωμένη γαλακτωματοποιητική χωρητικότητα. Η σακχαρόζη αποτελεί παράδειγμα κρυσταλλοστατευτικής ουσίας που εμποδίζει τη ζελοποίηση του κρόκου. Άλλα πρόσθετα, όπως γλυκόζη, αραβινόζη, γαλακτόζη, σορβιτόλη, προπυλενική γλυκόλη και αλάτι έχουν οριστεί ως αποτελεσματικοί παρεμποδιστές στην ζελοποίηση του κρόκου του αυγού. Το χλωριούχο νάτριο αυξάνει τη γαλακτωματοποιητική χωρητικότητα και το ιξώδες, ενώ η φρουκτόζη μειώνει τη γαλακτωματοποιητική χωρητικότητα του αποψυγμένου κρόκου. Η ζάχαρη, η γλυκερόλη και το χλωριούχο μαγνήσιο μπορούν να εμποδίσουν τη ζελοποίηση του κρόκου σε συγκέντρωση πάνω από 2%. Το χλωριούχο νάτριο σε ποσοστό 2% μπορεί να μειώσει τη ζελατινοποίηση, ενώ σε ποσοστό 10% προκαλεί μία σημαντική αύξηση του ιξώδους του κρόκου του αυγού. Η γλυκερόλη σε ποσοστό 10% μπορεί να βελτιώσει τα προβλήματα ζελοποίησης του κατεψυγμένου κρόκου και ολόκληρου του αυγού. Οι λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας (LDL) και οι λιποπρωτεΐνες υψηλής πυκνότητας (HDL), δεσμεύονται από ένζυμα και οι προκύπτουσες λυσοφωσφολιποπρωτεΐνες έχουν διαφορετική διαλυτότητα στο νερό (Primacell, 2018) , (Li, 2014).

Με πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία και συνεχή έρευνα στα πρόσθετα των τροφίμων που βελτιώνουν τη λειτουργικότητα, γίνεται προσπάθεια για να βρεθούν νέες μέθοδοι που να παρεμποδίζουν την ζελοποίηση χωρίς να αλλάζουν σημαντικά τη γλυκύτητα και την αλμυρότητα του κρόκου του αυγού. Με φυσικά μέσα, όπως είναι η κολλοειδής κατεργασία, καταστρέφεται η κοκκώδης φύση του κρόκου του αυγού και το πλάσμα LDL στη δομή της επιφάνειας, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη ζελοποίηση. Συνδυασμοί στα κρυσταλλοστατευτικά υλικά των τροφίμων, όπως η υδρολυμένη καρβοξυμεθυλική κυτταρίνη (-HCMC), η υδρολυμένη αλβουμίνη του αυγού (-HEW), ο υδρολυμένος κρόκος του αυγού (-HEY) και η πολυαιθυλική γλυκόλη, έχουν αξιολογηθεί για την αποτελεσματικότητά τους στην παρεμπόδιση της ζελοποίησης. Αυτά τα πρόσθετα επιλέχτηκαν για την υψηλή διαλυτότητά τους στο νερό, το χαμηλό σημείο ψύξης και την παρουσία υδροφοβικής πλευρικής αλυσίδας (Primacell, 2018).

Η επίδραση των προσθέτων στις αλληλεπιδράσεις της πρωτεΐνης ποικίλει και εξαρτάται από τη χημική φύση, τη συγκέντρωση των προσθέτων, το είδος της πρωτεΐνης και το pH (Primacell, 2018).

Πρόσφατες έρευνες, έχουν δείξει ότι η αποθήκευση του κρόκου του αυγού σε θερμοκρασία κάτω από -20°C , για περισσότερο από 10h, επιδρά στη διάσπαση των κόκκων του κρόκου του αυγού και της αλλαγής φύσης της πρωτεΐνης. Οι λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας (LDS) αλληλεπιδρούν στο πλάσμα με τις πρωτεΐνες που απελευθερώνονται από τις σφαρικές πρωτεΐνες, και όταν η αποθήκευση είναι μεγαλύτερη από 24h σχηματίζεται πηκτή. Ο σχηματισμός πηκτής κατά την κατάψυξη-απόψυξη, συνεισφέρει στην αύξηση του ιξώδους, στη μείωση της ρευστότητας και στη μείωση της γαλακτωματοποιητικής ικανότητας, κάτι που επιδρά στη χρήση του αυγού στα τρόφιμα. Επιπλέον χλωριούχο νάτριο και

σακχαρόζη χρησιμοποιούνται για να εμποδίσουν την ζελοποίηση κατά τη διάρκεια της κατάψυξης του κρόκου του αυγού (Primacell, 2018).

3.8 Εφαρμοζόμενα κρυοπροστατευτικά υλικά

3.8.1 Αντιοξειδωτικά

Τα φωσφορικά άλατα πολλές φορές εισάγονται για κρυοπροστασία, καθώς έχει βρεθεί από έρευνα σε *surimi* ότι κάτι τέτοιο είναι αποτελεσματικό. Εξυπηρετούν τις χηλικές ενώσεις ιόντων καλίου που προκαλούν συσσωμάτωση πρωτεϊνών και προστατεύουν τις πρωτεΐνες από την αλλαγή της φύσης τους που προκαλείται από την υδρόλυση ή την αυτοξειδωση των φωσφορικών λιπιδίων (McDonald, Tyre, 1997).

3.8.2 Σάκχαρα και πολυόλες

Όσον αφορά στα σάκχαρα, έχει βρεθεί πως οι εξόζες και οι δισακχαρίτες είναι τα πιο αποτελεσματικά κρυοπροστατευτικά υλικά. Οι πεντόζες εμφανίζουν μικρότερη αποτελεσματικότητα. Οι τρισακχαρίτες και τετρασακχαρίτες επιδεικνύουν και αυτοί κρυοπροστατευτική δράση, όχι όμως το άμυλο, ενώ αρκετά μεγάλα πολυμερή, όπως η πολυδεξτρόζη και οι μαλτοδεξτρίνες, επιδεικνύουν επίσης κρυοπροστατευτική δράση. Τα τελευταία υλικά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι δεν έχουν γλυκιά γεύση, ενώ η πολυδεξτρόζη έχει και χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο.

Η σταθεροποίηση των πρωτεϊνών που παρέχεται από τα σάκχαρα εξηγείται με δύο μηχανισμούς. Κατά τον πρώτο μηχανισμό, η αντικατάσταση του δεσμού υδρογόνου ανάμεσα στο νερό και την πρωτεΐνη, σταθεροποιεί την πρωτεΐνη κατά τη διαδικασία της ξήρανσης και κατά το δεύτερο μηχανισμό σχηματίζεται μία μήτρα, στην οποία η πρωτεΐνη εγκλωβίζεται, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ξεδιπλωθεί και να διατηρεί τη διαμόρφωσή της. Μέσω της μήτρας, η μοριακή κινητικότητα είναι αρκετά περιορισμένη και τα ποσοστά των ελεγχόμενων με διάχυση αντιδράσεων, όπως το ξεδίπλωμα της πρωτεΐνης ή η συσσωμάτωση πρωτεϊνών μειώνονται (Rodriguez et al., 2013).

Η σταθεροποίηση των πρωτεϊνών που αναφέρθηκε παραπάνω, έχει παρατηρηθεί και στην περίπτωση του ασπραδιού του αυγού της κότας, όταν προστίθεται σε αυτό ζάχαρη. Η ζάχαρη βοηθά στη βελτίωση της διαλυτότητας του ασπραδιού του αυγού, καθώς και στη δημιουργία ανθεκτικής πηκτής (Nafchi et al., 2013).

Μερικά αλκοολοσάκχαρα, όπως η σορβιτόλη, η ξυλιτόλη και η γλυκερόλη απέδειξαν κρυοπροστατευτική δράση, ενώ άλλα όπως η ερυθριτόλη και η μανιτόλη όχι. Η σορβιτόλη μάλιστα, χρησιμοποιείται ευρέως λόγω των εξαιρετικών κρυοπροστατευτικών ιδιοτήτων της, το μικρό της κόστος και τη χαμηλή της γλυκύτητα.

Πολυσακχαρίτες

Ξανθάνη

Η ξανθάνη αποτελείται από μία γραμμική ανθρακική αλυσίδα από μόρια D-γλυκόζης συνδεδεμένα με β-(1-4) γλυκοζιτιδικούς δεσμούς. Σε κάθε τρίτο άτομο άνθρακα συνδέεται μία πλευρική τρισακχαρική αλυσίδα αποτελούμενη από μία ομάδα γλυκουρονικού οξέος συνδεδεμένη χωριστά με δεσμούς (1-4) και (1-2) με δύο μόρια μαννόζης. Το μέσο μοριακό βάρος κυμαίνεται από MB=300000-750000 ανάλογα με τη μορφή του μορίου της, απλή ή διπλή έλικα.

Το κόμμα ξανθάνης διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο ως σταθεροποιητής σε κατεψυγμένα προϊόντα λαχανικών και επιδορπίων γάλακτος, διότι αναστέλλει τη δημιουργία και την επιμήκυνση κρυστάλλων νερού, επιμηκύνοντας έτσι το χρόνο ζωής των προϊόντων, προστατεύοντάς τα ακόμη και από τις διακυμάνσεις θερμοκρασίας κατά τη διανομή και παρατεταμένη αποθήκευσή τους. Αξίζει να σημειωθεί, έχει βρεθεί από έρευνα, πως τα δείγματα φρέσκου πουρέ που περιείχαν ξανθάνη σημείωσαν μεγαλύτερες βαθμολογίες από τα φρέσκα χωρίς την προσθήκη οιοδήποτε σταθεροποιητή.

Χιτοζάνη

Η χιτοζάνη είναι το δεύτερο πιο άφθονο βιοπολυμερές/πολυσακχαρίτης στη φύση μετά την κυτταρίνη. Αποτελείται από 2-ακετο-αμιδο-2-δεοξυ-γλυκόζη (N-ακετυλογλυκοζαμίνη) και αποτελεί το κύριο παράγωγο της χιτίνης. Η χιτίνη είναι το κύριο δομικό συστατικό του εξωσκελετού των ασπόνδυλων και των κυτταρικών τους τοιχωμάτων.

Μελέτες έχουν αποδείξει τη μη τοξική της φύση, την αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική της δράσης, τη βιοσυμβατότητά της με άλλα συστατικά όπως τις βιταμίνες A,B,E,B1,B2 και ιχνοστοιχεία και την κατέστησαν ελκυστική ως φυσική προσθετική ουσία στα τρόφιμα όπου και χρησιμοποιείται ιδιαίτερα ως επικαλυπτική μεμβράνη. Οι επικαλυπτικές μεμβράνες που έχουν ως βάση τη χιτοζάνη μειώνουν την απώλεια υγρασίας, την αλλοίωση του χρώματος και προστατεύουν από μικροβιακές επιμολύνσεις τα επικαλυμμένα προϊόντα. Η αντιμικροβιακή της δράση εντοπίζεται κυρίως ενάντια σε πολλά βακτήρια και μύκητες.

Τα κρυσταλλικά υλικά όπως η σακχαρόζη και η σορβιτόλη είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά, αλλά έχουν πολύ υψηλό θερμιδικό περιεχόμενο. Για αυτό το λόγο διερευνούνται εναλλακτικές και η χιτοζάνη φαίνεται να είναι μία λύση. Από πρόσφατες μελέτες έχει αποδειχτεί πως η επικάλυψη των αυγών με χιτοζάνη μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της ποιότητας του αυγού και στη βελτίωση των λειτουργικών ιδιοτήτων του (Torricco et al., 2014).

Ολιγοσακχαρίτες

Ινουλίνη

Η ινουλίνη έχει τη μορφή λευκής άοσμης σκόνης. Η γεύση της είναι ουδέτερη και χαρακτηρίζεται από χαμηλή γλυκαντική ισχύ η οποία κυμαίνεται από 0-10%. Η ινουλίνη εφαρμόζεται σε ετερογενή μίγματα φρουκτο-ολιγοσακχαριτών, τα οποία είναι πηγές υδατανθράκων που βρίσκονται σε πολλά φυτικά τρόφιμα, όπως μπανάνες, κρεμμύδια, σκόρδα, πράσα, αγκινάρες και ραδίκια.

Διατροφικά η ινουλίνη θεωρείται ως μία διαλυτή ίνα που προωθεί την ανάπτυξη των εντερικών βακτηρίων, δρώντας όπως ένα προβιοτικό. Επίσης, είναι ένας μη εύπεπτος υδατάνθρακας και δεν αυξάνει τα τριγλυκερίδια, επομένως θεωρείται κατάλληλη για διαβητικούς και πιθανώς βοηθητική στη διαχείριση ασθενειών που σχετίζονται με το ζάχαρο του αίματος. (Rodriguez et al., 2013).

Η ινουλίνη χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο λίπους και ζάχαρης, ως παράγοντας χαμηλής θερμιδικής αξία, ως παράγοντας υφής και δέσμευσης νερού. Μία γενική ιδιότητα των σακχάρων είναι η σταθεροποίηση των πρωτεϊνών με την ενσωμάτωσή τους σε διαλύματα υδατανθράκων, η οποία προωθεί το σχηματισμό άμορφων, υαλωδών συστημάτων, αναστέλλει την κρυστάλλωση και επηρεάζει την κινητική των αντιδράσεων που προκαλούν επιδείνωση σε κάποια χαρακτηριστικά κατά την αποθήκευση. Για να δράσουν επιτυχώς ως προστατευτικά, πρέπει να έχουν μία υψηλή θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (Tg) και χαμηλό ποσοστό κρυστάλλωσης. Η ινουλίνη έχει αποδειχτεί πως πληροί αυτές τις προϋποθέσεις και είναι άριστος προστάτης των θεραπευτικών πρωτεϊνών κατά τις διαδικασίες ξήρανσης και αποθήκευσης. Για το λόγο αυτό βρίσκει μεγάλη εφαρμογή και χρησιμοποιείται ως κρυσπροστατευτικό υλικό στη φαρμακοβιομηχανία (Gupta, et al., 2019).

Δισακχαρίτες

Τρεχαλόζη

Η τρεχαλόζη είναι ένας δισακχαρίτης που σχηματίζεται από έναν α,α-1,1-γλυκοζιτικό δεσμό μεταξύ δύο μονάδων α-γλυκοζών. Όχι μόνο προστατεύει τα κύτταρα από διαταραχές, αλλά δρα και ως αντιοξειδωτικό. Χρησιμοποιείται ως κρυσπροστατευτικό, εξαιτίας της ιδιότητάς της να διατηρεί σταθερό το μέγεθος και τη δομή μετά την κατάψυξη (D. Elbein, 2003).

Η κρυσπροστατευτική της ιδιότητα βασίζεται στον πολυμορφισμό της τόσο σε στερεή όσο και σε υγρή φάση. Η τρεχαλόζη έχει δύο μορφές, την άμορφη και την αφυδατωμένη. Η τελευταία μπορεί να αφυδατωθεί σε δύο διαφορετικά μόρια. Τα τμήματα που δεν περιέχουν νερό, είναι ικανά να ενυδατωθούν επιστρέφοντας πίσω στην αφυδατωμένη τρεχαλόζη, χαρακτηριστικό ενός σακχάρου χρήσιμου ως κρυσπροστατευτικό. Επιπλέον, η τρεχαλόζη μπορεί να αναδιατάσει τα μόρια του νερού και να μειώνει τη θερμοκρασία πήξης, προσδίνοντας μεγαλύτερη σταθερότητα στο μόριο. Η τρεχαλόζη εμποδίζει τη μετουσίωση και τη συσσωμάτωση

συγκεκριμένων πρωτεϊνών σε χαμηλές θερμοκρασίες. Μπορεί επίσης να σταθεροποιεί τις κυτταρικές μεμβράνες, των οποίων η ρευστότητα μειώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες (Zheng et al., 2018).

Λακτιτόλη

Η λακτόζη είναι δισακχαρίτης αποτελούμενος από ένα μόριο γαλακτόζης και ένα μόριο γλυκόζης, ενωμένα μεταξύ τους με β-1,4 γλυκοζιτικό δεσμό. Το μόριο της γλυκόζης μπορεί να έχει τη μορφή είτε α-πυρανόζης είτε β-πυρανόζης, ενώ η γαλακτόζη απαντάται μόνο στη μορφή β-πυρανόζης. Η λακτόζη μπορεί να υποστεί υδρόλυση και να διασπαστεί σε γλυκόζη και γαλακτόζη. Σε αλκαλικό διάλυμα μπορεί να ισομερειωθεί σε λακτουλόζη. Με καταλυτική υδρογόνωση της λακτόζης παράγεται η λακτιτόλη, μία πολυαλκοόλη που χρησιμοποιείται ως γλυκαντική ουσία.

Η λακτιτόλη είναι μία πολυόλη με την ικανότητα να παρεμποδίζει τη φυσική και χημική υποβάθμιση της πρωτεΐνης κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, της κατάψυξης και της αποθήκευσης. Η λακτιτόλη έχει μελετηθεί ως πρόσθετο σε πρωτεΐνες μύων ψαριού και συγκεκριμένα βοήθησε στη σταθερότητα της δομής της μυοσΐνης, καθώς και στη μείωση της κινητικής των υδροφοβικών ομάδων στην επιφάνεια της πρωτεΐνης.

Ως κρυσταλλοστατευτικό πρόσθετο, η λακτιτόλη σχηματίζει μία μήτρα που ακινητοποιεί την πρωτεΐνη και εμποδίζει το ξεδίπλωμά της. Επιπλέον η λακτιτόλη σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με τη δομή της πρωτεΐνης, που βοηθά στη διατήρηση της ενεργότητας των ενζύμων. Διατηρώντας την ενεργότητα και τη δομή της πρωτεΐνης, η λακτιτόλη είναι ιδιαίτερα πρακτική σε φαρμακευτικές εφαρμογές (Martinez-Montegudo et al., 2019).

3.8.3 Καρβοξυλικά οξέα

Το κιτρικό οξύ ήταν το πρώτο υδροξυ-καρβοξυλικό οξύ που έχει αναφερθεί ως αποτελεσματικό κρυσταλλοστατευτικό υλικό. Άλλα καρβοξυλικά οξέα με κρυσταλλοστατευτική δράση είναι το γαλακτικό, το μαλεικό και το μαλικό. Τα μονοκαρβοξυλικά οξέα δεν απέδειξαν καμία τέτοια δράση, ενώ τα δικαρβοξυλικά οξέα έδωσαν ποικίλα αποτελέσματα, ανάλογα με το μήκος του μορίου τους. Η κρυσταλλοστατευτική δράση των τελευταίων φαίνεται να εξαρτάται έντονα από τη διαλυτότητά τους στο νερό και το σημείο τήξης τους. Γενικά στην περίπτωση των προσθέτων αυτών, η διμερής ή πολυμερής δομή του μορίου τους είναι κρίσιμη για την κρυσταλλοστατευτική τους δράση.

3.8.4 Αμινοξέα

Το γλουταμινικό και ασπαραγινικό οξύ απέδειξαν καλές ιδιότητες, όχι όμως η γλουταμίνη. Μεταξύ των βασικών αμινοξέων η λυσίνη, η ορνιθίνη και η ιστιδίνη απέδειξαν κάποια κρυσταλλοστατευτική δράση, ενώ η αργινίνη μόνο μικρή. Η κυστεΐνη και το κυστεϊκό οξύ είναι πολύ καλά κρυσταλλοστατευτικά υλικά, ενώ αποτελεσματική αποδείχτηκε η σερίνη, αλλά όχι και η θρεονίνη. Η ισολευκίνη και η

φαινυλαλανίνη, οι οποίες έχουν στο μόριό τους υδροφοβικές αλυσίδες δεν απέδειξαν καμία δράση.

3.8.5 Διαιτητικές ίνες

Οι διαιτητικές ίνες ορίζονται ως φυτικής προέλευσης συστατικά τα οποία δεν είναι αφομοιώσιμα από το λεπτό έντερο. Επομένως είναι οι πολυσακχαρίτες, οι ολιγοσακχαρίτες και τα υδροφιλικά παράγωγά τους που δεν μπορούν να διασπαστούν από τα ένζυμα κατά την πέψη (Thebaudin et al., 1997).

Το ολικό περιεχόμενο σε διαιτητικές ίνες (TDF) χωρίζεται σε κλάσματα διαλυτών (SF) και αδιάλυτων ινών (IF). Αυτός ο διαχωρισμός διαφοροποιεί τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες από τις λειτουργικές. Οι διαλυτές ίνες αποτελούνται κυρίως από μη κυτταρινικούς πολυσακχαρίτες όπως πηκτίνη, κόμμεα και εξωπολυσακχαρίτες. Οι διαλυτές ίνες αποτελούν το 25% των ολικών διαιτητικών ινών και έχουν την ικανότητα σχηματισμού πολυσακχαρικών πηγμάτων και δικτύων και επίσης να αυξήσουν το ιξώδες. Οι αδιάλυτες ίνες αποτελούν το 75% των ολικών διαιτητικών ινών και αποτελούνται από κυτταρίνες, ημικυτταρίνες και λιγνίνες και παρουσιάζουν υψηλή υγροσκοπικότητα απορροφώντας ακόμα και 20 φορές του βάρους τους υγρασία.

Η ικανότητα των διαιτητικών ινών να απορροφούν υγρασία είναι αυτή που τις καθιστά ως βελτιωτικά υφής και ικανές να αυξάνουν το ιξώδες των τροφίμων. Επίσης η κατανάλωσή τους είναι ελκυστική λύση για τους καταναλωτές που επιζητούν πιο υγιεινή διατροφή. Οι διαιτητικές ίνες έχουν χαμηλή θερμιδική αξία, ελέγχουν το μεταβολισμό των λιπαρών, ελέγχουν τα ποσοστά τριγλυκεριδίων και χοληστερίνης στο αίμα, προλαμβάνουν τον καρκίνο του παχέος εντέρου και γενικά έχουν πολλές ευεργετικές ιδιότητες (Thebaudin et al., 1997).

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των λειτουργικών ιδιοτήτων του κρόκου και του ασπραδιού του αυγού κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη και η μεταβολή αυτών των ιδιοτήτων έπειτα από προσθήκη ορισμένων ουσιών, προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο αυτές οι ουσίες παρουσιάζουν κρυοπροστατευτική δράση.

Συγκεκριμένα, οι λειτουργικές ιδιότητες που μελετήθηκαν ήταν ο σχηματισμός αφρού του ασπραδιού, ο σχηματισμός πηγματος και η απώλεια νερού κατά τη συμπίεση, η μέτρηση ιξώδους του ασπραδιού, οι γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες του κρόκου και η μέτρηση του χρώματος τόσο του κρόκου όσο και του ασπραδιού, καθώς και οι ιδιότητες υφής (σκληρότητα, ελαστικότητα,συνεκτικότητα,προσκολλησιμότητα). Οι ιδιότητες αυτές μελετήθηκαν σε δείγματα αυγού που δεν περιείχαν κάποιο πρόσθετο και σε δείγματα αυγού που περιείχαν κρυοπροστατευτικές ουσίες. Στόχος ήταν να μελετηθούν και να συγκριθούν οι ιδιότητες αυτές για όλες τις πρόσθετες ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης μελετήθηκε η υποβάθμιση των πρωτεϊνών σε συνάρτηση με το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξης καθώς και η μεταβολή των λειτουργικών ιδιοτήτων κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη και κατά την επιβολή διαδοχικών κύκλων κατάψυξης-απόψυξης (επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη).

4.2 Υλικά και μέθοδοι

4.2.1 Α' ύλες-αντιδραστήρια

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- Αυγά εμπορίου (Πρότυπος Βιομηχανία επεξεργασίας αυγού, ΣΟΒΙΜΟ ΕΛΛΑΣ Α.Ε.)
- Αλάτι εμπορίου
- Ζάχαρη εμπορίου
- Φρουκτόζη
- Ινουλίνη
- Τρεχαλόζη
- Χιτοζάνη
- Λακτιτόλη

- Ηλιέλαιο
- SDS

4.2.2 Συσκευές-Εργαστηριακός εξοπλισμός

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Περιστροφικό ιξωδόμετρο Brookfield Syncho-Lectric Viscometer (LV DV-11, Brookfield Engineering Laboratories, USA)
- Φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης υπεριώδους-ορατού (Hitachi/U-2900, Japan)
- Αναλυτής υφής TA-XT2i της Stable Microsystems (Stable Micro Systems/TA-XT2i, UK)
- Κοινός αναμίκτης
- Υδατόλουτρο (GFL 1083, Labortechnik GmbH, Burgwedel, Germany)
- Ηλεκτρονικός ζυγός (620C, Precisa Instruments, Switzerland)
- Συσκευή μέτρησης χρώματος CR-200 colometer της Minolta
- Υάλινα σκεύη και άλλα βοηθητικά σκεύη(ποτήρια ζέσεως, ογκομετρικοί κύλινδροι, θερμόμετρο, υάλινα σωληνάκια, πουάρ, πιπέτα)

4.3 Πειραματική διαδικασία

Προετοιμασία δειγμάτων

Τα αυγά μεταφέρθηκαν υπό καταψυξη από τη Βιομηχανία και ήταν ήδη διαχωρισμένα σε υγρή μορφή μέσα σε κουβάδες, οπότε δεν χρειαζόταν θραύσιμο και διαχωρισμός του κρόκου και του ασπραδιού καθώς και κάποια περαιτέρω επεξεργασία. Στη συνέχεια προετοιμάστηκαν τα δείγματα.

Ετοιμάστηκαν συνολικά οι εξής 9 ομάδες δειγμάτων:

- (T): χωρίς πρόσθετο
- (A):8% w/w αλάτι
- (Z):9% w/w ζάχαρη
- (Φ):10% w/w φρουκτόζη
- (I):2% w/w ινουλίνη

- (TP):1% w/w τρεχαλόζη
- (X):3% w/w χιτοζάνη
- (Λ):2% w/w λακτιτόλη
- (I/TPEX): 2% w/w μίγμα ινουλίνης/τρεχαλόζης 1:1

Τα κρουπροστατευτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το αλάτι, η ζάχαρη, η φρουκτόζη και η χιτοζάνη, που έχουν δείξει κρουπροστατευτική δράση σε προϊόντα αυγού, η τρεχαλόζη και η ινουλίνη που έχουν δείξει κρουπροστατευτική δράση σε άλλα προϊόντα, όπως αυτά του κατεψυγμένου ψαριού, surimi, και το μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, καθώς και η λακτιτόλη, προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά τους στην κρουπροστασία του αυγού.

Τα κρουπροστατευτικά υλικά που προστέθηκαν βρίσκονταν σε μορφή σκόνης. Η προσθήκη τους στο υγρό προϊόν αυγού έγινε αργά, προς αποφυγή της δημιουργίας συσσωματώματος με συνεχή ανάδευση, μέχρι την πλήρη διάλυσή τους. Ετοιμάστηκαν 6 σειρές δειγμάτων για την πρώτη σειρά πειραμάτων και 4 σειρές δειγμάτων για τη δεύτερη σειρά πειραμάτων. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικά δοχεία και έπειτα τοποθετήθηκαν στην κατάψυξη. Αμέσως μετά την παρασκευή των δειγμάτων, διεξήχθησαν μετρήσεις για το χρόνο $t=0$.

Πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές πειραμάτων. Στην πρώτη σειρά τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε σταθερή θερμοκρασία -20°C και εξαγόταν δείγμα για μέτρηση κάθε 15 ημέρες (κανονική κατάψυξη). Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων τα δείγματα υποβλήθηκαν σε διαδοχικούς κύκλους κατάψυξης-απόψυξης (επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη). Αρχικά παρέμεναν στην κατάψυξη σε σταθερή θερμοκρασία -20°C για 13 ημέρες, έπειτα σε σταθερή θερμοκρασία 4°C για 2 ημέρες και στο τέλος το δείγμα εξαγόταν για μετρήσεις.

Πρώτη σειρά πειραμάτων

Η πρώτη σειρά πειραμάτων περιελάμβανε την αποθήκευση των ομάδων των δειγμάτων με τα διαφορετικά κρουπροστατευτικά υλικά (χωρίς πρόσθετο δείγμα αναφοράς, 8% w/w αλάτι, 9% w/w ζάχαρη, 10% w/w φρουκτόζη, 1% w/w τρεχαλόζη, 2% w/w ινουλίνη, 3% w/w χιτοζάνη, 2% w/w λακτιτόλη και μίγμα 1:1 τρεχαλόζη ινουλίνη 2% w/w) σε θερμοκρασία -20°C . Κάθε 15 ημέρες εξαγόταν ένα δείγμα από κάθε ομάδα και διεξάγονταν οι μετρήσεις. Η σειρά αυτή διεξήχθη για την αξιολόγηση της προόδου της ζελοποίησης του κρόκου του αυγού, της μετουσίωσης των πρωτεϊνών του κρόκου του αυγού όσο και του λευκώματος του αυγού και της δράσης των κρουπροστατευτικών υλικών κατά την κανονική κατάψυξη.

Δεύτερη σειρά πειραμάτων

Η δεύτερη σειρά περιελάμβανε 4 κύκλους κατάψυξης-απόψυξης. Κάθε κύκλος περιελάμβανε 13 ημέρες αποθήκευση σε σταθερή θερμοκρασία -20°C και 2 ημέρες αποθήκευση σε σταθερή θερμοκρασία 4°C . Στο τέλος κάθε κύκλου εξαγόταν ένα δείγμα από κάθε ομάδα και διεξάγονταν οι μετρήσεις. Η σειρά αυτή διεξήχθη ως προσομοίωση της κατάψυξης για μακρύ χρονικό διάστημα (επιταχυνόμενη αλλοίωση

κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη), όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία (Παπαδέας, 1998).

4.4 Αναλύσεις-Μετρήσεις

4.4.1 Ιξώδες

Μετρήθηκε το ιξώδες του ασπραδιού στους 25°C, για τις δύο σειρές μετρήσεων. Το ιξώδες μετρήθηκε μόνο για τα δείγματα ασπραδιού του αυγού, καθώς ο κρόκος του αυγού ήταν πολύ παχύρρευστος και δεν μπορούσε να δώσει μετρήσεις εντός της κλίμακας του οργάνου. Για τις απαραίτητες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το όργανο Brookfield Syncho-Lectric Viscometer και συγκεκριμένα τα στελέχη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα S61 και S62.

4.4.2 Γαλακτωματοποίηση

Η γαλακτωματοποιητική ενεργότητα και η γαλακτωματοποιητική σταθερότητα μετρήθηκαν σύμφωνα με τους Rickert, Johnson και Murphy (2004), με κάποιες τροποποιήσεις. Τα δείγματα αραιώθηκαν με απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:10. Μετά από ανάμιξη, προστέθηκαν 21mL από το δείγμα σε υάλινο ποτήρι, όπου αναμείχθηκαν με 7mL, ηλιέλαιο και έπειτα αναδεύτηκαν για 2 min σε υψηλής ταχύτητας ομογενοποιητή με ταχύτητα 3000rpm για 2 min. Αμέσως μετά την ανάδευση, 100μL από το γαλάκτωμα διαλύθηκαν με 12mL SDS και το δείγμα οδηγήθηκε κατευθείαν για μέτρηση απορρόφησης στα 500nm. Η τιμή της απορρόφησης για T=0, δίνει τη γαλακτωματοποιητική ενεργότητα (EA). Η απορρόφηση του ίδιου δείγματος ξαναμετρείται μετά από 15 min και από τον παρακάτω τύπο υπολογίζεται η γαλακτωματοποιητική σταθερότητα (ES) (Gouda et al., 2017).

$$ES \text{ (min)} = \text{Abs}_0 / (\text{Abs}_0 - \text{Abs}_{15}) * 15 \text{ min}$$

4.4.3 Σχηματισμός αφρού

Οι αφριστικές ιδιότητες του λευκώματος μετρήθηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο Wootton et. Al., με τροποποιήσεις (Wootton et al., 1981):

Περίπου 40mL λευκώματος αναδεύτηκαν σε θερμοκρασία δωματίου στη μέγιστη ταχύτητα κοινού αναμίκτη για 2 min.

Έπειτα, γεμίστηκε υάλινος προζυγισμένος, διαφανής σωλήνας, γνωστού όγκου. Το ειδικό βάρος υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$EB = m_{\text{αφρού}} / V_{\text{σωλήνα}}$$

Όπου:

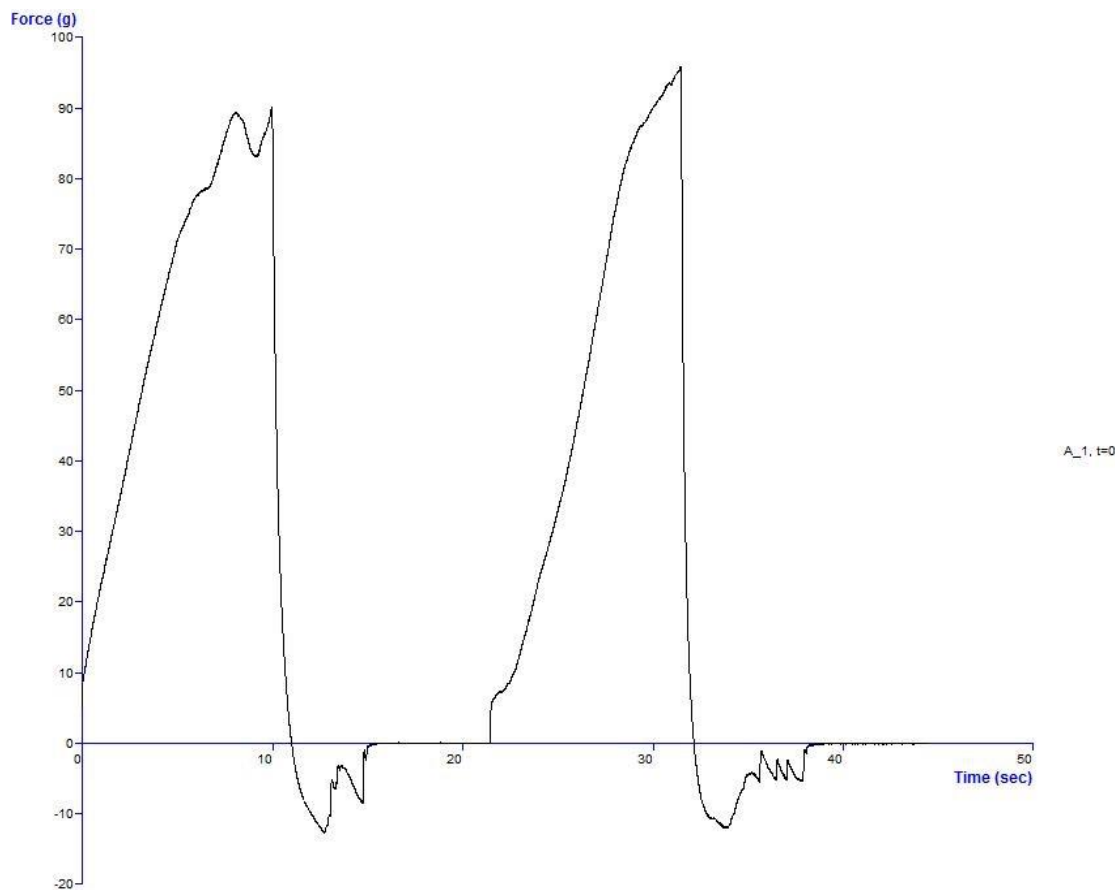
- EB: το ειδικό βάρος του αφρού (g/mL)
- $m_{\text{αφρού}}$: το βάρος του αφρού (g)
- $V_{\text{σωλήνα}}$: ο όγκος του σωλήνα (mL)

Έπειτα με χρήση αυτής της σχέσης, υπολογίστηκε η αστάθεια του αφρού με βάση την ποσότητα του υγρού που αποστραγγίστηκε μετά από 30min στη βάση του δοχείου και εκφράστηκε ως όγκος υγρού (mL) προς βάρος αφρού (g).

4.4.4 Υφή

Υάλινα ποτήρια ζέσεως γεμίζονται με το λεύκωμα και έπειτα κλείνονται με αλουμινόχαρτο. Τα δείγματα αυτά μαγειρεύονται στο υδατόλουτρο στους 90°C για 30min και έπειτα αφήνονται να κρυώσουν μέχρι να αποκτήσουν τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση υφής (Texture Profile Analysis-TPA) σύμφωνα με τη μέθοδο Montejano (Montejano et al., 1985). Χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής TA-XT2i της Stable Microsystems. Σε θερμοκρασία δωματίου κάθε δείγμα συμπιέζεται με μεταλλική επιφάνεια. Η συμπίεση γίνεται δύο φορές και η αποσυμπίεση είναι άμεση.

Παρακάτω δίνεται ένα τυπικό διάγραμμα δύναμης-χρόνου της ανάλυσης υφής:



Εικόνα 1 Τυπικό διάγραμμα δύναμης-χρόνου της ανάλυσης υφής

- Η σκληρότητα μετρήθηκε ως η δύναμη που αντιστοιχεί στην κορυφή της πρώτης συμπίεσης.
- Η συνεκτικότητα ως ο λόγος του εμβαδού κάτω από την κορυφή της δεύτερης συμπίεσης προς το εμβαδόν κάτω από την κορυφή της πρώτης συμπίεσης.

- Η ελαστικότητα μετρήθηκε ως το ποσοστό του διαστήματος συμπίεσης κατά την πρώτη συμπίεση που ανακτήθηκε κατά τη δεύτερη συμπίεση.
- Η προσκολλησιμότητα μετρήθηκε ως το εμβαδό της πρώτης αποσυμπίεσης.

4.4.5 Απώλεια νερού κατά τη συμπίεση

Επάνω στο πήγμα του ασπραδιού του αυγού τοποθετούνται τέσσερα λεπτά στρώματα προζυγισμένου απλού διηθητικού χαρτιού. Έπειτα συμπιέζεται το δείγμα με τον αναλυτή υφής μέχρι παραμόρφωση 50% και στη συνέχεια αποσυμπιέζεται αμέσως. Το χαρτί ξαναζυγίζεται μετά τη συμπίεση. Η % απώλεια νερού κατά τη συμπίεση υπολογίζεται ως εξής:

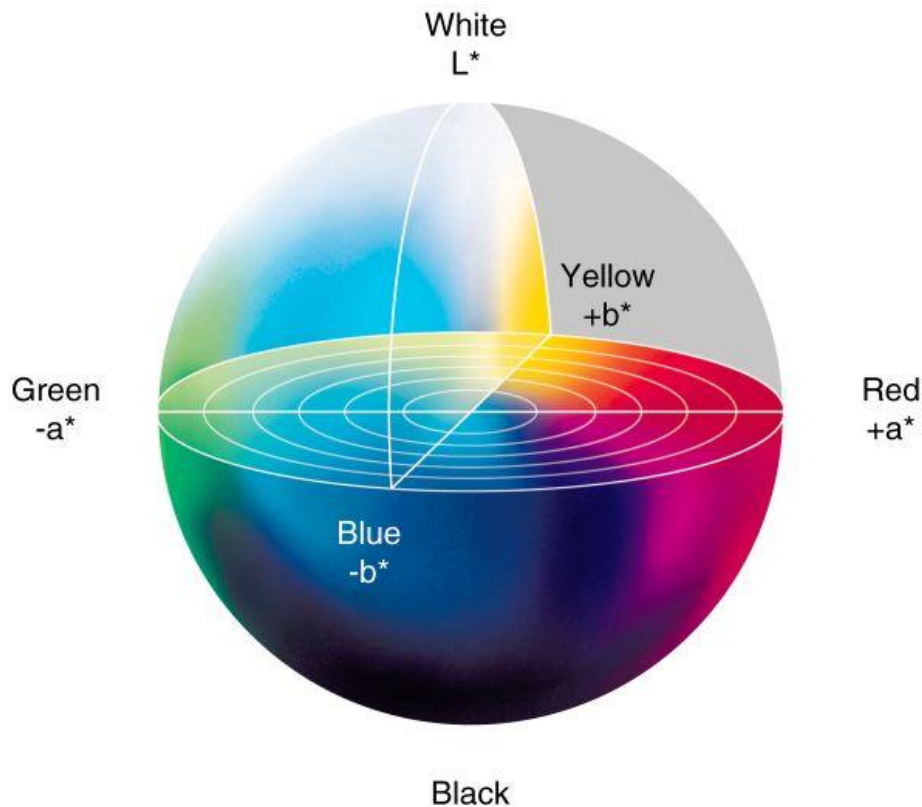
$$\% \text{απώλεια νερού κατά τη συμπίεση: } \frac{m_N}{m_\Delta} * 100\%$$

Όπου:

- m_N : η μάζα σε g του νερού που κατακρατήθηκε από το διηθητικό χαρτί
- m_Δ : η μάζα σε g του κυλινδρικού δείγματος

4.4.6 Λευκότητα

Αμέσως μετά το μαγείρεμα γίνεται ανάλυση χρώματος στα μαγειρεμένα πήγματα, με τη χρήση του οργάνου CR-200 colometer της Minolta. Από το όργανο αυτό λαμβάνονται οι τιμές CIE L^* , a^* , b^* . Ο παράγοντας L^* εκφράζει τη φωτεινότητα και παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), ενώ οι παράγοντες a^* και b^* εκφράζουν το χρώμα. Θετικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου, ενώ αρνητικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ αρνητικές τιμές του b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του μπλε.



Εικόνα 2: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του μοντέλου CIE-LAB.

Η λευκότητα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο, όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία (Παπαδέας, 1998) :

$$W=L^* - 3b^*$$

4.4.7 Χρώμα κρόκου

Δείγματα κρόκου του αυγού μετρώνται με το όργανο CR-200 colometer της Minolta και προσδιορίζονται οι ίδιες παράμετροι με τις παραπάνω. Η τιμή του χρώματος αποδίδεται με τη βοήθεια του "δείκτη κορεσμού", όπως προτείνεται από τη βιβλιογραφία (Huan et al., 1997):

$$SI= (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

4.5 Σχεδιασμός πειραμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει δύο σειρές πειραμάτων. Στην πρώτη σειρά επιχειρήθηκε η μελέτη των λειτουργικών ιδιοτήτων του κρόκου του αυγού και

του ασπραδιού του αυγού έπειτα κανονική κατάψυξη, ενώ στη δεύτερη σειρά επιχειρήθηκε η ίδια μελέτη για την περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη. Στην κάθε σειρά πειραμάτων παρασκευάστηκαν τα δείγματα που αναφέρθηκαν παραπάνω και όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Παρασκευάστηκαν επίσης δείγματα χωρίς την προσθήκη κάποιας ουσίας και τα δείγματα αυτά θεωρήθηκαν ως τυφλά.

Έπειτα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κατάψυξη, σε σταθερή θερμοκρασία -20°C . Για την πρώτη σειρά πειραμάτων, κάθε 15 ημέρες εξάγονταν δείγματα για πραγματοποίηση μετρήσεων, ενώ για τη δεύτερη σειρά πειραμάτων, τα δείγματα παρέμεναν για 13 ημέρες στους -20°C , έπειτα για 2 ημέρες σε ψύξη στους 4°C και τέλος γίνονταν οι μετρήσεις. Σε κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν όλες οι μετρήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω.

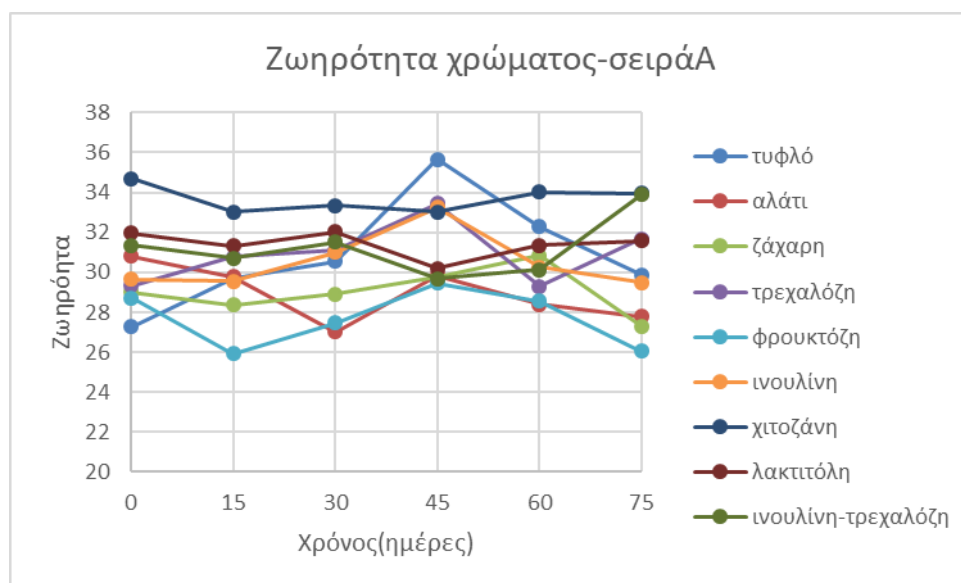
Στα πειράματα που διεξήχθησαν στην εργασία αυτή ελήφθησαν ως παράγοντες ο χρόνος αποθήκευσης υπό κατάψυξη και το κρυοπροστατευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε κατά την πρώτη σειρά πειραμάτων και οι κύκλοι κατάψυξης-απόψυξης και το είδος του κρυοπροστατευτικού υλικού κατά τη δεύτερη σειρά πειραμάτων.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Αποτελέσματα για τον κρόκο του αυγού, συζήτηση αποτελεσμάτων και στατιστική ανάλυση

ΧΡΩΜΑ

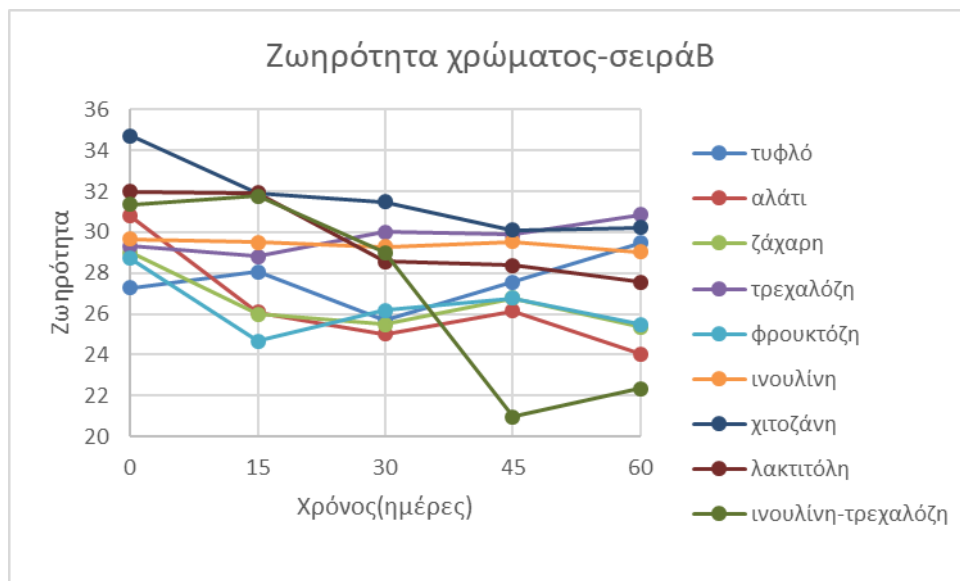
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 5 Μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων του κρόκου κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Στην πρώτη σειρά πειραμάτων, δηλαδή στην κανονική κατάψυξη, παρατηρούνται μικρές αυξομειώσεις στις τιμές του χρώματος των δειγμάτων με το πέρασμα της διάρκειας αποθήκευσης, οπότε εξάγεται το συμπέρασμα πως η διάρκεια αποθήκευσης δεν επηρεάζει σημαντικά αυτή την ιδιότητα. Τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές, ενώ τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη φαίνεται πως εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές ζωηρότητας χρώματος. Τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης εμφανίζουν και αυτά τιμές ζωηρότητας χρώματος μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα, δηλαδή αυτά που περιέχουν αλάτι, ζάχαρη, τρεχαλόζη και ινουλίνη εμφανίζουν μικρότερες τιμές ζωηρότητας χρώματος από τις αντίστοιχες τιμές του δείγματος αναφοράς.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 6 Μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων του κρόκου κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

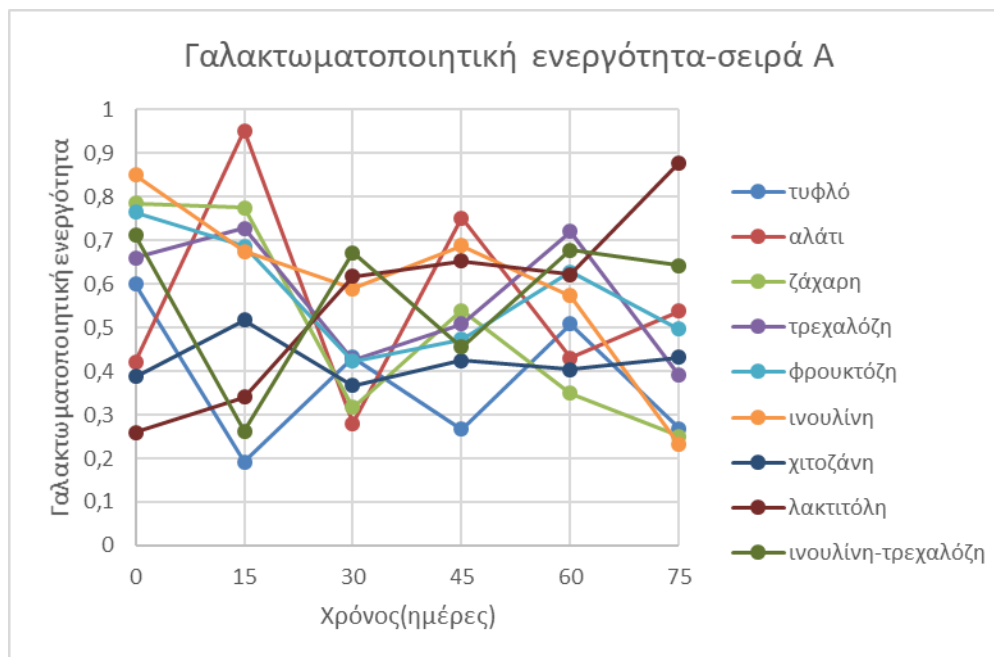
Παρατηρείται πως και στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές ζωηρότητας χρώματος και επιπλέον τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη, ινουλίνη, λακτιτόλη εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές και υψηλότερες από τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος. Τέλος, τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη, αλάτι και ζάχαρη εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές ζωηρότητας χρώματος, ενώ τα δείγματα που περιέχουν μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, εμφανίζουν υψηλές τιμές ζωηρότητας χρώματος κατά τις 30 πρώτες ημέρες αποθήκευσης, αλλά στη συνέχεια οι τιμές αυτές μειώνονται ραγδαία.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων οδήγησε στο συμπέρασμα πως σημαντικές διαφορές στο χρώμα των δειγμάτων παρουσιάζονται ως προς το κρυσταλλοπροστατευτικό υλικό και στις δύο σειρές πειραμάτων, ενώ σημαντικές διαφορές ως προς τη διάρκεια αποθήκευσης παρουσιάζονται μόνο στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη. Στην κανονική κατάψυξη, οι τιμές χρώματος των δειγμάτων που περιέχουν ινουλίνη, τρεχαλόζη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης δεν διαφέρουν πολύ από τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος, ενώ οι τιμές των δειγμάτων που περιέχουν φρουκτόζη, αλάτι, ζάχαρη, λακτιτόλη και χιτοζάνη διαφέρουν αρκετά. Πιο μεγάλη επίδραση παρουσιάζει η χιτοζάνη που εμφανίζει την πιο μεγάλη απόκλιση από τις τιμές του τυφλού δείγματος. Το ίδιο φαίνεται πως ισχύει και στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, όπου η χιτοζάνη εμφανίζει πάλι τη μεγαλύτερη επίδραση στις τιμές του χρώματος και τη μεγαλύτερη απόκλιση από τις τιμές του τυφλού δείγματος.

Κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, παρατηρείται πως στον πρώτο κύκλο κατάψυξης-απόψυξης οι τιμές χρώματος των δειγμάτων επηρεάστηκαν σημαντικά, ενώ στους υπόλοιπους κύκλους, οι μεταβολές στις τιμές του χρώματος δεν ήταν το ίδιο σημαντικές.

ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ

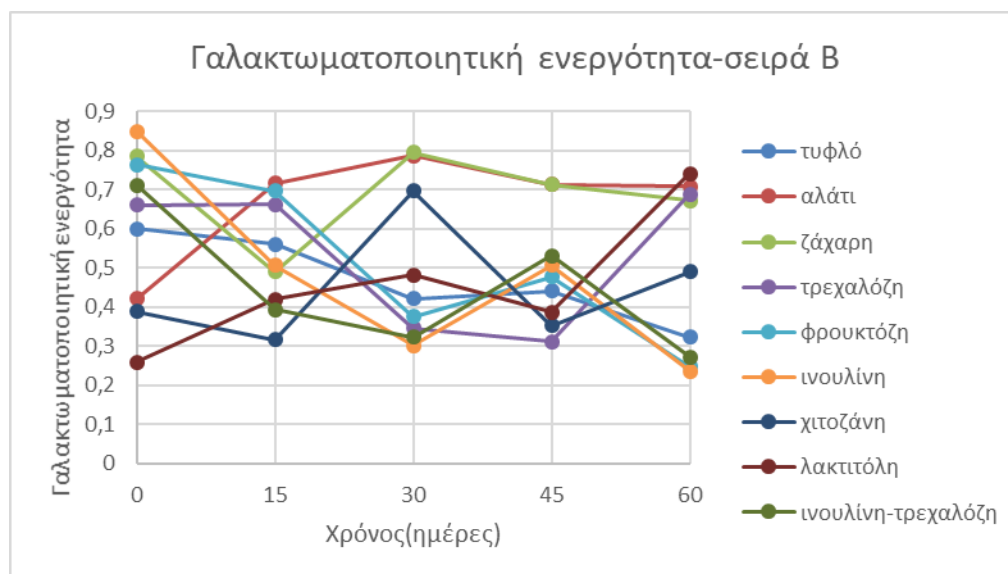
Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 7 Μεταβολή της γαλακτωματοποιητικής ενεργότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Παρατηρούνται αρκετά έντονες αυξομειώσεις στις τιμές γαλακτωματοποιητικής ενεργότητας όλων των δειγμάτων. Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως όλα τα δείγματα που περιέχουν κάποιο κρυσταλλικό υλικό εμφανίζουν τιμές γαλακτωματοποιητικής ενεργότητας υψηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές του τυφλού δείγματος. Αρκετά υψηλές τιμές φαίνεται να παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν ιουλίνη, ενώ ακόμα μπορεί να παρατηρηθεί πως στα δείγματα που περιέχεται λακτιτόλη αυξάνεται σημαντικά η γαλακτωματοποιητική ενεργότητα, καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



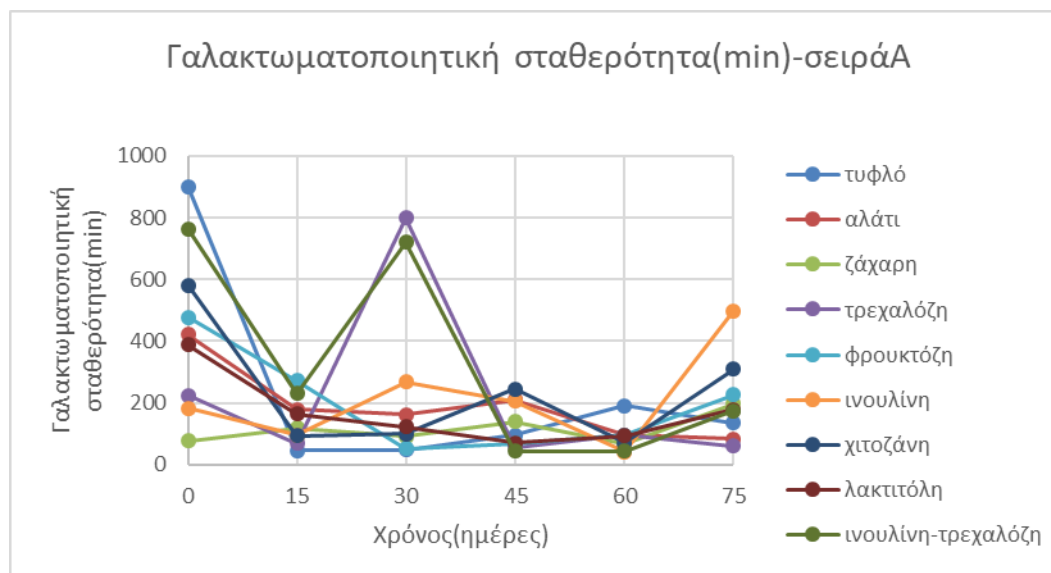
Διάγραμμα 8 Μεταβολή της γαλακτωματοποιητικής ενεργότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Σε αυτή την περίπτωση, παρατηρείται πως τα δείγματα που περιέχουν αλάτι και ζάχαρη εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές γαλακτωματοποιητικής ενεργότητας, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα φαίνεται πως παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές γαλακτωματοποιητικής ενεργότητας και μικρότερες από τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς.

Η στατιστική επεξεργασία έδειξε πως για τη γαλακτωματοποιητική ενεργότητα δεν παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές ούτε ως προς τη διάρκεια της αποθήκευσης, αλλά ούτε ως προς το είδος του κρυσταλλικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα, ότι η αποθήκευση των δειγμάτων και το είδος του κρυσταλλικού υλικού που προστίθεται, δεν επηρεάζουν σημαντικά τη γαλακτωματοποιητική ενεργότητα.

ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ

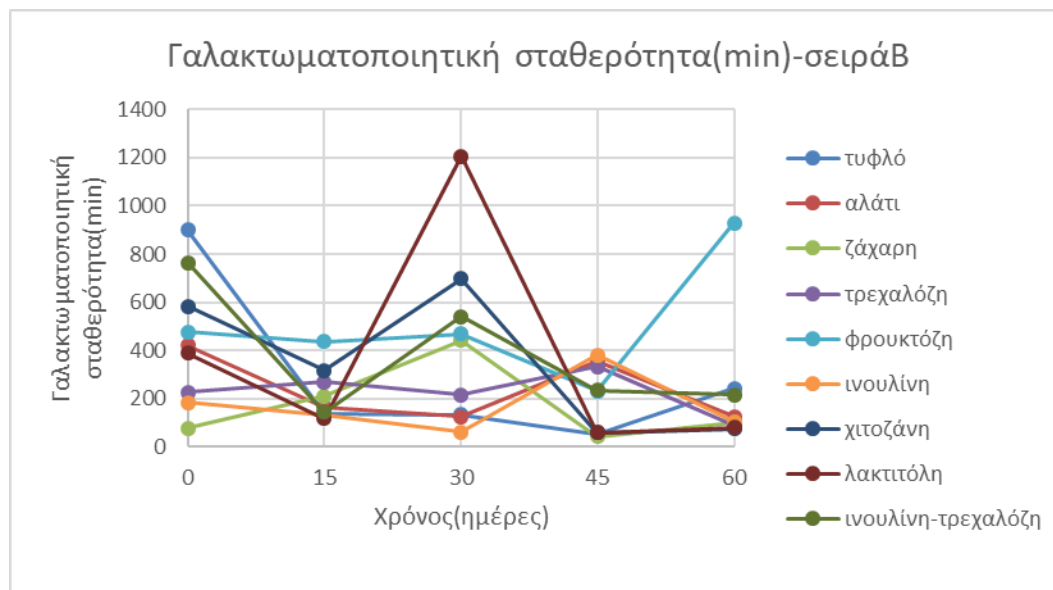
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 9 Μεταβολή της γαλακτωματοποιητικής σταθερότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως πριν την αποθήκευση υπό κατάψυξη, όλα τα δείγματα που περιέχουν κάποιο κρυσταλλικό υλικό εμφανίζουν τιμές γαλακτωματοποιητικής σταθερότητας μικρότερες από ότι το τυφλό δείγμα. Αυτό φαίνεται πως αλλάζει έπειτα από την αποθήκευση των δειγμάτων, καθώς από τις 15 ημέρες αποθήκευσης και μετά οι τιμές γαλακτωματοποιητικής σταθερότητας των δειγμάτων είναι παραπλήσιες και υψηλότερες από τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 10 Μεταβολή της γαλακτωματοποιητικής σταθερότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

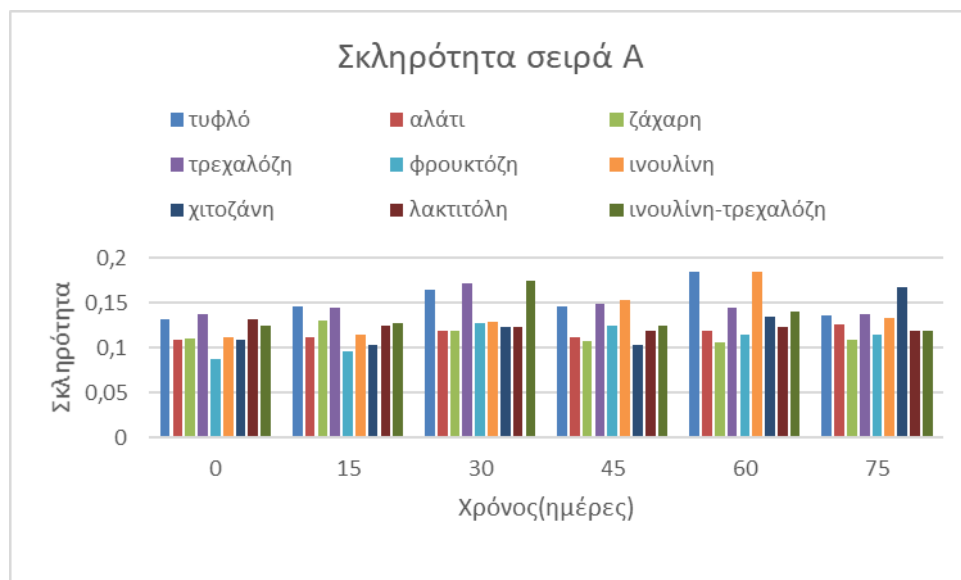
Και στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη τα δείγματα που περιέχουν κρυσταλλικό υλικό, πριν την αποθήκευσή τους εμφανίζουν τιμές γαλακτωματοποιητικής σταθερότητας μικρότερες από τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς, γεγονός που αλλάζει μετά την αποθήκευση των δειγμάτων. Πιο υψηλές τιμές γαλακτωματοποιητικής σταθερότητας εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, φρουκτόζη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, ενώ τα δείγματα που περιέχουν ινουλίνη παρουσιάζουν τις πιο χαμηλές τιμές γαλακτωματοποιητικής σταθερότητας.

Μέσω της στατιστικής ανάλυσης των αποτελεσμάτων εξάγεται το συμπέρασμα πως η γαλακτωματοποιητική σταθερότητα επηρεάζεται από τη διάρκεια αποθήκευσης κατά την κανονική κατάψυξη. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μεγάλη μεταβολή στη γαλακτωματοποιητική σταθερότητα των δειγμάτων, έπειτα από 15 ημέρες αποθήκευσης. Στη συνέχεια, οι μεταβολές στις τιμές της γαλακτωματοποιητικής σταθερότητας δεν ήταν τόσο σημαντικές.

Το είδος του κρυσταλλικού υλικού φαίνεται πως δεν επηρέασε σημαντικά τη γαλακτωματοποιητική σταθερότητα των δειγμάτων, τόσο στην κανονική, όσο και στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη.

ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

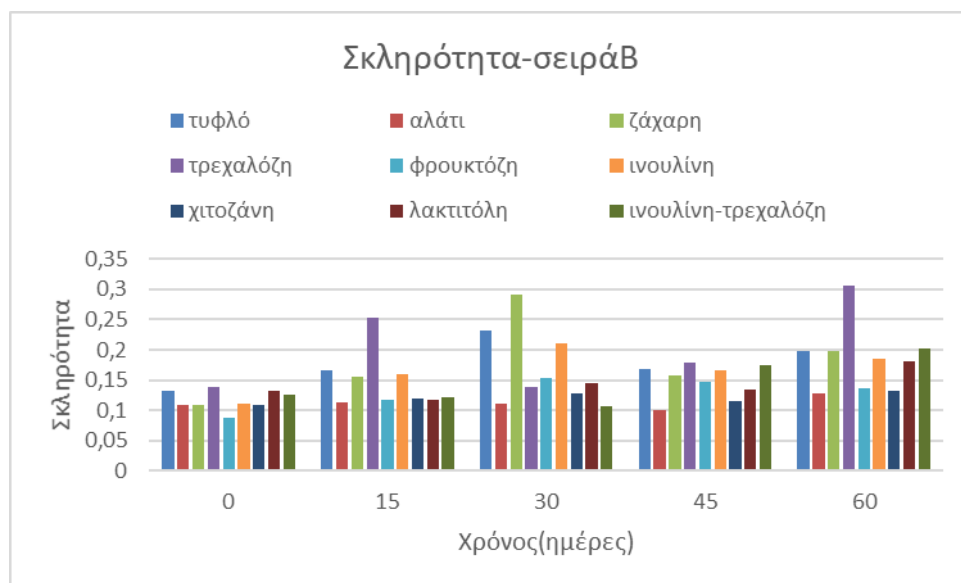
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 11 Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως τα δείγματα που περιέχουν κάποιο πρόσθετο εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας από τα δείγματα χωρίς πρόσθετο, με τα δείγματα που περιέχουν αλάτι, ζάχαρη και φρουκτόζη να παρουσιάζουν τις πιο χαμηλές τιμές σκληρότητας και συγκεκριμένα τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη να εμφανίζουν τις χαμηλότερες. Τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές σκληρότητας.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 12 Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη παρουσιάζουν τις πιο υψηλές τιμές σκληρότητας και στη συνέχεια το τυφλό δείγμα. Τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη και ινουλίνη εμφανίζουν τιμές σκληρότητας παραπλήσιες με αυτές του δείγματος αναφοράς, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν μικρότερες τιμές σκληρότητας, με τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη να εμφανίζουν τις πιο μικρές τιμές.

Με στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, εξάγεται το συμπέρασμα πως και στις δύο σειρές πειραμάτων, παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές στη σκληρότητα των δειγμάτων τόσο ως προς το κρουοπροστατευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε όσο και ως προς τη διάρκεια αποθήκευσης.

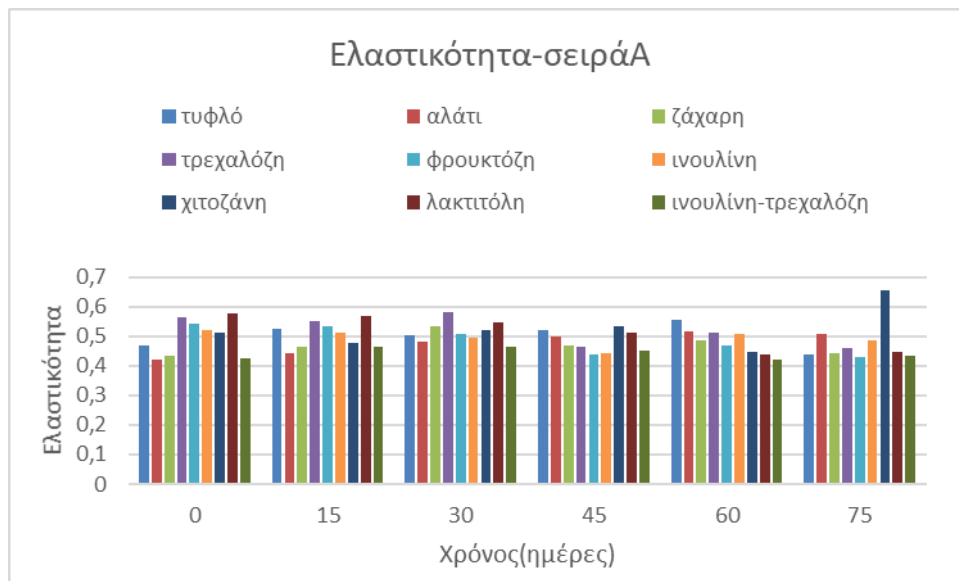
Στην περίπτωση της κανονικής κατάψυξης, τα δείγματα που δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τα αντίστοιχο τυφλό είναι αυτά που περιέχουν τρεχαλόζη, ινουλίνη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης. Τα υπόλοιπα δείγματα φαίνεται να παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές στις τιμές της σκληρότητάς τους, με τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη να παρουσιάζουν τις πιο σημαντικές. Η διάρκεια αποθήκευσης φαίνεται πως επηρεάζει τη σκληρότητα των δειγμάτων και οι πιο σημαντικές διαφορές παρατηρούνται έπειτα από 30 ημέρες αποθήκευσης, όπου παρατηρείται μία αύξηση στις τιμές σκληρότητας των δειγμάτων.

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα δείγματα που παρουσιάζουν μικρές αλλαγές στις τιμές της σκληρότητάς τους σε σχέση με τα τυφλό δείγμα είναι αυτά που περιέχουν λακτιτόλη, μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, ινουλίνη, ζάχαρη και τρεχαλόζη, ενώ τα δείγματα που περιέχουν αλάτι, χιτοζάνη και φρουκτόζη παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις. Η διάρκεια αποθήκευσης επηρεάζει και σε αυτή την περίπτωση τις τιμές της

σκληρότητας και η πιο σημαντική διαφορά παρουσιάζεται έπειτα από 15 ημέρες αποθήκευσης όπου η σκληρότητα των δειγμάτων αυξάνεται αρκετά, ενώ έπειτα από 45 ημέρες αποθήκευσης οι τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων φαίνεται να μειώνονται πάλι.

ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

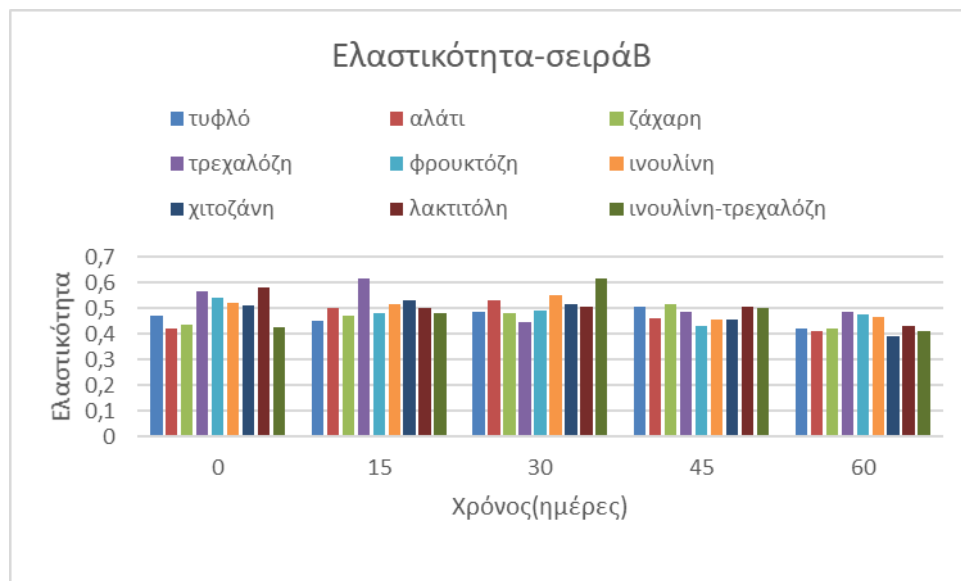
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 13 Μεταβολή της ελαστικότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως η ελαστικότητα των δειγμάτων φαίνεται να μειώνεται έπειτα από 45 ημέρες αποθήκευσης. Τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη, ινουλίνη, χιτοζάνη και λακτιτόλη εμφανίζουν υψηλές τιμές ελαστικότητας, οι οποίες αρχικά είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές του τυφλού δείγματος, αλλά έπειτα από 30 ημέρες αποθήκευσης είναι αρκετά παρεμφερείς. Τα δείγματα που περιέχουν αλάτι, ζάχαρη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης παρουσιάζουν μικρότερες τιμές ελαστικότητας, με τα δείγματα που περιέχουν μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης να εμφανίζουν τις πιο μικρές τιμές ελαστικότητας από όλα τα δείγματα.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



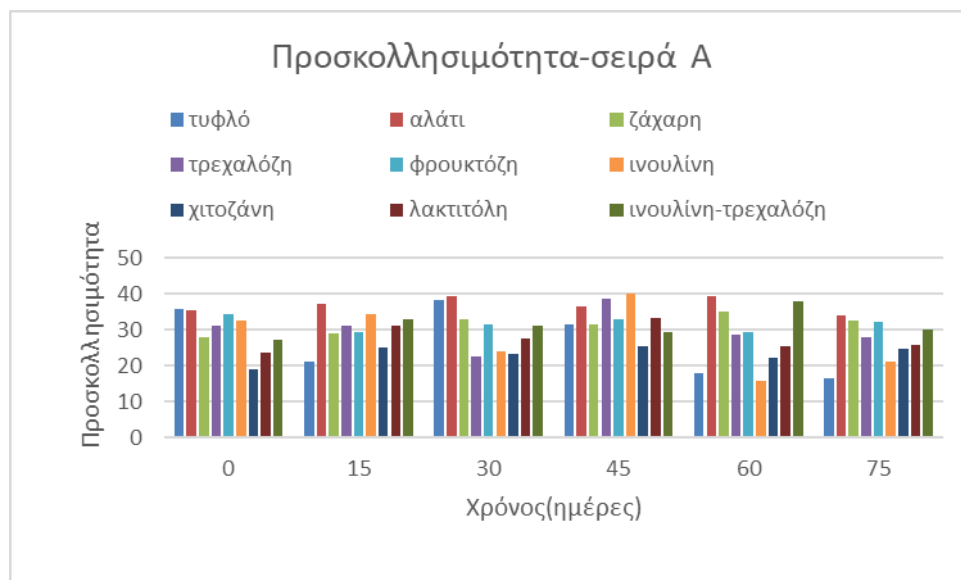
Διάγραμμα 14 Μεταβολή της ελαστικότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Και σε αυτή την περίπτωση μπορεί να παρατηρηθεί πως ενώ αρχικά οι τιμές ελαστικότητας είναι πιο υψηλές, έπειτα από αποθήκευση και συγκεκριμένα μετά από 3 κύκλους κατάψυξης-απόψυξης, οι τιμές ελαστικότητας των δειγμάτων μειώνονται. Η χρήση κρουπροστατευτικών υλικών ίσως βοήθησε στην αποτροπή της υποβάθμισης αυτής της ιδιότητας σε ένα βαθμό. Τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη και ινουλίνη φαίνεται πως παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές ελαστικότητας, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές με τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, έδειξαν πως δεν υφίστανται σημαντικές αλλαγές στην ελαστικότητα του κρόκου, ανάλογα με το κρουπροστατευτικό υλικό που προστίθεται. Σημαντικές αλλαγές στις τιμές της ελαστικότητας των δειγμάτων παρατηρούνται μόνο ως προς το χρόνο στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη. Οι τιμές της ελαστικότητας των δειγμάτων δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων κύκλων κατάψυξης-απόψυξης, αλλά φαίνεται πως μεταβάλλονται σημαντικά κατά τον τέταρτο κύκλο κατάψυξης-απόψυξης, όπου παρατηρείται μια σημαντική μείωση στις τιμές τους.

ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

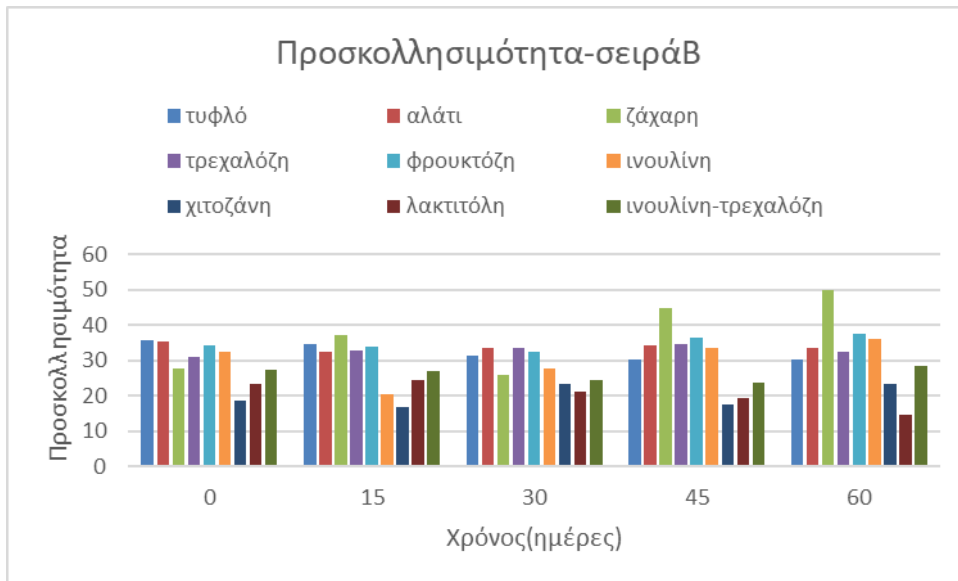
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 15 Μεταβολή της προσκολλησιμότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως τα δείγματα που περιέχουν αλάτι εμφανίζουν τις πιο υψηλές τιμές προσκολλησιμότητας, ενώ αντιθέτως τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές προσκολλησιμότητας. Γενικά τα δείγματα που περιέχουν κρουοπροστατευτικό υλικό εμφανίζουν υψηλότερες τιμές προσκολλησιμότητας από το τυφλό δείγμα.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 16 Μεταβολή της προσκολλησιμότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, φαίνεται πως τα δείγματα που περιέχουν αλάτι και ζάχαρη εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές ελαστικότητας, ενώ ακολουθούν τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη, φρουκτόζη και ινουλίνη, τα οποία παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές με τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος. Τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, λακτιτόλη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές ελαστικότητας.

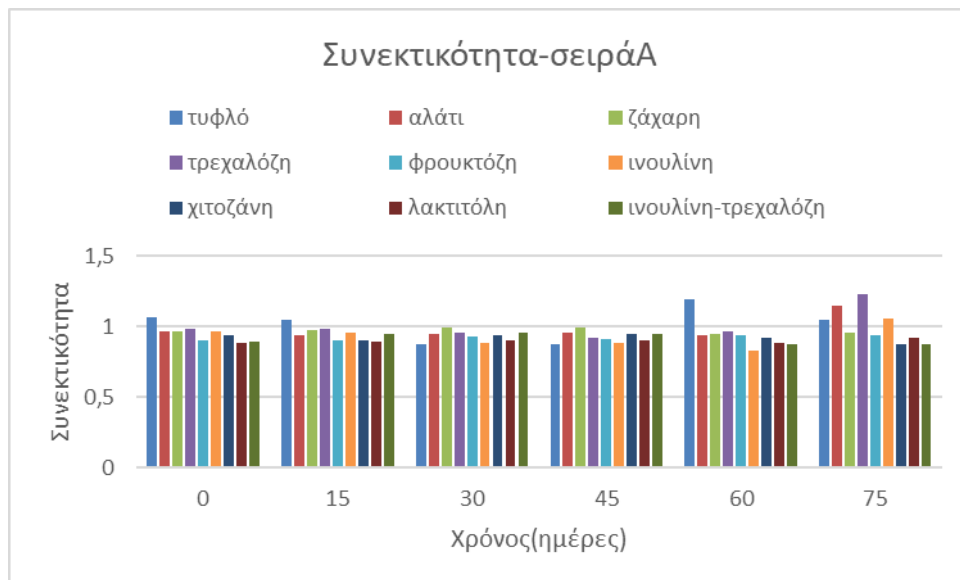
Από τη στατιστική ανάλυση, παρατηρήθηκε πως ο χρόνος αποθήκευσης δεν επιδρά στις τιμές της προσκολλησιμότητας των δειγμάτων, αλλά το είδος του κρουπροστατευτικού υλικού φαίνεται να επιδρά και στην κανονική και στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη.

Στην περίπτωση της κανονικής κατάψυξης φαίνεται πως τα δείγματα που περιέχουν αλάτι παρουσιάζουν τις πιο σημαντικές διαφορές από το τυφλό δείγμα, καθώς όπως είναι εμφανές και από το διάγραμμα που δόθηκε παραπάνω οι τιμές των δειγμάτων αυτών είναι αρκετά υψηλές.

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του τυφλού δείγματος και των δειγμάτων που περιέχουν κάποιο κρουπροστατευτικό υλικό, με τα δείγματα που περιέχουν μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, χιτοζάνη και λακτιτόλη να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις στη συμπεριφορά τους από το δείγμα αναφοράς, ενώ φαίνεται πως οι τιμές προσκολλησιμότητας του τυφλού δείγματος δεν διαφέρουν σημαντικά από τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη, αλάτι και φρουκτόζη.

ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

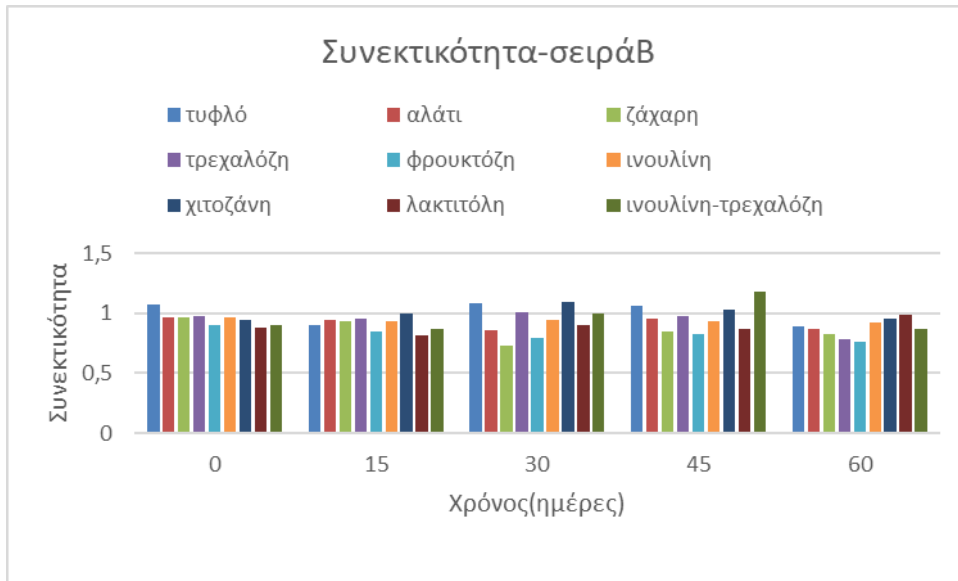
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 17 Μεταβολή της συνεκτικότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Τα δείγματα που περιέχουν κρυσταλλικό υλικό παρουσιάζουν τιμές συνεκτικότητας παρόμοιες με τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς. Πιο υψηλές τιμές συνεκτικότητας εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, αλάτι και τρεχαλόζη, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν μικρότερες τιμές ελαστικότητας με τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη να εμφανίζουν τις πιο μικρές τιμές.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 18 Μεταβολή της συνεκτικότητας των δειγμάτων του κρόκου κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα δείγματα που περιέχουν κάποιο κρυσταλλικό υλικό φαίνεται να παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές συνεκτικότητας από τα δείγματα χωρίς πρόσθετο, με τα δείγματα που περιέχουν ινουλίνη, χιτοζάνη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης να εμφανίζουν παρεμφερείς τιμές συνεκτικότητας με τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος. Τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη φαίνεται πως εμφανίζουν τις πιο χαμηλές τιμές συνεκτικότητας από όλα τα δείγματα.

Όπως παρατηρείται από τη στατιστική ανάλυση, ο χρόνος αποθήκευσης δεν επιδρά στη συνεκτικότητα των δειγμάτων του κρόκου, ενώ αντιθέτως το είδος του κρυσταλλικού φαίνεται πως έχει επίδραση.

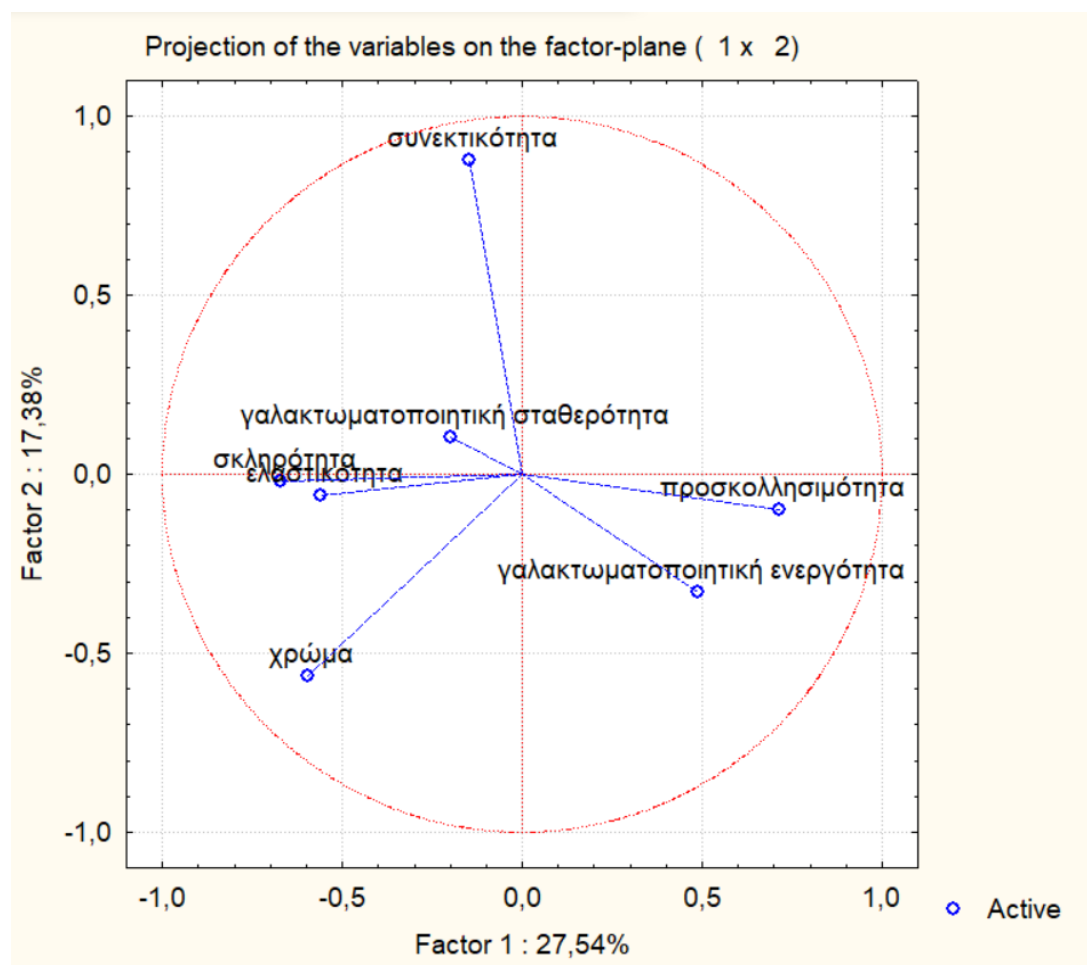
Στην πρώτη σειρά πειραμάτων, δηλαδή στην κανονική κατάψυξη, τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη, αλάτι και ζάχαρη εμφανίζουν μικρές διαφορές στις τιμές της συνεκτικότητάς τους από τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα εμφανίζουν αρκετά σημαντικές διαφορές από το τυφλό δείγμα, με τα δείγματα της λακτιτόλης να εμφανίζουν τις πιο μεγάλες αποκλίσεις.

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων, δηλαδή στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, σημαντικές αλλαγές ως προς το τυφλό δείγμα φαίνεται πως παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη, ζάχαρη και λακτιτόλη, με τα δείγματα της φρουκτόζης να παρουσιάζουν τις πιο μεγάλες αποκλίσεις από το δείγμα αναφοράς. Οι τιμές συνεκτικότητας των υπόλοιπων δειγμάτων δεν φαίνεται να διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές του δείγματος αναφοράς, ενώ τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη φαίνεται πως δεν διαφέρουν από τα αντίστοιχα τυφλά.

5.2 Ανάλυση των κύριων συνιστωσών για τον κρόκο του αυγού στις δύο σειρές πειραμάτων (PCA)

➤ Α' σειρά πειραμάτων

Η παρακάτω ανάλυση κύριων συνιστωσών αφορά στα δείγματα της πρώτης σειράς πειραμάτων. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών με τις παραμέτρους που μετρήθηκαν.

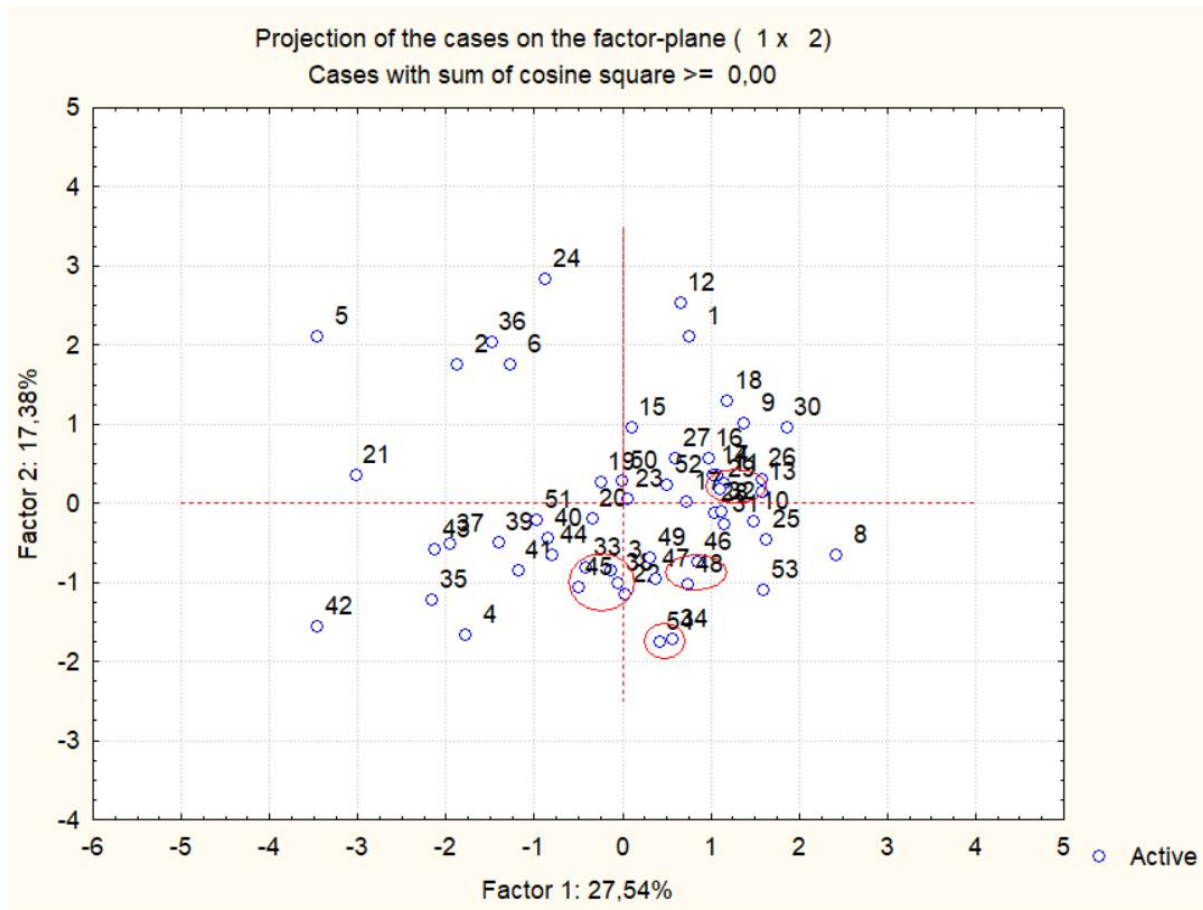


Διάγραμμα 19 Γραφική παράσταση συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών με τις παραμέτρους για τα δείγματα του κρόκου του αυγού κατά την κανονική κατάψυξη(A σειρά)

Παρατηρείται πως η συνεισφορά των κυριών συνιστωσών στη συνολική διακύμανση του πειράματος είναι για την πρώτη κύρια συνιστώσα 27,54% και για τη δεύτερη κύρια συνιστώσα 17,38%.

Από το διάγραμμα 19 δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι αρνητική επίδραση στην πρώτη συνιστώσα έχει η σκληρότητα, ενώ θετική επίδραση έχει η προσκολλησιμότητα.

Αντίστοιχα, θετική επίδραση στη δεύτερη κύρια συνιστώσα εμφανίζει η συνεκτικότητα.



Διάγραμμα 20 Γραφική παράσταση των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών για τα δείγματα του κρόκου του αυγού κατά την κανονική κατάψυξη(A σειρά)

Από το διάγραμμα 20 φαίνεται πως σχηματίζονται 4 ομάδες δειγμάτων με κοινά χαρακτηριστικά.

Η πρώτη ομάδα αποτελείται από τα δείγματα 45,33,38 τα οποία παρατηρείται πως παρέμειναν σε αποθήκευση υπό κατάψυξη για 30 ημέρες και φαίνεται να εμφανίζουν παρόμοιες τιμές συνεκτικότητας.

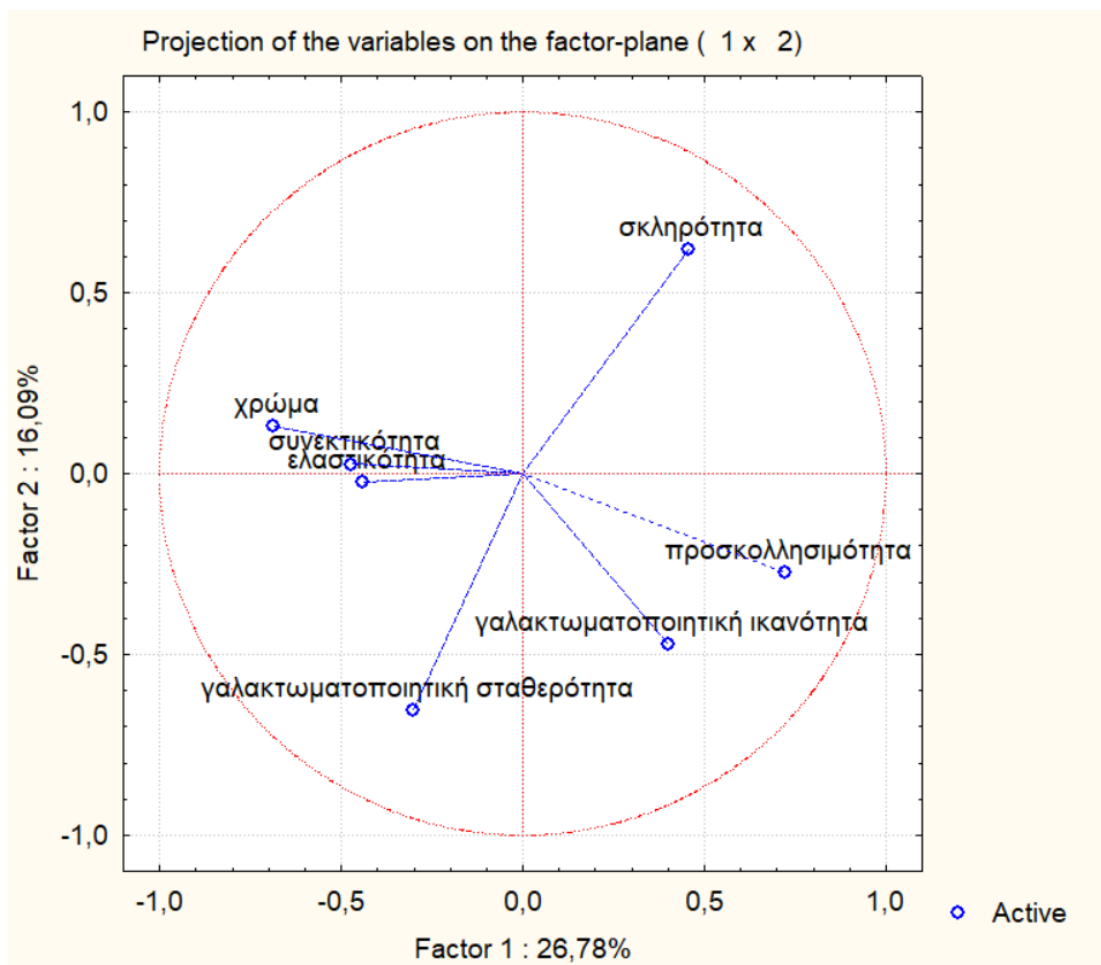
Μία ακόμα ομάδα φαίνεται πως σχηματίζουν τα δείγματα 46,47,48 τα οποία περιέχουν το ίδιο κρουπροστατευτικό υλικό και συγκεκριμένα λακτιτόλη και φαίνεται πως κατά την αποθήκευση τους παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές σκληρότητας.

Η τρίτη ομάδα αποτελείται από τα δείγματα 53,44 τα οποία κατά την αποθήκευση τους διατήρησαν παρεμφερείς τιμές συνεκτικότητας.

Η τελευταία ομάδα φαίνεται πως σχηματίζεται από τα δείγματα 17,28,29,31,32 τα οποία φαίνεται να παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές σκληρότητας.

➤ **Β' σειρά πειραμάτων**

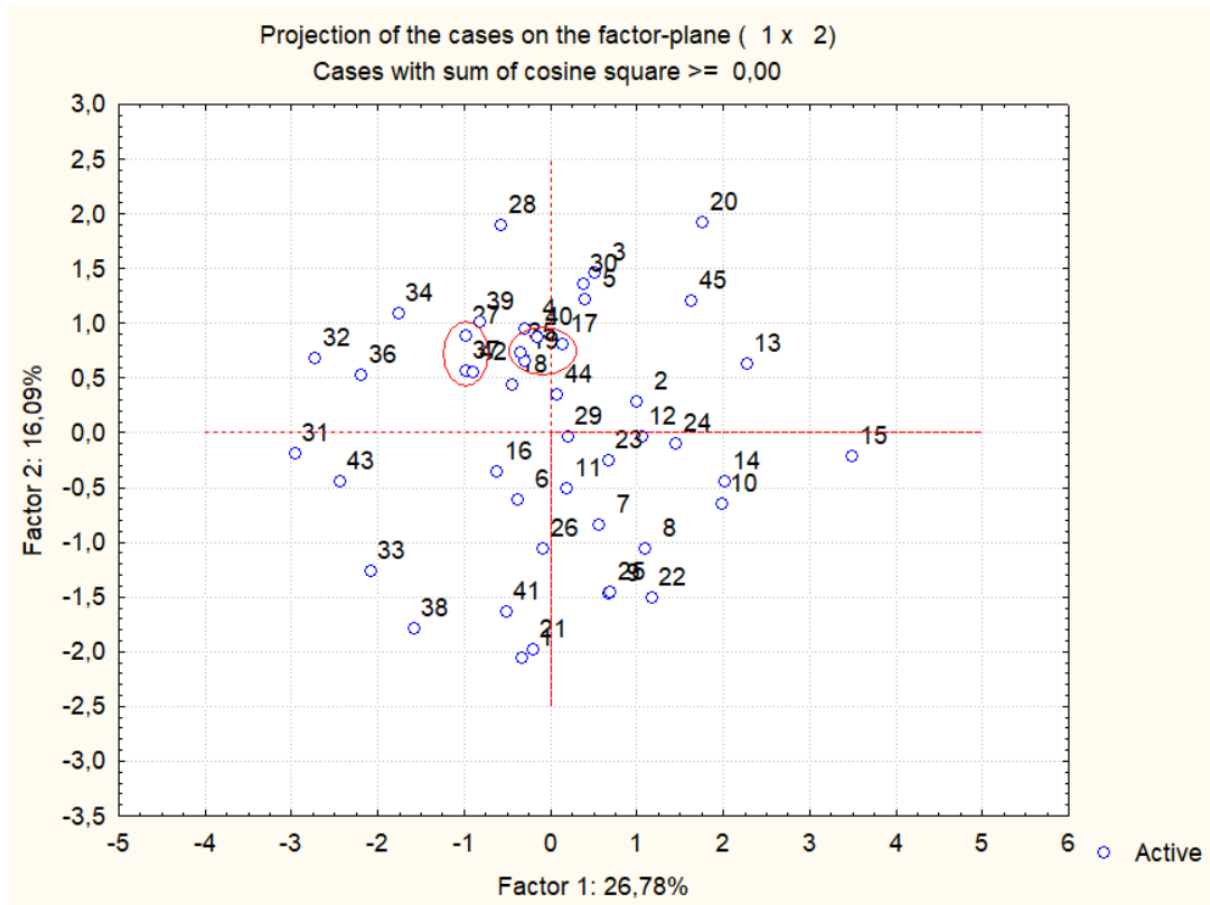
Η παρακάτω ανάλυση κύριων συνιστωσών αφορά στα δείγματα της δεύτερης σειράς πειραμάτων. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών με τις παραμέτρους που μετρήθηκαν.



Διάγραμμα 21 Γραφική παράσταση συντελεστών συσχέτισης των 2 πρώτων κύριων συνιστωσών με τις παραμέτρους για τα δείγματα του κρόκου του αυγού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Η συνεισφορά των δύο κύριων συνιστωσών στη συνολική διακύμανση του πειράματος είναι για την πρώτη συνιστώσα 26,78% και για τη δεύτερη συνιστώσα 16,09%.

Από το διάγραμμα 21 δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι στην κύρια πρώτη συνιστώσα θετική επίδραση έχει η προσκολλησιμότητα και αρνητική επίδραση έχει το χρώμα.



Διάγραμμα 22 Γραφική παράσταση των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών για τα δείγματα του κρόκου του αυγού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (B σειρά)

Από το διάγραμμα 22 φαίνεται πως σχηματίζονται δύο ομάδες δειγμάτων με κοινά χαρακτηριστικά.

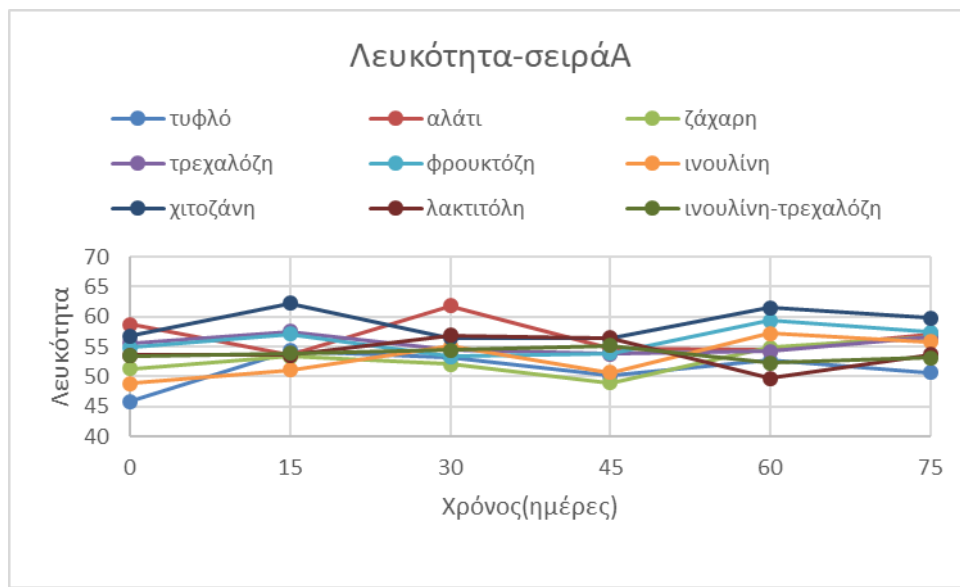
Τα δείγματα 27,37,42 σχηματίζουν μία ομάδα και παρατηρείται πως τα δείγματα αυτά έχουν κοινή διάρκεια αποθήκευσης, καθώς παρέμειναν σε αποθήκευση υπό κατάψυξη για 30 ημέρες. Κατά την αποθήκευσή τους, τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές ελαστικότητας και χρώματος.

Η δεύτερη ομάδα φαίνεται πως σχηματίζεται από τα δείγματα 17,18,19 τα οποία εμφανίζουν ομοιότητες ως προς το κρουπροστατευτικό υλικό, καθώς και τα τρία αυτά δείγματα περιέχουν τρεχαλόζη. Τα δείγματα αυτά εμφανίζουν παρεμφερείς τιμές χρώματος.

5.3 Αποτελέσματα για το ασπράδι του αυγού, συζήτηση αποτελεσμάτων και στατιστική ανάλυση

ΛΕΥΚΟΤΗΤΑ

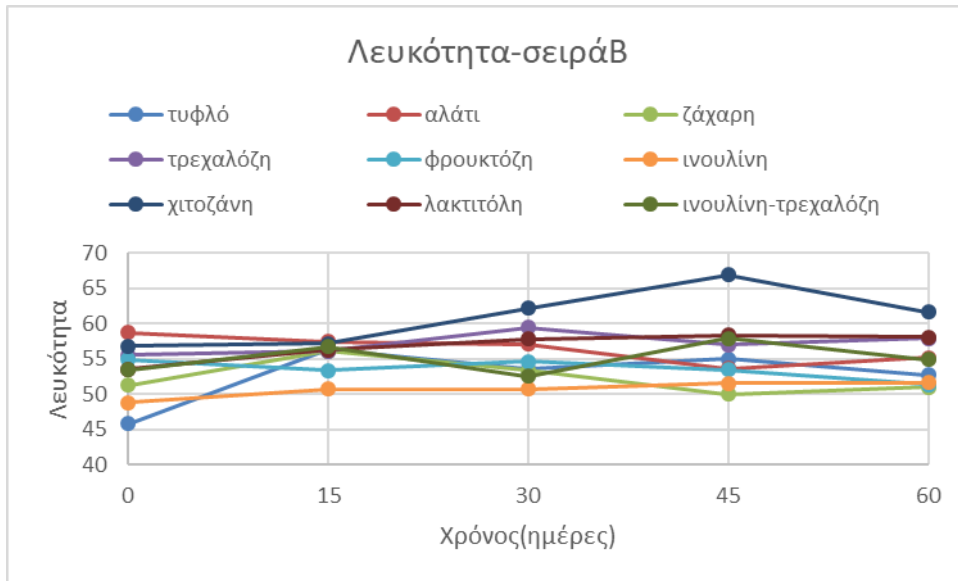
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 23 Μεταβολή της λευκότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Για την κανονική κατάψυξη, παρατηρείται πως οι τιμές λευκότητας των δειγμάτων δεν φαίνεται να επηρεάζονται από τις ημέρες αποθήκευσης. Τα περισσότερα πρόσθετα φαίνεται να εμφανίζουν κρυσταλλοστατευτική δράση καθώς τα δείγματα που περιέχουν κρυσταλλοστατευτικά υλικά παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές λευκότητας από τις αντίστοιχες τιμές του τυφλού δείγματος και συγκεκριμένα τις πιο υψηλές τιμές λευκότητας φαίνεται πως παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη. Αντιθέτως, τις πιο χαμηλές τιμές λευκότητας, εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 24 Μεταβολή της λευκότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Από το διάγραμμα για την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, είναι εμφανές πως οι τιμές της λευκότητας των δειγμάτων φαίνεται πως δεν μεταβάλλονται σημαντικά με το πέρασμα του χρόνου αποθήκευσης. Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται πως μεγαλύτερη λευκότητα εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, ενώ μικρότερη τα δείγματα που περιέχουν ινουλίνη.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, οδήγησε στο συμπέρασμα πως σημαντικές διαφορές στη λευκότητα των δειγμάτων παρουσιάζονται και στις δύο σειρές πειραμάτων μόνο ως προς το κρουπροστατευτικό υλικό, ενώ η διάρκεια αποθήκευσης δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τις τιμές λευκότητας των δειγμάτων.

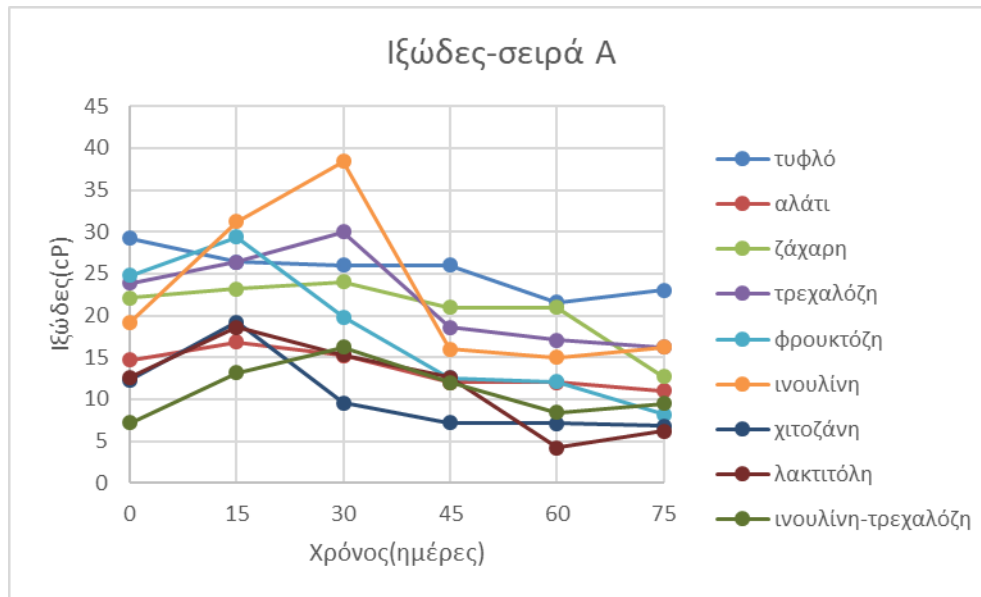
Στην πρώτη σειρά πειραμάτων, δηλαδή στην περίπτωση της κανονικής κατάψυξης, τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, ινουλίνη και μίγμα τρεχαλόζης-ινουλίνης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς το τυφλό δείγμα, ενώ τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη, τρεχαλόζη, φρουκτόζη και αλάτι εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές τους από το δείγμα αναφοράς. Τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διαφορές στις τιμές της λευκότητάς τους ως προς το τυφλό δείγμα και συγκεκριμένα εμφανίζουν τις πιο υψηλές τιμές λευκότητας.

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων, δηλαδή στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα δείγματα που παρουσιάζουν μικρές διαφορές ως προς το τυφλό δείγμα στις τιμές της λευκότητάς τους, είναι αυτά που περιέχουν ινουλίνη, ζάχαρη, φρουκτόζη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης. Τα δείγματα που περιέχουν αλάτι, λακτιτόλη και τρεχαλόζη εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές λευκότητάς τους από το δείγμα αναφοράς, ενώ και σε αυτή

την περίπτωση τις μεγαλύτερες αποκλίσεις παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, που εμφανίζουν πολύ υψηλές τιμές.

ΙΞΩΔΕΣ

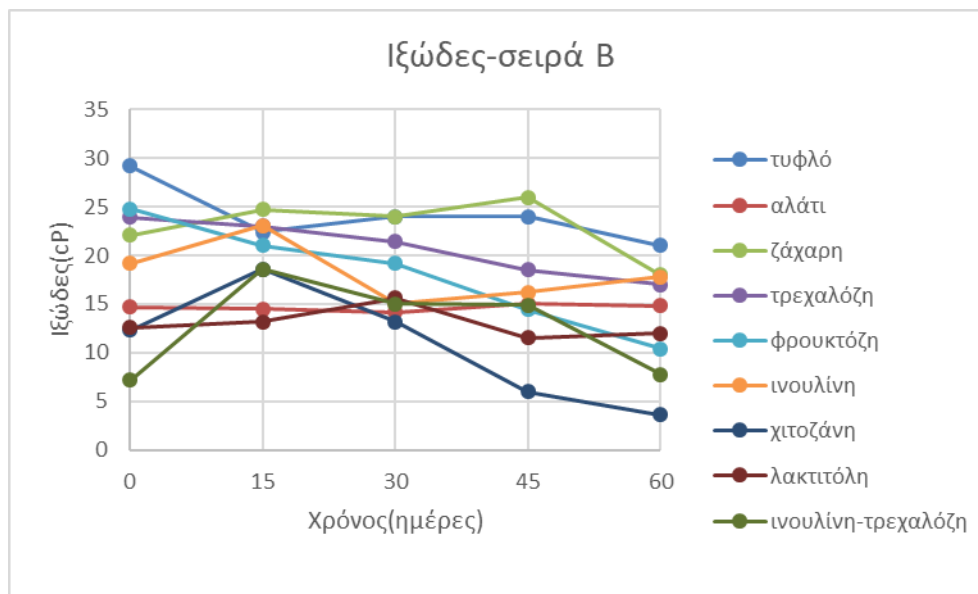
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 25 Μεταβολή του ιξώδους των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως οι τιμές του ιξώδους των δειγμάτων επηρεάζονται από το διάστημα αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, κατά τις 30 πρώτες ημέρες αποθήκευσης παρατηρείται αύξηση στις τιμές ιξώδους, ενώ στη συνέχεια οι τιμές αυτές αρχίζουν να μειώνονται. Γενικά, η χρήση κρυσπροστατευτικού υλικού στα δείγματα φαίνεται πως μείωσε τις τιμές του ιξώδους σε σχέση με τα τυφλά δείγματα που δεν περιέχουν κάποιο πρόσθετο. Τις υψηλότερες τιμές ιξώδους εμφανίζει το τυφλό δείγμα και έπειτα τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, ενώ τις χαμηλότερες τιμές ιξώδους εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη, μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης και χιτοζάνη.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 26 Μεταβολή του ιξώδους των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Και στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη φαίνεται πως το διάστημα αποθήκευσης επηρέασε τις τιμές του ιξώδους, καθώς το ιξώδες αρχικά αυξάνεται, ενώ έπειτα από 30 ημέρες αποθήκευσης, δηλαδή 2 κύκλους κατάψυξης-απόψυξης, αρχίζει να μειώνεται. Τα δείγματα που περιέχουν κάποιο πρόσθετο παρουσιάζουν χαμηλότερο ιξώδες από το τυφλό δείγμα. Μεγαλύτερες τιμές ιξώδους παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, ενώ μικρότερες τιμές ιξώδους τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη και χιτοζάνη.

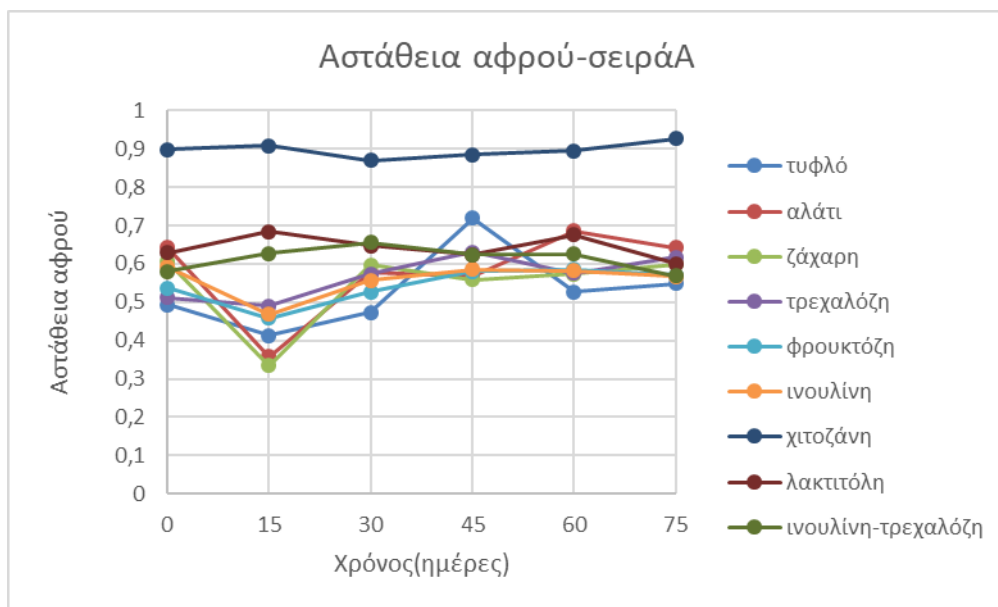
Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, οδήγησε στο συμπέρασμα πως σημαντικές διαφορές στο ιξώδες των δειγμάτων παρουσιάζονται τόσο ως προς το κρυοπροστατευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, όσο και ως προς τη διάρκεια αποθήκευσης και για τις δύο σειρές πειραμάτων.

Κατά την κανονική κατάψυξη, τα δείγματα που περιέχουν ινουλίνη και τρεχαλόζη δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις στις τιμές του ιξώδους τους ως προς το τυφλό δείγμα, ενώ τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, φρουκτόζη, αλάτι, λακτιτόλη, μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης και χιτοζάνη παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στις τιμές του ιξώδους τους από το δείγμα αναφοράς. Πιο σημαντική διαφορά φαίνεται πως εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, καθώς εμφανίζουν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές ιξώδους. Η διάρκεια αποθήκευσης φαίνεται πως επιδρά στις τιμές ιξώδους των δειγμάτων και συγκεκριμένα παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στις τιμές έπειτα από 15 ημέρες αποθήκευσης, όπου οι τιμές ιξώδους των δειγμάτων αυξάνονται και έπειτα από 45 ημέρες αποθήκευσης, όπου οι τιμές ιξώδους των δειγμάτων αρχίζουν να μειώνονται.

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη και τρεχαλόζη δεν εμφανίζουν σημαντικές αλλαγές στις τιμές ιξώδους τους ως προς το τυφλό δείγμα, ενώ τα δείγματα που περιέχουν ινουλίνη, φρουκτόζη, αλάτι, λακτιτόλη, μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης και χιτοζάνη παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις στις τιμές του ιξώδους τους ως προς το δείγμα αναφοράς. Και σε αυτή την περίπτωση τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη εμφανίζουν τη μεγαλύτερη διαφορά από το αντίστοιχο τυφλό, και εμφανίζουν πάλι αρκετά χαμηλές τιμές ιξώδους. Η διάρκεια αποθήκευσης επιδρά στην τιμή ιξώδους των δειγμάτων και συγκεκριμένα παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές στις τιμές κατά τον τρίτο και τέταρτο κύκλο κατάψυξης-απόψυξης, δηλαδή έπειτα από 45 και 60 ημέρες αποθήκευσης, όπου οι τιμές ιξώδους αρχίζουν να μειώνονται σημαντικά.

ΑΦΡΙΣΜΟΣ

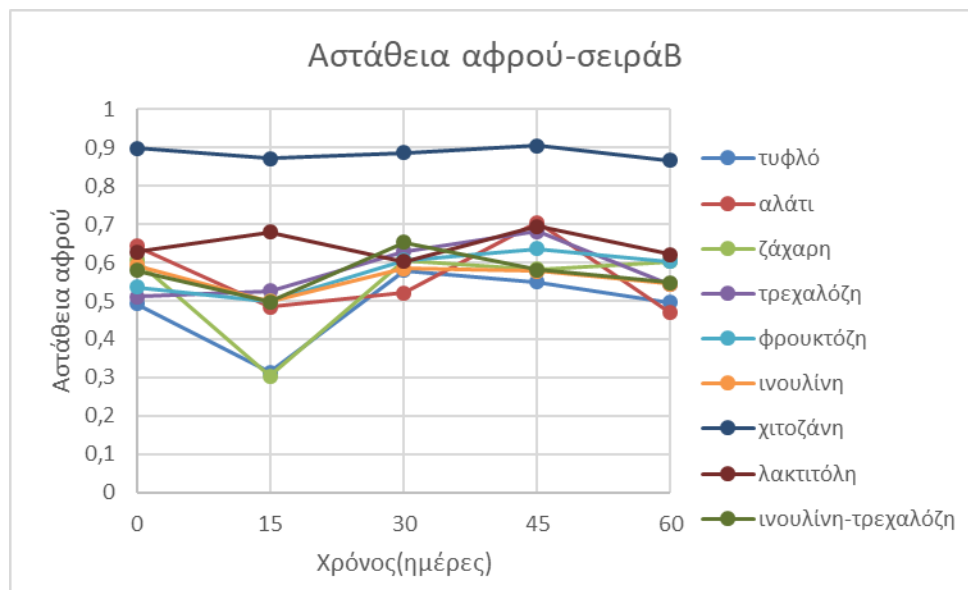
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 27 Μεταβολή της αστάθειας αφρού των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως όλα τα κρουοπροστατευτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν οδήγησαν σε αύξηση της αστάθειας αφρού, καθώς παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς. Μεγαλύτερη αστάθεια αφρού εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη και έπειτα αυτά που περιέχουν λακτιτόλη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης. Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν παρεμφερείς τιμές, ενώ τις χαμηλότερες τιμές αστάθειας αφρού εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 28 Μεταβολή της αστάθειας αφρού των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται πως η προσθήκη κρυσταλλικών υλικών οδηγεί στην αύξηση της αστάθειας αφρού, ενώ τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη παρουσιάζουν την υψηλότερη αστάθεια αφρού. Τις μικρότερες τιμές αστάθειας αφρού εμφανίζουν το τυφλό δείγμα, καθώς και τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη.

Με τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων συμπεραίνεται πως και ο χρόνος αποθήκευσης και το είδος του κρυσταλλικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε επιδρούν σημαντικά στην τιμή της αστάθειας αφρού των δειγμάτων.

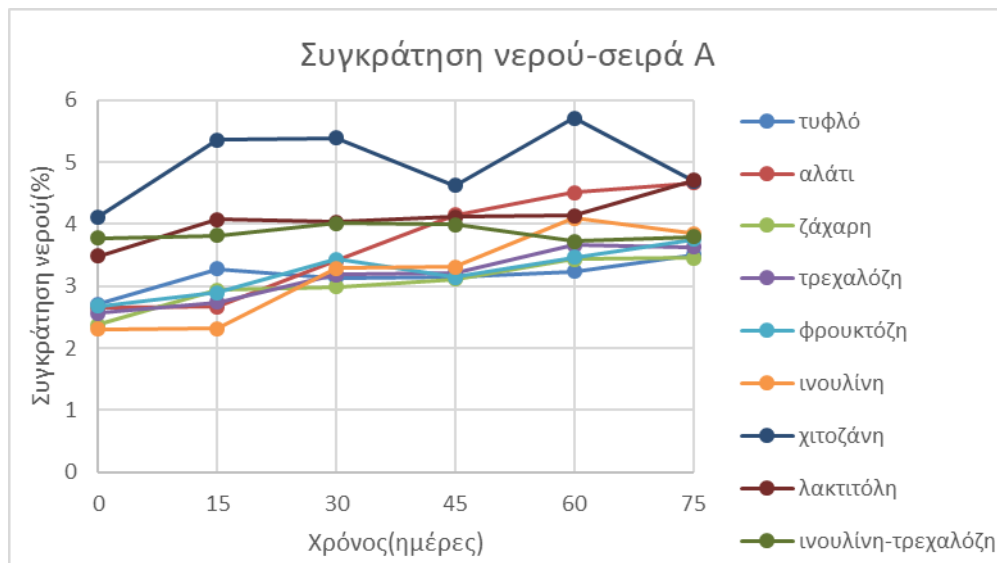
Στην περίπτωση της κανονικής κατάψυξης, παρατηρείται πως τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη, ζάχαρη, ινουλίνη, τρεχαλόζη, αλάτι και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τα δείγματα χωρίς κρυσταλλικό υλικό, ενώ σημαντικές διαφορές ως προς το δείγμα αναφοράς παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη και χιτοζάνη. Τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη φαίνεται πως εμφανίζουν τις πιο σημαντικές διαφορές ως προς τυφλό δείγμα, καθώς παρουσιάζουν τις πιο υψηλές τιμές αστάθειας αφρού. Σημαντικές διαφορές ως προς το χρόνο φαίνεται να παρατηρούνται μόνο έπειτα από 15 ημέρες αποθήκευσης, όπου παρατηρείται μία μείωση στις τιμές αστάθειας αφρού των δειγμάτων.

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, είναι εμφανές πως μόνο τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς το τυφλό δείγμα, ενώ όλα υπόλοιπα δείγματα φαίνεται πως παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις τιμές αστάθειας αφρού ως προς το δείγμα αναφοράς, με πιο σημαντικές αυτές των δειγμάτων της

χιτοζάνης, αφού αυτή παρέχει τα δείγματα με την υψηλότερη αστάθεια αφρού. Και σε αυτή την περίπτωση σημαντικές διαφορές ως προς το χρόνο παρατηρούνται μετά από 15 ημέρες, δηλαδή μετά τον πρώτο κύκλο κατάψυξης-απόψυξης, όπου οι τιμές αστάθειας αφρού εμφανίζουν σημαντική μείωση.

ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

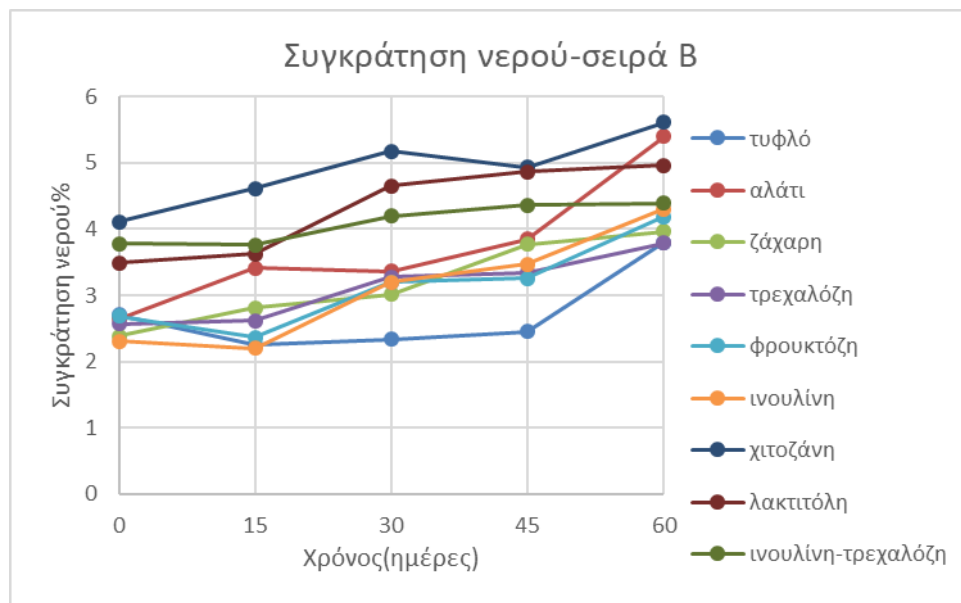
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 29 Μεταβολή της συγκράτησης νερού των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Τα περισσότερα δείγματα εμφανίζουν τιμές συγκράτησης νερού υψηλότερες από τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος, επομένως συμπεραίνεται πως τα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζουν κρυσταλλοπροστατευτική δράση. Τις υψηλότερες τιμές συγκράτησης νερού στην κανονική κατάψυξη παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, λακτιτόλη, καθώς και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης. Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές με τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς, ενώ τις μικρότερες τιμές συγκράτησης νερού εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 30 Μεταβολή της συγκράτησης νερού των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Και στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα πρόσθετα φαίνεται πως παρουσιάζουν κρυοπροστατευτική δράση, καθώς τα δείγματα που περιέχουν κρυοπροστατευτικό υλικό, έχουν τη δυνατότητα να συγκρατούν περισσότερο νερό από ότι ένα δείγμα χωρίς πρόσθετο. Είναι εμφανές πως τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, λακτιτόλη, αλλά και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης εμφανίζουν υψηλές τιμές συγκράτησης νερού. Ακολουθούν τα δείγματα που περιέχουν αλάτι, ζάχαρη τρεχαλόζη και έπειτα φρουκτόζη. Το τυφλό δείγμα εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές συγκράτησης νερού.

Και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται πως με το πέρασμα του χρόνου αποθήκευσης τα δείγματα αυξάνουν την ικανότητά τους να συγκρατούν νερό.

Έπειτα από στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, είναι εμφανές πως τόσο το είδος του κρυοπροστατευτικού υλικού που χρησιμοποιείται, όσο και η διάρκεια αποθήκευσης των δειγμάτων επιδρούν στην ικανότητα συγκράτησης νερού και στις δύο σειρές πειραμάτων.

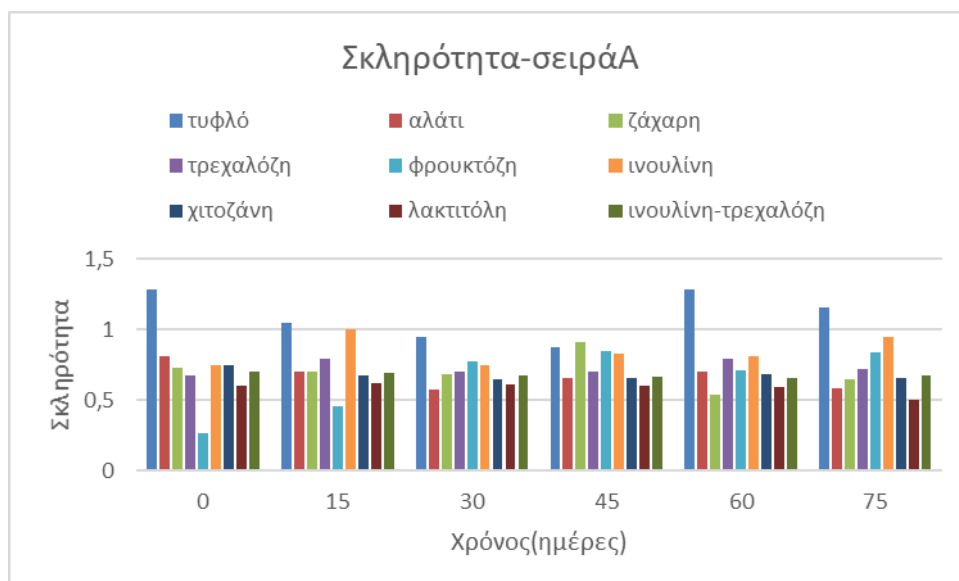
Κατά την κανονική κατάψυξη, παρατηρούνται μικρές διαφορές στις τιμές συγκράτησης νερού των δειγμάτων που περιέχουν ζάχαρη, τρεχαλόζη, ινουλίνη και φρουκτόζη σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές στα δείγματα που δεν περιέχουν κρυοπροστατευτικό υλικό, ενώ τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές τους από τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς, με πιο σημαντικές αποκλίσεις αυτές των δειγμάτων που περιέχουν χιτοζάνη, τα οποία δίνουν πηγμένα με μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού από τα υπόλοιπα δείγματα. Στην κανονική κατάψυξη παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές στις τιμές συγκράτησης νερού ως προς τη διάρκεια αποθήκευσης, έπειτα από 15 ημέρες αποθήκευσης, που η

ικανότητα συγκράτησης νερού των πηγμάτων αυξάνεται και έπειτα από 60 ημέρες αποθήκευσης που αυξάνεται ακόμα περισσότερο.

Κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, φαίνεται πως όλα τα δείγματα παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις τιμές συγκράτησης νερού σε σχέση με το τυφλό δείγμα, ενώ και σε αυτή την περίπτωση τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, λακτιτόλη αλλά και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης εμφανίζουν αρκετά υψηλές τιμές συγκράτησης νερού, με τα δείγματα της χιτοζάνης να δίνουν πηγμάτα ικανά να συγκρατήσουν τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού. Στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, σημαντικές διαφορές ως προς τη διάρκεια αποθήκευσης εμφανίζονται μετά το δεύτερο κύκλο κατάψυξης-απόψυξης, δηλαδή έπειτα από 30 ημέρες αποθήκευσης, και μετά τον τέταρτο κύκλο κατάψυξης-απόψυξης, δηλαδή έπειτα από 60 ημέρες αποθήκευσης. Και στις δύο περιπτώσεις η ικανότητα συγκράτησης νερού των πηγμάτων αυξάνεται σημαντικά.

ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

➤ Α' σειρά πειραμάτων

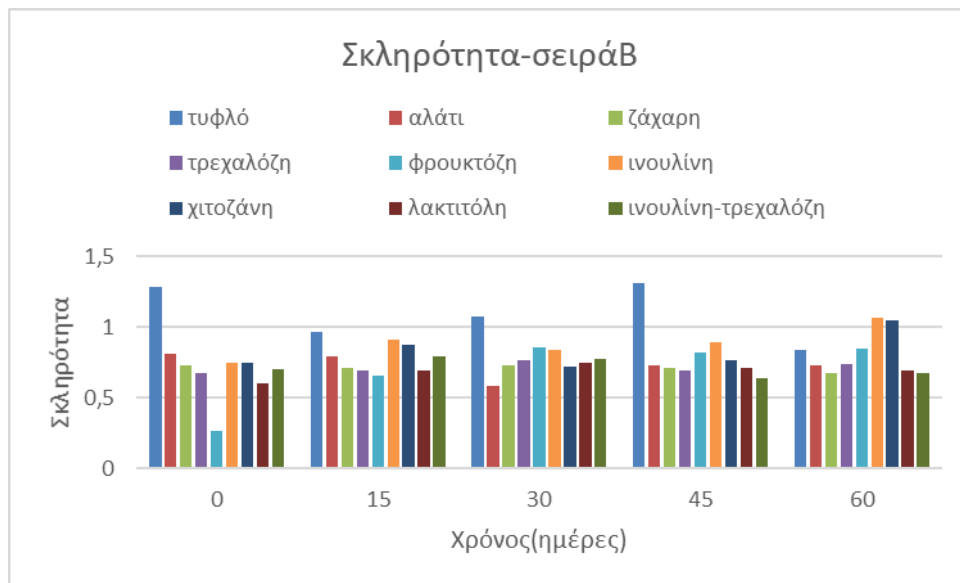


Διάγραμμα 31 Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως όσα δείγματα περιέχουν κάποιο κρυσταλλικό υλικό εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας από τις αντίστοιχες τιμές του δείγματος αναφοράς. Τα δείγματα που εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές σκληρότητας είναι αυτά που περιέχουν ινουλίνη, ενώ χαμηλότερες τιμές σκληρότητας εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη. Ακόμα, η

διάρκεια αποθήκευσης δεν φαίνεται να έχει επίδραση στις τιμές της σκληρότητας, καθώς δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές με το πέρασμά της.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 32 Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (B σειρά)

Και στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη τα δείγματα που περιέχουν κάποιο κρυοπροστατευτικό υλικό εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας από τα δείγματα που δεν περιέχουν. Τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη, λακτιτόλη, καθώς και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης εμφανίζουν πιο χαμηλές τιμές σκληρότητας, ενώ τα δείγματα που περιέχουν ινουλίνη εμφανίζουν υψηλότερες τιμές σκληρότητας. Και σε αυτή την περίπτωση η διάρκεια αποθήκευσης δεν φαίνεται να επιδρά σημαντικά στις τιμές της σκληρότητας.

Έπειτα από στατιστική επεξεργασία, δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα πως παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στη σκληρότητα των δειγμάτων και στις δύο σειρές πειραμάτων, ως προς το κρυοπροστατευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, ενώ δεν παρουσιάζονται σημαντικές αλλαγές ως προς τη διάρκεια αποθήκευσης.

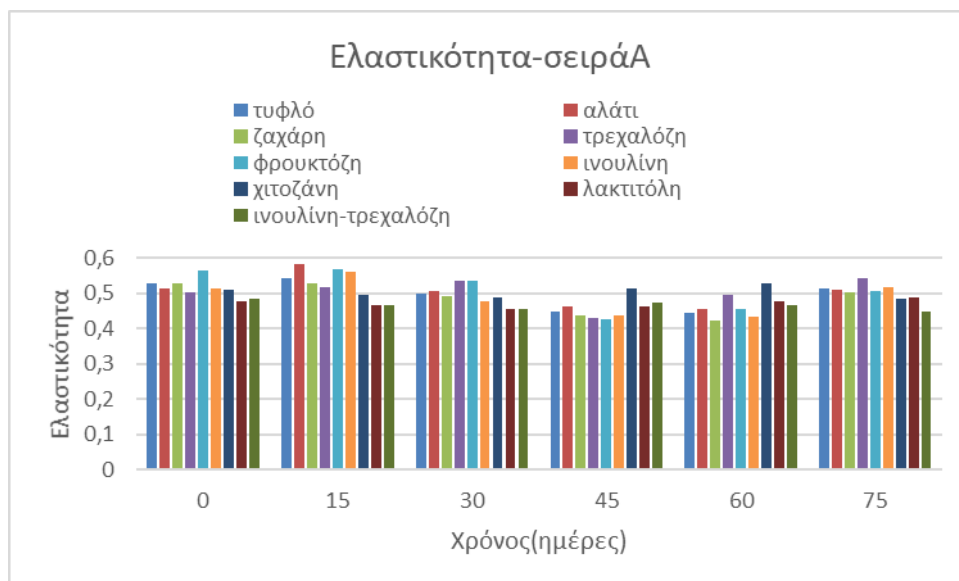
Στην πρώτη σειρά πειραμάτων, δηλαδή στην κανονική κατάψυξη, όλα τα δείγματα που περιέχουν κάποιο κρυοπροστατευτικό υλικό παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις τιμές της σκληρότητάς τους από το αντίστοιχο τυφλό δείγμα, με πιο σημαντικές διαφορές αυτές των δειγμάτων που περιέχουν λακτιτόλη. Τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν αρκετά πιο χαμηλές τιμές σκληρότητας από τα υπόλοιπα δείγματα.

Και στη δεύτερη σειρά πειραμάτων, δηλαδή στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, όλα τα δείγματα που περιέχουν κάποιο

κρουπροστατευτικό υλικό παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις τιμές της σκληρότητάς τους ως προς το δείγμα αναφοράς, ενώ τις πιο σημαντικές διαφορές ως προς το τυφλό δείγμα παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη, τα οποία εμφανίζουν αρκετά χαμηλές τιμές σκληρότητας.

ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

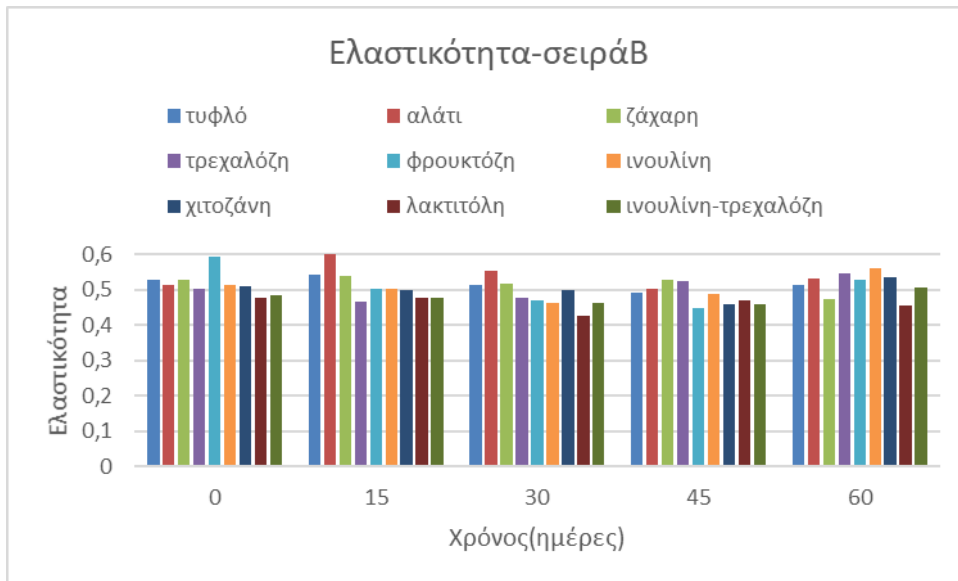
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 33 Μεταβολή της ελαστικότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Τα δείγματα που περιέχουν κάποιο κρουπροστατευτικό υλικό φαίνεται να εμφανίζουν τιμές ελαστικότητας παραπλήσιες με αυτές του τυφλού δείγματος. Τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης εμφανίζουν σχετικά χαμηλές τιμές ελαστικότητας, καθώς και μία πιο σταθερή συμπεριφορά. Αντιθέτως, τα δείγματα που περιέχουν αλάτι, τρεχαλόζη και φρουκτόζη παρουσιάζουν πιο υψηλές τιμές ελαστικότητας από τα υπόλοιπα δείγματα.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 34 Μεταβολή της ελαστικότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

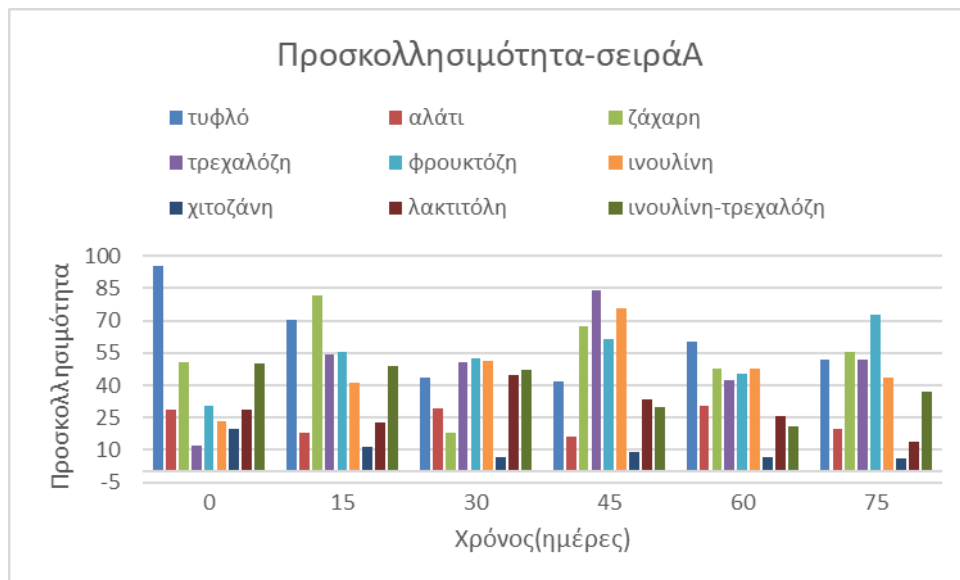
Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως τα δείγματα που περιέχουν αλάτι εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές ελαστικότητας και μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του δείγματος αναφοράς, ενώ ελαφρώς μικρότερες τιμές εμφανίζουν το τυφλό δείγμα και τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη. Τις μικρότερες τιμές ελαστικότητας κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη.

Έπειτα από στατιστική επεξεργασία, δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα πως η διάρκεια αποθήκευσης κατά την κανονική κατάψυξη φαίνεται να επιδρά στην ελαστικότητα των δειγμάτων, σε αντίθεση με την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη. Σημαντικές διαφορές στις τιμές της ελαστικότητας των δειγμάτων φαίνεται να παρουσιάζονται έπειτα από 45 και 60 ημέρες αποθήκευσης, όπου τα δείγματα εμφανίζουν μείωση στην τιμή της ελαστικότητάς τους. Το είδος του κρουπροστατευτικού υλικού δεν επιδρά στις τιμές ελαστικότητας των δειγμάτων κατά την κανονική κατάψυξη.

Κατά τη διάρκεια της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, το είδος του κρουπροστατευτικού υλικού επιδρά στις τιμές ελαστικότητας των δειγμάτων. Τα δείγματα που φαίνεται να εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στις τιμές της ελαστικότητάς τους ως προς το αντίστοιχο τυφλό δείγμα είναι αυτά που περιέχουν χιτοζάνη, λακτιτόλη και μείγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης. Τις πιο σημαντικές διαφορές ως προς το δείγμα αναφοράς παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη, καθώς εμφανίζουν αρκετά χαμηλές τιμές ελαστικότητας. Τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη φαίνεται πως δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές στις τιμές της ελαστικότητάς τους από τις τιμές του αντίστοιχου τυφλού.

ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

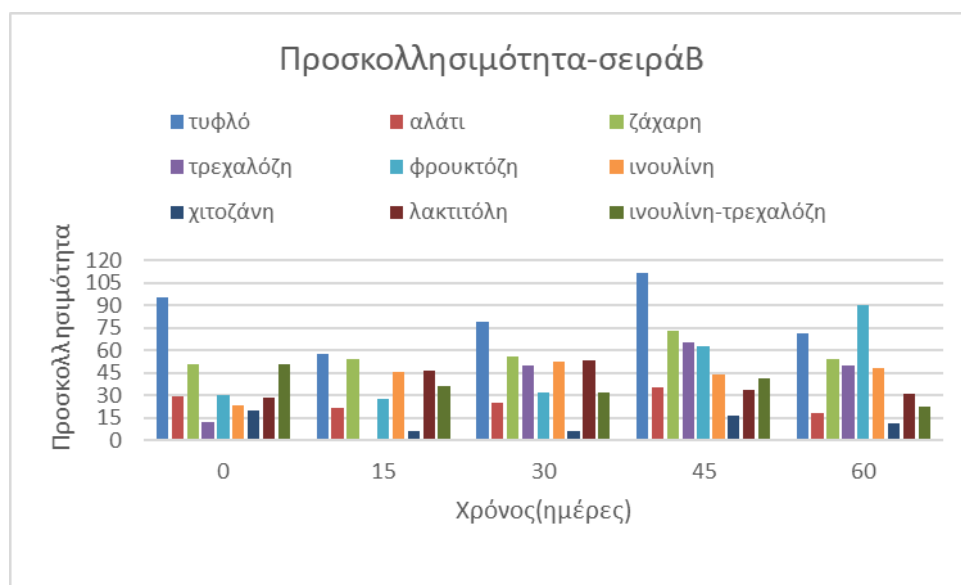
➤ Α' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 35 Μεταβολή της προσκολλησιμότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως οι τιμές της προσκολλησιμότητας εμφανίζουν έντονες αυξομειώσεις για τα περισσότερα δείγματα. Τα δείγματα που περιέχουν αλάτι, χιτοζάνη και λακτιτόλη, εμφανίζουν πολύ χαμηλές τιμές προσκολλησιμότητας, με τη χιτοζάνη να εμφανίζει τις μικρότερες, ενώ τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές προσκολλησιμότητας και ακολουθούν το τυφλό δείγμα, καθώς και τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, τρεχαλόζη και ινουλίνη.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 36 Μεταβολή της προσκολλησιμότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, όλα τα δείγματα παρουσιάζουν χαμηλές τιμές προσκολλησιμότητας και αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές του τυφλού δείγματος. Τις πιο μεγάλες τιμές προσκολλησιμότητας εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, ενώ αρκετά μικρές τιμές προσκολλησιμότητας εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν αλάτι και τις πιο μικρές από όλα τα δείγματα, εκείνα που περιέχουν χιτοζάνη.

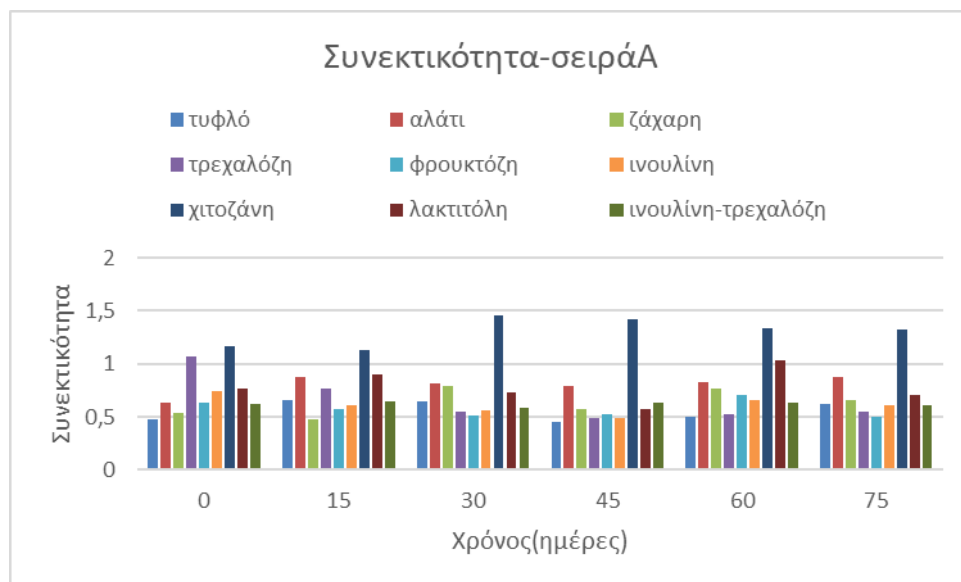
Με στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, παρατηρείται πως ο χρόνος δεν επιδρά στις τιμές προσκολλησιμότητας των δειγμάτων, ενώ το είδος του κρυσταλλικού επιδρά τόσο στην κανονική όσο και στην επιταχυνόμενη κατάψυξη.

Στην κανονική κατάψυξη, τα δείγματα που δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές της προσκολλησιμότητάς τους από τις αντίστοιχες του τυφλού δείγματος είναι αυτά που περιέχουν ζάχαρη, φρουκτόζη, τρεχαλόζη και ινουλίνη, ενώ μεγάλες αποκλίσεις παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν μίγμα ινουλίνης, τρεχαλόζης, λακτιτόλη, αλάτι και χιτοζάνη. Τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη εμφανίζουν τις πιο σημαντικές διαφορές στις τιμές τους από το δείγμα αναφοράς, καθώς πρόκειται για δείγματα με σημαντικά χαμηλές τιμές προσκολλησιμότητας.

Στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, όλα τα δείγματα φαίνεται να παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις στις τιμές της προσκολλησιμότητάς τους από τις αντίστοιχες τιμές του δείγματος αναφοράς, ενώ τις μεγαλύτερες αποκλίσεις εμφανίζουν και σε αυτή την περίπτωση τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, τα οποία παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές προσκολλησιμότητας.

ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

➤ Α' σειρά πειραμάτων

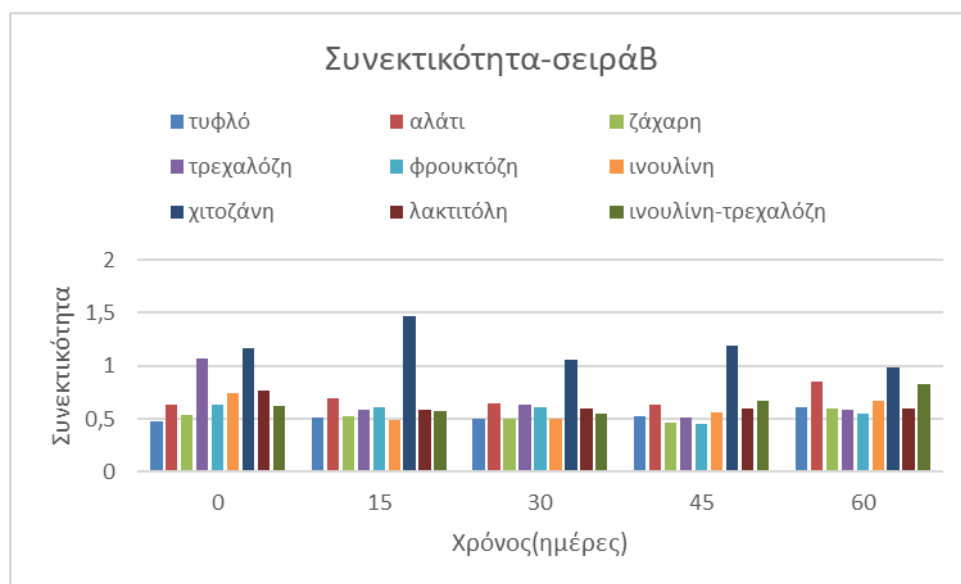


Διάγραμμα 37 Μεταβολή της συνεκτικότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την αποθήκευση σε κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα πως τα δείγματα τα οποία περιέχουν χιτοζάνη εμφανίζουν τις πιο υψηλές τιμές συνεκτικότητας από όλα τα δείγματα και στη συνέχεια ακολουθούν τα δείγματα που περιέχουν αλάτι και λακτιτόλη. Τις πιο χαμηλές τιμές συνεκτικότητας εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, φρουκτόζη, ινουλίνη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, των οποίων οι τιμές είναι παραπλήσιες με τις αντίστοιχες τιμές συνεκτικότητας του δείγματος αναφοράς.

Παρατηρείται πως τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης παρουσιάζουν μία πιο σταθερή συμπεριφορά με χαμηλές τιμές συνεκτικότητας, ενώ τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές συνεκτικότητας. Οι τιμές της συνεκτικότητας δεν φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά με το πέρασμα του χρόνου αποθήκευσης.

➤ Β' σειρά πειραμάτων



Διάγραμμα 38 Μεταβολή της συνεκτικότητας των δειγμάτων του ασπραδιού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (Β σειρά)

Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, όλα τα δείγματα που περιέχουν κάποιο κρουπροστατευτικό υλικό εμφανίζουν τιμές συνεκτικότητας μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές του τυφλού δείγματος. Τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές ελαστικότητας και στη συνέχεια υψηλές τιμές ελαστικότητας εμφανίζουν τα δείγματα που περιέχουν αλάτι και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης. Τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη εμφανίζουν τις πιο χαμηλές τιμές συνεκτικότητας, παραπλήσιες με τις τιμές του δείγματος αναφοράς.

Έπειτα από στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, γίνεται εμφανές πως σημαντικές διαφορές στη συνεκτικότητα των δειγμάτων παρουσιάζονται μόνο ως προς το κρουπροστατευτικό υλικό που χρησιμοποιείται, τόσο στην κανονική όσο και στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη. Η διάρκεια αποθήκευσης δεν φαίνεται να επιδρά στις τιμές συνεκτικότητας των δειγμάτων.

Στην περίπτωση της κανονικής κατάψυξης τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη, ινουλίνη, μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, ζάχαρη και τρεχαλόζη δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις τιμές τους ως προς το δείγμα αναφοράς, ενώ τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη, αλάτι και χιτοζάνη παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς το τυφλό δείγμα. Τις πιο μεγάλες αποκλίσεις φαίνεται να παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, καθώς εμφανίζουν πολύ υψηλές τιμές συνεκτικότητας.

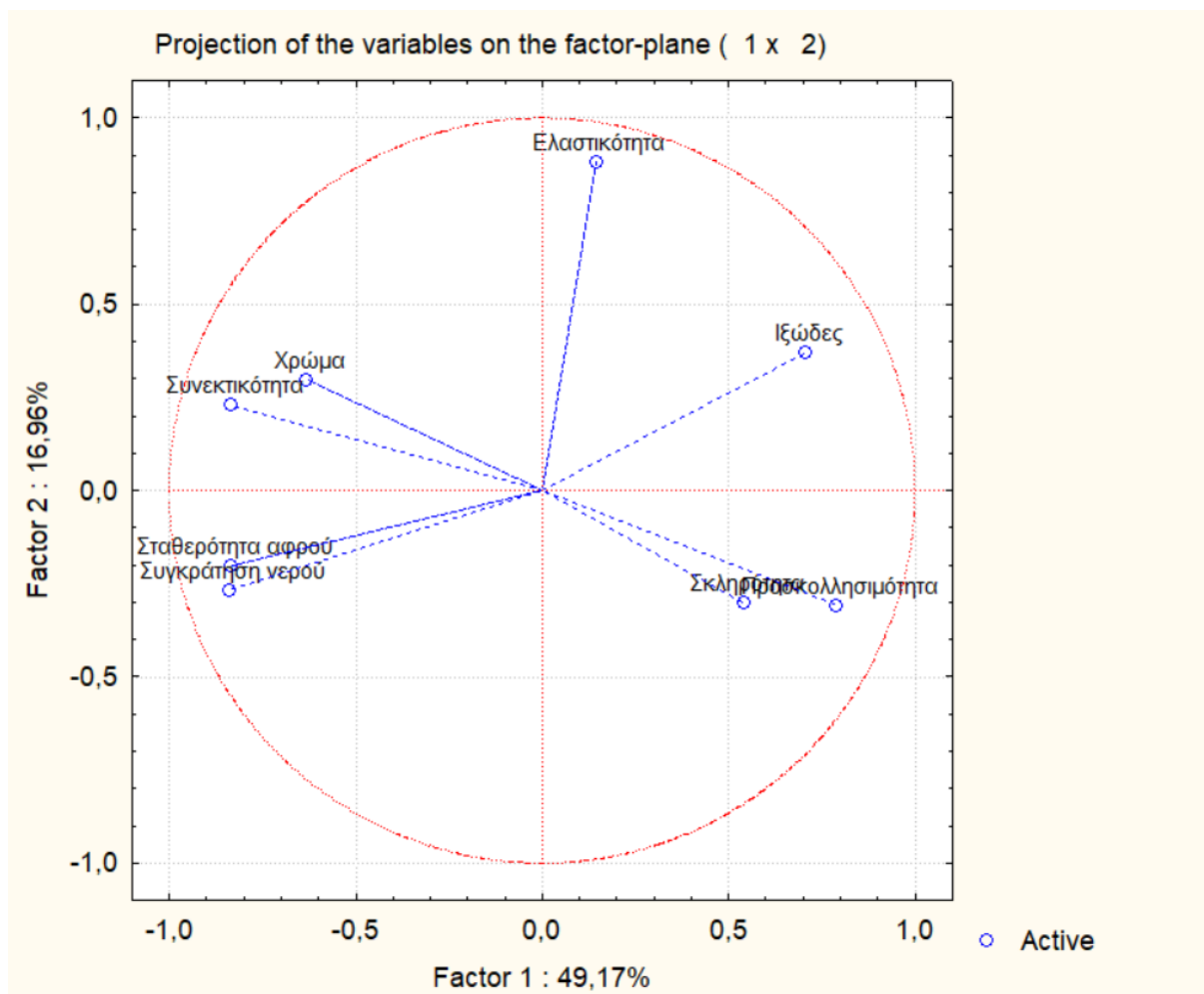
Κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα δείγματα που περιέχουν ζάχαρη, φρουκτόζη, ινουλίνη, λακτιτόλη και μίγμα ινουλίνης-

τρεχαλόζης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις τιμές της συνεκτικότητάς τους ως προς τις αντίστοιχες τιμές του δείγματος αναφοράς, σε αντίθεση με τα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη, αλάτι και χιτοζάνη. Και σε αυτή την περίπτωση τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις στις τιμές συνεκτικότητας ως προς το τυφλό δείγμα, καθώς τα δείγματα χιτοζάνης παρουσιάζουν αρκετά υψηλές τιμές συνεκτικότητας.

5.4 Ανάλυση κύριων συνιστωσών για το ασπράδι του αυγού στις δύο σειρές πειραμάτων (PCA)

➤ Α' σειρά πειραμάτων

Η παρακάτω ανάλυση κύριων συνιστωσών αφορά στα δείγματα της πρώτης σειράς πειραμάτων. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών με τις παραμέτρους που μελετήθηκαν.

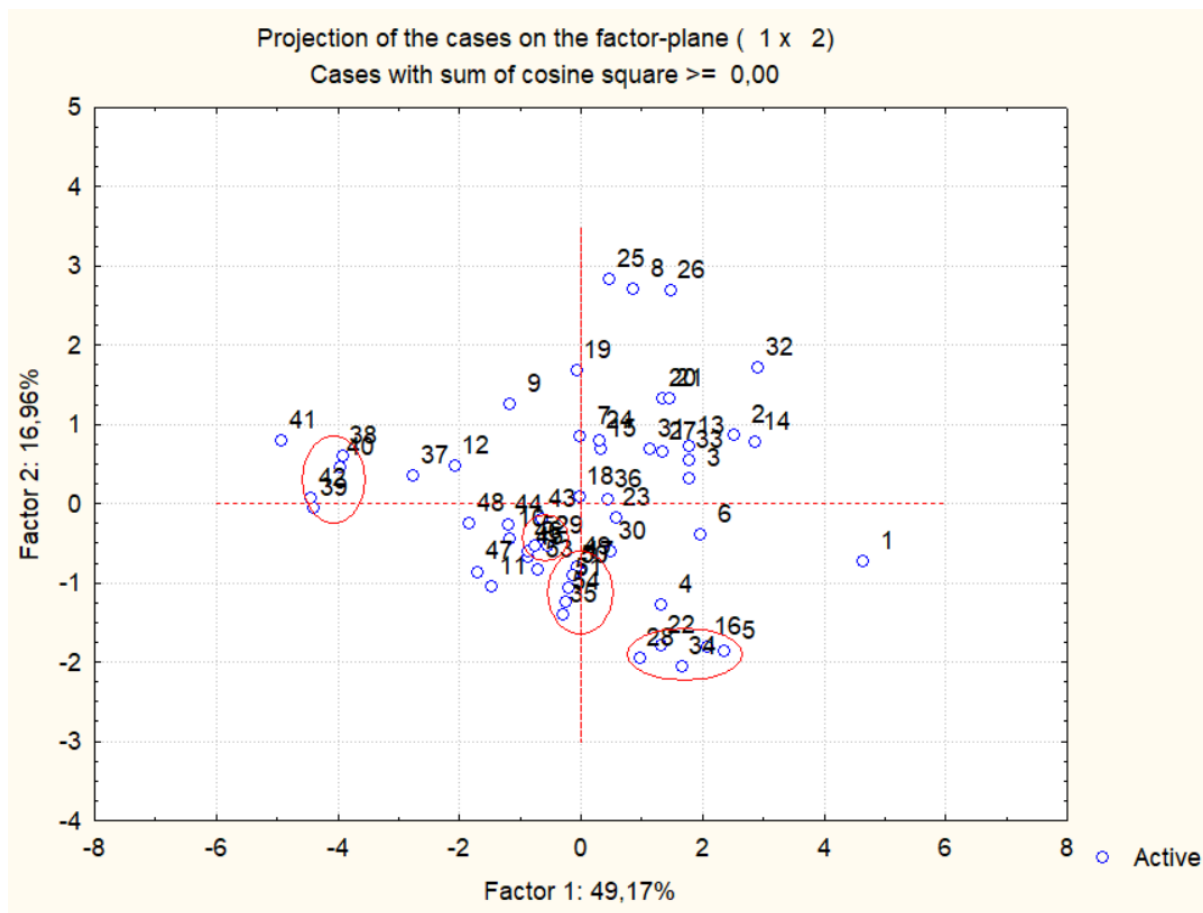


Διάγραμμα 39 Γραφική παράσταση συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών με τις παραμέτρους για τα δείγματα του ασπραδιού του αυγού κατά την κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Η συνεισφορά των δύο κύριων συνιστωσών στη συνολική διακύμανση του πειράματος είναι για την πρώτη συνιστώσα 49,17% και για τη δεύτερη συνιστώσα 16,96%.

Από το διάγραμμα 39 δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι αρνητική επίδραση στην κύρια πρώτη συνιστώσα έχουν η σταθερότητα του αφρού, η συγκράτηση του νερού και η συνεκτικότητα. Διαπιστώνεται πως η σταθερότητα του αφρού και η συγκράτηση του νερού συσχετίζονται αρνητικά με τη συνεκτικότητα. Αντίθετα θετική επίδραση φαίνεται πως η προσκολλησιμότητα.

Αντίστοιχα στη δεύτερη κύρια συνιστώσα φαίνεται πως η ελαστικότητα παρουσιάζει θετική επίδραση.



Διάγραμμα 40 Γραφική παράσταση συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών για τα δείγματα του ασπραδιού του αυγού κατά την κανονική κατάψυξη (Α σειρά)

Από το διάγραμμα 40 φαίνεται πως σχηματίζονται 4 ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά.

Τα δείγματα 22,28,34,26 σχηματίζουν μία ομάδα και όπως παρατηρείται τα δείγματα αυτά έχουν κοινή διάρκεια αποθήκευσης, καθώς τα δείγματα αυτά παρέμειναν υπό

αποθήκευση για 45 ημέρες. Κατά την αποθήκευση τους τα δείγματα αυτά φαίνεται πως παρουσιάζουν παρεμφερείς ικανότητες συγκράτησης νερού.

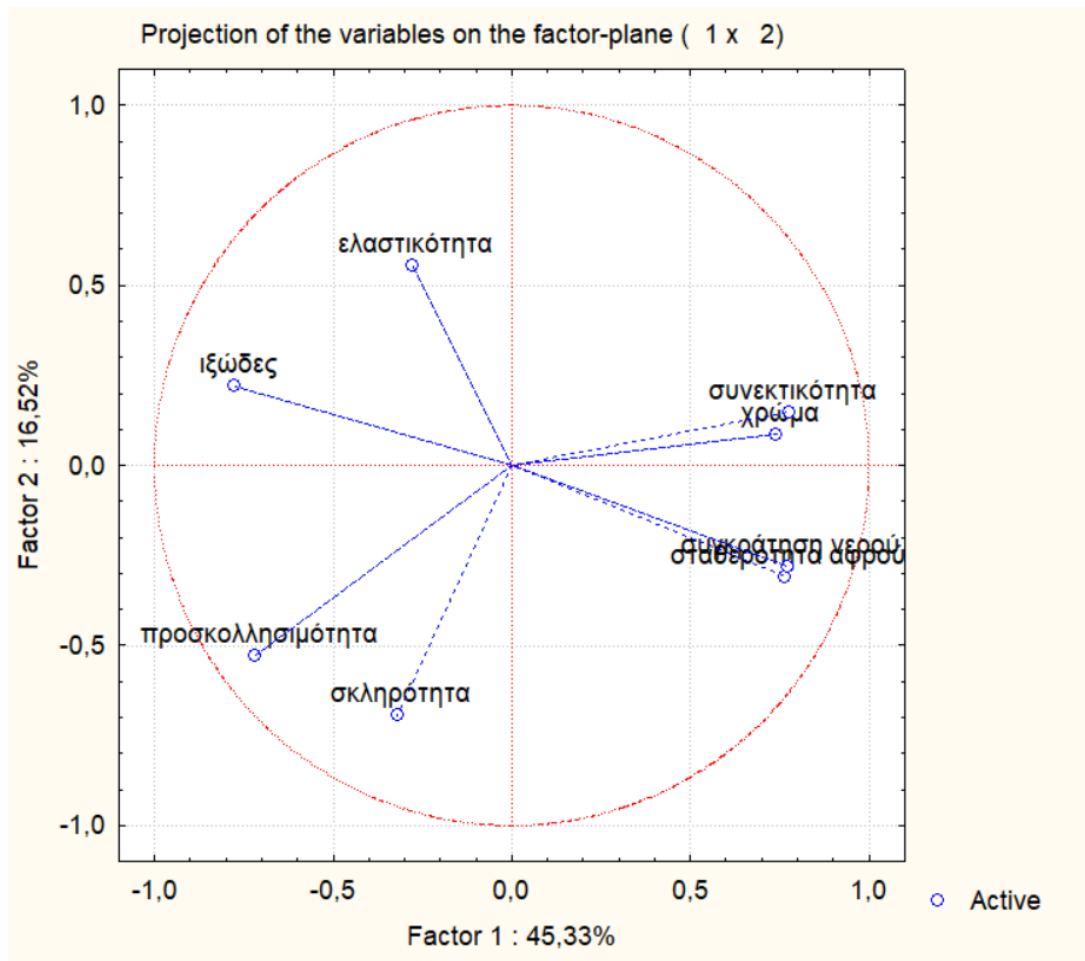
Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από τα δείγματα 38,39,40,42 τα οποία παρουσιάζουν ομοιότητα ως προς το κρυσταλλικό υλικό που περιέχουν, καθώς και τα τέσσερα αυτά δείγματα περιέχουν χιτοζάνη. Τα δείγματα αυτά φαίνεται πως παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές σκληρότητας και ελαστικότητας.

Η τρίτη ομάδα σχηματίζεται από τα δείγματα 49,50,51,54, τα οποία εμφανίζουν ομοιότητα, ως προς το κρυσταλλικό υλικό που περιέχουν, καθώς τα δείγματα αυτά περιέχουν μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης. Τα δείγματα αυτά φαίνεται πως διατηρούν παρόμοιες τιμές χρώματος.

Η τέταρτη ομάδα που φαίνεται πως σχηματίζεται από το διάγραμμα είναι αυτή που περιέχει τα δείγματα 10,29,46,53 τα οποία εμφανίζουν παρεμφερή διάρκεια αποθήκευσης. Συγκεκριμένα τα δείγματα αυτά παρέμειναν μεγάλο χρονικό διάστημα στην κατάψυξη, συγκεκριμένα για 60 ημέρες. Όλα τα δείγματα αυτής της ομάδας παρουσιάζουν πολύ κοντινές τιμές ελαστικότητας.

➤ **Β' σειρά πειραμάτων**

Η παρακάτω ανάλυση κύριων συνιστωσών αφορά στα δείγματα της δεύτερης σειράς πειραμάτων. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών με τις παραμέτρους που μετρήθηκαν.

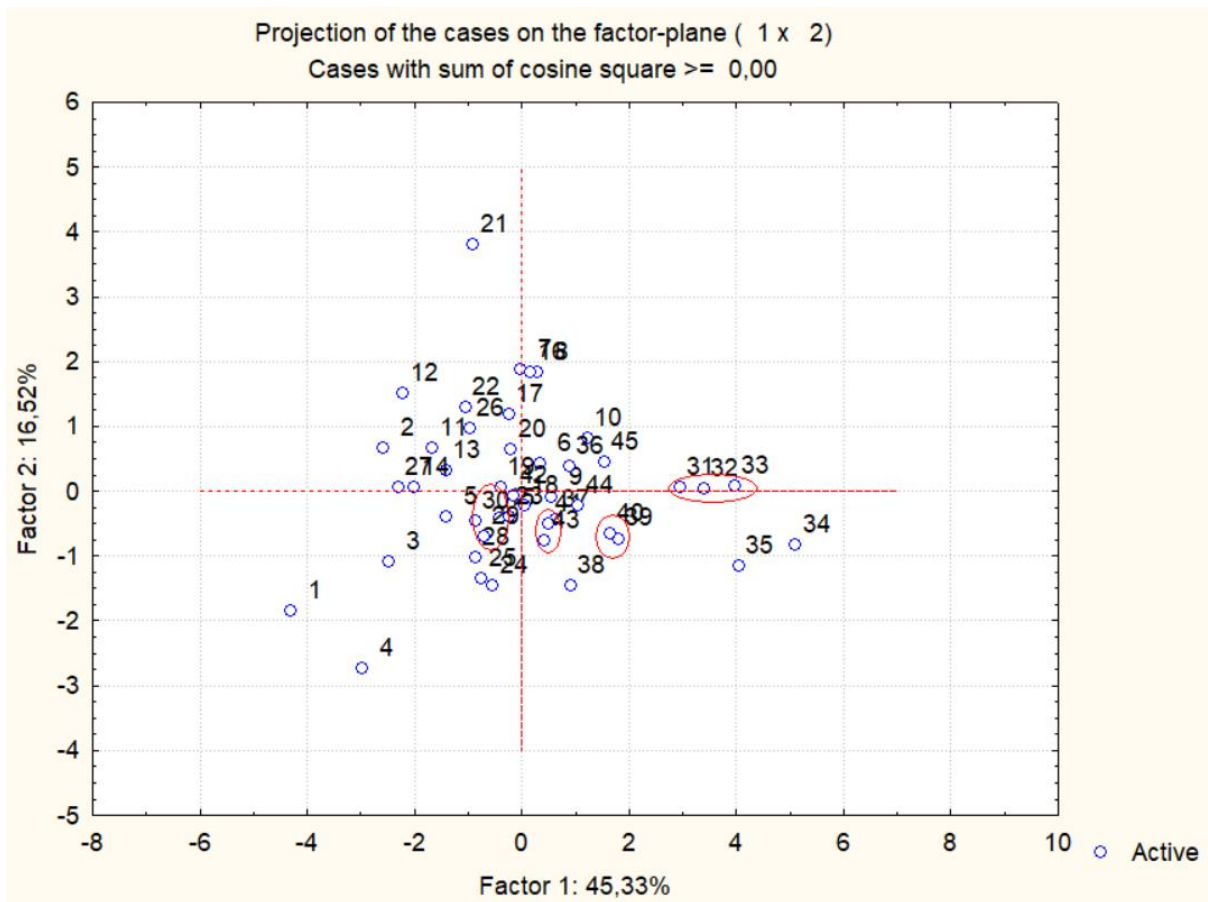


Διάγραμμα 41 Γραφική παράσταση συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών με τις παραμέτρους για τα δείγματα του ασπραδιού του αυγού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη (B σειρά)

Η συνεισφορά των δύο κύριων συνιστωσών στη συνολική διακύμανση του πειράματος είναι για την πρώτη συνιστώσα 45,33% και για τη δεύτερη συνιστώσα 16,52%.

Από το διάγραμμα 41 δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι στην κύρια πρώτη συνιστώσα αρνητική επίδραση έχει το ιξώδες, ενώ θετική επίδραση έχουν η συνεκτικότητα, το χρώμα, η συγκράτηση νερού και η αστάθεια του αφρού του κρόκου.

Στη δεύτερη κύρια συνιστώσα δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια παράμετρος που να παρουσιάζει επίδραση.



Διάγραμμα 42 Γραφική παράσταση συντελεστών συσχέτισης των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών για τα δείγματα του ασπραδιού του αυγού κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη Β σειρά)

Από το διάγραμμα 42 φαίνεται πως σχηματίζονται 4 ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά.

Η πρώτη ομάδα αποτελείται από τα δείγματα 31,32,33 τα οποία παρουσιάζουν ομοιότητα ως προς το κρουπροστατευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, καθώς όλα αυτά τα δείγματα περιέχουν χιτοζάνη. Φαίνεται πως το κοινό χαρακτηριστικό αυτών των δειγμάτων είναι η ελαστικότητα, καθώς εμφανίζουν παρόμοιες τιμές.

Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από τα δείγματα 28,29,30 τα οποία παρουσιάζουν ομοιότητα ως προς το κρουπροστατευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, καθώς τα δείγματα της ομάδας αυτής περιέχουν ινουλίνη. Τα δείγματα αυτής της ομάδας εμφανίζουν αντίστοιχες τιμές χρώματος.

Μία ακόμα ομάδα αποτελείται από τα δείγματα 41,43,44 τα οποία εμφανίζουν όμοιο κρουπροστατευτικό υλικό και συγκεκριμένα περιέχουν μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης. Τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν παρεμφερείς τιμές ελαστικότητας.

Η τέταρτη ομάδα αποτελείται από τα δείγματα 39,40 τα οποία εμφανίζουν ομοιότητα ως προς το κρυοπροστατευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, καθώς τα δείγματα αυτά περιέχουν λακτιτόλη. Παρατηρείται πως τα δείγματα αυτά έχουν αρκετά παρόμοια συμπεριφορά καθώς εμφανίζουν παρόμοιες τιμές χρώματος, ικανότητας συγκράτησης νερού, ελαστικότητας και συνεκτικότητας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα για τον κρόκο του αυγού

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν πως το είδος του κρυσταλλικού επιδρά σημαντικά στο χρώμα του κρόκου του αυγού. Καλύτερη συμπεριφορά φαίνεται να εμφανίζει η χιτοζάνη, η οποία παρουσιάζει υψηλές και σταθερές τιμές χρώματος και χαρίζει στον κρόκο του αυγού ένα έντονο ζωηρό χρώμα. Αντίθετα, τα κρυσταλλικά υλικά που αποδίδουν τις πιο χαμηλές τιμές χρώματος και στις δύο σειρές πειραμάτων είναι η φρουκτόζη, το αλάτι και η ζάχαρη. Το χρώμα του κρόκου του αυγού εξαρτάται και από το χρόνο κατάψυξης, μόνο στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη.

Όσον αφορά στη λειτουργικότητα του κρόκου του αυγού, όπως αυτή εκφράζεται μέσω της γαλακτωματοποίησης, φαίνεται πως όλα τα κρυσταλλικά υλικά που δοκιμάστηκαν δείχνουν κρυσταλλική δράση. Για τη γαλακτωματοποιητική ενεργότητα, όσον αφορά την κανονική κατάψυξη, υψηλές τιμές ενεργότητας αποδίδουν τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη και έπειτα εκείνα με ινουλίνη και τρεχαλόζη, ενώ κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τις τιμές υψηλότερης ενεργότητας δίνουν τα δείγματα που περιέχουν αλάτι. Τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη παρουσιάζουν επίσης αύξηση της ενεργότητας με το πέρασμα του χρόνου. Για τη σταθερότητα των γαλακτωμάτων, όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν δίνουν κρυσταλλική δράση.

Όσον αφορά στη σκληρότητα των δειγμάτων, όσα δείγματα που περιέχουν κάποιο κρυσταλλικό υλικό εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας από τις αντίστοιχες των δειγμάτων χωρίς κρυσταλλικό υλικό. Εξαιρέση αποτελεί η τρεχαλόζη, της οποίας τα δείγματα εμφανίζουν υψηλότερες τιμές σκληρότητας. Ακόμα, τόσο στην κανονική, όσο και στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, παρατηρείται πως αυξάνεται η σκληρότητα των πηγμάτων. Είναι πιθανό η αύξηση στη σκληρότητα των πηγμάτων να προέρχεται από το σχηματισμό διαλυτών συσσωματωμάτων πρωτεϊνών, αντίστοιχων με αυτών που σχηματίζονται στα πρώτα στάδια της θέρμανσης.

Όσον αφορά στην ελαστικότητα των δειγμάτων, στην περίπτωση της κανονικής κατάψυξης, τα περισσότερα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, δείχνουν κρυσταλλική δράση, με την ινουλίνη να παρέχει υψηλές τιμές ελαστικότητας στα δείγματα και τη χιτοζάνη να παρουσιάζει μία αύξηση στην ελαστικότητα των δειγμάτων. Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, οι μεταβολές στις τιμές της ελαστικότητας δεν είναι τόσο αισθητές.

Όσον αφορά στην προσκολλησιμότητα, κατά την κανονική κατάψυξη, τα δείγματα που περιέχουν κάποιο πρόσθετο υλικό δεν δείχνουν κρυσταλλική δράση, καθώς δίνουν τιμές υψηλότερης προσκολλησιμότητας σε σχέση με τις τιμές των δειγμάτων χωρίς πρόσθετο υλικό. Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, χαμηλές τιμές προσκολλησιμότητας δίνουν τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, λακτιτόλη, καθώς και το μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης.

Όσον αφορά στη συνεκτικότητα, οι μεταβολές που παρατηρούνται στα δείγματα είναι σχετικά μικρές. Ωστόσο στην περίπτωση της κανονικής κατάψυξης, έπειτα από 60 ημέρες παρατηρείται μία αύξηση στις τιμές της συνεκτικότητας των δειγμάτων.

6.2 Συμπεράσματα για το ασπράδι του αυγού

Το είδος του κρυοπροστατευτικού φαίνεται πως επιδρά στη λευκότητα των δειγμάτων του ασπραδιού του αυγού, ενώ ο χρόνος δεν επιδρά ούτε στην κανονική ούτε στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη. Ιδιαίτερη δράση φαίνεται πως παρουσιάζει η χιτοζάνη, της οποίας τα δείγματα τόσο για επιταχυνόμενη, όσο και για κανονική κατάψυξη δίνουν υψηλές τιμές λευκότητας. Αντιθέτως, τα δείγματα που περιέχουν ινουλίνη εμφανίζουν μικρές τιμές λευκότητας, κυρίως κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη.

Το ιξώδες φαίνεται πως επηρεάζεται από το είδος του κρυοπροστατευτικού. Η χρήση όλων των κρυοπροστατευτικών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της τιμής του ιξώδους των δειγμάτων, σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή των δειγμάτων χωρίς κρυοπροστατευτικό, ενώ τα δείγματα που φαίνεται να εμφανίζουν τις πιο χαμηλές τιμές ιξώδους είναι εκείνα που περιέχουν λακτιτόλη και χιτοζάνη. Επιπλέον, με το πέρασμα του χρόνου το ιξώδες μειώνεται, επομένως συμπεραίνεται πως επηρεάζεται αρκετά και από το χρόνο αποθήκευσης.

Όσον αφορά στις αφριστικές ιδιότητες, φαίνεται πως κανένα κρυοπροστατευτικό υλικό δεν δείχνει κρυοπροστατευτική δράση, αντιθέτως ενισχύουν την αστάθεια του αφρού. Μεγαλύτερη σταθερότητα αφρού φαίνεται να εμφανίζουν τα δείγματα χωρίς κρυοπροστατευτικό υλικό.

Η συγκράτηση του νερού εξαρτάται τόσο από το είδος του κρυοπροστατευτικού υλικού, όσο και από το χρόνο αποθήκευσης. Με το πέρασμα του χρόνου, η δυνατότητα συγκράτησης νερού αυξάνεται, ενώ τόσο στην κανονική όσο και στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, λακτιτόλη και τρεχαλόζη-ινουλίνη φαίνεται πως παρουσιάζουν την καλύτερη συμπεριφορά, καθώς συγκρατούν μεγαλύτερη ποσότητα νερού.

Η σκληρότητα φαίνεται πως επηρεάζεται από το είδος του κρυοπροστατευτικού, ενώ ο χρόνος αποθήκευσης σε κατάψυξη δεν επηρεάζει τις τιμές σκληρότητας των δειγμάτων. Όλα τα κρυοπροστατευτικά υλικά, δίνουν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας από ότι τα δείγματα χωρίς κρυοπροστατευτικό υλικό. Στην περίπτωση της κανονικής κατάψυξης, όλα τα πρόσθετα έχουν κρυοπροστατευτική δράση και δίνουν χαμηλές και σταθερές τιμές σκληρότητας, με εξαίρεση τα δείγματα που περιέχουν φρουκτόζη και ινουλίνη που παρουσιάζουν διακυμάνσεις στη σκληρότητα. Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης αλλοίωσης κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τα πρόσθετα δρουν επίσης ως κρυοπροστατευτικά, παρουσιάζοντας χαμηλές και σταθερές τιμές σκληρότητας.

Η ελαστικότητα των δειγμάτων φαίνεται να παρουσιάζει μικρές μεταβολές, ενώ τα περισσότερα δείγματα δίνουν σχετικά χαμηλές και σταθερές τιμές ελαστικότητας. Κατά την κανονική κατάψυξη τις πιο χαμηλές τιμές δίνουν τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη και μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, ενώ κατά την επιταχυνόμενη αλλοίωση

κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, τις πιο χαμηλές τιμές ελαστικότητας παρουσιάζουν τα δείγματα που περιέχουν λακτιτόλη. Η απώλεια της ελαστικότητας των πηγμάτων μετά την κατάψυξη, θα μπορούσε να αποδοθεί στην αδυναμία σχηματισμού δεσμών υδρογόνου μεταξύ των πρωτεϊνών του λευκώματος, κατά τη φάση της ψύξης των πηγμάτων. Οι δεσμοί αυτοί είναι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη της ελαστικότητας στα πηγμάτα. Είναι πιθανόν, η μετουσίωση των πρωτεϊνών του λευκώματος να ευθύνεται για το φαινόμενο αυτό.

Η προσκολλησιμότητα εξαρτάται από το είδος του κρυσταλλοπροστατευτικού, αλλά όχι από το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη. Όλα τα δείγματα δίνουν χαμηλές τιμές προσκολλησιμότητας και στην κανονική και στην επιταχυνόμενη αλλοίωση κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη, ενώ τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη, λακτιτόλη και αλάτι παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές προσκολλησιμότητας. Συμπεραίνεται πως όλα τα πρόσθετα υλικά παρουσιάζουν κρυσταλλοπροστατευτική δράση.

Η συνεκτικότητα εξαρτάται και αυτή μόνο από το είδος του κρυσταλλοπροστατευτικού που χρησιμοποιείται και όχι από το χρονικό διάστημα αποθήκευσης. Και στις δύο περιπτώσεις αποθήκευσης, τα δείγματα που περιέχουν χιτοζάνη έχουν τις πιο υψηλές τιμές συνεκτικότητας.

6.3 Προτάσεις

Περαιτέρω μελέτη θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί για τη χιτοζάνη, καθώς απέδειξε κρυσταλλοπροστατευτική δράση διατηρώντας κάποιες λειτουργικές ιδιότητες τόσο του κρόκου του αυγού όσο και του ασπραδιού του αυγού (χρώμα, δυνατότητα συγκράτησης νερού, προσκολλησιμότητα). Η μελέτη της χιτοζάνης θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και σε ολόκληρο αυγό και σε διαφορετικές αναλογίες, καθώς πολύ μικρή περιεκτικότητα αυτής έδωσε σημαντικές διαφορές στις ιδιότητες. Ακόμη θα μπορούσε να εξεταστεί σε άλλα είδη τροφίμων, ιδιαίτερα σε τρόφιμα όπου είναι σημαντική η συγκράτηση νερού, καθώς πολύ μικρή ποσότητα χιτοζάνης ήταν αρκετή, ώστε να συγκρατήσει μεγάλη ποσότητα νερού. Το ίδιο ισχύει και για το μίγμα ινουλίνης-τρεχαλόζης, αλλά και για τη λακτιτόλη. Η λακτιτόλη απέδειξε επίσης κρυσταλλοπροστατευτική δράση στον κρόκο του αυγού και ιδιαίτερα στη γαλακτωματοποιητική ικανότητά του, τόσο στην ενεργότητα όσο και στη σταθερότητα. Θα μπορούσε επομένως να μελετηθεί και σε άλλα συστήματα τροφίμων όπου οι γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες είναι σημαντικές.

Η τρεχαλόζη εμφάνισε στην περίπτωση του κρόκου του αυγού κρυσταλλοπροστατευτική δράση ως προς τις γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες, αλλά και στις ιδιότητες υφής. Θα μπορούσε να μελετηθεί και σε άλλα συστήματα τροφίμων, ιδιαίτερα σε τέτοια όπου απαιτείται σκληρότητα, καθώς παρατηρήθηκε πως μπορεί να επιτυγχάνει υψηλές τιμές σκληρότητας. Η μελέτη της θα μπορούσε να γίνει σε διαφορετικές περιεκτικότητες, ανάλογα με την επιθυμητή σκληρότητα. Υψηλές τιμές σκληρότητας προέκυψαν επίσης και από τα δείγματα που περιείχαν ινουλίνη, οπότε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί περαιτέρω μελέτη της τόσο σε διαφορετικές περιεκτικότητες όσο και σε διαφορετικά συστήματα τροφίμων τα οποία διατηρούνται υπό κατάψυξη.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kiosseoglou, V., Paraskevopoulou, A., 2014, Eggs, in “Bakery Products Science and Technology”, ed. W. Zhou, Y.H. Hui, I. De Leyn, M.A. Pagani, C.M. Rosell, J.D. Selman, N. Therdthai, p.243-258, Greece.
2. Tan, T., Kanyarat, K. and Azhar, M., 2012, Evaluation of functional properties of egg white obtained from pasteurized shell egg as ingredient in angel food cake, *Journal of International Food Research Journal*, 19: 303-308.
3. Li, J., Zhang, Y., Fan, Q., Teng, C., Xie, W., Shi, Y., Su, Y. and Yang, Y. 2018, Combination effects of NaOH and NaCl on the rheology and gel characteristics of hen egg white proteins, *Journal of Food Chemistry*, 250 :1-6.
4. Αμπατζής, Ι.Θ., 1999, Χρήση της Λυσοζύμης στη Συντήρηση του Κατεψυγμένου Αυγού, Διπλωματική εργασία, Αθήνα, ΕΜΠ.
5. Σταυρινάδου, Ι.Θ., 1999, Χρήση Κρυσταλλοπροστατευτικών Υλικών στην Κατάψυξη του αυγού, Διπλωματική εργασία, Αθήνα, ΕΜΠ.
6. Mine, Y., 2002, Recent advances in egg protein functionality in the food system, *Journal of World's Poultry Science Journal*, 58:31-39.
7. Kiosseoglou V. and Paraskevopoulou, A., 2005, Molecular interaction of gels prepared with egg yolk and its fractions, *Journal of Food Hydrocoll*, 19: 527-32.
8. Jingyan, L., Ying, L., Xiaoban, M., Shanshan, D. and Qigen, T., 2017, Effects of freezing and thawing treatment on the rheological and textural characteristics and micro-structure of heat-induced egg yolk gels, *Journal of Food Engineering*, 216:144-150.
9. Anton, M., Le Denmat, M., Beaumal. V., Pilet. P., 2001, Filler effects of oil droplets on the rheology of heat-set emulsion gels prepared with egg yolk fractions, *Journal of Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 21: 137-47.
10. Nikiforidis, CV., Kiosseoglou, V., 2007, The role of tween in inhibiting heat-induced destabilization of yolk-based emulsions, *Journal of Food Hydrocoll*, 21:1310-18.
11. Jin, Y-G., Huang, D., Ding, t., Ma, M-H., 2011, Effects of phospholipase A1 on the physicochemical and functional properties of hen's egg yolk, plasma and granules, *Journal of Food Biochem*, 37: 70-79.
12. Buxmann, W., Bindrich, U., Strijowski, U., Heinz, U., Knorr, D., Franke, K., 2010, Influencing emulsifying properties of egg yolk by enzymatic modification with phospholipase, *Journal of Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76:186-191.

13. Raikos, V., Campbell, L. and Euston, S., 2016, Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins, *Journal of Food Research International*, 40:347-355.
14. Kalkani, A., Paraskevopoulou, A., Kiosseoglou, V., 2000, Protein interactions and filler effects in heat-set-gels based on egg, *Journal of Food Hydrocoll*, 21: 191-7.
15. Kiosseoglou, V., 2003, Egg Yolk protein gels and emulsions, *Journal of Current Opinion in Colloid Interface Science*, 8:365-370.
16. Belitz, H.D., Grosch, W., Schiberle, P., 2009, Αυγά, in “Χημεία τροφίμων”, p.565-580, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα.
17. James, M. Jay, Loessern, Martin J., Golden, David A., 2006, Miscellaneous Food Products, in “Modern Food Microbiology”, ed. Springer, p. 198-202, N.Y.
18. Γεωργάκης, Σπ., 2002, Ψύξη-Κατάψυξη, in “Τεχνολογία τροφίμων ζωικής προέλευσης”, p.10-32, Εκδόσεις επιστημονικών βιβλίων και περιοδικών, Αθήνα.
19. Malett, C.P., 1993, Changes during Frozen Storage, in “Frozen food technology”, ed. Springer, p.12-14, N.Y.
20. Raikos, V., Campbell, L. and R. Euston, S., 2016, Rheology and texture of hen's egg protein heat-set gels as affected by pH and the addition of sugar and/or salt, *Journal of Food Hydrocolloids*, 21:237-244.
21. MacDonald, G., A., Tyre, C.L., 1997, Cryoprotectants for Improving Frozen-Food Quality, in “Quality in Frozen Food”, ed. Marilyn, C. Erickson, Yen-Con, Hung., p. 197-232, U.S.
22. Primacell, M., Fei, T., Acevedo, N. and Wang, T., 2018, Effect of food additives on egg yolk gelation induced by freezing, *Journal of Food Chemistry*, 263: 142-150.
23. Siri, M., Grasselli, M. and del V. Alonso, S., 2016, Albumin-based nanoparticle trehalose lyophilisation stress-down to preserve structure/function and enhanced binding, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 126: 66-74.
24. Liu, J., Lv, Y., Mo, X., Duan, S. and Tong, Q., 2017, Effects of freezing and thawing treatment on the rheological and textural characteristics and micro-structure of heat-induced egg yolk gels, *Journal of Food Engineering*, 216: 144-150.
25. N. Sparks., 2014, Microbiology of Fresh eggs, in “Encyclopedia of Food Microbiology”, ed. Carl A. Batt, Mary-Lou Tortorello, p.610-622, N.Y.
26. Τσαούκης, Π., Ωραιοπούλου, Β., 2009, Κατάψυξη, in “Επιστήμη και μηχανική τροφίμων”, p. 229-263, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.

27. Zaritzky N.E., 2000, Factors affecting the stability of frozen Foods, in "Managing Frozen Foods", ed. Christofer J. Kennedy, p. 111-135, Woodhead Publishing, U.K.
28. Ve Blond G., Le Meste, M., 2004, Principles of Frozen Storage in "Handbook of Frozen Foods", ed. Marcel Dekker, p. 25-52, N.Y.
29. Lechevalier, L., Croguennec, T., Anton, M. and Nau, F., 2011, Processed egg products, in "Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products", ed. Y. Nys, M. Bain, F. Van, p.538-581, Woodhead Publishing, U.K.
30. Delves Broughton, J., 2014, Microbiology of Egg Product, in "Encyclopedia of Food Microbiology", ed. Carl A. Batt, Mary-Lou Tortorello, p.610-622, N.Y.
31. Smith, P.G., 2007, Freezing, in "Applications of fluidization to food processing", Blackwell Publishing, p.79-110, Oxford.
32. Hudson, B.J.F., 2012, New product in innovations of Eggs, in "New and Developing Sources of Food proteins", Springer publishing, p.71-91, UK.
33. Lih-Shiuh Li, 2014, Quality and Safety of Frozen Eggs and Egg Products," In Handbook of Frozen Food Processing and Packaging", p. 481-503, CRC Press, Boca Raton, N.Y.
34. Alvarez, Maria Dolores, Christina, Fernandez., Wenceslao, Canet., 2009, Enhancement of freezing stability in mashed potatoes by the incorporation of kappa-carrageenan and xanthan gum blends, Journal of the Science of Food and Agriculture, 89:2115-2127.
35. Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.E., Harrington, M., Bourgeois, C.M., 1997, Dietary fibres: Nutritional and technological interest, Journal of Trends in Food Science and Technology, 8:41-48.
36. Μπικάκη Νάντια., 2012, Κρυσταλλοπροστατευτικά υλικά σε κατεψυγμένα προϊόντα πατάτας, Διπλωματική εργασία, Αθήνα, ΕΜΠ.
37. Brian McKenna., 2014, Self-Life Prediction of Frozen Foods, In "Handbook of Frozen Food Processing and Packaging", p. 603-625, CRC Press, Boca Raton, N.Y.
38. William L. Kerr., 2004, Texture in Frozen Foods, In "Handbook of frozenfoods", ed. Marcel Dekker, p. 147-167, N.Y.
39. Miang, H. Lim., Janet, E. McFetridge., Jens, Liesebach, 2004, Frozen Food Components and Chemical Reactions, In "Handbook of frozenfoods", ed. Marcel Dekker, p.67-79, N.Y.
40. Satya, Sadhan Dey., Krushna, Chandra Dora., 2010, Suitability of chitosan as cryoprotectant on coaker fish (*Johnius gangeticus*) surimi during frozen storage, Journal of Food Science Technology, 48(4): 699-705.

41. Alan, D. Elbein., Y.T. Pan., Irena, Pastuszak., David, Carroll., 2003, New insights on trehalose: a multifunctional molecule, *Journal of Glycobiology*, 13(4): 17-27.
42. Y.X. Zheng., L.Z. Ma., S.J. Liu., C.T. Zhang., R. Meng., Y.Z. Chen., Z.L. Jiang., 2018, Protective effects of trehalose on frozen-thawed ovarian granulosa cells of cattle, *Journal of Animal Production Science*, 20: 14-21.
43. Laura T. Rodriguez, Furlan., Javier, Lecot., Antonio, Perez Padilla., Mercedes, E. Campderros., Noemi, E. Zaritzky., 2013, Calorimetric Study of Inulin as Cryo- and Lyoprotector of Bovine Plasma Proteins, in "Applications of Calorimetry in a Wide Context-Differential Scanning Colorimetry, Isothermal Titration Calorimetry and Microcalorimetry", ed. Amal Ali Elkordy, UK.
44. Sergio, I. Martinez-Monteagudo., Maryam, Enteshari., Loyd, Metzger., 2019, Lactitol: Production, properties and applications, *Journal of Trends in Food Science and Technology*, 83:181-191.
45. Παπαδέας, Π.Ν., 1998, Χρήση Κρυσταλλοπροστατευτικών Υλικών στην Κατάψυξη Προϊόντων Ψαριού (Surimi), Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
46. Gouda, M., Zhang, S., Liu, Y., Shen, L. and Ma, M., 2017, Effects of four natural antioxidant phenyl terpenes on emulsifying and rheological properties of egg yolk, *Journal of Food Science and Technology*, 83:59-67.
47. Wootton, M., Hong, N.T., Thi, H.L.P., 1981, A Study of the Denaturation of Egg White Proteins During Freezing Using Differential Scanning Colorimetry, *Journal of Food Science*, 46:1336-1338.
48. Montejano, J.G., Hamman, D.D., Lanier, T.G., 1985, Comparison of Two Instrumental Methods with Sensory Texture of Protein Gels, *Journal of Texture Studies*, 16: 403-424.
49. Huang, S., Herald, T.J., Mueller, D.D., 1997, Effect of Electron Beam Irradiation on Physical, Physicochemical and Functional Properties of Liquid Egg Yolk During Frozen Storage, *Journal of Poultry Science*, 76:1607-1615.
50. Torrico, D.D., Wardy, W., Carabante., M., Pujols, D.P., Xu, Z., No, H.K., Prinyawiwatkul, W., 2014, Quality of eggs coated with oil-chitosan emulsion: Combined effects of emulsifier types, initial albumen quality, and storage, *Journal of Food Science and Technology*, 57(1): 37-41.
51. Nafchi, A.M., Tabatabaei, R.H., Pashania, B., Rajabi, H., Karim, A.A., 2013, Effects of ascorbic acid and sugars on solubility, thermal, and mechanical properties of egg white protein gels, *International Journal of Biological Macromolecules*, 62: 397-404.
52. Gupta, N., Jangid, A.K., Pooja, D., Kulhari, H., 2019, Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications, *International Journal of Biological Macromolecules*, 132: 852-863.

53. Powrie, W.D.; Nakai, S., 1985, Characteristics of Edible Fluids of Animal Origin: Eggs, in "Food Chemistry", ed. Marcel Dekker, p.846-647, N.Y.

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ιξώδες-κρόκος

ΣΕΙΡΑ Α

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	29.2	26.4	26	26	21.6	23
A	14.7	16.8	15.2	12	12	11
Z	22.1	23.2	24	21	21	12.7
TPEX	23.9	26.4	30	18.6	17.1	16.2
Φ	24.8	29.2	19.8	12.53	12.1	8.2
I	19.2	31.2	38.4	16	15	16.2
X	12.3	19.2	9.6	7.2	7.1	6.8
Λ	12.6	18.6	15.3	12.6	4.2	6.2
I+T	7.2	13.2	16.2	12	8.4	9.5

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	29.2	22.4	24	24	21
A	14.7	14.5	14.2	15	14.8
Z	22.1	24.7	24	26	18
TPEX	23.9	23	21.4	18.5	17
Φ	24.8	21	19.2	14.4	10.4
I	19.2	23.1	15.1	16.2	17.8
X	12.3	18.6	13.2	6	3.6
Λ	12.6	13.2	15.6	11.5	12
I+T	7.2	18.6	15	14.9	7.8

Χρώμα-κρόκος

ΣΕΙΡΑ Α

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	27.2696	29.7179	30.548	35.6572	32.2783	29.8788
A	30.7956	29.7871	27.0259	29.8346	28.3924	27.773
Z	29.0007	28.3779	28.9179	29.7509	30.8489	27.3133
TPEX	29.3276	30.7722	31.1004	33.456	29.3089	31.6789
Φ	28.7257	25.9237	27.4609	29.4563	28.5647	26.0637
I	29.6624	29.5472	31.0076	33.2513	30.2724	29.4835
X	34.6986	33.0176	33.3593	33.0355	34.0127	33.9403
Λ	31.9723	31.3177	32.0369	30.2049	31.3425	31.5647
I+T	31.3427	30.714	31.5147	29.6776	30.1278	33.8803

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	27.2996	28.0519	25.7106	27.5534	29.4836
A	30.7956	26.0928	25.0119	26.1478	24.0426
Z	29.0071	25.9935	25.4983	26.7602	25.3583
TPEX	29.3276	28.7963	29.9957	29.8765	30.8556
Φ	28.7257	24.6513	26.1719	26.7659	25.4682
I	29.6624	29.516	29.2936	29.5341	29.0233
X	34.6986	31.8772	31.4873	30.1108	30.2341
Λ	31.9723	31.9294	28.5677	28.3569	27.568
I+T	31.3427	31.7533	28.9956	20.9521	22.345

Χρώμα-ασπράδι**ΣΕΙΡΑ Α**

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	45.8167	54.3433	53.29	50.1633	52.7133	50.6567
A	58.7067	53.7267	61.8767	54.66	54.3767	57.13
Z	51.3	53.3133	52.0533	49.0033	54.8533	56.6167
TPEX	55.5633	57.57	54.5767	53.78	54.25	56.6033
Φ	54.8767	57.0867	53.3933	53.89	59.3433	57.4033
I	48.8433	51.1133	55.0833	50.64	57.2467	55.8133
X	56.8033	62.2267	56.4967	56.3567	61.5333	59.8233
Λ	53.58	53.5933	56.8833	56.51	49.7033	53.6967
I+T	53.44	53.92	54.3867	55.16	52.3167	53.1367

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	45.8167	56.4033	53.5933	54.98	52.7233
A	58.7067	57.4367	57.0533	53.67	55.2133
Z	51.3	56.14	53.3333	50.0433	51.0333
TPEX	55.5633	56.1033	59.48	56.9767	57.8733
Φ	54.8767	53.41	54.69	53.44	51.34
I	48.8433	50.7333	50.7567	51.5433	51.6467
X	56.8033	57.23	62.13	66.9233	61.5967
Λ	53.58	56.3033	57.7833	58.3633	58.1133
I+T	53.44	56.7033	52.5767	57.88	54.9267

Αστάθεια αφρού-ασπράδι**ΣΕΙΡΑ Α**

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	0.492611	0.412306	0.473274	0.718431	0.526608	0.549149
A	0.642279	0.357634	0.577558	0.568797	0.685307	0.641883
Z	0.605894	0.333637	0.59761	0.559284	0.573614	0.598802
TPEX	0.511364	0.490196	0.572831	0.630482	0.575342	0.616622
Φ	0.536572	0.45819	0.526462	0.580431	0.585938	0.569723
I	0.591883	0.468966	0.557569	0.584633	0.581395	0.566955
X	0.897471	0.90809	0.870275	0.885193	0.895279	0.925926
Λ	0.628212	0.684744	0.647424	0.624321	0.676041	0.599618
I+T	0.57947	0.626874	0.656276	0.623644	0.626191	0.568797

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	0.492611	0.314106	0.57931	0.548396	0.495322
A	0.642279	0.483221	0.520833	0.704989	0.468449
Z	0.605894	0.303365	0.606395	0.583009	0.60307
TPEX	0.511364	0.525588	0.629964	0.681199	0.542741
Φ	0.536572	0.499584	0.606395	0.636414	0.60307
I	0.591883	0.499445	0.583982	0.576765	0.544514
X	0.897471	0.870748	0.885906	0.904272	0.866504
Λ	0.628212	0.678794	0.602905	0.693642	0.621622
I+T	0.57947	0.497375	0.652174	0.580752	0.547345

Συγκράτηση νερού-ασπράδι**ΣΕΙΡΑ Α**

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	2.70749	3.276607	3.133903	3.148547	3.235124	3.510791
A	2.646169	2.670025	3.419023	4.149378	4.514089	4.66514
Z	2.301549	2.943415	2.993585	3.10974	3.440188	3.455226
TPEX	2.570379	2.739726	3.187962	3.22248	3.659942	3.633115
Φ	2.683049	2.894136	3.437739	3.145141	3.462204	3.752233
I	2.304381	2.320303	3.286624	3.306844	4.100762	3.847301
X	4.112953	5.358183	5.387409	4.619862	5.707697	4.701448
Λ	3.485905	4.078638	4.03297	4.11419	4.139309	4.707698
I+T	3.777641	3.821282	4.019196	3.99348	3.719849	3.798606

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	2.70749	2.252024	2.333166	2.458826	3.796367
A	2.646169	3.409952	3.360151	3.844182	5.393712
Z	2.381549	2.810838	3.019447	3.768116	3.967564
TPEX	2.570379	2.621532	3.274495	3.346008	3.792299
Φ	2.683049	2.369427	3.201024	3.257497	4.187264
I	2.304381	2.207002	3.203661	3.470437	4.308324
X	4.112953	4.618533	5.176541	4.934277	5.612536
Λ	3.485905	3.627394	4.653285	4.86227	4.960376
I+T	3.777641	3.757646	4.200179	4.359352	4.393366

Γαλακτωματοποιητική ενεργότητα-κρόκος

ΣΕΙΡΑ Α

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	0.6	0.192	0.432	0.267	0.509	0.269
A	0.421	0.952	0.28	0.751	0.431	0.538
Z	0.785	0.775	0.317	0.539	0.35	0.251
TPEX	0.66	0.728	0.426	0.508	0.721	0.391
Φ	0.764	0.687	0.423	0.473	0.627	0.497
I	0.85	0.674	0.589	0.688	0.573	0.232
X	0.388	0.517	0.367	0.424	0.404	0.432
Λ	0.259	0.34	0.617	0.652	0.621	0.878
I+T	0.712	0.262	0.672	0.456	0.678	0.643

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	0.6	0.561	0.422	0.442	0.324
A	0.421	0.717	0.787	0.713	0.708
Z	0.785	0.49	0.795	0.714	0.672
TPEX	0.66	0.663	0.346	0.311	0.688
Φ	0.764	0.697	0.375	0.477	0.248
I	0.85	0.506	0.302	0.507	0.236
X	0.388	0.316	0.697	0.353	0.49
Λ	0.259	0.42	0.482	0.387	0.741
I+T	0.712	0.393	0.324	0.532	0.272

Γαλακτωματοποιητική σταθερότητα-κρόκος

ΣΕΙΡΑ Α

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	900	45	48	95.3571	190.875	134.5
A	421	178.5	161.5385	208.6111	95.0735	82.3469
Z	77.4671	117.4242	91.4423	139.3966	66.4557	198.1579
TPEX	225	68.25	798.75	56.0294	94.8684	60.4639
Φ	477.5	271.1842	52.0082	68.8835	95	225.9091
I	182.1429	94.4859	267.7273	206.4	41.1244	497.143
X	582	93.4337	100.0909	244.615	69.6558	308.571
Λ	388.5	164.516	123.4	69.8571	94.0909	177.973
I+T	762.8571	231.176	720	44.4156	43.8362	175.364

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	900	135.7258	131.875	53.4667	243
A	421	165.462	124.263	356.5	124.941
Z	77.4677	210	441.6667	41.1923	100.8
TPEX	225	268.7838	216.25	333.2143	89.7391
Φ	477.5	435.625	468.75	230.8065	930
I	182.1429	130.862	60.4	380.25	104.1176
X	582	316	697	58.1865	75
Λ	388.5	116.6667	1205	58.6363	79.3928
I+T	762.8571	143.78	540	234.706	214.7368

Σκληρότητα-ασπράδι**ΣΕΙΡΑ Α**

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	0.282	1.046	0.949	0.871	1.284	1.16
A	0.811	0.706	0.578	0.658	0.702	0.585
Z	0.734	0.701	0.687	0.914	0.539	0.644
TPEX	0.68	0.798	0.701	0.702	0.798	0.724
Φ	0.271	0.456	0.776	0.85	0.712	0.835
I	0.752	1.006	0.747	0.828	0.812	0.946
X	0.745	0.672	0.645	0.653	0.685	0.66
Λ	0.601	0.621	0.613	0.601	0.595	0.505
I+T	0.702	0.698	0.678	0.663	0.657	0.672

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	1.282	0.962	1.072	1.309	0.838
A	0.811	0.794	0.585	0.733	0.731
Z	0.734	0.709	0.733	0.714	0.678
TPEX	0.68	0.697	0.77	0.691	0.737
Φ	0.271	0.657	0/861	0.818	0.844
I	0.752	0.913	0.835	0.89	1.066
X	0.745	0.872	0.723	0.765	1.044
Λ	0.601	0.697	0.752	0.711	0.697
I+T	0.702	0.798	0.776	0.636	0.676

Προσκολλησιμότητα-ασπράδι

ΣΕΙΡΑ Α

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	95.482	70.297	43.25	41.522	60.276	51.738
A	28.784	17.996	29.176	16.08	30.663	20.001
Z	50.538	81.478	18.008	67.273	47.608	55.435
TPEX	12.131	54.321	50.539	83.82	42.247	52.09
Φ	30.234	55.567	52.636	61.324	45.554	72.896
I	23	41.321	51.171	75.395	47.831	43.656
X	20.017	11.677	6.895	9.16	6.937	6.205
Λ	28.679	22.594	44.687	33.266	25.665	14.063
I+T	50.345	48.678	46.99	29.883	20.979	36.965

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	95.482	57.575	79.125	111.521	70.821
A	28.784	21.309	24.811	34.871	18.437
Z	50.538	54.164	55.669	72.636	53.746
TPEX	12.131	0.3452	49.579	64.812	49.812
Φ	30.234	27.854	31.604	62.717	89.739
I	23.417	45.675	52.252	44.025	48.085
X	20.017	6.16	5.66	16.514	11.167
Λ	28.679	46.024	52.988	33.536	31.245
I+T	50.345	35.678	31.423	41.287	22.646

Ελαστικότητα-ασπράδι**ΣΕΙΡΑ Α**

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	0.5283	0.5441	0.4984	0.4472	0.4455	0.5127
A	0.5139	0.5813	0.5049	0.4623	0.4568	0.508
Z	0.5271	0.5286	0.4923	0.4385	0.422	0.5007
TPEX	0.5015	0.5187	0.5344	0.4302	0.4966	0.5417
Φ	0.5635	0.5678	0.5361	0.4255	0.4551	0.5056
I	0.5151	0.5596	0.4783	0.4373	0.4327	0.5153
X	0.5107	0.4965	0.4863	0.5118	0.5296	0.4851
Λ	0.4765	0.4653	0.4549	0.464	0.4765	0.4896
I+T	0.4856	0.4675	0.4558	0.4724	0.4659	0.4488

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	0.5283	0.5424	0.5144	0.4926	0.5132
A	0.5139	0.5987	0.5531	0.5035	0.5299
Z	0.5271	0.5378	0.5161	0.5273	0.475
TPEX	0.5015	0.4654	0.4759	0.5234	0.5461
Φ	0.5935	0.5023	0.4698	0.4491	0.5261
I	0.5151	0.5021	0.4628	0.4871	0.5611
X	0.5107	0.4974	0.4991	0.4598	0.5333
Λ	0.4765	0.4775	0.4246	0.4684	0.4567
I+T	0.4856	0.4776	0.4624	0.4595	0.5046

Συνεκτικότητα-ασπράδι**ΣΕΙΡΑ Α**

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	0.4718	0.6589	0.644	0.4594	0.5055	0.6227
A	0.6369	0.8788	0.8103	0.7932	0.8311	0.8761
Z	0.543	0.481	0.7903	0.5758	0.7724	0.6544
TPEX	1.0691	0.7656	0.5535	0.495	0.5243	0.5462
Φ	0.6337	0.5764	0.5094	0.5222	0.7111	0.5067
I	0.7422	0.6106	0.5564	0.4849	0.6588	0.6155
X	1.1639	1.1309	1.4554	1.4177	1.3348	1.3268
Λ	0.7686	0.8991	0.7317	0.5709	1.033	0.7119
I+T	0.6245	0.6487	0.5829	0.6345	0.6378	0.6115

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	0.4718	0.5102	0.4998	0.5266	0.6054
A	0.6369	0.7005	0.6511	0.6357	0.8556
Z	0.543	0.5278	0.5076	0.4679	0.5941
TPEX	1.0691	0.5876	0.6342	0.5144	0.5883
Φ	0.6337	0.6124	0.6054	0.4585	0.5473
I	0.7422	0.4879	0.5063	0.5613	0.6667
X	1.1639	1.4681	1.063	1.1869	0.9828
Λ	0.7686	0.5819	0.6018	0.6018	0.5967
I+T	0.6245	0.5783	0.5464	0.6701	0.8316

Σκληρότητα-κρόκος**ΣΕΙΡΑ Α**

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	0.132	0.146	0.164	0.146	0.184	0.136
A	0.109	0.111	0.118	0.111	0.119	0.126
Z	0.11	0.13	0.119	0.107	0.106	0.109
TPEX	0.138	0.145	0.171	0.149	0.144	0.138
Φ	0.087	0.096	0.127	0.125	0.115	0.115
I	0.112	0.114	0.129	0.153	0.184	0.133
X	0.109	0.103	0.123	0.103	0.135	0.168
Λ	0.132	0.124	0.123	0.118	0.123	0.119
I+T	0.125	0.127	0.174	0.125	0.14	0.119

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	0.132	0.167	0.231	0.169	0.198
A	0.109	0.113	0.111	0.101	0.129
Z	0.11	0.156	0.29	0.158	0.197
TPEX	0.138	0.253	0.139	0.178	0.306
Φ	0.087	0.117	0.154	0.148	0.136
I	0.112	0.159	0.211	0.167	0.185
X	1.109	1.119	1.127	1.116	0.133
Λ	0.132	0.118	0.146	0.134	0.181
I+T	0.125	0.122	0.107	0.175	0.202

Προσκολησιμότητα-κρόκος

ΣΕΙΡΑ Α

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	35.836	21.132	38.426	31.557	17.996	16.488
A	35.231	37.121	39.153	36.525	39.308	33.815
Z	27.89	28.95	32.921	31.419	34.899	32.44
TPEX	31.001	31.195	22.569	38.451	28.584	27.867
Φ	34.435	29.193	31.491	32.839	29.224	32.082
I	32.415	34.451	24.13	39.866	15.713	20.978
X	18.789	25.152	23.208	25.22	22.345	24.567
Λ	23.456	31.118	27.691	33.241	25.362	25.618
I+T	27.345	33.001	31.252	29.198	37.981	30.081

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	35.836	34.484	31.234	30.123	30.399
A	35.231	32.303	33.42	34.236	33.634
Z	27.89	37.019	25.895	44.666	49.763
TPEX	31.001	32.876	33.458	34.66	32.435
Φ	34.435	33.808	32.421	36.567	37.654
I	32.415	20.581	27.678	33.538	35.952
X	18.789	16.802	23.421	17.548	23.455
Λ	23.456	24.567	21.199	19.535	14.521
I+T	27.345	26.889	24.564	23.651	28.321

Ελαστικότητα-κρόκος

ΣΕΙΡΑ Α

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	0.4695	0.5231	0.5034	0.5201	0.5566	0.4359
A	0.4208	0.4407	0.4821	0.4965	0.518	0.5074
Z	0.4356	0.4659	0.5327	0.4701	0.4835	0.4409
TPEX	0.5634	0.5506	0.5823	0.4652	0.5115	0.4592
Φ	0.5415	0.5347	0.5071	0.4379	0.4696	0.4273
I	0.521	0.5116	0.4925	0.4428	0.5091	0.4851
X	0.5105	0.4763	0.5181	0.5342	0.4463	0.6547
Λ	0.5783	0.5688	0.5478	0.5103	0.4391	0.4486
I+T	0.4231	0.4635	0.4657	0.4528	0.4211	0.4329

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	0.4695	0.4527	0.4852	0.5049	0.4196
A	0.4208	0.5011	0.5321	0.4615	0.412
Z	0.4356	0.4707	0.4791	0.5139	0.4189
TPEX	0.5634	0.6163	0.4462	0.4856	0.485
Φ	0.5415	0.4824	0.4917	0.4301	0.4751
I	0.521	0.5178	0.5497	0.4534	0.4649
X	0.5105	0.5296	0.5151	0.4552	0.3892
Λ	0.5783	0.5011	0.5043	0.5042	0.4321
I+T	0.4231	0.4821	0.6137	0.4982	0.4122

Συνεκτικότητα-κρόκος**ΣΕΙΡΑ Α**

Ημέρες						
	0	15	30	45	60	75
T	1.0688	1.052	0.8793	0.8793	1.1891	1.0472
A	0.9654	0.9432	0.9452	0.9581	0.9342	1.1496
Z	0.967	0.9772	0.9893	0.9921	0.9441	0.9598
TPEX	0.9813	0.9851	0.96	0.9231	0.9672	1.2321
Φ	0.8997	0.9008	0.9318	0.9131	0.9416	0.9342
I	0.9627	0.9558	0.8829	0.8851	0.8291	1.0552
X	0.9432	0.9042	0.9413	0.9444	0.9221	0.8723
Λ	0.8798	0.8897	0.9045	0.9051	0.8863	0.9211
I+T	0.8967	0.9441	0.9567	0.9461	0.8731	0.8723

ΣΕΙΡΑ Β

Ημέρες					
	0	15	30	45	60
T	1.0688	0.897	1.0781	1.0607	0.8924
A	0.9654	0.9451	0.8607	0.9507	0.8721
Z	0.967	0.9307	0.7297	0.8526	0.8264
TPEX	0.9813	0.9567	1.0123	0.9715	0.7835
Φ	0.8997	0.8511	0.7915	0.8221	0.7601
I	0.9627	0.9342	0.9445	0.9379	0.9231
X	0.9432	0.9932	1.0892	1.0278	0.9565
Λ	0.8798	0.8145	0.9021	0.8679	0.9821
I+T	0.8967	0.8685	1.0021	1.1748	0.8731

ΠΙΝΑΚΕΣ STATISTICA (ANOVA 2-Duncan's test)

Κρόκος αυγού-α' σειρά πειραμάτων

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Var3 (κροκος-α σειρά μετρησεων)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	50172,01	1	50172,01	22006,39	0,000000	
"Var1"	145,24	8	18,16	7,96	0,000002	
"Var2"	15,43	5	3,09	1,35	0,262054	
Error	91,20	40	2,28			

Duncan test; variable Var3 (κροκος-α σειρά μετρησεων)							
Homogenous Groups, alpha = ,09000							
Error: Between MS = 2,2799, df = 40,000							
Cell No.	Var1	Var3 Mean	1	2	3	4	
5	5	27,69917		****			
2	2	28,93477		****			
3	3	29,03493		****	****		
6	6	30,53740	****		****		
1	1	30,89163	****				
4	4	30,94069	****				
9	9	31,20951	****				
8	8	31,40650	****				
7	7	33,67733				****	

{Φ} ^a	{Α} ^a	{Ζ} ^{α,β}	{ΙΝ} ^{β,γ}	{Τ} ^γ	{ΤΡ} ^γ	{Ι+Τ} ^γ	{Λ} ^γ	{Χ} ^d
------------------	------------------	--------------------	---------------------	------------------	-------------------	--------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α(κρυπροστατευτικό)

Γαλακτωματοποιητική ενεργότητα

Univariate Tests of Significance for Var4 (κροκος-α σειρά μετρησεων)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	15,03322	1	15,03322	432,2438	0,000000	
"Var1"	0,28942	8	0,03618	1,0402	0,423090	
"Var2"	0,15779	5	0,03156	0,9074	0,485940	
Error	1,39118	40	0,03478			

Γαλακτωματοποιητική σταθερότητα

Univariate Tests of Significance for Var5 (κροκος-α σειρά μετρησεων)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	2418659	1	2418659	71,96727	0,000000	
"Var1"	160025	8	20003	0,59519	0,775950	
"Var2"	768564	5	153713	4,57373	0,002158	
Error	1344311	40	33608			

Duncan test; variable Var5 (κροκος-α σειρά μετρησεων)					
Homogenous Groups, alpha = ,09000					
Error: Between MS = 33608., df = 40,000					
Cell No.	Var2	Var5 Mean	1	2	3
5	5	87,8866	****		
4	4	125,9517	****	****	
2	2	140,4411	****	****	
6	6	206,7143	****	****	
3	3	262,5508		****	
1	1	446,2741			****

{5} ^a	{4} ^{a,b}	{2} ^{a,b}	{6} ^{a,b}	{3} ^b	{1} ^c
------------------	--------------------	--------------------	--------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (χρόνος)

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Var6 (κροκος-α σειρά μετρησεων)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	0,893976	1	0,893976	3538,669	0,000000	
"Var1"	0,010564	8	0,001320	5,227	0,000165	
"Var2"	0,003521	5	0,000704	2,788	0,029829	
Error	0,010105	40	0,000253			

Duncan test; variable Var6 (κροκος-α σειρά μετρησεων) Homogenous Groups, alpha = ,09000 Error: Between MS = ,00025, df = 40,000					
Cell No.	Var1	Var6 Mean	1	2	3
5	5	0,110833	****		
3	3	0,113500	****		
2	2	0,115667	****		
8	8	0,123167	****	****	
7	7	0,123500	****	****	
9	9	0,135000		****	****
6	6	0,137500		****	****
4	4	0,147500			****
1	1	0,151333			****

Duncan test; variable Var6 (κροκος-α σειρά μετρησεων) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00025, df = 40,000				
Cell No.	Var2	Var6 Mean	1	2
1	1	0,117111	****	
2	2	0,121778	****	
4	4	0,126333	****	****
6	6	0,129222	****	****
3	3	0,138667		****
5	5	0,138889		****

{ΦΡ} ^a	{Ζ} ^a	{Α} ^a	{Λ} ^{a,b}	{Χ} ^{a,b}	{Ι+Τ} ^{b,c}	{Ι} ^{b,c}	{ΤΡ} ^c	{Τ} ^c
-------------------	------------------	------------------	--------------------	--------------------	----------------------	--------------------	-------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυοπροστατευτικό)

{1} ^a	{2} ^a	{4} ^{a,b}	{6} ^{a,b}	{3} ^b	{5} ^b
------------------	------------------	--------------------	--------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (χρόνος)

Προσκολησιμότητα

Univariate Tests of Significance for Var7 (κροκος-α σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	47538,82	1	47538,82	1799,272	0,000000
"Var1"	705,94	8	88,24	3,340	0,005097
"Var2"	198,82	5	39,76	1,505	0,209996
Error	1056,85	40	26,42		

Duncan test; variable Var7 (κροκος-α σειρά μετρησεων) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 26,421, df = 40,000						
Cell No.	Var1	Var7 Mean	1	2	3	
7	7	23,21350		****		
1	1	26,90583	****	****		
8	8	27,74767	****	****		
6	6	27,92550	****	****		
4	4	29,94450	****			
3	3	31,41983	****		****	
9	9	31,47633	****		****	
5	5	31,54400	****		****	
2	2	36,85883			****	

{X} ^a	{T} ^{a,b}	{Λ} ^{a,b}	{IN} ^{a,b}	{TP} ^b	{Z} ^{b,c}	{I+T} ^{b,c}	{ΦP} ^{b,c}	{A} ^c
------------------	--------------------	--------------------	---------------------	-------------------	--------------------	----------------------	---------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυσπροστατευτικό)

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Var8 (κροκος-α σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	13,11016	1	13,11016	5937,221	0,000000
"Var1"	0,03341	8	0,00418	1,891	0,088482
"Var2"	0,00972	5	0,00194	0,880	0,503057
Error	0,08833	40	0,00221		

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Var9 (κροκος-α σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	48,89606	1	48,89606	10742,54	0,000000
"Var1"	0,09499	8	0,01187	2,61	0,021333
"Var2"	0,03484	5	0,00697	1,53	0,202042
Error	0,18207	40	0,00455		

Duncan test; variable Var9 (κροκος-α σειρά μετρήσεων) Homogenous Groups, alpha = ,09000 Error: Between MS = ,00455, df = 40,000						
Cell No.	Var1	Var9 Mean	1	2	3	
8	8	0,897750	****			
9	9	0,914833	****	****		
5	5	0,920200	****	****		
7	7	0,921250	****	****		
6	6	0,928467	****	****		
3	3	0,971583	****	****	****	
2	2	0,982617		****	****	
4	4	1,008133			****	
1	1	1,019283			****	

{Λ} ^a	{I+T} ^{a,b}	{ΦP} ^{a,b}	{Χ} ^{a,b}	{I} ^{a,b}	{Z} ^{a,b,c}	{Α} ^{b,c}	{TP} ^c	{T} ^c
------------------	----------------------	---------------------	--------------------	--------------------	----------------------	--------------------	-------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυοπροστατευτικό)

Κρόκος αυγού-β' σειρά πειραμάτων

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Var3 (κροκος- β σειρά μετρήσεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	35990,95	1	35990,95	8819,043	0,000000	
"Var1"	145,78	8	18,22	4,465	0,001032	
"Var2"	60,02	4	15,00	3,677	0,014230	
Error	130,59	32	4,08			

Duncan test; variable Var3 (κροκος- β σειρά μετρήσεων) Homogenous Groups, alpha = ,09000 Error: Between MS = 4,0810, df = 32,000						
Cell No.	Var1	Var3 Mean	1	2	3	4
5	5	26,35660	****			
2	2	26,41814	****			
3	3	26,52348	****			
9	9	27,07774	****			****
1	1	27,61382	****	****		****
6	6	29,40588		****	****	****
8	8	29,67885		****	****	
4	4	29,77034		****	****	
7	7	31,68160			****	

Duncan test; variable Var3 (κροκος- β σειρά μετρησεων) Homogenous Groups, alpha = ,09000 Error: Between MS = 4,0810, df = 32,000					
Cell No.	Var2	Var3 Mean	1	2	
5	5	27,15319	****		
4	4	27,33974	****		
3	3	27,85918	****		
2	2	28,74019	****	****	
1	1	30,31129		****	

{ΦΡ} ^a	{Α} ^a	{Ζ} ^a	{Ι+Τ} ^{a,b}	{Τ} ^{a,b,c}	{ΙΝ} ^{b,c,d}	{Λ} ^{c,d}	{ΤΡ} ^{c,d}	{Χ} ^d
-------------------	------------------	------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	--------------------	---------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β(κρυσπροστατευτικό)

{5} ^a	{4} ^a	{3} ^a	{2} ^{a,b}	{1} ^b
------------------	------------------	------------------	--------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β(χρόνος)

Γαλακτωματοποιητική ενεργότητα

Univariate Tests of Significance for Var4 (κροκος- β σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	12,32136	1	12,32136	389,1584	0,000000
"Var1"	0,35075	8	0,04384	1,3848	0,240572
"Var2"	0,08348	4	0,02087	0,6591	0,624881
Error	1,01317	32	0,03166		

Γαλακτωματοποιητική σταθερότητα

Univariate Tests of Significance for Var5 (κροκος- β σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4069983	1	4069983	65,18345	0,000000
"Var1"	491188	8	61398	0,98334	0,466820
"Var2"	577198	4	144300	2,31105	0,079075
Error	1998045	32	62439		

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Var6 (κροκος- β σειρά μετρησεων)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	1,060148	1	1,060148	842,6634	0,000000	
"Var1"	0,038275	8	0,004784	3,8029	0,003083	
"Var2"	0,023491	4	0,005873	4,6681	0,004412	
Error	0,040259	32	0,001258			

Duncan test; variable Var6 (κροκος- β σειρά μετρησεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,09000						
Error: Between MS = ,00126, df = 32,000						
Cell No.	Var1	Var6 Mean	1	2	3	4
2	2	0,112600	****			
7	7	0,120800	****			
5	5	0,128400	****		****	
8	8	0,142200	****	****	****	
9	9	0,146200	****	****	****	
6	6	0,166800		****	****	****
1	1	0,179400		****		****
3	3	0,182200		****		****
4	4	0,202800				****

Duncan test; variable Var6 (κροκος- β σειρά μετρησεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,09000						
Error: Between MS = ,00126, df = 32,000						
Cell No.	Var2	Var6 Mean	1	2	3	
1	1	0,117111			****	
2	2	0,147111	****			
4	4	0,149556	****			
3	3	0,168444	****	****		
5	5	0,185222		****		

{A} ^a	{X} ^a	{ΦΡ} ^{a,b}	{Λ} ^{a,b,c}	{I+T} ^{a,b,c}	{IN} ^{b,c,d}	{T} ^{c,d}	{Z} ^{c,d}	{TP} ^d
------------------	------------------	---------------------	----------------------	------------------------	-----------------------	--------------------	--------------------	-------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)

{1} ^a	{2} ^b	{4} ^b	{3} ^{b,c}	{5} ^c
------------------	------------------	------------------	--------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (χρόνος)

Προσκολλησιμότητα

Univariate Tests of Significance for Var7 (κροκος- β σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	39882,87	1	39882,87	1883,831	0,000000	
"Var1"	1521,69	8	190,21	8,984	0,000002	
"Var2"	73,95	4	18,49	0,873	0,490743	
Error	677,48	32	21,17			

Duncan test; variable Var7 (κροκος- β σειρά μετρησεων) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 21,171, df = 32,000						
Cell No.	Var1	Var7 Mean	1	2	3	4
7	7	20,00300			****	
8	8	20,65560			****	
9	9	26,15400			****	****
6	6	30,03280	****			****
1	1	32,41520	****	****		
4	4	32,88600	****	****		
2	2	33,76480	****	****		
5	5	34,97700	****	****		
3	3	37,04660		****		

{X} ^a	{Λ} ^a	{I+T} ^{a,b}	{IN} ^{b,c}	{T} ^{c,d}	{TP} ^{c,d}	{A} ^{c,d}	{ΦP} ^{c,d}	{Z} ^d
------------------	------------------	----------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------------	---------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρουοπροστατευτικό)

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Var8 (κροκος- β σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	10,60997	1	10,60997	5076,805	0,000000	
"Var1"	0,01506	8	0,00188	0,901	0,527491	
"Var2"	0,03557	4	0,00889	4,255	0,007131	
Error	0,06688	32	0,00209			

Duncan test; variable Var8 (κροκος- β σειρά μετρησεων) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00209, df = 32,000				
Cell No.	Var2	Var8 Mean	1	2
5	5	0,434333		****
4	4	0,478556	****	
1	1	0,495967	****	
2	2	0,505978	****	
3	3	0,513011	****	

{5} ^a	{4} ^b	{1} ^b	{2} ^b	{3} ^b
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (χρόνος)

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Var9 (κροκος- β σειρά μετρήσεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	38,64404	1	38,64404	6969,254	0,000000
"Var1"	0,14387	8	0,01798	3,243	0,008130
"Var2"	0,04505	4	0,01126	2,031	0,113578
Error	0,17744	32	0,00554		

Duncan test; variable Var9 (κροκος- β σειρά μετρήσεων) Homogenous Groups, alpha = ,09000 Error: Between MS = ,00554, df = 32,000						
Cell No.	Var1	Var9 Mean	1	2	3	4
5	5	0,824900				****
3	3	0,861280		****		****
8	8	0,889280		****	****	****
2	2	0,918800	****	****	****	
6	6	0,940480	****	****	****	
4	4	0,941060	****	****	****	
9	9	0,963040	****		****	
1	1	0,999400	****			
7	7	1,001980	****			

{ΦΡ} ^a	{Ζ} ^{a,b}	{Λ} ^{a,b,c}	{Α} ^{b,c,d}	{ΙΝ} ^{b,c,d}	{ΤΡ} ^{b,c,d}	{Ι+Τ} ^{c,d}	{Τ} ^d	{Χ} ^d
-------------------	--------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)

Ασπράδι αυγού-α' σειρά πειραμάτων

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Var3 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	161293,3	1	161293,3	25950,29	0,000000
"Var1"	261,5	8	32,7	5,26	0,000157
"Var2"	52,1	5	10,4	1,68	0,162552
Error	248,6	40	6,2		

Duncan test; variable Var3 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)							
Homogenous Groups, alpha = ,09000							
Error: Between MS = 6,2155, df = 40,000							
Cell No.	Var1	Var3 Mean	1	2	3	4	5
1	1	51,16388		****			
3	3	52,85665	****	****			
6	6	53,12332	****	****			
9	9	53,72668	****	****	****		
8	8	53,99443	****		****		
4	4	55,39055	****		****	****	
5	5	55,99888			****	****	
2	2	56,74613				****	****
7	7	58,87333					****

{T} ^a	{Z} ^{a,b}	{IN} ^{a,b}	{I+T} ^{a,b,c}	{Λ} ^{b,c}	{TP} ^{b,c,d}	{ΦP} ^{c,d}	{A} ^{d,e}	{X} ^e
------------------	--------------------	---------------------	------------------------	--------------------	-----------------------	---------------------	--------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α(κρυσπροστατευτικό)

Ιξώδες

Univariate Tests of Significance for Var4 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	16055,61	1	16055,61	1118,053	0,000000
"Var1"	1564,81	8	195,60	13,621	0,000000
"Var2"	865,34	5	173,07	12,052	0,000000
Error	574,41	40	14,36		

Duncan test; variable Var4 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,09000						
Error: Between MS = 14,360, df = 40,000						
Cell No.	Var1	Var4 Mean	1	2	3	4
7	7	10,36667	****			
9	9	11,08333	****			
8	8	11,58333	****			
2	2	13,61667	****			
5	5	17,80500				****
3	3	20,66667		****		****
4	4	22,03333		****	****	
6	6	22,66667		****	****	
1	1	25,36667			****	

Duncan test; variable Var4 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,09000						
Error: Between MS = 14,360, df = 40,000						
Cell No.	Var2	Var4 Mean	1	2	3	
6	6	12,20000	****			
5	5	13,16667	****			
4	4	15,32556	****			
1	1	18,44444			****	
3	3	21,61111		****		
2	2	22,71111		****		

{X} ^a	{I+T} ^a	{Λ} ^a	{Α} ^a	{ΦΡ} ^b	{Ζ} ^{b,c}	{ΤΡ} ^{c,d}	{ΙΝ} ^{c,d}	{Τ} ^d
------------------	--------------------	------------------	------------------	-------------------	--------------------	---------------------	---------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυοπροστατευτικό)

{6} ^a	{5} ^a	{4} ^a	{1} ^b	{3} ^c	{2} ^c
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (χρόνος)

Αστάθεια αφρού

Univariate Tests of Significance for Var5 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19,97655	1	19,97655	5401,931	0,000000
"Var1"	0,62631	8	0,07829	21,171	0,000000
"Var2"	0,07987	5	0,01597	4,319	0,003094
Error	0,14792	40	0,00370		

Duncan test; variable Var5 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,09000						
Error: Between MS = ,00370, df = 40,000						
Cell No.	Var1	Var5 Mean	1	2	3	4
1	1	0,528730	****			
5	5	0,542886	****			
3	3	0,544807	****			
6	6	0,558567	****	****		
4	4	0,566140	****	****		
2	2	0,578910	****	****		
9	9	0,613542		****	****	
8	8	0,643393			****	
7	7	0,897039				****

Duncan test; variable Var5 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)
 Homogenous Groups, alpha = ,09000
 Error: Between MS = ,00370, df = 40,000

Cell No.	Var2	Var5 Mean	1	2
2	2	0,526737		****
3	3	0,608809	****	
1	1	0,609528	****	
6	6	0,626386	****	
5	5	0,636191	****	
4	4	0,641691	****	

{T} ^a	{ΦP} ^a	{Z} ^a	{IN} ^{a,b}	{TP} ^{a,b}	{A} ^{a,b}	{I+T} ^{b,c}	{Λ} ^c	{X} ^d
------------------	-------------------	------------------	---------------------	---------------------	--------------------	----------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυοπροστατευτικό)

{2} ^a	{3} ^b	{1} ^b	{6} ^b	{5} ^b	{4} ^b
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (χρόνος)

Συγκράτηση νερού

Univariate Tests of Significance for Var6 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	700,7808	1	700,7808	5379,069	0,000000
"Var1"	19,1645	8	2,3956	18,388	0,000000
"Var2"	7,2024	5	1,4405	11,057	0,000001
Error	5,2112	40	0,1303		

Duncan test; variable Var6 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)
 Homogenous Groups, alpha = ,09000
 Error: Between MS = ,13028, df = 40,000

Cell No.	Var1	Var6 Mean	1	2	3	4
3	3	3,053951	****			
1	1	3,168744	****			
4	4	3,168934	****			
6	6	3,194369	****			
5	5	3,229084	****			
2	2	3,677304		****		
9	9	3,855009		****	****	
8	8	4,093118			****	
7	7	4,981259				****

Duncan test; variable Var6 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)
Homogenous Groups, alpha = ,09000
Error: Between MS = ,13028, df = 40,000

Cell No.	Var2	Var6 Mean	1	2	3
1	1	2,963280			****
2	2	3,344702	****		
4	4	3,645518	****		
3	3	3,655379	****		
5	5	3,997685		****	
6	6	4,007951		****	

{Z} ^a	{T} ^a	{TP} ^a	{IN} ^a	{ΦP} ^a	{A} ^b	{I+T} ^{b,c}	{Λ} ^c	{X} ^d
------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------	----------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυοπροστατευτικό)

{1} ^a	{2} ^b	{4} ^b	{3} ^b	{5} ^c	{6} ^c
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (χρόνος)

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Var7 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)
Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	29,49792	1	29,49792	1930,151	0,000000
"Var1"	1,10916	8	0,13865	9,072	0,000001
"Var2"	0,01299	5	0,00260	0,170	0,972227
Error	0,61131	40	0,01528		

Duncan test; variable Var7 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)
Homogenous Groups, alpha = ,09000
Error: Between MS = ,01528, df = 40,000

Cell No.	Var1	Var7 Mean	1	2	3	4
8	8	0,589333	****			
5	5	0,650000	****	****		
2	2	0,673333	****	****		
7	7	0,676667	****	****		
9	9	0,678333	****	****		
3	3	0,703167	****	****		
4	4	0,733833		****	****	
6	6	0,848500			****	
1	1	1,098667				****

{Λ} ^a	{ΦP} ^{a,b}	{A} ^{a,b}	{X} ^{a,b}	{I+T} ^{a,b}	{Z} ^{a,b}	{TP} ^{b,c}	{IN} ^c	{T} ^d
------------------	---------------------	--------------------	--------------------	----------------------	--------------------	---------------------	-------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυοπροστατευτικό)

Προσκολλησιμότητα

Univariate Tests of Significance for Var8 (ασπράδι-α σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	88442,73	1	88442,73	344,4368	0,000000
"Var1"	13171,24	8	1646,40	6,4119	0,000024
"Var2"	769,85	5	153,97	0,5996	0,700393
Error	10271,00	40	256,77		

Duncan test; variable Var8 (ασπράδι-α σειρά μετρησεων) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 256,77, df = 40,000							
Cell No.	Var1	Var8 Mean	1	2	3	4	5
7	7	10,14850			****		
2	2	23,78333			****	****	
8	8	28,15900			****	****	****
9	9	38,96500	****			****	****
6	6	47,13100	****	****			****
4	4	49,19133	****	****			
5	5	53,03517	****	****			
3	3	53,39000	****	****			
1	1	60,42750		****			

{X} ^a	{A} ^{a,b}	{Λ} ^{a,b,c}	{I+T} ^{b,c,d}	{IN} ^{c,d,e}	{TP} ^{d,e}	{ΦP} ^{d,e}	{Z} ^{d,e}	{T} ^e
------------------	--------------------	----------------------	------------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	--------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυοπροστατευτικό)

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Var9 (ασπράδι-α σειρά μετρησεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	13,07382	1	13,07382	15084,55	0,000000
"Var1"	0,01138	8	0,00142	1,64	0,143846
"Var2"	0,03456	5	0,00691	7,97	0,000027
Error	0,03467	40	0,00087		

Duncan test; variable Var9 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,05000						
Error: Between MS = ,00087, df = 40,000						
Cell No.	Var2	Var9 Mean	1	2	3	
4	4	0,454356			****	
5	5	0,464522			****	
3	3	0,493489	****			
6	6	0,500833	****	****		
1	1	0,513578	****	****		
2	2	0,525489		****		

{4} ^a	{5} ^a	{3} ^b	{6} ^{b,c}	{1} ^{b,c}	{2} ^c
------------------	------------------	------------------	--------------------	--------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (χρόνος)

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Var10 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	28,70481	1	28,70481	1815,251	0,000000
"Var1"	2,58462	8	0,32308	20,431	0,000000
"Var2"	0,06656	5	0,01331	0,842	0,528172
Error	0,63253	40	0,01581		

Duncan test; variable Var10 (ασπράδι-α σειρά μετρήσεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,09000						
Error: Between MS = ,01581, df = 40,000						
Cell No.	Var1	Var10 Mean	1	2	3	
1	1	0,560383	****			
5	5	0,576583	****			
6	6	0,611400	****			
9	9	0,623317	****			
3	3	0,636150	****			
4	4	0,658950	****			
8	8	0,785700		****		
2	2	0,804400		****		
7	7	1,304917			****	

{T} ^a	{ΦΡ} ^a	{ΙΝ} ^a	{Ι+Τ} ^a	{Ζ} ^a	{ΤΡ} ^a	{Λ} ^b	{Α} ^b	{Χ} ^c
------------------	-------------------	-------------------	--------------------	------------------	-------------------	------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Α (κρυοπροστατευτικό)

Ασπράδι αυγού-β' σειρά πειραμάτων

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Var3 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	136573,8	1	136573,8	23279,23	0,000000	
"Var1"	390,5	8	48,8	8,32	0,000005	
"Var2"	44,9	4	11,2	1,91	0,132544	
Error	187,7	32	5,9			

Duncan test; variable Var3 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων) Homogenous Groups, alpha = ,09000 Error: Between MS = 5,8668, df = 32,000						
Cell No.	Var1	Var3 Mean	1	2	3	4
6	6	50,70466	****			
3	3	52,36998	****	****		
1	1	52,70332	****	****		
5	5	53,55134	****	****		
9	9	55,10534		****	****	
2	2	56,41600			****	
8	8	56,82864			****	
4	4	57,19932			****	
7	7	60,93666				****

{IN} ^a	{Z} ^{a,b}	{T} ^{a,b}	{ΦP} ^{a,b}	{I+T} ^{b,c}	{A} ^c	{Λ} ^c	{TP} ^c	{X} ^d
-------------------	--------------------	--------------------	---------------------	----------------------	------------------	------------------	-------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)

Ιξώδες

Univariate Tests of Significance for Var4 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	13371,34	1	13371,34	1327,526	0,000000	
"Var1"	909,06	8	113,63	11,282	0,000000	
"Var2"	209,07	4	52,27	5,189	0,002449	
Error	322,32	32	10,07			

Duncan test; variable Var4 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)
Homogenous Groups, alpha = ,09000
Error: Between MS = 10,072, df = 32,000

Cell No.	Var1	Var4 Mean	1	2	3	4	5
7	7	10,74000	****				
9	9	12,70000	****	****			
8	8	12,98000	****	****			
2	2	14,64000		****	****		
5	5	17,96000			****	****	
6	6	18,28000			****	****	
4	4	20,76000				****	****
3	3	22,96000					****
1	1	24,12000					****

Duncan test; variable Var4 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)
Homogenous Groups, alpha = ,09000
Error: Between MS = 10,072, df = 32,000

Cell No.	Var2	Var4 Mean	1	2	3
5	5	13,60000			****
4	4	16,27778	****		
3	3	17,96667	****	****	
1	1	18,44444	****	****	
2	2	19,90000		****	

{X} ^a	{I+T} ^{a,b}	{Λ} ^{a,b}	{A} ^{b,c}	{ΦΡ} ^{c,d}	{ΙΝ} ^{c,d}	{ΤΡ} ^{d,e}	{Z} ^e	{Τ} ^e
------------------	----------------------	--------------------	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυπροστατευτικό)

{5} ^a	{4} ^b	{3} ^{b,c}	{1} ^{b,c}	{2} ^c
------------------	------------------	--------------------	--------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (χρόνος)

Αστάθεια αφρού

Univariate Tests of Significance for Var5 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)
Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	16,23352	1	16,23352	4372,279	0,000000
"Var1"	0,52304	8	0,06538	17,609	0,000000
"Var2"	0,09774	4	0,02443	6,581	0,000554
Error	0,11881	32	0,00371		

Duncan test; variable Var5 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,09000						
Error: Between MS = ,00371, df = 32,000						
Cell No.	Var1	Var5 Mean	1	2	3	4
1	1	0,485949			****	
3	3	0,540347	****		****	
6	6	0,559318	****			
2	2	0,563954	****			
9	9	0,571423	****			
5	5	0,576407	****	****		
4	4	0,578171	****	****		
8	8	0,645035		****		
7	7	0,884980				****

Duncan test; variable Var5 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)					
Homogenous Groups, alpha = ,09000					
Error: Between MS = ,00371, df = 32,000					
Cell No.	Var2	Var5 Mean	1	2	3
2	2	0,519136			****
5	5	0,588071	****		
1	1	0,609528	****	****	
3	3	0,629763	****	****	
4	4	0,656604		****	

{T} ^a	{Z} ^{a,b}	{IN} ^b	{A} ^b	{I+T} ^b	{ΦP} ^{b,c}	{TP} ^{b,c}	{Λ} ^c	{X} ^d
------------------	--------------------	-------------------	------------------	--------------------	---------------------	---------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)

{2} ^a	{5} ^b	{1} ^{b,c}	{3} ^{b,c}	{4} ^c
------------------	------------------	--------------------	--------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (χρόνος)

Συγκράτηση νερού

Univariate Tests of Significance for Var6 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	579,4519	1	579,4519	5166,446	0,000000
"Var1"	20,4974	8	2,5622	22,845	0,000000
"Var2"	13,6577	4	3,4144	30,443	0,000000
Error	3,5890	32	0,1122		

Duncan test; variable Var6 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)							
Homogenous Groups, alpha = ,09000							
Error: Between MS = ,11216, df = 32,000							
Cell No.	Var1	Var6 Mean	1	2	3	4	5
1	1	2,709577				****	
6	6	3,098761	****				
4	4	3,120943	****				
5	5	3,139652	****				
3	3	3,189503	****				
2	2	3,730833		****			
9	9	4,097637		****	****		
8	8	4,317846			****		
7	7	4,890968					****

Duncan test; variable Var6 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)							
Homogenous Groups, alpha = ,09000							
Error: Between MS = ,11216, df = 32,000							
Cell No.	Var2	Var6 Mean	1	2	3		
1	1	2,963280	****				
2	2	3,074928	****				
3	3	3,602439		****			
4	4	3,811218		****			
5	5	4,490202			****		

{T} ^a	{IN} ^b	{TP} ^b	{ΦP} ^b	{Z} ^b	{A} ^c	{I+T} ^{c,d}	{Λ} ^d	{X} ^e
------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------	------------------	----------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)

{1} ^a	{2} ^a	{3} ^b	{4} ^b	{5} ^c
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (χρόνος)

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Var7 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	27,78825	1	27,78825	1567,417	0,000000
"Var1"	0,71543	8	0,08943	5,044	0,000415
"Var2"	0,03790	4	0,00948	0,534	0,711321
Error	0,56732	32	0,01773		

Duncan test; variable Var7 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)
Homogenous Groups, alpha = ,09000
Error: Between MS = ,01773, df = 32,000

Cell No.	Var1	Var7 Mean	1	2	3
5	5	0,690200	****		
8	8	0,691600	****		
3	3	0,713600	****		
4	4	0,715000	****		
9	9	0,717600	****		
2	2	0,730800	****		
7	7	0,829800	****	****	
6	6	0,891200		****	
1	1	1,092600			****

{ΦΡ} ^a	{Λ} ^a	{Ζ} ^a	{ΤΡ} ^a	{Ι+Τ} ^a	{Α} ^a	{Χ} ^{a,b}	{ΙΝ} ^b	{Τ} ^c
-------------------	------------------	------------------	-------------------	--------------------	------------------	--------------------	-------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)

Προσκολλησιμότητα

Univariate Tests of Significance for Var8 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)
Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	79812,28	1	79812,28	335,6617	0,000000
"Var1"	16066,87	8	2008,36	8,4464	0,000004
"Var2"	2170,06	4	542,52	2,2816	0,082133
Error	7608,83	32	237,78		

Duncan test; variable Var8 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = 237,78, df = 32,000

Cell No.	Var1	Var8 Mean	1	2	3	4
7	7	11,90360			****	
2	2	25,64240		****	****	
4	4	35,33584	****	****		
9	9	36,27580	****	****		
8	8	38,49440	****	****		
6	6	42,69080	****	****		
5	5	48,42960	****			
3	3	57,35060	****			
1	1	82,90480				****

{Χ} ^a	{Α} ^{a,b}	{ΤΡ} ^{b,c}	{Ι+Τ} ^{b,c}	{Λ} ^{b,c}	{ΙΝ} ^{b,c}	{ΦΡ} ^c	{Ζ} ^c	{Τ} ^d
------------------	--------------------	---------------------	----------------------	--------------------	---------------------	-------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Var9 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	11,39879	1	11,39879	12617,48	0,000000
"Var1"	0,02114	8	0,00264	2,93	0,014351
"Var2"	0,00910	4	0,00227	2,52	0,060639
Error	0,02891	32	0,00090		

Duncan test; variable Var9 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων) Homogenous Groups, alpha = ,09000 Error: Between MS = ,00090, df = 32,000						
Cell No.	Var1	Var9 Mean	1	2	3	4
8	8	0,460740				****
9	9	0,477940			****	****
7	7	0,500060	****		****	
4	4	0,502460	****	****	****	
6	6	0,505640	****	****	****	
5	5	0,508160	****	****	****	
3	3	0,516660	****	****		
1	1	0,518180	****	****		
2	2	0,539820		****		

{Λ} ^a	{I+T} ^{a,b}	{Χ} ^{b,c}	{ΤΡ} ^{b,c,d}	{ΙΝ} ^{b,c,d}	{ΦΡ} ^{b,c,d}	{Ζ} ^{c,d}	{Τ} ^{c,d}	{Α} ^d
------------------	----------------------	--------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------	--------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Var10 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων) Sigma-restriction Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	20,28192	1	20,28192	1466,700	0,000000
"Var1"	1,56562	8	0,19570	14,152	0,000000
"Var2"	0,08673	4	0,02168	1,568	0,206643
Error	0,44250	32	0,01383		

Duncan test; variable Var10 (ασπράδι-β σειρά μετρήσεων)						
Homogenous Groups, alpha = ,09000						
Error: Between MS = ,01383, df = 32,000						
Cell No.	Var1	Var10 Mean	1	2	3	
1	1	0,522760	****			
3	3	0,528080	****			
5	5	0,571460	****	****		
6	6	0,592880	****	****		
8	8	0,630160	****	****		
9	9	0,650180	****	****		
4	4	0,677720		****		
2	2	0,695960		****		
7	7	1,172940			****	

{T} ^a	{Z} ^a	{ΦΡ} ^{a,b}	{ΙΝ} ^{a,b}	{Λ} ^{a,b}	{Ι+Τ} ^{a,b}	{ΤΡ} ^b	{Α} ^b	{Χ} ^c
------------------	------------------	---------------------	---------------------	--------------------	----------------------	-------------------	------------------	------------------

Σημαντικές διαφορές ΣΕΙΡΑ Β (κρυοπροστατευτικό)