



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΧΡΗΣΗ ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΨΑΡΙΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΝΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΤΖΙΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας ΕΜΠ, Δρ Κωνσταντίνας Τζιά.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Τζιά για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος έρευνας, καθώς και για την προτροπή για ενδελεχή ενασχόληση με αυτό. Παράλληλα, την ευχαριστώ για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε, καθώς και για τις γνώσεις που αποκόμισα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ακόμη, θερμές ευχαριστίες στη Διδάκτορα Βιργινία Γιάννου για τη συνεχή υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της διπλωματικής μου, καθώς και το προσωπικό του εργαστηρίου για την προθυμία τους για βοήθεια και τις συμβουλές τους.

Επίσης, ευχαριστώ τους συναδέλφους μου προπτυχιακούς φοιτητές για τη συνεργατικότητα που επέδειξαν, καθώς και για το ιδιαίτερα ευχάριστο κλίμα εργασίας που δημιουργήθηκε.

Επιπλέον, ευχαριστώ την κυρία Δομβρίδου Έλενα και την εταιρεία ΤΡΟΦΙΝΚΟ για την παροχή της πρώτης ύλης που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματά μου.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όλους τους φίλους μου για τη διαρκή στήριξη που μου παρέχουν.

Αθήνα, Ιούνιος 2019

Δημήτρης Κανακάκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της κρυοπροστατευτικής δράσης των ουσιών: ζάχαρη, ινουλίνη, τρεχαλόζη, λακτιτόλη, χιτοζάνη και μαλτοδεξτρίνη, οι οποίες ενσωματώθηκαν σε δείγματα δύο ειδών κατεψυγμένων φιλέτων βακαλάου (cod και pollock), τα οποία αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη, υπό συνθήκες κανονικής και επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης). Παράλληλα, ως συμπληρωματική έρευνα, εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της κρυοπροστατευτικής δράσης πρωτεϊνικού συμπυκνώματος, εξαγόμενου από φιλέτα βακαλάου, συγκριτικά με την κρυοπροστατευτική δράση μίγματος δύο από τις προαναφερθείσες κρυοπροστατευτικές ουσίες, ύστερα από ενσωμάτωσή τους σε κατεψυγμένα φιλέτα cod, τα οποία αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Αρχικά, όσον αφορά το θεωρητικό υπόβαθρο της μελέτης, γίνεται αναφορά στην ταξινόμηση των ψαριών, στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ορισμένων ειδών και στη θέση που κατέχουν τα ψάρια στην παγκόσμια διατροφή. Έπειτα, παρατίθεται αναλυτικά η χημεία και η σύσταση των ψαριών, ενώ, στη συνέχεια, αναφέρονται οι παράγοντες που συμβάλλουν στην αλλοίωσή τους και η απαραίτητη επεξεργασία που απαιτείται για να αποτελέσουν τα ψάρια ασφαλή και υγιεινά τρόφιμα. Ακολουθεί γενική επισκόπηση της κατάψυξης ως μεθόδου συντήρησης και της επίδρασής της στα τρόφιμα γενικότερα και στα θαλασσινά ειδικότερα. Τέλος, γίνεται λόγος για την κρυοπροστασία και την ανάγκη ενσωμάτωσης κρυοπροστατευτικών ουσιών στα κατεψυγμένα τρόφιμα.

Τα πειράματα που έλαβαν χώρα χωρίστηκαν σε τρεις σειρές. Στην πρώτη σειρά παρήχθησαν δείγματα από δύο είδη ψαριού, cod και pollock, στα οποία ενσωματώθηκαν χωριστά ζάχαρη (8% w/w), ινουλίνη (8% w/w), τρεχαλόζη (προσθήκη με τη μορφή διαλύματος 3% w/v), λακτιτόλη (8% w/w), χιτοζάνη (προσθήκη με τη μορφή διαλύματος 1% w/v) και μαλτοδεξτρίνη (8% w/w), ενώ εξετάστηκαν και δείγματα στα οποία δεν προστέθηκε κρυοπροστατευτικό (τυφλά δείγματα). Τα δείγματα αυτά αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη στους -18 °C, υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης για χρονικό διάστημα 70 ημερών.

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων, όπως και στην πρώτη, παρήχθησαν δείγματα και από τα δύο είδη ψαριού, στα οποία ενσωματώθηκαν χωριστά οι ίδιες κρυοπροστατευτικές ουσίες στις ίδιες αναλογίες, ενώ εξετάστηκαν και δείγματα στα οποία δεν προστέθηκε κρυοπροστατευτικό (τυφλά δείγματα). Τα δείγματα αυτά αποθηκεύτηκαν, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης), σε κατάψυξη στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ για χρονικό διάστημα 63 ημερών.

Στην τρίτη σειρά πειραμάτων, αρχικά έγινε παραλαβή με καταβύθιση και εκχύλιση πρωτεϊνικού συμπυκνώματος από φιλέτο βακαλάου (cod). Στη συνέχεια παρήχθησαν 4 δείγματα από κατεψυγμένο φιλέτο βακαλάου, στο πρώτο από τα οποία προστέθηκε ποσότητα του πρωτεϊνικού συμπυκνώματος σε ξηρή μορφή, στο δεύτερο ποσότητα ενυδατωμένου συμπυκνώματος, ενώ στο τρίτο προστέθηκε μίγμα 1:1 των δύο καλύτερων κρυοπροστατευτικών σε στερεή μορφή. Στο τέταρτο δείγμα δεν προστέθηκε κρυοπροστατευτικό (τυφλό δείγμα). Έπειτα, τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη, στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης για χρονικό διάστημα 30 ημερών.

Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των δειγμάτων των σειρών 1, 2 και 3, προκειμένου να προσδιοριστούν οι μεταβολές των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σχετικά με την περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων, την απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμά τους, το χρώμα τους, την υφή τους και την εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών τους. Παράλληλα με την επεξεργασία των μετρήσεων αυτών διεξήχθη και στατιστική ανάλυση αυτών.

Από την επεξεργασία των μετρήσεων για την πρώτη σειρά πειραμάτων (κανονικές συνθήκες αλλοίωσης) όσον αφορά τα δείγματα από φιλέτα cod, προέκυψε ότι, καλύτερη κρυοπροστατευτική δράση επέδειξε η προσθήκη ινουλίνης (εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών περίπου 10 % έναντι περίπου 5 % του τυφλού προσδιορισμού) και η προσθήκη ζάχαρης (απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων περίπου 20 % έναντι περίπου 25 % του τυφλού προσδιορισμού, εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών περίπου 15 % έναντι περίπου 5 % του τυφλού προσδιορισμού). Αντίστοιχα, όσον αφορά τα δείγματα από φιλέτα Pollock, καλύτερη κρυοπροστατευτική δράση επέδειξε η προσθήκη ινουλίνης (εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών περίπου 30-35 % έναντι περίπου 20 % του τυφλού προσδιορισμού) και χιτοζάνης (απώλεια υγρασίας

κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων μικρότερη του 50 % έναντι 50-60 % του τυφλού προσδιορισμού).

Στη συνέχεια, από την επεξεργασία των μετρήσεων για τη δεύτερη σειρά πειραμάτων (συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης) όσον αφορά τα δείγματα από φιλέτα cod, προέκυψε ότι, η προσθήκη χιτοζάνης επέδειξε καλύτερη κρυοπροστατευτική δράση, τόσο σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσο και σε σύγκριση με τη δράση της στην πρώτη σειρά δειγμάτων (εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών περίπου 10 % έναντι περίπου 5 % του τυφλού προσδιορισμού), ενώ ικανοποιητική κρυοπροστατευτική δράση επέδειξε και η προσθήκη μαλτοδεξτρίνης (παρόμοιες τιμές με τη χιτοζάνη). Αντίστοιχα, όσον αφορά τα δείγματα από φιλέτα Pollock, καλύτερη κρυοπροστατευτική δράση επέδειξε η προσθήκη ζάχαρης και τρεχαλόζης (εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών περίπου 35 % και 30 % αντίστοιχα έναντι 20 % του τυφλού προσδιορισμού).

Τέλος, από την επεξεργασία των μετρήσεων για την τρίτη σειρά πειραμάτων, προέκυψε ότι, καλύτερη κρυοπροστατευτική δράση επέδειξε η προσθήκη στα δείγματα ένυδρου πρωτεϊνικού συμπυκνώματος από φιλέτο βακαλάου (εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών 17,5 % αντίστοιχα έναντι 17,23 % του τυφλού προσδιορισμού).

Γενικά, προέκυψε ότι, παρόλο που παρατηρήθηκαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, σε κάθε είδος ψαριού οι κρυοπροστατευτικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διαφορετική επίδραση. Προκειμένου να μελετηθεί περαιτέρω το φαινόμενο αυτό, καθώς και αρκετές ακόμα παράμετροι γύρω από την εφαρμογή της κρυοπροστασίας στα ψάρια, καθίσταται απαραίτητη η διεξαγωγή επιπλέον πειραμάτων στο μέλλον.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to determine the cryoprotective activity of the substances sugar, inulin, trehalose, lactitol, chitosan and maltodextrin when added separately to frozen fillets of two different kinds of fish, cod and Pollock, which are then frozen stored under conditions of normal, as well as accelerated deterioration (freeze –thaw cycles). Moreover, a complementary study examines the effectiveness of cryoprotective activity of protein concentrates, extracted from cod fillets, in comparison to the effectiveness of cryoprotective activity of a mixture of two of the cryoprotective substances mentioned above, when added separately to frozen cod fillets, which are then frozen stored under conditions of normal deterioration.

To begin with, regarding the theoretical background of the thesis, a reference is made to the classification of fish, the particular characteristics of specific kinds of fish and their role in world nutrition. Secondly, the chemistry and composition of fish are presented in detail, followed by an enumeration of the factors which contribute to their deterioration and the description of the necessary handling required to render fish healthy and safe for human consumption. Subsequently, there is a general overview of frozen storage as a preservation method and its effect on foods in general and seafood in particular. Finally, reference is made to the issue of cryoprotection and the need for adding substances with cryoprotective activity to frozen foods.

The experiments that took place were divided into three sets. The first one studied the cryoprotective activity of the substances mentioned above, which were added separately to samples produced from two kinds of fish, cod and pollock, while some samples were produced without adding a cryoprotective substance (blank samples). The samples were then frozen stored in -18 °C under conditions of normal deterioration for 70 days.

The second set of experiments studied the cryoprotective activity of the substances mentioned above, which were added separately to samples produced from two kinds of fish, cod and pollock, while there were some samples produced without adding a cryoprotective substance (blank samples). The samples were then frozen stored in -18 °C under conditions of accelerated deterioration (freeze-thaw cycles) for 63 days.

The third set of experiments initially studied the precipitation and extraction of protein concentrate from frozen cod fillets. Afterwards, four samples of frozen cod fillet were produced, to each of which were added separately: an amount of dried protein concentrate, an amount of hydrated protein concentrate and an amount of a 1:1 ratio mixture of two of the most efficient cryoprotective substances from the ones mentioned above, while in the fourth sample no cryoprotective substance was added (blank sample). The samples were then frozen stored in -18 °C under conditions of normal deterioration for 30 days.

To determine the variation of the quality characteristics of the samples during frozen storage, they were measured for their moisture content, their moisture loss during cooking, their color, their texture and the degree of extractability of their proteins. The results of these measurements were processed and analyzed statistically.

The process of the measurements for the first set of experiments (normal deterioration conditions), concerning the samples produced by the cod fillets, indicated that the addition of inulin (10 % protein extractability compared to 5 % of blank samples) and sugar (20 % moisture loss during cooking compared to 25 % of blank samples, 15 % protein extractability compared to 5 % of blank samples) displayed better cryoprotective activity than all the other substances tested. Likewise, concerning the samples produced by pollock fillets, the addition of inulin (30-35 % protein extractability compared to 20 % of blank samples) and chitosane (moisture loss during cooking less than 50 % compared to 50-60 % of blank samples) was the most effective in terms of cryoprotective activity.

The process of the measurements for the second set of experiments (accelerated deterioration conditions), concerning the samples produced by the cod fillets, indicated that the addition of chitosan (10 % protein extractability compared to 5 % of blank samples) displayed better cryoprotective activity than all the other substances tested, while the addition of maltodextrine displayed a satisfactory cryoprotective activity as well (similar results to chitosan case). Likewise, concerning the samples produced by pollock fillets, the addition of trehalose and sugar (protein extractability 35 % and 30 % respectively compared to 20 % of blank samples) was the most effective in terms of cryoprotective activity.

Finally, the process of the measurements for the third set of experiments (normal deterioration conditions) indicated that the addition of dried protein concentrate in samples produced by frozen cod fillets displayed better cryoprotective activity than all the other substances tested (17,5 % protein extractability compared to 17,23 % of blank samples).

In conclusion, despite the generally satisfactory results obtained, it became clear that the cryoprotective substances used had a different effect on each kind of fish. In order to study the phenomenon of cryoprotection further, as well as other parameters regarding the application of cryoprotection in fish, it is deemed necessary that additional experiments should be conducted in the future.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ	16
1.1 Γενικά για τα θαλασσινά	16
1.2 Σύγκριση επίγειων και θαλάσσιων ζώων.....	17
1.3 Κατηγορίες ψαριών.....	18
1.4 Είδη ψαριών	19
1.4.1 Γάδος (Cod).....	19
1.4.2 Haddock.....	22
1.4.3 Μπακαλιάρος (Hake).....	23
1.4.4 Σκουμπρί Ατλαντικού (Mackerel).....	27
1.4.5 Κέφαλος (Mullet).....	28
1.4.6 Βακαλάος (Pollock).....	29
1.4.7 Σολομός Ατλαντικού (Atlantic salmon)	30
1.4.8 Πέρκα Ατλαντικού (Atlantic Perch)	31
1.4.9 Τόνος (Tuna)	32
1.5 Στατιστικές αναφορές σε παγκόσμιο επίπεδο.....	35
1.6 Συνεισφορά των θαλασσινών στην παγκόσμια διατροφή	36
1.7 Βιβλιογραφία.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ	39
2.1 Γενικά.....	39
2.2 Ανατομία των ψαριών.....	40
2.3 Δομή και σύνθεση των μυών	41
2.3.1 Ανατομική δόμηση	41
2.3.2 Χημική σύσταση	41
2.4 Πρωτεΐνες.....	42
2.4.1 Γενικά για τις πρωτεΐνες.....	42
2.4.2 Κατηγορίες πρωτεϊνών των θαλασσινών.....	43
2.4.3 Προσδιορισμός πρωτεϊνικού περιεχομένου.....	47
2.5 Λιπίδια.....	48
2.6 Υδατάνθρακες	49

2.7 Μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ενώσεις.....	50
2.7.1 Ουρία.....	50
2.7.2 Οξείδιο της τριμεθυλαμίνης.....	50
2.7.3 Αμμωνία	51
2.7.4 Κρεατίνη	51
2.7.5 Βεταΐνες.....	51
2.7.6 Ελεύθερα αμινοξέα	52
2.8 Αντιοξειδωτικά	52
2.8.1 Οξείδωση στα λιπαρά των ψαριών.....	52
2.8.2 Αντιοξειδωτικά	53
2.8.3 Αντιοξειδωτικά στα θαλασσινά και στα προϊόντα τους	54
2.9 Βιταμίνες	58
2.9.1 Λιποδιαλυτές βιταμίνες	58
2.9.2 Υδατοδιαλυτές βιταμίνες	60
2.10 Ανόργανα συστατικά (άλατα, μέταλλα και ιχνοστοιχεία)	62
2.11 Βιβλιογραφία.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΛΙΕΥΜΑΤΩΝ	66
3.1 Αλλοίωση των θαλασσινών.....	66
3.1.1 Χημικοί και βιολογικοί παράγοντες.....	66
3.2 Μεταθανάτιες μεταβολές	68
3.2.1 Νεκρική ακαμψία (rigor mortis).....	68
3.2.2 Σχίσμο μυϊκών ινών (garing).....	69
3.2.3 Αναγωγή του οξειδίου της τριμεθυλαμίνης.....	70
3.2.4 Οξείδωση των λιπιδίων	70
3.2.5 Αλλαγές στη γεύση.....	71
3.2.6 Αλλαγές στην υφή	72
3.2.7 Αποχρωματισμός.....	74
3.2.7 Μελάνωση.....	75
3.2.8 Άλλες μεταβολές	76
3.3 Επεξεργασία των θαλασσινών μετά την αλίευση.....	77
3.3.1 Αλιευτικά μέσα.....	77
3.3.2 Τόπος διεξαγωγής αλίευσης	82
3.3.2 Σύνθεση της συγκομιδής.....	83
3.3.3 Ποιοτικές αλλαγές της συγκομιδής.....	84

3.4 Διαχείριση της συγκομιδής (onboard handling)	85
3.4.1 Διάγραμμα ροής της «εν πλω» (onboard) διαχείρισης της συγκομιδής	85
3.4.2 Ταξινόμηση των ειδών	86
3.4.3 Άμεση θανάτωση	86
3.4.4 Πλύσιμο	86
3.4.5 Εκσπλαχνισμός	87
3.4.6 Αφαίμαξη.....	88
3.4.7 Αφαίρεση των βραγχίων	89
3.4.8 Φιλετάρισμα.....	89
3.4.9 Αποθήκευση και ψύξη (onboard storage and chilling)	89
3.4.10 Ξεφόρτωμα της συγκομιδής	91
3.5 Βιβλιογραφία.....	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΨΥΞΗ	95
4.1 Εισαγωγή	95
4.2 Ψύξη	96
4.3 Κατάψυξη	97
4.4 Στάδια της κατάψυξης.....	100
4.5 Φαινόμενα κατά την κατάψυξη των τροφίμων	101
4.5.1 Σχηματισμός πάγου	101
4.5.2 Μεταβολές στον όγκο	104
4.5.3 Υαλώδης μετάπτωση	105
4.5.4 Συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών.....	106
4.5.5 Ωσμωτικά φαινόμενα.....	107
4.5.6 Ρυθμός κατάψυξης.....	107
4.6 Υπολογισμός του χρόνου κατάψυξης	109
4.7 Τεχνολογία κατάψυξης τροφίμων	112
4.7.1 Καταψυκτήρες με προσφύσηση αέρα	113
4.7.2 Καταψυκτήρες επαφής με στερεές επιφάνειες.....	114
4.7.3 Καταψυκτήρες επαφής με υγρά (με ψεκασμό ή εμβάπτιση).....	116
4.8 Μεταβολές των κατεψυγμένων τροφίμων κατά την αποθήκευση	118
4.8.1 Φυσικές μεταβολές	118
4.8.2 Χημικές μεταβολές	120
4.9 Αφυδάτωση των κατεψυγμένων τροφίμων.....	121
4.9.1 Μετανάστευση με αλλαγή στο υδατικό περιεχόμενο	121

4.9.2 Συνέπειες και αντιμετώπιση του φαινομένου	122
4.10 Οξείδωση των λιπών κατά την κατάψυξη.....	124
4.11 Επίδραση της κατάψυξης στις πρωτεΐνες	125
4.11.1 Μετουσίωση των πρωτεϊνών των τροφίμων	125
4.11.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μετουσίωση	126
4.11.3 Μετουσίωση κατά την κατάψυξη	127
4.11.4 Μηχανισμός της μετουσίωσης στα θαλασσινά και τα προϊόντα τους	128
4.12 Επίδραση της κατάψυξης στους μικροοργανισμούς	129
4.13 Επίδραση της κατάψυξης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων.....	131
4.13.1 Οργανοληπτικές παράμετροι.....	131
4.13.2 Θρεπτικές παράμετροι.....	132
4.14 Απόψυξη.....	133
4.15 Βιβλιογραφία.....	135
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	137
5.1 Κρυοπροστατευτικά	137
5.2 Μοριακή δομή των κρυοπροστατευτικών ενώσεων	139
5.3 Είδη κρυοπροστατευτικών ενώσεων	139
5.3.1 Φωσφορικά άλατα	139
5.3.2 Σάκχαρα-Πολυόλες.....	140
5.3.3 Αμινοξέα.....	141
5.4 Κρυοπροστατευτικές ουσίες υδατανθρακικής προέλευσης	142
5.4.1 Ινουλίνη	142
5.4.2 Τρεχαλόζη.....	145
5.4.3 Λακτιτόλη	149
5.4.4 Χιτοζάνη.....	153
5.4.5 Μαλτοδεξτρίνη.....	155
5.5 Αναζήτηση νέων κρυοπροστατευτικών ουσιών	157
5.5.1 Υδρολύματα ζελατίνης	158
5.5.2 Υδρολύματα χιτίνης.....	159
5.5.3 Χαρακτηριστικά και ρόλος των κρυοπροστατευτικών υδρολυμάτων.....	160
5.5.4 Εφαρμογές των πρωτεϊνικών υδρολυμάτων θαλασσινών ως κρυοπροστατευτικά	161
5.6 Βιβλιογραφία	164
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	167

6.1 Σκοπός	167
6.2 Πειραματική διαδικασία	168
6.2.1 Όργανα και συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν	168
6.2.2 Υλικά και ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν	169
6.2.3 Διάγραμμα ροής πειραματικής διαδικασίας	170
6.2.4 Προετοιμασία δειγμάτων.....	171
6.2.5 Διεξαγωγή Πειραμάτων 1 και 2.....	173
6.2.6 Διεξαγωγή Πειράματος 3	173
6.2.7 Πειραματικές μετρήσεις.....	175
6.3 Βιβλιογραφία.....	181
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ	182
7.1 Φιλέτα cod.....	182
7.1.1 Περιεχόμενη υγρασία (Πείραμα 1)	182
7.1.2 Περιεχόμενη υγρασία (Πείραμα 2)	184
7.1.3 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Πείραμα 1)	185
7.1.4 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Πείραμα 2)	187
7.1.5 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Πείραμα 1).....	188
7.1.6 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Πείραμα 2).....	190
7.1.7 Χρώμα (Πείραμα 1)	192
7.1.8 Χρώμα (Πείραμα 2)	193
7.1.9 Υφή (Πείραμα 1)	194
7.1.10 Υφή (Πείραμα 2).....	198
7.2 Φιλέτα Pollock.....	202
7.2.1 Περιεχόμενη υγρασία (Πείραμα 1)	202
7.2.2 Περιεχόμενη υγρασία (Πείραμα 2)	203
7.2.3 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Πείραμα 1)	204
7.2.4 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Πείραμα 2)	206
7.2.5 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Πείραμα 1).....	207
7.2.6 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Πείραμα 2).....	209
7.2.7 Χρώμα (Πείραμα 1)	211
7.2.8 Χρώμα (Πείραμα 2)	212
7.2.9 Υφή (Πείραμα 1)	213
7.2.10 Υφή (Πείραμα 2).....	217
7.3 Σύγκριση των δύο ειδών ψαριών.....	221

7.3.1 Πείραμα 1-Αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.....	221
7.3.2 Πείραμα 2-Αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης)	223
7.4 Σύγκριση των Πειραμάτων 1 και 2	225
7.5 Αποτελέσματα Πειράματος 3.....	226
7.5.1 Περιεχόμενη Υγρασία.....	226
7.5.2 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα.....	227
7.5.3 Πρωτεϊνικό περιεχόμενο.....	227
7.5.4 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες	228
7.6 Ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA).....	229
7.6.1 Αποθήκευση φιλέτων Cod σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης..	229
7.6.2 Αποθήκευση φιλέτων Cod σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).....	232
7.6.3 Αποθήκευση φιλέτων Pollock σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης	234
7.6.4 Αποθήκευση φιλέτων Pollock σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).....	236
7.6.5 Σύγκριση των δύο ειδών ψαριού κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης.....	238
7.6.6 Σύγκριση των δύο ειδών ψαριού κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης)	241
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	244
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	247

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ

1.1 Γενικά για τα θαλασσινά

Από τα πρώτα βήματα του ανθρώπου στη γη, η αλιεία και το κυνήγι αποτελούσαν τις δύο κύριες μεθόδους με τις οποίες μπορούσε να αποκτή τις απαραίτητες για την επιβίωσή του τροφές. Ωστόσο, με το πέρασμα των χρόνων, ο άνθρωπος ασχολήθηκε περισσότερο με την καλλιέργεια της γης και το χερσαίο κυνήγι, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος των αχανών εκτάσεων θαλασσινών νερών με την πλούσια ποικιλομορφία τους σε ζωικά είδη να παραμείνει ανεκμετάλλευτο. Ωστόσο, τον τελευταίο αιώνα, με την ανακάλυψη νέων μεθόδων και εργαλείων που επιτρέπουν τη μαζική και εξειδικευμένη συλλογή θαλασσινών, η αλιευτική παραγωγή έχει σημειώσει σημαντική άνοδο σε παγκόσμιο επίπεδο. Παράλληλα, συχνό είναι το φαινόμενο της υπεραλίευσης ορισμένων θαλασσινών ειδών, κυρίως ψαριών, εξαιτίας της εξαιρετικής τους ποιότητας και της ζήτησής τους στην αγορά. Για να επιτευχθεί η διατήρηση των αποθεμάτων τους, πολλές χώρες εκτρέφουν τέτοια είδη σε υδατοκαλλιέργειες. Έτσι αποτρέπεται η εξάντληση των αποθεμάτων τους και εξυπηρετείται η ζήτηση από τους καταναλωτές. **(Παπαναστασίου 1990)**

Τα θαλασσινά αποτελούν τα κύρια προϊόντα τροφίμων που προέρχονται από τους ωκεανούς. Ο όρος ‘‘θαλασσινά’’ δεν αναφέρεται μόνο στα ψάρια, αλλά και στα οστρακοειδή, τα οποία περιλαμβάνουν τα καρκινοειδή και τα μαλάκια. Στα καρκινοειδή περιλαμβάνονται η караβίδα, ο κάβουρας, η γαρίδα και ο αστακός, ενώ στα μαλάκια περιλαμβάνονται τα μύδια, τα στρείδια και τα χτένια (δίθυρα), το σαλιγκάρι, ο θαλάσσιος γυμνοσάλιαγκας και τα όστρακα (μονόθυρα), το καλαμάρι, το χταπόδι και η σουπιά (κεφαλόποδα). Έχει υπολογιστεί ότι οι ωκεανοί κατοικούνται από περίπου 50000 είδη μαλακίων και 1000 είδη κεφαλόποδων. Παράλληλα, στα θαλασσινά εντάσσονται και είδη από διάφορες άλλες ζωολογικές ομάδες, όπως εχινόδερμα (αχινοί), ερπετά, αμφίβια, θηλαστικά, σφουγγάρια και ανθόζωα (κοράλλια). **(Venugopal 2009)**

Μία άλλη ονομασία που χρησιμοποιείται ως γενικός προσδιορισμός των θαλάσσιων ζώων είναι “αλιεύματα”, με την οποία χαρακτηρίζονται όλοι οι υδρόβιοι ζωικοί οργανισμοί που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος για τη διατροφή του, τη διατροφή των αγροτικών ζώων και για άλλες χρήσεις. **(Παπαναστασίου 1990)**

1.2 Σύγκριση επίγειων και θαλάσσιων ζώων

Τα θαλασσινά αποτελούν μακράν τη μεγαλύτερη ποικιλία από όλα τα τρόφιμα που προέρχονται από ζώα. Ενώ τα θερμόαιμα θηλαστικά (μοσχάρι, χοίρος, αρνί, γίδα και γάιδαρος) και τα πουλερικά (κοτόπουλο, γαλοπούλα, χήνα και πάπια) αποτελούνται από ελάχιστα είδη, τα ψάρια και άλλα θαλάσσια είδη παρουσιάζουν αφθονία σε αριθμό και ποικιλομορφία. Η κατηγορία των ψαριών μόνο αποτελείται από 25000-35000 είδη. Ωστόσο, ένα πολύ μικρό ποσοστό του αριθμού αυτού (περίπου 5%) βρίσκεται στους ωκεανούς σε αρκετά μεγάλες ποσότητες που να επιτρέπει την οικονομική αξιοποίησή τους (αλιεία και περαιτέρω επεξεργασία). Επιπλέον, μόνο ορισμένα είδη από το ποσοστό αυτό (5%) διαθέτουν τις επιθυμητές οργανοληπτικές ιδιότητες και παρέχουν μία καλή ή ικανοποιητική απόδοση σε φιλέτο, που να δικαιολογεί την αλίευση και επεξεργασία τους.

Μία διαφορά σε σύγκριση με τα χερσαία ζώα είναι το γεγονός ότι η ποιότητα (μέγεθος, φάση ωριμότητας, διατροφική κατάσταση, μόλυνση από παράσιτα, επιβάρυνση από ρύπους) των υδρόβιων ζώων, όταν συλλέγονται με αλιευτικές μεθόδους, είναι δυσκολότερο να προσδιοριστεί. Ενώ, τα χερσαία ζώα σήμερα εκτρέφονται -τροποποιούνται σύμφωνα με τις επιθυμίες των καταναλωτών και της βιομηχανίας ως προς το βάρος, τη σωματική σύνθεση, την εμφάνιση και τις οργανοληπτικές τους ιδιότητες, στην περίπτωση των θαλασσινών υπάρχει μεγάλη ποικιλία στη συγκομιδή των αλιευμάτων, όσον αφορά τα διάφορα είδη ψαριών και τα χαρακτηριστικά τους. **(Oehlenschlager 2010)**

1.3 Κατηγορίες ψαριών

Τα ψάρια, εκτός από το γεγονός ότι αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα του συνόλου των θαλασσινών, είναι και το κύριο ζητούμενο προϊόν διατροφής από τους καταναλωτές.

Οι βασικές - γενικές κατηγορίες που κατατάσσονται τα διάφορα είδη ψαριών είναι:

Τα **Κυκλοστόματα** (Cyclostomata, round mouthed), στα οποία περιλαμβάνονται τα lampreys, τα hagfishes και τα χέλια (slime eels). Αποτελούν τα μόνα σπονδυλωτά που δεν διαθέτουν σαγόνια (jaws).

Οι **Χονδριχθίες** (Chondrichthyes) ή **Ελασμοβράγχια** (Elasmobranchii), στα οποία περιλαμβάνονται οι καρχαρίες, τα σκυλόψαρα και τα σαλάχια. Ο σκελετός των ειδών αυτών αποτελείται πλήρως από χόνδρους. Παράλληλα, τα ψάρια αυτά διαθέτουν μυτερά, πλακοειδή λέπια, σταθερά τοποθετημένα στο δέρμα και μικροσκοπικές σπονδυλικές προεξοχές (tiny spinous projections).

Οι **Οστειχθίες** (Osteichthyes). Τα ψάρια αυτής της κατηγορίας διαθέτουν σκελετό αποτελούμενο πλήρως από οστά και το δέρμα τους είναι καλυμμένο με ένα από τρία είδη λεπιών: γανοειδή (ganoid), κτενοειδή (ctenoid) και κυκλοειδή (cycloid). Τα ψάρια αυτής της κατηγορίας μπορούν, επίσης, να ενταχθούν στην κατηγορία “Ιχθύες” (Pisces).

Ένα δεύτερο τρόπο κατηγοριοποίησης των ψαριών αποτελεί το περιβάλλον στο οποίο ζουν, οπότε τα ψάρια χωρίζονται σε αυτά του **αλμυρού (saltwater)** και σε αυτά του **γλυκού νερού (freshwater)**. Στις δύο αυτές κατηγορίες παρουσιάζονται διαφορές στη χημεία (body chemistry) και, ως αποτέλεσμα, στη διαχείρισή τους κατά την αλίευση. Ορισμένα ψάρια, όπως ο σολομός και το χέλι, είναι ανάδρομα, οπότε εντός του κύκλου ζωής τους, μεταφέρονται από τα γλυκά στα αλμυρά νερά και αντίστροφα. (Regenstein J.M. and Regenstein C.E. 1991)

Παράλληλα, η περιοχή διατροφής των ψαριών αποτελεί έναν άλλο τρόπο κατάταξής τους. Τα **πελαγικά (pelagic)** ψάρια, όπως η ρέγγα και το σκουμπρί, ζουν και τρέφονται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Η τροφή τους αποτελείται κυρίως από φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν. Τα περισσότερα πελαγικά ψάρια έχουν υψηλό

ποσοστό σε λιπαρά, το οποίο, ωστόσο, επηρεάζεται σημαντικά από την εποχή διατροφής. Παράλληλα, διαθέτουν λεπτό και εύθραυστο δέρμα, το οποίο φθείρεται εύκολα κατά την επεξεργασία τους.

Τα **βενθικά (demersal)** ψάρια, όπως ο γάδος και ο βακαλάος, ζουν και τρέφονται κοντά στο βυθό, με την τροφή τους να αποτελείται κυρίως από ψάρια και άλλους οργανισμούς. Τα αποθέματα λίπους τους είναι συσσωρευμένα, κυρίως, στο συκώτι. Διαθέτουν λεπτούς μυς και δεν φθείρονται κατά την επεξεργασία τους όσο τα πελαγικά είδη. (Magnussen et al. 2008)

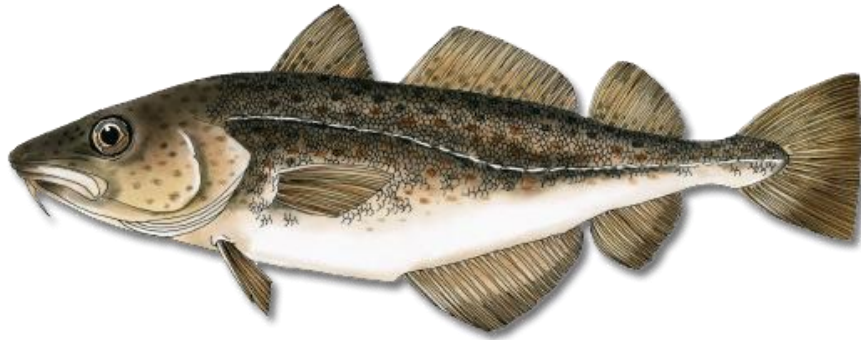
1.4 Είδη ψαριών

1.4.1 Γάδος (Cod)

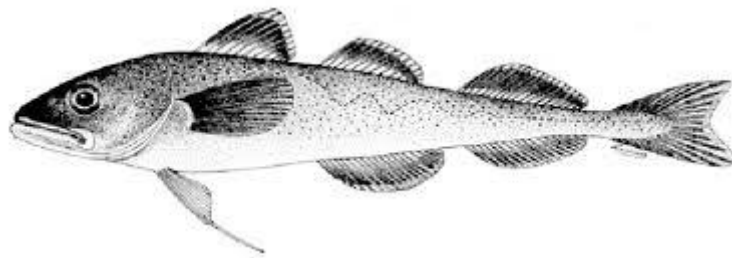
Ο γάδος ανήκει στην οικογένεια Gadidae, η οποία περιλαμβάνει, επίσης, τα είδη Haddock, Pollock, Hake και Hoki. Το είδος αυτό αποτελεί ένα από τα κυριότερα προϊόντα αλίευσης τους τελευταίους αιώνες. Είναι ένα ψάρι που διαθέτει μαλακά πτερύγια, καθώς και ένα χαρακτηριστικό “υπογένειο” (barbell) κάτω από το πηγούνι του, ενώ το άλλο άκρο του σώματός του καταλήγει σε μία τριγωνική ουρά. Προτιμά τα ψυχρά ύδατα, οπότε ζει συνήθως κοντά στο βυθό. Εντοπίζεται και στις δύο πλευρές του Ατλαντικού ωκεανού, στο Βόρειο Ειρηνικό και στον Αρκτικό Ωκεανό. (Seafood handbook)

Ο σημαντικότερος εκπρόσωπος του είδους είναι ο γάδος Ατλαντικού (Atlantic cod), ο οποίος περιλαμβάνει ορισμένα γεωγραφικά υποείδη. Αυτά είναι: ο γάδος Βαλτικής (Gadus morhua callarias), που εντοπίζεται στη Βαλτική Θάλασσα και σε τμήματα της Βόρειας Θάλασσας, ο γάδος του Kildin Island (Gadus morhua kildinensis) που εντοπίζεται στην αλμυρή λίμνη Mogilno, σε ένα νησί στη Βαλτική και ο White sea cod (Gadus morhua marisalbi), που εντοπίζεται στην Αρκτική Θάλασσα. Παράλληλα, ο γάδος Γροιλανδίας (Gadus ogac), συχνά θεωρείται διαφορετικό είδος και βρίσκεται κυρίως στους όρμους και στα ρηχά νερά του Αρκτικού Ωκεανού από τη δυτική

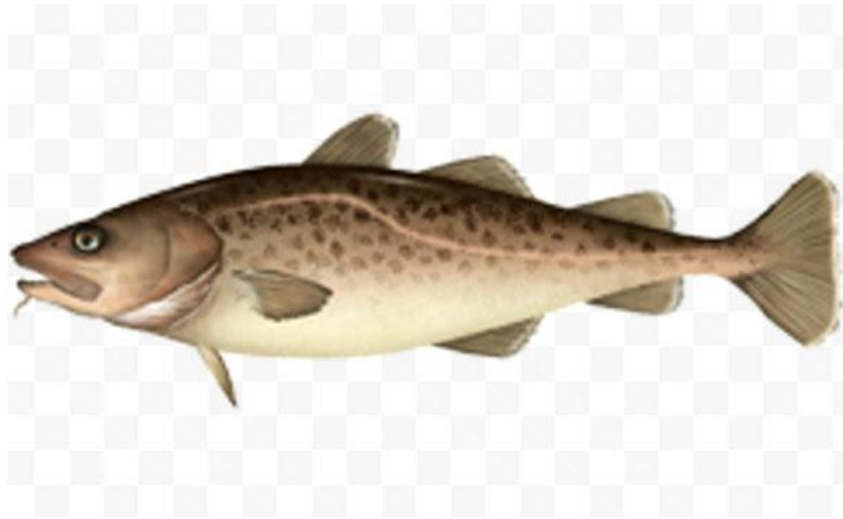
Γροιλανδία έως το Point Barrow της Αλάσκας. Παρομοίως, ο γάδος Ειρηνικού (*Gadus macrocephalous*) θεωρείται και αυτός ξεχωριστό είδος. (Flick et al. 1990)



Εικόνα 1.1 Γάδος Ατλαντικού (Atlantic cod)



Εικόνα 1.2 Πολικός γάδος (Polar cod)



Εικόνα 1.3 Γάδος Ειρηνικού (Pacific cod)



Εικόνα 1.4 Γάδος Γροιλανδίας (Greenland cod)

1.4.2 Haddock



Εικόνα 1.5 Haddock

Ο haddock αποτελεί, επίσης, μέλος της οικογένειας του Gadidae, όπως ο γάδος. Διαθέτει ένα χαρακτηριστικό μαύρο σημάδι, το οποίο συχνά αναφέρεται και ως “ το αποτύπωμα του διαβόλου” ή “το σημάδι του Αγίου Πέτρου”, στην περιοχή του ώμου και το δέρμα του είναι λιγότερο διάστικτο από του γάδου. Όπως και ο γάδος, είναι ένα ψάρι που κατοικεί στο βυθό κυρίως, όπου επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το μέγεθός του κυμαίνεται από 19 έως 90 cm περίπου και το βάρος του μπορεί να φτάσει τα 11 kg.

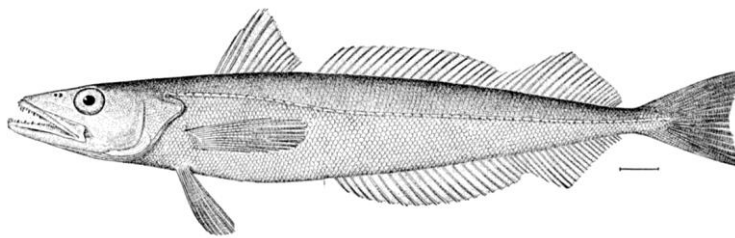
Βρίσκεται και στις δύο πλευρές του Βόρειου Ατλαντικού. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στις ακτές των ΗΠΑ και του Καναδά προκύπτουν στην Georges Bank και στον Κόλπο του Μάιν. Μπορεί, επίσης, να βρεθεί στη Βόρεια Ευρώπη, στις Βρετανικές νήσους και στην Ισλανδία. Αλιεύεται, συνήθως, με τράτες βυθού και δίχτυα (bottom trawlers και gillnets). Χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή καπνιστών προϊόντων ψαριού, όπως το finnan haddie. (**Seafood handbook**)

1.4.3 Μπακαλιάρος (Hake)

Ο hake ανήκει στην οικογένεια Merlucciidae, η οποία, αν και συγγενική, είναι διαφορετική από την Gadidae. Το είδος αυτό αποτελείται από διάφορα υποείδη, ορισμένα από τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

1.4.3.1 Whiting ή silver hake

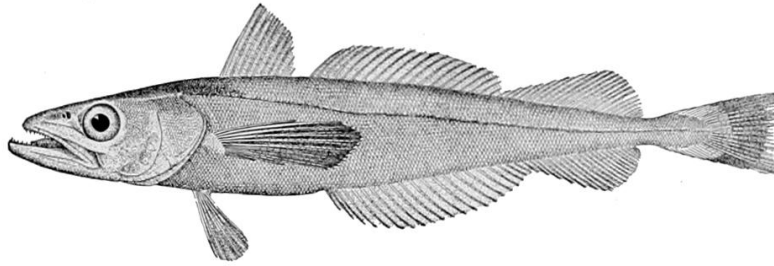
Εντοπίζεται στην υφαλοκρηπίδα που εκτείνεται από τη Newfoundland έως τη Νότια Καρολίνα. Το είδος αυτό διαθέτει ασημένιο δέρμα με καφετιές αποχρώσεις στο άνω τμήμα του σώματος, δύο ραχιαία πτερύγια και ένα στο πίσω μέρος. Μπορεί να φτάσει μέχρι τα 76.2 cm σε μήκος και περίπου τα 2.5 kg σε βάρος. Αποτελεί ένα άπαχο ψάρι σταθερής υφής, το οποίο είναι ιδιαίτερα γευστικό. **(Flick et al. 1990)**



Εικόνα 1.6 Silver hake

1.4.3.2 Μπακαλιάρος Ειρηνικού (Pacific hake)

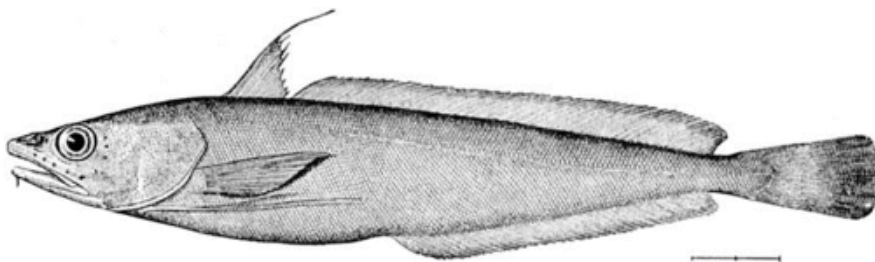
Εντοπίζεται στην περιοχή από τον Κόλπο της Καλιφόρνιας έως τον Κόλπο της Αλάσκας. Συνήθως είναι ένα μακρύ ψάρι που μπορεί να φτάσει τα 91 cm σε μήκος. Το χρώμα του ποικίλει από γκρίζο έως καφετί. Εξαιτίας ορισμένων ελαττωμάτων στην υφή της σάρκας του, το συγκεκριμένο είδος δεν έχει αρκετή ζήτηση στην αγορά. **(Flick et al. 1990)**



Εικόνα 1.7 Pacific hake

1.4.3.3 Λευκός μπακαλιάρος (*white hake*)

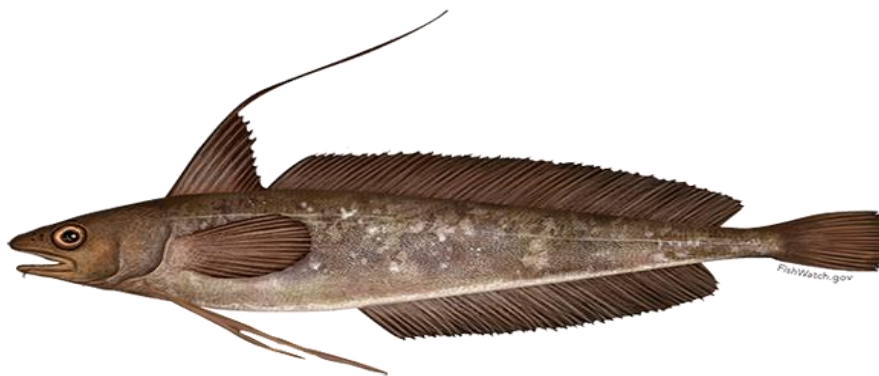
Ονομαζόμενος και μπακαλιάρος της Βοστώνης, εντοπίζεται στα βαθιά νερά στην περιοχή από τη Newfoundland έως το Cape Hatteras. Διαθέτει σκούρα καφετιά ράχη, χάλκινες πλευρές και γκριζόλευκη κοιλιά με μικρές μαύρες κηλίδες. Μπορεί να φτάσει σε μέγεθος τα 1.2 m και 18 kg, ωστόσο συνήθως δεν ζυγίζει παραπάνω από 2.3 έως 3.6 kg. Έχει δύο ραχιαία πτερύγια, από τα οποία το πρώτο είναι μακρύτερο, και ένα στο πίσω μέρος του σώματος. Τα ψάρια μεγαλύτερου μεγέθους πωλούνται ως φρέσκα ή κατεψυγμένα φιλέτα, ενώ τα μικρότερα χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφή. (Flick et al. 1990)



Εικόνα 1.8 White hake

1.4.3.4 Κόκκινος μπακαλιάρος (*red hake*)

Το είδος αυτό αφθονεί στις ανατολικές ακτές των ΗΠΑ. Είναι ένα κοκκινωπό ψάρι στη ράχη και στα πλευρά, ενώ η κοιλιά του έχει λευκή προς κίτρινη απόχρωση. Σε μέγεθος σπάνια ξεπερνά τα 76 cm και συνήθως ζυγίζει από 454 έως 1361 g. Όπως και ο λευκός έτσι και ο κόκκινος μπακαλιάρος διατίθεται στην αγορά με τη μορφή φρέσκων ή κατεψυγμένων φιλέτων, ενώ σε μικρότερο μέγεθος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζωοτροφής. Συχνά χρησιμοποιείται και για την παραγωγή συμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ψαριού. (Flick et al. 1990)



Εικόνα 1.9 Κόκκινος μπακαλιάρος (*Red hake*)

1.4.3.5 Μπακαλιάρος της Νότιας Αφρικής (*South African hake*) ή *stockfish*

Είναι ένα μεγάλο ψάρι που μπορεί να φτάσει τα 1.2 m σε μέγεθος. Το δέρμα του είναι ασημογκρί με μαύρες κηλίδες στο εσωτερικό των κάτω μπροστινών πτερυγίων του. Στη βιομηχανία, μεγάλες ποσότητες του ψαριού αυτού μετατρέπονται σε μπλοκ ψαριών (fish blocks), τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κροκετών ψαριού. (Flick et al. 1990)

1.4.3.6 Μπακαλιάρος Αργεντινής (*Argentine hake*)

Το είδος αυτό εντοπίζεται κυρίως στις ακτές της Ουρουγουάης τη χειμερινή εποχή, ενώ μετά το πέρας της, τα κοπάδια συγκεντρώνονται στην περιοχή της Αργεντινής. Το μεγαλύτερο τμήμα της παραγωγής μετατρέπεται σε μπλοκ ψαριών, ωστόσο η προσοχή έχει στραφεί στην παραγωγή κατεψυγμένων προϊόντων (boil in the bag), λόγω της αναβαθμισμένης συσκευασίας. **(Flick et al. 1990)**

1.4.3.7 *Blue whiting*

Εντοπίζεται στην περιοχή που εκτείνεται από τη Μεσόγειο έως τη Νορβηγία και την Ισλανδία, ακόμα και Θάλασσα του Barents. Πρόκειται για ένα γαδοειδές ψάρι με χαρακτηριστικό μπλε δέρμα και μακρύ λεπτό σχήμα, ενώ απουσιάζει το χαρακτηριστικό υπογένειο (barbell) του είδους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ποικιλίας προϊόντων ψαριού. **(Flick et al. 1990)**



Εικόνα 1.10 *Blue Whiting*

1.4.4 Σκουμπρί Ατλαντικού (Mackerel)



Εικόνα 1.11 Σκουμπρί Ατλαντικού (Atlantic mackerel)

Το σκουμπρί (mackerel) είναι ένα όμορφο αλλά υποτιμημένο ψάρι, πιθανόν επειδή δεν διαθέτει την εικόνα του ήπιου λευκού ψαριού (mild-whitefish profile), το οποίο είναι πιο βολικό για τους Αμερικάνους καταναλωτές. Το σκουμπρί μοιάζει πολύ με το συγγενικό του είδος, τον τόνο, όμως σε μικρότερο μέγεθος (συνήθως 700 έως 1100 g). Σχηματισμένο για γρήγορη κολύμβηση, το σκουμπρί κινείται γρήγορα όταν πλησιάζει κίνδυνος. Ταξιδεύει σε μεγάλα κοπάδια και στις 2 πλευρές του Ατλαντικού Ωκεανού. Στο Βορειοδυτικό Ατλαντικό, το σκουμπρί φτάνει από τη Βόρεια Καρολίνα έως το Νότιο Λαμπραντόρ. Στον Ανατολικό Ατλαντικό, βρίσκεται κάτω από την Ισλανδία και τη Βόρεια Νορβηγία. Οι Ευρωπαίοι το αλιεύουν με τράτες με καταψύκτες. Τα κυκλικά δίχτυα (purse seines) είναι η προτιμώμενη μέθοδος αλίευσης για τους ψαράδες της Βόρειας Αμερικής. Τα νεαρά σκουμπριά, τα λεγόμενα tinkers, είναι διαθέσιμα την άνοιξη και ζυγίζουν λιγότερο από 500 g. Αποτελούν παραδοσιακό εποχιακό γεύμα στη νέα Αγγλία και πωλούνται σε σημαντικά μικρότερη τιμή από τα πιο ώριμα ψάρια του είδους, που φτάνουν την ακμή τους καλοκαιρινούς μήνες. **(Seafood handbook)**

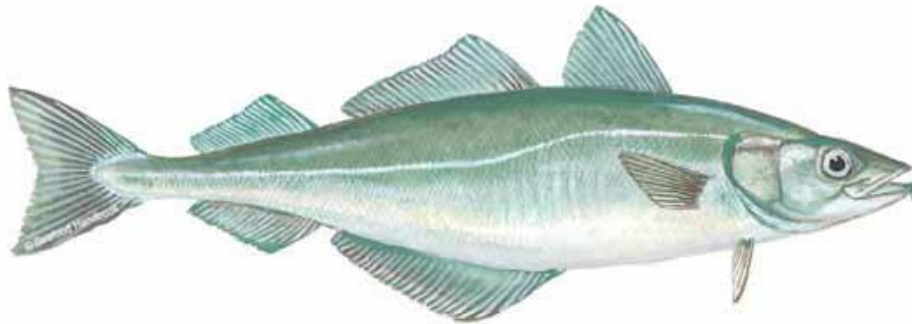
1.4.5 Κέφαλος (Mullet)



Εικόνα 1.12 Κέφαλος (mullet)

Περισσότερα από 100 είδη κέφαλου βρίσκονται παγκοσμίως σε εκβολές ποταμών και στον ανοιχτό ωκεανό. Στις ΗΠΑ, συγκεκριμένα στη νοτιοανατολική κουζίνα, ο ραβδωτός κέφαλος είναι το επίλεκτο είδος, περιζήτητο τόσο για τα αυγά (ταραμάς) του όσο και για το κρέας του. Ο κόκκινος ταραμάς αποτελεί ένα πολύτιμο προϊόν εξαγωγής για τις αγορές της Ιαπωνίας και της Ταϊβάν. Ο ραβδωτός κέφαλος βρίσκεται από τη Νότια Καρολίνα έως το Τέξας. Στη Φλόριντα έχει σημειωθεί το μεγαλύτερο ποσοστό εμπορικής αλίευσης, όπως έχει δειχθεί και από τις διάφορες απαγορεύσεις. Παρά το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στα νοτιοανατολικά, ο ραβδωτός κέφαλος παραμένει άγνωστος στην υπόλοιπη χώρα. Η ποιότητά του εξαρτάται από τη φρεσκάδα του, οπότε καταναλώνεται κυρίως στα σημεία που αλιεύεται. Ο ραβδωτός κέφαλος δεν πρέπει να συγχέεται με το περίφημο μπαρμπούνη (*Mullus surmeletus*), το οποίο ανήκει στην οικογένεια Mullidae, ενώ ο κέφαλος ανήκει στην οικογένεια Mugilidae. (**Seafood handbook**)

1.4.6 Βακαλάος (Pollock)



Εικόνα 1.13 Βακαλάος (Pollock)

Αποτελώντας στενό συγγενή του cod και του haddock, ο βακαλάος εντοπίζεται στα κρύα παραλιακά ύδατα από το Cape Hatteras βόρεια της Newfoundland, της Γροιλανδίας και της Ισλανδίας, και στα ευρωπαϊκά ύδατα από τις ακτές της Γαλλίας έως τις βόρειες ακτές της Νορβηγίας. Πρόκειται για ένα μικρό σχετικά είδος με μέγεθος από 30 έως 50 cm και βάρος από 200 έως 900 g.

Στη βόρεια Ευρώπη το είδος αυτό αποτελεί βασικό αλιευτικό προϊόν για πάνω από πενήντα χρόνια. Στη Νότια Αμερική, ο βακαλάος αφθονεί κυρίως δυτικά της Nova Scotia και στον Κόλπο του Μαϊν. Στις ΗΠΑ, η αλίευση του Βακαλάου ουσιαστικά συμπίπτει με την αλίευση άλλων ειδών, όπως ο haddock, γι' αυτό και δεν υπάρχουν αρκετά σταθερά σημεία αλίευσης. Το otter trawl αποτελεί το κυριότερο αλιευτικό μέσο για το είδος αυτό, ενώ, παράλληλα χρησιμοποιούνται κυκλικά δίχτυα (purse seines), απλάδια (gillnets), πετονιές και midwater trawls.

Στην αγορά, ο βακαλάος πωλείται ολόκληρος ή σε μορφή φιλέτων με ή χωρίς πέτσα. Το μέγεθος των φιλέτων των μικρών βακαλάων μοιάζει με αυτά του haddock, οπότε έχει καλή αποδοχή από τους καταναλωτές. Όσον αφορά τα μεγαλύτερα ψάρια, συνήθως πωλούνται στη μορφή μεγάλων κομματιών (chunks) ή φετών (steaks). Παράλληλα, ο βακαλάος μπορεί να αξιοποιηθεί και για την παραγωγή surimi. (Seafood handbook, Flick et al. 1990)

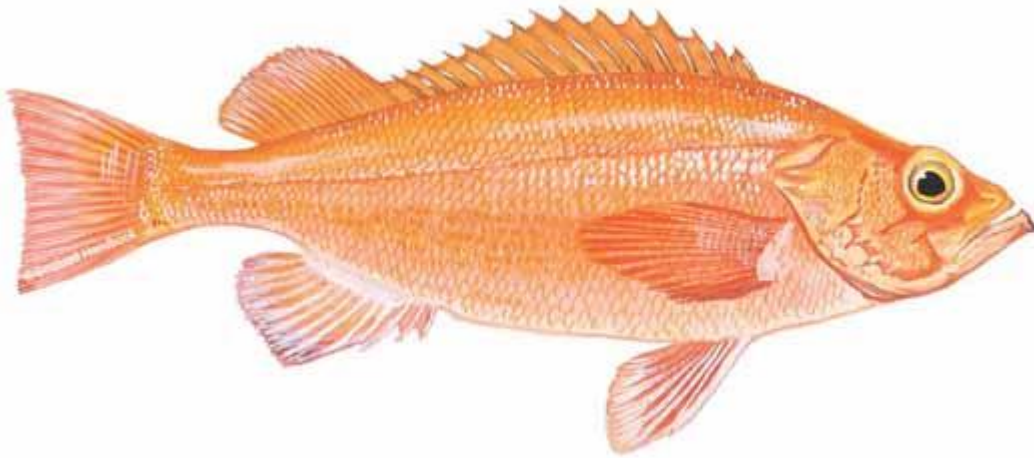
1.4.7 Σολομός Ατλαντικού (Atlantic salmon)



Εικόνα 1.14 Σολομός Ατλαντικού (Atlantic salmon)

Όντας μία από τις μεγαλύτερες επιτυχίες της μοντέρνας ιχθυοκαλλιέργειας, η εκτροφή του σολομού του Ατλαντικού ανήλθε αρχικά σε εμπορική κλίμακα στις αρχές της δεκαετίας του 1980 στη Νορβηγία. Από τότε, η παγκόσμια παραγωγή έχει αυξηθεί δραματικά και ο σολομός Ατλαντικού εκτρέφεται σε αρκετές χώρες ανά την υφήλιο, ιδιαίτερα στη Λατινική Αμερική, τη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη. Ο σολομός Ατλαντικού δεν διαθέτει τα πολλά κοινά τοπικά ονόματα των άγριων σολομών του Ειρηνικού, ωστόσο οι διάφορες χώρες που εκτρέφουν το ψάρι προσδίδουν την εθνική τους ετικέτα: σολομός Σκωτίας, σολομός Νορβηγίας κλπ. Τα ψάρια αναπτύσσονται συνήθως σε μεγάλες πλωτές διχτυωτές δεξαμενές, συχνά σε ανοιχτούς κόλπους, ώστε να τους προσδοθεί μία πιο φυσική γεύση. Ο ενήλικος σολομός είναι ένα όμορφο, ασημί ψάρι με χαρακτηριστικές μαύρες, σε σχήμα σταυρού, κηλίδες σε όλο του το σώμα, το κεφάλι και πάνω από την πλευρική γραμμή. Οι εκτρεφόμενοι σολομοί ξεκινούν από βάρος 1.8 kg, ωστόσο στην αγορά μπορεί να βρεθούν ψάρια μέχρι και 8 kg. (**Seafood handbook**)

1.4.8 Πέρκα Ατλαντικού (Atlantic Perch)



Εικόνα 1.15 Πέρκα Ατλαντικού (Atlantic perch)

Παρά το γεγονός ότι ο Ειρηνικός Ωκεανός διεκδικεί περισσότερα από 50 είδη του γένους *Sebastes*, ο Ατλαντικός έχει μόνο μία ωκεάνια πέρκα, ένα βραδέως αναπτυσσόμενο ψάρι του βυθού με λαμπερό κόκκινο ή πορτοκαλί χρώμα. Η πέρκα του Ατλαντικού δεν είναι πέρκα. Ουσιαστικά είναι πετρόψαρο που ταξιδεύει σε μεγάλα κοπάδια. Ονομάζεται κοκκινόψαρο στη Νέα Αγγλία και στον ανατολικό Καναδά, ενώ δεν πρέπει να συγχέεται με το κοκκινόψαρο από τον Κόλπο του Μεξικού.

Η ωκεάνια πέρκα αποτελεί πρωτεύον προϊόν λιανικής πώλησης στη Μέση Ανατολή, όπου η επονομασία “πέρκα” πουλά εύκολα λόγω του συσχετισμού της με την πέρκα του γλυκού νερού. Η πέρκα Ατλαντικού βρίσκεται σε παράκτια ύδατα του Ατλαντικού από το Νότιο Λαμπραντόρ έως τον Κόλπο του Μάιν και στην άλλη πλευρά, κάτω από τη Γερμανία, τη Δανία, την Ισλανδία και τη Νορβηγία. Αλιεύεται συνήθως με πετονιά και ζυγίζει έως και 2.2 kg, ωστόσο τα βάρη της αγοράς κυμαίνονται τυπικά από 700 έως 900 g. (**Seafood handbook**)

1.4.9 Τόνος (Tuna)

1.4.9.1 *Albacore*



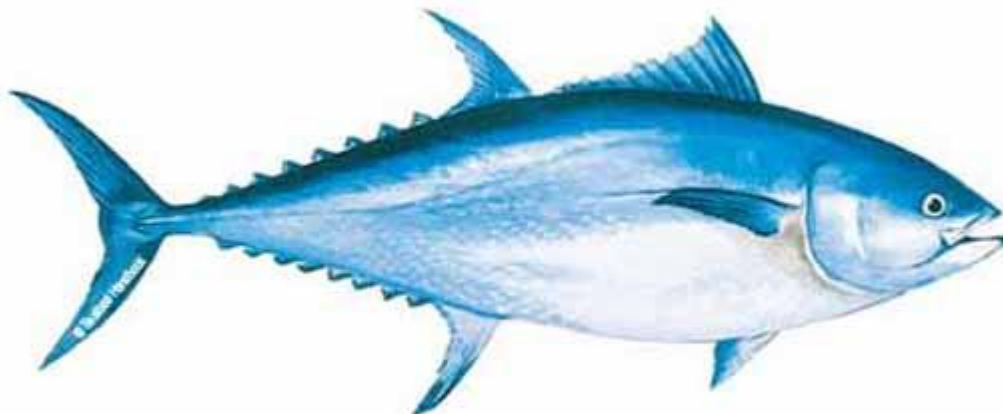
Εικόνα 1.16 Τόνος (*Albacore tuna*)

Ο Albacore είναι ιδιαίτερα γνωστός ως ο υψηλότερου βαθμού κονσερβοποιημένος τόνος “λευκού κρέατος”. Για την ακρίβεια είναι το μόνο είδος τόνου που επιτρέπεται να φέρει την ετικέτα του λευκού κρέατος. Ωστόσο, είναι επίσης ευρέως γνωστός εκτός κονσέρβας σε φρέσκια ή κατεψυγμένη μορφή. Διαθέτει ένα υδροδυναμικό σώμα σε σχήμα τορπίλης, καθώς και το μπλε και ασημένιο χρώμα των υπόλοιπων ειδών τόνου με μακρύτερα θωρακικά πτερύγια.

Αλιεύεται σε τροπικά και υποτροπικά ύδατα παγκοσμίως από trollers και αλιευτικά σκάφη. Στον Ατλαντικό, ο albacore μεταναστεύει βόρεια, μέχρι το Βισκαϊκό Κόλπο. Στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής του Ατλαντικού εμφανίζεται σποραδικά. Στον Ειρηνικό παρατηρείται στη Δυτική Ακτή και στα νερά γύρω από τη Χαβάη.

Το ψάρι αυτό μπορεί να φτάσει σε βάρος από 2 έως 45 kg, παρόλο που το μέσο βάρος στην αγορά κυμαίνεται από 4.5 έως 13.5 kg. Χαρακτηρίζεται από εξαιρετική ποιότητα και απόδοση. Ο τόνος πρέπει να διατηρείται σε καλή ψύξη μέχρι τη στιγμή της επεξεργασίας, ώστε να αποτραπεί η ανάπτυξη ισταμίνης, που οδηγεί σε δηλητηρίαση scombroid. (**Seafood handbook**)

1.4.9.2 Bluefin



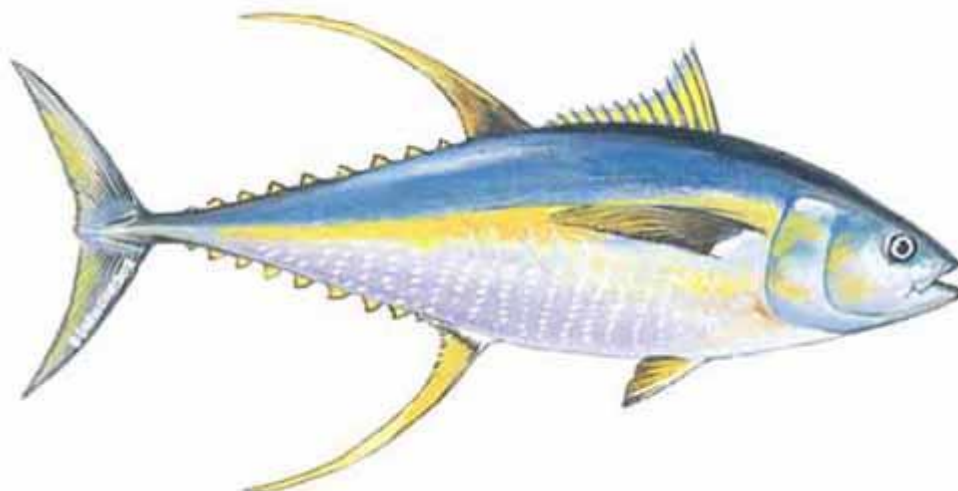
Εικόνα 1.17 Τόνος (Bluefin tuna)

Οι ψαράδες τους ονομάζουν γίγαντες για έναν καλό λόγο: ο τόνος bluefin αποτελεί το μεγαλύτερο από τα εμπορικά εκτρεφόμενα είδη τόνου, με το μεγαλύτερο σημειωμένο βάρος να ξεπερνά τα 900 kg και μήκος πάνω από 3.5 m. Ο γίγαντας bluefin χαρακτηρίζεται από ένα μπλε-μαύρο άνω σώμα, με ασημόλευκη απόχρωση στα πλευρά και στην κοιλιά. Οι άκρες των πτερυγίων έχουν μαύρο χρώμα.

Αυτό το αποδημητικό είδος προτιμά τα εύκρατα και τα τροπικά νερά παγκοσμίως. Πάνω από τη μισή ποσότητα της παγκόσμιας αλιεύσής του προέρχεται από βιολογικά διαχωρισμένα αποθέματα του ανατολικού και του δυτικού Ατλαντικού. Η Μεσόγειος αποτελεί επίσης ιστορική περιοχή για το είδος bluefin. Το συγκεκριμένο είδος αλιεύεται με μία ποικιλία εξοπλισμού συμπεριλαμβανομένου του purse seine, του καμακιού, της πετονιάς και του αλιευτικού καλαμιού.

Παρά το πιθανό μεγάλο του μέγεθος, ο εμπορευόμενος bluefin έχει βάρος που κυμαίνεται από 90 έως 180 kg. Ο bluefin αξιολογείται με τη λήψη κομματιών σάρκας, στα οποία ελέγχεται το χρώμα και το περιεχόμενο σε λίπος, παράγοντες κρίσιμοι για τον καθορισμό της τιμής του. (**Seafood handbook**)

1.4.9.3 Yellowfin



Εικόνα 1.19 Τόνος (Yellowfin tuna)

Το είδος yellowfin, όπως ορίζει και το όνομά του, ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους τόνους χάρη σε ένα μακρύ, κίτρινο ραχιαίο πτερύγιο, καθώς και μία κίτρινη λωρίδα στο κάτω μέρος των πλευρών του. Είναι, επίσης, πιο λεπτός από τον bluefin. Εξαιτίας των φανταχτερών του στοιχείων, ο τόνος yellowfin είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακός τη νύχτα.

Ο yellowfin αποτελεί το πιο τροπικό είδος τόνου, καθώς αφθονεί στα θερμά νερά του Ατλαντικού και του Ειρηνικού, συχνά μαζί με άλλα είδη όπως ο τόνος skipjack. Το είδος αυτό αλιεύεται συχνότερα με κυκλικά δίχτυα (purse seines), ωστόσο οι ποιοτικότεροι yellowfin πιάνονται με αγκίστρι και πετονιά.

Στην αγορά, το βάρος του κυμαίνεται από 3.5 έως 9 kg. Φρέσκος yellowfin υψηλής ποιότητας προέρχεται από τη Χαβάη, το Μεξικό, τη Νότια Καλιφόρνια και τον κόλπο της Καλιφόρνιας. Συνήθως κονσερβοποιείται σε χώρες πέραν αυτών στις οποίες αλιεύεται. Οι πιο χαρακτηριστικές χώρες που εξάγουν κονσερβοποιημένο τόνο στις ΗΠΑ είναι η Ταϊλάνδη, οι Φιλιππίνες και η Ινδονησία. (**Seafood handbook**)

1.5 Στατιστικές αναφορές σε παγκόσμιο επίπεδο

Η συνολική παγκόσμια προμήθεια θαλασσινών για το 2007 αντιστοιχεί σε 143 εκατομμύρια τόνους. Η παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια παρείχε 52 εκατομμύρια τόνους (36%) και τα αλιευμένα ψάρια 91 εκατομμύρια τόνους (64%) της συνολικής προμήθειας. Παρόλο που η ποσότητα των αλιευμένων ψαριών είναι σχεδόν σταθερή σε ένα επίπεδο περίπου 90 εκατομμυρίων τόνων ετησίως από το 1990, μετά από μία συνεχιζόμενη ανάπτυξη για πάνω από 40 χρόνια, η υδατοκαλλιέργεια έχει αυξηθεί δραματικά (1960: 2 εκατομμύρια τόνοι, 1970: 4 εκατομμύρια τόνοι, 1980: 7 εκατομμύρια τόνοι, 1990: 16 εκατομμύρια τόνοι, 2000: 40 εκατομμύρια τόνοι, συμπεριλαμβανόμενων και των φυτών). Η στασιμότητα των αλιευμένων ψαριών οφείλεται κυρίως σε πλήρως εκμεταλλευόμενα ή μερικώς υπεραλιευμένα αποθέματα.

Είναι γεγονός ότι τα ψάρια αποτελούν την κορυφαία ομάδα των ιχθυοκαλλιεργειών σε ποσοστό 47,4 %. Δεύτερα σε ποσότητα είναι τα υδρόβια φυτά που είναι δημοφιλή στη νοτιοανατολική Ασία σε ποσοστό 23,4 %, ενώ τα καρκινοειδή είναι τέταρτα σε ποσοστό 6,2 %, αλλά δεύτερα σε αξία (20,4 %). Τα μαλάκια (δίθυρα και κεφαλόποδα) είναι η τρίτη πιο σημαντική ομάδα και σε ποσότητα και σε αξία σε ποσοστό 22,3 % και 14,2 % αντίστοιχα.

Περίπου το 75 % της συνολικής παγκόσμιας προμήθειας θαλασσινών χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το 25 % μετατρέπεται σε έτοιμα γεύματα ψαριού και άλλα μη εδώδιμα προϊόντα, το 40 % καταναλώνεται ως φρέσκα ψάρια δίχως κάποια περαιτέρω τεχνολογική επεξεργασία ή συντήρηση, περίπου το 20% μετατρέπεται σε κατεψυγμένα προϊόντα, το 8 % μετατρέπεται σε θεραπευτικά προϊόντα, ενώ ένα άλλο 8 % σε κονσερβοποιημένα προϊόντα. (Oehlenschlager 2010)

1.6 Συνεισφορά των θαλασσινών στην παγκόσμια διατροφή

Σε ολόκληρο τον κόσμο, τα ψάρια έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην ασφάλεια των τροφίμων, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Τα θαλασσινά, ιδιαίτερα τα ψάρια, συμβάλλουν στην εθνική διατροφική αυτάρκεια μέσω της άμεσης κατανάλωσης, αλλά και του εμπορίου και των εξαγωγών. Τα προϊόντα αλιείας αποτελούν βασικό μέρος της υγιεινής διατροφής του ανθρώπου, ιδιαίτερα στις παραλιακές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών, ακόμα και σε μικρές ποσότητες. Η υψηλή διατροφική τους αξία οφείλεται τόσο στις πρωτεΐνες τους, οι οποίες είναι αρκετά εύπεπτες και περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα, όσο και στο λιπαρό τους περιεχόμενο, που αποτελεί τη μοναδική κύρια πηγή υψηλά ακόρεστων λιπαρών οξέων (ωμέγα-3 λιπαρά οξέα). Περίπου το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού παράγει τουλάχιστον το 20% των ζωικών πρωτεϊνών από τα ψάρια, ενώ ορισμένα μικρά νησιωτικά κράτη εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από αυτά.

Τα προϊόντα των θαλασσινών θεωρούνται φθηνά σε σύγκριση με εκείνα των χερσαίων ζώων, πράγμα που δικαιολογεί το γεγονός ότι ένας σημαντικός αριθμός ανθρώπων βασίζεται σε αυτά ως πηγή ζωικών πρωτεϊνών. Τα συνηθέστερα προϊόντα ψαρικών, όπως τα ξηρά ή παστά, μπορούν να αποθηκευτούν και να μεταφερθούν εύκολα, καθιστώντας τα καταλλήλως διαθέσιμα σε πιο αδύναμες ομάδες καταναλωτών. Για αυτούς τους λόγους, το ποσοστό των ψαριών στην ανθρώπινη διατροφή ξεπερνά το 25% σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες και πολύ περισσότερο σε απομονωμένα μέρη παράκτιων ή νησιωτικών περιοχών σε κάποιες χώρες. Η σχετική συνεισφορά των ψαριών στις ολικές ζωικές πρωτεΐνες ποικίλει σημαντικά από χώρα σε χώρα, όντας υψηλότερη (15–25%) στην Αίγυπτο, το Μαρόκο, το Ομάν και την Υεμένη. Υπάρχουν επίσης στοιχεία που προτείνουν ότι τα ψάρια μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή των εγκύων, των εμβρύων και των νεογνών. Η κατανάλωση ψαριών δύο με τρεις φορές την εβδομάδα υποστηρίζεται ως μέρος μίας υγιεινής και ισορροπημένης διατροφής τόσο για τις εγκύους όσο και για όλη την οικογένεια. Τα ψάρια μπορούν να προσδώσουν μέχρι 180 cal ανά άτομο την ημέρα, ως ένα ουσιαστικό μερίδιο της απαιτούμενης διατροφικής ενέργειας. (Venugopal 2009)

Στην Ελλάδα, η μέση ετήσια κατανάλωση θαλασσινών ανά κάτοικο ανέρχεται σε περίπου 18 kg ανά κάτοικο. Μέσω των γευμάτων αποτελούμενων από θαλασσινά, καλύπτεται το 7 % περίπου των ζωικών πρωτεϊνών που λαμβάνει ο μέσος Έλληνας. **(Παπαναστασίου 1990)**

1.7 Βιβλιογραφία

Δ. Π. Παπαναστασίου, 1990, Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή, *Τεχνολογία και ποιοτικός έλεγχος αλιευμάτων*, εκδ. ΙΩΝ, Περιστέρι, Αθήνα, σελ. 17-38

G. J. Flick, G. –P. Hong, J. Won Huang and G. C. Arganosa, 1990, Groundfish, in *The Seafood Industry*, ed. R. E. Martin, G. J. Flick, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 32-66

J. M. Regenstien and C. E. Regenstien, 1991, Fish Biology, in *Introduction to Fish Technology*, ed. V Nostrand Reinhold, Library of Congress, London, New York, Victoria, Scarborough, pp. 5-14

J. Oehlenschlager, 2010, Introduction-Importance of Analysis in Seafood and Seafood Products, Variability and Basic Concepts, in *Handbook of seafood-products analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 3-10

Magnussen O.M., Hemmingsen A.K.T., Hardarsson V., Nordtvedt T.S., Eikevik T.M., 2008, Freezing of Fish, in *Frozen Foods Science and Technology*, ed. J. Evans, Blackwell Publishing, pp. 151-164

Seafood handbook (<https://www.seafoodsource.com/seafood-handbook>)

V. Venugopal, 2009, Marine Habitat and Resources, in *Handbook of marine products for Healthcare: Functional and Bioactive Nutraceutical Compounds from the Ocean*, ed. G. Mazza, Ph.D., CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 23-46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

2.1 Γενικά

Τα περισσότερα ψάρια και οστρακοειδή αποτελούνται κυρίως από νερό, πρωτεΐνες και λιπίδια. Στα κρέας των ψαριών τα συστατικά αυτά αποτελούν περίπου το 98% της συνολικής μάζας, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αποτελείται από συστατικά όπως υδατάνθρακες, βιταμίνες και μέταλλα. Ωστόσο, η χημική σύνθεση των ψαριών, γενικά, ποικίλει ανάλογα με την εποχή, τη γεωγραφική τοποθεσία, τις φάσεις ωριμότητας, το μέγεθος και άλλους παράγοντες.

Το βρώσιμο μέρος του σώματος του ψαριού είναι μικρότερο από ότι στα χερσαία ζώα. Η ολική φύρα (υπολειπόμενο, μη βρώσιμο τμήμα) μπορεί να πλησιάζει το 50%, ενώ μετά την απομάκρυνση του κεφαλιού το 10-15%. Το κρέας των ψαριών είναι σημαντικά πιο εύπεπτο από αυτό των επίγειων ζώων, επομένως αυτά έχουν αρκετά μικρότερη διατροφική ικανότητα κορεσμού. Η βιολογική αξία των ιχθυοπρωτεϊνών είναι αντίστοιχη με αυτή των επίγειων ζώων. Ενώ η συγκέντρωση της ακατέργαστης πρωτεΐνης κυμαίνεται μεταξύ 17 και 20 %, η συγκέντρωση σε λίπος και νερό ποικίλει. Μερικά ψάρια είναι χαρακτηριστικά άπαχα, με περιεκτικότητα λιπαρών της τάξης του 0,1-0,4% (γάδοι, μουρούνες), ενώ μερικά είναι πολύ λιπαρά (χέλια, ρέγκες, τόνοι), με περιεκτικότητα λιπαρών 16-26%. Πολλά είδη ψαριών έχουν περιεκτικότητες λιπαρών μεταξύ των συγκεκριμένων αυτών τιμών. **(Belitz, Grosch and Schieberle 2009)**

2.2 Ανατομία των ψαριών

Όπως και σε άλλα ζώα με ραχοκοκαλιά, το δέρμα των ψαριών αποτελείται από δύο επίπεδα: την εξωτερική επιδερμίδα και το εσωτερικό δέρμα (cutis ή corium). Η εξωτερική επιδερμίδα δεν είναι κερατοειδής, όμως είναι πλούσια σε νερό, διαθέτει πολυάριθμα αδενικά κύτταρα και είναι υπεύθυνη για τη γλοιώδη επιφάνεια. Οι βλεννοπολυσακχαρίτες είναι τα κύρια συστατικά αυτής της βλενώδους επιφάνειας και τα κύρια σάκχαρα αυτών είναι η γαλακτοζαμίνη και η γλυκοζαμίνη. Στο δέρμα κυριαρχούν ίνες συνδετικού ιστού, ενώ υπάρχουν και διάφορα χρωστικά κύτταρα όπως τα γουανινοφόρα, τα οποία περιέχουν ασημόλευκους αστραφτερούς κρυστάλλους γουανίνης. Τα λέπια εξέρχονται από το δέρμα. Ο αριθμός, το μέγεθος και ο τύπος διαφέρουν από είδος σε είδος. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στην επεξεργασία των ψαριών, γιατί καθορίζει αν κάποιο ψάρι μπορεί να υποστεί κατεργασία με ή χωρίς το δέρμα του. Η φύση και η κατάσταση του δέρματος του ψαριού επηρεάζει τη διατηρησιμότητα και τη γέυση του. Στο δέρμα περιέχεται, επίσης, μεγάλος αριθμός σπορίων ανθεκτικών στις χαμηλές θερμοκρασίες, ακόμα και μέχρι $< -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ψυχρότροφοι ή ψυχροανθεκτικοί μικροοργανισμοί).

Το σώμα των ψαριών καλύπτεται πλήρως από το μυϊκό ιστό. Από το κεφάλι προς την ουρά χωρίζεται με ακανθώδεις αποφύσεις και ακτινωτά πτερύγια., ενώ στην οριζόντια κατεύθυνση από διαφράγματα. Ανάλογα με τον αριθμό των σπονδύλων ο ιστός του οπίσθιου μυός διαιρείται σε μυϊκά τμήματα (μυομερή) τα οποία διαχωρίζονται το ένα από το άλλο με "φακέλους" συνδετικού ιστού. Οι εγκάρσιοι φάκελοι ονομάζονται μυοκόμματα, ενώ οι οριζόντιοι φάκελοι μυοδιαφράγματα. Τα μυοδιαφράγματα είναι τοποθετημένα σε ευθεία γραμμή ενώ τα μυοκόμματα είναι σε πτυχώσεις υπό μορφή τεθλασμένης γραμμής (ζιγκ ζαγκ).

Οι μυϊκές ίνες (μυϊκά κύτταρα) που περιβάλλονται από το σαρκείλημα, περιέχουν 1000-2000 μυοϊνίδια, τον πυρήνα του κυττάρου, το σαρκόπλάσμα, τα μιτοχόνδρια και το σαρκοπλασματικό δίκτυο. Τα μυοϊνίδια χωρίζονται με τη σειρά τους σε σαρκομερή, τα οποία, όπως και στο μυ των θηλαστικών, αποτελούνται από χοντρά και λεπτά ινίδια. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε μυογλοβίνη, η σάρκα του ψαριού έχει σκούρο ή ανοιχτό χρωματισμό. Οι σκούροι μύες είναι παρόμοιοι με τον καρδιακό μυ. Βρίσκονται ακριβώς κάτω από το δέρμα και επιτρέπουν τη διαρκή

κολύμβηση. Σε αντίθεση, οι ανοιχτόχρωμοι μύες επιτρέπουν την απότομη κίνηση. Η αναλογία σκουρόχρωμων μυών είναι χαμηλή στα ψάρια του βυθού (π.χ. στον πλατύχθυ). Από την άλλη μεριά, η αναλογία τους είναι μεγάλη σε ψάρια που συνεχώς κολυμπούν όπως π.χ. οι ρέγκες και τα σκουμπριά. Σε αντίθεση με τους ανοιχτόχρωμους μυς, οι σκουρόχρωμοι είναι πιο πλούσιοι σε λιπίδια, νουκλεϊκά οξέα και βιταμίνες του συμπλέγματος Β. Οι ανοιχτόχρωμοι μυς παίρνουν την ενέργειά τους από τη γλυκόλυση και επιδεικνύουν υψηλότερη δραστικότητα ΑΤΡάσης. **(Belitz, Grosch and Schieberle 2009)**

2.3 Δομή και σύνθεση των μυών

2.3.1 Ανατομική δόμηση

Οι ραβδωτοί μύες των σπονδυλωτών αποτελούνται από δέσμες κυττάρων μυϊκών ινών επικαλυπτόμενων από συνδετικό ιστό. Μία μυϊκή ίνα αποτελείται από δέσμες ραβδωτών μυϊκών ινών περικλειόμενων από σαρκοπλασματικό δικτύωμα, μιτοχόνδρια και άλλα οργανίδια. Η μοναδική δομή των ραβδωτών μυϊκών ινών, αποτελούμενων από λεπτά (ακτίνη) και χοντρά (μυοσίνη) νήματα, είναι κοινοί σε όλους τους ραβδωτούς μύες των σπονδυλωτών συμπεριλαμβανόμενων και των ψαριών. **(Matsumoto 1979)**

2.3.2 Χημική σύσταση

Η κατά προσέγγιση σύνθεση των μυών των θηλαστικών είναι: 16-22% πρωτεΐνες, 1.5-13% λιπαρά, 0.5-13% υδατάνθρακες, περίπου 1% ανόργανη ύλη και 65-80% νερό. Οι μύες των πουλερικών περιέχουν λιγότερα λιπαρά. Συγκριτικά, η σύνθεση των μυών των ψαριών είναι: 15-24% πρωτεΐνες, 0.1-22% λιπαρά, 1-3% υδατάνθρακες, 0.8-2% ανόργανη ύλη και 66-84% νερό. Οι μύες των σπονδυλωτών περιέχουν παρόμοια είδη πρωτεϊνών, ωστόσο υπάρχουν κάποιες διαφορές σχετικά με την ποσότητα και τις ιδιότητες κάθε πρωτεΐνης. **(Matsumoto 1979)**

2.4 Πρωτεΐνες

2.4.1 Γενικά για τις πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες (ή λευκώματα) αποτελούν απαραίτητα συστατικά των ζώντων οργανισμών, κυρίως ως δομικά στοιχεία και ως ένζυμα που χρησιμεύουν για τα φαινόμενα του μεταβολισμού. Σχεδόν όλες οι πρωτεΐνες αποτελούνται από 20 διαφορετικά αμινοξέα ενωμένα με πεπτιδικούς δεσμούς. Πρόκειται για ενώσεις πολύπλοκης σύστασης οι οποίες αποτελούνται από C, H, O, N, S και σε μερικές περιπτώσεις και από P. Οι ιδιότητες και οι λειτουργίες μίας πρωτεΐνης εξαρτώνται από την ιδιαίτερη ακολουθία των αμινοξέων της, τη δευτεροταγή, την τριτοταγή και την τεταρτοταγή δομή της. Η θρεπτική αξία των περιεχόμενων πρωτεϊνών ενός τροφίμου εξαρτάται τόσο από το συνολικό ποσό τους όσο και από τη σύνθεσή τους σε αμινοξέα. **(Τζιά, Ταούκης και Ωραιοπούλου 2009)**

Τα ψαρικά παρέχουν περίπου το 14% της παγκόσμιας ανάγκης για ζωικές πρωτεΐνες και περίπου το 4% -5% της παγκόσμιας συνολικής πρωτεϊνικής απαίτησης. Τόσο η σύνθεση των αμινοξέων όσο και η πεπτικότητα των πρωτεϊνών των ψαριών είναι εξαιρετικές. Τα ψάρια θεωρούνται ως μία από τις καλύτερες πηγές υψηλής ποιότητας πρωτεϊνών, ιδιαίτερα των απαραίτητων αμινοξέων: λυσίνη και μεθειονίνη. Παράλληλα με την υψηλή διατροφική τους αξία, οι πρωτεΐνες ψαριού χαρακτηρίζονται επίσης από πολύ καλές λειτουργικές ιδιότητες, όπως η ικανότητα συγκράτησης νερού, ο σχηματισμός πήγματος (gel forming capacity), η γαλακτωματοποίηση, καθώς και ιδιότητες υφής. Για προϊόντα, όπως ο κιμάς ψαριού και το surimi, η ικανότητα συγκράτησης νερού και οι ιδιότητες σχηματισμού πήγματος που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά υφής του προϊόντος αποτελούν σημαντικές παραμέτρους ποιότητας. Επομένως, η διατήρηση των λειτουργικών ιδιοτήτων μέσω διαδικασιών επεξεργασίας και συντήρησης είναι ιδιαίτερα σημαντική. **(Rustad 2010)**

Χάρη στο ευνοϊκό περιεχόμενο και την ισορροπία των απαραίτητων και των μη απαραίτητων αμινοξέων, οι πρωτεΐνες των ψαριών καθίστανται υψηλής θρεπτικής αξίας. Επίσης, είναι ιδιαίτερα εύπεπτες, συγκεκριμένα η ευπεπτότητα του ωμού κρέατος ψαριών κυμαίνεται στο 90%-98% και των οστρακοειδών στο 85%. Ο ιστός

των ψαριών και των θαλασσινών περιέχει ποσοστό 11–24 % (w/w) καθαρή πρωτεΐνη, ανάλογα με το είδος, τις διατροφικές συνθήκες και το είδος των μυών. Παρόλο που η σύνθεση των αμινοξέων μπορεί να ποικίλει ανάμεσα στις διαφορετικές κατηγορίες ιστών, υπάρχει σημαντική ομοιότητα στους ίδιους ιστούς διαφορετικών ειδών.

Τόσο το περιεχόμενο όσο και οι ιδιότητες των πρωτεϊνών χρήζουν εξαιρετικής σημασίας για την αξία και την ποιότητα των προϊόντων. Για τον έλεγχο της ποιότητας αλλά και για την επισήμανση των τροφίμων (food labeling), είναι ουσιώδες να υπάρχουν μέθοδοι που προσδιορίζουν όχι μόνο το συνολικό περιεχόμενο σε πρωτεΐνες σε ένα ακατέργαστο υλικό ή προϊόν, αλλά και τον τύπο και την προέλευση των περιεχόμενων πρωτεϊνών. Για την ανάπτυξη των προϊόντων και της επεξεργασίας είναι σημαντικό να υπάρχουν μέθοδοι που καθορίζουν τις ιδιότητες των πρωτεϊνών και πώς αυτές μεταβάλλονται κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση, καθώς και πώς επηρεάζονται από πρόσθετα των τροφίμων και άλλα συστατικά. **(Rustad 2010)**

2.4.2 Κατηγορίες πρωτεϊνών των θαλασσινών

Η περιεκτικότητα σε πρωτεϊνικό άζωτο του μυϊκού ιστού των ψαριών κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3%. Η σύσταση σε αμινοξέα, όταν συγκρίνεται με αυτήν του μοσχαριού ή της καζεΐνης γάλακτος, αποκαλύπτει την υψηλή διατροφική αξία των πρωτεϊνών των ψαριών. Οι πρωτεΐνες των θαλασσινών ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τη διαλυτότητά τους.

2.4.2.1 Σαρκοπλασμικές (σφαιρικές) πρωτεΐνες

Εκχυλίζονται σε χαμηλή ιοντική ισχύ (<0.15). Περιλαμβάνουν πολλές διαλυτές πρωτεΐνες (κυρίως ένζυμα, αντίστοιχα με αυτά που υπάρχουν στο μυϊκό ιστό των θηλαστικών) του σαρκοπλασμικού υγρού, άλλες σφαιρικές πρωτεΐνες των οργανιδίων και πρωτεΐνες προσκολλημένες στο σαρκείλημα (sarcolemma) και αποτελούν το 20-30% της ολικής πρωτεΐνης του μυϊκού ιστού. **(Matsumoto 1979)**

Όταν αυτές οι πρωτεΐνες διαχωρίζονται ηλεκτροφορητικά, τότε για κάθε είδος ψαριού λαμβάνονται χαρακτηριστικά προφίλ. Αυτός ο διαχωρισμός αποτελεί ένα εύχρηστο χημικό μέσο για την ταξινόμηση των ψαριών. Οι χρωστικές (μυογλοβίνη,

αιμογλοβίνη) συσσωρεύονται στους σκουρόχρωμους μυς. Για παράδειγμα, η μυογλοβίνη, η αιμογλοβίνη και το κυτόχρωμα C βρίσκονται στους σκουρόχρωμους μυς ενός τύπου σκουμπριού (*Scomber japonicus*) σε συγκεντρώσεις 3,9 g/kg, 5,8 g/kg και 0,13 g/kg αντίστοιχα. Οι ανοιχτόχρωμοι μυς περιέχουν μόνο 0,1 g/kg αιμογλοβίνη και μυογλοβίνη. Η αιμογλοβίνη απουσιάζει σε μερικά μαλάκια αλλά και στα ψάρια της Ανταρκτικής που έχουν άχρωμο αίμα. Η σύσταση σε αμινοξέα της μυογλοβίνης ψαριών και θηλαστικών είναι σαφώς διαφορετική. Η μυογλοβίνη των ψαριών περιέχει, για παράδειγμα, ένα υπολειμματικό μόριο κυστεΐνης, το οποίο απουσιάζει στα θηλαστικά. Στα έντονα χρωματισμένα ψάρια (π.χ. στον τόνο) αντιδράσεις αποικοδόμησης των χρωστικών είναι δυνατό να προκαλέσουν αποχρωματισμό του κρέατος (π.χ. αξιοπρόσεκτο πρασίνισμα στο κρέας του κονσερβοποιημένου τόνου). **(Belitz, Grosch and Schieberle 2009)**

2.4.2.2 Πρωτεΐνες των μυϊκών ινών

Εκχυλίζονται από διαλύματα αλάτων σε υψηλή ιοντική ισχύ (>0.5). Περιλαμβάνουν την ακτίνη, τη μυοσίνη, την τροπομυοσίνη και την τροπονίνη και αποτελούν περίπου το 65 % των πρωτεϊνών των μυών των ψαριών. Απαντώνται τόσο ελεύθερες, όσο και ενωμένες με ριβονουκλεϊκό οξύ. Η παραλαβή τους είναι δυσκολότερη απ' ό,τι στα θηλαστικά, λόγω των εύκολων δεσμών που σχηματίζουν, ιδιαίτερα σε ουδέτερο περιβάλλον. **(Matsumoto 1979)**

Στους μυς, τα δικτυώματα F-ακτίνης, μία πολυμερισμένη μορφή του μονομερούς G-ακτίνης, η τροπομυοσίνη και η τροπονίνη, οι ρυθμιστικές πρωτεΐνες, συνθέτουν τα λεπτά δικτυώματα, ενώ τα κατά σειρά συσσωματωμένα μόρια μυοσίνης σχηματίζουν τα χοντρά δικτυώματα. Η αναλογία των μυοϊνιδικών πρωτεϊνών στο σύνολο των πρωτεϊνών των ψαριών είναι υψηλότερη από ότι στο μυϊκό ιστό των θηλαστικών. Οι αναλογίες, ωστόσο, μεταξύ διαφόρων συστατικών είναι παρόμοιες (μυοσίνη, G-ακτίνη, τροπομυοσίνη, τροπονίνη, παραμυοσίνη). Η θερμική σταθερότητα των πρωτεϊνών των ψαριών είναι μικρότερη από αυτή των θηλαστικών. Η μετουσίωση των πρωτεϊνών που προκαλείται από την ουρία απαντάται πιο εύκολα, ενώ η πρωτεϊνική υδρόλυση με θρυψίνη πραγματοποιείται γρηγορότερα. Αυτές οι ιδιότητες παρέχουν επιπλέον αποδείξεις για την ευπεπτότητα των πρωτεϊνών των ψαριών. **(Matsumoto 1979)**

Τα μαλάκια περιέχουν παραμυοσίνη. Το ποσοστό αυτής της πρωτεΐνης στους λείους μυς π.χ. των στρειδιών είναι 38%. Η σύσταση σε αμινοξέα αποκαλύπτει σχετικά υψηλές ποσότητες Arg (12%) και Lys (9%) καθώς και λίγης Pro. Το μόριο της παραμυοσίνης αποτελείται από δύο πεπτιδικές αλυσίδες μοριακού βάρους 95000-125000, η κάθε μία από τις οποίες έχει μήκος 120 nm, ελικοειδή δομή και έχει υποστεί στρέψη σε σχήμα ράβδου. Ουσιαστικά, δύο δισουλφιδικοί δεσμοί συνεισφέρουν στη σταθερότητα του μορίου. Σχηματίζει τον πυρήνα μέσα στα παχέα ινίδια και περιβάλλεται από μυοσίνη. Κατά την παραγωγή πηκτών επηρεάζει τις ρεολογικές ιδιότητες και εξαιτίας αυτής οι πηκτές που παρασκευάζονται από κρέας μαλακίων είναι πιο ελαστικές και συνεκτικές από τις πηκτές που παρασκευάζονται από πρωτεΐνες ψαριών. **(Belitz, Grosch and Schieberle 2009)**

2.4.2.3 Πρωτεΐνες στρώματος

Αποτελούν την υπολειμματική ομάδα πρωτεϊνών των ψαριών που δεν εκχυλίζονται με διαλύματα αλάτων, αραιωμένα βασικά ή όξινα διαλύματα. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει το κολλαγόνο, την ελαστίνη και τις κερατίνες, τις πρωτεΐνες του συνδετικού ιστού, καθώς και μία νέα πρωτεΐνη, την κονεκτίνη, η οποία βρίσκεται στη λεία δομή των λεπτών δικτυωμάτων. Η ποσότητα των πρωτεϊνών στρώματος είναι μικρότερη στους μύες των ψαριών (3-5%) από ότι στους μυς των βοοειδών ή των κουνελιών (15-18%).

Η ελαστίνη συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό στον ελαστικό ιστό. Περιέχει βασικά μονοαμινοξέα, κυρίως γλυκίνη και λευκίνη, και ίχνη από τα υπόλοιπα. Σε αντίθεση με το κολλαγόνο δεν διογκώνεται παρουσία θερμού νερού, οξέων ή αλκαλίων.

Το κολλαγόνο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα γλυκίνης και χαμηλή περιεκτικότητα σε βασικά και δικαρβοξυλικά οξέα. Διογκώνεται παρουσία θερμού νερού, αραιών οξέων και αλκαλίων, ενώ υδρολύεται με μεγάλη ταχύτητα κατά το βρασμό του με οξέα ή αλκάλια ή με τη δράση της πεψίνης. Με βρασμό σε νερό ή αραιά οξέα μετατρέπεται σε ζελατίνη. Η θερμοκρασία συρρίκνωσης του κολλαγόνου του ψαριού, T_s , είναι περίπου 45 °C, δηλαδή πολύ χαμηλότερη από αυτή του κολλαγόνου των θηλαστικών (60-65 °C). Αυτό αιτιολογεί και το λόγο που τα ωμά φιλέτα ψαριού είναι αποδεκτά στα ιαπωνικά πιάτα, αντίθετα με το μοσχάρι, το κουνέλι και το χοιρινό, τα οποία σπανίως σερβίρονται ωμά. **(Matsumoto 1979)**

Οι κερατίνες είναι ιδιαίτερα πλούσιες σε κυστίνη. Διακρίνονται σε *ευκερατίνες*, στις οποίες τα βασικά αμινοξέα ιστιδίνη, λυσίνη και αργινίνη περιέχονται σε μοριακή σχέση 1:4:12, *ψευδοκερατίνες*, που περιέχουν περισσότερη ιστιδίνη και λιγότερη αργινίνη από τις ευκερατίνες και η αντίστοιχη μοριακή σχέση είναι 1:3:3, και *νευροκερατίνες*, με σύνθεση παρόμοια με τις ψευδοκερατίνες. Δεν διασπώνται από πρωτεολυτικά ένζυμα, λόγω της παρουσίας των δεσμών διθειώδους που ενώνουν τις μεταξύ τους πολυπεπτιδικές αλυσίδες. **(Παπαναστασίου 1990)**

Σύμφωνα με τους Fennema et al., η τρυφερότητα οφείλεται κυρίως στο περιεχόμενο κολλαγόνο, ενώ η σκληρότητα και η ικανότητα συγκράτησης νερού σχετίζονται με τις πρωτεΐνες των μυϊκών ινών. Επίσης, αναφέρεται ότι οι μέθοδοι εξαγωγής δεν είναι συγκεκριμενοποιημένες, οπότε η ποσότητα της εξαγόμενης πρωτεΐνης ποικίλλει ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Ωστόσο, οι αλλαγές στη διαλυτότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθούν οι αλλαγές στην πρωτεϊνική δομή που προκαλούνται από τη μετουσίωση κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση. Γενικά, οι μυϊκές πρωτεΐνες των ψαριών είναι πιο ευαίσθητες και λιγότερο σταθερές από τις πρωτεΐνες των θηλαστικών. **(Matsumoto 1979)**

2.4.2.4 Πρωτεΐνες ορού

Μία επιπλέον κατηγορία πρωτεϊνών στα ψάρια είναι **οι πρωτεΐνες του ορού**. Η θερμοκρασία πήξης του ορού του αίματος των πολικών ψαριών στις περιοχές της Αρκτικής και της Ανταρκτικής (π.χ. *Trematomus borchgrevinski*, *Dissostichus mawsoni*, *Boreogadus saida*) είναι περίπου $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ και είναι αρκετά χαμηλότερη από τις θερμοκρασίες πήξης άλλων ψαριών ($-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ με $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Αυτές οι χαμηλές τιμές αποδίδονται σε αντιψυκτικές γλυκοπρωτεΐνες. Η αλληλουχία των αμινοξέων στις πρωτεΐνες αυτής της τάξης χαρακτηρίζεται από μεγάλη περιοδικότητα. Το εύρος του μοριακού βάρους είναι 10,5-27 kDa, ενώ η δομή είναι γενικά εκτεταμένη με αρκετές α-ελικοειδείς περιοχές. Μέσα σε διάλυμα αυτές οι γλυκοπρωτεΐνες ενυδατώνονται σε μεγάλο βαθμό. Η αντιψυκτική επίδραση αποδίδεται σε δισακχαρικά υπολειμματικά μόρια αλλά και στις πλευρικές μεθυλικές αλυσίδες του πεπτιδικού τμήματος. **(Belitz, Grosch and Schieberle 2009)**

2.4.3 Προσδιορισμός πρωτεϊνικού περιεχομένου

Ο προσδιορισμός της συνολικής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες ενός τροφίμου, παρόλο που στην πραγματικότητα αποτελείται από ένα σύνθετο μίγμα πρωτεϊνών, είναι μία βασική ανάλυση για τον καθορισμό της ποιότητάς του. Το βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι η ποικιλομορφία της πρωτεϊνικής σύνθεσης από το ένα τρόφιμο στο άλλο. Οι περισσότερες μέθοδοι ανάλυσης βασίζονται στη μέτρηση μίας κοινής ιδιότητας όλων των πρωτεϊνών. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μέση περιεκτικότητα των πρωτεϊνών σε N είναι 16% (Άζωτο:Πρωτεΐνη, N:P = 6.25), γεγονός που χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό των πρωτεϊνών μέσω της περιεκτικότητάς τους σε άζωτο. Επίσης, είναι απαραίτητο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος σε διαφορετικά είδη τροφίμων, σε ακατέργαστα υλικά και επεξεργασμένα τρόφιμα, καθώς και ότι τα υπόλοιπα συστατικά του δείγματος, όπως λιπίδια και χρωστικές ουσίες, δεν πρέπει να εμπλέκονται στην ανάλυση. Η μέθοδος πρέπει, επίσης να απαιτεί ελάχιστη προκατεργασία δείγματος προς μείωση των αναλυτικών σφαλμάτων και ελάττωση κόστους.

Ο προσδιορισμός του συνολικού πρωτεϊνικού περιεχομένου συνήθως καθορίζεται με τη μέθοδο Kjeldahl, που αποτελεί την πιο αξιόπιστη και διαδεδομένη τεχνική. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δίνει ακριβή αποτελέσματα για όλες τις κατηγορίες δειγμάτων. Χρησιμοποιείται ως μέθοδος αναφοράς από πολλούς εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς. Το μειονέκτημά της είναι ότι απαιτεί τη χρήση καταστροφικών και τοξικών χημικών.

Η μέθοδος Kjeldahl προσδιορίζει το περιεχόμενο σε άζωτο ως αμμωνία και το ποσοστό πρωτεΐνης υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας με έναν παράγοντα Kjeldahl. Ο παράγοντας είναι η ποσότητα αζώτου που περιέχει 1 g πρωτεΐνης. Για τα ψάρια δίνονται συνήθως τιμές από 5.43 έως 5.82. Όταν το πρωτεϊνικό περιεχόμενο υπολογίζεται με βάση το περιεχόμενο άζωτο, το άζωτο από άλλα αζωτούχα συστατικά όπως ελεύθερα αμινοξέα, νουκλεοτίδια, αμίνες και ουρία θα συνεισφέρει στο υπολογιζόμενο πρωτεϊνικό περιεχόμενο. **(Εργαστηριακός Οδηγός Επιστήμης και Μηχανικής Τροφίμων 2018, Rustad 2010)**

2.5 Λιπίδια

Τα λιπίδια, ως γνωστόν, βρίσκονται σε όλους τους ζωικούς οργανισμούς και διαδραματίζουν δύο σημαντικούς ρόλους: 1) διατηρούν την ακεραιότητα των φυτών και των ζώων ως δομικά συστατικά, σχηματίζοντας ένα φράγμα που διαχωρίζει το κύτταρο από το εξωτερικό περιβάλλον και 2) αποτελούν μία βασική πηγή και αποθήκη κυτταρικής ενέργειας, που είναι απαραίτητη για τις λειτουργίες των οργανισμών. Σε πολλούς υδρόβιους οργανισμούς, τα λιπίδια αποτελούν, συνήθως, το δεύτερο μεγαλύτερο βιοχημικό συστατικό μετά τις πρωτεΐνες. Είναι γνωστό ότι τα λιπίδια των θαλασσινών παρέχουν υψηλά ποσοστά σημαντικών συστατικών για την ανθρώπινη διατροφή, όπως οι λιποδιαλυτές βιταμίνες (ονομαστικά Α και D) και τα απαραίτητα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αποτροπή διαφόρων ασθενειών, όπως οι καρδιαγγειακές. (**Aubourg 2010**)

Τα θαλάσσια είδη παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία σε λιπαρό περιεχόμενο και σύνθεση ως αποτέλεσμα ενδογενών και εξωγενών επιδράσεων. Σχετικά με τις εξωγενείς επιδράσεις, η εποχή της αλίευσης έχει αποδειχτεί ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, όσον αφορά τη θερμοκρασία και τη διαθεσιμότητα τροφής. Όσον αφορά τις ενδογενείς επιδράσεις, τα λιπίδια παρουσιάζουν ετερογενή διαμοιρασμό στο σώμα των θαλασσινών, πιθανώς επηρεαζόμενο από φυσιολογικούς και ανατομικούς παράγοντες. Επομένως, διαφορές σχετιζόμενες με το είδος των μυών και της τοποθεσίας τους, της ηλικίας, του φύλου, και της σεξουαλικής ωρίμανσης έχουν διαπιστωθεί. Στα ψάρια, η εναπόθεση του λίπους πραγματοποιείται στους μυϊκούς ιστούς (π.χ. γριβάδι, ρέγκα), στο συκώτι (μουρούνα, γάδος, pollock) ή στα έντερα (κυανή τούρνα, τούρνα, πέρκα). (**Belitz, Grosch and Schieberle 2009**)

Τα περισσότερα ζωικά και φυτικά λιπίδια από χερσαίες και υδρόβιες πηγές είναι παρόμοια ως προς το γεγονός ότι περιέχουν κυρίως ισάριθμα κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα σε συνδυασμό με γλυκερόλη, λιπαρές αλκοόλες (εστέρες κηρού), φωσφορικό οξύ και αμίνες. Τα λιπίδια των θαλασσινών, ωστόσο, διαφέρουν από τις άλλες πηγές στο ότι περιέχουν ένα μεγαλύτερο εύρος λιπαρών οξέων, λιπαρά οξέα μακράς αλυσού και ένα μεγαλύτερο ποσοστό υψηλά ακόρεστων λιπαρών οξέων, συγκεκριμένα C20:5 ω-3 (εισοσιπεντανοϊκό οξύ, EPA) και C22:6 ω-3 (δοκοσαεξανοϊκό οξύ, DHA), με πολύ καλά τεκμηριωμένα οφέλη για την ανθρώπινη

υγεία (πολύτιμα από άποψη φυσιολογίας και διατροφής). (**Aubourg 2010, Nikoo and Benjakul 2015**)

Ωστόσο, σε αντίθεση με την υψηλή περιεκτικότητα των θαλασσιών σε ακόρεστα λιπαρά οξέα, το επίπεδο των αντιοξειδωτικά ενεργών τοκοφερολών είναι σχετικά χαμηλό. Επομένως, τα λιπίδια των ψαριών αποτελούν σημαντικό πρόβλημα στη συντήρησή τους λόγω της εύκολης υπεροξειδωσής τους. (**Belitz, Grosch and Schieberle 2009**)

2.6 Υδατάνθρακες

Το περιεχόμενο των υδατανθράκων στους μυς των ψαριών είναι χαμηλό και επηρεάζεται από γεγονότα που συμβαίνουν πριν και μετά την αλίευση, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε εξάντληση των αποθηκών γλυκογόνου, έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση του επιπέδου υδατανθράκων. Το γλυκογόνο είναι ο κυριότερος υδατάνθρακας, η περιεκτικότητά του οποίου (μέχρι 0,3%) είναι μικρότερη στα ψάρια από ότι στο μυϊκό ιστό των θηλαστικών. (**Belitz, Grosch and Schieberle 2009**) Υπό ανοξικές συνθήκες μετά θάνατον, το γλυκογόνο μπορεί να συνεχίσει να μεταβολίζεται, οδηγώντας σε αύξηση του γαλακτικού οξέος μαζί με μείωση του pH και στη σταδιακή μείωση των γλυκών, κρεατωδών χαρακτηριστικών του φρέσκου ψαριού. (**Falch et al. 2010**) Περαιτέρω συζήτηση για το φαινόμενο αυτό διεξάγεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Μερικά θαλασσινά ασπόνδυλα, από την άλλη, χαρακτηρίζονται από υψηλό περιεχόμενο σε υδατάνθρακες: μέχρι 10.2% και 12.5% συνολικά σάκχαρα μπορεί να βρεθούν στον υποδερμικό ιστό του ακανθώδους αστακού και του μπλε κάβουρα, αντίστοιχα, με την υψηλότερη ποσότητα σε γλυκόζη ακολουθούμενη από γαλακτόζη και μαννόζη. Τα αποθέματα γλυκογόνου των φεστονίων παρουσιάζουν υψηλή εξάρτηση από την εποχή (θερμοκρασία, διαθεσιμότητα τροφής και κύκλος ζωής) και τα υψηλότερα επίπεδα φθάνουν συνήθως μετά την καλοκαιρινή περίοδο, επιτυγχάνοντας επίπεδα γλυκογόνου μέχρι 23% -25% ξηρού βάρους των προσαγωγών μυών. Εποχικές μεταβολές του περιεχόμενου γλυκογόνου στα μύδια

(*Mytilus edulis*) είναι επίσης υψηλές, παρουσιάζοντας τιμές του εύρους 4% –37% ανά ξηρό βάρος ιστού. (Falch et al. 2010)

2.7 Μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ενώσεις

2.7.1 Ουρία

Απαντάται σε όλο το σώμα και τα όργανα των χονδριχθύων, όπου ρυθμίζει την οσμωτική πίεση των εσωτερικών υγρών. Η κατανομή της ουρίας στα όργανα και στα διάφορα μέρη των ψαριών είναι σχετικά ομοιόμορφη: 2 g/100 g μύος για τα θαλασσινά και 0, 65 g/100 g μύος για του γλυκού νερού αντίστοιχα. Στα τελεόστεα ψάρια, η περιεκτικότητα σε ουρία είναι πολύ μικρή (0,5 -15 mg/100 g μύος). (Παπαναστασίου 1990)

2.7.2 Οξείδιο της τριμεθυλαμίνης

Βρίσκεται σε όλα τα θαλασσινά ψάρια, ιδιαίτερα στους χονδριχθύες (από 250 -1500 mg/ 100 g μύος) και, όπως και η ουρία, συμμετέχει στη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης. Στα πλατιά ψάρια η ποσότητα της ένωσης αυτής κυμαίνεται μεταξύ 100 και 600 mg / 100 g μύος, ενώ στους μπακαλιάρους (*Gadidae*) από 100 έως 1000 mg / 100 g μύος. Στα ψάρια του γλυκού νερού περιέχεται μικρότερη ποσότητα της ένωσης αυτής απ' ότι στα θαλασσινά, η οποία δεν ξεπερνά τα 100 mg /100 g.

Η περιεκτικότητα των ψαριών σε οξείδιο της τριμεθυλαμίνης επηρεάζεται από τη διατροφή, την εποχή και την ηλικία του ψαριού. Στα μεγάλης ηλικίας ψάρια, η περιεκτικότητα είναι μεγαλύτερη. Επίσης, θεωρείται ότι τα ψάρια των ψυχρών υδάτων περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες από τα αντίστοιχα των θερμότερων. (Παπαναστασίου 1990)

2.7.3 Αμμωνία

Η αμμωνία αποτελεί ένα κανονικό συστατικό των μυών των τελεόστεων ψαριών, τόσο των θαλασσινών όσο και του γλυκού νερού, σε περιεκτικότητα 5 -20 mg /100 g νοπών μυών. Προέρχεται από την απαμίνωση των αμινοξέων (ενζυμική διάσπαση των αμινοξέων με αφαίρεση της αμινικής ομάδας, NH₂, και παραγωγή των αντίστοιχων κετοξέων και αμμωνίας). Από την παραγόμενη αμμωνία, ένα μέρος αποβάλλεται με τα ούρα και ένα μεγάλο μέρος χρησιμοποιείται από τα κύτταρα για τη σύνθεση διαφόρων αζωτούχων ενώσεων, με σύνθετες αζωτούχες βιοχημικές διεργασίες, όπως ο σχηματισμός γλουταμινικού οξέος, γλουταμίνης, φωσφορικού καρβαμιδίου κ.α. **(Παπαναστασίου 1990)**

2.7.4 Κρεατίνη

Περιέχεται στους μυς των ψαριών, σε ποσότητες από 150 έως 600 mg ανά 100 g. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απαντώνται στα ψάρια που κολυμπούν με μεγάλη ταχύτητα. Η κρεατίνη (μεθυλ-γουανιδιν-οξικό οξύ) αποτελεί σημαντικό συστατικό και συμμετέχει στη συστολή των μυών. Στα οστρακόδερμα, το ρόλο της κρεατίνης τον αναλαμβάνει η αργινίνη. **(Παπαναστασίου 1990)**

2.7.5 Βεταΐνες

Περιέχονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στους θαλασσινούς χονδριχθύες (70 -160 mg ανά 100 g), χαμηλότερες στους μπακαλιάρους και ακόμα χαμηλότερες στα ψάρια του γλυκού νερού (10 mg ανά 100 g). **(Παπαναστασίου 1990)**

2.7.6 Ελεύθερα αμινοξέα

Έρευνες έχουν αποδείξει ότι το κρέας των ψαριών περιέχει σημαντικές ποσότητες ελεύθερων αμινοξέων, οι οποίες κυμαίνονται από 1 -12 g ανά 100 g πρωτεϊνών. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη χαμηλή περιεκτικότητα σε συνδετικό ιστό και την υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, αποτελεί αιτία της ταχύτατης μικροβιακής σύνθεσης των ψαριών, καθώς τα βακτήρια βρίσκουν ικανοποιητικές ποσότητες ελεύθερων αμινοξέων για να αναπτυχθούν και να αναπαραχθούν. **(Παπαναστασίου 1990)**

2.8 Αντιοξειδωτικά

Οξείδωση ονομάζεται η μεταφορά των ηλεκτρονίων από ένα άτομο σε άλλο και αντιπροσωπεύει ένα ουσιώδες στοιχείο της αερόβιας ζωής, εφόσον το οξυγόνο είναι ο τελικός δέκτης ηλεκτρονίων στο σύστημα ροής ηλεκτρονίων που παράγει ενέργεια. Όταν η ροή ηλεκτρονίων αποσυνδέεται (μεταφορά ασύζευκτων μονών ηλεκτρονίων), προκύπτει δημιουργία ελεύθερων ριζών, οι οποίες είναι ηλεκτρικά φορτισμένες ενώσεις που αναζητούν και αιχμαλωτίζουν ηλεκτρόνια από άλλες ενώσεις, ώστε οι ίδιες να ουδετεροποιηθούν. Ωστόσο, έτσι δημιουργείται μία νέα ελεύθερη ρίζα, καταλήγοντας έτσι σε μία αλυσιδωτή αντίδραση. Μέχρι να απενεργοποιηθούν διαδοχικές ελεύθερες ρίζες, χιλιάδες αντιδράσεις ελευθέρων ριζών μπορούν να προκύψουν εντός μερικών δευτερολέπτων. **(Kalogeropoulos and Chiou 2010)**

2.8.1 Οξείδωση στα λιπαρά των ψαριών

Τα λιπίδια στα θαλασσινά προϊόντα εξασθενούν κατά την επεξεργασία, τη διαχείριση και την αποθήκευσή τους, καθιστώντας τα την κύρια αιτία για τη δημιουργία μη γευστικών ενώσεων και ταγγισμού, καθώς και ενός αριθμού άλλων αντιδράσεων που ελαττώνουν τη διάρκεια ζωής και τη διατροφική τους αξία, ιδιαίτερα στην περίπτωση των προϊόντων που είναι πλούσια σε ωμέγα-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA).

Το υψηλό ποσοστό ωμέγα-3 PUFA καθώς και οι υψηλές ποσότητες χρωστικών ουσιών και μεταλλικών ιχνοστοιχείων, όπως σίδηρος και χαλκός, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες καθιστώντας τους μύες των ψαριών επιρρεπείς σε οξείδωση των λιπών, συγκριτικά με άλλα τρόφιμα.

Η οξείδωση των λιπιδίων των ψαριών όχι μόνο παράγει ανεπιθύμητες οσμές και γεύσεις, αλλά μπορεί, επίσης, να μειώσει την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων με το σχηματισμό δευτερευόντων προϊόντων λιπαρής οξείδωσης. Επιπλέον, οι αντιδράσεις που προκύπτουν ανάμεσα στα προϊόντα της οξείδωσης και στα συστατικά του ψαριού, όπως πρωτεΐνες, αμινοξέα, βιταμίνες και χοληστερόλη, μπορεί να επιφέρουν υποβαθμίσεις ή ανεπιθύμητες τροποποιήσεις σε αυτά τα συστατικά. Αυτές οι επιζήμιες αντιδράσεις οδηγούν σε απώλεια της ποιότητας και της θρεπτικής αξίας των προϊόντων. Τα οξειδωμένα ψάρια χαρακτηρίζονται από αλλοιώσεις της οσμής και της γεύσης τους, αποχρωματισμό, καταστροφή των θρεπτικών τους συστατικών και πιθανό σχηματισμό τοξικών ενώσεων, όπως η μαλονδιαλδεύδη (malondialdehyde, MDA) και τα οξειδωμένα παράγωγα χοληστερόλης (cholesterol oxidation products, COPs). (Nikoo and Benjakul 2015)

Επομένως, η αναστολή της οξείδωσης είναι απαραίτητη προκειμένου να διατηρηθεί η οργανοληπτική-θρεπτική ποιότητα των ψαριών και των προϊόντων τους.

2.8.2 Αντιοξειδωτικά

Ως αντιοξειδωτικό ορίζεται κάθε ουσία, η οποία, όταν είναι παρούσα σε χαμηλές συγκεντρώσεις μαζί με ένα υπόστρωμα προς οξείδωση, μπορεί να καθυστερήσει σημαντικά ή να αποτρέψει την οξείδωση του υποστρώματος. Στα βιολογικά συστήματα, διάφοροι βιοχημικοί αμυντικοί μηχανισμοί, οι οποίοι περιλαμβάνουν ενζυμικά συστήματα και μη ενζυμικά αντιοξειδωτικά, προστατεύουν τα κυτταρικά συστατικά από οξειδωτική ζημιά.

Για τα συστήματα τροφίμων, τα αντιοξειδωτικά είναι μόρια που προστατεύουν τα μακρομόρια από την οξείδωση με δύο διαφορετικούς τρόπους: προστατεύουν τα λιπίδια από τους οξειδωτικούς εκκινητές (αποτρεπτικά αντιοξειδωτικά) και

καθυστερούν τη φάση διάδοσης (chain breaking αντιοξειδωτικά). Ωστόσο, τα αντιοξειδωτικά, συνήθως, δρουν με περισσότερους από ένα μηχανισμούς που συνδυάζουν διαφορετικές μορφές αντιοξειδωτικής δραστηριότητας. Γενικά, τα αντιοξειδωτικά είναι αποτελεσματικά σε πολύ χαμηλά επίπεδα συγκεντρώσεων. Σε υψηλότερα επίπεδα πολλά από αυτά λειτουργούν ως προοξειδωτικά, πιθανόν λόγω της εμπλοκής τους στις αντιδράσεις εκκίνησης. **(Kalogeropoulos and Chiou 2010)**

2.8.3 Αντιοξειδωτικά στα θαλασσινά και στα προϊόντα τους

Στους έμβιους οργανισμούς, η οξειδωτική ζημιά στα μακρομόρια ελέγχεται από δύο τύπους αντιοξειδωτικών συστημάτων: ο ένας αντιπροσωπεύεται από τα ένζυμα και ο άλλος αντιπροσωπεύεται από συστατικά χαμηλής μοριακής μάζας, όπως το ασκορβικό οξύ, οι τοκοφερόλες, τα καροτενοειδή, τα συνένζυμα Q, η γλουταθειόνη (GSH), οι θειόλες και το ουρικό οξύ, καθώς και ίχνη από φαινολικές ενώσεις. Αυτά τα αντιοξειδωτικά δρουν με συντηρητικό τρόπο για την προστασία ευαίσθητων μορίων, όπως τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, από την οξείδωση. **(Kalogeropoulos and Chiou 2010)**

2.8.3.1 Αντιοξειδωτικά ένζυμα

Καταλάσες: Είναι ένζυμα που περιέχουν μέταλλα, ευρέως διαμοιρασμένα στα αερόβια κύτταρα, τα οποία αποτρέπουν τη συσσώρευση H_2O_2 εντός των κυττάρων. Η δραστηριότητα των καταλασών κυμάνθηκε μεταξύ 386 και 1523 mmol/min/g ιστού σε ορισμένα ψάρια του Ατλαντικού και ήταν υψηλότερη στο συκώτι, τα νεφρά τη σπλήνα και την καρδιά, ενώ στην περίπτωση των μυών στους κόκκινους από ότι στους λευκούς.

Υπεροξειδικές δισμουτάσες (SOD): Είναι μεταλλοπρωτεΐνες, με Mn, Cu, Zn, ή Fe στην ενεργή τους θέση (active site), οι οποίες δρουν ως πρωταρχικοί αποτρεπτικοί αναστολείς και καταλύουν την καταστροφή (dismutation) των υπεροξειδικών ανιόντων (O_2^-), μετατρέποντας ένα (O_2^-) σε H_2O_2 και οξειδώνοντας άλλο ένα σε O_2 .

Γλουταθειονική υπεροξειδάση (GPx): Είναι ένα ένζυμο που περιέχει σελήνιο, το οποίο συναντάται σε ζώα, φυτά και σε μερικά βακτήρια. Καταλύει τη μείωση του υπεροξειδίου (H_2O_2) ή των λιπιδικών υπεροξειδίων (LOOH), ενώ οξειδώνει 2 mol μειωμένης γλουταθειόνης.

Γλουταθειονική ρεδοκτάση (GR): Διατηρεί υψηλή την αναλογία GSH/GSSG στα κύτταρα, καταλύοντας τη μετατροπή της GSSG σε GSH.

Γλουταθειονικές S-τρανσφεράσες (GST): Είναι ένζυμα που εμπλέκονται στο μεταβολισμό ξеноβιοτικών και/ή οξειδωμένων συστατικών στο συκώτι.

Περοξειρεδοξίνες (Prx): Ένζυμα τα οποία μπορεί να είναι τόσο αντιοξειδωτικά όσο και διαμορφωτές της μεταγωγής σήματος και μπορούν να θεωρηθούν ως τα πιο σημαντικά συστήματα αφαίρεσης H_2O_2 σε ζώα, βακτήρια και, πιθανώς, φυτά. (Kalogeropoulos and Chiu 2010)

2.8.3.2 Ασκορβικό οξύ (AA)

Αποτελεί το πιο ενεργό υδατοδιαλυτό αντιοξειδωτικό, το οποίο αφθονεί στα ευκαρυωτικά κύτταρα των φυτών και των ζώων. Τα καρκινοειδή και τα περισσότερα ψάρια αδυνατούν να το συνθέσουν, συνεπώς εξαρτώνται από διατροφική παροχή βιταμινών. Οι περισσότερες από τις φυσικές του λειτουργίες σχετίζονται με την ικανότητά του να δρα ως δότης ηλεκτρονίων και ασκεί τις ιδιότητές του ουδετεροποιώντας τοξικά υπεροξειδία και σταθεροποιώντας ελεύθερες ρίζες, συνεπώς προστατεύοντας λιπίδια, πρωτεΐνες και άλλα βιοσυστατικά από οξειδωτική ζημιά.

Το ασκορβικό οξύ χαρακτηρίζεται για τις περίπλοκες πολυλειτουργικές επιδράσεις του: ανάλογα με τις συνθήκες μπορεί να δράσει ως αντιοξειδωτικό, προοξειδωτικό, χηλικοποιητής μετάλλων και αναγωγικό μέσο ή συλλέκτης οξυγόνου (scavenger). Στους υδρόβιους οργανισμούς, το ασκορβικό οξύ εμπλέκεται σε ορισμένες φυσιολογικές λειτουργίες συμπεριλαμβανόμενης της ανάπτυξης, της αναπαραγωγής, της ίασης, της σύνθεσης κολλαγόνου, της ανταπόκρισης σε ερεθίσματα, του μεταβολισμού της τυροσίνης και των μεταλλοϊόντων, της προστασίας των κυττάρων

από οξειδωτική ζημιά και της αναπαραγωγής της βιταμίνης E στη μεταβολικά ενεργή μορφή της. Στα ψάρια, η βιταμίνη C διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της ανοσολογικής απόκρισης και της αντίστασης σε μολυσματικές αρρώστιες, στην αντιμετώπιση του στρες και της οξειδωσης, ενώ παράλληλα έχει θετική επίδραση στη διαδικασία ίασης. Εκτός από το ασκορβικό οξύ, η αντίστροφα οξειδωμένη του μορφή, το διυδροασκορβικό οξύ (DHAA), υπάρχει επίσης σε ποικίλα διαιτητικά και βιολογικά δείγματα. Επίσης, 1-ascorbate 2-sulfate (AAS) έχει απομονωθεί από μη ανεπτυγμένες κύστες of brine shrimp και σε ιστούς πέστροφας. **(Kalogeropoulos and Chiou 2010)**

2.8.3.3 Καροτενοειδή

Αποτελούν ισοπρενοειδή πολυένια σχηματιζόμενα με ένωση 8 ισοπρενών μονάδων. Μία σειρά από συζευγμένους διπλούς δεσμούς συγκροτεί ένα χρωματοφόρο ποικίλου μήκους, οδηγώντας έτσι σε χαρακτηριστικές κίτρινες έως κόκκινες αποχρώσεις. Ανάμεσα στις προτεινόμενες λειτουργίες των καροτενοειδών στις ιχθυοκαλλιέργειες είναι ο χρωματισμός, οι αντιοξειδωτικές λειτουργίες, ο ρόλος τους ως πηγή προβιταμίνης A, η κυτταρική προστασία από φωτοδυναμική ζημιά, καθώς και η ενίσχυση της ανάπτυξης και της δυνατότητας αναπαραγωγής. Η πιο σημαντική τους βιολογική λειτουργία είναι η αντιοξειδωτική τους φύση, δηλαδή η ικανότητά τους να εξουδετερώνουν ελεύθερες ρίζες. **(Kalogeropoulos and Chiou 2010)**

2.8.3.4 Ουμπικινόνη

Το συνένζυμο Q10 (γνωστό και ως ουμπικινόνη, συνένζυμο Q, και αναφερόμενο ανά καιρούς ως CoQ10, CoQ, Q10) είναι μία βενζοκινόνη, όπου το “Q” και το “10” στο όνομα αναφέρονται στη χημική ομάδα της κινόνης και στις 10 ισοπρενυλικές χημικές υποομάδες αντίστοιχα. Παράλληλα με τη βασική της λειτουργία ως συστατικό της μιτοχονδριακής αναπνευστικής αλυσίδας, τα τελευταία χρόνια η ουμπικινόνη έχει αποκτήσει αυξανόμενη προσοχή όσον αφορά τη λειτουργία της, στην αναγωγική της μορφή (ουμπικινόλη), ως αντιοξειδωτικό. Η ουμπικινόνη, μερικώς στην αναγωγική της μορφή, βρίσκεται σε όλες τις κυτταρικές μεμβράνες, καθώς επίσης και στον ορό του αίματος και των λιποπρωτεϊνών. Η ουμπικινόλη προστατεύει αποτελεσματικά τα

μεμβρανικά φωσφολιπίδια και τη χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνη (LDL) από υπεροξειδωση των λιπιδίων και, όπως έχουν δείξει πρόσφατα δεδομένα, τις πρωτεΐνες μιτοχονδριακής μεμβράνης και το DNA από οξειδωτική ζημιά που επέρχεται από ελεύθερες ρίζες. Επιστημονικά στοιχεία έχουν υποδείξει ότι η ουμπικινόνη μπορεί να λειτουργήσει μαζί με τις τοκοφερόλες στην προστασία της λειτουργίας των βιολογικών μεμβρανών. Η ουμπικινόλη είναι το μόνο γνωστό αντιοξειδωτικό λιπιδικής φάσης που μπορεί να συντεθεί εκ νέου στα ζωικά κύτταρα και για αυτό υπάρχει ένας ενζυματικός μηχανισμός στη μιτοχονδριακά και στα ηλεκτρονιομεταφορικά συστήματα, ο οποίος μπορεί να αναδημιουργήσει τη μορφή της ουμπικινόνης. **(Kalogeropoulos and Chiou 2010)**

2.8.3.5 Άλλα ενδογενή αντιοξειδωτικά

Φωσφολιπίδια: Η αντιοξειδωτική δραστηριότητα των φωσφολιπιδίων είναι κυρίως συνδεδεμένη με την ικανότητά τους να λειτουργούν ως συνεργοί και ως μεταλλικοί χηλικοί παράγοντες. Τα φωσφολιπίδια παρουσιάζουν συνεργατικότητα με τις τοκοφερόλες στα λίπη των ψαριών. Εφόσον τα φωσφολιπίδια εμπλέκονται στο μη ενζυμικό μαύρισμα, παρουσιάζουν υψηλότερη αντιοξειδωτική δραστηριότητα σε υψηλότερες θερμοκρασίες ή όπου το μαύρισμα είναι σημαντικό.

Αμινοξέα, αμίνες και πεπτίδια: Είναι γνωστό ότι παρουσιάζουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Επιπλέον, τα αμινοξέα εμπλέκονται σε αντιδράσεις μη ενζυμικού μαυρίσματος με τα καρβονύλια από τα οξειδωμένα λίπη, τα οποία οδηγούν σε προϊόντα με αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Τα πρωτεϊνικά υδρολύματα ψαριών και παραπροϊόντων από την επεξεργασία τους παρουσιάζουν αντιοξειδωτικές και βιολογικές δραστηριότητες. **(Kalogeropoulos and Chiou 2010)**

2.9 Βιταμίνες

Οι βιταμίνες αποτελούν μία ομάδα από σύνθετες οργανικές ενώσεις που είναι απαραίτητες για την ομαλή λειτουργία και τις απαραίτητες μεταβολικές αντιδράσεις του σώματος. Δεν χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας ή ως πηγή δομικού ιστού, αλλά κυρίως ως συμπράγοντες ή συνένζυμα στις βιοχημικές αντιδράσεις. Οι βιταμίνες χωρίζονται σε 2 κατηγορίες με βάση τη διαλυτότητά τους: οι διαλυτές σε λιποοργανικούς διαλύτες (λιποδιαλυτές βιταμίνες) και οι διαλυτές σε νερό (υδατοδιαλυτές βιταμίνες).

Τα ψάρια και τα οστρακοειδή αποτελούν καλές έως εξαιρετικές πηγές των περισσότερων από τις βιταμίνες Β, όπως ορίζεται από το U.S. Food and Drug Administration. Οι λιποδιαλυτές βιταμίνες Α, D και Ε είναι παρούσες στα θαλασσινά σε ποικίλες ποσότητες, συχνά σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από ότι σε άλλα κρέατα. Πολλά είδη ψαριών και οστρακοειδών αποθηκεύουν υψηλές ποσότητες βιταμινών Α, D και Ε στο συκώτι τους. Μικρή ποσότητα βιταμίνης C βρίσκεται στα θαλασσινά, ωστόσο θεωρούνται καλή έως εξαιρετική πηγή Β-σύνθετων βιταμινών. (Kim 2010)

2.9.1 Λιποδιαλυτές βιταμίνες

Βιταμίνη Α και καροτενοειδή: Αποτελεί μία λιποδιαλυτή βιταμίνη απαραίτητη για τους ανθρώπους, αλλά και για άλλα σπονδυλωτά. Η βιταμίνη Α ως ρετινοειδή, κυρίως ρετινυλικοί εστέρες, αφθονεί σε ορισμένα ζωικά τρόφιμα, ενώ τα καροτενοειδή αφθονούν σε φυτικά τρόφιμα ως χρωστικές ουσίες. Τα καροτενοειδή είναι υπεύθυνα για το χρώμα των ψαριών και των οστρακοειδών. Δεν μπορούν να συντεθούν από τα ζώα, αλλά αποκτούνται από τα θηράματά τους ή τη θαλάσσια τροφή τους (aquafeeds), τα οποία περιέχουν πρόσθετα καροτενοειδή, όπως η κανθαξανθίνη και η ασταξανθίνη. Επειδή η βιταμίνη Α και τα καροτενοειδή είναι λιποδιαλυτά, σχετίζονται με το ποσοστό λίπους των τροφίμων. Συγκεντρώνονται σε υψηλό βαθμό στα έλαια του συκωτιού των ψαριών, ωστόσο μικρές ποσότητες βρίσκονται στους μυς ή στο κρέας.

Βιταμίνη D: Αποτελεί μία λιποδιαλυτή βιταμίνη, η οποία βρίσκεται στα τρόφιμα, ενώ επίσης, συντίθεται στο σώμα μετά από έκθεση στις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου. Διάφορες μορφές βιταμίνης D έχουν περιγραφεί, όμως οι δύο κύριες, φυσιολογικά σχετιζόμενες είναι η βιταμίνη D₂ και η βιταμίνη D₃. Η βιταμίνη D είναι βιολογικά ανενεργή και μεταβολίζεται σε 25-υδροξυβιταμίνη D (25(OH)D) στο συκώτι, η οποία είναι και η αφθονότερη μορφή βιταμίνης D στο κυκλοφορικό σύστημα. Αυτός ο κυκλοφορικός μεταβολίτης υδροξυλιώνεται πάλι για να σχηματίσει τη βιολογικά ενεργή του ορμόνη, 1,25-διυδροξυβιταμίνη (1,25(OH)₂D), η οποία συμβάλλει στην ομοιόσταση του ασβεστίου και στη ρύθμιση της ανάπτυξης ορισμένων ειδών κυττάρων.

Η μεγαλύτερη ποσότητα βιταμίνης D στα ζωικά τρόφιμα είναι σε μορφή βιταμίνης D₃ και 25(OH)D₃. Τα έλαια του συκωτιού των ψαριών αποτελούν την πλουσιότερη πηγή βιταμίνης D, ενώ τα finfish και τα οστρακοειδή είναι γνωστά ως φυσικές παροχές βιταμίνης D στην ανθρώπινη διατροφή. Επομένως, για την εκτίμηση της βιταμίνης D στα θαλασσινά, θα πρέπει να συμπεριληφθούν αναλύσεις 25(OH)D₃. Γενικότερα, η συγκέντρωση βιταμίνης D στα τρόφιμα δεν επηρεάζεται από την επεξεργασία, το μαγείρεμα και την αποθήκευσή τους.

Βιταμίνη E: Αποτελεί το πιο αποτελεσματικό λιποδιαλυτό αντιοξειδωτικό στο ανθρώπινο σώμα. Η φυσική βιταμίνη E εμφανίζεται σε οχτώ διαφορετικές μορφές, τέσσερις τοκοφερόλες (α-,β-, γ- και δ- τοκοφερόλες) και τέσσερις τοκοτριενόλες (α-,β-, γ- και δ- τοκοτριενόλες). Η βιταμίνη E βρίσκεται στα ζωικά και στα φυτικά τρόφιμα. Τα θαλασσινά παρέχουν μικρές ποσότητες βιταμίνης E. Τα λιπαρά είδη ψαριών διαθέτουν μεγαλύτερες ποσότητες από τις λεπτές ποικιλίες, ενώ τα οστρακοειδή έχουν πολύ μικρή ποσότητα.

Τοκοφερόλες και/ή αντιοξειδωτικά προστίθενται συνήθως στα έλαια των ψαριών, ώστε να προστατευτούν από τον ταγγισμό. Κατά την επεξεργασία μπορεί να προκύψουν ιδιαίτερα γρήγορες απώλειες βιταμίνης E. Οι απώλειες αυτές επιταχύνονται από το οξυγόνο, το φως, τη θερμοκρασία και ορισμένα μέταλλα, κυρίως σίδηρο και χαλκό, καθώς και από την παρουσία ελευθέρων ριζών στο λίπος, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει αυτοοξείδωση.

Βιταμίνη K: Είναι μία λιποδιαλυτή βιταμίνη. Στη φύση παρατηρούνται δύο μορφές της: η φυλλοκινόνη και οι μενακινόνες. Η φυλλοκινόνη (βιταμίνη K₁), συντίθεται από τα φυτά. Οι μενακινόνες (βιταμίνη K₂) παράγονται από βακτήρια και περιέχουν μία πολυϊσοπρενυλική αλυσίδα στη θέση 3. Ωστόσο, μία από τις μενακινόνες, η μενακινόνη (MK)-4, δεν είναι ένα κύριο βακτηριακό προϊόν, αλλά συντίθεται στα ζώα από τη φυλλοκινόνη. Η μεναδιόνη (βιταμίνη K₃) είναι μία συνθετική μορφή βιταμίνης K. Αυτή και τα παράγωγά της χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στη βιομηχανία τροφίμων. Η μεναδιόνη μετατρέπεται επίσης σε (MK)-4 στους ζωικούς ιστούς. Στα ψάρια και στα οστρακοειδή παρατηρούνται πολύ μικρές ποσότητες βιταμίνης K. Είναι ιδιαίτερα σταθερή στην οξείδωση και στις περισσότερες διαδικασίες επεξεργασίας και προετοιμασίας του τροφίμου, ενώ είναι ασταθής στο φως, στις βάσεις, στα ισχυρά οξέα και στους αναγωγικούς παράγοντες. (Kim 2010)

2.9.2 Υδατοδιαλυτές βιταμίνες

Θειαμίνη (Βιταμίνη B1): Τα περισσότερα ψάρια και θαλασσινά έχουν μικρές ποσότητες θειαμίνης, οι οποίες εξαρτώνται ελάχιστα από τα διάφορα είδη. Τα ωμά ψάρια και τα οστρακοειδή περιέχουν θειαμινάση, ένα ένζυμο που καταστρέφει τη θειαμίνη. Οι αντιδράσεις θειαμινάσης ξεκινούν με την άλεση, την ομογενοποίηση και άλλες διαδικασίες που διαλύουν τη δομή των ιστών κατά την προετοιμασία των δειγμάτων ωμών θαλασσινών. Ομάδες σουλφυδριλίων και άλλων αναγωγικών παραγόντων προστατεύουν τη θειαμίνη από τις αντιδράσεις θειαμινάσης. Η θειαμινάση απενεργοποιείται κατά τη διαδικασία μαγειρέματος.

Ριβοφλαβίνη (Βιταμίνη B2): Είναι μία υδατοδιαλυτή βιταμίνη, φυσικά περιεχόμενη στα τρόφιμα. Δρα ως αναπόσπαστο συστατικό δύο συνενζύμων flavin adenine dinucleotide (FAD) and flavin mononucleotide (FMN). Τα θαλασσινά αποτελούν γενικά μία μέτρια πηγή ριβοφλαβίνης. Μερικά είδη, όπως το σκουμπρί και το καλαμάρι αποτελούν καλές έως εξαιρετικές πηγές, καθώς και τα ψάρια που καταναλώνονται ολόκληρα, όπως αθερίνα και σαρδέλα.

Νιασίνη (Βιταμίνη B3): Ο όρος ‘νιασίνη’ αφορά τη γενική περιγραφή για το νικοτινικό οξύ και το νικοτιναμίδιο, τα οποία είναι απαραίτητα για το σχηματισμό

των συνενζύμων, nicotinamide adenine dinucleotide (NAD) και nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP) στο σώμα. Η νιασίνη μπορεί να βιοσυντεθεί από το αμινοξύ τρυπτοφάνη. Η περιεκτικότητά της σε ψάρια και θαλασσινά ποικίλει ανάλογα με την ποιότητά τους. Τα λεπτά λευκά ψάρια και τα οστρακοειδή τείνουν να περιέχουν μικρότερες ποσότητες νιασίνης, ενώ κάποιες ποικιλίες, όπως το σκουμπρί, ο σολομός και ο τόνος είναι πλούσιες σε αυτή.

Βιταμίνη B6: Αποτελείται από παράγωγα 3-υδροξυ-2-μεθυλοπυριδίνης, τα οποία είναι η πυριδοξάλη (PL), η πυριδοξίνη (PL), η πυριδοξαμίνη (PM) και τα αντίστοιχα 5'-φωσφορικά (PLP, PNP και PMP). Η βιταμίνη B6, σε ελεύθερες και δεσμευμένες μορφές, βρίσκεται σε μία ευρεία ποικιλία τροφίμων συμπεριλαμβανομένων και των θαλασσινών. Τα ψάρια αποτελούν καλές έως πλούσιες πηγές βιταμίνης B6. Το PLP, δεσμευμένο σε ένα αποένζυμο από μία Schiff base στους ζωικούς ιστούς, είναι η κύρια μορφή βιταμίνης B6 στον ιστό των ψαριών, η οποία είναι βιοδιαθέσιμη. Στα θαλασσινά βρίσκεται επίσης το PMP. Η σταθερότητα της βιταμίνης κατά τη θερμική διαχείριση, την επεξεργασία και το μαγείρεμα είναι αντιστρόφως ανάλογη με το pH του μέσου.

Βιταμίνη B12: Αποτελεί μία ομάδα ενώσεων, τις κοβαλαμίνες, στις οποίες περιέχονται η κυανοκοβαλαμίνη, η υδροξοκοβαλαμίνη και οι δύο συνενζυματικές μορφές 5'-δεσοξυαδενοσυλοκοβαλαμίνη (αδενοσυλοκοβαλαμίνη) και μεθυλοκοβαλαμίνη. Τα ψάρια και τα θαλασσινά είναι πλούσιες πηγές βιταμίνης B12, με το σολομό, τη ρέγκα, τη σαρδέλα, το σκουμπρί, τα μύδια και τα στρείδια στην κορυφή της λίστας. Η επικρατέστερη μορφή της βιταμίνης στα ψάρια και τα θαλασσινά είναι η αδενοσυλοκοβαλαμίνη, η υδροξοκοβαλαμίνη και η μεθυλοκοβαλαμίνη. Οι κοβαλαμίνες, που αποτελούν και την πιο σταθερή μορφή της βιταμίνης, θεωρείται ότι είναι σταθερές κατά τη θερμική κατεργασία, ωστόσο μεγάλες απώλειες της βιταμίνης προκύπτουν με τη διαρροή της στο νερό του μαγειρέματος.

Παντοθενικό οξύ (βιταμίνη B5): Προκύπτει κυρίως ως συνδετικό τμήμα του συνένζυμου A και αλκυλομεταφορικών (acyl-carrier) πρωτεϊνών. Τα ψάρια και τα θαλασσινά περιέχουν μικρή ποσότητα παντοθενικού οξέος. Είναι σταθερό στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο και στο φως, ενώ μεγάλες απώλειες μπορεί να προκύψουν

κατά τη λεύκανση (blanching) και το βράσιμο των τροφίμων. Η σταθερότητά του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το pH. Η βιταμίνη είναι σταθερή σε ελαφρώς όξινα διαλύματα σε pH 5-7.

Βιταμίνη C: Είναι μία υδατοδιαλυτή βιταμίνη και προκύπτει σε δύο μορφές, το ελαττωμένο ασκορβικό οξύ και το οξειδωμένο διυδροασκορβικό οξύ. Τα ψάρια και τα θαλασσινά δεν θεωρούνται καλές πηγές βιταμίνης C. Είναι ιδιαίτερα επιρρεπής στην οξείδωση κατά την επεξεργασία, την αποθήκευση και το μαγείρεμα των τροφίμων, ιδιαίτερα υπό αλκαλικές συνθήκες. Η μέγιστη σταθερότητα προκύπτει ανάμεσα σε pH 4 και 6, ωστόσο, οι ρυθμοί υποβάθμισης επηρεάζονται από τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου, την παρουσία αντιοξειδωτικών, τις συνθήκες θερμικής κατεργασίας, την κατάλυση των μετάλλων μεταφοράς, την επίδραση των οξειδωμένων λιπιδίων και την παρουσία της οξειδάσης του ασκορβικού οξέος. **(Kim 2010)**

2.10 Ανόργανα συστατικά (άλατα, μέταλλα και ιχνοστοιχεία)

Τα ψάρια αποτελούν πλούσια πηγή ανόργανων συστατικών, σημαντικότερη από το κρέας των πουλερικών και των θηλαστικών, ιδιαίτερα στην περίπτωση του ιωδίου, ιχνοστοιχείου απαραίτητου για τον ανθρώπινο οργανισμό, το οποίο απαιτείται για τη φυσιολογική δραστηριότητα των ορμονών του θυρεοειδούς, της θυροξίνης και της τρι-ιωδοθυρονίνης.

Η περιεκτικότητα σε ανόργανα εξαρτάται από το είδος των ψαριών και το περιβάλλον στο οποίο ζουν. Για παράδειγμα, τα θαλασσινά ψάρια περιέχουν σημαντική ποσότητα χλωριούχου νατρίου, ενώ τα αντίστοιχα του γλυκού νερού σημαντική ποσότητα φωσφορικού καλίου. **(Παπαναστασίου 1990)**

Τα σημαντικότερα ανόργανα στοιχεία που απαντώνται στα θαλασσινά, καθώς και οι περιεκτικότητές τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.1 Περιεκτικότητες ιχνοστοιχείων στα ψάρια (Παπαναστασίου Δ., 1990)

Στοιχείο	Περιεκτικότητα (mg/g βρώσιμου τμήματος)	
	Θαλασσινά	Γλυκού νερού
Ασβέστιο (Ca)	123,5	39,8
Μαγνήσιο (Mg)	33,5	31
Φωσφόρος (P)	170	213
Σίδηρος (Fe)	4.3	4.3
Χαλκός (Cu)	0,2	-
Ιώδιο (I)	0,7	-
Νάτριο (Na)	91,2	29,4
Κάλιο (K)	350	416
Χλώριο (Cl)	169,4	32
Θείο (S)	228,3	218
Μαγγάνιο (Mn)	0,025	-
Ψευδάργυρος (Zn)	2,9	-

Το μέσο συνολικό περιεχόμενο σε μέταλλα του φιλέτου ψαριού πλησιάζει το 1% της υγρής μάζας, ωστόσο κάποια είδη λιπαρών ψαριών ξεπερνούν το όριο αυτό, φτάνοντας μέχρι 1.6 % (π.χ. *Sardina pilchardus*), ενώ κάποια μαλάκια μπορεί να φτάσουν και άνω του 2 %. Παράλληλα, μέταλλα, όπως αργίλιο, κοβάλτιο και χρώμιο, ενώ περιέχονται σε ιχνοποσότητες, μπορεί να εντοπιστούν σε αυξημένες περιεκτικότητες σε ψάρια που αλιεύονται κοντά σε περιοχές με βιομηχανικές εγκαταστάσεις. (Oehlenschlager 2010)

2.11 Βιβλιογραφία

Δ. Π. Παπαναστασίου, 1990, Κεφάλαιο 4 –Χημική σύσταση και βιολογική αξία αλιευμάτων, *Τεχνολογία και ποιοτικός έλεγχος αλιευμάτων*, εκδ. ΙΩΝ, Περιστερί, Αθήνα, σελ. 187-309

E. Falch, I. Overrein, C. Solberg and R. Slizyte, 2010, Composition and Calories, in *Handbook of seafood-products-analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 258, 267-276

Εργαστηριακός Οδηγός Επιστήμης και Μηχανικής Τροφίμων, 2018, Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, εκδ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο σελ 67

H. D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle, 2009, Ιχθυρά, κητοειδή, οστρακόδερμα, μαλάκια, *Χημεία τροφίμων*, εκδ. ΤΖΙΟΛΑ, σελ. 633-657

J. J. Matsumoto, 1979, Chemical Deterioration of Muscle Proteins During Frozen Storage, in *Chemical deterioration of proteins*, ed. J. R. Whitaker and M. Fujimaki, ACS SYMPOSIUM SERIES 123, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, WASHINGTON, D. C., pp. 95-115

J. Oehlenschlager, 2010, Minerals and Trace Elements, in *Handbook of seafood-products-analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 351-369

Κ. Τζιά, Π. Ταούκης και Β. Ωραιοπούλου, 2009, Συστατικά Τροφίμων –Χημεία και Ιδιότητες, *Επιστήμη και Μηχανική Τροφίμων: Συστατικά –Ιδιότητες –Ποιότητα – Μικροβιολογία –Ρεολογία –Συσκευασία*, εκδ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 7-58

N. Kalogeropoulos and A. Chiou, 2010, Antioxidants, in *Handbook of seafood-products-analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 310-321

Nikoo M. and Benjakul S., 2015, Potential application of seafood-derived peptides as bifunctional ingredients, antioxidant–cryoprotectant: A review, *Journal of Functional Foods*, 19: 753–764

S. P. Aubourg, 2010, Lipid Compounds, in *Handbook of seafood-products-analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 70-71

T. Rustad, 2010, Peptides and proteins, in *Handbook of seafood-products-analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 11-14, 17-18

Y.N. Kim, 2010, Vitamins, in *Handbook of seafood-products-analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 328-343

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΛΙΕΥΜΑΤΩΝ

3.1 Αλλοίωση των θαλασσινών

3.1.1 Χημικοί και βιολογικοί παράγοντες

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που προκαλούν την ταχεία υποβάθμιση της ποιότητας των φρέσκων ψαριών από τη στιγμή της αλίευσης, στους οποίους περιλαμβάνονται η αλλαγή του περιβάλλοντος, το υψηλό περιεχόμενό τους σε υγρασία, οι δραστηριότητες των μικροοργανισμών στην εντερική περιοχή και η φυσική καταστροφή ως αποτέλεσμα της χρήσης ακατάλληλων αλιευτικών εργαλείων και διαδικασιών, καθώς και μεθόδων επεξεργασίας. Μετά την αλίευση δεν αλλάζουν μόνο οι παράμετροι αλλοίωσης και φρεσκάδας εξαιτίας μεταβολικών (αυτολυτικών) και μικροβιολογικών διαδικασιών, αλλά αλλάζει και η μικροβιακή χλωρίδα. Η μεταθανάτια εξάπλωση της μικροχλωρίδας του δέρματος είναι η κύρια αιτία της γρήγορης αποσύνθεσης των ψαριών. Η αποσύνθεση επιτυγχάνεται επίσης από τα βακτήρια που βρίσκονται στα έντερα των ψαριών. **(Παπαναστασίου 1990 (α), Oehlschlager 2010 (α))**

Στα προϊόντα που δεν έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία και προσφέρονται στους καταναλωτές έτοιμα για βρώση (π.χ. κρύα καπνιστά προϊόντα, θεραπευτικά προϊόντα, σούσι και σασίμι) υπάρχει ενδογενής μικροβιακός κίνδυνος. Ψάρια και άλλα υδρόβια ζώα από μολυσμένες περιοχές (ποτάμια, παράκτια νερά, εκβολές ποταμών, θάλασσες χωρίς ή με περιορισμένη ανταλλαγή νερού με τους ωκεανούς, όπως η Βαλτική, η Μεσόγειος, η Κασπία και η Μαύρη θάλασσα) μπορεί να περιέχουν υψηλό φορτίο από περιβαλλοντικούς ρύπους, κυρίως στα όργανα που είναι υπεύθυνα για την αποτοξίνωση, όπως το συκώτι και τα νεφρά. Υδρόβια ζώα από ορισμένες περιοχές του κόσμου μπορεί να μεταφέρουν ιούς και μικροοργανισμούς βλαβερούς για την ανθρώπινη υγεία, όπως παράσιτα (νηματώδη και κυστώδη), οι οποίοι πρέπει να καταστραφούν ή να αφαιρεθούν πριν την εμπορευματοποίηση των προϊόντων

Τα είδη ψαριών-κυνηγών, όπως οι καρχαρίες, τα οποία βρίσκονται στην κορυφή της υδρόβιας τροφικής αλυσίδας, μπορεί να συσσωρεύσουν υδράργυρο στο σώμα τους κατά τη μακρά διάρκεια ζωής τους σε ποσότητες που υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια της νομοθεσίας. Τοξίνες από διφωσφορικά μπορεί να συσσωρευτούν σε δίθυρα μαλάκια, των οποίων η κατανάλωση μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές ασθένειες, όπως η διαρροιακή δηλητηρίαση από κέλυφος -(DSP), η παραλυτική δηλητηρίαση από κέλυφος -(PSP), η νευροτοξική δηλητηρίαση από κέλυφος -(NSP), και η αμνησιακή δηλητηρίαση από κέλυφος -(ASP), καθώς και στα ψάρια, οδηγώντας σε νόσο ciguatera ή δηλητηρίαση μαϊτοτοξίνης (maitotoxin).

Στους πεπτικούς αδένες των μαλακίων (ηπατοπάγκρεας), όπως τα κεφαλόποδα και τα μύδια, συσσωρεύεται κάδμιο σε ποσοστά που ξεπερνούν τα νομοθετικά όρια κατά πολύ. Αν δεν εκσπλαχνιστούν αμέσως μετά τη συλλογή, το κάδμιο από το ηπατοπάγκρεας διεισδύει στο βρώσιμο μέρος κατά την αποθήκευση, οδηγώντας σε υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου στο συγκεκριμένο τμήμα. **(Oehlenschlager 2010 (α))** Παράλληλα, στα σώματα των θαλασσινών συγκεντρώνεται αρσενικό, μέσω διαδικασιών μεταβολισμού και μπορεί να βρεθεί σε πολλές διαφορετικές μορφές, όπως ανόργανο (arsenate ή arsenite), οργανομεθυλικό αρσενικό (organic methyl arsonate), ως arsenobetaine, arsenocholine, trimethyl arsine oxide, ή ως σάκχαρα αρσενικού. Το αρσενικό εμφανίζεται σε μεγαλύτερες ποσότητες στα είδη flatfish όπως το plaice και το lemon sole, ενώ τα είδη γάδου έχουν μικρότερες ποσότητες. Υπάρχουν, επίσης, σαφείς αποδείξεις ότι η γεωγραφική περιοχή όπου αλιεύονται ή εκτρέφονται τα θαλασσινά επηρεάζει αρκετά την περιεκτικότητά τους σε αρσενικό (π.χ. σύγκριση ψαριών της νότιας Αδριατικής με αυτά της Χιλής). Βέβαια, έχει αποδειχθεί από τους Li et al. ότι το αρσενικό στα θαλασσινά δεν θέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία, διότι η κύρια ένωση αρσενικού στα θαλασσινά είναι το οργανικό αρσενικό (>98%), το οποίο έχει χαμηλή τοξικότητα. **(Oehlenschlager 2010 (β))**

3.2 Μεταθανάτιες μεταβολές

3.2.1 Νεκρική ακαμψία (rigor mortis)

Οι μύες των ζωντανών ψαριών είναι χαλαροί και ελαστικοί. Αμέσως μετά το θάνατο, επέρχεται η νεκρική ακαμψία και όλο το σώμα γίνεται άκαμπτο. Η ακαμψία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του ψαριού, συγκεκριμένα από τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο νερό που προήλθε και στο χώρο αποθήκευσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά, τόσο μικρότερος είναι και ο χρόνος που επέρχεται η ακαμψία και αντίστροφα. **(Venugopal 2006 (α))**

Μετά το θάνατο του ψαριού, ως συνέπεια της παύσης λειτουργίας της καρδιάς και του ελέγχου του σώματος από τον εγκέφαλο, καθίσταται προβληματικός ο εφοδιασμός των ιστών με οξυγόνο. Αποτέλεσμα είναι η εκκίνηση της γλυκόλυσης (αναερόβια οξείδωση του γλυκογόνου) μέσα στους μυϊκούς ιστούς και η πτώση της τιμής του pH. Η διάσπαση του γλυκογόνου των μυών προκαλεί την ταχεία κατανάλωση της διαθέσιμης 5-τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP). Η συνεχόμενη διάσπαση του γλυκογόνου οδηγεί στην παραγωγή και συσσώρευση γαλακτικού ή κιτρικού οξέος στους μυς, με ταυτόχρονη μείωση του pH (περίπου από 6.8 σε 6.5). Το τελικό pH εξαρτάται από το είδος και τη σύνθεση του ζώου (ψάρια λευκού ή κόκκινου κρέατος, γλυκού ή αλμυρού νερού). **(Παπαναστασίου 1990 (α))**

Όταν η συγκέντρωση της ATP φθάσει στο 50% της αρχικής της τιμής, η ακτινομυοσίνη αρχίζει να χάνει την ελαστικότητά της και συστέλλεται, ενώ χάνει και ένα μέρος από το περιεχόμενο νερό της. Η νεκρική ακαμψία φτάνει στο μέγιστο βαθμό της, όταν η περιεκτικότητα σε 5-τριφωσφορική αδενοσίνη πλησιάζει στο μηδέν, το γλυκογόνο έχει εξαντληθεί και το γαλακτικό οξύ φτάνει στο μέγιστο ποσοστό. Παράλληλα είναι πιθανός ο σχηματισμός πλάσματος (slime) σε ορισμένα κύτταρα του δέρματος του ψαριού, διαδικασία η οποία ενεργοποιείται έντονα μετά το θάνατο. Αυτό αφορά κυρίως ψάρια του γλυκού νερού, τα οποία εκκρίνουν πλάσμα σε εύρος 2-3% της συνολικής τους μάζας, γεγονός που προκαλεί προβλήματα στην επεξεργασία. Το πλάσμα περιέχει μεγάλες ποσότητες αζωτούχων ενώσεων, οι οποίες

παρέχουν καλή τροφή για μικροοργανισμούς, οι οποίοι μολύνουν τα ψάρια από τα διάφορα περιβάλλοντα.

Η νεκρική ακαμψία στα ψάρια χρήζει ιδιαίτερης τεχνολογικής σημασίας, εφόσον επηρεάζει την ποιότητα του κρέατος. Ιδανικά, τα ψάρια θα έπρεπε να φιλετάρονται μετά την ακαμψία. Όταν ετοιμάζονται με την ακαμψία, τα φιλέτα θα είναι σκληρά με χαμηλές αποδόσεις. Αν το κρέας αφαιρεθεί από το κόκαλο προ ακαμψίας, ο μυς μπορεί να καμφθεί ελεύθερα και να χαλαρώσει αρκετά, οπότε τα φιλέτα θα συσταλούν με την εφαρμογή της ακαμψίας, φαινόμενο που ονομάζεται garing. Επιπλέον, η συμπεριφορά των φιλέτων κατά την επεξεργασία διαφέρει ανάλογα με το αν συλλέχθηκαν από ψάρια πριν ή μετά την ακαμψία. Η υφή μπορεί να γίνει σταθερή και ξηρή αν το ψάρι υποστεί επεξεργασία πριν τη νεκρική ακαμψία. **(Venugopal 2006 (α))**

3.2.2 Σχίσσιμο μυϊκών ινών (garing)

Ένα φαινόμενο που προκαλείται συχνά εξαιτίας της νεκρικής ακαμψίας στα ψάρια είναι το σχίσσιμο των μυϊκών ινών (garing). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη θραύση του μυϊκού ιστού που περιβάλλει τις μυϊκές δεσμίδες. Με την έναρξη της νεκρικής ακαμψίας, προκαλείται συστολή των μυϊκών μαζών, ωστόσο η συστολή παρεμποδίζεται από το σκελετό και το συνδετικό ιστό, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τάση στο εσωτερικό των μυών. Αν η τάση αυτή ξεπεράσει την αντοχή του συνδετικού ιστού, αρχίζει να εμφανίζεται το σχίσσιμο των μυϊκών δεσμίδων. Με τη δράση του φαινομένου αυτού, οι μύες αποκτούν σπασμένη και κουρελιασμένη εμφάνιση.

Έχει αποδειχθεί ότι η θερμοκρασία του ψαριού κατά την έναρξη της ακαμψίας επηρεάζει σημαντικά το βαθμό εμφάνισης και εξέλιξης του garing. Υψηλότερη θερμοκρασία συνεπάγεται μεγαλύτερο βαθμό σχισίματος των μυϊκών ινών. Για κάθε ψάρι υπάρχει μία τιμή θερμοκρασίας (κριτική θερμοκρασία), πάνω από την οποία προκαλείται το φαινόμενο. Παράλληλα, στην περίπτωση κατεψυγμένων ψαριών, το garing προκαλείται εντονότερα στα ψάρια άριστης φυσικής κατάστασης από ότι στα

πιο εξασθενημένα. Επίσης, το φαινόμενο παρουσιάζεται εντονότερα στα κομμάτια φιλέτου ψαριών από ότι στα ολόκληρα ψάρια, ιδιαίτερα όταν έχουν αποθηκευτεί για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. **(Παπαναστασίου 1990 (α))**

3.2.3 Αναγωγή του οξειδίου της τριμεθυλαμίνης

Στο κεφάλαιο 2 έγινε αναφορά για την περιεκτικότητα των ψαριών σε οξείδιο της τριμεθυλαμίνης, ένωση που συμβάλλει στη ρύθμιση της ωσμωτικής πίεσης. Μεταθανάτια, αυτή η ένωση ανάγεται από ένζυμα σε τριμεθυλαμίνη, η οποία έχει την οσμή της ψαρίλας. Κατά την αποθήκευση του ψαριού, ένα μέρος της τριμεθυλαμίνης διασπάται ενζυμικά προς διμεθυλαμίνη και φορμαλδεΰδη. Η φορμαλδεΰδη λαμβάνει μέρος σε αντιδράσεις διακλαδισμού με τις πρωτεΐνες, με αποτέλεσμα να μειώνεται η διαλυτότητα και να γίνονται τα ψάρια πιο σκληρά. Πέρα από την τριμεθυλαμίνη, το κλάσμα αμινών περιέχει διμεθυλο- και μονομεθυλαμίνες, αλλά και αμμωνία και μερικές άλλες βιογενείς αμίνες που προέρχονται από αποκαρβοξυλίωση των αμινοξέων. Η συγκέντρωση των πτητικών βάσεων αζώτου αυξάνεται μετά το θάνατο. Η αύξηση αυτή επηρεάζεται από τη διάρκεια και τις συνθήκες αποθήκευσης. Το επίπεδο των πτητικών αμινών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας αντικειμενικός τρόπος ελέγχου της νοπότητας των ψαριών. **(Belitz, Grosch and Schieberle 2009)**

3.2.4 Οξείδωση των λιπιδίων

Η οξείδωση των λιπιδίων σχετίζεται με πρώιμες μεταθανάτιες αλλαγές στον ιστό του ψαριού. Η διαδικασία ξεκινά με την αφαίρεση ενός πρωτονίου από τον κεντρικό άνθρακα των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, συνήθως ένα ημιπενταδιένιο του λιπαρού οξέος, και το σχηματισμό λιπαρής ρίζας. Η τελευταία αντιδρά ταχέως με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, δημιουργώντας μία ομάδα υπεροξειδίου (LOO·). Η αλυσιδωτή αντίδραση που αφορά την υπεροξειδική ρίζα οδηγεί στο σχηματισμό υδροϋπεροξειδίων τα οποία διασπώνται, καταλυόμενα από ιόντα βαρέων μετάλλων, σε δευτερογενή προϊόντα. Οι αντιδράσεις ευνοούνται από την ενεργοποίηση των αιμοπρωτεϊνών και την αύξηση του ελεύθερου σιδήρου, ενώ τα αντιοξειδωτικά

επηρεάζουν αρνητικά την οξειδωση (βλ. κεφ. 2). Τα λιπίδια των ψαριών είναι επίσης επιρρεπή στην υδρόλυση από τις λιπάσες με το σχηματισμό ελεύθερων λιπαρών οξέων. Η υδρόλυση των λιπιδίων συμβαίνει περισσότερο στα μη καθαρισμένα από ότι στα καθαρισμένα ψάρια, πιθανόν λόγω της ανάμιξης των λιπασών που είναι παρούσες στα ένζυμα χώνευσης. **(Venugopal 2006 (α))**

3.2.5 Αλλαγές στη γεύση

Η γεύση των ψαριών επηρεάζει σημαντικά την αποδοχή τους από τον καταναλωτή. Τα φρέσκα ψάρια είναι σχεδόν άοσμα, διότι περιέχουν πολύ μικρή ποσότητα πτητικών. Αμέσως μετά τη συγκομιδή το προϊόν θεωρείται ότι διατηρεί τα αρχικά του χαρακτηριστικά. Ωστόσο, η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πτητικά δεν πρέπει να συσχετίζεται με τη φρεσκάδα του ψαριού όπως την αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής, εφόσον η διατροφική ποιότητα αποτελεί υποκειμενική εμπειρία. Στην πραγματικότητα, οι περισσότεροι γευσιγνώστες ψαριών προτιμούν τα πιο “ώριμα” ψάρια μετά -ακαμψίας. Η περίοδος ωρίμανσης, όπως η δράση, η ένταση και η διάρκεια της νεκρικής ακαμψίας, διαφέρει από είδος σε είδος. Η γεύση του μαγειρεμένου γάδου, για παράδειγμα, έχει τα εντονότερα εσωτερικά χαρακτηριστικά μετά από δύο ημέρες σε πάγο. Πολλά λιπαρά είδη, όπως ο σολομός, ή η ωκεάνια πέρκα, βελτιώνουν κατά πολύ τη γεύση και την υφή κατά τις πρώτες δύο έως τέσσερις ημέρες σε πάγο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανακατανομή του λίπους και την ανάπτυξη των συστατικών γεύσης, όπως τα αμινοξέα, τα IMP και τα σάκχαρα, που παράγονται από τις αυτολυτικές διεργασίες που προκύπτουν στους μυς μετά -ακαμψίας.

Κατά την αποθήκευση, η δράση των ενδογενών ενζύμων στο μεταθανάτιο ιστό συνεισφέρει σε γευστικές μεταβολές. Η ταχεία οξειδωση μεγάλων ποσοτήτων ακόρεστων λιπαρών στα ψάρια είναι μία βασική αιτία για αλλαγές στην οσμή, τη γεύση, το χρώμα, την υφή και τη διατροφική αξία. Η ενζυμική καθώς και η μη ενζυμική οξειδωση των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στους μυς των ψαριών παράγουν μία ποικιλία καρβονυλίων, αλκοολών και άλλων ουσιών, υπεύθυνων για αλλοιώσεις της γεύσης. Σχετικά με τα συστατικά της οξειδωσης των λιπιδίων, ο

σχηματισμός ορισμένων πτητικών ενώσεων εξαιτίας της μικροβιακής δράσης οδηγεί σε σημαντική απώλεια της γευστικότητας των φρέσκων ψαριών. Στην περίπτωση των ελασμοβράγχων (elasmobranchs), όπως οι καρχαρίες και τα σαλάχια, παράγεται αμμωνία από τη δράση του ενδογενούς ενζύμου ουρεάση στην ουρία, η οποία επηρεάζει τη γεύση. Παρομοίως, ο ταχύς σχηματισμός αμμωνίας στη γαρίδα σχετίζεται με τη δραστηριότητα της αδενοσίνης διαμινάση (deaminase) σε νουκλεοτίδια, το σχηματισμό ουρίας καταλυόμενη από αργινάση και τη μετατροπή της σε αμμωνία. (Venugopal 2006 (α))

3.2.6 Αλλαγές στην υφή

Η υφή αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική ποιοτική παράμετρο στα μυϊκά τρόφιμα, στα οποία συμπεριλαμβάνονται και τα ψάρια. Γενικά, τα ψάρια είναι πιο μαλακά από το κόκκινο κρέας, χάρη στο χαμηλό περιεχόμενο συνδετικού ιστού και το χαμηλότερο βαθμό διασύνδεσης (cross-linking). Ωστόσο, οι μύες των ψαριών περιέχουν ορισμένες πρωτεάσες, συμπεριλαμβανόμενων των καθεψινών (L και D), της τρυψίνης, της χυμοτρυψίνης και πεπτιδάσες οι οποίες δρουν σε αυτούς κατά την αποθήκευση μετά –θάνατον. Οι αλλαγές στους μύς, ως αποτέλεσμα αυτών των αυτολυτικών αντιδράσεων, μπορεί να παρέχουν ευνοϊκές συνθήκες για τον πολλαπλασιασμό των βακτηρίων και την εισβολή στους μύς μικροοργανισμών που βρίσκονται στα έντερα.

Η τρυφεροποίηση ή μαλάκωμα της σάρκας σχετίζεται με την εξάλειψη των Z-disks στα μυϊκά κύτταρα με την απελευθέρωση της α -ακτινίνης, τη διάσταση του σύμπλοκου ακτομυοσίνης, την καταστροφή, και γενικά τη μετουσίωση του συνδετικού ιστού. Η πρωτεολυτική χώνευση, καταλυόμενη από τις μυϊκές πρωτεάσες, του σαρκυλλήματος, που συνδέει τις κύριες δομικές μονάδες μαζί, είναι ένας βασικός λόγος για το μαλάκωμα της σάρκας. Συχνά, η ακατάλληλη διαχείριση μπορεί να βλάψει τις κυτταρικές δομές και να οδηγήσει στην απελευθέρωση των πρωτεασών, ενισχύοντας έτσι το βαθμό φθοράς.

Το μαλάκωμα των ιστών των κεφαλόποδων κατά την αποθήκευσή τους αποτελεί βασικό πρόβλημα. Η αλλοίωση των κεφαλόποδων οφείλεται κυρίως στην αυτόλυση μέσω πρωτεολυτικών ενζύμων. Η παρουσία της πρωτεΐνάσης καθεψίνη D, λυσοσωμικής προέλευσης, μπορεί να διαδραματίσει ζωτικό ρόλο στον υποβιβασμό του μανδύα του καλαμαριού. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση στα επίπεδα του παραγόμενου αζώτου στους μυς, ευνοώντας τον πολλαπλασιασμό καταστρεπτικής μικροχλωρίδας και την επαγόμενη μείωση της διάρκειας ζωής.

Επίσης, έχει βρεθεί ότι οι κολλαγενάσες εμπλέκονται στην ανάπτυξη πολτώδους υφής σε γαρίδες/καραβίδες αποθηκευμένες σε πάγο. Ως αποτέλεσμα της πρωτεόλυσης κατά την αποθήκευση, η ισχύς του πήγματος (δύναμη συμπίεσης) του κόκκινου μπακαλιάρου (*Urophycis chuss*) μειώθηκε στο 46%, αφού είχε αποθηκευθεί σε πάγο για 3 ημέρες, και στο 63% όταν αποθηκεύτηκε σε παγωμένο θαλασσινό νερό. Κατά την αποθήκευση σε πάγο του ψαριού threadfin bream για διάστημα μέχρι 6 ημερών, αναφέρθηκε σημαντική μείωση στη δύναμη θραύσης του κιμά του. Οι αλλαγές αυτές μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του surimi που παρασκευάζεται από τα ψάρια αυτά. Παρομοίως, έχει παρατηρηθεί μείωση στη δύναμη θραύσης και παραμόρφωση του σουρίμι παρασκευασμένου από το είδος big eye snapper που αποθηκεύτηκε σε πάγο.

Η υποβάθμιση της υφής των θαλασσινών λαμβάνει χώρα, ουσιαστικά, στην περίπτωση του μυ του πλοκαμιού του χταποδιού, κατά το πρώιμο στάδιο της αποθήκευσης υπό κατάψυξη, ως αποτέλεσμα της αυτόλυσης της βαριάς αλύσου της μυοσίνης και της παραμυοσίνης. Επομένως, πρέπει να δίνεται προσοχή στον έλεγχο της απώλειας της ποιότητας του χταποδιού κατά την επεξεργασία, ώστε να διασφαλιστεί η λειτουργικότητα της μυοσίνης. Η πρωτεόλυση μπορεί επίσης να επηρεάσει αντίστροφα την ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) των μυών των ψαριών κατά την αποθήκευση. Οι φρέσκοι μυς μπορούν να συγκρατήσουν το νερό, μία λειτουργικότητα η οποία χρήζει ιδιαίτερης σημασίας για τη βιομηχανία και για τους καταναλωτές. (Venugopal 2006 (α))

3.2.7 Αποχρωματισμός

Ένα άλλο πρόβλημα ποιότητας που αντιμετωπίζει η βιομηχανία θαλασσινών είναι ο αποχρωματισμός των προϊόντων. Το κοκκινωπό/ροζ χρώμα του δέρματος των περισσότερων ψαριών ξεθωριάζει κατά την αποθήκευση υπό ψύξη ή κατάψυξη, εξαιτίας της οξείδωσης των καροτενοειδών χρωστικών. Το εύρος της απώλειας του χρώματος εξαρτάται από το ψάρι, τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου και τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Το χρώμα αποτελεί μία πολύ σημαντική ποιοτική παράμετρο των σολομοειδών (salmonid). Η σάρκα του άγριου σολομού και της πέστροφας είναι συνήθως κοκκινωπή εξαιτίας της παρουσίας καροτενοειδών χρωστικών. Το ξεθώριασμα του καροτενοειδούς χρώματος μπορεί να συμβεί εξαιτίας:

- 1) της αυτοοξείδωσης των συζευγμένων διπλών δεσμών,
- 2) των ελεύθερων ριζών που απελευθερώνονται κατά την οξείδωση των λιπών, οι οποίες συνδυάζονται με τα καροτενοειδή και σχηματίζουν λιπαρά υδροϋπεροξειδία και
- 3) της ενζυμικής δραστηριότητας.

Η δράση των ενζύμων που εμπλέκονται στην οξείδωση των καροτενοειδών επηρεάζεται από τα υπεροξειδία του υδρογόνου και τα αλογονίδια, κυρίως τα βρωμίδια και τα ιωδίδια. Το ξάσπρισμα του β-καροτενίου μπορεί να οφείλεται σε κάποιον από τους τρεις αυτούς μηχανισμούς. Η οξείδωση των μυογλοβινών στους μυς είναι μία ακόμα αιτία για τη χρωματική αλλαγή στα ψάρια. Η οξείδωση της λαμπερής κόκκινης μυογλοβίνης σε καφετιά μεταμυογλοβίνη μπορεί να προκύψει μέσω τόσο μη ενζυμικής όσο και ενζυμικής οδού. Ένα ένζυμο, η ρεδουκτάση μεταμυογλοβίνης, έχει απομονωθεί από τους σκελετικούς μυς δελφινιού και ερυθρού τόνου. (Venugopal 2006 (α))

3.2.7 Μελάνωση

Η ανάπτυξη μαύρων κηλίδων ή μελάνωση είναι ένα πρόβλημα που βρίσκεται στα περισσότερα εμπορικά είδη γαρίδας, αστακού και άλλων καρκινοειδών, το οποίο μπορεί να έχει αντίκτυπο στην εμπορική αξία και την καταναλωτική αποδοχή του προϊόντος. Η μελάνωση προκαλείται από ένα βιοχημικό μηχανισμό με τον οποίο οι φαινόλες οξειδώνονται σε κινόνες με τη βοήθεια του ενζύμου πολυφαινόλική οξειδάση (PPO). Οι κινόνες είναι ιδιαίτερα δραστικές και υφίστανται μη ενζυμική οξείδωση και πολυμερισμό, δημιουργώντας σκούρες χρωστικές υψηλού μοριακού βάρους. Η PPO βρίσκεται στη ζυμογόνο (zymogen) μορφή του εξωσκελετού, κυρίως στο κέλυφος του κεφαλοθώρακα των καρκινοειδών. Το ζυμογόνο μετατρέπεται σε ενεργό ένζυμο με τη δράση μίας σερινικής πρωτεάσης που διαθέτει ενεργότητα παρόμοια με αυτή της τρυψίνης. Το ζυμογόνο μπορεί επίσης να ενεργοποιηθεί από μη φυσιολογικούς παράγοντες, όπως απορρυπαντικά, οργανικούς διαλύτες, ακτινοβολία γάμμα και θερμότητα ή από ανοσολογική απόκριση σε μικροβιακή μόλυνση. Το ένζυμο παραμένει ενεργό κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη και τη μετέπειτα απόψυξη του καρκινοειδούς. Η εμφάνιση του φρέσκου οστρακοειδούς σε υδατικό διάλυμα διθειώδους νατρίου (sodium bisulfate) έχει κατορθώσει να περιορίσει το σκούρο αποχρωματισμό στο κέλυφος γαρίδας. Βύθιση για 1 min σε 1,25% διάλυμα του προαναφερθέντος χημικού εφαρμόζεται γενικά, δίνοντας κατά μέσο όρο 80 ppm διθειώδους στο βρώσιμο προϊόν. Η ψύξη στη συνέχεια του οστρακοειδούς μπορεί να οδηγήσει σε ελάττωση του θειώδους περιεχομένου μέχρι και 17%, ενώ η κατάψυξη για 6 ημέρες μπορεί να μειώσει το περιεχόμενο σε λιγότερο από 10 ppm. Πρόσφατα, η ασφάλεια των θειωδών παραγόντων έχει αμφισβητηθεί από την κλινική βιβλιογραφία- και ομάδες καταναλωτών. Η United States Federal Regulation δηλώνει ότι τα διθειώδη υπολείμματα άνω των 10 ppm πρέπει να αναγράφονται για να δηλώνουν την παρουσία της ουσίας, εφόσον η υπερβολική ποσότητα μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικές διαταραχές στους καταναλωτές. Πειραματικές δοκιμές έχουν αποδείξει ότι, αντί για θειώδη, μία άλλη ένωση, η 4-εξυλο-ρεσορκινόλη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποτελεσματικός αναστολέας του σχηματισμού μαύρων κηλίδων στη γαρίδα. (Venugopal 2006 (α))

3.2.8 Άλλες μεταβολές

Η αποθήκευση σε πάγο έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί σε αλλαγές στη δραστηριότητα της αδενοσινικής τριφωσφατάσης (ATPase) στην τσιπούρα. Το ολικό σουλφυδρικό περιεχόμενο ακτομυοσίνης του ψαριού αυξήθηκε μετά από 3 ημέρες κατάψυξης και στη συνέχεια μειώθηκε. Η επιφανειακή υδροφοβικότητα αυξήθηκε σταδιακά εντός 6 ημερών. Παράλληλα παρατηρήθηκε πρωτεϊνική απώλεια. Μία παρόμοια μείωση αναφέρθηκε στη δραστηριότητα της ATPάσης του big eye snapper κατά την κατάψυξή του. Η εκχυλισσιμότητα της φυσικής ακτομυοσίνης (NAM) σε φιλέτα σολομού του Ατλαντικού αυξήθηκε στις πρώτες 2-3 ημέρες αποθήκευσης στους 0 και στους 4 °C. Η ικανότητα συγκράτησης νερού των μυών και το φαινόμενο ιξώδες της NAM μειώθηκε σε αυτό το διάστημα. Ωστόσο, οι παράμετροι αυτές αυξήθηκαν κατά την περαιτέρω αποθήκευση. Το δραστικό σουλφυδρικό περιεχόμενο (Reactive sulfhydryl content) και η επιφανειακή υδροφοβικότητα ήταν στο χαμηλότερο βαθμό μετά από 3 ημέρες, ενώ το δισουλφιδικό περιεχόμενο ήταν υψηλότερο στις 2 και στις 14 ημέρες αποθήκευσης. Το ιξώδες, η υδροφοβικότητα και το σουλφυδρικό περιεχόμενο ήταν, γενικά, χαμηλότερα στα φιλέτα που αποθηκεύτηκαν στους 0° από αυτά στους 4 °C. Στην περίπτωση του κρέατος καρχαρία, η κατάψυξη σε χρονικό διάστημα 12 ημερών μείωσε το συνολικό άζωτο από 4.27 σε 3.9 %, ενώ το μη πρωτεϊνικό άζωτο μειώθηκε οριακά. Οι δυναμικές ιξωδοελαστικές μετρήσεις έδειξαν ότι οι καρχαρίες έχουν την εξαιρετική ικανότητα να σχηματίζουν πηκτές οι οποίες μειώθηκαν επιφανειακά κατά την κατάψυξη, αντίθετα με τις περιπτώσεις ορισμένων άλλων ειδών ψαριών. (Venugopal 2006 (α))

3.3 Επεξεργασία των θαλασσινών μετά την αλίευση

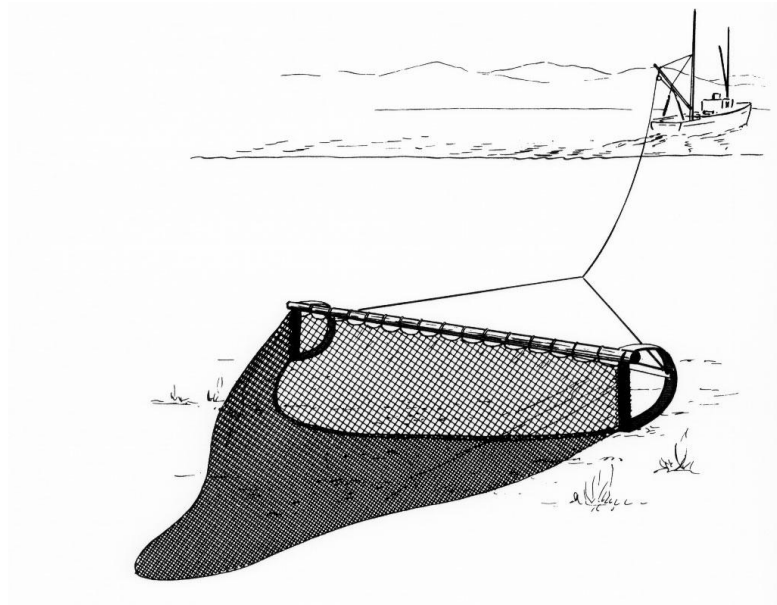
Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο αυτό, μετά την αλίευση και το θάνατο των ψαριών λαμβάνει χώρα πλήθος αλλοιώσεων και μεταβολών, με αρνητικές επιδράσεις στη διατηρησιμότητα και την ποιότητά τους. Προκειμένου να αξιοποιείται πλήρως η συλλεγόμενη συγκομιδή θαλασσινών, καθίσταται απαραίτητο η επεξεργασία της αμέσως μετά την αλίευση να διεξάγεται με άριστες τεχνικές, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες και να επιτυγχάνεται η ποιοτική μεταφορά της στις εγκαταστάσεις εμπορικής επεξεργασίας. Οι πρόχειρες και πρωτόγονες μέθοδοι αλίευσης και επεξεργασίας που εφαρμόζονται ακόμα και σήμερα σε ορισμένα μέρη του κόσμου αποτελούν πρωταρχικές αιτίες της ποιοτικής υποβάθμισης της συγκομιδής των ψαριών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη φύση και την αποτελεσματικότητα της επί τόπου επεξεργασίας. (Venugopal 2006 (β))

3.3.1 Αλιευτικά μέσα

3.3.1.1 Δίχτυα (*Fishing nets*)

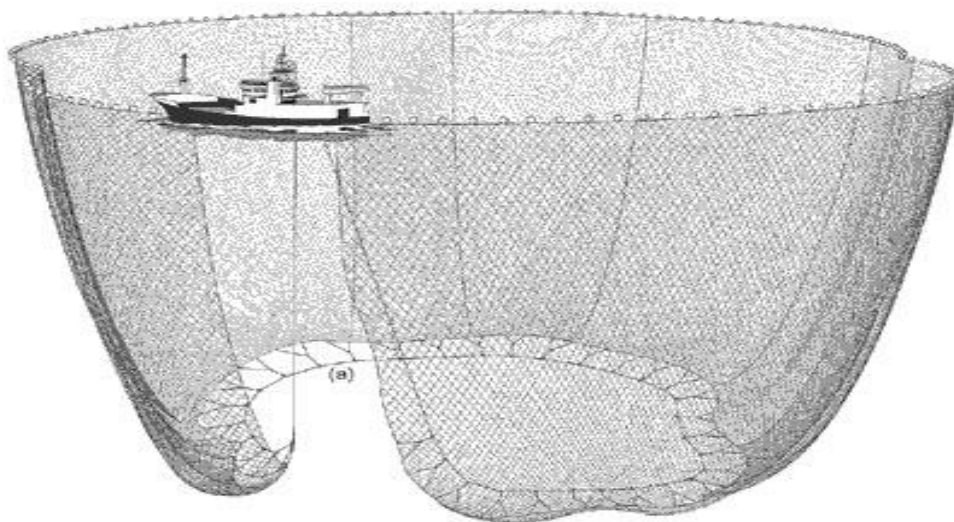
Η αλίευση με δίχτυα αποτελεί τον κυρίαρχο τρόπο αλίευσης παγκοσμίως. Πρόκειται για ειδικά πλέγματα, κατασκευασμένα από βαμβακερά, νάυλον ή μεταξωτά νήματα, που μπορούν να συλλάβουν μεγάλες ποσότητες ψαριών. Υπάρχουν διάφορα είδη δικτυών, που διαφέρουν τόσο στην κατασκευή όσο και στον τρόπο χρήσης τους.

Τα **συρόμενα στο βυθό δίχτυα** (*dragged gear*) είναι δίχτυα που σύρονται στο βυθό με μηχανοκίνητα σκάφη, τις μηχανότρατες. Η κατασκευή τους είναι αρκετά ισχυρή, ενώ μερικές φορές κατασκευάζονται από σύρμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τράτα βυθού (*bottom trawl*), η οποία ρυμουλκείται από δύο σκάφη, καθένα από τα οποία την τραβά από την πλευρά του. (Παπαναστασίου 1990 (β))



Εικόνα 3.1 Δίκτυα βυθού

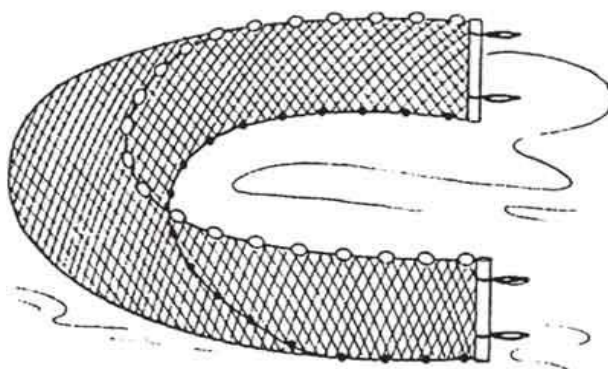
Τα **κυκλικά δίκτυα** (surrounding nets) είναι δίκτυα που κυκλώνουν τα μεγάλα κοπάδια ψαριών και τα συλλέγουν μαζικά. Χρησιμοποιούνται κυρίως για το ψάρεμα μεταναστευτικών (παλαμίδες, σκουμπριά, κολιοί) και ψευδομεταναστευτικών (σαρδέλα, γαύρος, ρέγκα, σαφρίδι) ειδών ψαριών. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**



Εικόνα 3.2 Κυκλικά δίκτυα

Τα **εκτοξευόμενα δίχτυα ή δίχτυα ρίψης** (falling nets) είναι δίχτυα που ρίχνονται στη θάλασσα με το χέρι και ανασύρονται σχεδόν αμέσως, σχηματίζοντας ένα είδος ‘σακούλας’ όπου παγιδεύονται τα ψάρια. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**

Οι **γρίπποι ή τράτες** (seine nets) είναι αλιευτικά εργαλεία που αποτελούνται από παράλληλα δίχτυα (μπάντες), στα οποία εφαρμόζεται ένα άλλο δίχτυ σε σχήμα σακούλας. Τα διχτυωτά φτερά, προκειμένου να μένουν όρθια στο νερό, τεντώνονται με δύο σχοινιά, από τα οποία αυτό που είναι βυθισμένο στον πάτο φέρει κομμάτια φελλού (φελλούκες), ενώ στις άκρες των φτερών τοποθετούνται δύο κομμάτια ξύλου (σταλίκια) απ’ όπου δένονται τα σχοινιά που τραβούν το γρίππο. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**



Εικόνα 3.3 Τράτα βυθού (seine nets)

Η αλίευση με δίχτυα, παρά τη συμβολή της στη μαζική αλίευση ψαριών, παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα όσον αφορά την ποιότητα της συγκομιδής. Με το απότομο ξεφόρτωμα των διχτυών στο κατάστρωμα, τα ψάρια τρίβονται μεταξύ τους και η σάρκα τους καταπονείται σε μεγάλο βαθμό. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των συρόμενων διχτυών, συχνά συμπαρασύρονται τραχιά αντικείμενα, όπως πέτρες ή αστερίες, τα οποία επιδεινώνουν την καταπόνηση των ψαριών. Παράλληλα, η διαχείριση μίας αρκετά μεγάλης ποσότητας ψαριών από το πλήρωμα αποτελεί ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, με αποτέλεσμα, συνήθως ένα σημαντικό τμήμα της

συγκομιδής να αλλοιώνεται, όπως στην περίπτωση του σκουμπριού. **(Regenstein J.M. and Regenstein C.E. 1991 (α))**

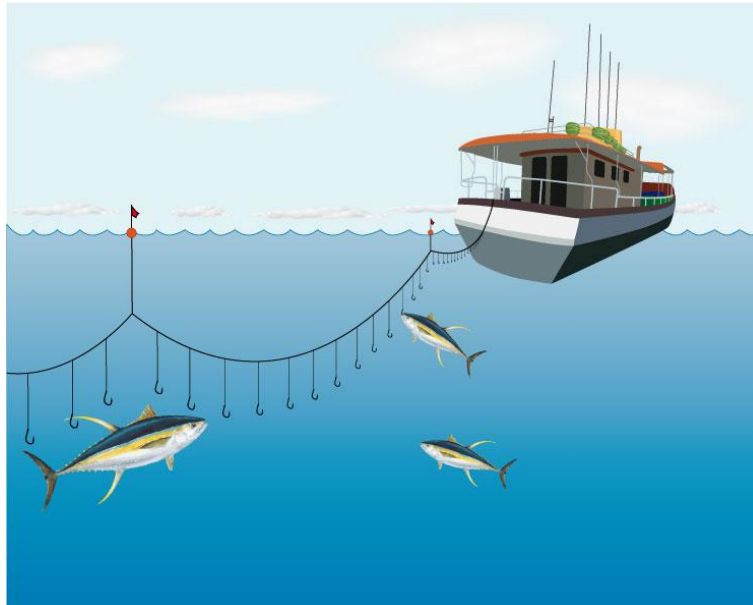
3.3.1.2 Αγκίστρι (fish hook)

Είναι ένα μικρό αλιευτικό εργαλείο αποτελούμενο από ένα μικρό κυρτό γάντζο από ατσάλι, ο οποίος καταλήγει σε μία μυτερή άκρη, που εξασφαλίζει το αγκίστρωμα του ψαριού. Το αγκίστρι χρησιμοποιείται σε μεγάλη ποικιλία αλιευτικών εργαλείων ορισμένα από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**

Το **καλαμίδι** (fishing line) είναι ένα αλιευτικό εργαλείο, αποτελούμενο από ένα μακρύ καλάμι ελαφριάς και ελαστικής ύλης (π.χ. μπαμπού) από την άκρη του οποίου κρέμεται το νήμα, στο οποίο είναι συνδεδεμένα πολλά αγκίστρια. Τα σύγχρονα καλαμίδια αποτελούνται από πολλά κομμάτια, τα οποία επιτρέπουν τη μεταβολή του μήκους του. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**

Η **πετονιά** (hand line) αποτελεί ένα από τα πιο απλά αλιευτικά εργαλεία. Ουσιαστικά αποτελείται από ένα αρκετά ανθεκτικό νήμα δεμένο στην άκρη ενός χοντρού αγκιστριού και χρησιμοποιείται κυρίως για την αλίευση πετρόψαρων. Πολλές φορές, με τον όρο πετονιά εννοούνται όλα τα αλιευτικά εργαλεία που περιλαμβάνουν αγκίστρι. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**

Το **παραγάδι** (long line) είναι ένα αλιευτικό εργαλείο αποτελούμενο από ένα μακρύ βαμβακερό νήμα (μάννα), πάνω στο οποίο δένονται μικρότερα νήματα (παράμαλα), τα οποία φέρουν αγκίστρια με δολώματα, συνήθως ζωντανά. Τα παραγάδια διακρίνονται σε: τρίχινα, ψιλά, σκαθαρωτά ή χοντρά. Άλλες κατηγορίες αποτελούν τα **σκυλοπαραγάδα** με συρμάτινα παράμαλα και πολύ χοντρά αγκίστρια, τα οποία χρησιμοποιούνται για το ψάρεμα μεγάλων ψαριών και τα **αφροπαραγάδα**, στη μάννα των οποίων δένονται φελλοί για την επίπλευσή τους. Τα παραγάδια χρησιμοποιούνται κυρίως για την αλίευση ψαριών μεγάλης εμπορικής αξίας. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**



Εικόνα 5.4 Αλίευση με παραγάδι

3.3.1.3 Καμάκι (harpoon)

Πρόκειται για ένα ασφάλινο αλιευτικό εργαλείο σαν πιρούνι με μυτερές άκρες, οι οποίες διαθέτουν κυρτές εξοχές, όπως το αγκίστρι, για να μην ξεφεύγει το ψάρι που καρφώνεται, και είναι τοποθετημένο πάνω σε ένα κοντάρι. Χρησιμοποιείται κυρίως στην παράκτια αλιεία για το ψάρεμα χταποδιών, καβουριών, κητών, ψαριών και άλλων θαλασσιών. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**

Τα διάφορα είδη καμακιών διαφέρουν από τον αριθμό και το μήκος των βελονιών τους, ανάλογα με το είδος θαλασσιού που πρόκειται να αλιευτεί. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι **δελφινιέρες**, που χρησιμοποιούνται για την αλίευση κητών και οι **κατσάρες**, που χρησιμοποιούνται για την αλίευση σφουγγαριών. Στα είδη καμακιού εντάσσεται και το ψαροντούφεκο, το οποίο είναι ένα μικρότερο καμάκι που εκτοξεύεται μέσω ελατηρίου με τη χρήση όπλου με σκανδάλη. Το καμάκι είναι δεμένο στην άκρη με σχοινί, ώστε να είναι εύκολη η επαναφορά του. **(Παπαναστασίου 1990 (β))**

3.3.2 Τόπος διεξαγωγής αλίευσης

3.3.2.1 Παράκτια αλιεία (*coastal fishery*)

Διεξάγεται είτε από την ξηρά είτε με μικρά αλιευτικά σκάφη. Με εξαίρεση τα διάφορα αφρόψαρα (σαρδέλες, γαύροι, σαφρίδια, σκουμπριά, παλαμίδες κ.α.), όλα τα άλλα είδη που ψαρεύονται από την παράκτια αλιεία είναι είτε αλιεύματα που ζουν στο βυθό, είτε είδη που κάνουν μικρές μόνο μετακινήσεις από τους τόπους που μόνιμα ζουν. **(Παπαναστασίου 1990 (γ))**

Η παράκτια αλιεία έχει συνήθως μικρή διάρκεια, από μία έως δύο ημέρες το πολύ, οπότε και η συγκομιδή θα είναι, κατά κανόνα, καλής ποιότητας, εκτός εάν υποστεί ακατάλληλη επεξεργασία. Κατά την αποβίβαση, το ποσοστό της συγκομιδής αποτελείται από ποικιλία ειδών, τα οποία βρίσκονται σε μία φάση ακαμψίας. Η διαχείριση στην οποία υποβάλλεται περιλαμβάνει τη φύλαξη των ψαριών μακριά από τον ήλιο, ώστε να διατηρηθεί η υγρασία. Ακολουθεί διαχωρισμός των ειδών λόγω της ποικιλίας τους. Τα είδη υψηλότερης αξίας ξεπλένονται και αποθηκεύονται σε δοχεία με πάγο για καλύτερη διατήρηση της ποιότητάς τους. Σε περίπτωση αυξημένης διάρκειας της διαδικασίας αλίευσης, τα ψάρια παραμένουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 12-18 h, γεγονός που μπορεί να ελαττώσει σημαντικά την επιθυμητή διάρκεια ζωής τους, εκτός εάν χρησιμοποιηθούν προχωρημένες μέθοδοι διαχείρισης. Στις αναπτυγμένες χώρες εφαρμόζεται η ψύξη τους σε μονωμένα δοχεία, τεχνική που δεν εφαρμόζεται στις αναπτυσσόμενες για οικονομικούς λόγους. **(Venugopal 2006 (β))**

3.3.2.2. Μέση αλιεία (*middle water fishery*)

Η μέση αλιεία διεξάγεται με μετρίου μεγέθους αλιευτικά πλοία (μηχανότρατες), τα οποία επιτρέπουν την αλίευση υπό ποικίλες καιρικές συνθήκες, και μπορεί να διαρκέσει περισσότερο από μία εβδομάδα. Κύριο στόχο αποτελούν τα ψάρια βυθού (βενθικά είδη), όπως μπακαλιάροι, σαλάχια και γλωσσοειδή, καθώς και πελαγικά είδη, όπως η ρέγκα και ο σολομός. Το συγκεκριμένο είδος αλιείας διεξάγεται σε περιοχές όπως η Μεσόγειος και καταλαμβάνει την πρώτη θέση από άποψη

παραγωγής, διαθέσιμων μέσων και οικονομικής σημασίας, καθώς εξασφαλίζει περίπου το 60 % της παγκόσμιας αλιευτικής παραγωγής. (Παπαναστασίου 1990 (γ))

3.3.2.3 Μεγάλη (πελαγική) αλιεία (*deep water fishery*)

Διεξάγεται με μεγάλα αλιευτικά σκάφη σε θάλασσες και αλιευτικά πεδία που βρίσκονται μακριά από τη χώρα από την οποία ξεκινούν. Ως αλιευτικά μέσα χρησιμοποιούνται κυρίως γρι γρι (κυκλικά δίχτυα) για τη συλλογή μεγάλης ποσότητας ψαριών. Για την αλίευση ειδών υψηλής αξίας όπως ο τόνος χρησιμοποιούνται καλάμια ψαρέματος και πετονιές. Τα πλοία είναι πλήρως εξοπλισμένα, ώστε να διεξάγονται διάφορες διεργασίες συντήρησης, όπως ψύξη, κατάψυξη, ανάκτηση κρέατος, ακόμα και δημιουργία *surimi*. Οι σύγχρονες εμπορικές λειτουργίες αλίευσης στοχεύουν στη συλλογή επίλεκτων, σημαντικών ειδών, σε ποσότητες επιτρεπτές από τις ρυθμιστικές αρχές, στη μείωση των ανεπιθύμητων ειδών με κατάλληλες συσκευές και στην ταχεία διαχείριση της συγκομιδής, φροντίζοντας να βελτιώνεται κατά το δυνατό περισσότερο η ποιότητα της πρώτης ύλης. (Venugopal 2006 (β), Παπαναστασίου 1990 (γ))

3.3.2 Σύνθεση της συγκομιδής

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκομιδή αποτελείται από πελαγικά και βενθικά είδη, ανάλογα με τη μέθοδο αλίευσης. Η συλλογή σε μεγάλες ποσότητες μικρών πελαγικών ψαριών, όπως το capelin (*Mallotus villosus*), το anchoveta (*Engraulis* spp.), το sprat (*Sprattus sprattus*), η ρέγκα (*Clupea harengus*), οι σαρδέλες (*Sardinella* spp.), το σκουμπρί και ορισμένα άλλα είδη, γίνεται, κυρίως, με δίχτυα. Τα ψάρια αυτά είναι επιρρεπή στον ταγγισμό και την απώλεια ποιότητας, σε περίπτωση που έχουν τραφεί αρκετά προ αλίευσης. Προβλήματα ταγγισμού μπορεί να προκύψουν και κατά την έκθεση του ψαριού στον αέρα κατά την επεξεργασία και αποθήκευση, ιδιαίτερα στην περίπτωση που το ταξίδι διαρκέσει περισσότερο. Επίσης, η μαζική αποθήκευση των ψαριών στο πλοίο μπορεί να επιφέρει αναερόβιες συνθήκες με τη συσσώρευση αμμωνίας, υδρόθειου και άλλων ενώσεων. Οι ποιοτικές

αυτές υποβαθμίσεις έχουν αρνητική επίδραση στην ακόλουθη επεξεργασία των ψαριών. **(Venugopal 2006 (β))**

Τα περισσότερα πελαγικά είδη έχουν χαμηλή εμπορική αξία, λόγω μη ελκυστικού σχήματος και γεύσης, μικρού μεγέθους, ύπαρξης μικροσκοπικών οστών, υψηλού λιπαρού περιεχομένου και ευαισθησίας στον ταγγισμό, γι' αυτό και, συνήθως, τους δίνεται μικρότερη προσοχή και υποβάλλονται σε πιο πρόχειρη επεξεργασία. Επιπλέον, παρουσιάζεται συχνά το πρόβλημα της υπερεκμετάλλευσης ορισμένων ειδών, επειδή αποτελούν μεγάλο ποσοστό της συγκομιδής. Ωστόσο, επειδή ορισμένα υποχρησιμοποιούμενα είδη μπορούν να αποτελέσουν ικανοποιητικές πηγές πρωτεϊνών και θρεπτικών συστατικών, είναι καλό να μελετάται η σύνθεσή τους, η βιολογία τους και η ζήτησή τους στην αγορά, ώστε να λαμβάνουν και αυτά την αρμόζουσα επεξεργασία. **(Venugopal 2006 (β))**

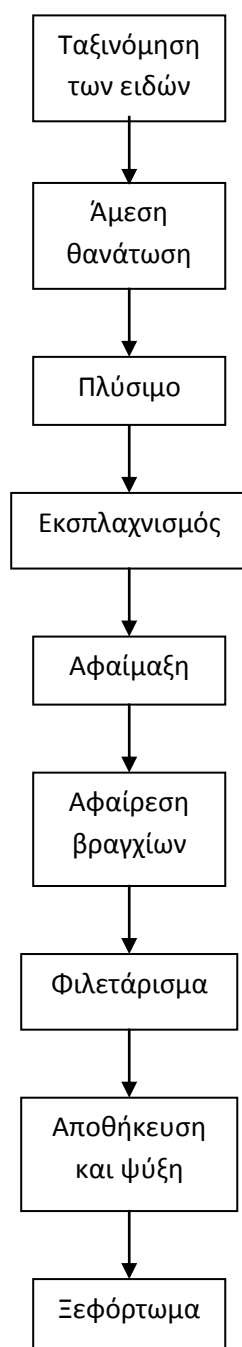
3.3.3 Ποιοτικές αλλαγές της συγκομιδής

Η αποδοχή του καταναλωτή για την αγορά ενός ψαριού καθορίζεται, κυρίως, από τη φρεσκάδα του προϊόντος, από την εμφάνιση και την οσμή και, στην περίπτωση των επεξεργασμένων προϊόντων, από την υφή και τη γεύση. Έχει αποδειχτεί ότι η εποχή καθώς και οι τεχνικές αλίευσης επηρεάζουν την ποιότητα των προϊόντων και τη φύση της μετέπειτα διαχείρισής τους. Οργανοληπτικές αναλύσεις έχουν δείξει ότι η μέθοδος αλίευσης και η εποχή επηρέασαν σημαντικά το χρώμα καθώς και το pH των μυών, καθώς και την υφή τους κατά το μαγείρεμα. Η θερμοκρασία του νερού της θάλασσας μπορεί να επηρεάσει την πρωτεϊνική σύνθεση των μυών. Σε θερμοκρασίες από 0 έως -2 °C το περιεχόμενο των εκχυλίσμων πρωτεϊνών ήταν κατά 50 % υψηλότερο απ' ό,τι σε ψάρια που συλλέχθηκαν σε θερμοκρασίες από 10 έως 12 °C. Παράλληλα, ψάρια που αλιεύονται σε θερμά νερά τείνουν να διατηρούνται καλύτερα κατά την ψύξη. **(Venugopal 2006 (β))**

3.4 Διαχείριση της συγκομιδής (onboard handling)

3.4.1 Διάγραμμα ροής της «εν πλω» (onboard) διαχείρισης της συγκομιδής

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας της «εν πλω» διαχείρισης της συγκομιδής.



3.4.2 Ταξινόμηση των ειδών

Αρχικά, γίνεται ταξινόμηση των διάφορων ειδών που αλιεύονται, ώστε να διευκολύνεται η διαχείρισή τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται, συνήθως, μηχανικά γκρέιντερ τα οποία βρίσκονται επί του καταστρώματος. Ένα τυπικό παράδειγμα αποτελεί το κυλινδρικό γκρέιντερ, στο οποίο τα ψάρια περνούν κατά μήκος του κυλίνδρου, όπου τα μικρότερα πέφτουν σε μία σκάφη εξοπλισμένη με συνεχή παροχή κομματιών πάγου, ώστε να ψυχθούν. Τα μεγαλύτερα ψάρια που περνούν μέσω του περιστρεφόμενου γκρέιντερ αποτελούν ένα μίγμα διαφόρων ειδών και μεγεθών. (Venugopal 2006 (β))

3.4.3 Άμεση θανάτωση

Μετά την αλίευση, το σπαρτάρισμα των ψαριών έχει ως αποτέλεσμα, ιδιαίτερα στην περίπτωση των εμπορικά σημαντικών ειδών, να εξαντλούνται τα αποθέματα φωσφόρου και γλυκογόνου τους, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται σημαντικά η ποιότητα μετά την επεξεργασία. Όσο περισσότερο διαρκεί το σπαρτάρισμα, τόσο γρηγορότερα μειώνεται το pH μετά θάνατον, όπου τιμές pH περίπου στο 6 ενθαρρύνουν την μετουσίωση των πρωτεϊνών των μυών κατά την κατάψυξη. Στα μεγαλύτερα είδη ψαριών είναι δυνατό να μειωθεί το σπαρτάρισμα μέσω άμεσης θανάτωσής τους, συνήθως διαπερνώντας τον εγκέφαλό τους με μυτερό αντικείμενο. Έχει αποδειχθεί ότι με την τεχνική αυτή παραλαμβάνονται βελτιωμένα προϊόντα υψηλότερης αξίας, όπως στην περίπτωση του New Zealand snapper. Παράλληλα, η εφαρμογή αναισθησίας και η συντηρητική διαχείριση μπορεί να ελαττώσει το σπαρτάρισμα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του σολομού. (Venugopal 2006 (β))

3.4.4 Πλύσιμο

Κατά την αλίευση, απαιτείται καλό πλύσιμο των ψαριών με άφθονο νερό πριν την ψύξη, ώστε να απομακρύνονται οι ξένες ύλες και οι ακαθαρσίες, καθώς και τα μικρόβια που μπορεί να περιέχουν. Ιδιαίτερα αποτελεσματικό είναι το πλύσιμο στην

περίπτωση ψαριών που αλιεύονται από το βυθό με δίχτυα, καθώς ανασύρονται διαφόρων ειδών ρύποι από το βυθό και αναμιγνύονται με τη συγκομιδή. Παράλληλα, το πλύσιμο απαιτείται και για την απομάκρυνση της βλέννας των ψαριών, η οποία σχηματίζει ένα ζελατινώδες θρεπτικό μέσο που ευνοεί την ανάπτυξη βακτηρίων και αποτελεί τον κυριότερο ρύπο.

Αποτελεσματικό πλύσιμο έχει ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των ψαριών κατά 2-3 ημέρες. Ωστόσο, στην περίπτωση μικρών ψαριών, όπως οι σαρδέλες, ή ψαριών που χρησιμοποιούνται άμεσα μετά την αλίευση, το πλύσιμο δεν μπορεί να εφαρμοστεί, διότι μαλακώνει τη σάρκα τους και απομακρύνει τα λέπια. **(Παπαναστασίου 1990 (δ))**

3.4.5 Εκσπλαχνισμός

Έχει αποδειχθεί ότι κύρια πηγή μόλυνσης των αλιευμένων θαλασσινών αποτελεί το πεπτικό τους σύστημα, διότι μεγάλος αριθμός βακτηρίων μεταβαίνει από τα έντερα στους μυς και, σε μικρότερο βαθμό, στο δέρμα. Συνεπώς, η αφαίρεση των σπλάχνων συνεισφέρει στην αύξηση της διάρκειας ζωής των ψαριών. Παράλληλα, συμβάλλει στην αφαίρεση ενζύμων χώνευσης, υπεύθυνων για πρόωρες αυτολυτικές μεταβολές, ενώσεων που προκαλούν ανεπιθύμητες οσμές, ενώ αποτρέπει την είσοδο νηματοειδών από τα έντερα στους μυϊκούς ιστούς. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση των παχέων -λιπαρών ψαριών, η αφαίρεση των σπλάχνων επιταχύνει την οξείδωση των λιπιδίων που λαμβάνει χώρα μετα -θάνατον, καθώς εισέρχεται αέρας στην κοιλιακή περιοχή. **(Παπαναστασίου 1990 (δ))**

Γενικά ο εκσπλαχνισμός μπορεί να επιμηκύνει το χρόνο διατήρησης των ψαριών από 2 έως 5 ημέρες, γι' αυτό και στις περισσότερες βορειοευρωπαϊκές χώρες, η εκσπλάχνιση των άπαχων ειδών καθίσταται υποχρεωτική. Είναι απαραίτητο να εκτελεστεί αμέσως μετά τη συλλογή των ψαριών, με το μικρότερο δυνατό χρόνο καθυστέρησης. Τα μεγαλύτερα ψάρια ταξινομούνται και εκσπλαχνίζονται με το χέρι, καθαρίζονται και ψύχονται. Η εκσπλάχνιση των ψαριών υψηλότερης αξίας μπορεί να γίνει και μηχανικά, δεδομένου ότι η συγκομιδή αποτελείται από είδη ομοιόμορφου μεγέθους. Τα οστρακοειδή, τόσο τα μύδια όσο και τα καρκινοειδή, συνήθως δεν

εκσπλαχνίζονται κατά την αλίευση, αλλά, όπου είναι δυνατό, διατηρούνται ζωντανά μέχρι να πωληθούν στους επεξεργαστές, διότι οι μύες τους φθείρονται με ταχείς ρυθμούς μετά θάνατον. **(Παπαναστασίου 1990 (δ), Venugopal 2006 (β))**

Ένα πρόβλημα που μπορεί να προκληθεί στην περίπτωση των μη εκσπλαχνισμένων ψαριών όπως η ρέγκα, το σκουμπρί και η σαρδέλα, είναι η κοιλιακή έκρηξη. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται στην περίπτωση που τα ψάρια τράφηκαν λίγο πριν την αλίευση, με αποτέλεσμα την ύπαρξη έντονης ενζυμικής δραστηριότητας στην κοιλιακή χώρα και την επακόλουθη καταπόνηση αυτής. Τα ψάρια αυτά επομένως φθείρονται γρηγορότερα, αν δεν καταψυχθούν αμέσως μετά την αλίευση. Η κοιλιακή έκρηξη των πελαγικών ψαριών μπορεί να ελεγχθεί αν το pH μειωθεί στην τιμή 5 με την προσθήκη γαλακτικού ή οξικού οξέος. **(Venugopal 2006 (β))**

3.4.6 Αφαίμαξη

Όπως τα έντερα, το αίμα των ψαριών αποτελεί εξίσου μέρος ευνοϊκό για την ανάπτυξη βακτηρίων, ιδιαίτερα στα μεγαλύτερα ψάρια, που η ποσότητα του αίματος είναι σημαντική. Συνεπώς, η αφαίμαξη συμβάλλει στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των ψαριών. Η αποτελεσματική αφαίμαξη μπορεί επίσης να διατηρήσει το επιθυμητό χρώμα της σάρκας των λευκών ψαριών και να αποτρέψει τη συσσώρευση κηλίδων (bloodstains) που προκαλούνται από τυχόν τραυματισμούς κατά την επεξεργασία. **(Παπαναστασίου 1990 (δ))**

Ένα άλλο πλεονέκτημα της αφαίμαξης είναι η αναστολή της καταλυόμενης από την αιμογλοβίνη υποβάθμισης του οξειδίου τριμεθυλαμίνης (TMAO) σε διμεθυλαμίνη (DMA) και φορμαλδεΰδη (HCHO) στα γαδοειδή ψάρια, το αίμα των οποίων περιέχει υψηλή ενζυμική δραστηριότητα του ενζύμου TMAO-ρεδουκτάση. Παράλληλα, στην περίπτωση των καρχαριών και των σκυλόψαρων, η αφαίμαξη είναι σημαντική προκειμένου να απομακρυνθεί η ουρία που περιέχεται σε μεγάλες ποσότητες στο αίμα των ψαριών αυτών, διότι μετατρέπεται σε αμμωνία και συμβάλλει στην πρωτεϊνική μετουσίωση. **(Venugopal 2006 (β))**

3.4.7 Αφαίρεση των βραγχίων

Τα βράγχια, όπως τα έντερα και το αίμα, αποτελούν βασική πηγή μόλυνσης, οπότε η αφαίρεσή τους αυξάνει τη διάρκεια ζωής των ψαριών. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα έντερα και το αίμα, τα βράγχια δεν έρχονται σε απευθείας επαφή με τους μυς, οπότε η επιμόλυνση από αυτά συμβαίνει σε πολύ μικρότερο βαθμό. Επομένως, η αφαίρεσή τους δεν επηρεάζει σημαντικά τη διατηρησιμότητα των ψαριών. **(Παπαναστασίου 1990 (δ))**

3.4.8 Φιλετάρισμα

Η απομόνωση του κρέατος από τα υπόλοιπα μέρη του ψαριού συμβάλλει θετικά στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του, ειδικά όσον αφορά τη μικροβιακή επιμόλυνση. Έτσι, είναι δυνατόν, από ένα ψάρι υψηλού βακτηριακού φορτίου να παραχθούν φιλέτα με πολύ καλή ικανότητα διατήρησης, φτωχά σε μικροβιακό φορτίο. Ωστόσο, εφόσον αφαιρείται το δέρμα, οι μυς είναι πλέον ευάλωτοι σε εξωτερική επιμόλυνση, γι' αυτό και ο χώρος και ο απαραίτητος εξοπλισμός πρέπει να είναι καταλλήλως καθαρισμένοι και διατηρημένοι. **(Παπαναστασίου 1990 (δ))** Παράλληλα, όπως έχει προαναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το φιλετάρισμα πρέπει να διεξάγεται μετά το πέρας της νεκρικής ακαμψίας, ώστε να αποφεύγεται η συστολή των φιλέτων και η υποβάθμιση της ποιότητάς τους. Κατά το φιλετάρισμα, τα ψάρια πρέπει να αφήνονται σε μία λεία επιφάνεια και να προστατεύονται από την επιφανειακή ξήρανση, όσο διαρκεί η ακαμψία. **(Venugopal 2006 (β))**

3.4.9 Αποθήκευση και ψύξη (onboard storage and chilling)

Προκειμένου να αυξηθεί η διάρκεια ζωής, είναι απαραίτητο τα ψάρια να ψύχονται αμέσως μετά την αλίευση. Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία αποθήκευσης, τόσο μειώνεται ο ρυθμός υποβάθμισης του προϊόντος. Ωστόσο, η ψύξη μεγάλης ποσότητας ψαριών μικρού μεγέθους μερικές φορές δεν είναι δυνατή. Παράλληλα, η

καθυστέρηση ψύξης μπορεί να προκαλέσει φυσική ζημιά, όπως κοιλιακή έκρηξη στην περίπτωση των ψαριών της οικογένειας Scrombridae, φαινομένου με αρνητική επίδραση στην οργανοληπτική και θρεπτική ποιότητα των ψαριών.

Όταν γίνεται διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων, είναι απαραίτητο τα ψάρια να προψύχονται πριν αποθηκευτούν, με τη χρήση πάγου, παγωμένου θαλασσινού νερού (RSW), μίγματος πάγου και θαλασσινού νερού, ψυχρής άλμης, ή ψυχρού αέρα. Συστήματα πρόψυξης χρησιμοποιούνται κυρίως στα αλιευτικά πλοία, όπου η συγκομιδή ταξινομείται πριν την αποθήκευσή τους. Η αποτελεσματικότητα της ψύξης εξαρτάται από την πυκνότητα των στοιβάδων των ψαριών και από την κατανομή του πάγου. **(Παπαναστασίου 1990 (δ), Venugopal 2006 (β))**

Τα σύγχρονα αλιευτικά πλοία είναι εξοπλισμένα με εγκαταστάσεις για αποθήκευση υπό κατάψυξη των προϊόντων. Για να ψυχθούν, τα ψάρια πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας, κατάλληλα αποκεφαλισμένα, εκσπλαχνισμένα και πλυμένα. Για τα εκλεκτότερα προϊόντα συνιστάται θερμοκρασία αποθήκευσης στους -25°C . Γι αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται καταψύκτες (blast freezers ή plate freezers). Όταν τα ψάρια καταψύχονται προ ακαμψίας, η απόψυξη μπορεί να συνοδευτεί από ακαμψία απόψυξης (thaw rigor), η οποία χαρακτηρίζεται από ταχεία και ισχυρή συστολή των μυών προκαλώντας υψηλή απώλεια υγρασίας, garing και σφιχτή υφή. **(Venugopal 2006 (β))**

Όσον αφορά την αποθήκευση, τρεις είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό αμέσως μετά την αλίευση των ψαριών: η μαζική αποθήκευση (bulking), η αποθήκευση σε σειρές-ράφια (shelving) και η αποθήκευση σε κιβώτια (boxing). Συνήθως τα ψάρια αποθηκεύονται μαζικά σε πάγο επί του πλοίου. Η μαζική στοιβάξη πρέπει να διεξάγεται σε καλά στεγνωμένες, ρηχές στρώσεις ψαριών και πάγου, διότι οι βαθύτερες στοιβάδες προκαλούν απώλεια βάρους και ζημιά στα προϊόντα που βρίσκονται στο κέντρο της στοιβάδας, λόγω της ανεπαρκούς επαφής τους με τον πάγο. Συνήθως, αυτός ο τρόπος αποθήκευσης δεν χρησιμοποιείται για τα ψάρια υψηλότερης αξίας. **(Venugopal 2006 (β))**

Για την αλίευση ημερήσιας διάρκειας, όπου μικρότερα σκάφη παραδίδουν προϊόντα σε μεγαλύτερη εγκατάσταση, ο πάγος αποτελεί τον καταλληλότερο τρόπο

αποθήκευσης της συγκομιδής. Τα ψάρια τοποθετούνται σε ποσότητα πάγου σε θερμοκρασία περίπου $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ και αναμιγνύονται σε αναλογία 1:2 στις εύκρατες περιοχές, ενώ στις τροπικές μπορεί να εφαρμοστεί και αναλογία 1:1. Στην περίπτωση των μεγαλύτερων και εκσπλαχνισμένων ειδών χρησιμοποιείται κυρίως η αποθήκευση σε ράφια, όπου τα ψάρια τοποθετούνται στον πάγο με την κοιλιακή κοιλότητα από κάτω, ενώ προστίθεται ποσότητα πάγου και στο πάνω μέρος, ώστε να ψύχονται ομοιόμορφα.

Η τοποθέτηση σε κιβώτια αποτελεί την αποτελεσματικότερη μέθοδο αποθήκευσης. Τα ψάρια ίδιου μεγέθους και είδους τοποθετούνται συνήθως στα ίδια κιβώτια. Τα κιβώτια αυτά μπορούν να τοποθετηθούν το ένα πάνω στο άλλο, χωρίς να φθείρονται τα ψάρια. Ο πάγος που αποθηκεύεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος περιέχει 12-20% νερό στην επιφάνειά του, ανάλογα με τη φύση του πάγου (νιφάδες, τρίμματα ή κομμάτια), το οποίο επιφέρει αρνητική επίδραση στην ψύξη των ψαριών. Η μόνη χρησιμότητα του νερού είναι η βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας και η διατήρηση της υγρασίας των ψαριών. Ακόμη και όταν τα λιπαρά ψάρια αποθηκεύονται σε κιβώτια με αρκετό πάγο, μπορούν να διατηρηθούν μόνο για 5-6 ημέρες, σε αντίθεση με τον εκσπλαχνισμένο μπακαλιάρο ή γάδο, ο οποίος μπορεί να αποθηκευτεί για 12-15 ημέρες στις ίδιες συνθήκες. Παράλληλα, η αποθήκευση σε κιβώτια επιταχύνει και διευκολύνει σημαντικά το ξεφόρτωμα της συγκομιδής από το αλιευτικό μέσο. **(Παπαναστασίου 1990 (δ), Venugopal 2006 (β))**

3.4.10 Ξεφόρτωμα της συγκομιδής

Πριν ξεκινήσει το ξεφόρτωμα, πρέπει να διεξαχθεί έλεγχος του φορτίου. Στην περίπτωση που ένα μέρος των ψαριών έχει αρχίσει να χαλά, το φορτίο μπορεί να περιέχει υψηλά φορτία διοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου ή άλλων επιβλαβών ενώσεων. Στην περίπτωση αυτή, επιβάλλεται ‘‘αερισμός’’ του φορτίου πριν την εκκίνηση του ξεφορτώματος. **(Regenstein J.M. and Regenstein C.E. 1991 (β))**

Για το ξεφόρτωμα των μικρών πελαγικών ψαριών, τα αλιευτικά πλοία χρησιμοποιούν συστήματα αντλιών που βρίσκονται στο κατάστρωμα. Τα ψάρια ξεφορτώνονται από

τα δίκτυα μέσω ανελκυστήρα ή αντλιών πίεσης/κενού. Αυτό μειώνει σημαντικά το μελάνιασμα των ψαριών, το οποίο μπορεί να προκαλέσει αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης ταγγισμού σε επακόλουθη ψύξη.

Η χρήση αντλιών ψαριών γίνεται ολοένα και πιο διάσημη παγκοσμίως. Οι αντλίες αυτές μπορεί να είναι αναβατήρες (elevators), αντλίες ξηρής αναρρόφησης (dry suction pumps) ή αντλίες υγρής αναρρόφησης (wet suction pumps), με τις δύο τελευταίες να χρησιμοποιούνται ευρέως για τη διαχείριση ψαριών που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Η άντληση είναι κατάλληλη για το ξεφόρτωμα ψαριών μικρού μεγέθους, όπως οι ρέγκες και οι σαρδέλες. Στην περίπτωση αυτή, πολλές από τις αντλίες υγρής αναρρόφησης προκαλούν μικρότερη ζημιά από της αντίστοιχες ξηρής αναρρόφησης.

Γενικότερα, η χρήση αντλιών είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στη μείωση των καθυστερήσεων διαχείρισης. Οι αντλίες αυτόματου ξεφορτώματος χρησιμοποιούνται για την ταχεία μεταφορά γαύρου, σαρδέλας και σκουμπριού, αποθηκευμένων σε παγωμένο θαλασσινό νερό, στα εργοστάσια επεξεργασίας. Τέλος, όσον αφορά τα ψάρια που είναι αποθηκευμένα σε κιβώτια, το ξεφόρτωμα μπορεί να γίνει με γερανό και η μεταφορά στο εργοστάσιο με φορτηγά. **(Venugopal 2006 (β))**

3.5 Βιβλιογραφία

Δ. Π. Παπαναστασίου, 1990, Νεκρική ακαμψία, *Τεχνολογία και ποιοτικός έλεγχος αλιευμάτων*, εκδ. ΙΩΝ, Περιστέρι, Αθήνα, σελ. 315-344 (α)

Δ. Π. Παπαναστασίου, 1990, Μέθοδοι αλιείας, *Τεχνολογία και ποιοτικός έλεγχος αλιευμάτων*, εκδ. ΙΩΝ, Περιστέρι, Αθήνα, σελ. 135-186 (β)

Δ. Π. Παπαναστασίου, 1990, Εισαγωγή, *Τεχνολογία και ποιοτικός έλεγχος αλιευμάτων*, εκδ. ΙΩΝ, Περιστέρι, Αθήνα, σελ. 17-40 (γ)

Δ. Π. Παπαναστασίου, 1990, Διατήρηση των αλιευμάτων με ψύξη, *Τεχνολογία και ποιοτικός έλεγχος αλιευμάτων*, εκδ. ΙΩΝ, Περιστέρι, Αθήνα, σελ. 351-422 (δ)

H. D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle, 2009, Ιχθυρά, κητοειδή, οστρακόδερμα, μαλάκια, *Χημεία τροφίμων*, εκδ. ΤΖΙΟΛΑ, σελ. 633-657

J. M. Regenstein and C. E. Regenstein, 1991, How Fish Are Caught , in *Introduction to Fish Technology*, ed. V Nostrand Reinhold , Library of Congress, London, New York, Victoria, Scarborough, pp. 19-36 (α)

J. M. Regenstein and C. E. Regenstein, 1991, Onboard Handling and Processing of Fish, in *Introduction to Fish Technology*, ed. V Nostrand Reinhold, Library of Congress, London, New York, Victoria, Scarborough, pp. 37-50 (β)

J. Oehlenschlager, 2010, Introduction-Importance of Analysis in Seafood and Seafood Products, Variability and Basic Concepts, in *Handbook of seafood-products-analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 351-369 (α)

J. Oehlenschlager, 2010, Minerals and Trace Elements, in *Handbook of seafood products-analysis*, ed. LM.L. Nollet, F. Toldra, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 351-369 (β)

V. Venugopal, 2006, Postharvest Quality Changes and Safety Hazards, in *Seafood Processing: Adding Value Through Quick Freezing, Retortable Packaging, and Cook-Chilling*, ed. G. V. Barbosa-Cánovas, P. M. Davidson, M. Dreher, R. W. Hartel, L. R. Juneja, M. Karel, R. G. Labbe, D. B. Lund, D. B. Min, L. M. L. Nollet, S. Salminen, J. L. Steele, J. H. Thorngate III, P. Walstra, J. R. Whitaker, R. Y. Yada, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 23-53 (α)

V. Venugopal, 2006, Bulk Handling and Chilling, in *Seafood Processing: Adding Value Through Quick Freezing, Retortable Packaging, and Cook-Chilling*, ed. G. V. Barbosa-Cánovas, P. M. Davidson, M. Dreher, R. W. Hartel, L. R. Juneja, M. Karel, R. G. Labbe, D. B. Lund, D. B. Min, L. M. L. Nollet, S. Salminen, J. L. Steele, J. H. Thorngate III, P. Walstra, J. R. Whitaker, R. Y. Yada, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 61-94 (β)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΨΥΞΗ

4.1 Εισαγωγή

Το ζήτημα της συντήρησης των τροφίμων έχει απασχολήσει την ανθρωπότητα από τα αρχαία χρόνια. Σχεδόν όλα τα είδη τροφίμων, συμπεριλαμβανόμενων και των θαλασσινών και των προϊόντων τους, δεν μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε περιβάλλον με υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας. Διάφορες μέθοδοι, όπως αλάτισμα, κάπνιση και ξήρανση εφαρμόζονται από παλιότερες εποχές για τη συντήρηση των ζωικών, κυρίως, προϊόντων.

Πριν από μερικούς αιώνες, χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας, εισήλθαν στη βιομηχανία τροφίμων νέες μέθοδοι συντήρησης, όπως η κονσερβοποίηση, η αποστείρωση, η παστερίωση και η αποθήκευση υπό ψύξη και κατάψυξη. Η τελευταία αποτελεί, στη σημερινή εποχή, τον πιο συνηθισμένο τρόπο αποθήκευσης και συντήρησης όλων των ειδών τροφίμων, και ιδιαίτερα των θαλασσινών, τα οποία αποτελούν ένα από τα πιο αλλοιώσιμα προϊόντα διατροφής.

Η ψύξη και η κατάψυξη αποτελούν ιδιαίτερα αποτελεσματικές μεθόδους συντήρησης μακράς διάρκειας των τροφίμων, εφόσον, χάρη στις χαμηλές θερμοκρασίες που επιβάλλονται, επιβραδύνονται οι επιβλαβείς (βιο)χημικές αλλαγές και απενεργοποιείται η μικροβιακή δραστηριότητα, ιδιαίτερα στην περίπτωση των μυϊκών τροφίμων. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, η κατάψυξη διεξάγεται σε σχετικά ακραίες θερμοκρασίες και για εξαιρετικά μεγάλες χρονικές περιόδους, με αποτέλεσμα την εκκίνηση ορισμένων φυσικοχημικών διαδικασιών που προκαλούν αλλοίωση στις θρεπτικές ιδιότητες και στην ολική ποιότητα του κατεψυγμένου τροφίμου.

4.2 Ψύξη

Η ψύξη αποτελεί τη διαδικασία κατά την οποία η θερμοκρασία του τροφίμου μειώνεται σε τιμές μεταξύ -1°C και 8°C . Χρησιμοποιείται για να αναστέλλει τις βιοχημικές και μικροβιολογικές αλλαγές που συμβαίνουν και, επομένως, να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής των φρέσκων και των επεξεργασμένων τροφίμων. Προκαλεί αμελητέες μεταβολές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τις διατροφικές ιδιότητες των τροφίμων οπότε, ως αποτέλεσμα, τα ψυχόμενα τρόφιμα προτιμώνται από τους καταναλωτές λόγω της εύκολης προετοιμασίας και της υψηλής τους ποιότητας.

Από το 1980 έχει παρατηρηθεί ουσιώδης και ραγδαία παραγωγική ανάπτυξη στην αγορά των κατεψυγμένων τροφίμων, ιδιαίτερα για σάντουιτς, επιδόρπια, έτοιμα γεύματα και σαλάτες, πίτσα και φρέσκα ζυμαρικά. Ο Bond (1992), για παράδειγμα, περιγράφει την εισαγωγή 1000 νέων κατεψυγμένων προϊόντων *per annum* στα τέλη του 1980, με την παραγωγή να αναπτύσσεται συνεχώς με ρυθμό 750 νέων προϊόντων ετησίως.

Η ψύξη χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με άλλες λειτουργικές μονάδες (unit operations), όπως η ζύμωση ή η παστερίωση, προκειμένου να επεκταθεί η διάρκεια ζωής των ελαφρώς επεξεργασμένων τροφίμων. Γενικά η διατήρηση επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερα, όταν η ψύξη συνδυάζεται με τον έλεγχο της σύνθεσης της ατμόσφαιρας αποθήκευσης από ότι αν χρησιμοποιηθεί η διαδικασία από μόνη της.

Όσον αφορά το εύρος της θερμοκρασίας αποθήκευσης υπό ψύξη, τα τρόφιμα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ως εξής:

- 1) -1°C έως $+1^{\circ}\text{C}$ (φρέσκα ψάρια, κρέατα, λουκάνικα και ground meats, καπνιστά κρέατα και breaded fish).
- 2) 0°C έως $+5^{\circ}\text{C}$ (παστεριωμένο κονσερβοποιημένο κρέας, γάλα, κρέμα, γιαούρτι, έτοιμες σαλάτες, σάντουιτς, προϊόντα αρτοποιίας, φρέσκα ζυμαρικά, φρέσκες σούπες και σάλτσες, πίτσες, αρτοσκευάσματα και άψητα ζυμάρια).

- 3) 0 °C έως +8 °C (πλήρως μαγειρεμένα κρέατα και πίτες ψαριού (fish pies), βούτυρο, μαργαρίνη, σκληρά τυριά, μαγειρεμένο ρύζι, φρουτοχυμοί και μαλακά φρούτα). **(Fellows 2000 (α))**

Ωστόσο, όσον αφορά τα θαλασσινά και τα προϊόντα τους, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος στο οποίο ζουν είναι σχετικά χαμηλή (στους ωκεανούς είναι συνήθως μικρότερη των 5 °C). Συνεπώς, οι θερμοκρασίες στις οποίες ψύχονται τα τρόφιμα από χερσαίες πηγές συχνά συμπίπτουν με τις θερμοκρασίες του κανονικού περιβάλλοντος των θαλασσινών. Άρα, τα αλιεύματα και τα προϊόντα τους πρέπει να ψύχονται σε θερμοκρασιακά εύρη χαμηλότερα από αυτά των περισσότερων κρεατικών, των γαλακτοκομικών και των λαχανικών. **(Παπαναστασίου 1990)**

4.3 Κατάψυξη

Η κατάψυξη είναι μία από τις πλέον εφαρμοζόμενες μεθόδους για τη συντήρηση των τροφίμων τόσο σε βιομηχανική όσο και σε οικιακή κλίμακα. Αποτελεί τη διαδικασία κατά την οποία η θερμοκρασία του τροφίμου μειώνεται κάτω από το σημείο κατάψυξής του. **(Fellows 2000 (β))** Σε αντίθεση με την απλή ψύξη, η σημαντική ελάττωση της θερμοκρασίας, καθώς και ο σχηματισμός πάγου στο τρόφιμο, φαινόμενο που τείνει να μειώσει το περιεχόμενο νερό του τροφίμου, αναστέλλουν τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και των ενζύμων και επιβραδύνουν τις διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές, εμποδίζοντας έτσι την αλλοίωση του τροφίμου και αυξάνοντας σημαντικά το χρόνο ζωής του. **(Μπικάκη 2012)**

Οι κύριες ομάδες τροφίμων που καταψύχονται εμπορικά είναι:

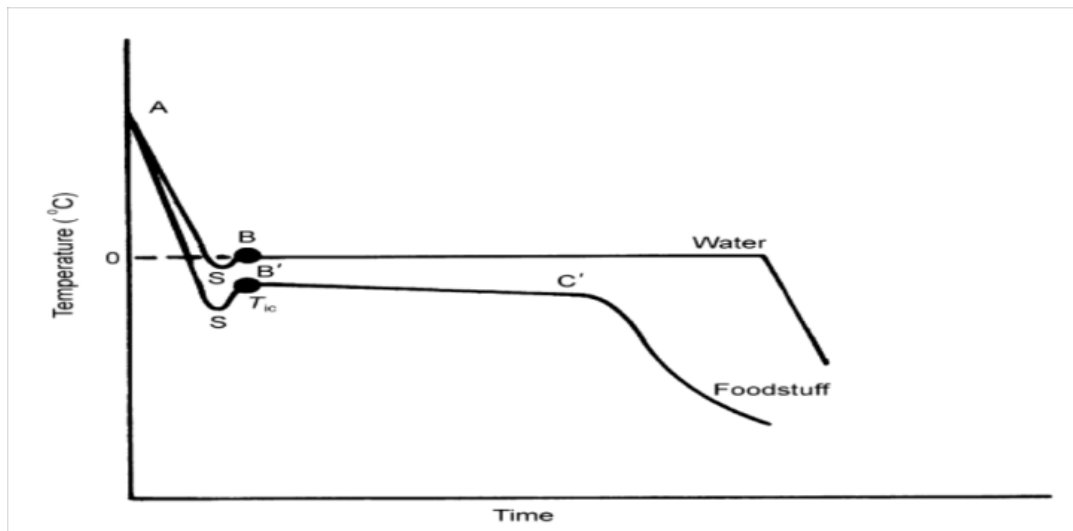
- 1) Φρούτα (ολόκληρα, πολτοποιημένα ή συμπυκνώματα φρούτων)
- 2) Λαχανικά
- 3) Ψάρια και θαλασσινά, καθώς και τα προϊόντα τους
- 4) Κρέας και τα προϊόντα του
- 5) Αρτοσκευάσματα

- 6) Προϊόντα που έχουν προπαρασκευαστεί (επιδόρπια, πίτσες, παγωτό κλπ).
(Παπαδέας 1998)

Κατά την κατάψυξη, όπως προαναφέρθηκε, επιβάλλονται θερμοκρασίες αποθήκευσης χαμηλότερες από το σημείο κατάψυξης των τροφίμων, με αποτέλεσμα ένα σημαντικό ποσοστό του νερού στο θερμικό κέντρο των προϊόντων να μετατρέπεται σε πάγο, ενώ συνιστάται η τελική θερμοκρασία ισορροπίας να φτάνει σε τιμές ≤ -18 °C. Ως σημείο κατάψυξης ενός τροφίμου ορίζεται, συμβατικά, η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία σχηματίζονται σταθεροί κρύσταλλοι πάγου στη μάζα του. Προφανώς, τα τρόφιμα δεν καταψύχονται σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, αλλά σε μία θερμοκρασιακή περιοχή που εξαρτάται από το είδος του τροφίμου. Συνηθέστερη θερμοκρασιακή περιοχή αποτελεί το εύρος από -18 °C έως -32 °C, όπου κρυσταλλώνεται πάνω από το 92 % των κυτταρικών υγρών.

(Παπαναστασίου 1990)

Σημαντικό ρόλο στην κατάψυξη των τροφίμων διαδραματίζει το περιεχόμενο νερό και η αλλαγή της κατάστασής του κατά τη διαδικασία της κατάψυξης. Αφού όλα τα τρόφιμα περιέχουν σχετικά μεγάλες ποσότητες υγρασίας μέσα στην οποία είναι διαλυμένες διάφορες ουσίες, το πραγματικό ή αρχικό σημείο κατάψυξης του νερού στο τρόφιμο θα είναι χαμηλότερο από αυτό του καθαρού νερού. Το εύρος της μείωσης αυτής εξαρτάται από το μοριακό βάρος, τη συγκέντρωση και τις ιδιότητες των πρόσθετων υλικών που είναι διαλυμένα στο νερό του τροφίμου. Επιπλέον, σημαντική επίδραση στην ποιότητα του κατεψυγμένου προϊόντος ασκεί ο τρόπος με τον οποίο σχηματίζονται οι κρύσταλλοι του πάγου στο τρόφιμο κατά την κατάψυξη αυτού.



Εικόνα 4.1 Καμπύλες κατάψυξης νερού και συστήματος τροφίμου

Η συντήρηση των τροφίμων με κατάψυξη επιτυγχάνεται συνδυάζοντας τις χαμηλές θερμοκρασίες, τη μειωμένη ενεργότητα του νερού, ως αποτέλεσμα του σχηματισμού παγοκρυστάλλων, της αυξημένης συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών και, σε μερικές περιπτώσεις, την προκατεργασία με ζεμάτισμα προκειμένου να μειωθεί το μικροβιακό φορτίο.

Όσον αφορά τα φαινόμενα που πραγματοποιούνται κατά την κατάψυξη, αυτά διακρίνονται σε εκείνα που αφορούν το σχηματισμό και την ανάπτυξη των κρυστάλλων πάγου και σε εκείνα που σχετίζονται με τη μη-παγωμένη φάση, και περιλαμβάνουν τις ενζυμικές και χημικές αντιδράσεις. Σε κάθε περίπτωση, ο χρόνος ζωής των προϊόντων εξαρτάται από τη σύσταση του τροφίμου, τη διεργασία κατάψυξης (ρυθμός κατάψυξης) και τις συνθήκες αποθήκευσης. (Μπικιάκη 2012)

4.4 Στάδια της κατάψυξης

Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, τα διάφορα τμήματα του προϊόντος περνούν από τρία διαδοχικά θερμικά στάδια.

- 1) **Στάδιο προκατάψυξης (prefreezing stage):** Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή της έναρξης της εφαρμογής της κατάψυξης στο προϊόν, μέχρι τη στιγμή της έναρξης της κρυστάλλωσης του νερού (κρυσκοπική θερμοκρασία).
- 2) **Στάδιο κατάψυξης (freezing stage):** Είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία η θερμοκρασία παραμένει περίπου σταθερή στο συγκεκριμένο σημείο, διότι η θερμότητα που απάγεται προκαλεί τη μετατροπή της μεγαλύτερης ποσότητας του νερού σε πάγο.
- 3) **Στάδιο ψύξης μέχρι τη θερμοκρασία διατήρησης:** Είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία η θερμοκρασία μειώνεται, προκαλώντας την κρυστάλλωση του μεγαλύτερου τμήματος του νερού, μέχρι την καθορισμένη τελική θερμοκρασία. Αυτή μπορεί να είναι η θερμοκρασία που έχει επιλεγεί για τη διατήρηση και περιλαμβάνει όλα τα σημεία του προϊόντος, καθώς και το θερμικό κέντρο ή τη θερμοκρασία ισορροπίας. **(Παπαναστασίου 1990)**

4.5 Φαινόμενα κατά την κατάψυξη των τροφίμων

Όπως αναφέρθηκε και πριν, η κατάψυξη των τροφίμων είναι πιο σύνθετη από την κατάψυξη του καθαρού νερού, αφού τα τρόφιμα περιέχουν εκτός από νερό και πλήθος διαλυτών ουσιών ή αποτελούνται από ιστούς ή κύτταρα. Το αρχικό σημείο κατάψυξης ενός διαλύματος εξαρτάται άμεσα από τη μοριακή συγκέντρωση των διαλυμένων σε αυτό ουσιών, αφού η διάλυση 1 mole μίας μη-ιοντικής ένωσης σε 1 L νερού μειώνει το σημείο κατάψυξής του κατά 1.885 °C (συνεπώς, τα τρόφιμα με υψηλότερη περιεκτικότητα σε διαλυμένες ουσίες παρουσιάζουν χαμηλότερο αρχικό σημείο κατάψυξης). Καθώς τα προϊόντα ψύχονται σταδιακά σε θερμοκρασίες μικρότερες από το σημείο αυτό, αυξάνεται η ποσότητα νερού υπό μορφή πάγου και αντίστοιχα η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών στη μη-παγωμένη φάση. Ανά πάσα στιγμή, η αναλογία των δύο αυτών φάσεων εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την αρχική συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών. Σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των -40 °C) το ποσοστό του πάγου στα τρόφιμα θεωρείται ότι δεν μεταβάλλεται, ενώ υπολογίζεται ότι η ποσότητα του μη-παγωμένου νερού κυμαίνεται, κατά μέσο όρο, μεταξύ 0.2-0.4 g/g ξηρού βάρους. Στη φάση αυτή λαμβάνουν χώρα φαινόμενα διαφόρων ειδών που θα αναλυθούν παρακάτω. (Μπικιάκη 2012)

4.5.1 Σχηματισμός πάγου

Το σημείο κατάψυξης ενός τροφίμου μπορεί να περιγραφεί και ως “η θερμοκρασία στην οποία ένας μικροσκοπικός κρύσταλλος πάγου υπάρχει σε ισορροπία με το νερό που τον περιβάλλει”. Όμως, προτού σχηματιστεί ένας κρύσταλλος πάγου, είναι απαραίτητη η παρουσία ενός πυρήνα από μόρια νερού. Επομένως, πριν το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου προηγείται η πυρηνογένεση.

Η κατάψυξη του καθαρού νερού περιλαμβάνει 2 κύρια στάδια: 1) το σχηματισμό των κρυστάλλων πάγου (πυρηνογένεση) και 2) την αύξηση του μεγέθους τους (ανάπτυξη). Κατά την πυρηνογένεση ελευθερώνεται θερμότητα στο σύστημα, η

οποία προκαλεί την άνοδο της θερμοκρασίας στους 0 °C (σημείο τήξης) όπου και παραμένει μέχρις ότου το νερό μετατραπεί σε πάγο (λανθάνουσα θερμότητα τήξης νερού: 333.15 J/g). **(Fellows 2000 (β))**

Ο σχηματισμός, η δομή, το μέγεθος και η φύση των κρυστάλλων πάγου είναι ιδιαίτερα σημαντικά φαινόμενα κατά την κατάψυξη των τροφίμων. Οι κρύσταλλοι πάγου αποτελούνται από μόρια νερού που συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου και εμφανίζουν στερεή, κρυσταλλική δομή και συγκεκριμένη διαμόρφωση. Κατά το σχηματισμό των παγοκρυστάλλων, τα μόρια του τροφίμου συνενώνονται και καταλαμβάνουν συγκεκριμένη θέση στον κρύσταλλο, ο οποίος θα πρέπει στη συνέχεια να επιδέχεται αύξηση του μεγέθους του. Η διαδικασία του σχηματισμού (δημιουργία του πυρήνα κρυστάλλου) είναι απαραίτητη για την έναρξη της κατάψυξης, διότι ενδέχεται να ταπεινωθεί η θερμοκρασία κάτω των 0 °C, χωρίς να συντελεστεί κρυστάλλωση. Ο ρυθμός πυρηνογένεσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το ρυθμό κατάψυξης, τη φύση του διαλύματος και το βαθμό υπέρψυξης, ενώ ο χρόνος ζωής των πυρήνων μειώνεται αυξανόμενης της θερμοκρασίας. Ως υπέρψυξη ορίζεται η μείωση της θερμοκρασίας του τροφίμου κάτω από το σημείο κατάψυξης και το εύρος της εξαρτάται από το είδος του τροφίμου και το ρυθμό με τον οποίο απάγεται η θερμότητα από αυτό. **(Nesvadba 2008)**

Η πυρηνογένεση ενισχύεται σε χαμηλές θερμοκρασίες κάτω από το αρχικό σημείο κατάψυξης (υψηλός βαθμός υπέρψυξης), όπως επίσης με αύξηση του ρυθμού κατάψυξης. Υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας παράγουν μεγάλο αριθμό πυρήνων και, καθώς τα μόρια του νερού μεταναστεύουν στους υπάρχοντες πυρήνες κατά προτίμηση, ώστε να δημιουργήσουν νέους πυρήνες, και έτσι η ταχεία ψύξη προκαλεί μεγάλο αριθμό μικρών παγοκρυστάλλων. Ωστόσο, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στο μέγεθος των κρυστάλλων με παρόμοιους ρυθμούς κατάψυξης λόγω του διαφορετικού είδους τροφίμου, και ακόμα και στα ίδια τρόφιμα λόγω διαφορετικής διαχείρισης προ ψύξης. **(Μπικάκη 2012, Fellows 2000 (β))**

Υπάρχουν δύο μηχανισμοί σχηματισμού πυρήνων κρυστάλλωσης: **ο ομογενής**, δηλαδή ο σχηματισμός συναθροίσεων μορίων νερού δια-μέσου της αλλαγής του προσανατολισμού τους και των συσχετίσεων μεταξύ τους, και **ο ετερογενής**, δηλαδή ο σχηματισμός συναθροίσεων μορίων νερού γύρω από αιωρούμενα σωματίδια ή στα τοιχώματα των κυττάρων. Στα συστήματα τροφίμων συντελείται ετερογενής κρυστάλλωση. Η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων διαφέρει στα διάφορα συστήματα τροφίμων και εξαρτάται και από τις διαλυμένες σε αυτά ουσίες όπως τα κρυσταλλοπροστατευτικά υλικά τα οποία ταπεινώνουν το σημείο έναρξης αυτής. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία αυτή είναι το υλικό συσκευασίας του τροφίμου καθώς και η ψυκτική ισχύς του μέσου. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, αυξάνεται το ιξώδες απότομα, με αποτέλεσμα να σταματήσει η δημιουργία παγοκρυστάλλων. Η πιθανότητα να παρουσιαστεί κρυστάλλωση εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος και από το ρυθμό αποβολής θερμότητας. Τα μικρά δείγματα εμφανίζουν μικρή πιθανότητα σχηματισμού κρυστάλλων και απαιτείται η αποθήκευσή τους σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Τέλος, να αναφερθεί ότι οι διαλυμένες ουσίες μειώνουν σημαντικά την ταχύτητα ανάπτυξης. Οι οργανικές ενώσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη επίδραση από τις ανόργανες και όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωσή τους, τόσο αυξάνεται και η συμπύκνωσή τους. **(Παπαδέας 1998, Fellows 2000 (β), Μπικιάκη 2012)**

Μετά τη δημιουργία του «αρχικού» κρυστάλλου ξεκινά και η διαδικασία της επιμήκυνσής του. Η διαδικασία αυτή δεν συντελείται ακαριαία και ελέγχεται από το ρυθμό απώλειας θερμότητας κατά τη μετατροπή της φάσης, καθώς επίσης και από το ρυθμό μεταφοράς μάζας. Η διαδικασία της επιμήκυνσης δεν απαιτεί πολύ χαμηλές θερμοκρασίες όπως η διαδικασία σχηματισμού των παγοκρυστάλλων. Εφόσον ο κρύσταλλος που έχει δημιουργηθεί είναι σταθερός, τότε η περαιτέρω επιμήκυνση αυτού είναι δυνατή. Όσον αφορά το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας των τροφίμων το οποίο δεν κρυσταλλώνεται έρευνες έχουν δείξει ότι κυμαίνεται μεταξύ 0.2 και 0.4 g/g ξηρής βάσης του τροφίμου.

Η διαδικασία της κατάψυξης θεωρείται ότι περατώνεται, για πρακτικούς λόγους, όταν το μεγαλύτερο ποσοστό του θερμικού κέντρου του τροφίμου έχει μετατραπεί σε

κρύσταλλο. Η αύξηση του μεγέθους των κρυστάλλων επηρεάζεται από τον αριθμό των σχηματιζόμενων πυρήνων (αντιστρόφως ανάλογα) και τη μορφολογία της επιφάνειάς τους (όσο πιο ανώμαλη και ανομοιόμορφη είναι τόσο διευκολύνεται η ανάπτυξη). Καθώς αυξάνεται η ποσότητα των κρυστάλλων πάγου και μειώνεται η θερμοκρασία, αυξάνει ακόμη περισσότερο η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών στη μη-παγωμένη φάση μέχρις ότου φτάσει σε ένα συγκεκριμένο όριο - σημείο κορεσμού (μέγιστη συγκέντρωση κατάψυξης), οπότε σταματά το φαινόμενο της κρυστάλλωσης.

Ο σχηματισμός κρυστάλλων πάγου προκαλεί μία σειρά από φυσικοχημικές τροποποιήσεις στο τρόφιμο, οι οποίες υποβαθμίζουν την ποιότητα του προϊόντος. Στις κυριότερες φυσικές αλλαγές περιλαμβάνονται: ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων, η ρήξη των ιστών λόγω κατάψυξης (freeze cracking), η αποβολή υγρασίας και η ανακρυστάλλωση των παγοκρυστάλλων. (Μπικιάκη 2012)

4.5.2 Μεταβολές στον όγκο

Ο όγκος του πάγου είναι κατά 9% μεγαλύτερος από αυτόν του καθαρού νερού, επομένως η διόγκωση των τροφίμων μετά την κατάψυξη είναι αναμενόμενη. Ωστόσο, ο βαθμός της διόγκωσης εξαρτάται σημαντικά από τους παρακάτω παράγοντες:

- **Περιεχόμενη υγρασία.** Αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία προκαλεί μεγαλύτερες μεταβολές στον όγκο.
- **Κυτταρική κατανομή.** Τα φυτικά υλικά διαθέτουν εσωκυτταρικά διαστήματα αέρα τα οποία απορροφούν εσωτερικές αυξήσεις του όγκου δίχως μεγάλες αλλαγές στο συνολικό τους μέγεθος (π.χ. ολόκληρες φράουλες αυξάνουν τον όγκο τους κατά 3.0%, ενώ οι φράουλες χονδρού εδάφους αυξάνουν κατά 8.2% όταν καταψύχονται και οι δύο στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- **Συγκέντρωση διαλυτοποιημένων ουσιών.** Υψηλότερες συγκεντρώσεις συνεπάγονται ταπείνωση του σημείου κατάψυξης, με αποτέλεσμα τη

μετατροπή μικρότερης ποσότητας νερού σε πάγο και, συνεπώς, τη μικρότερη αύξηση στον όγκο.

- **Θερμοκρασία του τροφίμου.** Χαμηλότερη θερμοκρασία συνεπάγεται μεγαλύτερη ποσότητα νερού σε μορφή πάγου, συνεπώς μεγαλύτερη αύξηση του όγκου του τροφίμου. **(Παπαδέας 1998)**

4.5.3 Υαλώδης μετάπτωση

Εάν ένα σύστημα τροφίμου ψυχθεί πέρα από το σημείο κορεσμού, γίνεται τελικά ιξώδες και αποκτά υαλώδη μορφή. Η «ύαλος», λόγω του ιδιαίτερα χαμηλού ρυθμού διάχυσης των μορίων της, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα υγρό με εξαιρετικά υψηλό ιξώδες (10^{11} - 10^{12} Pa·s), ενώ, λόγω της παρουσίας μικρών κρυστάλλων νερού σε υαλώδη κατάσταση, θεωρείται ότι αποτελεί ένα άμορφο, μετασταθές, στερεό, χωρίς διατεταγμένη κρυσταλλική δομή, στο οποίο εμφανίζονται κρύσταλλοι με διάμετρο που δεν υπερβαίνει τα 10 nm. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g') ορίζεται ως η θερμοκρασία στην οποία ένα διάλυμα υφίσταται εκτενείς αλλαγές στις φυσικές του ιδιότητες, χωρίς μεταβολή στη διάταξη των μορίων του.

Είναι πολύ δύσκολο να μετατραπεί ένα καθαρό υλικό σε ύαλο. Μερικά μίγματα ωστόσο, κυρίως εκείνα που περιέχουν βιοπολυμερή (άμυλο, πρωτεΐνες) μπορούν άμεσα να σχηματίσουν ύαλο, τα πολυμερή μπορούν να κρυσταλλωθούν μερικώς ή να υαλοποιηθούν μερικώς. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης ενός καταψυχόμενου συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από το μοριακό βάρος και τον τύπο των διαλυμένων σε αυτό ουσιών, όπως και από την παρουσία πολυμερών σωμάτων ή ουσιών που δρουν ως πλαστικοποιητές.

Από τις σημαντικότερες λειτουργίες της υαλώδους κατάστασης είναι ότι παρέχει σταθερότητα στις φυσικές και χημικές αλλαγές, αφού το ιξώδες του υαλώδους υλικού είναι εξαιρετικά υψηλό. Αυτό σταματά αποτελεσματικά όλες τις μοριακές κινήσεις και συνεπώς όλες τις αλλαγές. Όμως, σε μία ύαλο με διαφορετικά συστατικά (mixed composition), τα μόρια που είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα των συστατικών που είναι υπεύθυνα για την υαλώδη κατάσταση, μπορούν να διαχέονται παρόλο που

εμποδίζονται σε μεγάλο βαθμό. Συνεπώς, η πλήρης χημική σταθερότητα δεν είναι εφικτή, αλλά φυσικές αλλαγές, όπως η κρυστάλλωση, είναι δυνατό να συμβούν.

Η υπέρψυξη και η υαλοποίηση είναι φαινόμενα που εμφανίζονται σε μεγαλύτερη έκταση στις περιπτώσεις μεγάλων ρυθμών κατάψυξης, ενώ η υαλοποίηση, σχεδόν πάντα, δεν είναι εφικτή χωρίς την προσθήκη κάποιας κρυοπροστατευτικής ουσίας ή ενός βιολογικού αντιψυκτικού παράγοντα. Σκοπός της χρήσης τέτοιων ουσιών είναι ο σχηματισμός δεσμών υδρογόνου μεταξύ αυτών και των μορίων του νερού, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν αλληλεπιδράσεις που θα οδηγούσαν σε φαινόμενα κρυστάλλωσης. **(Blond and Le Meste 2004)**

4.5.4 Συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών

Ο σχηματισμός των παγοκρυστάλλων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών, η οποία με τη σειρά της προκαλεί αλλαγές στο pH, στο ιξώδες, στην επιφανειακή τάση και στην οξειδοαναγωγική δυνατότητα του μη παγωμένου υγρού. Καθώς μειώνεται η θερμοκρασία, η κάθε διαλυμένη ουσία χωριστά φτάνει το σημείο κορεσμού και κρυσταλλώνεται. Η θερμοκρασία στην οποία ο κρύσταλλος μίας μεμονωμένης ουσίας βρίσκεται σε ισορροπία με το μη παγωμένο υγρό και τον πάγο αποτελεί την *ευτηκτική θερμοκρασία* της ουσίας (για παράδειγμα, για τη γλυκόζη είναι $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, για τη σακχαρόζη $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, για το χλωριούχο νάτριο $-21.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ και για το χλωριούχο ασβέστιο $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ωστόσο, είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί η μεμονωμένη ευτηκτική θερμοκρασία στο περίπλοκο μίγμα διαλυμένων ουσιών στο τρόφιμο, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ο όρος *τελική ευτηκτική θερμοκρασία*. Αυτή αποτελεί τη χαμηλότερη ευτηκτική θερμοκρασία των διαλυμένων ουσιών ενός τροφίμου (π.χ. στο παγωτό είναι $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, στο κρέας είναι $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ και για το ψωμί $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Η μέγιστη ποσότητα σχηματιζόμενων παγοκρυστάλλων δεν μπορεί να δημιουργηθεί αν δεν επιτευχθεί η συγκεκριμένη θερμοκρασία. Τα εμπορικά τρόφιμα, βέβαια, δεν καταψύχονται σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες, οπότε σε αυτά υπάρχει πάντα μη παγωμένο νερό. **(Παπαδέας 1998, Fellows 2000 (β))**

4.5.5 Ωσμωτικά φαινόμενα

Η κατάψυξη συστημάτων που περιέχουν κύτταρα έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ωσμωτικής πίεσης σε αυτά. Η κυτταρική μεμβράνη είναι μία ημιπερατή μεμβράνη που ελέγχει τη ροή του νερού από και προς το κύτταρο και λειτουργεί με βάση την ασκούμενη ωσμωτική πίεση. Καθώς το σύστημα καταψύχεται, μεγάλος αριθμός μορίων νερού στην εξωκυτταρική φάση μεταβαίνει από την υγρή στη στερεά κατάσταση, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ωσμωτικής πίεσης στη μεμβράνη και την απομάκρυνση νερού από το κύτταρο, προκειμένου να αποκατασταθεί η ισορροπία. Αυτό έχει ως συνέπεια την αφυδάτωση και τη μείωση του όγκου των κυττάρων καθώς και τη συμπύκνωση των ενδοκυτταρικών διαλυμάτων και περαιτέρω μεταβολή του pH, της ιοντικής ισχύος και του ιξώδους, όπως και την ενίσχυση των αλληλεπιδράσεων της εσωτερικής δομής των κυττάρων με τις διαλυμένες ουσίες, την καθίζηση αλάτων, κτλ. Όταν το σύστημα βρίσκεται σε υαλώδη κατάσταση, οι διαταραχές στη δομή των κυττάρων είναι μικρότερης έκτασης. Η μεγαλύτερη ποσότητα νερού παραμένει στην αρχική της θέση, οπότε περιορίζεται η αφυδάτωση και οι φυσικές μεταβολές, αλλά αυξάνεται η πιθανότητα σχηματισμού ενδοκυτταρικού πάγου. (Μπικάκη 2012)

4.5.6 Ρυθμός κατάψυξης

Ως ρυθμός-ταχύτητα κατάψυξης ορίζεται ο λόγος της διαφοράς μεταξύ της αρχικής και τελικής θερμοκρασίας προς το χρόνο που απαιτείται για να επιτευχθεί η τελική θερμοκρασία. Ο ρυθμός κατάψυξης μπορεί να εκφραστεί ως ρυθμός σχηματισμού πάγου ή ρυθμός μετακίνησης του μετώπου του πάγου στο τρόφιμο και σχετίζεται με το ρυθμό απομάκρυνσης της θερμότητας. (Παπαναστασίου 1990) Η ταχύτητα κατάψυξης, είναι μεγαλύτερη στην επιφάνεια και μικρότερη στο εσωτερικό του καταψυχόμενου προϊόντος. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα κατάψυξης είναι οι διαστάσεις και κυρίως το πάχος του προϊόντος, το ποσό της θερμότητας που αφαιρείται, η θερμική αγωγιμότητα του προϊόντος, η αρχική και τελική του θερμοκρασία, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου και ο συντελεστής συναγωγής (h). Από τους παράγοντες αυτούς καθορίζεται ο σχηματισμός των

κρυστάλλων πάγου και ειδικότερα το μέγεθος, την ποσότητα και τη θέση τους στο τρόφιμο.

Οι ρυθμοί κατάψυξης σε βιομηχανικές εφαρμογές μπορεί να είναι: α) αργοί (0.2-0.5 cm/h), β) μεσαίοι (0.5-3 cm/h), γ) ταχείς (5-10 cm/h) και δ) υπερταχείς (10-100 cm/h). Όταν ο ρυθμός κατάψυξης είναι αργός, η θερμοκρασία των τροφίμων παραμένει σταθερή κοντά στο σημείο κατάψυξης. Ο σχηματισμός κρυστάλλων πάγου είναι επίσης αργός και παρατηρούνται κρύσταλλοι μεγαλύτερου γενικά μεγέθους, σε αντίθεση με την ταχεία κατάψυξη όπου ευνοείται κατεξοχήν ο σχηματισμός μικρών κρυστάλλων ομοιόμορφα κατανεμημένων, παρά η ανάπτυξή τους.

Κατά την κατάψυξη τροφίμων με αργή κατάψυξη ευνοείται ο σχηματισμός εξωκυτταρικών κρυστάλλων πάγου, η συμπύκνωση των εξωτερικών διαλυμάτων και η εμφάνιση των φαινομένων της αφυδάτωσης των κυττάρων και τελικά της αποικοδόμησης των βιολογικών μακρομορίων ή/και των συστατικών της κυτταρικής μεμβράνης. Αντίθετα, η ταχεία κατάψυξη, οδηγεί στο σχηματισμό μικρών κρυστάλλων πάγου στο εσωτερικό των κυττάρων. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να παρατηρηθεί διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης (με συνέπεια την απώλεια της ζωτικότητάς των κυττάρων), μόνο εάν συμβεί ανακρυστάλλωση και ανάπτυξη μεγαλύτερων κρυστάλλων λόγω παρατεταμένης αποθήκευσης υπό κατάψυξη ή αργής απόψυξης σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τα φαινόμενα αυτά και κατά συνέπεια και ο επιθυμητός ρυθμός κατάψυξης εξαρτώνται από τη διαπερατότητα και την ανθεκτικότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων και διαφέρουν ανάλογα με το κύτταρο και ειδικότερα με το μέγεθος, το είδος ή τη σύσταση των κυττάρων. (**Blond and Le Meste 2004, Μπικάκη 2012**)

Όσον αφορά τα διάφορα είδη αλιευμάτων, οι παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η ταχύτητα κατάψυξης είναι:

- **Το είδος του αλιεύματος.** Στα μεγαλύτερα είδη η ταχύτητα κατάψυξης είναι αισθητά μεγαλύτερη.
- **Η χημική σύσταση του αλιεύματος.** Μεγαλύτερη λιποπεριεκτικότητα και μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό συνεπάγονται ταχύτερη κατάψυξη.
- **Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο αλιεύμα και στο ψυκτικό μέσο.** Μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας συνεπάγεται ταχύτερη κατάψυξη.

- **Οι διαστάσεις και το σχήμα του καταψυχόμενου προϊόντος.** Ο ρυθμός κατάψυξης είναι πιο αργός στα πιο παχιά είδη.
- **Η τελική θερμοκρασία του προϊόντος.** Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία κατάψυξης, τόσο μειώνεται και η ταχύτητα της κατάψυξης.
- **Η μέθοδος κατάψυξης.**
- **Το υλικό και οι διαστάσεις συσκευασίας.** Γενικά η κατάψυξη συσκευασμένων προϊόντων διεξάγεται με χαμηλότερους ρυθμούς απ' ό τι στα μη συσκευασμένα. **(Παπαναστασίου 1990)**

4.6 Υπολογισμός του χρόνου κατάψυξης

Ως χρόνος κατάψυξης, ορίζεται ο χρόνος που περιλαμβάνεται από την έναρξη του σταδίου της προκατάψυξης μέχρι την επίτευξη της τελικής θερμοκρασίας του προϊόντος. Για τα βιομηχανικά δεδομένα, χρόνος κατάψυξης είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή της εισαγωγής του προϊόντος στον καταψύκτη έως τη στιγμή που της εξαγωγής του. **(Παπαναστασίου 1990)**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο κατάψυξης είναι:

- 1) Οι διαστάσεις και το σχήμα του προϊόντος και ιδιαίτερα το πάχος του
- 2) Η αρχική και η τελική του θερμοκρασία
- 3) Η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου
- 4) Ο συντελεστής επιφανειακής μεταφοράς θερμότητας του προϊόντος
- 5) Η αλλαγή ενθαλπίας
- 6) Η θερμική αγωγιμότητα του προϊόντος
- 7) Το υλικό συσκευασίας (αν υπάρχει) **(Παπαδέας 1998)**

Είναι πολύ δύσκολο να καθοριστεί ο χρόνος κατάψυξης με ακρίβεια, ωστόσο χρησιμοποιούνται δύο προσεγγίσεις. Ο **αποτελεσματικός χρόνος κατάψυξης** (*effective freezing time*), δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί η θερμοκρασία ενός τροφίμου από μία αρχική τιμή σε μία προκαθορισμένη τελική

θερμοκρασία του θερμικού κέντρου, μετρά το χρόνο που το τρόφιμο βρίσκεται στον καταψύκτη και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διακίνησης-διεξαγωγής της βιομηχανικής επεξεργασίας, ενώ ο **ονομαστικός χρόνος κατάψυξης** (*nominal freezing time*), δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το θερμικό κέντρο θερμοκρασία 10 °C κάτω από τη θερμοκρασία που συνέβη ο σχηματισμός του πρώτου πάγου από τη στιγμή που η επιφάνεια του τροφίμου φτάνει τους 0 °C, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της καταστροφής του προϊόντος (product damage), καθώς δεν λαμβάνει καθόλου υπ' όψιν τις αρχικές συνθήκες ή τους διαφορετικούς ρυθμούς ψύξης στα διάφορα σημεία της επιφάνειας του τροφίμου. **(Fellows 2000 (β))**

Ο υπολογισμός του χρόνου κατάψυξης είναι περίπλοκος για τους ακόλουθους λόγους:

- 1) Διαφορές στην αρχική θερμοκρασία, το μέγεθος και το σχήμα των ξεχωριστών τμημάτων ενός τροφίμου,
- 2) Διαφορές στο σημείο κατάψυξης και στο ρυθμό σχηματισμού παγοκρυστάλλων στις διαφορετικές περιοχές ενός δείγματος τροφίμου,
- 3) Αλλαγές στην πυκνότητα, τη θερμική αγωγιμότητα, την ειδική θερμότητα και τη θερμική διαχυτότητα που επέρχονται της μείωσης της θερμοκρασίας ενός τροφίμου

Ο χρόνος κατάψυξης για ένα συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να μετρηθεί πειραματικά. Ο υπολογισμός του χωρίς πειραματικές μετρήσεις γίνεται συνήθως με την εξίσωση του Planck, η οποία έχει αποδειχθεί πολύτιμη για το σκοπό αυτό. Η εξίσωση αυτή, στη μορφή που παρουσιάζεται παρακάτω ισχύει με τις ακόλουθες παραδοχές:

- 1) Η διαδικασία της κατάψυξης αρχίζει με όλο το νερό που περιέχεται στο τρόφιμο να βρίσκεται σε υγρή κατάσταση, αλλά στο σημείο κατάψυξης.
- 2) Η μεταφορά της θερμότητας λαμβάνει χώρα αρκετά αργά ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύουν οι συνθήκες ισορροπίας.
- 3) Το μέτωπο του πάγου διατηρεί παρόμοιο σχήμα με αυτό του τροφίμου
- 4) Υπάρχει μόνο ένα σημείο κατάψυξης
- 5) Το τρόφιμο έχει σταθερή πυκνότητα

- 6) Η θερμική αγωγιμότητα και η ειδική θερμότητα του τροφίμου είναι σταθερές όταν το τρόφιμο είναι μη κατεψυγμένο και αλλάζουν σε άλλες σταθερές τιμές όταν καταψυχθεί.

Υπό τις προϋποθέσεις αυτές, ο χρόνος κατάψυξης δίνεται από την εξίσωση του Planck:

$$t = \frac{L \cdot \rho}{T_f - T_m} \cdot \left(\frac{P \cdot d}{h} + \frac{R \cdot d^2}{k} \right)$$

όπου:

t: ο χρόνος κατάψυξης (s)

L: η λανθάνουσα θερμότητα πήξης (J/kg)

ρ : η πυκνότητα του προϊόντος (kg/m³)

T_m: η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου (°C)

T_f: το σημείο έναρξης της κατάψυξης (°C)

d: η διάμετρος κυλίνδρου ή σφαίρας ή το πάχος κύβου ή η μικρότερη διάσταση ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου (m)

h: ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m² °C)

k: ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας στην κατεψυγμένη κατάσταση

P: σταθερά (1/6 για σφαίρα ή κύβο, 1/4 για κύλινδρο και 1/2 για ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο)

R: σταθερά (1/24 για σφαίρα ή κύβο, 1/16 για κύλινδρο και 1/8 για ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο). (Παπαδέας 1998)

4.7 Τεχνολογία κατάψυξης τροφίμων

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα συστήματα για την κατάψυξη των τροφίμων, όλα όμως βασίζονται στην ίδια αρχή: την τοποθέτηση του προϊόντος σε επαφή με ένα ψυχρό περιβάλλον. Το ψύχος παράγεται είτε μέσω μηχανικού συστήματος ψύξης είτε με χρήση υγροποιημένων αερίων με χαμηλό σημείο ζέσης (συνήθως κάτω των -100°C) και μεταφέρεται στο προϊόν είτε με άμεση επαφή ή έμμεσα (αγωγή ή μεταφορά), για παράδειγμα υγρό άζωτο. Εκτός από το χρησιμοποιούμενο σύστημα, σημαντική επίδραση στην κατάψυξη έχει το μέγεθος του προϊόντος. Το ποσό θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί εξαρτάται από τον όγκο του, ενώ ο ρυθμός απομάκρυνσής της αποτελεί συνάρτηση της επιφάνειας του τροφίμου και των χαρακτηριστικών μεταφοράς θερμότητας του καταψύκτη (τύπος καταψύκτη).

Τα διάφορα συστήματα κατάψυξης διαφοροποιούνται ως προς τον επιτυγχανόμενο ρυθμό κατάψυξης. Έτσι, με βάση το ρυθμό κατάψυξης, ο εξοπλισμός διακρίνεται ως:

- (α) καταψύκτες χωρίς κυκλοφορία αέρα και θάλαμοι κατάψυξης (αργός ρυθμός),
- (β) καταψύκτες με κυκλοφορία αέρα, σήραγγας και πλάκας (μέτριος ρυθμός),
- (γ) καταψύκτες ρευστοποιημένης κλίνης, εμβάπτισης και αποξέομενης επιφάνειας (ταχύς ρυθμός), ή
- (δ) κρυογονικοί καταψύκτες (υπερταχύς ρυθμός). **(Μπικιάκη 2012)**

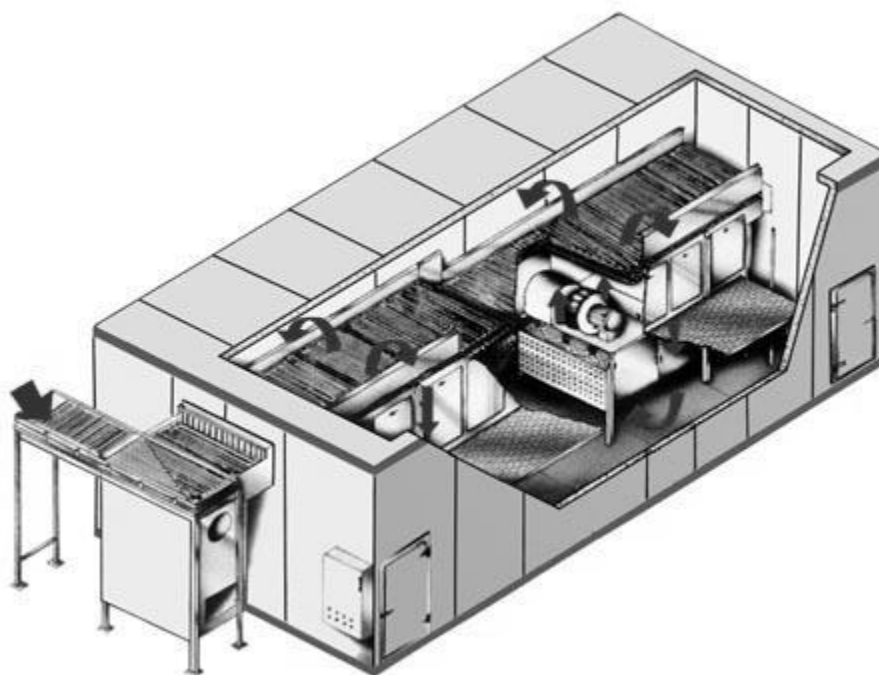
Η επιλογή του εξοπλισμού κατάψυξης πρέπει να γίνεται με βάση τον απαιτούμενο ρυθμό κατάψυξης, το μέγεθος, τη μορφή και τις ανάγκες συσκευασίας των τροφίμων όπως και τις απαιτήσεις της παραγωγικής διαδικασίας (ασυνεχής ή συνεχής λειτουργία).

Οι καταψυκτικές που χρησιμοποιούνται για τα τρόφιμα διακρίνονται σε τρεις τύπους: 1) τους καταψυκτικές με προσφύσηση αέρα (Cooled-air freezers), 2) τους καταψυκτικές επαφής με στερεές επιφάνειες (Cooled-surface freezers) και 3) τους καταψυκτικές εμβάπτισης σε υγρά ή ψεκασμού με υγρά (Cooled-liquid freezers).

4.7.1 Καταψυκτήρες με προσφύση αέρα

Οι καταψυκτήρες αυτού του είδους χρησιμοποιούν ψυχρό αέρα σε διάφορες ταχύτητες και σχεδιάζονται ανάλογα με τα προϊόντα που πρόκειται να καταψυχθούν. Χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία λόγω της ευελιξίας χρήσης τους για διάφορα προϊόντα. Η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μεταξύ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η ταχύτητά του σε ευρύτατα όρια από 0.5 έως 18 m/s. Το ρεύμα αέρα δημιουργείται από ισχυρούς ανεμιστήρες και διέρχεται από τα καταψυχόμενα προϊόντα κατ'αντιρροή ή εγκάρσια προς αυτά. Η μεταφορά θερμότητας από την επιφάνεια του τροφίμου προς τον αέρα γίνεται με συναγωγή και ο επιφανειακός συντελεστής εξαρτάται από τη ροή και την ταχύτητα του αέρα. Η τιμή του σε κάθε περίπτωση μπορεί να υπολογιστεί από εμπειρικές εξισώσεις ή από πίνακες της βιβλιογραφίας. Γενικά στους καταψυκτήρες με πρόσφυση αέρα κυμαίνεται μεταξύ 10 και $67\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Στις μεγάλες μονάδες επεξεργασίας χρησιμοποιούνται συστήματα συνεχούς λειτουργίας (cold stores) που είτε αποτελούνται από μία σήραγγα μέσω της οποίας διακινείται το τρόφιμο με κατάλληλη διάταξη, είτε χρησιμοποιούν την αρχή της ρευστοαιώρησης. Στις σήραγγες κατάψυξης, τα προϊόντα μεταφέρονται είτε σε κυλιόμενα φορεία με ράφια προωθούμενα μηχανικά, είτε πάνω σε διάτρητες μεταφορικές ταινίες, είτε, στην περίπτωση τεμαχίων κρέατος μεγάλων διαστάσεων, αναρτημένα από ράγες στην οροφή. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μεταφορική ταινία αντί για κυλιόμενα φορεία με ράφια, απαιτείται μεγάλο μήκος της ταινίας μέσα στο θάλαμο. Για εξοικονόμηση χώρου χρησιμοποιείται κατάλληλη ελικοειδής διάταξη. Οι μεταφορικές ταινίες κατασκευάζονται συνήθως από μεταλλικό πλέγμα.



Εικόνα 4.2 Καταψυκτήρας σήραγγας

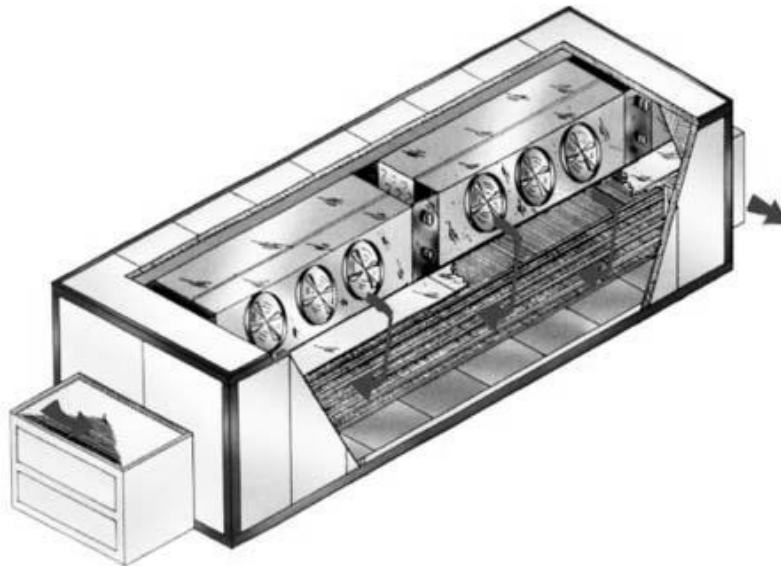
Ένα βασικό πρόβλημα των καταψυκτών αυτών είναι ο σχηματισμός του πάγου στο δάπεδο, στους τοίχους και στα πηνία των εξατμιστήρων (evaporator coils), που προκαλείται από την υγρασία του αέρα ή από τα μη συσκευασμένα προϊόντα που βρίσκονται εντός. Το φαινόμενο αυτό μειώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος κατάψυξης, καταναλίσκει την ενέργεια που θα χρησιμοποιείτο για την ψύξη, δημιουργεί πιθανά ατυχήματα λόγω ολισθηρών συνθηκών εργασίας και πτώσης κομματιών πάγου, ενώ απαιτεί συχνή απόψυξη των πηνίων των εξατμιστήρων. Οι Weller και Mills (1999) περιέγραψαν έναν ξηραντικό αφυγραντήρα, ο οποίος αφαιρεί την υγρασία του αέρα ενώ μπαίνει στο χώρο, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο σχηματισμός πάγου, καθώς και το μέγεθος των ανεμιστήρων και η ενέργεια που απαιτούνται για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του καταψυκτήρα.

4.7.2 Καταψυκτικές επαφές με στερεές επιφάνειες

Οι καταψυκτικές αυτοί αποτελούνται από κοίλες πλάκες 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. Οι καταψυκτικές αυτού του τύπου έχουν μικρότερη απαίτηση σε χώρο και μικρότερη κατανάλωση ισχύος σε σύγκριση με τους καταψυκτικές με προσφύση αέρα. Η λειτουργία τους μπορεί να είναι ασυνεχής ή συνεχής.

Οι καταψυκτικές με οριζόντιες πλάκες ασυνεχούς λειτουργίας φέρουν επάλληλες πλάκες και τα προϊόντα φορτώνονται σε μεταλλικούς δίσκους με διαστάσεις κατάλληλες, ώστε να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά όλη η επιφάνεια των πλακών. Μετά τη φόρτωση οι πλάκες κλείνουν με υδραυλικό έμβολο και διατηρείται χαμηλή πίεση (10-30 kN/m²) κατά τη διάρκεια της κατάψυξης για να εξασφαλίσει καλή επαφή των πλακών με τα προϊόντα. Η απόσταση μεταξύ των πλακών καθορίζεται με ράβδους για να αποφευχθεί η μηχανική κάκωση των προϊόντων σε περίπτωση εσφαλμένου κλεισίματος. Καταψυκτικές με κατακόρυφες πλάκες ασυνεχούς λειτουργίας είναι κατάλληλοι για ψύξη μη συσκευασμένων τροφίμων, όπως ψαριών και κρέατος. Τα τρόφιμα τοποθετούνται απευθείας ανάμεσα στις πλάκες και σχηματίζουν συμπαγή στερεά κομμάτια. Μετά το πέρας της διεργασίας οι πλάκες θερμαίνονται, ώστε να αποκολληθούν τα κατεψυγμένα τρόφιμα και, ταυτόχρονα, να καθαριστούν οι επιφάνειες των πλακών.



Εικόνα 4.3 Καταψυκτικής με πλάκες

Στα συνεχή συστήματα, οι πλάκες φορτώνονται και εκφορτώνονται ανά στοιβάδα με κατάλληλες διατάξεις. Τα προϊόντα τροφοδοτούνται μέσω μεταφορικού ιμάντα ανάμεσα σε δύο πλάκες και μετά την κατάψυξη εκφορτώνονται, με άνοιγμα των δύο πλακών, σε ιμάντα απομάκρυνσης.

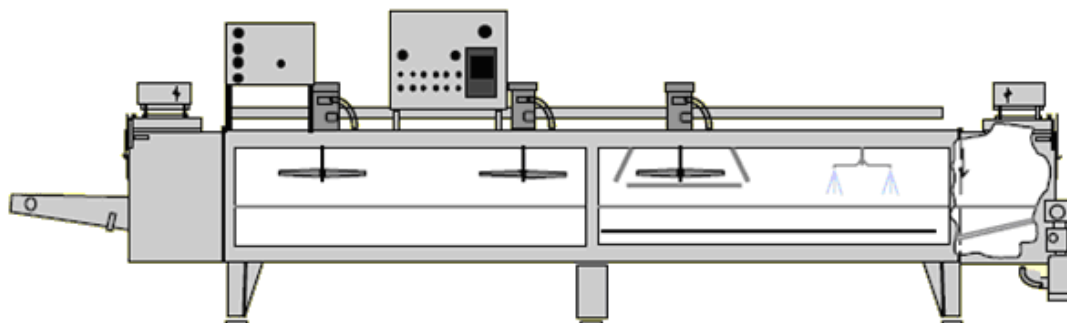
Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των επιφανειών των πλακών και των τροφίμων πρέπει να είναι υψηλός και ομοιόμορφος για αποτελεσματική λειτουργία. Αυτό εξασφαλίζεται με καλή επαφή μεταξύ των επιφανειών και απουσία πάγου ή αποθεμάτων στις επιφάνειες των πλακών. Επίσης, εξαρτάται από το σχεδιασμό των ίδιων των πλακών του καταψυκτήρα. Η χρήση πλακών από κράματα αλουμινίου έχει βελτιώσει πολύ την αποτελεσματικότητα των καταψυκτήρων.

Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου είδους εξοπλισμού περιλαμβάνουν καλή οικονομία και χρήση του χώρου, σχετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας συγκριτικά με άλλες μεθόδους, μικρή αφυδάτωση του προϊόντος και, επομένως, ελάχιστη απόψυξη των συμπακνωτών, και υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας. Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι το σχετικά υψηλό κόστος κεφαλαίου και οι περιορισμοί στο μέγεθος των τροφίμων σε αυτά που είναι επίπεδα και σχετικά λεπτά.

4.7.3 Καταψυκτικές επαφής με υγρά (με ψεκάσμο ή εμβάπτιση)

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην άμεση επαφή του προϊόντος με ένα ψυκτικό υγρό χαμηλής θερμοκρασίας που συνεπάγεται την ταχύτερη κατάψυξή του. Στην περίπτωση χρήσης υγρών με πολύ χαμηλό σημείο βρασμού χρησιμοποιείται ο όρος *κρυογόνος κατάψυξη*. Τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται στην κρυογόνο κατάψυξη είναι κυρίως το υγρό άζωτο (σ.ζ. $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) και δευτερευόντως το υγρό διοξείδιο του άνθρακα (σ.ζ. $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$). Στις περισσότερες περιπτώσεις αξιοποιείται και η λανθάνουσα και η αισθητή θερμότητα του κρυογόνου μέσου με διακίνηση του καταψυχόμενου προϊόντος κατ' αντιρροή προς αυτό. Έτσι το προϊόν έρχεται αρχικά σε επαφή με το ψυχρό αέριο και η θερμοκρασία του μειώνεται σημαντικά πριν να έρθει σε επαφή με το ψεκαζόμενο υγρό. Εμβάπτιση σε υγρό άζωτο δεν χρησιμοποιείται, επειδή ο ρυθμός κατάψυξης δεν είναι ελεγχόμενος και δεν αξιοποιείται και η αισθητή θερμότητα του ψυκτικού μέσου. Ένα άλλο κρυογόνο μέσο που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το Freon 12 ειδικής καθαρότητας με σημείο ζέσεως $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Λόγω της πολύ υψηλότερης τιμής του σημείου ζέσεως, συνήθως το προϊόν εμβαπτίζεται αρχικά σε υγρό Freon 12 για επιφανειακή κατάψυξη και στη συνέχεια

ψεκάζεται με αυτό για την ολοκλήρωση της κατάψυξης. Η χρήση του Freon 12 έχει απαγορευθεί για περιβαλλοντικούς λόγους.



Εικόνα 4.4 Κρυογονικός καταψύκτης

Εκτός της κρυογόνου κατάψυξης στην κατάψυξη με εμβάπτιση χρησιμοποιούνται κυρίως αλατοδιαλύματα, υδατικά διαλύματα σακχάρων και γλυκερίνης. Τα διαλύματα αυτά ψύχονται με καθ' αυτό κρυογόνα. Στην κατάψυξη αρτοσκευασμάτων τροφίμων πρέπει το ψυκτικό υγρό να είναι συμβατό με τη γεύση του τροφίμου. Συνήθως, αλατοδιαλύματα χρησιμοποιούνται για την κατάψυξη ψαριών και ζαχαροδιαλύματα για την κατάψυξη φρούτων. Τα συσκευασμένα τρόφιμα καταψύχονται σε διατάξεις συνεχούς λειτουργίας όπου τα δοχεία προωθούνται (περιστρεφόμενα για ταχύτερη μεταφορά θερμότητας) κατ' αντιστροφή προς το ψυκτικό υγρό. Το κύριο πρόβλημα στους καταψυκτικές εμβάπτισης (immersion freezers) είναι η διατήρηση σταθερής πυκνότητας του ψυκτικού μέσου και η σταδιακή ρύπανσή του κατά τη χρήση.

Η μεταφορά θερμότητας από την επιφάνεια του καταψυχόμενου τροφίμου σε αυτούς τους καταψυκτικές γίνεται με συναγωγή και οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας υπολογίζονται από εμπειρικές εξισώσεις όπως και στους καταψυκτικές προσφύσεως αέρα ή από πίνακες της βιβλιογραφίας. Ενδεικτικές τιμές κυμαίνονται μεταξύ 420 και 440 W/m² °C για έντονα αναδεδυμένο αλατοδιάλυμα. Πιο πολύπλοκο είναι το φαινόμενο μεταφοράς θερμότητας στην κρυογόνο κατάψυξη όπου τα υγρά βράζουν σε επαφή με την επιφάνεια του τροφίμου. Ο ρυθμός απαγωγής θερμότητας σε αυτή την περίπτωση εξαρτάται από τη θερμοκρασία της επιφάνειας του τροφίμου.

Οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας έχουν υπολογισθεί ως συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του τροφίμου και της θερμότητας κορεσμού του κρυογόνου μέσου, και κυμαίνονται από 200 έως 500 W/m² °C για το υγρό άζωτο και από 200 έως 8000 W/m² °C για το Freon 12. (Ταούκης και Ωραιοπούλου, 2009)

4.8 Μεταβολές των κατεψυγμένων τροφίμων κατά την αποθήκευση

4.8.1 Φυσικές μεταβολές

Οι φυσικές μεταβολές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, οι οποίες ενισχύουν τη μετανάστευση υγρασίας και επηρεάζουν την κατανομή του μεγέθους των κρυστάλλων στα τρόφιμα. Οι κρύσταλλοι του πάγου είναι σχετικά ασταθείς και έχουν την τάση να συνενώνονται, όταν πλησιάζουν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να υφίστανται μεταβολές ως προς το μέγεθος, το σχήμα, τη μορφή, τον προσανατολισμό ή την ποσότητά τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως ανακρυστάλλωση, αποδίδεται στη διαφορά της επιφανειακής ενέργειας μεταξύ πάγου και υπέρκορου διαλύματος. Επίσης, κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη μπορεί να συμβεί εξάχνωση πάγου, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των τροφίμων και των ψυχρότερων μερών του θαλάμου αποθήκευσης, η οποία οδηγεί σε επιφανειακή ξήρανση/αφυδάτωση και σε εμφάνιση των λεγομένων εγκαυμάτων κατάψυξης.

4.8.1.1 Μετανάστευση υγρασίας

Κατά την κατάψυξη έχει παρατηρηθεί μετανάστευση της περιεχόμενης υγρασίας των κυττάρων προς το εξωτερικό μέσω ωσμωτικού μηχανισμού. Κατά την αποθήκευση των κατεψυγμένων προϊόντων, κινητήρια δύναμη του φαινομένου αποτελεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ θερμικού κέντρου και επιφάνειας του τροφίμου, η

οποία έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορά τάσης ατμών. Η μετανάστευση έχει ως αποτέλεσμα κατά την απόψυξη του προϊόντος τη δημιουργία ασυνέχειας στη δομή του η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε απώλεια θρεπτικών ουσιών, μεταβολή της υφής και αλλοίωση της εμφάνισής του. Οι απώλειες βάρους κατά την ψύξη και απόψυξη προϊόντων έχουν οικονομικές συνέπειες.

Η αποβολή υγρασίας μετριάζεται από την καλή συντήρηση των τροφίμων, ώστε να μην υπάρχουν μεγάλες μεταβολές θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση αυτών. Οι μεταβολές θερμοκρασίας οδηγούν στην αποβολή της υγρασίας στην επιφάνεια του τροφίμου. Όμως η ανακατανομή της υγρασίας κατά την απόψυξη είναι απίθανη, γι' αυτό και η διαδικασία θεωρείται μη αναστρέψιμη. **(Μπικιάκη 2012)**

4.8.1.2 Ανακρυστάλλωση πάγου

Ως ανακρυστάλλωση ορίζεται η αύξηση του μέσου μεγέθους των παγοκρυστάλλων του τροφίμου. Κινητήρια δύναμη του φαινομένου αυτού είναι η διαφορά της επιφανειακής τάσης των δύο κρυστάλλων που οδηγεί στη συνένωσή τους. Η ανακρυστάλλωση έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος, προκαλώντας περαιτέρω φυσικοχημικές αλλαγές σε αυτό και αλλοιώνοντας τα χαρακτηριστικά του.

Η ανακρυστάλλωση συντελείται σε σταθερή θερμοκρασία και επιταχύνεται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι εξαγωνικοί κρύσταλλοι, οι οποίοι είναι και οι πιο σταθεροί, έχουν τάση για συνένωση, ενώ οι μικρότεροι διαλύονται. Η αύξηση της διαμέτρου των παγοκρυστάλλων κατά την ανακρυστάλλωση οδηγεί στην επανακατανομή της υγρασίας στο τρόφιμο, διότι με την αύξηση της θερμοκρασίας οι μικρότεροι κρύσταλλοι τήκονται και με την πτώση, πάλι, της θερμοκρασίας αδυνατούν να διαμορφωθούν, διότι τη θέση τους έχουν καταλάβει οι μεγαλύτεροι παγοκρύσταλλοι. **(Μπικιάκη 2012)**

Οι κύριοι μηχανισμοί ανακρυστάλλωσης περιλαμβάνουν:

- 1) την προσυζητική, όπου δύο γειτονικοί παγοκρύσταλλοι συνενώνονται για να δημιουργήσουν ένα μεγαλύτερο κρύσταλλο, γεγονός που προκαλεί μείωση στο συνολικό αριθμό των κρυστάλλων στο τρόφιμο
- 2) τη μεταναστευτική (φαινόμενο "Ostwald"), όπου αυξάνεται το μέσο μέγεθος και μειώνεται ο μέσος αριθμός των κρυστάλλων, λόγω της ανάπτυξης των μεγαλύτερων κρυστάλλων σε βάρος των μικρότερων.
- 3) την ισο-μαζική, όπου προκαλείται από αλλαγή στο σχήμα της επιφάνειας ή της εσωτερικής δομής, καταλήγοντας συνήθως σε χαμηλότερη αναλογία επιφάνειας-όγκου
- 4) την προκαλούμενη λόγω πίεσης ανακρυστάλλωση,

Από τις παραπάνω, σημαντικότερες για την ποιότητα των κατεψυγμένων προϊόντων θεωρούνται οι δύο πρώτες. (**Blond and Le Meste, 2004**)

4.8.2 Χημικές μεταβολές

Στις συνήθεις συνθήκες αποθήκευσης υπό κατάψυξη, ορισμένες ποσότητες νερού παραμένουν σε ρευστή κατάσταση στα τρόφιμα, με αποτέλεσμα κάποιες χημικές και ενζυμικές αντιδράσεις να εξακολουθούν να πραγματοποιούνται. Οι πιο συνηθισμένες χημικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και αποθήκευσης είναι η οξείδωση των λιπιδίων, το ενζυμικό μαύρισμα, η υποβάθμιση της γεύσης/αρώματος (flavour), η μετουσίωση των περιεχόμενων πρωτεϊνών και η μείωση της περιεκτικότητας σε βιταμίνες. Η κατάψυξη μπορεί να επιφέρει ασυνήθιστα αποτελέσματα στη χημική σύσταση των τροφίμων. Οι χαμηλές θερμοκρασίες και η συγκέντρωση των αντιδρώντων στη μη κατεψυγμένη φάση αποτελούν τους κύριους παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τις αλλαγές στο ρυθμό των ενζυμικών και μη αντιδράσεων κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Οι κρύσταλλοι προκαλούν την απελευθέρωση εγκλεισμένων ενζυμικών και χημικών ουσιών, προκαλώντας υποβάθμιση της ποιότητας του τροφίμου. Τέλος, η συμπεριφορά των ενζύμων εξαρτάται από τη φύση τους, τα χαρακτηριστικά και τη συγκέντρωση των ουσιών του συστήματος, το pH και τη θερμοκρασία.

Παρακάτω αναλύονται οι βασικότερες χημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στα τρόφιμα κατά την κατάψυξή τους.

4.9 Αφυδάτωση των κατεψυγμένων τροφίμων

Η κύρια φυσική αλλαγή που προκύπτει κατά την αποθήκευση των κατεψυγμένων τροφίμων είναι το αποτέλεσμα της μετανάστευσης του νερού. Στο εσωτερικό ενός προϊόντος υπάρχει πάντα μερική διαφορά στην τάση ατμών του νερού εξαιτίας της βαθμίδας θερμοκρασίας ή διαφοράς στην ενέργεια των επιφανειών του τροφίμου και της συσκευασίας. Καθώς τα μόρια του νερού δεν ακινητοποιούνται πλήρως από τις χαμηλές θερμοκρασίες, μπορεί να παρατηρηθεί μία σημαντική ανακατανομή του στα κατεψυγμένα προϊόντα εξαιτίας της διάρκειας της αποθήκευσης. Η μετανάστευση του νερού προκαλεί είτε αλλαγές στο περιεχόμενο του νερού ή αλλαγές στο μέγεθος των παγοκρυστάλλων, που ονομάζεται ανακρυστάλλωση. Η μετανάστευση του νερού εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία και προκύπτει σε κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης, παρόλο που οι ευνοϊκές συνθήκες (όπως η χαμηλή θερμοκρασία και η μη ύπαρξη διακυμάνσεων θερμοκρασίας) ελαχιστοποιούν τη σημασία της. (**Blond and Le Meste, 2004**)

4.9.1 Μετανάστευση με αλλαγή στο υδατικό περιεχόμενο

Η μετανάστευση του νερού μπορεί να αντιστοιχεί είτε σε απώλεια νερού μέσω επιφανειακής αφυδάτωσης ή σε μόνο μία τοπική αλλαγή του νερού όσον αφορά τα προϊόντα με ετερογενές περιεχόμενο νερού. Η επιφανειακή αφυδάτωση συνεισφέρει στην αφυδάτωση που υπόκειται το τρόφιμο κατά την κατάψυξη, η οποία μπορεί να ποικίλει από σχεδόν καθόλου για τα συσκευασμένα προϊόντα και την κρυογονική ψύξη έως 3–4% για τα μη συσκευασμένα προϊόντα και τους ανεπαρκώς σχεδιασμένους καταψύκτες. Αυτές οι απώλειες υγρασίας έχουν την ίδια προέλευση, δηλαδή μία διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του προϊόντος και της περικλειόμενης ατμόσφαιρας, οδηγώντας σε μία διαφορά στην πίεση του νερού, η οποία παράγει μία ροή μορίων νερού από την επιφάνεια του κατεψυγμένου προϊόντος σε μία ψυχρότερη περιοχή.

Η εξάχνωση (sublimation) του πάγου εξελίσσεται κατά την αποθήκευση και κορυφώνεται όταν η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι υψηλότερη. Ένα κοινό

παράδειγμα παρατηρείται στα κατεψυγμένα φρούτα και λαχανικά που δεν προστατεύονται από διάφανη μεμβράνη σε στενή επαφή με αυτά. Οι μεμβράνες κρυσταλλώνουν γρηγορότερα από την επιφάνεια του προϊόντος, ορίζοντας έτσι μία βαθμίδα υδατικής πίεσης. Εξαιτίας αυτού, μία μικρή ποσότητα εξατμισμένου νερού μεταναστεύει από το προϊόν στην εσωτερική επιφάνεια της συσκευασίας. Όταν η θερμοκρασία κατάψυξης αυξάνει, η διαδικασία αντιστρέφεται και οι υδρατμοί συμπυκνώνονται στην επιφάνεια του προϊόντος. Η αφυδάτωση θεωρείται αναντίστροφη και, επομένως, η επαναπορρόφηση του νερού από το προϊόν είναι αδύνατη. Το νερό που αφαιρέθηκε κρυσταλλοποιείται και παραμένει στο εσωτερικό της συσκευασίας με τη μορφή πάγου. Καθώς ο κύκλος επαναλαμβάνεται, η συσσώρευση του πάγου στη συσκευασία γίνεται αισθητή, καθώς το φαινόμενο ενισχύεται από τη συχνότητα και το εύρος των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων. **(Blond and Le Meste, 2004)**

4.9.2 Συνέπειες και αντιμετώπιση του φαινομένου

Οι συνέπειες μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο σημαντικές ανάλογα με το εκάστοτε προϊόν, καθώς η απώλεια νερού μπορεί να μειώσει το βάρος του, έχοντας ως επακόλουθο τη μείωση της αγοραστικής του αξίας (π.χ. μεγάλα κομμάτια κρέατος που πωλήθηκαν πριν λάβει χώρα το φαινόμενο). Γενικά, η αφυδατωμένη επιφάνεια ενός προϊόντος μειώνει την ελκυστικότητά του απέναντι στον καταναλωτή. Το κρέας φαίνεται πιο σκούρο όταν καταψύχεται, εφόσον το οξυγόνο δεν δύναται να παράγει το λαμπερό κόκκινο χρώμα της οξυμυογλοβίνης (παρόλο που το χρώμα αποκαθίσταται με την απόψυξη). Η επιφανειακή αφυδάτωση σε τέτοια προϊόντα μπορεί να οδηγήσει σε ένα σημαντικό ελάττωμα γνωστό ως έγκαυμα ψύξης (freezer burn), ιδιαίτερα στα κομμάτια κρέατος και πουλερικών που αποθηκεύονται χωρίς επαρκή συσκευασία. Στις αφυδατωμένες επιφάνειες εμφανίζονται ‘γκριζωπά μπαλώματα’, διότι η εξαφάνιση των παγοκρυστάλλων λόγω εξύψωσης σχηματίζει μικρές κοιλότητες στην επιφάνεια που εμφανίζονται γκριζωπές εξαιτίας της διασποράς του φωτός.

Στην περίπτωση των θαλασσινών, η αφυδάτωση στα μη προστατευμένα ψάρια μπορεί να οδηγήσει σε αναντίστρεπτη απώλεια ποιότητας όταν η επιφάνεια του ψαριού γίνεται ξηρή με μία ‘‘ξυλώδη’’ υφή. Η αφυδάτωση μπορεί, επίσης, να προκαλέσει μεγέθυνση των πόρων του δέρματος, συστολή των επιφανειακών μυών του ψαριού, καθώς και να επιτρέψει την είσοδο του αέρα, με αποτέλεσμα την οξείδωση των λιπών και, ως συνέπεια, την αύξηση του ρυθμού ταγγισμού και αποχρωματισμού. **(Παπαναστασίου 1990)**

Οι αφυδατωμένες επιφάνειες των λαχανικών μπορεί να φαίνονται καθαρότερες πριν την απόψυξη, ωστόσο αλλαγές στο χρώμα συμβαίνουν, κυρίως, από αντιδράσεις οξείδωσης. Όταν η επιφάνεια του προϊόντος αποτελείται από μία, αδιαπέραστη στην υγρασία, στοιβάδα, όπως το λίπος του κρέατος, τότε η απώλεια της υγρασίας θα είναι μικρότερη από ότι στα άπαχα προϊόντα. Η απώλεια βάρους εξαρτάται, επίσης, από το μέγεθος και το είδος της εκτιθέμενης επιφάνειας. Για παράδειγμα, τα προϊόντα με τραχεία επιφάνεια τείνουν να χάσουν περισσότερο βάρος από τα προϊόντα με λεία επιφάνεια.

Οι επιδράσεις της αφυδάτωσης εξαφανίζονται σχεδόν τελείως κατά την απόψυξη και το μαγείρεμα, εκτός εάν το προϊόν είχε αποθηκευτεί σε κακές συνθήκες και η αφυδάτωση ήταν αρκετά έντονη. Ωστόσο, η εμφάνιση του φαινομένου στη φάση κατάψυξης πρέπει να λαμβάνεται περισσότερο υπ’ όψιν, καθώς είναι καθοριστικό για το αν ο καταναλωτής θα αποφασίσει να αγοράσει τελικά το προϊόν. Επιπλέον, η τήξη του πάγου κατά την απόψυξη προκαλεί μία ανεπιθύμητη εμφάνιση, όταν εμφανίζεται μία υγρή στοιβάδα στην επιφάνεια του προϊόντος. Σήμερα, τα ελαττώματα αυτά παρατηρούνται σπάνια, διότι οι επαρκείς συσκευασίες αποτρέπουν την αφυδάτωση των τροφίμων. Κάθε προϊόν που πρόκειται να αποθηκευτεί υπό κατάψυξη για μία παρατεταμένη χρονική περίοδο πρέπει να είναι περιτυλιγμένο. Χρησιμοποιούνται αδιαπέραστες από την υγρασία μεμβράνες που προσφέρουν σημαντική προστασία απέναντι στην απώλεια υγρασίας, ωστόσο τα προϊόντα πρέπει να συσκευάζονται με τον ελάχιστο ελεύθερο χώρο, ώστε να μειωθεί το πάγωμα. Η συσκευασία υπό κενό, η οποία εξασφαλίζει τη μέγιστη επαφή της μεμβράνης με το προϊόν, καταστέλλει το πάγωμα και περιορίζει τη θερμική βαθμίδα. Η χρήση της, βέβαια είναι περιορισμένη, διότι είναι ακριβότερη και δεν ταιριάζει στα πιο ευαίσθητα προϊόντα. Η επιφανειακή αφυδάτωση μπορεί, επίσης, να περιοριστεί μέσω της επικάλυψης του προϊόντος με

μία συνεχή μεμβράνη πάγου ή glaze (πόσιμη προστατευτική επικάλυψη). (**Blond and Le Meste, 2004**)

4.10 Οξείδωση των λιπών κατά την κατάψυξη

Η οξείδωση των λιπών λαμβάνει χώρα, συγκριτικά περισσότερο κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη από ότι κατά την ψύξη, ακόμα και σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες από τους 0 °C, όπου οι αντιδράσεις επιβραδύνονται εξαιρετικά. Όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, τα λιπαρά των τροφίμων μπορεί να οξειδωθούν τόσο με ενζυμικούς όσο και με μη ενζυμικούς μηχανισμούς. Ένα από τα ένζυμα τα οποία θεωρούνται σημαντικά στην οξείδωση των λιπιδίων είναι η λιποξυγενάση, η οποία βρίσκεται σε ιστούς πολλών φυτών και ζώων και έχει αποδειχθεί ότι παραμένει ενεργή κατά την κατάψυξη σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το γεγονός αυτό δεν αφορά μόνο τους πλούσιους σε λιπίδια ζωικούς ιστούς, αλλά συμβαίνει συχνά και στα φυτικά προϊόντα. Η λιποξυγενάση ευθύνεται κυρίως για την υποβάθμιση της γεύσης των μη λευκασμένων κατεψυγμένων λαχανικών.

Για τους ζωικούς ιστούς, η σύνθεσή τους έχει σημαντική επίδραση στη σταθερότητα αποθήκευσης των κατεψυγμένων προϊόντων. Τα ψάρια αποτελούν το καλύτερο παράδειγμα, καθώς η διάρκεια ζωής τους σχετίζεται με το περιεχόμενο λίπος τους: τα λιπαρά ψάρια έχουν διάρκεια ζωής 4–6 μήνες στους -18 °C, ενώ τα άπαχα μπορούν να διατηρηθούν για διάστημα 7–12 μηνών. Το λίπος του χοιρινού, από την άλλη, περιέχει υψηλότερο ποσοστό ακόρεστων λιπαρών οξέων από το μοσχάρι, το αρνί και το κοτόπουλο, συνεπώς έχει και μικρότερη διάρκεια ζωής. (**Nikoo and Benjakul, 2015**)

Στα κατεψυγμένα ψάρια η οξείδωση των λιπών οφείλεται στη δράση του οξυγόνου του αέρα, συνεπώς ευνοείται με οποιαδήποτε διεργασία αυξάνει τον όγκο του αέρα που έρχεται σε επαφή με τα κατεψυγμένα ψάρια, όπως ο τεμαχισμός (αύξηση της επιφάνειάς τους), η μακροχρόνια αποθήκευση και η πορώδης επιφάνεια του ψαριού, οφειλόμενη στην αφυδάτωση και την πρωτεϊνική μετουσίωση. Η οξείδωση αφορά

περισσότερο τα λίπη που βρίσκονται κάτω από το δέρμα, καθώς είναι περισσότερο εκτεθειμένα από αυτά που βρίσκονται στους μύς, ενώ εξαρτάται και από τη φύση των λιπών των κατεψυγμένων ψαριών. Είναι ταχύτερη σε είδη που περιέχουν περισσότερα ακόρεστα οξέα και ελεύθερα λιπαρά οξέα.

Σύμφωνα με τον Banks (1950), η οξειδωση των λιπών των ψαριών ενεργοποιείται από την παρουσία των συστατικών του αίματος (αιμογλοβίνη, αιματίνη, μεθαιμογλοβίνη, μεταμυογλοβίνη, κυτόχρωμα C), με αποτέλεσμα, τα ψάρια με κόκκινους μύς να οξειδώνονται ταχύτερα από αυτά με λευκό κρέας, λόγω της περιεκτικότητάς τους σε αιμογλοβίνη, μυογλοβίνη και κυτόχρωμα. **(Παπαναστασίου 1990)**

4.11 Επίδραση της κατάψυξης στις πρωτεΐνες

4.11.1 Μετουσίωση των πρωτεϊνών των τροφίμων

Η διαμόρφωση των πρωτεϊνών προέρχεται από τη δευτεροταγή και την τεταρτοταγή δομή τους. Ως αποτέλεσμα, οποιαδήποτε κατεργασία των πρωτεϊνών με συμπυκνωμένα διαλύματα αλάτων, οργανικούς διαλύτες, θέρμανση και ψύξη μπορεί να τροποποιήσει αυτή τη διαμόρφωση. Η μετουσίωση είναι ένα φαινόμενο επεξεργασίας, κατά το οποίο προκύπτει μία καινούρια διαμόρφωση. Οι επιδράσεις της πρωτεϊνικής μετουσίωσης είναι πολυάριθμες: μειωμένη διαλυτότητα, μεταβαλλόμενη ικανότητα δέσμευσης νερού, απώλεια βιολογικής δραστηριότητας (ιδιαίτερα της ενζυμικής) και ικανότητα σχηματισμού πηγμάτων, καθώς και αυξημένη ευαισθησία σε προσβολή από πρωτεάσες εξαιτίας της αποκάλυψης των πεπτιδικών δεσμών στις ξεδιπλωμένες δομές. **(Μπικάκη 2012)**

Η ευαισθησία μίας πρωτεΐνης στη μετουσίωση σχετίζεται με την ετοιμότητα με την οποία ο μετουσιωτικός παράγοντας διαρρηγνύει τις σταθεροποιητικές αλληλεπιδράσεις. Εφόσον οι τελευταίες ποικίλουν ανάλογα με το είδος της πρωτεΐνης, το αποτέλεσμα της διαχείρισης υπό ίδιες συνθήκες θα ποικίλει. Η

σκλήρυνση και η φτωχή κατακράτηση νερού που παρατηρείται σε ορισμένα είδη ψαριών, η κατακρήμνιση των μικκυλίων (micells) καζεΐνης στο γάλα και η ζελατινοποίηση των λιποπρωτεϊνών του κρόκου αυγού είναι αποτελέσματα της θραύσης των δεσμών υδρογόνου πρωτεϊνών-νερού και της αύξησης των αλληλεπιδράσεων πρωτεΐνης-πρωτεΐνης στο κατεψυγμένο προϊόν.

4.11.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μετουσίωση

Αρκετές υποθέσεις έχουν προταθεί για να εξηγήσουν τη μετουσίωση των μυϊκών πρωτεϊνών. Αυτές οι υποθέσεις περιλαμβάνουν:

- 1) τις επιδράσεις ανόργανων αλάτων που συγκεντρώνονται στην υγρή φάση στο σύστημα ψύξης,
- 2) σχέσεις με την ενεργότητα του νερού,
- 3) αντιδράσεις με λιπίδια
- 4) αντιδράσεις με φορμαλδεΰδη που παράγεται από τριμεθυλαμίνη (στα ψάρια),
- 5) αυτοξειδωση,
- 6) επιφανειακές επιδράσεις στη διεπαφή στερεού-αερίου,
- 7) επιδράσεις βαρέων μετάλλων και
- 8) επιδράσεις άλλων υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών (όπως οι πρωτεάσες).

Από τις παραπάνω υποθέσεις, οι επιδράσεις των λιπιδίων, της φορμαλδεΰδης και της διεπαφής στερεού-αερίου είναι ιδιαίτερα σημαντικές στα γαδοειδή ψάρια. Η μετουσίωση των μυϊκών πρωτεϊνών που προκαλείται από ελεύθερα λιπαρά οξέα και/ή λιπαρά υπεροξειδία πρέπει να προκύπτει κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη. Προς απόδειξη, οι Jarenback και Liljemark έδειξαν με ηλεκτρονική μικροσκοπία ότι, κατά την αποθήκευση μυών υπό κατάψυξη με προσθήκη λινελαϊκών και λινολενικών υδροπεροξειδίων, η μυοσίνη έγινε ανθεκτική στην εκχύλιση με διάλυμα άλατος. Ωστόσο, πρόσφατα αποτελέσματα στην προετοιμασία απομονωμένων πρωτεϊνών

δείχνουν ότι οι πρωτεΐνες υφίστανται μετουσίωση κατά την απουσία λιπιδίων, φορμαλδεΐδης, βαρέων μετάλλων και υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών. (**Matsumoto 1979**)

4.11.3 Μετουσίωση κατά την κατάψυξη

Κατά την κατάψυξη των μυϊκών τροφίμων, η μετακίνηση της υγρασίας από το εσωτερικό στο εξωτερικό των κυττάρων έχει ως αποτέλεσμα να διαταράσσεται η ισορροπία μεταξύ πρωτεϊνών και υγρασίας, με αποτέλεσμα την έκθεση των υδρόφοβων αλυσίδων τους σε υγρασία που καταλήγει σε καταστροφή της λειτουργικής δομής τους. Επίσης οι υδρόφοβοι δεσμοί αποδυναμώνονται από τη μείωση της θερμοκρασίας, γι' αυτό οι πρωτεΐνες αποσταθεροποιούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Παράλληλα, προκαλείται σημαντική μείωση της ικανότητας συγκράτησης νερού κατά την απόψυξη. Γι' αυτό το λόγο, οι δεσμοί μεταξύ νερού και πρωτεϊνών αντικαθίστανται από δεσμούς μεταξύ πρωτεϊνών-πρωτεϊνών όπου με το κατάλληλο υπόστρωμα μετουσιώνουν τις πρωτεΐνες.

Επιπλέον, εξαιτίας της κατάψυξης, συγκεντρώνονται διαλυτές ουσίες στο τρόφιμο, συμπεριλαμβανόμενων αλάτων και μικρών οργανικών μορίων. Αλλαγές στην ιοντική ισχύ και πιθανόν στο pH της εναπομένουσας υδατικής φάσης προκύπτουν, οδηγώντας στη μετουσίωση των πρωτεϊνών.

Ακόμα και στις χαμηλές θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση, τα περισσότερα συστήματα ενζύμων παραμένουν ενεργά. Η υποβάθμιση της ποιότητας παρατηρείται κυρίως στα προϊόντα κρεάτων και ψαρικών διότι είναι ωμά, σε αντίθεση με τα λαχανικά που υποβάλλονται, συνήθως σε λεύκανση (blanching) πριν την κατάψυξη, η οποία καταστρέφει τα περισσότερα ένζυμα. Ωστόσο, η υψηλή συγκέντρωση της μη παγωμένης φάσης αυξάνει την πιθανότητα επαφής μεταξύ των υπολειπόμενων ενζύμων και των υποστρωμάτων. Εφόσον ορισμένες πρωτεΐνες δρουν ως ένζυμα, έχουν γίνει προσπάθειες εκτίμησης της μετουσίωσης από την οπτική γωνία της απενεργοποίησης των ενζύμων. Η απώλεια της πρωτεϊνικής δραστηριότητας χαρακτηρίζεται περισσότερο από τις δραστηριότητες των ενζύμων απ' ό,τι με την εκχυλισσιμότητα ή τη διαλυτότητα. Είναι πιθανό οι ενζυμικές

αντιδράσεις να επιταχύνονται κατά την ψύξη, εξαιτίας της συγκέντρωσης των συμπαραγόντων και της διάρρηξης της μεμβράνης, η οποία επιτρέπει ευκολότερη αλληλεπίδραση ενζύμου-υποστρώματος απ' ό,τι στα άθικτα κύτταρα. (**Blond and Le Meste, 2004**)

4.11.4 Μηχανισμός της μετουσίωσης στα θαλασσινά και τα προϊόντα τους

Η μετουσίωση των πρωτεϊνών των θαλασσινών και των προϊόντων τους, εξαιτίας της αποθήκευσης υπό ψύξη ή κατάψυξη, προκύπτει, κατά σειρά, με τη μείωση της διαλυτότητας των πρωτεϊνών των μυϊκών ινών (κυρίως της μυοσίνης), την εξαφάνιση της ATP-επαγόμενης συστολής των μυϊκών ινών και την ελάττωση της ενεργότητας της ATPάσης της μυοσίνης (myosin ATPase). Η μείωση της διαλυτότητας των πρωτεϊνών αποτελεί πρωτεύον κριτήριο της πρωτεϊνικής μετουσίωσης κατά την κατάψυξη. Η αλλοίωση στην εκχυλισσιμότητα των πρωτεϊνών είναι ένας χρήσιμος παράγοντας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την ποιότητα υφής των θαλασσινών προϊόντων, εφόσον η πρωτεϊνική συσσωμάτωση συνοδεύεται από σημαντική μείωση στη διαλυτότητά τους.

Οι σουλφυδρυλικές ομάδες θεωρούνται ως η πιο αντιδραστική λειτουργική ομάδα των πρωτεϊνών, καθώς οξειδώνονται σε δισουλφιδικούς δεσμούς κατά την κατάψυξη των ψαριών και των προϊόντων τους. Μείωση σε όλο το σουλφυδρυλικό περιεχόμενο οφείλεται στο σχηματισμό των δισουλφιδικών δεσμών μέσω οξείδωσης των σουλφυδρυλικών ομάδων ή δισουλφιδικών ανταλλαγών. Ο σχηματισμός του δισουλφιδικού δεσμού που οδηγεί σε συσσωμάτωση των πρωτεϊνών μπορεί να συμβάλει στη χαμηλή διαλυτότητα των πρωτεϊνών. Στην περίπτωση κατεψυγμένου γάδου, η διαλυτότητα των πρωτεϊνών μειώθηκε σημαντικά όσο η αποθήκευση προχώρησε, υποδεικνύοντας το σχηματισμό πρωτεϊνικών συσσωματωμάτων.

Παράλληλα, η κύρια μυϊκή πρωτεΐνη των ψαριών, η μυοσίνη, είναι ιδιαίτερα επιρρεπής στη μετουσίωση κατά τη μακροχρόνια κατάψυξη. Οι σφαιρικές κεφαλές (Globular heads) της πρωτεΐνης αυτής, που είναι υπεύθυνες για την ενεργότητα της

ΑΤΡάσης, είναι ευαίσθητες σε αλλοιώσεις στη διαμόρφωση που επάγεται κατά τη διεργασία ψύξης-απόψυξης. Κατά την κατάψυξη, η μετουσίωση της μυοσίνης οδηγεί σε μείωση της ενεργότητας της Ca^{2+} ΑΤΡάσης, κυρίως εξαιτίας των διαμορφωτικών αλλαγών της σφαιρικής κεφαλής της μυοσίνης, καθώς και της συσσωμάτωσης του τμήματος αυτού. Επιπλέον, η αναδιάταξη της πρωτεΐνης, μέσω αλληλεπιδράσεων πρωτεΐνης-πρωτεΐνης, που προκαλείται από την κατάψυξη συνεισφέρει επίσης στην απώλεια της ενεργότητας της ΑΤΡάσης. Έτσι, η ενεργότητα της Ca^{2+} -ΑΤΡάσης χρησιμοποιείται συχνά ως δείκτης για να καθορίσει την ποιότητα των μυϊκών πρωτεϊνών κατά την κατάψυξη ή τυχόν θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.

Επιπλέον, ο σχηματισμός κρυστάλλων πάγου κατά την κατάψυξη βλάπτει την υπερδομή των μυών των ψαριών, γεγονός που οδηγεί σε αλλοιώσεις στις βιοχημικές αντιδράσεις που προκύπτουν σε κυτταρικό επίπεδο και επηρεάζουν τις φυσικές παραμέτρους ποιότητας των ψαριών. Ενώ λαμβάνει χώρα η κρυσταλλοποίηση, παρατηρείται συγκέντρωση εξωκυττάριου άλατος, οδηγώντας σε διαφορές στη βαθμίδα ωσμωτικής πίεσης κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης. Η μετουσίωση των πρωτεϊνών, επομένως, προκύπτει εξαιτίας της αφυδάτωσης των μυϊκών κυττάρων και της αυξανόμενης ενδοκυτταρικής ιοντικής ισχύος, ακολουθώντας τη μετανάστευση του ενδοκυτταρικού νερού σε εξωκυτταρικούς χώρους. Ως αποτέλεσμα, οι μυϊκές πρωτεΐνες χάνουν την ικανότητά τους να συγκρατούν το νερό και έτσι απελευθερώνεται ελεύθερο νερό (εξίδρωμα), σχετιζόμενο με απώλειες κάποιων θρεπτικών και γευστικών συστατικών. Επομένως, προκειμένου να εξασφαλιστεί υψηλή ποιότητα, είναι απαραίτητο να μην παγώνει καθόλου το νερό στα κατεψυγμένα θαλασσινά προϊόντα. (Nikoo and Benjakul and Rahmanifarah, 2016)

4.12 Επίδραση της κατάψυξης στους μικροοργανισμούς

Τα κατεψυγμένα τρόφιμα και, ιδιαίτερα, τα προϊόντα των ψαριών απέχουν πολύ από την έννοια του ‘‘αποστειρωμένου’’ και επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν ως μικροβιολογικά ασφαλή προϊόντα. Ο κύριος στόχος της κατάψυξης, ως μεθόδου

συντήρησης, είναι η επιμήκυνση του χρόνου αποθήκευσης των προϊόντων με την αναστολή ή την καθυστέρηση της ανάπτυξης των μικροβίων. Επίσης, μπορεί να προκαλέσει ακόμη και το θάνατο ορισμένων μικροοργανισμών, όμως η διαδικασία αυτή είναι πολύ αργή και εξαρτάται από το είδος του τροφίμου. Η κατάψυξη δεν προκαλεί μειώσεις του μικροβιακού φορτίου, συνεπώς, η ποιότητα των ακατέργαστων προϊόντων και η σωστή υγιεινή κατά την παραγωγή αποτελούν σημαντικότερους παράγοντες. Πολλοί μικροοργανισμοί δεν καταστρέφονται από την κατάψυξη και μπορεί να επιβιώσουν ακόμα και αν παραμένουν ανενεργοί κατά την αποθήκευση. Η μετανάστευση υγρασίας και ο σχηματισμός κρυστάλλων στην επιφάνεια του τροφίμου μπορούν να επιταχύνουν τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων.

Γενικά, η κατάψυξη αποτελεί σημαντική μέθοδο για τη διατήρηση των τροφίμων από μικροβιολογική άποψη. Τα επιζήμια αποτελέσματα αυτής στους μικροοργανισμούς σχετίζονται με το θερμικό σοκ, την αφυδάτωση και τον εσωτερικό σχηματισμό πάγου που προκαλούν στα κύτταρα αυτών. Έρευνες έχουν δείξει ότι η βλάβη που προκαλείται στους μικροοργανισμούς οφείλεται κυρίως στην αφυδάτωση των λιπιδίων που δομούν τις κυτταρικές μεμβράνες προκαλώντας έτσι τη ρήξη τους. Η ταχεία κατάψυξη, όμως, ευνοεί την επιβίωση των μικροβίων. Το ποσοστό μείωσής τους είναι γενικά υψηλό κατά τα αρχικά στάδια της κατάψυξης και στη συνέχεια μειώνεται με το χρόνο. Η ευαισθησία τους στην κατάψυξη εξαρτάται από τη φυσιολογία των κυττάρων των μικροοργανισμών. Η αύξηση του ποσοστού των ακόρεστων λιπαρών οξέων θεωρείται ένας από τους λόγους που αυξάνουν την αντοχή των μικροοργανισμών στην κατάψυξη.

Η επίδραση της κατάψυξης στους μικροοργανισμούς ποικίλει ανάλογα με το είδος του οργανισμού. Το χαμηλότερο όριο για τη βακτηριακή ανάπτυξη στα τρόφιμα είναι περίπου $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ και για τις ζύμες περίπου $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ χαμηλότερα. Ωστόσο, δεν είναι δυνατή η αποθήκευση τροφίμων για μεγάλες περιόδους σε θερμοκρασίες ελαφρώς κάτω των ορίων ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Έτσι, τα κατεψυγμένα τρόφιμα παρουσιάζουν φανερά σημάδια υποβάθμισης που μπορεί να οφείλονται στη δραστηριότητα των ενζύμων του μικροοργανισμού, παράλληλα με αυτά που ήδη υπάρχουν στο τρόφιμο. Ενώ, με θερμική διεργασία πριν την κατάψυξη, μειώνεται ο αριθμός των υπαρχόντων μικροοργανισμών, τα ένζυμα που εκκρίνονται στο τρόφιμο,

όπως οι λιπάσες και οι πρωτεάσες, επηρεάζονται πολύ λιγότερο από τη θέρμανση. Στους -18°C δεν συντελείται καθόλου ανάπτυξη μικροοργανισμών.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, η μείωση στον αριθμό των μικροοργανισμών που οφείλεται στην κατάψυξη είναι δυνατή, αλλά μη πρακτικής σημασίας. Από άποψη πρακτικής εφαρμογής της τεχνολογίας κατάψυξης, οι μικροβιακές διεργασίες ουσιαστικά περιορίζονται στις επιδράσεις των μικροβιακών ενζύμων. Συνεπώς, κατεψυγμένα προϊόντα με μέγιστη διάρκεια ζωής μπορεί να παραχθούν όταν χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες εξαιρετικής ποιότητας. (Μπικάκη 2012, Blond and Le Meste 2004)

4.13 Επίδραση της κατάψυξης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων

4.13.1 Οργανοληπτικές παράμετροι

Τα τρόφιμα, γενικά, αντιμετωπίζονται ευνοϊκότερα από τους καταναλωτές κυρίως υπό συνθήκες ψύξης και όχι κατάψυξης τόσο από οργανοληπτική όσο και από θρεπτική άποψη. Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων οδηγεί σε ανεπιθύμητες αλλαγές στην υφή των τροφίμων όπως αύξηση της σκληρότητας και της κολλώδους αίσθησης. Η ταχεία κατάψυξη συμβάλλει στην καλύτερη διατήρηση της ποιότητας στην υφή. Η καταστροφή των κυττάρων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με χρήση ταχείας κατάψυξης, χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης και αργή απόψυξη.

Κατά την κατάψυξη και τη διανομή, τα τρόφιμα εκτίθενται σε ένα εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, αλλαγές στο pH, μειωμένη ενεργότητα νερού, οξυγόνο και φως, οι οποίες πυροδοτούν ορισμένες χημικές και φυσικές αλλαγές. Οι υποβαθμίσεις στη γεύση, την υφή και το χρώμα αποτελούν τα σοβαρότερα προβλήματα, προκαλώντας μείωση της διάρκειας ζωής,

ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται χαμηλής ποιότητας πρώτες ύλες και διεργασίες κατάψυξης. Οι εναλλαγές στη θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσουν ανακρυστάλλωση, οδηγώντας σε ανεπιθύμητη “αμμώδη” υφή στα γαλακτοκομικά προϊόντα και αλλαγές φάσης, συμπεριλαμβανόμενης της τήξης και της στερεοποίησης των λιπιδίων στα λιπαρά τρόφιμα. Η υποβάθμιση της γεύσης περιλαμβάνει την παρουσία ταγγών και πικρών γεύσεων, που οφείλονται στο σχηματισμό ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους από την οξείδωση των λιπών και τη μετουσίωση των πρωτεϊνών.

Οι πιο συχνές χημικές μεταβολές που σχετίζονται με τη μείωση της ποιότητας στα κατεψυγμένα τρόφιμα είναι οι αντιδράσεις που παράγουν ανεπιθύμητες οσμές και γεύσεις, που αλλοιώνουν το χρώμα, προκαλούν ενζυμικό μαύρισμα και οξείδωση των λιπιδίων. Γι’ αυτό το λόγο συνιστάται η λεύκανση των λαχανικών πριν τη χρήση τους, ώστε να αποφευχθούν τέτοιες αντιδράσεις. Επίσης, τα μη λευκασμένα λαχανικά παρουσιάζουν αλλοίωση του αρώματος/γεύσης τους λόγω της δράσης των ενζύμων λιπάση και λιποξυγενάση.

Στα κατεψυγμένα θαλασσινά προϊόντα, η χαρακτηριστική γεύση και το άρωμά τους μειώνονται αισθητά. Το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών οφείλεται στο υγρό εφίδρωσης (το νερό της τήξης των παγοκρυστάλλων που δεν μπορεί να συγκρατηθεί από τους ιστούς κατά την απόψυξη). Παράλληλα, η σκλήρυνση του σαρκειλήμματος των μυϊκών ινών και η ξήρανσή τους λόγω κατάψυξης οδηγεί σε σκληρή υφή, ανεπιθύμητη υφή. Η υποβάθμιση του χρώματος σχετίζεται, επίσης, με την οξείδωση που λαμβάνει χώρα κατά την κατάψυξη/κατά την κατάψυξη. Για παράδειγμα, ο αποχρωματισμός του τόνου οφείλεται στην οξείδωση της μυογλοβίνης σε μεταμυογλοβίνη, ενώ, στην περίπτωση του σολομού, το ροζ χρώμα του που οφείλεται στα καροτενοειδή μπορεί να εξαφανιστεί εξαιτίας της οξείδωσης μετά από μακρά αποθήκευση. **(Παπαναστασίου 1990)**

4.13.2 Θρεπτικές παράμετροι

Σε γενικές γραμμές, η κατάψυξη θεωρείται μέθοδος η οποία παρέχει ένα προϊόν με συγκρίσιμη διατροφική ποιότητα με το αντίστοιχο νωπό. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι

είναι λιγότερο καταστροφική απ' ό τι άλλες μέθοδοι συντήρησης. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο ότι όταν συγκρίνεται η θρεπτική αξία νωπών και κατεψυγμένων προϊόντων, η μελέτη αυτή να γίνεται στο φρέσκο και όχι στο μαγειρεμένο τρόφιμο/λαχανικό, διότι το μαγείρεμα προκαλεί ποικίλες μεταβολές. Αρκετά ακόρεστα λιπαρά θεωρείται πως έχουν ευεργετική θρεπτική δράση. Όμως αποτελούν και υποστρώματα για την οξείδωση των λιπιδίων και μειώσεις στο ποσοστό τους παρατηρούνται σε όλα τα κατεψυγμένα τρόφιμα.

Η μείωση στο ποσοστό των βιταμινών κατά την κατάψυξη, συγκρινόμενη με τη μετουσίωση των πρωτεϊνών και την οξείδωση των λιπιδίων έχει γενικά πιο σημαντική επίδραση στη θρεπτική αξία. Οι απώλειες σε ασκορβικό οξύ αποδίδονται σε οξειδωτικούς μηχανισμούς κατά την αποθήκευση. Κατά την κατάψυξη, οι πιο ευπαθείς βιταμίνες είναι οι Β, C, Β1, Β2 οι οποίες αποτελούν δείκτες της ποιότητας των τροφίμων. Ωστόσο το ποσοστό μείωσης είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με το αντίστοιχο κατά τη διάρκεια της ψύξης. Από μελέτες δεν έχει προκύψει ειδική επίδραση της διακύμανσης της θερμοκρασίας όσον αφορά τη βιταμίνη Β. **(Μπικιάκη 2012)**

4.14 Απόψυξη

Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν τα κατεψυγμένα τρόφιμα, είναι απαραίτητη η απόψυξή τους. Η απόψυξη, ενώ δεν αποτελεί πρόβλημα για μικρές συσκευασίες, χρειάζεται προσοχή για μεγάλα και συμπαγή τεμάχια κατεψυγμένων τροφίμων, επειδή στην περίπτωση αυτή η σχετικά μεγάλη διάρκειά της ευνοεί την ανάπτυξη ψυχρόφιλων μικροοργανισμών και προκαλεί συχνά τη έκχυση κυτταρικού χυμού.

Η απόψυξη ενός τροφίμου είναι βραδύτερη από την κατάψυξη, διότι κατά τη διάρκειά της σχηματίζεται μία ρευστή υδατική στοιβάδα, αρχικά στην επιφάνεια και μετά στα εξωτερικά στρώματα του προϊόντος. Κατά την απόψυξη η θερμοκρασία της κατεψυγμένης μάζας φτάνει γρήγορα σε μία θερμοκρασία λίγο μικρότερη από τους 0 °C, αλλά αφού η θερμική αγωγιμότητα του νερού είναι τέσσερις φορές μικρότερη από τη θερμική αγωγιμότητα του πάγου, η αγωγή της απαιτούμενης θερμότητας τήξης

από την εξωτερική υδατική στοιβάδα προς το εσωτερικό του προϊόντος γίνεται με αργό ρυθμό.

Γενικά, 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.

Η απόψυξη γίνεται συνήθως με τεχνικές εξωτερικής θέρμανσης. Στο σπίτι, τα τρόφιμα συνήθως αποψύχονται χρησιμοποιώντας διαφορετικές θερμοκρασιακές διαφορές (για παράδειγμα 25–40°C, συγκριτικά με τους 50–80°C της εμπορικής απόψυξης). Αυτό παρατείνει το χρόνο απόψυξης και αυξάνει τον κίνδυνο της μόλυνσης του τροφίμου από παθογόνους ή καταστροφικούς μικροοργανισμούς.

Εμπορικά, τα τρόφιμα αποψύχονται σε θερμοκρασία μόλις κάτω από το σημείο κατάψυξης, ώστε να διατηρήσουν μία λεία υφή για επακόλουθη επεξεργασία. Ορισμένα τρόφιμα μαγειρεύονται αμέσως και, επομένως, θερμαίνονται ταχέως σε θερμοκρασία ικανή να καταστρέψει τους μικροοργανισμούς. Άλλα (για παράδειγμα, παγωτά και κρέμες) δεν μαγειρεύονται, οπότε πρέπει να καταναλώνονται σε μικρό χρονικό διάστημα μετά την απόψυξη. Η απόψυξη γίνεται σε θάλαμο κενού αέρος, συμπυκνώνοντας ατμό σε χαμηλές θερμοκρασίες με ζεστό νερό (περίπου 20°C) ή με υγρό αέρα, ο οποίος επανακυκλοφορεί πάνω από τα τρόφιμα.

Η διηλεκτρική θέρμανση ή θέρμανση με τη βοήθεια μικροκυμάτων είναι μία άλλη μέθοδος κατά την οποία η απαιτούμενη θερμότητα χορηγείται σε όλη τη μάζα του προϊόντος. Στην περίπτωση αυτή όμως το αποψυχόμενο τρόφιμο πρέπει να είναι σχετικά ομοιογενές, γιατί αλλιώς ενδέχεται ορισμένα σημεία του να υπερθερμανθούν πριν ολοκληρωθεί η απόψυξη του συνόλου. Όταν τα τρόφιμα αποψύχονται με μικροκύματα ή διηλεκτρικούς θερμαντήρες, παράγεται θερμότητα εντός του τροφίμου, οπότε δεν συμβαίνουν οι παραπάνω αλλαγές. Τα κύρια μελήματα της απόψυξης είναι:

- να αποφεύγεται η υπερθέρμανση
- να ελαχιστοποιείται ο χρόνος απόψυξης
- να αποφεύγεται η αφυδάτωση των τροφίμων. **(Παπαδέας 1998, Fellows 2000 (β))**

4.15 Βιβλιογραφία

Δ. Π. Παπαναστασίου, 1990, Διατήρηση των αλιευμάτων με κατάψυξη, *Τεχνολογία και ποιοτικός έλεγχος αλιευμάτων*, εκδ. ΙΩΝ, Περιστέρι, Αθήνα, σελ. 425-625

G. Blond, M. Le Meste, 2004, Principles of Frozen Storage, in *Handbook of frozen foods*, ed. , CRC Press, Boca Raton, London, New York, Marcel Dreher, Part I

J. J. Matsumoto, 1979, Chemical Deterioration of Muscle Proteins During Frozen Storage, in *Chemical deterioration of proteins*, ed. J. R. Whitaker and M. Fujimaki, ACS SYMPOSIUM SERIES 123, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, WASHINGTON, D. C., pp. 95-115

Μπικάκη Ν., 2012, Κρυοπροστατευτικά υλικά σε κατεψυγμένα προϊόντα πατάτας, Διπλωματική εργασία, Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 41, 42-46, 47-53

Nikoo M., Benjakul S., 2015, Potential application of seafood-derived peptides as bifunctional ingredients, antioxidant–cryoprotectant: A review, *Journal of Functional Foods*, 19: 753–764

Nikoo M., Benjakul S., Rahmanifarah K., 2016, Hydrolysates from marine sources as cryoprotective substances in seafoods and seafood products, *Trends in Food Science & Technology*, 57 (A): 40-51

P. Fellows, 2000, Chilling, in *Food Processing Technology: Principles and Practice, Second Edition*, ed. , Woodhead Publishing Limited , CRC Press, Boca Raton, Boston, New York, Washington, DC, pp. (κεφ 19) (α)

P. Fellows, 2000, Freezing, in *Food Processing Technology: Principles and Practice, Second Edition*, ed. , Woodhead Publishing Limited , CRC Press, Boca Raton, Boston, New York, Washington, DC, pp. (κεφ 21) (β)

Παπαδέας Π., 1998, Χρήση κρυοπροστατευτικών υλικών στην κατάψυξη προϊόντων ψαριού, Διπλωματική εργασία, Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 51, 54-57

Π. Ταούκης, Β. Ωραιοπούλου, 2009, Κατάψυξη Τροφίμων, *Επιστήμη και Μηχανική Διεργασιών Τροφίμων*, εκδ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

P. Nesvadba, 2008, Thermal Properties of Ice Crystal Development in Frozen Foods, in *Frozen Foods Science and Technology*, ed. J. Evans, Blackwell Publishing, pp. 1-25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΡΥΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

5.1 Κρυοπροστατευτικά

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι πρωτεΐνες των ζωικών τροφίμων, όπως τα θαλασσινά, κατά την επεξεργασία και αποθήκευσή τους υπόκεινται σε ποικίλες μεταβολές, οι οποίες, συνήθως, οδηγούν σε ανεπιθύμητα ποιοτικά αποτελέσματα που υποβαθμίζουν την αξία του προϊόντος. Χαρακτηριστικά, οι πρωτεΐνες των μυϊκών ινών, ιδιαίτερα η μυοσίνη, είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε φυσικοχημικές και δομικές τροποποιήσεις (μετουσίωση) κατά τη μακροχρόνια αποθήκευση υπό κατάψυξη, φαινόμενο το οποίο προκαλεί σημαντικές μετατροπές στη δομή (οξειδωση των πλευρικών αλυσίδων, ξεδίπλωμα, διμερισμό, συσσωμάτωση) και τις λειτουργικές τους ιδιότητες (ικανότητα σχηματισμού πήγματος, γαλακτωματοποίηση, ιξώδες, διαλυτότητα, ικανότητα συγκράτησης νερού).

Για να προληφθούν οι αλλαγές στη λειτουργικότητα και τη δομή των μυϊκών πρωτεϊνών, προστίθενται συχνά διάφορες κρυοπροστατευτικές ουσίες, ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη λειτουργικότητα των κατεψυγμένων προϊόντων θαλασσινών και άλλων τροφίμων. Τα κρυοπροστατευτικά είναι ενώσεις που συμβάλλουν στην ελάττωση της μετουσίωσης και/ή της συσσωμάτωσης των μυϊκών πρωτεϊνών κατά την αποθήκευση υπό ψύξη ή μακροχρόνια κατάψυξη και τη διατήρηση των λειτουργικών τους ιδιοτήτων. Έτσι, η διάρκεια ζωής των κατεψυγμένων τροφίμων μπορεί να επεκταθεί μέσω της χρήσης κρυοπροστατευτικών υλικών.

Ουσιαστικά, τα κρυοπροστατευτικά είναι ουσίες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να αυξάνουν την επιφανειακή τάση του νερού. Η ζάχαρη, συγκεκριμένα, προστατεύει την πρωτεΐνη από τη μετουσίωση λόγω ψύξης, αυξάνοντας την επιφανειακή τάση του νερού καθώς και το ποσοστό του δεσμευμένου νερού. Με αυτόν τον τρόπο, καθυστερεί η αφαίρεση των μορίων νερού από τις πρωτεΐνες, καθιστώντας αυτές, έτσι, πιο σταθερές και αποτρέποντας την απώλεια της διαλυτότητάς τους. Η μετανάστευση του νερού κατά την ψύξη ή την κατάψυξη σχετίζεται με τη διακοπή

των δεσμών υδρογόνου μεταξύ νερού-πρωτεΐνης ή σύμπλοκου πρωτεΐνης-πρωτεΐνης. Η σταθεροποιητική επίδραση προκαλείται επίσης ενισχύοντας τη δύναμη της ενδομοριακής υδρόφοβης αλληλεπίδρασης των πρωτεϊνικών μορίων.

Τα σάκχαρα, τα αλκοολο-σάκχαρα και τα πολυφωσφορικά φημίζονται για τις κρυσταλλοπροστατευτικές τους ιδιότητες ενάντια στην επαγόμενη από ψύξη μετουσίωση των μυϊκών πρωτεϊνών των θαλασσιών. Η κρυσταλλοπροστατευτική δραστηριότητα της λακτιτόλης, της litesse, της σακχαρόζης και της σορβιτόλης, καθώς και της τρεχαλόζης και του γλουταμινικού νατρίου έχουν αναφερθεί. Ωστόσο, αυτά τα υδατανθρακικά κρυσταλλοπροστατευτικά με τη γλυκιά τους γεύση μπορεί να μην είναι υγιεινά για καταναλωτές που πάσχουν από διαβήτη ή που δεν μπορούν να τα καταναλώσουν για άλλες αιτίες. Συνεπώς, η έρευνα για εναλλακτικές κρυσταλλοπροστατευτικές ουσίες με λιγότερη ή καθόλου γλυκιά γεύση έχει αποκτήσει αυξημένη προσοχή τα τελευταία χρόνια. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι κάποιες φυσικές ενώσεις, προερχόμενες από θαλάσσιες πηγές, μετά από όξινη ή ενζυμική υδρόλυση μπορούν να αναστείλουν τη μετουσίωση των μυϊκών πρωτεϊνών των θαλασσιών κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη και να δράσουν ως πιθανά κρυσταλλοπροστατευτικά. Αυτές οι φυσικές ενώσεις, οι οποίες κατατάσσονται σε δύο κύριες ομάδες (ολιγοσακχαρίτες και πρωτεϊνικά υδρολύματα), εξάγονται από διάφορες θαλάσσιες πηγές όπως τα ψάρια τα καρκινοειδή και τα κεφαλόποδα. (Nikoo and Benjakul, 2015)

5.2 Μοριακή δομή των κρυοπροστατευτικών ενώσεων

Με βάση τις μελέτες που διεξήχθησαν σε πλήθος χημικών παραγόντων, έχει καθοριστεί ένα εύρος χημικών ιδιοτήτων, που φαίνεται ότι είναι χαρακτηριστικές των κρυοπροστατευτικών ουσιών. Οι ιδιότητες είναι οι εξής:

- 1) Το μόριό τους πρέπει να περιέχει μία κύρια ομάδα από τις $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{OPO}_3\text{H}_2$ και περισσότερες από μία από τις συμπληρωματικές ομάδες $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{SH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ και/ή $-\text{OPO}_3\text{H}_2$.
- 2) Οι ομάδες αυτές πρέπει να έχουν την κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους και να είναι κατάλληλα προσανατολισμένες η μία ως προς την άλλη.
- 3) Το μόριό τους πρέπει να είναι σχετικά μικρό.

Η τελευταία απαίτηση φαίνεται να παραβιάζεται από ουσίες, όπως η πολυδεξτρόζη, που παρουσιάζουν κρυοπροστατευτική δράση παρά το μεγάλο τους μόριο, αλλά στην περίπτωση των μαλτοδεξτρινών η κρυοπροστατευτική δράση ελαττώνεται σαφώς με την αύξηση του μήκους του μορίου. (Παπαδέας 1998)

5.3 Είδη κρυοπροστατευτικών ενώσεων

5.3.1 Φωσφορικά άλατα

Έχει βρεθεί ότι η εμφάνιση ολόκληρων ψαριών ή φιλέτων σε διαλύματα φωσφορικών αλάτων πριν από την κατάψυξη προσφέρει προστασία στις πρωτεΐνες τους. Τα πιο αποτελεσματικά φωσφορικά άλατα είναι τα τριφωσφορικά και τα πυροφωσφορικά. Έχει αποδειχθεί ότι τα άλατα αυτά δρουν συνεργιστικά με τα σάκχαρα, με αποτέλεσμα την επέκταση της κρυοπροστατευτικής τους δράσης. Η ιδιότητά τους αυτή ίσως οφείλεται στη ρυθμιστική τους δράση στο pH των μυών. Τα εν λόγω άλατα χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία surimi, παρόλο που αρκετοί ερευνητές αμφισβητούν τη χρησιμότητά τους. (Παπαδέας 1998)

Τα πολυφωσφορικά υποτίθεται ότι λειτουργούν ως κρυοπροστατευτικά με τους εξής τρόπους:

- (i) ρυθμίζουν (αυξάνουν) το pH,
- (ii) αυξάνουν την ιοντική ισχύ,
- (iii) χηλικοποιούν τα ιόντα Ca και Mg, και
- (iv) διαχωρίζουν τη μυοσίνη και την ακτίνη. **(Nikoo and Benjakul, 2015)**

Το 2011, διεξήχθη έρευνα από τους Etemadian, Shabanpour, Sadeghi Mahoonak, Shabani και Alami για τον προσδιορισμό της κρυοπροστατευτικής δράσης του πυροφωσφορικού νατρίου (tetrasodium pyrophosphate, TSPP) και του τριπολυφωσφορικού νατρίου (sodium tripolyphosphate, STPP) σε κατεψυγμένα φιλέτα ψαριού του είδους *Rutilus frisii kutum*. Προέκυψε ότι η προσθήκη διαλύματος 2% w/v των παραπάνω πολυφωσφορικών, καθώς και μίγματος αυτών επέτυχε να αναστείλει την ανάπτυξη ψυχοτροπικών βακτηρίων, να μειώσει το βαθμό οξειδωσης των λιπών και να βελτιώσει την ποιότητα υφής, χωρίς να επηρεαστούν η ικανότητα συγκράτησης νερού (Water Holding Capacity-WHC) ή το σουλφυδρυλικό περιεχόμενο (SH content) των πρωτεϊνών. Η προσθήκη των πολυφωσφορικών παρέτεινε, επίσης, τη διάρκεια ζωής των φιλέτων κατά 3 ημέρες, σε σχέση με αυτά στα οποία δεν προστέθηκαν τα κρυοπροστατευτικά. **(Etemadian et al. 2011)**

5.3.2 Σάκχαρα-Πολυόλες

Σχετικά με τα σάκχαρα, έχει βρεθεί ότι οι εξόζες και οι δισακχαρίτες είναι τα πιο αποτελεσματικά κρυοπροστατευτικά υλικά. Οι πεντόζες εμφανίζουν μικρότερη αποτελεσματικότητα. Γενικά οι ουσίες που εμφανίζουν χημική δραστηριότητα δεν είναι κατάλληλες ως κρυοπροστατευτικά, αν και η δραστηριότητα των προσθέτων σε χαμηλές θερμοκρασίες δεν είναι σαφής. Αυτό δικαιολογεί την αυξημένη κρυοπροστατευτική δράση των εξοζών έναντι των πεντοζών, αφού οι τελευταίες έχουν μεγαλύτερο αριθμό αλδεϋδοομάδων στο μόριό τους. **(Παπαδέας 1998)**

Η σταθεροποίηση των πρωτεϊνών με τη χρήση σακχάρων κατά την κατάψυξη έχει εξηγηθεί με διάφορους μηχανισμούς. Πρώτον, αντικαθιστώντας τους δεσμούς υδρογόνου μεταξύ του νερού και της πρωτεΐνης σταθεροποιεί την πρωτεΐνη κατά τις διεργασίες ξήρανσης και, δεύτερον, με το σχηματισμό μίας υαλώδους μήτρας, όπου η πρωτεΐνη εγκλωβίζεται, οπότε αποφεύγεται το ξεδίπλωμα και διατηρείται η διαμόρφωσή της κατά την κατάψυξη. Έτσι, με την κατάλληλη επιλογή σακχάρου είναι δυνατό να βελτιωθεί η σταθερότητα των πρωτεϊνών με τον εγκλωβισμό τους σε μία υαλώδη μήτρα, όπου η μοριακή κινητικότητα είναι ιδιαίτερα περιορισμένη, ώστε οι ρυθμοί αντιδράσεων ελεγχόμενης διάχυσης, όπως το ξεδίπλωμα των πρωτεϊνών ή η πρωτεϊνική συσσωμάτωση να είναι μειωμένοι. **(Rodriguez-Furlan et al. 2013)**

Ωστόσο, τα κοινά κρυοπροστατευτικά, ιδιαίτερα η σακχαρόζη, προσδίδουν μία γλυκιά, μη αποδεκτή από τους καταναλωτές, γεύση στα προϊόντα θαλασσινών. Για αυτό, η προσοχή έχει στραφεί στην έρευνα εναλλακτικών πιθανών κρυοπροστατευτικών με μειωμένη γλυκύτητα. **(Nikoo and Benjakul, 2015)** Περαιτέρω συζήτηση για ουσίες υδατανθρακικής προέλευσης με κρυοπροστατευτική δράση διεξάγεται παρακάτω.

5.3.3 Αμινοξέα

Οι έρευνες για την κρυοπροστατευτική δράση των αμινοξέων ξεκίνησαν με αφορμή την επιθυμία για αντικατάσταση των υδατανθρακικών κρυοπροστατευτικών (γλυκόζη, σακχαρόζη, τρεχαλόζη κ.α.), διότι η προσθήκη των δεύτερων στα τρόφιμα, εκτός από το ότι συχνά αλλοιώνει τη γεύση τους, μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες αντιδράσεις, όπως, για παράδειγμα, στην περίπτωση ανθρώπων που πάσχουν από διαβήτη. Στο πρόβλημα αυτό συνεισφέρει το γεγονός ότι για να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα κρυοπροστασίας, συνήθως απαιτούνται μεγάλες ποσότητες και συγκεντρώσεις, οι οποίες μπορεί, επίσης, να προκαλέσουν υποβάθμιση στο ιξώδες του τροφίμου.

Έχουν διεξαχθεί διάφορες έρευνες πάνω στη λειτουργικότητα των αμινοξέων ως κρυοπροστατευτικά: οι Crowe et al. (1994) ερεύνησαν την προλίνη και οι Sterberg και Wadsten (1999) μελέτησαν την ιστιδίνη. Γενικά, τα αμινοξέα, παρέχουν το

πλεονέκτημα ότι όχι μόνο δημιουργούν δεσμούς υδρογόνου, αλλά παρέχουν, επίσης, ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις για αποτελεσματική λυοφιλίωση. Πρόσφατα, οι Mohammed et al. (2007) μελέτησαν την κρυοπροστατευτική δράση τριών πολικών αμινοξέων, της αργινίνης, της λυσίνης και της ιστιδίνης, σε δείγματα λιποσωμάτων, σε σχέση με αυτήν της τρεχαλόζης, που αποτελεί το πιο συνηθισμένο κρυοπροστατευτικό σάκχαρο. Προέκυψε ότι από τα τρία αυτά αμινοξέα, η λυσίνη παρέχει κρυοπροστατευτική δράση παρόμοια με αυτή της τρεχαλόζης. (Mohammed and Coombes and Perrie, 2007)

5.4 Κρυοπροστατευτικές ουσίες υδατανθρακικής προέλευσης

5.4.1 Ινουλίνη

5.4.1.1 Δομή

Η ινουλίνη είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για τα ετερογενή μίγματα των φρουκτοολιγοσακχαριτών, που αποθεματικές πηγές υδατανθράκων υπάρχουν σε αρκετά φυτικά τρόφιμα, όπως μπανάνες, κρεμμύδια, σκόρδο, πράσα, αγκινάρες και κιχώριο, τα οποία αποτελούν την κύρια εμπορική πηγή. Βιομηχανικά παρασκευάζεται από τις ρίζες του ραδικιού και χαρακτηρίζεται ως μίγμα από oligομερείς και πολυμερείς ενώσεις της β-(2-1)-φρουκτόζης της ομάδας των φρουκτανών. Η δομή της μπορεί να αποδοθεί από τον τύπο GFn όπου G η γλυκοζιτική μονάδα, F η φρουκτοζιτική μονάδα και n ο αριθμός των φρουκτοζιτικών ομάδων που συνδέονται με β-(2-1) δεσμούς. Ο βαθμός πολυμερισμού της ινουλίνης κυμαίνεται από 2 έως 60. (Rodriguez-Furlan et al. 2013, Μπικιάκη 2012)

5.4.1.2 Χαρακτηριστικά και ιδιότητες

Εμφανισιακά, η ινουλίνη είναι μία λευκή άοσμη σκόνη με ουδέτερη, γεύση και χαρακτηρίζεται από χαμηλή γλυκαντική ισχύ, η οποία κυμαίνεται από 0-10%. Η

ινουλίνη μακράς αλύσου (long chain DP>25) δεν έχει καθόλου γλυκαντική ισχύ. Παρά τη χαμηλή της γλυκαντική ισχύ όμως παρουσιάζει συνέργεια με την ασπαρτάμη και το ακετοσουλφαμικό κάλιο, με αποτέλεσμα ο συνδυασμός τους να οδηγεί σε βελτίωση του αρώματος και μείωση της μετάγευσης. Η ινουλίνη είναι μετρίως διαλυτή στο νερό (10 % περίπου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος), γεγονός που επιτρέπει την ικανοποιητική της ενσωμάτωση σε υδατικά συστήματα χωρίς να καταβυθίζεται. Το ιξώδες των διαλυμάτων της ινουλίνης είναι γενικά χαμηλό, ενώ με την προσθήκη νερού παρουσιάζεται μικρή ταπείνωση της θερμοκρασίας πήξης κατά 0.5 °C περίπου. Σε όξινο περιβάλλον το μόριο της ινουλίνης παρουσιάζει υψηλή αστάθεια η οποία εκδηλώνεται με μερική υδρόλυσή της προς φρουκτόζη, ενώ σε τιμές pH μεγαλύτερες από 4 η ινουλίνη είναι πιο σταθερή.

Όταν προστίθεται σε υψηλές συγκεντρώσεις, δηλαδή πάνω από 25% για την ινουλίνη μέσης αλύσου και 15% για την ινουλίνη μακράς αλύσου, εμφανίζει ικανότητα σχηματισμού πηγματος. Η ενσωμάτωση υγρασίας ή άλλου υδατικού μέσου με ταυτόχρονη ανάδευση οδηγεί στο σχηματισμό ενός λευκού κρεμώδους πηγματος το οποίο έχει μεγάλη χρησιμότητα στα τρόφιμα ως υποκατάστατο λιπαρών. Το μίγμα αυτό συμβάλλει στη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφής καθώς και στη βελτιστοποίηση της γεύσης και του αρώματος. Η ισχύς των πηγμάτων της επηρεάζεται από τη συγκέντρωση και τις συνθήκες διάτμησης-ανάδευσης. Τέλος, η ινουλίνη παρουσιάζει σημαντική συνέργεια με τα περισσότερα υδροκολλοειδή όπως οι καρραγενάνες, το αλγινικό νάτριο και οι μαλτοδεξτρίνες. (Μπικιάκη 2012)

5.4.1.3 Χρήση της στη βιομηχανία τροφίμων

Η ινουλίνη είναι μακροθρεπτική ουσία και κατέχει τους ίδιους θρεπτικούς παράγοντες με τις διαιτητικές ίνες, καλύπτοντας ένα ευρύ πεδίο διατροφικών και τεχνολογικών εφαρμογών. Διατροφικά, η ινουλίνη θεωρείται ως διαλυτή ίνα, η οποία προωθεί την ανάπτυξη των εντερικών βακτηρίων, λειτουργώντας ως πρεβιοτικό. Ακόμη, προκαλεί αύξηση της απορρόφησης του ασβεστίου στον οργανισμό και μειώνει το ποσοστό των συσσωρευμένων τριγλυκεριδίων στο συκώτι. Επίσης, είναι ένας μη εύπεπτος υδατάνθρακας με πολύ μικρή επίδραση στο σάκχαρο του αίματος και, αντίθετα με τη φρουκτόζη, δεν αυξάνει τα τριγλυκερίδια, οπότε θεωρείται γενικά κατάλληλη για

διαβητικούς και πιθανώς χρήσιμη στην αντιμετώπιση ασθενειών που σχετίζονται με το σάκχαρο του αίματος.

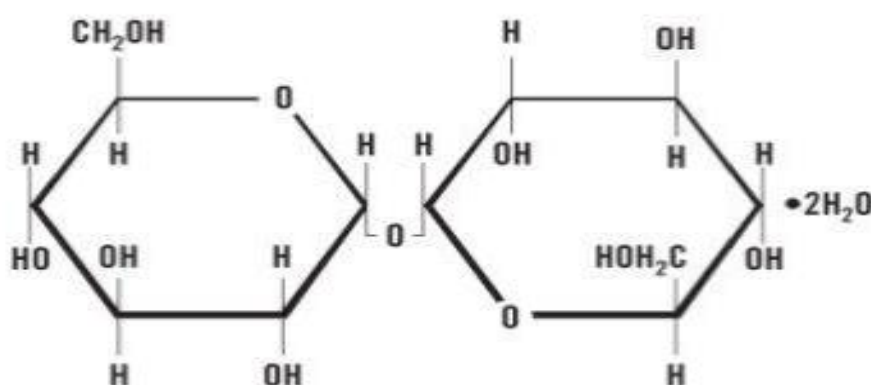
Όμως εκτός από τα θρεπτικά πλεονεκτήματα, η ινουλίνη χρησιμοποιείται πλέον στη βιομηχανία τροφίμων και ως βελτιωτικό για τεχνολογικούς λόγους. Χρησιμοποιείται ευρέως ως υποκατάστατο λιπαρών και ζάχαρης ως χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου παράγοντας διόγκωσης, δέσμευσης νερού και βελτιωτικό υφής, καθώς μιμείται τα λίπη στα μίγματα που δημιουργεί. Έρευνες έχουν δείξει ότι αυτές οι μιμητικές ιδιότητές της ως λιπαρό μπορεί να έχουν και ως αποτέλεσμα τη μικρή σχετική κρυσταλλικότητα.

Μία βασική ιδιότητα των πολυσακχαριτών είναι η σταθεροποίηση των πρωτεϊνών κατά την ενσωμάτωσή τους σε υδατανθρακικά διαλύματα πριν από την κατάψυξη. Η ενσωμάτωση των σακχάρων προωθεί το σχηματισμό άμορφων υαλώδων συστημάτων, αναστέλλει την κρυστάλλωση και επηρεάζει την κινητική των αντιδράσεων μετά την αποθήκευση, οπότε και διατηρείται η δομική τους ακεραιότητα. Για να δράσουν επιτυχώς ως προστατευτικά, τα σάκχαρα θα πρέπει να έχουν υψηλή θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g), μικρή υγροσκοπικότητα, χαμηλό ρυθμό κρυστάλλωσης και να μην περιέχουν αναγωγικές μονάδες. Όταν η κατάψυξη προβλέπεται ως μέθοδος ξήρανσης, προτιμάται μία σχετικά υψηλή τιμή της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης του κλάσματος συμπυκνωμένης ψύξης. Προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι η ινουλίνη ανταπεξέρχεται σε αυτές τις απαιτήσεις και ότι είναι ένα εξαιρετικό προστατευτικό των θεραπευτικών πρωτεϊνών κατά τις διαδικασίες ξήρανσης και αποθήκευσης. Για παράδειγμα, η προσθήκη ινουλίνης σε κατεψυγμένα δείγματα βοδινού σταθεροποίησε αποτελεσματικότερα τις πρωτεΐνες του κρέατος, από ότι η ζάχαρη και η φρουκτόζη που εξετάστηκαν παράλληλα. **(Rodriguez-Furlan et al. 2013)**

5.4.2 Τρεχαλόζη

5.4.2.1 Δομή και προέλευση

Η τρεχαλόζη είναι ένας δισακχαρίτης με σημαντικές λειτουργικές ιδιότητες. Γνωστή και ως μυκόζη ή «σάκχαρο των μανιταριών», είναι ένα σταθερό, μη αναγωγικό σάκχαρο που αποτελείται από δύο μόρια γλυκόζης που συνδέονται με έναν α-(1-1) γλυκοζιτικό δεσμό. Με την εκχύλιση με αιθανόλη ή με ενζυμική σύνθεση, η τρεχαλόζη κρυσταλλώνεται σε άλας. Στη φύση συναντάται στα ισομερή α,β νεοτρεχαλόζη και β,β ισοτρεχαλόζη. Τα ισομερή αυτά δεν είναι πολύ διαδεδομένα και οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες διαφέρουν από την κοινώς χρησιμοποιούμενη α,α τρεχαλόζη. Ο χημικός της τύπος είναι $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 2H_2O$ με $MB=342.31$. (Μπικιάκη 2012)



Εικόνα 5.1 Μόριο α,α τρεχαλόζης (Μπικιάκη 2012)

Το σάκχαρο αυτό είναι παρόν σε μία ευρεία ποικιλία οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, ζυμών, μυκήτων, εντόμων, ασπόνδυλων, κατώτερων και ανώτερων φυτών, όπου εξυπηρετεί ως πηγή ενέργειας και άνθρακα. Στις ζύμες και τα φυτά μπορεί, επίσης, να λειτουργήσει και ως μόριο σηματοδότησης που κατευθύνει ή ελέγχει ορισμένους μεταβολικούς μηχανισμούς ή μπορεί να επηρεάσει ακόμα και την ανάπτυξή τους. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι η τρεχαλόζη μπορεί να προστατεύσει τις πρωτεΐνες και τις κυτταρικές μεμβράνες από την απενεργοποίηση ή τη μετουσίωση που προκαλείται από ποικιλία έντονων συνθηκών,

συμπεριλαμβανόμενης της αποξήρανσης (deciccation), της αφυδάτωσης, της θέρμανσης, του ψύχους και της οξειδωσης. Τέλος, στα μυκοβακτήρια η τρεχαλόζη αποτελεί ένα εσωτερικό συστατικό ορισμένων γλυκολιπιδίων που είναι σημαντικά δομικά συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος. (Elbein et al. 2003)

Η απομόνωσή της από τις προαναφερθείσες φυσικές πηγές βρίσκεται σε εξέλιξη εδώ και δεκαετίες. Βέβαια, η κύρια πηγή της είναι από εκχύλιση μικροοργανισμών όπως η μαγιά που χρησιμοποιείται στην αρτοποιία. Σήμερα, οι ερευνητές προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία παραγωγής της με ενζυμική μετατροπή. Η τρεχαλόζη απομονώνεται από τη ζύμωση των n-αλκανών από το *Arthrobacter* sp. σε ποσότητες 5-7g/L. Ερευνητές που κατέχουν δίπλωμα ευρεσιτεχνίας περιέγραψαν την παραγωγή της τρεχαλόζης από βακτήρια που χρησιμοποιούν κοινές πηγές άνθρακα όπως η γλυκόζη και η σακχαρόζη. Έρευνες έχουν γίνει, ώστε να επιτευχθεί ο γενετικός ανασυνδυασμός των βακτηρίων αυτών, με εισαγωγή ενός γονιδίου που μετατρέπει τη γλυκόζη σε τρεχαλόζη κατά την παραγωγή ζάχαρης. Οι σύγχρονες μέθοδοι παραγωγής της όμως δεν έχουν μειώσει αρκετά το κόστος της, ώστε να είναι ελκυστική στη βιομηχανία τροφίμων. Γι' αυτό η χρήση της στην έρευνα περιορίζεται στη φαρμακευτική και σε υψηλής ποιότητας καλλυντικά. Οι κύριες χρήσεις της λοιπόν είναι ως κρυοπροστατευτικό πρωτεϊνών, ενζύμων, κυτταρικών μεμβρανών και οργάνων για μεταμοσχεύσεις. (Μπικιάκη 2012)

5.4.2.2 Ιδιότητες

Η τρεχαλόζη εμφανίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη λειτουργική της δράση σε σχέση με άλλους δισακχαρίτες παρόμοιου μοριακού βάρους όπως η λακτόζη και η σακχαρόζη. Γενικά, έχει τη μορφή λευκής κρυσταλλικής σκόνης, πρισματικού ρομβοειδούς σχήματος και χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό ενυδάτωσης και υψηλή υδροφιλικότητα, κυρίως λόγω της ικανότητάς της να σχηματίζει πολλούς δεσμούς υδρογόνου και να έλκει ευκολότερα τα μόρια του νερού. Η θερμοκρασία του σημείου υαλώδους μετάπτωσης της καθαρής τρεχαλόζης είναι ιδιαίτερα υψηλή (115 °C) σε σχέση με τους άλλους δισακχαρίτες (π.χ. είναι 45 °C πάνω από εκείνη της καθαρής σακχαρόζης). Έχει προταθεί ότι η υψηλή τιμή της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης, T_g , των υδατικών συστημάτων της τρεχαλόζης υποδεικνύει την

κρυοπροστατευτική της ιδιότητα. Άλλοι ερευνητές αναφέρουν ότι η τρεχαλόζη μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη παγοκρυστάλλων σε σχέση με τη σακχαρόζη, ειδικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Επιπλέον, παρουσιάζει υψηλή θερμική σταθερότητα (120 °C για 90 min), ενώ δεν αποσυντίθεται σε μεγάλο εύρος pH μεταξύ 3-10. Λόγω του μη αναγωγικού της χαρακτήρα δεν συμμετέχει στις αντιδράσεις Maillard. Χαρακτηρίζεται, επίσης, από χαμηλή γλυκαντική ισχύ, γεγονός που οφείλεται στο ότι μόνο ένα από τα δύο μόρια γλυκόζης μπορεί να συνδεθεί με τους υποδοχείς της γεύσης καθώς επίσης και με την περιορισμένη κινητικότητα των μορίων του νερού που βρίσκονται στο μόριό της. Τέλος, έχει ουδέτερο άρωμα και είναι συμβατή με μεγάλο αριθμό γλυκαντικών υλών. (Μπικιάκη 2012)

5.4.2.2 Μηχανισμός δράσης

Ο μηχανισμός με τον οποίο η τρεχαλόζη σταθεροποιεί τα μίγματα στα οποία συμμετέχει κατά τη διάρκεια κατάψυξης/απόψυξης, θέρμανσης/ψύξης και αφυδάτωσης/επανενυδάτωσης σχετίζεται με τη μοριακή της διαμόρφωση. Οι προσπάθειες κατασκευής μοριακών μοντέλων της τρεχαλόζης σε διαλύματα υποδεικνύουν πως μπορεί να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα στην αφαίρεση του νερού κατά την αφυδάτωση βιολογικών/οργανικών δομών. Μελέτες σχετικά με την ικανότητα ενυδάτωσης της τρεχαλόζης σε σύγκριση με άλλους ολιγοσακχαρίτες έδειξαν πως η τρεχαλόζη έχει τη μεγαλύτερη ενυδατική ικανότητα. Επομένως μπορεί να σταθεροποιήσει τα στρώματα λιπιδίων, προσφέροντας έτσι συνεχή και απαλή υφή στα συστήματα που χρησιμοποιείται.

Οι μηχανισμοί με τους οποίους η τρεχαλόζη προστατεύει τα οργανικά μόρια μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις κατηγορίες:

- 1) αντικατάσταση νερού,
- 2) υαλώδης μετάπτωση και
- 3) χημική σταθερότητα.

Οι μηχανισμοί αυτοί δεν συντελούνται αποκλειστικά ή ξεχωριστά, αλλά όλοι μαζί συνεισφέρουν στους σταθεροποιητικούς μηχανισμούς της τρεχαλόζης. Η θεωρία

αντικατάστασης του νερού προτείνει πως όλα τα βιολογικά μακρομόρια σταθεροποιούνται, σχηματίζοντας μεταξύ τους και του περιεχόμενου νερού δεσμούς υδρογόνου. Η τρεχαλόζη, λοιπόν, εμφανίζει μεγαλύτερη ευελιξία στο γλυκοζιτικό δεσμό μεταξύ των δύο μορίων D-γλυκόζης συγκρινόμενη με άλλους δισακχαρίτες.

Η θεωρία της υαλώδους μετάπτωσης προτείνει πως τα διαλύματα σακχάρων μπορούν να μετατρέψουν ή να διατηρήσουν την υαλώδη κατάσταση αντί της κρυσταλλοποίησης της περιεχόμενης υγρασίας. Η τρεχαλόζη είναι μοναδική καθώς σχηματίζει ένα μη υγροσκοπικό ύαλο, ο οποίος είναι σταθερός σε υψηλές θερμοκρασίες και πλήρως αφυδατωμένος. Η ιδιότητα αυτή επιτρέπει στους υάλους της τρεχαλόζης να παραμένουν ανέπαφοι σε μεγάλο εύρος εξαιρετικών συνθηκών, σε σχέση με άλλα σάκχαρα, διατηρώντας έτσι τα βιοπολυμερή (όπως άμυλο και πρωτεΐνες) σε μορφή η οποία τους επιτρέπει να επανέλθουν στην πρότερή τους μορφή μετά την αφυδάτωση. Ερευνητές χρησιμοποιώντας διαφορετικές αλλά εγκεκριμένες μεθόδους σε πολλαπλά δείγματα κατέγραψαν δύο θερμοκρασίες $T_g=120\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $114.9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ο ύαλος της τρεχαλόζης έχει μεγαλύτερη σταθερότητα, διότι με την προσθήκη μικρής ποσότητας νερού προκαλείται ακινητοποίηση των ενεργών μονάδων στα άκρα. **(Μπικιάκη 2012)**

Η τρεχαλόζη μπορεί να διατηρήσει επίσης τις ασταθείς πρωτεΐνες κατά την ξήρανση. Για παράδειγμα, η φωσφοφρουκτοκινάση είναι ένα τετραμερές που διαχωρίζεται αναντίστρεπτα σε ανενεργά διμερή κατά τη διαδικασία ξήρανσης. Παρόλο που πολλές ενώσεις που σταθεροποιούν τις πρωτεΐνες μπορούν να αποτρέψουν το διαχωρισμό αυτό υπό την παρουσία περίσσειας νερού, μόνο οι δισακχαρίτες είναι αποτελεσματικοί για τη σταθεροποίηση της πρωτεΐνης αυτής. Γενικά η τρεχαλόζη αντιδρά απευθείας με την ξηρή πρωτεΐνη μέσω δεσμού υδρογόνου μεταξύ των υδροξυλομάδων της και των πολικών κατάλοιπων της πρωτεΐνης. Δεν είναι σαφές γιατί η αλληλεπίδραση αυτή καταλήγει σε σταθεροποίηση, όμως το γεγονός ότι η τρεχαλόζη είναι μη αναγωγικό σάκχαρο σημαίνει ότι δεν μπορεί να υποστεί την τυπική αντίδραση μαυρίσματος μεταξύ της αλδεϋδομάδας των μη αναγωγικών σακχάρων και των αμινομάδων των πρωτεϊνών. Η αντίδραση μαυρίσματος, συνήθως, οδηγεί στην πρωτεϊνική μετουσίωση. **(Elbein et al. 2003)**

5.4.2.3 Κρυοπροστατευτική δράση σε προϊόντα θαλασσινών

Σε μία έρευνα που διεξήχθη από τους Zhang, Wu, Yang, Xiang, Li και Deng (2017) για τη μελέτη της κρυοπροστατευτικής δράσης της τρεχαλόζης, εξετάστηκαν κατεψυγμένα δείγματα γαρίδων (Pacific white shrimp), τα οποία περιείχαν τρεχαλόζη (3% w/v) και αποθηκεύτηκαν στους -18 °C για εννέα εβδομάδες. Προέκυψε ότι η προσθήκη τρεχαλόζης κατόρθωσε να μειώσει την απώλεια της ικανότητας συγκράτησης νερού των πρωτεϊνών των δειγμάτων κατά την απόψυξη και το μαγείρεμά τους. (Zhang et al. 2017)

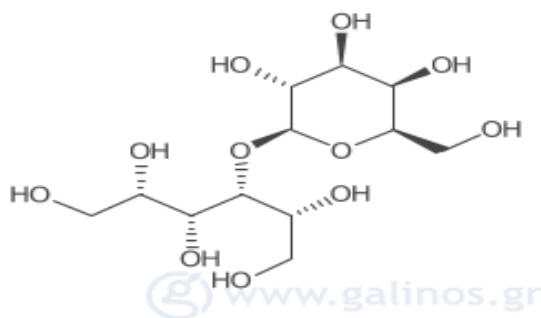
5.4.3 Λακτιτόλη

Η λακτιτόλη είναι ένα αλκοολο-σάκχαρο ή πολυόλη, που αποκτάται από την καταλυτική υδρογόνωση της λακτόζης. Τα αλκοολο-σάκχαρα (πολυόλες) συντίθενται από σιρόπι καλαμποκιού ή κυτταρινική βιομάζα μέσω μίας σειράς χημικών αντιδράσεων, συμπεριλαμβανόμενης της οξείδωσης, της υδρόλυσης και της υδρογόνωσης. Παρά το γεγονός ότι η λακτιτόλη χρησιμοποιείται κυρίως για να προσδώσει γλυκύτητα με χαμηλή θερμιδική αξία, αποτελεί μία ένωση πολλαπλών χρήσεων με ποικίλες εφαρμογές στον τομέα των τροφίμων, των γαλακτοκομικών και της φαρμακευτικής, συμπεριλαμβανόμενης της χρήσης της ως επιφανειοδραστικό και γαλακτωματοποιητικό παράγοντα, καθώς και ως χημική πλατφόρμα για το σχηματισμό υδροπηκτών (hydrogels). (Martínez-Monteaugudo and Enteshari and Metzger, 2018)

5.4.3.1 Προέλευση και ιδιότητες

Η λακτιτόλη αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τον Senderens (1920), ο οποίος υδρογόνωσε τη λακτόζη παρουσία ενεργού νικελίου, διαδικασία μη αξιόπιστη, καθώς παρατηρήθηκε εκτεταμένη υδρόλυση της λακτιτόλης. Χρόνια αργότερα, εισήχθη η ιδέα της λακτιτόλης ως συστατικό χαμηλής θερμιδικής αξίας από τους Karrer και Büchi (1937), οι οποίοι έδειξαν ότι η λακτιτόλη υδρολύεται σε μικρό βαθμό από

ένζυμα. Οι Wolfrom, Burke, Brown και Rose (1938) παρέλαβαν άνυδρη λακτιτόλη σε κρυσταλλική μορφή μέσω καθαρισμού και περαιτέρω κρυσταλλοποίησης του υδρογονωμένου πολτού. Αργότερα, ο Kasehagen (1953) εφηύρε μία διαδικασία για τη συνεχή παραγωγή αλκοολο-σακχάρων (σορβιτόλη, μαννιτόλη και λακτιτόλη) μέσω άμεσης υδρογόνωσης αναγωγικών σακχάρων παρουσία στερεού καταλύτη. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η λακτιτόλη αποτέλεσε διεγερτικό στοιχείο στα πεδία της διατροφής, της βιοτεχνολογίας και της επιστήμης των υλικών. Η ενίσχυση των βρεφικών τροφών, η σύνθεση πολυαιθέρων και η χρήση της στις ζωοτροφές, αλλά και ως ζυμωτικός και γλυκαντικός παράγοντας είναι μερικά αξιοσημείωτα παραδείγματα των βιομηχανικών της εφαρμογών.



Εικόνα 5.2 Μόριο λακτιτόλης (www.galinos.gr)

Οι Wolfrom et al. (1938 και 1952) παρατήρησαν την ύπαρξη δύο μορφών άνυδρης λακτιτόλης με διαφορετικό σημείο τήξης (μονοένυδρη και διένυδρη). Στη συνέχεια, με τη βοήθεια των XRD και IR-spectra, αποκαλύφθηκαν τρεις ένυδρες μορφές (μονο-, δι-, και τρι-ένυδρη), δύο άνυδρες (Α και Β) και μία άμορφη. Η πιο κοινή μορφή της λακτιτόλης είναι η μονοένυδρη, η οποία αποκτάται μέσω κρυσταλλώσεως του πολτού λακτιτόλης. Η συγκεκριμένη μορφή αποτελεί μία μονοκλινική πολυόλη με έναν έξω- και οχτώ έσω- μοριακούς δεσμούς υδρογόνου στη χημική δομή της. Οι Yajima et al. (1997) ανέφεραν ένα σημείο τήξης γύρω στους 98 °C για τη μονοένυδρη λακτιτόλη. Παρομοίως, οι Halttunen, Rajakylä, Nurmi, Perkkalainen, και Pitkänen (2001), χρησιμοποιώντας DSC, εκτίμησαν το σημείο τήξης της στο εύρος τιμών 93-100 °C, ανάλογα με το βαθμό άλεσης και ξήρανσής της.

Η ένταση γλυκύτητας της λακτιτόλης δόθηκε από τον Lee (1977), ο οποίος ανέπτυξε μία κλίμακα γλυκύτητας (σχετική ένταση γλυκάδας) χρησιμοποιώντας τη σακχαρόζη

ως ουσία αναφοράς. Γενικά, η λακτιτόλη περιγράφεται ως μία κρυσταλλική σκόνη με ήπια και καθαρή γλυκιά γεύση. Για πρώτη φορά, χρησιμοποιήθηκε μία αριθμητική τιμή για την ποσοτικοποίηση της γλυκύτητας της λακτιτόλης και άλλων αλκοολοσακχάρων. (Martínez-Monteagudo and Enteshari and Metzger, 2018)

5.4.3.2 Εφαρμογές της λακτιτόλης

Στον τομέα της υγιεινής και των φαρμάκων, η λακτιτόλη, αρχικά, ενσωματώθηκε επιτυχώς σε οδοντόπαστα, στοματικά διαλύματα και ασηπτικά προϊόντα για τη βελτίωση της γεύσης. Στο διάστημα που ακολούθησε, εντάχθηκε στον τομέα των φαρμάκων, όπου αρχικά χρησιμοποιήθηκε στη θεραπεία ασθενειών του συκωτιού. Πιο πρόσφατη χρήση της λακτιτόλης αποτελεί η ενσωμάτωσή της σε προϊόντα περιποίησης μαλλιών, εξαιτίας της σταθερότητας και υγροσκοπικότητάς της. Παράλληλα, χρησιμοποιείται ευρέως στη ζαχαροπλαστική και στην αρτοποιία, ως ζυμωτικός και γλυκαντικός παράγοντας, κυρίως σε παρασκευάσματα χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου, όπως σοκολάτες και τσίγλες. Επίσης, η ενίσχυση των βρεφικών τροφών, η σύνθεση πολυαιθέρων και η χρήση της σε ζωοτροφές είναι μερικά αξιοσημείωτα παραδείγματα των βιομηχανικών της εφαρμογών. (Martínez-Monteagudo and Enteshari and Metzger, 2018)

5.4.3.3 Χρήση της λακτιτόλης ως κρυσταλλοπροστατευτικό

Η λακτιτόλη είναι μία πολυόλη ικανή να αποτρέπει τη φυσική και χημική υποβάθμιση των πρωτεϊνικών παρασκευασμάτων κατά την επεξεργασία και την ακόλουθη αποθήκευση. Ως κρυσταλλοπροστατευτικός παράγοντας, η λακτιτόλη σχηματίζει μία υαλώδη μήτρα που ακινητοποιεί το πρωτεϊνικό σύστημα και αποτρέπει το ξεδίπλωμα. Η κρυσταλλοπροστατευτική της δράση οφείλεται επίσης στο γεγονός ότι η λακτιτόλη σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με την πρωτεϊνική δομή, οι οποίοι βοηθούν στη διατήρηση την ενεργότητας των ενζύμων.

Μία έρευνα που διεξήχθη από τους Norpanti, Huda, Noryati, Fazilah και Easa (2012) εκτίμησε την επίδραση της προσθήκης λακτιτόλης στην πρωτεϊνική μετουσίωση

surimi από threadfinbream κατά τη διάρκεια εξάμηνης αποθήκευσης υπό κατάψυξη. Βρέθηκε ότι ποσότητα 6% λακτιτόλης στο δείγμα επέφερε κρυοπροστατευτική επίδραση συγκρινόμενη με αυτήν της πολυδεξτρόζης και της σορβιτόλης. **(Martínez-Monteagudo and Enteshari and Metzger, 2018)**

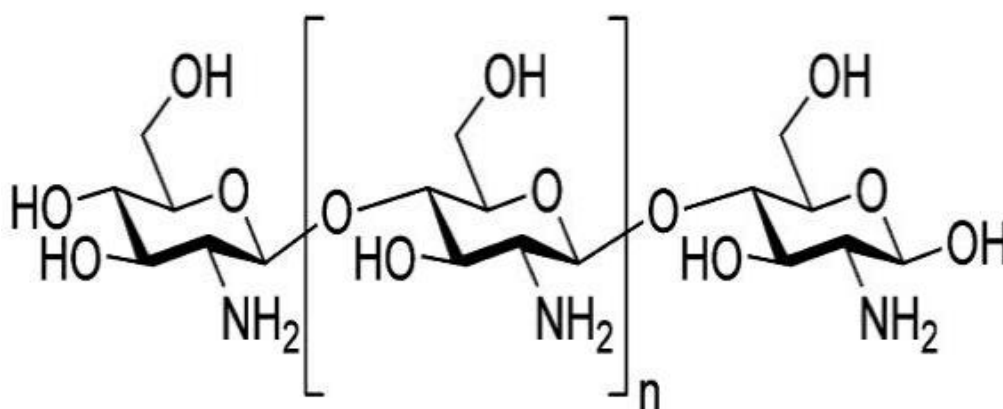
Παράλληλα, η κρυοπροστατευτική της ικανότητα έχει εκτιμηθεί και σε συνδυασμό με άλλες ενώσεις. Οι Sultanbawa και Li-Chan (1998) χρησιμοποίησαν μίγματα κρυοπροστατευτικών (σορβιτόλη, λακτιτόλη, πολυφωσφορικά και Litesse) σε κατεψυγμένα δείγματα lingcod (*Ophiodon elongatus*) surimi. Ένα μίγμα από σακχαρόζη, σορβιτόλη, λακτιτόλη και Litesse™, σε αναλογία 1:1:1:1, κατόρθωσε να σταθεροποιήσει το δείγμα κατά τη διάρκεια τετράμηνης κατάψυξης στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. **(Sultanbawa and Li-Chan, 1998)**

Επιπλέον, οι Herrera και Mackie (2004) μελέτησαν την κρυοπροστατευτική δράση της λακτιτόλης σε ποσοστό 8% w/w σε δείγματα φυσικής ακτομυοσίνης (naturalacromyosin, NAM) από ιριδίζουσα πέστροφα (rainbowtrout). Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψε ότι στα δείγματα με τη λακτιτόλη διατηρήθηκε σε μεγαλύτερο βαθμό το επίπεδο διαλυτότητας απ' ό,τι στα τυφλά δείγματα. Παράλληλα, η προσθήκη λακτιτόλης απέτρεψε τη μείωση της ενεργότητας της Ca^{2+} ΑΤΡασης καθώς και την αύξηση της υδροφοβικότητας στα δείγματα. Γενικά, η λακτιτόλη αποδείχτηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικό κρυοπροστατευτικό, καθώς διατήρησε τη δομική σταθερότητα της μυοσίνης σε ένα εύρος και κατόρθωσε να επιβραδύνει την έκθεση των εσωτερικών υδρόφοβων υπολειμμάτων στην πρωτεϊνική επιφάνεια, με αποτέλεσμα την επιβράδυνση της πρωτεϊνικής συσσωμάτωσης. Ταυτόχρονα βρέθηκε ότι η λακτιτόλη εμφάνισε καλύτερη κρυοπροστατευτική δράση από τη σακχαρόζη και τη σορβιτόλη που εξετάστηκαν παράλληλα στο ίδιο είδος δειγμάτων. **(Herrera and Mackie, 2004)**

5.4.4 Χιτοζάνη

5.4.4.1 Ορισμός και ιδιότητες

“Χιτοζάνη” είναι ουσιαστικά η συγκεντρωτική ονομασία μίας συγκεκριμένης ομάδας μερικώς απακετυλιωμένων μορίων χιτίνης. Είναι ένας γραμμικός πολυσακχαρίτης που περιέχει ένα μίγμα μονομερών d-γλυκοζαμίνης και N-ακετυλο-d-γλυκοζαμίνης, τα οποία συνδέονται με δεσμούς β-(1-4) και αποτελεί το δεύτερο πιο άφθονο βιοπολυμερές/πολυσακχαρίτη στη φύση μετά την κυτταρίνη. Η χιτίνη είναι το κύριο δομικό συστατικό του εξωσκελετού των ασπόνδυλων και των κυτταρικών τους τοιχωμάτων. Επειδή η διάσπαση της χιτίνης με φυσικό τρόπο είναι πολύ αργή στα απόβλητα των οστρακοειδών, η συσσώρευση μεγάλων αποβλήτων από την επεξεργασία των καρκινοειδών έχει δημιουργήσει έντονο πρόβλημα στον κλάδο μεταποίησης θαλασσινών. (Μπικάκη 2012, Rasmussen and Morrissey 2008)



Εικόνα 5.3 Μόριο χιτοζάνης (Μπικάκη 2012)

Η εμπορική χιτοζάνη έχει μοριακό βάρος που κυμαίνεται από 100,000 έως 1,000,000 Da και είναι διαθέσιμη σε κάθε μία από τις τρεις μορφολογικές καταστάσεις (άμορφη, ημικρυσταλλική και κρυσταλλική). Η καθαρή μικροκρυσταλλική μορφή της χιτοζάνης, μοριακού βάρους 10,000–300,000 Da, διαθέτει ιδιαίτερα ευρεία περιοχή προσρόφησης και χρησιμοποιείται ως ζελοειδής διασπορά (geldispersion) ή ως λεπτή σκόνη (finerpowder) για τη δημιουργία μορίων χιτοζάνης με συγκεκριμένο μέγεθος και δομή. Οι αμινομάδες της χιτοζάνης έχουν pKa περίπου 6.5 (τυπικό εύρος 6.2-6.8), προσδίδοντας στο μόριο ένα ολικό θετικό φορτίο και διαλυτότητα σε όξινες συνθήκες.

Παρόλο που η χιτοζάνη είναι, γενικά, αδιάλυτη στο νερό, μπορεί να αλληλεπιδράσει με αρνητικά φορτισμένα μόρια όπως λιπαρά οξέα, χολικά οξέα (bile acids), φωσφολιπίδια, πρωτεΐνες και ανιοντικούς πολυσακχαρίτες (π.χ. καραγεννάνη, πηκτίνη και άλας αλγινικού οξέος). Τα άλατα χιτοζάνης μπορεί να είναι διαλυτά στο νερό, ανάλογα με παράγοντες όπως το pH και ο βαθμός ακετυλίωσης. **(Rasmussen and Morrissey 2008)**

5.4.4.2 Βιομηχανικές εφαρμογές

Χάρη στις ενδογενείς ιδιότητές της και την ικανότητα να αλληλεπιδρά με εύρος βιομορίων, η χιτοζάνη έχει βρεθεί στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος τις τελευταίες δεκαετίες, σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών, όπως στη μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, στο φιλτράρισμα του νερού, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στα βιοσυγκολλητικά (επικάλυψη πληγών), στην αξιοποίηση αποβλήτων, στη συντήρηση τροφίμων (εδώδιμες μεμβράνες, κρυοπροστασία), ως πρόσθετο τροφίμων, στη φαρμακευτική και σε τροφοθεραπευτικά/λειτουργικά προϊόντα (nutraceuticals). Ωστόσο, ελάχιστη προσοχή έχει δοθεί στην εφαρμογή αυτών των βιοπολυμερών στα τρόφιμα. Πρόσφατες μελέτες όμως, απέδειξαν τη μη τοξική της φύση, την αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική της δράση, καθώς και τη δράση της ως ενισχυτή του ανοσοποιητικού, τη βιοσυμβατότητά της με άλλα συστατικά, όπως τις βιταμίνες A,B,E,B1,B2 κ.α. και ιχνοστοιχεία και την κατέστησαν ελκυστική ως φυσική προσθετική ουσία στα τρόφιμα όπου και χρησιμοποιείται ιδιαίτερα ως εδώδιμη επικαλυπτική μεμβράνη. Πολλά από τα παράγωγα της χιτοζάνης που είναι διαθέσιμα στη βιομηχανία τροφίμων διαφημίζονται ως παράγοντες ελάττωσης χοληστερόλης και λίπους, παρόλο που υπάρχει ισχυρή αντιπαράθεση γύρω από την αποτελεσματικότητα της χιτοζάνης ως παρεμποδιστή απορρόφησης λίπους. **(Μπικάκη 2012, Rasmussen and Morrissey 2008)**

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. Η αποτελεσματικότητά της ως αντιμικροβιακό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος του μικροοργανισμού, το μοριακό βάρος της χρησιμοποιούμενης χιτοζάνης, η

συγκέντρωσή της, τα υδροφιλικά-υδροφοβικά χαρακτηριστικά της, ακόμη και το pH και η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι περισσότερες έρευνες δείχνουν πως η μικρού μοριακού βάρους χιτοζάνη έχει αποτελεσματικότερη δράση έναντι των βακτηρίων και των μυκήτων. Επίσης η αποτελεσματικότητά της καθορίζεται από τη διαλυτότητά της στο νερό. Για παράδειγμα, η τεταρτοταγής δομή της χιτοζάνης εμφανίζει ισχυρότερη αντιμικροβιακή δράση, μεγαλύτερο εύρος και ποσοστό θανάτωσης μικροοργανισμών σε σχέση με την αδιάλυτη χιτοζάνη. Επιπλέον σε όξινο περιβάλλον εμφανίζει ακόμη μεγαλύτερη δραστηριότητα, ενώ σε pH ίσο με 7 παρουσιάζει αδυναμία να παραμείνει δραστική λόγω της παρουσίας ελεύθερων αμινομάδων. **(Μπικιάκη 2012, Rasmussen and Morrissey 2008)**

Η χιτοζάνη ερευνήθηκε ως κρυοπροστατευτικό **(Dey and Dora 2011)** σε κατεψυγμένα δείγματα croakerfish surimi, που αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία -20 °C για διάστημα 6 μηνών. Προέκυψε ότι η προσθήκη στα δείγματα χιτοζάνης σε ποσότητα 1% w/w επέδειξε παρόμοια κρυοπροστατευτική συμπεριφορά με αυτή κρυοπροστατευτικών του εμπορίου, όπως η σακχαρόζη και η σορβιτόλη, διατηρώντας την ενεργότητα της Ca²⁺ATPase και την ισχύ της πηκτής (gel strength) των δειγμάτων.

5.4.5 Μαλτοδεξτρίνη

5.4.5.1 Προέλευση και ιδιότητες

Από την υδρόλυση του αμύλου με τη χρήση θερμότητας, οξέος, ειδικών ενζυμικών διαδικασιών ή συνδυασμένης όξινης και ενζυμικής υδρόλυσης, παράγεται ένα φάσμα αποπολυμερισμένων ολιγομερών. Τα υδρολυμένα προϊόντα αποτελούνται κυρίως από D-γλυκόζη, μαλτόζη και μία σειρά ολιγοσακχαριτών και πολυσακχαριτών (όπως ολιγοσακχαρίτες μαλτόζης και μίγματα μαλτοτριόζης και μαλτοτετρόζης). Η ευρεία ποικιλία των διαθέσιμων υδρολυμάτων περιγράφεται με βάση την τιμή του ισοδύναμου δεξτρόζης (dextrose equivalent, DE) τους, η οποία αποτελεί μέτρο της ολικής αναγωγικής ισχύος όλων των παρόντων σακχάρων σχετικά με τη γλυκόζη (τιμή 100) και εκφράζεται σε ξηρή μάζα. Επομένως, ένα παραγόμενο προϊόν με

υψηλότερο ισοδύναμο δεξτρόζης έχει υποβληθεί σε μεγαλύτερο βαθμό υδρόλυσης από ένα με χαμηλότερο. (**Chronakis 1998**)

Οι μαλτοδεξτρίνες είναι προϊόντα υδρόλυσης του αμύλου με DE χαμηλότερο του 20 (για τιμές $DE > 20$ χρησιμοποιούνται οι όροι *symp solids* ή δεξτρίνες). Αντιπροσωπεύουν ένα μίγμα σακχαριτών με ποικίλη κατανομή μοριακού βάρους μεταξύ των πολυσακχαριτών και των ολιγοσακχαριτών και είναι διαθέσιμες σε μορφή λευκής σκόνης, κυρίως, ή ως πυκνά διαλύματα. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως μακρομοριακοί υδατανθρακικοί διογκωτικοί υποκαταστάτες (όπως τα πολυμερή γλυκόζης, τα τροποποιημένα σάκχαρα και τα μικτά υδροκolloειδή). Αντίθετα με το φυσικό άμυλο, οι μαλτοδεξτρίνες είναι διαλυτές σε κρύο νερό, έχουν ήπια γλυκιά γεύση και χαρακτηρίζονται ως μη υγροσκοπικές ουσίες με ικανότητα συγκράτησης νερού. Ορισμένες από τις σημαντικές τους λειτουργικές ιδιότητες είναι η ζελοποίηση, η αποτροπή της κρυστάλλωσης, η προαγωγή της διασποράς, ο έλεγχος ψύξης και δέσμευση λιπαρών και γεύσης. (**Chronakis 1998**)

5.4.5.2 Βιομηχανικές εφαρμογές

Στη βιομηχανία τροφίμων εφαρμόζονται ως ψεκαζόμενα ξηρά βοηθήματα γεύσης και καρυκεύματα, φορείς συνθετικών γλυκαντικών, ενισχυτές γεύσης, και διογκωτικοί παράγοντες. Παράλληλα, οι μαλτοδεξτρίνες με χαμηλές τιμές DE υποστηρίζεται ότι παρουσιάζουν εν μέρει τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του λίπους, γεγονός που στη δεκαετία του 1980 προσέδωσε ιδιαίτερη προσοχή στην χρήση τους στην παραγωγή προϊόντων χαμηλών λιπαρών και θερμιδικού περιεχομένου. (**WangY. And WangL. 2000, Chronakis 1998**)

Το 1999, οι Carvajal, MacDonald και Lanier μελέτησαν την κρυοπροστατευτική επίδραση μαλτοδεξτρινών διαφορετικού μέσου μοριακού βάρους συγκριτικά με αυτή μίγματος σακχαρόζης σορβιτόλης σε κατεψυγμένα δείγματα *surimi* από βακαλάο Αλάσκας (*Alaska pollock*), τα οποία αποθηκεύτηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (-8, -14 και -20 °C) για διάστημα 3 μηνών. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι στους -20 °C, οι μαλτοδεξτρίνες παρουσίασαν ικανοποιητική κρυοπροστατευτική δράση ανεξαρτήτως του μοριακού βάρους, ωστόσο στις υψηλότερες θερμοκρασίες, οι μαλτοδεξτρίνες υψηλού μοριακού βάρους

αποδείχτηκαν ανεπαρκή κρυοπροστατευτικά. Φαίνεται ότι οι μαλτοδεξτρίνες υψηλότερου μοριακού βάρους λειτουργούν ως αποτελεσματικότερα κρυοπροστατευτικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, μέσω ενός μηχανισμού μείωσης της μετανάστευσης του νερού. (Carvajal and MacDonald and Lanier, 1999)

5.5 Αναζήτηση νέων κρυοπροστατευτικών ουσιών

Στις προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου συζητήθηκε η σημασία της κρυοπροστασίας στη συντήρηση υπό κατάψυξη των τροφίμων και η επίτευξή της με την ευρεία χρήση διαφόρων ουσιών υδατανθρακικής, κυρίως, προέλευσης, όπως η σακχαρόζη, η σορβιτόλη, η λακτιτόλη, οι μαλτοδεξτρίνες, η τρεχαλόζη και άλλες. Ωστόσο, παρά την αποτελεσματικότητά τους στη διατήρηση του πρωτεϊνικού περιεχομένου των τροφίμων, οι ουσίες αυτές προσδίδουν, ιδιαίτερα στα ζωικά τρόφιμα (ψάρι, κρέας), μία γλυκιά γεύση, η οποία τις περισσότερες φορές είναι μη αποδεκτή από τους καταναλωτές. Συνεπώς, η προσοχή των ερευνητών έχει στραφεί στην αναζήτηση εναλλακτικών κρυοπροστατευτικών ουσιών, οι οποίες επηρεάζουν σε μικρότερο βαθμό τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων. Συγκεκριμένα, οι κρυοπροστατευτικές επιδράσεις των πρωτεϊνικών υδρολυμάτων των θαλασσινών και των πεπτιδίων τους έχουν παρουσιαστεί σε διάφορα συστήματα θαλασσινών όπως οι μυϊκές πρωτεΐνες, το surimi και ο κιμάς ψαριού. Έτσι, τα υδρολύματα ή τα πεπτίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποτρέψουν τη μετουσίωση των πρωτεϊνών των θαλασσινών χωρίς να επεμβαίνουν στη γεύση τους.

Κατά την επεξεργασία των θαλασσινών, μία σημαντική ποσότητα τμημάτων ψαριών και οστρακοειδών παράγεται ως υπολείμματα, συμπεριλαμβανόμενων των κεφαλιών, των πτερυγίων, του δέρματος, των αυγών (roe), των εντοσθίων και του κελύφους. Τα υποχρησιμοποιούμενα είδη ή αυτά που προκύπτουν μαζί με τον κύριο όγκο αλιευμάτων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικές πρωτεϊνικές ή χιτινικές πηγές για την ανάπτυξη πρόσθετων ουσιών. Οι Olsen et al. (2014) αναφέρουν ότι τα παραπροϊόντα των θαλασσινών μπορεί να αποτελέσουν ακόμα και το 70% του συνολικού βάρους των ψαριών και των οστρακοειδών μετά από βιομηχανική επεξεργασία. Εξαιτίας της αυξανόμενης ανάγκης για αποτελεσματική

χρήση των παραπροϊόντων από τις βιομηχανίες επεξεργασίας θαλασσινών ή των υποχρησιμοποιούμενων θαλάσσιων πόρων, πολλοί ερευνητές έδωσαν ιδιαίτερη έμφαση στην ανάκτηση ή την παραγωγή φυσικών ενώσεων από αυτές τις πηγές. Συνεπώς, ουσίες με κρυοπροστατευτική δράση εξήχθησαν από διάφορες υδρόβιες πηγές, συμπεριλαμβανομένων ψαριών, γαρίδων, καλαμαριών, krill, αστακών και καβουριών. (Nikoo and Benjakul and Rahmanifarah, 2016)

5.5.1 Υδρολύματα ζελατίνης

Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι το δέρμα των ψαριών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδρολυμάτων ζελατίνης με κρυοπροστατευτικές ιδιότητες στα θαλασσινά προϊόντα. Η ζελατίνη είναι ένα ετερογενές μίγμα πεπτιδίων που παράγεται από το κολλαγόνο. Θέρμανση του κολλαγόνου σε νερό, κυρίως, επιφέρει θραύση των δεσμών υδρογόνου. Αυτό αποσταθεροποιεί την τριπλή έλικα με τη μετάβαση από έλικα σε σπείρα, οδηγώντας στη μετατροπή του σε διαλυτή ζελατίνη. Η θερμική ή η ενζυμική υδρόλυση της ζελατίνης μπορεί να προσδώσει κρυοπροστατευτική δραστηριότητα στα πεπτίδια που περιέχουν το υδρόλυμα. Η σύνθεση και οι κρυοπροστατευτικές ιδιότητες των υδρολυμάτων ζελατίνης μπορεί να επηρεαστούν από τις παραμέτρους επεξεργασίας, όπως η προκατεργασία της σάρκας, η εξαγωγή της ζελατίνης και οι συνθήκες υδρόλυσης. Τα είδη των ενζύμων που χρησιμοποιούνται στην υδρόλυση της ζελατίνης καθώς και οι παράμετροι υδρόλυσης είναι ιδιαίτερα σημαντικά, επηρεάζοντας το μέγεθος, τη σύνθεση και την αλληλουχία των αμινοξέων των πεπτιδίων, τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζουν την κρυοπροστατευτική τους δραστηριότητα στα κατεψυγμένα θαλασσινά.

Η ζελατίνη περιέχει γλυκίνη, αλανίνη, προλίνη και υδροξυπρολίνη ως βασικά αμινοξέα. Η παρουσία της γλυκίνης-X-Y (το κύριο συστατικό της α-αλυσίδας του κολλαγόνου) σχετίζεται με την υψηλή κρυοπροστατευτική δράση των υδρολυμάτων και των πεπτιδικών κλασμάτων. Τα πεπτίδια που διαθέτουν τη συγκεκριμένη σύνθεση ή αλληλουχία αμινοξέων κατάφεραν να αναστείλουν το σχηματισμό εξωκυτταρικού πάγου σε προϊόντα θαλασσινών κατά την ψύξη κι έτσι προστάτευσαν τις πρωτεΐνες

από τη μετουσίωση λόγω ψύξης, γεγονός που αποδείχθηκε από την ελαττωμένη μετατόπιση του νερού μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων (π.χ. από το έξω- στο έσω-μυοϊνιδικό τμήμα) και τη μεγαλύτερη ποσότητα του έξω-μυοϊνιδικού νερού που διατηρήθηκε στο προϊόν που περιείχε πεπτίδια μετά από συγκεκριμένες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.

Ορισμένα πειράματα έχουν δείξει ότι η σύνθεση των αμινοξέων της ζελατίνης επηρεάζεται από το εκάστοτε είδος, την επεξεργασία της πρώτης ύλης ή τις συνθήκες κατά τις οποίες διεξήχθη η εκχύλιση της (χρόνος και θερμοκρασία). Η σύνθεση των αμινοξέων του δέρματος των ψαριών επηρεάζεται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, συνεπώς τα υδρολύματα από ψάρια ψυχρών ή θερμών νερών με διαφορές στη σύνθεση των αμινοξέων του κολλαγόνου θα παρουσιάσουν διαφορετική κρυοπροστατευτική δράση στα διάφορα προϊόντα. Τα Flavourzyme υδρολύματα που παρήχθησαν από το δέρμα εκτρεφόμενης μουρούνας (Amurstururgeon) με υψηλότερες ποσότητες Asp, Glu, Ser, Gly, His, Arg, Thr, Pro και Lys προστάτευσαν αποτελεσματικότερα τις πρωτεΐνες των μυϊκών ινών από τη μετουσίωση και την απώλεια της λειτουργικότητάς τους. **(Nikoo and Benjakul and Rahmanifarah, 2016)**

5.5.2 Υδρολύματα χιτίνης

Τα κελύφη των οστρακοειδών και των κεφαλόποδων, τα οποία προκύπτουν κατά την επεξεργασία και μπορεί να αποτελέσουν περιβαλλοντική επιβάρυνση, μπορούν να εξυπηρετήσουν ως πηγή παραγωγής υδρολυμάτων χιτίνης. Εξαιτίας της άκαμπτης κρυσταλλικής δομής και της αδιαλυτότητάς της σε νερό που περιορίζαν την πιθανή χρήση της ως κρυοπροστατευτικό στα θαλασσινά και τα προϊόντα τους, η εφαρμογή των υδρολυμάτων χιτίνης, τα οποία είναι υδατοδιαλυτά, έχει μελετηθεί. Οι ολιγοσακχαρίτες που παρήχθησαν από όξινη υδρόλυση παρουσίασαν πλεονεκτήματα στην καθυστέρηση της μετουσίωσης λόγω ψύξης των θαλασσινών πρωτεϊνών και αύξησαν την ποσότητα του μη παγωμένου νερού στις παγωμένες και μη μυϊκές ίνες. **(Nikoo and Benjakul and Rahmanifarah, 2016)**

5.5.3 Χαρακτηριστικά και ρόλος των κρυοπροστατευτικών υδρολυμάτων

Τα πρωτεϊνικά υδρολύματα και τα υδρολύματα χιτίνης που παράγονται από ποικίλα είδη ψαριών, καρκινοειδών και κεφαλόποδων, έχει αποδειχθεί ότι, λόγω της χαμηλής τους γλυκότητας, εξυπηρετούν ως πιθανά εναλλακτικά των υδατανθρακικών κρυοπροστατευτικών ενώσεων που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη σταθεροποίηση των κατεψυγμένων προϊόντων ψαριών. Οι κρυοπροστατευτικές επιδράσεις των προαναφερθέντων επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες σχετικούς με τις διαφορές στην αλληλεπίδρασή τους με τις μυϊκές πρωτεΐνες. Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που επηρεάζει την κρυοπροστατευτική τους δραστηριότητα στα προϊόντα θαλασσινών είναι η παρουσία υδρόφιλων αμινοξέων στην αλληλουχία των πεπτιδίων. Κατά την ψύξη ή την κατάψυξη, ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων μπορεί να καταστρέψει τη στοιβάδα ενυδάτωσης γύρω από τις πολικές ομάδες των μυϊκών πρωτεϊνών, πράγμα που οδηγεί στο ξεδίπλωμα του πρωτεϊνικού μορίου, καθώς και σε υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις μεταξύ ξεδιπλωμένων τμημάτων. Η αλληλεπίδραση που προκύπτει μεταξύ των ενυδατωμένων μορίων νερού των μυϊκών πρωτεϊνών και των πολικών ομάδων των υδρόφιλων πεπτιδίων σταθεροποιεί το σχετιζόμενο με την πρωτεΐνη δεσμευμένο νερό, οδηγώντας σε μεγαλύτερες ποσότητες μη παγωμένου νερού στα προϊόντα. Αυτό χαμηλώνει τη δομική μεταβολή των πρωτεϊνών αυτών. Τα υδρόφιλα αμινοξέα, όπως η προλίνη, η ασπαραγίνη, η γλουταμίνη, η σερίνη, η ιστιδίνη, η αργινίνη, η γλυκίνη, η μεθειονίνη στην αλληλουχία των πεπτιδίων έδειξαν την ιδιότητα δέσμευσης νερού, καταλήγοντας στη μείωση της μετανάστευσής του προς σχηματισμό παγοκρυστάλλων. Αυτό οδηγεί στη σταθεροποίηση των μορίων νερού. Είδη πρωτεασών, πρωτεϊνικά/χιτινικά ακατέργαστα υλικά και συνθήκες υδρόλυσης καθορίζουν το μέγεθος των πεπτιδίων και το μηχανισμό δράσης τους. Παρά το μέγεθος των πεπτιδίων, η σύνθεση των αμινοξέων καθώς και η θέση τους στην αλυσίδα καθορίζει σημαντικά το μηχανισμό της κρυοπροστασίας. (Nikoo and Benjakul and Rahmanifarah 2016)

5.5.4 Εφαρμογές των πρωτεϊνικών υδρολυμάτων θαλασσινών ως κρυοπροστατευτικά

Η κατασταλτική επίδραση των πρωτεϊνικών υδρολυμάτων στη μετουσίωση λόγω ψύξης των μυϊκών πρωτεϊνών των ψαριών έχει αναφερθεί σε διάφορες μελέτες. Οι Zhang, Yamashita και Nozaki (2002) ερεύνησαν την κρυοπροστατευτική επίδραση του πρωτεϊνικού υδρολύματος krill σε μυϊκές πρωτεΐνες lizardfish κατά την κατάψυξή του. Η προσθήκη των υδρολυμάτων οδήγησε σε αύξηση του περιεχομένου του μη παγωμένου νερού και κατέστειλε την απενεργοποίηση της δραστηριότητας της Ca^{2+} -ATPάσης. Τα πεπτίδια στα πρωτεϊνικά υδρολύματα του krill με μοριακά βάρη 300–1400 Da διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην αποτροπή του σχηματισμού παγοκρυστάλλων γύρω από τις μυϊκές ίνες, οδηγώντας σε δομική σταθεροποίηση των πρωτεϊνών κατά την κατάψυξη. Τα πρωτεϊνικά υδρολύματα του krill συνέβαλαν στη δέσμευση των μορίων νερού γύρω από τις μυϊκές ίνες, τα οποία είχαν εξαιρεθεί από τα υδρόφοβα υπολείμματα των πρωτεϊνικών μορίων. Αυτό οδήγησε σε αλλαγές στη δομή των μορίων νερού, στα οποία σταθεροποιήθηκε η ενυδάτωση στην επιφάνεια των πρωτεϊνικών μορίων. Εξαιτίας αυτού, αυξήθηκε το περιεχόμενο του μη παγωμένου νερού. (Yamashita and Zhang and Nozaki 2002)

Οι Hossain et al. (2004) εκτίμησαν την επίδραση του πρωτεολυτικού πρωτεϊνικού υδρολύματος καλαμαριού (SPH) στην αποτροπή της μετουσίωσης των μυϊκών πρωτεϊνών του lizardfish. Τα SPH, ιδιαίτερα σε ποσότητα από 5 έως 7,5% κατόρθωσαν να ελαττώσουν τη μείωση της ενεργότητας της Ca^{2+} -ATPάσης, ενώ ταυτόχρονα αύξησαν το περιεχόμενο του μη παγωμένου νερού κατά την περίοδο ψύξης. Η αύξηση στην ποσότητα του μη παγωμένου νερού προέκυψε λόγω της αλληλεπίδρασης των υδρόφιλων πλευρικών αλυσίδων των πεπτιδίων και του νερού στη σφαίρα ενυδάτωσης των μυϊκών πρωτεϊνών. (Hossain et al. 2004)

Οι Korzeniowska, Cheung και Li-Chan (2013) ανέφεραν την πιθανή χρήση των πρωτεϊνικών υδρολυμάτων μπακαλιάρου του Ειρηνικού (pacific hake) με τη χρήση Flavourzyme ως κρυοπροστατευτικού σε φυσική ακτομοσίνη (NAM) γάδου του Ειρηνικού (pacific cod). Μετά από έξι κύκλους ψύξης-απόψυξης, η επιφανειακή υδροφοβικότητα του τυφλού δείγματος και αυτού στο οποίο προστέθηκε 2% υδρόλυμα αυξήθηκε σημαντικά, υποδεικνύοντας το πρωτεϊνικό ξεδίπλωμα και την

έκθεση των υδρόφοβων υπολειμμάτων. Στη NAM που προστέθηκε 8% κατά βάρος Flavourzyme υδρόλυμα, η επιφανειακή υδροφοβικότητα δεν μεταβλήθηκε μετά από πολλαπλούς κύκλους ψύξης-απόψυξης, δείχνοντας έτσι ότι το υδρόλυμα σταθεροποίησε αποτελεσματικά τις πρωτεΐνες από διαμορφωτικές αλλαγές. Η φυσική ακτομυοσίνη, στην οποία προστέθηκε 8% υδρόλυμα μπακαλιάρου του Ειρηνικού, είχε, επίσης, μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα από το τυφλό δείγμα και από αυτό στο οποίο προστέθηκε μίγμα σακχαρόζης-σορβιτόλης. **(Korzeniowska and Cheung and Li-Chan 2013)**

Τα πρωτεϊνικά υδρολύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κρυοπροστατευτικά σε κιμά ψαριού κατά την κατάψυξη. Πρωτεϊνικά υδρολύματα μπακαλιάρου του Ειρηνικού που παρήχθησαν είτε με τη χρήση Alcalase (FPH-A) ή Flavourzyme (FPHF) επέδειξαν κρυοπροστατευτική επίδραση σε κιμά γάδου υποβαλλόμενου σε πολλαπλούς κύκλους ψύξης- απόψυξης. Ο κιμάς γάδου, στον οποίο προστέθηκαν και τα δύο υδρολύματα (σε συγκέντρωση 8% κατά βάρος), είχε υψηλότερο ποσοστό μη παγωμένου νερού και χαμηλότερη εκφραζόμενη (expressible) υγρασία μετά από έξι κύκλους. Κατά την κατάψυξη ή τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, η μυοσίνη και η ακτίνη - οι κύριες μυϊκές πρωτεΐνες - γίνονται λιγότερο εκχυλίσιμες σε διαλύματα αλάτων, σχηματίζοντας πρωτεϊνικά συσσωματώματα υψηλού μοριακού βάρους. Τα πρωτεϊνικά υδρολύματα, κυρίως αυτά που ετοιμάστηκαν χρησιμοποιώντας το Flavourzyme, αναδείχθηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην προστασία των πρωτεϊνών του κιμά από τη μετουσίωση και τη συσσωμάτωση όπως αποδείχθηκε από την υψηλά εκχυλίσιμη φυσική ακτομυοσίνη και τις μικρότερες αλλαγές στην επιφανειακή υδροφοβικότητα λόγω ψύξης και απόψυξης. **(Nikoo and Benjakul and Rahmanifarah 2016)**

Οι Khanetal. (2003) ανακάλυψαν ότι τα υπολειμματικά πρωτεϊνικά υδρολύματα από πέντε διαφορετικά είδη ψαριών μπόρεσαν να μειώσουν την επίδραση της μετουσίωσης λόγω ψύξης στη δραστηριότητα της Ca^{2+} -ATPase σε δείγματα surimi από lizardfish, ενώ η ιδιότητα αυτή συσχετίστηκε με το περιεχόμενο του μη παγωμένου νερού. Το δείγμα surimi με πρωτεϊνικά υδρολύματα από υπολείμματα ψαριών είχε μεγαλύτερη ποσότητα μη παγωμένου νερού από το τυφλό. **(Nikoo and Benjakul and Rahmanifarah 2016)**

Οι Kittiphattanabawon et al. (2012) ερεύνησαν την προσθήκη υδρολύματος ζελατίνης από το δέρμα black tip shark σε δείγματα surimi που υπεβλήθησαν σε κύκλους ψύξης-απόψυξης, και έδειξαν ότι το υδρόλυμα παρουσίασε κρυοπροστατευτική επίδραση συγκρινόμενη με αυτή εμπορικού κρυοπροστατευτικού, συγκεκριμένα ενός μίγματος σακχαρόζης και σορβιτόλης (1:1, w/w). Το δείγμα χωρίς το υδρόλυμα παρουσιάστηκε ιδιαίτερα επιρρεπές στη μετουσίωση, όπου η μείωση στις σουλφυδρυλικές ομάδες, με συνακόλουθο σχηματισμό δισουλφιδικού δεσμού, συσχετίστηκε με τη μείωση στη δραστηριότητα της Ca^{2+} -ΑΤΡάσης. Οι σφαιρικές κεφαλές των μορίων της μυοσίνης αποτελούν το σημείο δράσης της ΑΤΡάσης. Συνεπώς, οι αλλαγές στη δραστηριότητα της ΑΤΡάσης της μυοσίνης σχετίζονται με τη μετουσίωση που προκύπτει από το ξεδίπλωμα της τεταρτοταγούς δομής της περιοχής της κεφαλής που προκαλείται από το σχηματισμό παγοκρυστάλλων και αύξηση της ιοντικής ισχύος του συστήματος. Μετά το πέρας των κύκλων ψύξης-απόψυξης, αποκτήθηκε η μέγιστη δραστηριότητα της Ca^{2+} -ΑΤΡάσης και η ελάχιστη επιφανειακή υδροφοβικότητα, χάρη στην προσθήκη του υδρολύματος ζελατίνης με 10% DH. Όταν τα μόρια της μυοσίνης υπέστησαν διαμορφωτική αλλαγή, οι ενεργές σουλφυδρυλικές ομάδες θα μπορούσαν να είναι περισσότερο εκτεθειμένες, γεγονός που, ιδιαίτερα στην περιοχή της κεφαλής, ευνοεί το σχηματισμό δισουλφιδικού δεσμού μέσω οξείδωσης. Παρουσία του υδρολύματος ζελατίνης με 10% DH, η απώλεια των ολικών σουλφυδρυλικών ομάδων απετράπη, ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στους δισουλφιδικούς δεσμούς ανάμεσα σε αυτά και στα δείγματα surimi που περιείχαν μίγμα σακχαρόζης/σορβιτόλης, αποδεικνύοντας ότι τα υδρόλυμα ζελατίνης μπορούν επίσης να αποτρέψουν τη μετουσίωση της μυοσίνης του surimi. **(Kittiphattanabawon et al. 2012)**

Παράλληλα, οι Somjit et al. (2005) μελέτησαν την κρυοπροστατευτική επίδραση υδρολυμάτων χιτίνης τριών διαφορετικών ειδών γαρίδας σε δείγματα surimi από lizardfish. Προέκυψε ότι τα υδρόλυμα χιτίνης κατόρθωσαν να αναστείλουν τη μετουσίωση των πρωτεϊνών των δειγμάτων στον ίδιο βαθμό με τη σακχαρόζη και τη σορβιτόλη που εξετάστηκαν παράλληλα, σταθεροποιώντας τα ενυδατωμένα μόρια νερού που περιβάλλουν τις πρωτεΐνες. **(Somjit et al. 2005)**

5.6 Βιβλιογραφία

Carvajal P. A., MacDonald G.A., Lanier T.C., 1999, Cryostabilization Mechanism of Fish Muscle Proteins by Maltodextrins, *Cryobiology*, 38:16–26

Chronakis I. S., 1998, On the Molecular Characteristics, Compositional Properties, and Structural-Functional Mechanisms of Maltodextrins: A Review, *Critical Reviews in Food Science*, 38: 599–637

Dey S.S., Dora K.C., 2011, Suitability of chitosan as cryoprotectant on croaker fish (*Johnius gangeticus*) surimi during frozen storage, *J Food Sci Technol*, 48 (6): 699–705

Διπλωματική εργασία, 2012, Κρυοπροστατευτικά υλικά σε κατεψυγμένα προϊόντα πατάτας, Μπικάκη Νάντια, Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 62-68

Διπλωματική εργασία, 1998, Χρήση κρυοπροστατευτικών υλικών στην κατάψυξη προϊόντων ψαριού, Παπαδέας Παναγιώτης, Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 76-78

Elbein A. D., Pan Y.T., Pastuszak I., Carroll D., 2003, New insights on trehalose: a multifunctional molecule, *Glycobiology*, 13 (4): 17-27

Etemadian Y., Shabanpour B., Sadeghi Mahoonak A.R., Shabani A., Alami M., 2011, Cryoprotective effects of polyphosphates on *Rutilus frisii kutum* fillets during ice storage, *Food Chemistry*, 129: 1544–1551

Herrera J.R., Mackie I.M., 2004, Cryoprotection of frozen-stored actomyosin of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by some sugars and polyols, *Food Chemistry*, 84: 91-97

Hossain M.A., Abu Alikhan M., Ishihara T., Hara K., Osatomi K., Osaka K., Nazaki Y., 2004, Effect of proteolytic squid protein hydrolysate on the state of water and denaturation of lizardfish (*Saurida wanieso*) myofibrillar protein during freezing, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5 (1): 73-79

Kittiphattanabawon P., Benjakul S., Visessanguan W., Shahidi F., 2012, Gelatin hydrolysate from blacktip shark skin prepared using papaya latex enzyme: Antioxidant activity and its potential in model systems, *Food Chemistry*, 135 (3): 1118-1126

Korzeniowska M., Cheung I.W.Y., Li-Chan E.C.Y., 2013, Effects of fish protein hydrolysate and freeze–thaw treatment on physicochemical and gel properties of natural actomyosin from Pacific cod, *Food Chemistry*, 138: 1967–1975

Martínez-Monteagudo S. I., Enteshari M., Metzger L., 2018, Lactitol: Production, properties, and applications, *Trends in Food Science & Technology*, 83: 181-191

Mohammed A. R., Coombes A.G.A, Perrie Y., 2007, Amino acids as cryoprotectants for liposomal delivery systems, *European journal of pharmaceutical sciences*, 30: 406–413

Nikoo M., Benjakul S., 2015, Potential application of seafood-derived peptides as bifunctional ingredients, antioxidant–cryoprotectant: A review, *Journal of Functional Foods*, 19: 753–764

Nikoo M., Benjakul S., Rahmanifarah K., 2016, Hydrolysates from marine sources as cryoprotective substances in seafoods and seafood products, *Trends in Food Science & Technology*, 57 (A): 40-51

R. S. Rasmussen and M. T. Morrissey, 2008, Chitin and Chitosan, in *Marine Nutraceuticals and Functional Foods*, ed. C. Barrow and F. Shahidi, CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 155-182

Rodriguez-Furlan L. T., Lecot J., Perez-Padilla A., Campderros M. E., Zaritzky N. E., 2013, Calorimetric Study of Inulin as Cryo- and Lyoprotector of Bovine Plasma Proteins

Somjit K., Ruttanapornwareesakul Y., Hara K., Nozaki Y., 2005, The cryoprotectant effect of shrimp chitin and shrimp chitin hydrolysate on denaturation and unfrozen water of lizardfish surimi during frozen storage, *Food Research International*, 38 (4): 345-355

Sultanbawa Y. and Li-Chan E.C.Y., 1998, Cryoprotective effects of sugar and polyol blends in ling cod surimi during frozen storage, *Food Research International*, 31: 87-98

Wang Y. and Wang L., 2000, Structures and Properties of Commercial Maltodextrins from Corn, Potato, and Rice Starches, *Starch/Stärke*, 52: 296–304

Yamashita Y., Zhang N., Nozaki Y., 2002, Effect of chitin hydrolysate on the denaturation of lizard fish myofibrillar protein and the state of water during frozen storage, *Food Hydrocolloids*, 17 (5): 569-576

Zhang B., Wu H-x., Yang H-c., Xiang X-w., Li H-b., Deng S-g., 2017, Cryoprotective roles of trehalose and alginate oligosaccharides during frozen storage of peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Food Chemistry*, 228: 257-264

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1 Σκοπός

Σκοπός των πειραμάτων που έλαβαν χώρα ήταν ο προσδιορισμός των μεταβολών των φυσικοχημικών ιδιοτήτων δειγμάτων ψαριού, στα οποία προστέθηκαν διαφορετικές κρυοπροστατευτικές ουσίες, και, ακολούθως, αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη, υπό σταθερές (Πείραμα 1) και υπό επιταχυνόμενες συνθήκες αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) (Πείραμα 2). Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων παρασκευάστηκαν δύο ομάδες δειγμάτων, η πρώτη από κατεψυγμένα φιλέτα μπακαλιάρου Cod Ειρηνικού και η δεύτερη από κατεψυγμένα φιλέτα μπακαλιάρου Pollock Αλάσκας. Μελετήθηκαν συνολικά 6 διαφορετικές κρυοπροστατευτικές ουσίες υδατανθρακικής προέλευσης:

- Ζάχαρη
- Ινουλίνη
- Τρεχαλόζη
- Λακτιτόλη
- Χιτοζάνη
- Μαλτοδεξτρίνη

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες που μελετήθηκαν είναι:

- Η περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων.
- Η απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων.
- Η εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών των δειγμάτων.
- Το χρώμα των δειγμάτων.
- Η υφή των δειγμάτων (σκληρότητα, συνεκτικότητα, κομμιάδες, ελαστικότητα, μασητικότητα).

6.2 Πειραματική διαδικασία

6.2.1 Όργανα και συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν

Παρατίθενται τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προετοιμασία των δειγμάτων και τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

- Επωαστήρας για την απόψυξη των ψαριών
- Blender
- Διάτρητο ύφασμα
- Πλαστικά δοχεία
- Πορσελάνινες κάψες
- Υδατόλουτρο
- Αναλυτικός ζυγός
- Ηθμός
- Συσκευή φυγοκέντρισης
- Ποτήρια ζέσεως
- Αναλυτής υφής TA-XT2i
- Χρωματόμετρο Minolta CR-200
- Γυάλινες φιάλες Kjeldahl
- Συσκευή απόσταξης Kjeldahl
- Γυάλινη προχοΐδα
- Κωνικές φιάλες
- Θολοσίμετρο

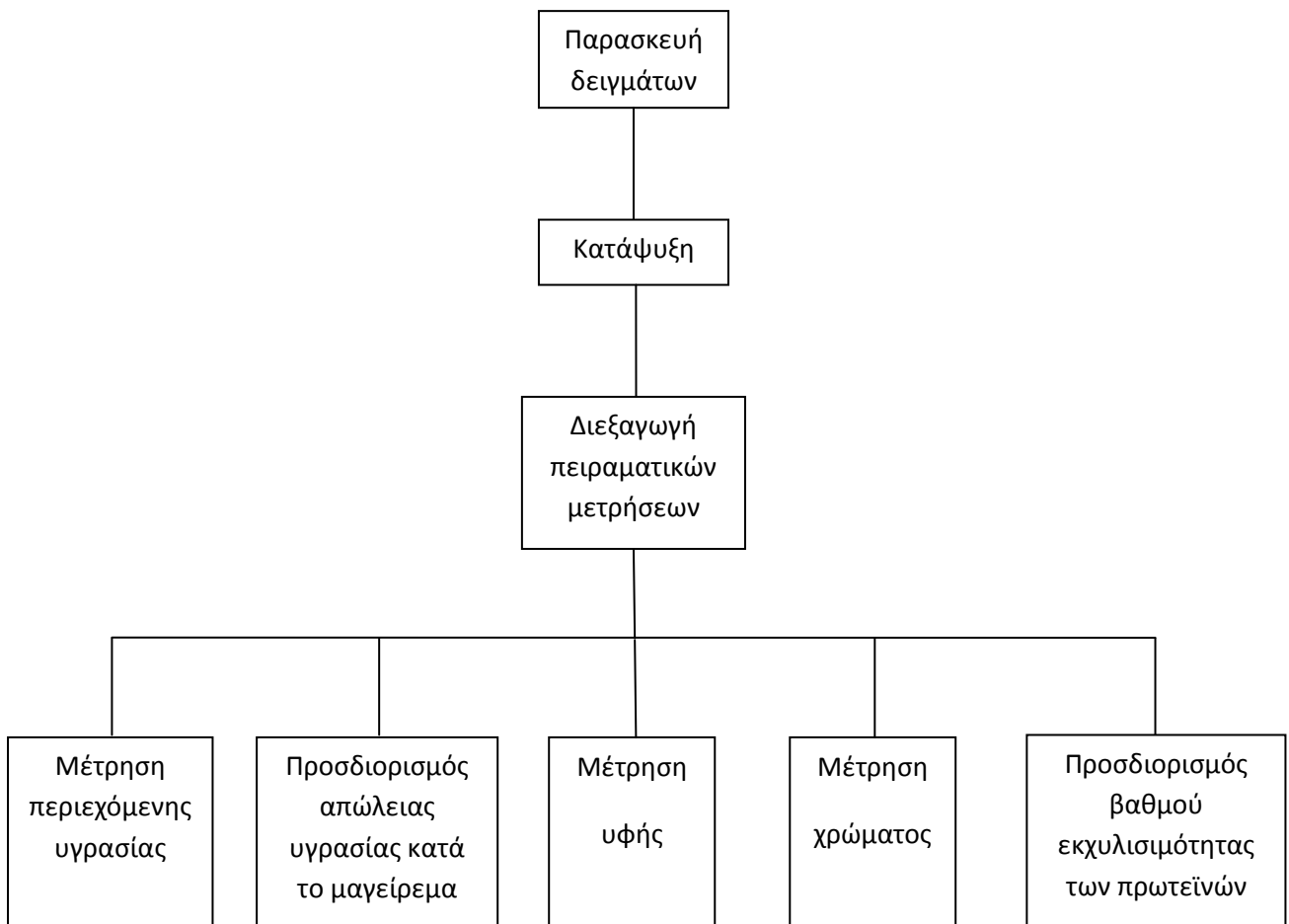
6.2.2 Υλικά και ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν

Παρατίθενται τα υλικά και οι ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προετοιμασία των δειγμάτων και τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

- Κατεψυγμένα φιλέτα cod και pollock
- Ζάχαρη
- Ινουλίνη
- Τρεχαλόζη
- Λακτιτόλη
- Χιτοζάνη
- Μαλτοδεξτρίνη
- Απιονισμένο νερό
- Μαγειρικό αλάτι (NaCl)
- Οξικό οξύ (CH₃COOH)
- Αραιό υδροχλωρικό οξύ (HCl 0.5 N)
- Πυκνό θειϊκό οξύ (H₂SO₄ συγκέντρωση)
- Αραιό θειϊκό οξύ (H₂SO₄ 0.5 N)
- Θειϊκό κάλιο (K₂SO₄)
- Ένυδρος θειϊκός χαλκός (CuSO₄·5H₂O)
- Πυρήνες βρασμού
- Πυκνό NaOH 32 % w/w
- Αραιό NaOH 0.5 N
- Δείκτης ερυθρό μεθυλίου-μπλε μεθυλενίου
- Διάλυμα χλωριούχου καλίου (KCl 0,6M)

6.2.3 Διάγραμμα ροής πειραματικής διαδικασίας

Στην ενότητα αυτή παρατίθεται το διάγραμμα ροής της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε, τα βήματα της οποίας αναλύονται παρακάτω.



6.2.4 Προετοιμασία δειγμάτων

Όπως προαναφέρθηκε, ως πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά είδη φιλέτων ψαριών: μία ποσότητα περίπου 8 kg φιλέτων Pollock (F2) και μία ποσότητα περίπου 10 kg φιλέτων Cod (F1). Συνεπώς, η διαδικασία που ακολουθεί αφορά το κάθε είδος χωριστά.

- Τα φιλέτα, αφού βγήκαν από την κατάψυξη, αφέθηκαν να ξεπαγώσουν στον επωαστήρα σε θερμοκρασία 38-41 °C για 2,5-3 h μέχρι να λιώσει όλος ο πάγος και να είναι κατάλληλα για επεξεργασία.
- Στη συνέχεια, αφού κόπηκαν σε λωρίδες και αφαιρέθηκε η επιδερμίδα, τοποθετήθηκαν στο blender, ώστε να μετατραπούν σε μία μορφή κιμά ψαριού. Η συγκεκριμένη διαδικασία συνέβαλε στην πιο ομοιόμορφη κατανομή των κρυοπροστατευτικών ουσιών στα δείγματα.
- Ο κιμάς περάστηκε από 3 κύκλους πλύσης με απιονισμένο νερό, σε αναλογία κιμά:νερού 1:3 περίπου. Μετά το πέρας 10-15 min και αφού προηγήθηκε καλή ανάδευση, η μάζα στραγγίστηκε από το νερό με τη χρήση διάτρητου υφάσματος.
- Η διαδικασία επαναλήφθηκε 2 ακόμα φορές, όπου στον τελευταίο κύκλο προστέθηκε στη μάζα μικρή ποσότητα NaCl (5-10 g) για τον αποτελεσματικότερο καθαρισμό του κιμά.
- Μετά την πλύση, ο κιμάς χωρίστηκε σε 7 σειρές δειγμάτων με 8 δείγματα η κάθε μία. Σε κάθε σειρά προστέθηκε από ένα κρυοπροστατευτικό υλικό, ως εξής:
 1. **Σειρά T:** Χωρίς κρυοπροστατευτικό υλικό-Δείγματα αναφοράς
 2. **Σειρά K1:** Προσθήκη ζάχαρης σε ποσότητα 8% w/w. Η ανάμιξη έγινε σε κάθε δείγμα της σειράς χωριστά με πολύ καλό ζύμωμα χειρωνακτικά.
 3. **Σειρά K2:** Προσθήκη ινουλίνης σε ποσότητα 8% w/w. Η ανάμιξη έγινε σε κάθε δείγμα της σειράς χωριστά με πολύ καλό ζύμωμα χειρωνακτικά.
 4. **Σειρά K3:** Προσθήκη τρεχαλόζης. Η ποσότητα κιμά της αντίστοιχης ομάδας δειγμάτων αφέθηκε να μουλιάσει για χρονικό διάστημα 1h σε

διάλυμα τρεχαλόζης 3% w/v (30 g τρεχαλόζης σε 1000 mL απιονισμένου νερού). (Zhang et al. 2017) Μετά από καλό στράγγισμα, η μάζα του κιμά χωρίστηκε στα 8 δείγματα της σειράς.

5. **Σειρά K4:** Προσθήκη λακτιτόλης σε ποσότητα 8% w/w. (Herrera and Mackie 2004) Η ανάμιξη έγινε σε κάθε δείγμα της σειράς χωριστά με πολύ καλό ζύμωμα χειρωνακτικά.
6. **Σειρά K5:** Προσθήκη χιτοζάνης. Η ποσότητα κιμά της αντίστοιχης ομάδας δειγμάτων αφέθηκε να μουλιάσει για χρονικό διάστημα 1h σε διάλυμα χιτοζάνης 1% w/v (9 g χιτοζάνης και 9 mL οξικού οξέος προστέθηκαν σε 900 mL απιονισμένου νερού, το οποίο είχε αφεθεί, προηγουμένως, να αναδευτεί σε μαγνητικό αναδευτήρα για περίπου μία ημέρα) (Dey and Dora 2011). Μετά από καλό στράγγισμα, η μάζα του κιμά χωρίστηκε στα 8 δείγματα της σειράς.
7. **Σειρά K6:** Προσθήκη μαλτοδεξτρίνης σε ποσότητα 8% w/w. (Carvajal, MacDonald and Lanier 1999) Η ανάμιξη έγινε σε κάθε δείγμα της σειράς χωριστά με πολύ καλό ζύμωμα χειρωνακτικά.

- Κάθε δείγμα αποτελείτο από 70 περίπου g κιμά, με εξαίρεση τα δείγματα της σειράς K5 που αποτελούνταν από τη μισή ποσότητα (35 g κιμά ανά δείγμα). Πιθανόν η χιτοζάνη είναι υπεύθυνη για περαιτέρω κατακράτηση υγρασίας, οπότε τα δείγματα προέκυψαν πιο στεγνά.
- Τέλος, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς περιέκτες, σφραγισμένους με διάφανη μεμβράνη και εισήλθαν στην κατάψυξη στους -18 °C.

6.2.5 Διεξαγωγή Πειραμάτων 1 και 2

Κάθε μία από τις 7 σειρές δειγμάτων με διαφορετικά κρυοπροστατευτικά, αποτελούμενη από 8 ξεχωριστά δείγματα χωρίστηκε ως εξής:

6.2.5.1 Πείραμα 1

5 δείγματα από κάθε σειρά τοποθετήθηκαν στην κατάψυξη. Ανά χρονικό διάστημα 14 ημερών εξαγόταν ένα δείγμα από κάθε σειρά, το οποίο, κατόπιν απόψυξής του σε θερμοκρασία 40 °C για 1-1.5 h, υποβαλλόταν στη σειρά μετρήσεων που αναφέρονται παρακάτω.

6.2.5.2 Πείραμα 2

3 δείγματα από κάθε σειρά τοποθετήθηκαν στην κατάψυξη. Ανά χρονικό διάστημα 21 ημερών εξαγόταν όλα τα δείγματα από κάθε σειρά και τοποθετούνταν σε συνθήκες συντήρησης (5 °C), όπου ένα από κάθε σειρά, κατόπιν απόψυξής του σε θερμοκρασία 40 °C για 1-1.5 h, υποβαλλόταν στη σειρά μετρήσεων που αναφέρονται παρακάτω. Μετά το πέρας των μετρήσεων, τα δείγματα στα οποία δεν έγιναν μετρήσεις επανατοποθετήθηκαν στην κατάψυξη (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

6.2.6 Διεξαγωγή Πειράματος 3

Σκοπός του πειράματος αυτού ήταν η παραλαβή πρωτεϊνικού συμπυκνώματος από φιλέτο ψαριού και η ενσωμάτωσή του εκ νέου σε δείγμα ψαριού, ώστε να μελετηθεί η αποτελεσματικότητά του ως κρυοπροστατευτικό συγκρινόμενη με άλλα κρυοπροστατευτικά του εμπορίου. Το παρόν πείραμα είναι συμπληρωματικό των Πειραμάτων 1 και 2.

6.2.6.1 Παραλαβή πρωτεϊνών

100 g φιλέτου Cod εισήχθησαν στο blender μαζί με 900 mL απιονισμένου νερού και ακολούθησε ομογενοποίηση του μίγματος για 10 min. Το μίγμα τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως, όπου ρυθμίστηκε το pH του στην τιμή 3 με τη βοήθεια αραιού HCl

και κατόπιν φυγοκεντρήθηκε στα 12000 g, στους 0 °C για 30 min. Μετά το πέρας της φυγοκέντρωσης, συλλέχθηκε το υπερκείμενο υγρό, και, αφού ρυθμίστηκε το pH του στην τιμή 5,5 (ισοηλεκτρικό σημείο καταβύθισης των πρωτεϊνών του ψαριού), φυγοκεντρήθηκε στα 12000 g, στους 4 °C για 20 min. Μετά το πέρας της φυγοκέντρωσης, συλλέχθηκε το ίζημα, το οποίο περιείχε τις καταβυθισμένες πρωτεΐνες. Τέλος, αφού το ίζημα υπεβλήθη σε ξήρανση υπό ψύξη και κονιοποιήθηκε σε μορφή σκόνης, ελήφθησαν 0,5 g από αυτό και μετρήθηκε το περιεχόμενο σε πρωτεΐνη με τη μέθοδο Kjeldahl. (Hrynets et al. 2011)

6.2.6.2 Προετοιμασία δειγμάτων και πορεία πειράματος

Κατασκευάστηκαν 4 δείγματα περίπου 100 g το καθένα με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε και στα Πειράματα 1 και 2. Τα δείγματα ήταν τα εξής:

Δείγμα 1: Χωρίς κρυοπροστατευτικό

Δείγμα 2: Στο δείγμα αυτό προστέθηκαν 1,5 g (1,5 % w/w) από τη σκόνη του πρωτεϊνικού συμπυκνώματος. Η ομογενοποίηση έγινε με καλό ζύμωμα χειρωνακτικά.

Δείγμα 3: Στο δείγμα αυτό προστέθηκε 1 g από τη σκόνη του πρωτεϊνικού συμπυκνώματος, η οποία διαλυτοποιήθηκε σε 3 mL απιονισμένου νερού. Η ομογενοποίηση έγινε με καλό ζύμωμα χειρωνακτικά.

Δείγμα 4: Στο δείγμα αυτό προστέθηκαν 8 g μίγματος τρεχαλόζης-ινουλίνης (8 % w/w) σε αναλογία 1:1. Η ομογενοποίηση έγινε με καλό ζύμωμα χειρωνακτικά.

Τέλος, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς περιέκτες, σφραγισμένους με διάφανη μεμβράνη και εισήλθαν στην κατάψυξη. Μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος 30 ημερών, τα δείγματα εξήχθησαν από την κατάψυξη και αφού αποψύχθηκαν, μετρήθηκε η περιεχόμενη υγρασία τους, η απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμά τους και η εκχυλισσιμότητα των πρωτεϊνών τους.

6.2.7 Πειραματικές μετρήσεις

6.2.7.1 Μέτρηση υγρασίας

Ζυγίστηκαν 5 g δείγματος και τοποθετήθηκαν εντός προζυγισμένης πορσελάνινης κάψας, όπου καταγράφηκε και το συνολικό βάρος. Η κάψα τοποθετήθηκε στους 100 °C για χρονικό διάστημα περίπου 24 h. Η υγρασία του δείγματος υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\% \text{ υγρασία} = \frac{m_0 - m}{m_0} \cdot 100$$

όπου m_0 : η αρχική μάζα του δείγματος σε g

m : η τελική μάζα σε g

6.2.7.2 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

20 g δείγματος μαζί με 3% w/w NaCl και ποσότητα νερού σε αναλογία πρωτεϊνών δείγματος/υγρασίας 1:5 τοποθετήθηκαν σε προζυγισμένο ποτήρι ζέσεως και αναδεύτηκαν ελαφρώς με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου. Στη συνέχεια, το ποτήρι σφραγίστηκε από πάνω με αλουμινόχαρτο και ταινία, ώστε να μην υπάρξουν απώλειες, και τοποθετήθηκε σε υδατόλουτρο στους 90 °C για 30 min. Μετά το πέρας της διαδικασίας, το πήγμα, αφού αφέθηκε να κρυώσει σε πάγο, στραγγίστηκε από την υγρασία και ζυγίστηκε. Η % απώλεια υγρασίας από το μαγείρεμα υπολογίστηκε ως εξής:

$$\% \text{ απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα} = \frac{m_0 - m}{0,01 \cdot \chi \cdot m_0} \cdot 100$$

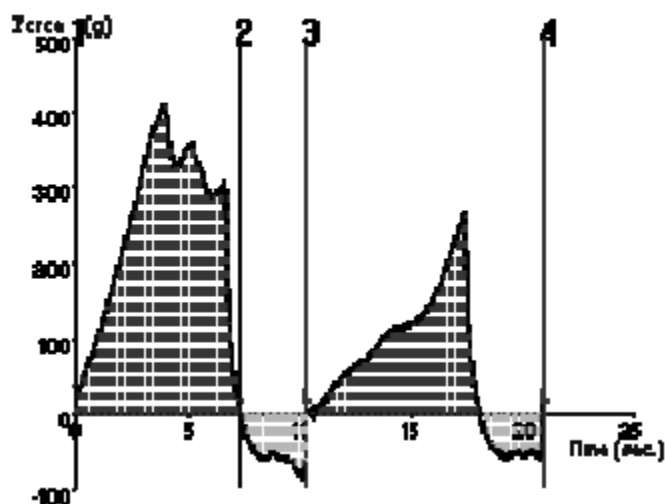
όπου m_0 : η αρχική μάζα του δείγματος σε g προ μαγειρέματος

m : η τελική μάζα σε g

χ : η % περιεκτικότητα σε υγρασία του αρχικού δείγματος

6.2.7.3 Υφή

Μετά τη μέτρηση της απώλειας υγρασίας, το μαγειρεμένο δείγμα τοποθετήθηκε σε μικρό γυάλινο δοχείο και διεξήχθη ανάλυση υφής (Texture Profile Analysis-TPA) με τη χρήση αναλυτή υφής TA-XT2i.



Εικόνα 6.1 Διάγραμμα δύναμης-χρόνου αναλυτή υφής

Οι μετρήσεις ήταν οι εξής:

Σκληρότητα (firmness): Η δύναμη που αντιστοιχεί στην κορυφή της πρώτης συμπίεσης.

Συνεκτικότητα (cohesiveness): Ο λόγος του εμβαδού κάτω από την κορυφή της δεύτερης συμπίεσης προς το εμβαδόν κάτω από την κορυφή της πρώτης συμπίεσης.

Κομμιώδες (gumminess): Το γινόμενο της σκληρότητας επί τη συνεκτικότητα.

Ελαστικότητα (springiness): Το ποσοστό του διαστήματος συμπίεσης κατά την πρώτη συμπίεση που ανακτήθηκε κατά την δεύτερη συμπίεση.

Μασητικότητα (chewiness): Το γινόμενο του κομμιώδους επί την ελαστικότητα.

6.2.7.4 Χρώμα

Μετά την ανάλυση υφής, διεξήχθη ανάλυση χρώματος του δείγματος με τη χρήση χρωματόμετρου Minolta CR-200. Από το όργανο λαμβάνονται οι τιμές CIE L^* , a^* και b^* που αντιπροσωπεύουν τη φωτεινότητα (lightness), την πρασινότητα (greenness) και την κυανότητα (blueness), αντίστοιχα.



Εικόνα 6.2 Χρωματόμετρο Minolta CR-200

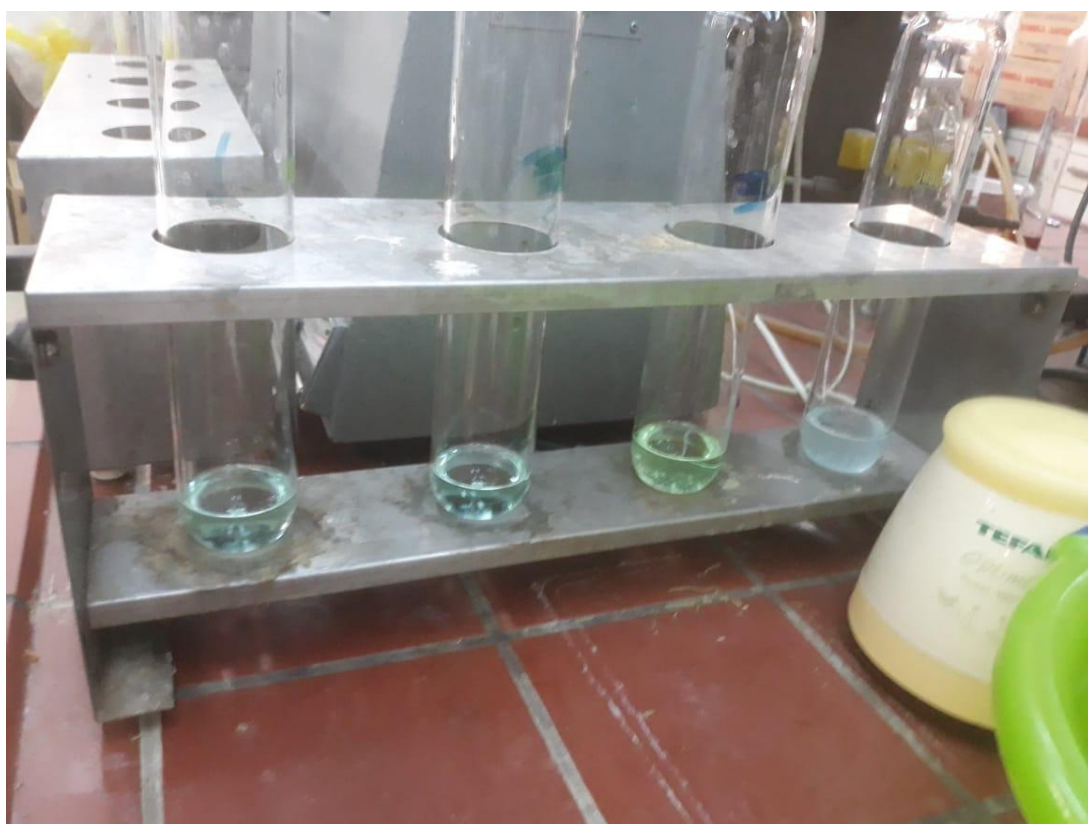
6.2.7.5 Μέτρηση πρωτεϊνικού περιεχομένου

Ο προσδιορισμός του πρωτεϊνικού περιεχομένου των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο Kjeldahl, η οποία περιλαμβάνει την καύση (χώνευση) του δείγματος με πυκνό θειικό οξύ παρουσία καταλύτη, οπότε οι αζωτούχες ενώσεις μετατρέπονται σε θειικό αμμώνιο. Ύστερα, το δείγμα καθίσταται αλκαλικό, αποστάζεται η ελευθερούμενη αμμωνία σε αραιό θειικό οξύ (H_2SO_4 0.5 N) και προσδιορίζεται ογκομετρικά. Η διαδικασία διεξήχθη ως εξής:

Σε κάθε μία από τις τέσσερις φιάλες της συσκευής προστέθηκαν 25 mL πυκνού θειικού οξέος, 10 g K_2SO_4 και 1 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ζυγισμένα με ακρίβεια 0,1 mg, ποσότητα αποξηραμένου δείγματος από 0.5 έως 3 g και πυρήνες βρασμού. Στην τέταρτη φιάλη δεν προστέθηκε δείγμα (τυφλός προσδιορισμός). Οι φιάλες ανακινήθηκαν ελαφρώς με το χέρι για την καλύτερη ομογενοποίηση του περιεχομένου τους και, κατόπιν συνδέθηκαν στη συσκευή. Οι φιάλες θερμάνθηκαν

αρχικά ήπια (ένδειξη συσκευής 3) μέχρι να αρχίσει ο αφρισμός, στη συνέχεια αυξήθηκε η θερμοκρασία (ένδειξη 4) μέχρι να διαυγαστεί το περιεχόμενό τους (περίπου 15 min) και τέλος, υπεβλήθησαν σε έντονο βρασμό (ένδειξη Full της συσκευής) για 30 min περίπου.

Μετά την ολοκλήρωση του βρασμού, οι φιάλες αφέθηκαν να ψυχθούν για 30 min περίπου και, στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν, μία τη φορά, στην ειδική συσκευή απόσταξης Kjeldahl. Αφού προστέθηκαν 75 mL νερού και 125 mL διαλύματος καυστικού νατρίου (NaOH) 32 % w/w, ακολούθησε απόσταξη και το απόσταγμα διαβιβάστηκε σε 50 mL διαλύματος 0.5 N θεικού οξέος. Μετά τη συλλογή περίπου 200 mL αποστάγματος στον υποδοχέα, τιτλοδοτήθηκε το υπολειπόμενο θεικό οξύ με διάλυμα καυστικού νατρίου 0.5 N και δείκτη ερυθρό μεθυλίου-μπλε μεθυλενίου. Η παρασκευή του δείκτη περιλάμβανε την προσθήκη 0.125 g ερυθρού μεθυλίου και 0.08 g μπλε μεθυλενίου σε 100 mL αιθανόλης.



Εικόνα 6.3 Φιάλες Kjeldahl μετά το πέρας του βρασμού



Εικόνα 6.4 Συσκευή απόσταξης Kjeldahl

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε οργανικό άζωτο (N%) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$N\% = \frac{V_1 - V_2}{B} \cdot 1,4007 \cdot N$$

όπου,

V_1, V_2 : οι καταναλωθέντες όγκοι του πρότυπου διαλύματος καυστικού νατρίου κατά τον κυρίως και τον τυφλό προσδιορισμό αντίστοιχα.

N: η κανονικότητα του πρότυπου διαλύματος καυστικού νατρίου.

B: το βάρος του δείγματος.

6.2.7.6 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Περίπου 10 g δείγματος τοποθετήθηκαν σε προζυγισμένο σωλήνα φυγοκέντρησης με 90 mL ψυχρού διαλύματος KCl 0,6M. Το μίγμα ομογενοποιήθηκε με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου και το αιώρημα που προέκυψε φυγοκεντρήθηκε στις 3800 rpm για 20 min. (Παπαδέας 1998)

Μετά τη φυγοκέντρηση, το υπερκείμενο υγρό συλλέχθηκε σε ποτήρι ζέσεως, όπου μετρήθηκε ο όγκος του και η θολότητά του με τη χρήση θολοσίμετρου. Το ίζημα ζυγίστηκε και, αφού αποξηράνθηκε (βλ. μέτρηση υγρασίας), μετρήθηκε το πρωτεϊνικό του περιεχόμενο με τη μέθοδο Kjeldahl. Το ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\% \text{ Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες} = \frac{x \cdot m_0 - y \cdot m}{x \cdot m_0} \cdot 100$$

όπου x : η % περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες του αρχικού δείγματος

y : η % περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες του ιζήματος

m_0 : η μάζα σε g του αρχικού δείγματος

m : η μάζα σε g του ιζήματος

6.3 Βιβλιογραφία

Carvajal P. A., MacDonald G.A., Lanier T.C., 1999, Cryostabilization Mechanism of Fish Muscle Proteins by Maltodextrins, *Cryobiology*, 38: 16–26

Dey S.S., Dora K.C., 2011, Suitability of chitosan as cryoprotectant on croaker fish (*Johnius gangeticus*) surimi during frozen storage, *J Food Sci Technol*, 48 (6): 699–705

Herrera J.R., Mackie I.M., 2004, Cryoprotection of frozen-stored actomyosin of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by some sugars and polyols, *Food Chemistry*, 84: 91-97

Hrynets Y., Omana D.A., Xu Y., Betti M., 2011, Comparative study on the effect of acid- and alkaline-aided extractions on mechanically separated turkey meat (MSTM): Chemical characteristics of recovered proteins, *Process Biochemistry*, 46: 335-343

Παπαδέας Π., 1998, Χρήση κρυοπροστατευτικών υλικών στην κατάψυξη προϊόντων ψαριού (surimi), Διπλωματική εργασία, Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 90

Zhang B., Wu H-x., Yang H-c., Xiang X-w., Li H-b., Deng S-g., 2017, Cryoprotective roles of trehalose and alginate oligosaccharides during frozen storage of peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Food Chemistry*, 228: 257-264

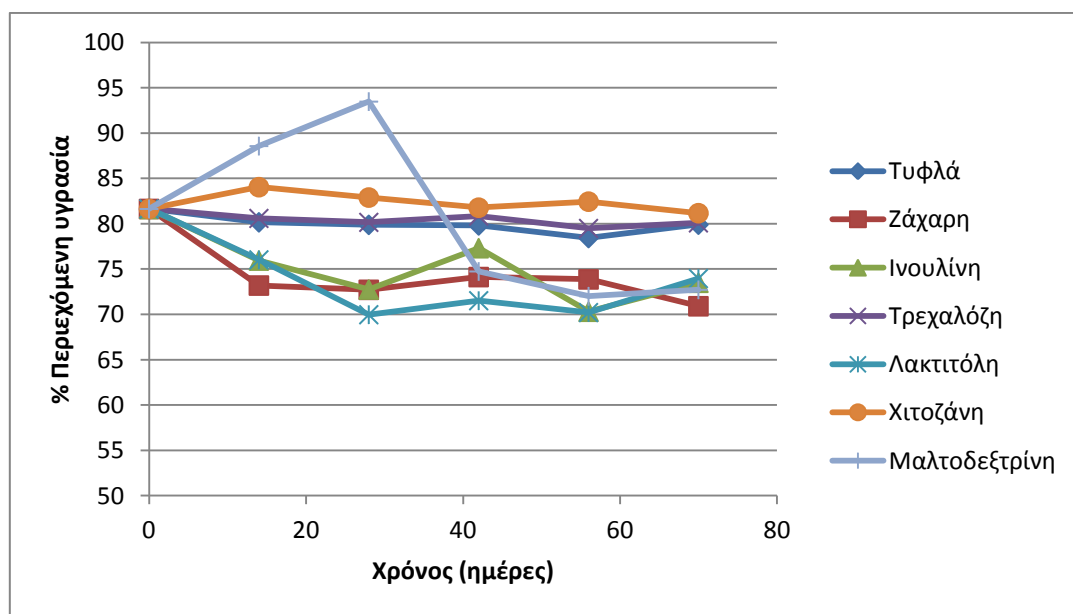
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων στα δείγματα των ψαριών για την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη, υπό συνθήκες κανονικής (Πείραμα 1 -Π1) και επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) (Πείραμα 2 -Π2). Στα διαγράμματα, ο χρόνος είναι ορισμένος σε ημέρες και το είδος του κρυοπροστατευτικού αναγράφεται στο διάγραμμα.

Παράλληλα, παρατίθενται και οι παρατηρήσεις-σχόλια που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση (ANOVA) που διεξήχθη σε κάθε είδος ψαριού και κάθε πείραμα ξεχωριστά, με ανεξάρτητες μεταβλητές το χρόνο διεξαγωγής του κάθε πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία.

7.1 Φιλέτα cod

7.1.1 Περιεχόμενη υγρασία (Πείραμα 1)



Σχήμα 7.1 Μεταβολή % περιεχόμενης υγρασίας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

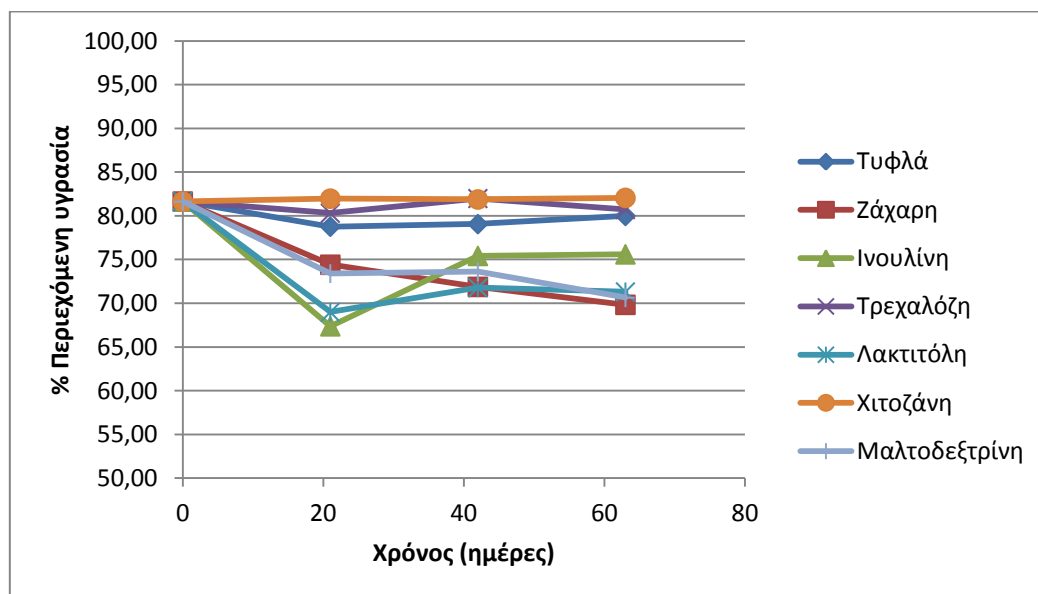
Παρατηρείται ότι στα δείγματα χωρίς προσθήκη κρυοπροστατευτικού δεν παρουσιάζεται σημαντική μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας, ενώ το ίδιο συμβαίνει στα δείγματα που περιέχουν τρεχαλόζη και σε αυτά που περιέχουν χιτοζάνη. Στα δείγματα που προστέθηκε ζάχαρη παρατηρείται μείωση του ποσοστού στο διάστημα από 0-14 ημέρες, ενώ στη συνέχεια διατηρείται σταθερό. Στα δείγματα που προστέθηκε λακτιτόλη, αρχικά παρατηρείται μείωση του ποσοστού υγρασίας στο διάστημα από 0-28 ημέρες, ενώ στη συνέχεια αυτό διατηρείται σταθερό. Στα δείγματα που προστέθηκε ινουλίνη παρατηρείται αυξομείωση του ποσοστού υγρασίας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Τέλος, στα δείγματα που προστέθηκε μαλτοδεξτρίνη, αρχικά παρατηρείται σημαντική αύξηση του ποσοστού υγρασίας στο διάστημα από 0-28 ημέρες και, στη συνέχεια, σημαντική μείωση αυτού και κατόπιν σταθεροποίησή του.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, εκείνα με χιτοζάνη περιέχουν υψηλότερο ποσοστό υγρασίας από τα υπόλοιπα δείγματα, ενώ αυτά με λακτιτόλη περιέχουν το χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι η περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κρυοπροστατευτικό υλικό κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προέκυψε ότι, η προσθήκη χιτοζάνης διατήρησε την περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων καλύτερα από τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

7.1.2 Περιεχόμενη υγρασία (Πείραμα 2)



Σχήμα 7.2 Μεταβολή % περιεχόμενης υγρασίας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

Παρατηρείται ότι στα δείγματα που δεν περιέχουν κρυοπροστατευτικό, όπως και σε αυτά που περιέχουν χιτοζάνη και τρεχαλόζη, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας δεν παρουσίασε σημαντική μεταβολή. Στα δείγματα που προστέθηκε ζάχαρη, το ποσοστό φαίνεται να παρουσιάζει μείωση, όπως και σε αυτά με μαλτοδεξτρίνη. Τέλος, στα δείγματα με την προσθήκη λακτιτόλης και σε αυτά με την προσθήκη ινουλίνης παρουσιάστηκε μείωση του ποσοστού υγρασίας στο διάστημα από 0-21 ημέρες, ενώ στη συνέχεια στα πρώτα δεν παρουσιάστηκε σημαντική μεταβολή, ενώ στα δεύτερα παρουσιάστηκε αύξηση.

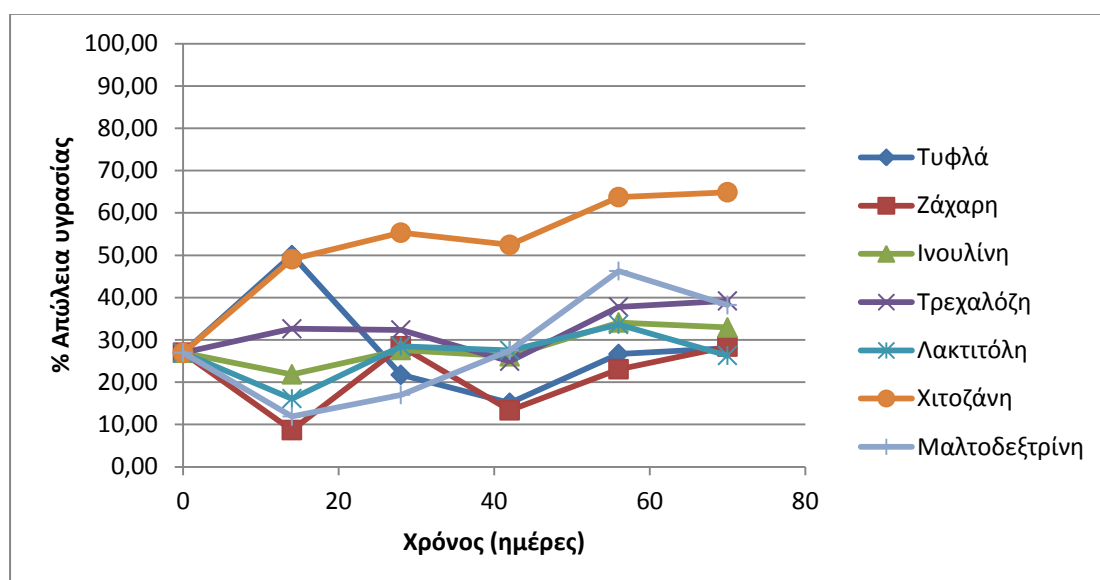
Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, εκείνα με τρεχαλόζη και τα δείγματα με χιτοζάνη παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Αντίθετα, μικρότερο ποσοστό υγρασίας φαίνεται να εμφανίζουν τα δείγματα με ζάχαρη και τα δείγματα με λακτιτόλη.

Φαίνεται ότι η προσθήκη τρεχαλόζης και χιτοζάνης παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα στη διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας του ψαριού με την περίπτωση όπου δεν προστέθηκε κρυοπροστατευτικό.

Από τη στατιστική ανάλυση, προέκυψε ότι, η περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης)

Συνεπώς, προέκυψε ότι, η προσθήκη χιτοζάνης και, σε δεύτερο βαθμό, η προσθήκη τρεχαλόζης διατήρησαν την περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων καλύτερα από τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες.

7.1.3 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Πείραμα 1)



Σχήμα 7.3 Μεταβολή % απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

Παρατηρείται ότι τα δείγματα με χιτοζάνη παρουσιάζουν σταδιακή αύξηση στο ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα (μικρή απόκλιση στο δείγμα της 3^{ης} δειγματοληψίας).

Στα δείγματα με ινουλίνη παρατηρείται ότι, παρά τις τυχόν αυξομειώσεις, το τελικό ποσοστό απώλειας υγρασίας (5^η δειγματοληψία) δεν αποκλίνει σημαντικά από το αρχικό (χρόνος 0).

Στην περίπτωση των δειγμάτων με τρεχαλόζη, το ποσοστό απώλειας υγρασίας αρχικά παραμένει σταθερό (3^η δειγματοληψία), ενώ στη συνέχεια παρουσιάζει αύξηση.

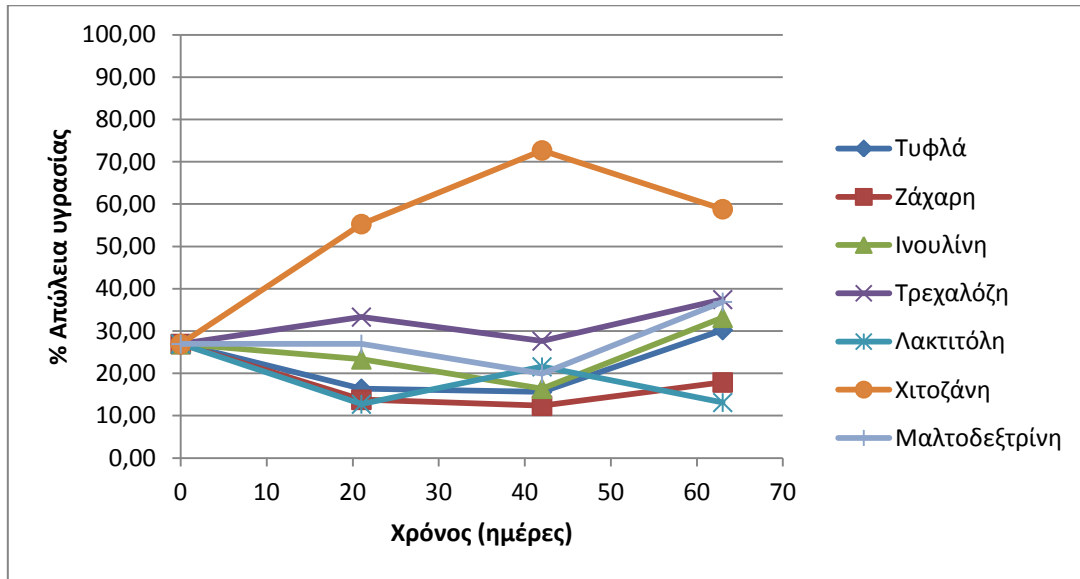
Γενικότερα, παρατηρείται ότι στο πέρας του πειράματος (5^η δειγματοληψία) συγκριτικά με το χρόνο 0, μόνο τα δείγματα με χιτοζάνη παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στο ποσοστό απώλειας υγρασίας.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα την εμφανίζουν τα δείγματα με χιτοζάνη, ενώ τη μικρότερη (στους περισσότερους χρόνους) την εμφανίζουν τα δείγματα με ζάχαρη.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι το ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κρυοπροστατευτικό υλικό κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη ζάχαρης στα δείγματα μείωσε την απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα σε μεγαλύτερο βαθμό από τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

7.1.4 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Πείραμα 2)



Σχήμα 7.4 Μεταβολή % απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

Παρατηρείται ότι τα δείγματα με χιτοζάνη παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στο ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα. Η αύξηση διαρκεί μέχρι τη 2^η δειγματοληψία, ενώ έπειτα παρατηρείται μείωση.

Μικρή διαφορά με το χρόνο 0 φαίνεται να παρουσιάζουν τα δείγματα με τρεχαλόζη και τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη

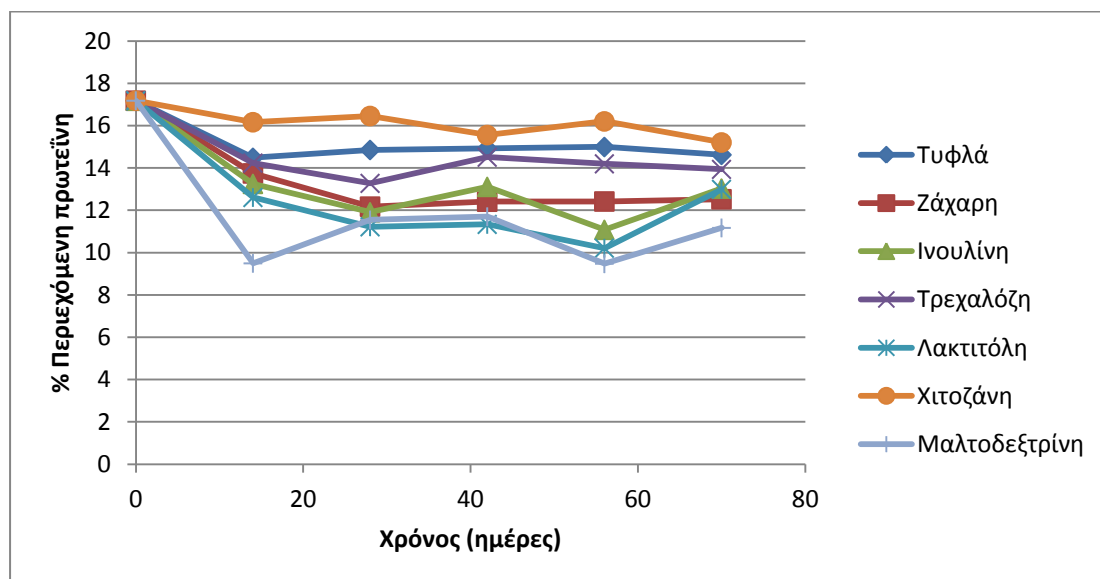
Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα την εμφανίζουν τα δείγματα με χιτοζάνη, ενώ τη μικρότερη (στους περισσότερους χρόνους) την εμφανίζουν τα δείγματα με ζάχαρη, καθώς και αυτά με λακτιτόλη.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι το ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρόνο κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη ζάχαρης στα δείγματα μείωσε την απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα σε μεγαλύτερο βαθμό από τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε

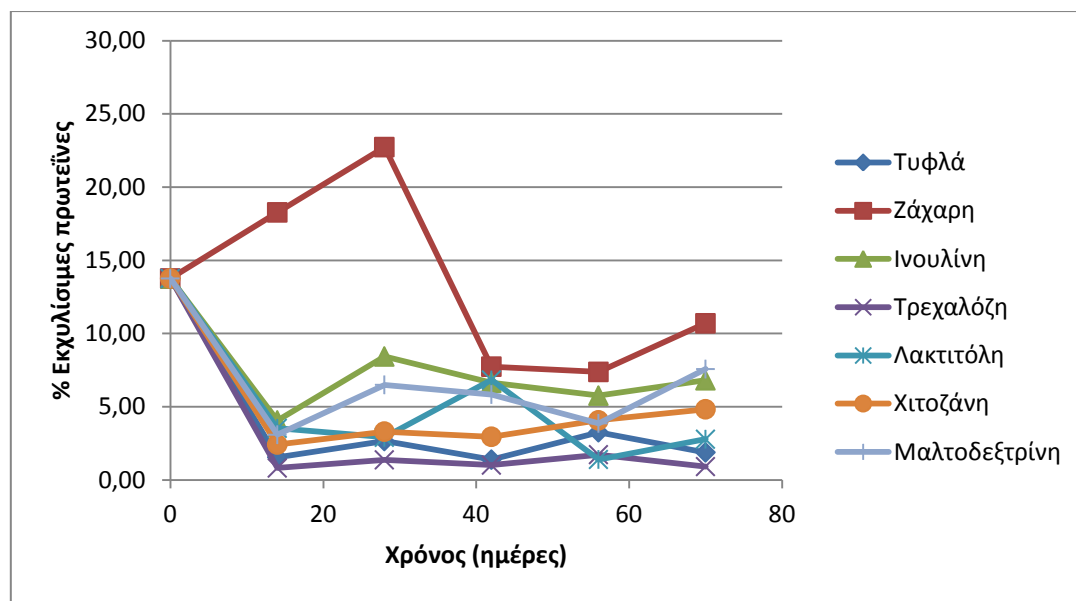
κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

7.1.5 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Πείραμα 1)



Σχήμα 7.5 Μεταβολή % περιεχόμενης πρωτεΐνης φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

Από το Σχήμα 7.5 παρατηρείται ότι, σε όλες τις ομάδες δειγμάτων το πρωτεϊνικό περιεχόμενο διατηρήθηκε και δεν παρουσίασε σημαντικές αυξομειώσεις στη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, όπως, εξάλλου, είναι αναμενόμενο. Οι διαφορές στο ποσοστό περιεχόμενης πρωτεΐνης, που παρατηρούνται μεταξύ των ομάδων δειγμάτων και σε σχέση με το χρόνο 0, οφείλονται στην παρασκευή των δειγμάτων και, κυρίως, στη διαφορετική ποσότητα αζώτου που περιέχεται σε κάθε μία από τις κρουπροστατευτικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς με την μέθοδο Kjeldahl γίνεται προσδιορισμός του αζώτου.



Σχήμα 7.6 Μεταβολή % εκχυλίσιμων πρωτεϊνών φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την κανονική αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

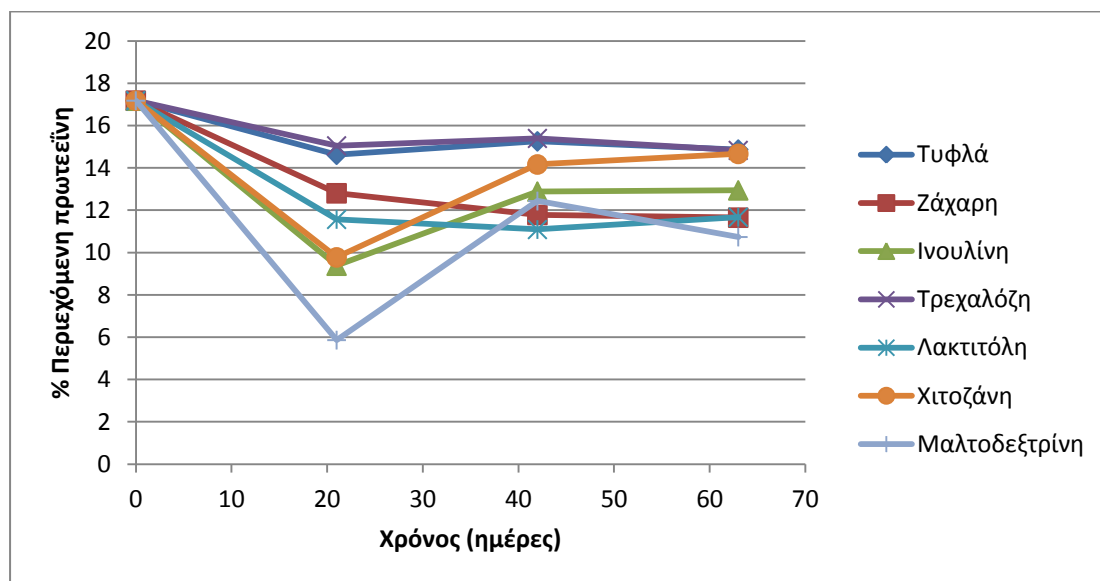
Από το Σχήμα 7.6 παρατηρείται ότι σε όλες τις ομάδες δειγμάτων παρουσιάστηκε μείωση του ποσοστού των εκχυλίσιμων πρωτεϊνών συγκριτικά με το χρόνο 0, εκτός από αυτή με ζάχαρη, όπου αρχικά αυξάνεται σημαντικά μέχρι τη 2^η δειγματοληψία και στη συνέχεια μειώνεται σημαντικά.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μεγαλύτερο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών παρουσίασαν τα δείγματα με τη ζάχαρη και τα δείγματα με την ινουλίνη. Αντίθετα, το μικρότερο ποσοστό εμφανίζεται στην ομάδα των δειγμάτων με την τρεχαλόζη.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, το ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών των δειγμάτων δεν μεταβάλλεται σημαντικά ούτε με το χρόνο, ούτε με το χρησιμοποιούμενο κρυοπροστατευτικό υλικό κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη ζάχαρης συνέβαλε καλύτερα στη διατήρηση της εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

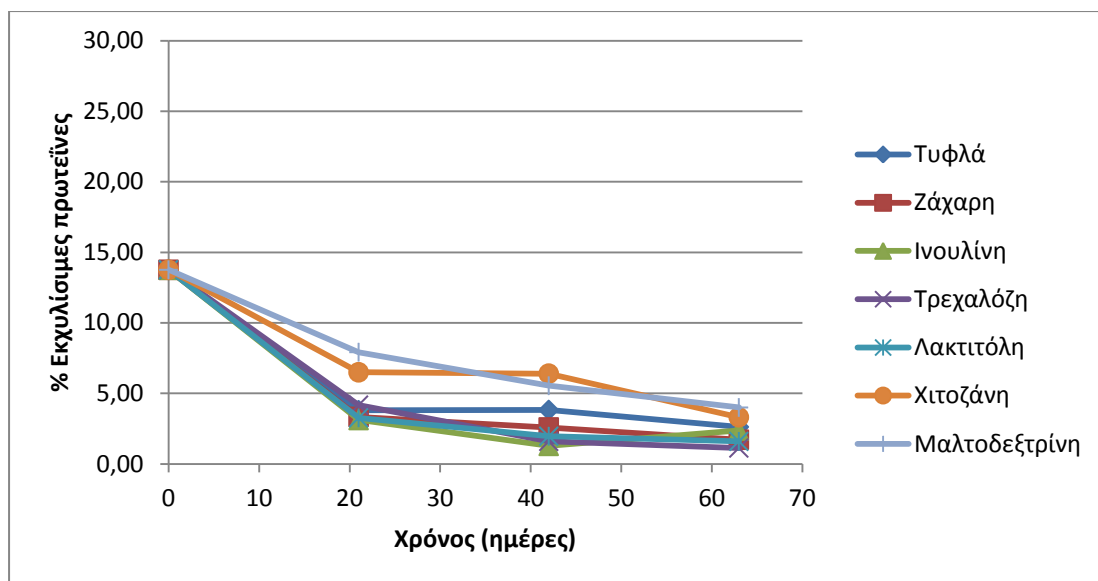
7.1.6 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Πείραμα 2)



Σχήμα 7.7 Μεταβολή % περιεχόμενης πρωτεΐνης φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης(κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

Από το Σχήμα 7.7 παρατηρείται ότι, σχεδόν σε όλες τις ομάδες δειγμάτων το πρωτεϊνικό περιεχόμενο διατηρήθηκε και δεν παρουσίασε σημαντικές αυξομειώσεις στη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, όπως, εξάλλου, είναι αναμενόμενο. Οι διαφορές στο ποσοστό περιεχόμενης πρωτεΐνης, που παρατηρούνται μεταξύ των ομάδων δειγμάτων και σε σχέση με το χρόνο 0, οφείλονται στην παρασκευή των δειγμάτων και, κυρίως, στην διαφορετική ποσότητα αζώτου που περιέχεται σε κάθε μία από τις κρυοπροστατευτικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς με την μέθοδο Kjeldahl γίνεται προσδιορισμός του αζώτου.

Στην προκειμένη περίπτωση, τυχόν αποκλίσεις του ποσοστού περιεχόμενης πρωτεΐνης, όπως στην περίπτωση των δειγμάτων με μαλτοδεξτρίνη, καθώς και των δειγμάτων με χιτοζάνη και με ινουλίνη, πιθανόν οφείλονται σε πειραματικό σφάλμα κατά τη διεξαγωγή της μέτρησης.



Σχήμα 7.8 Μεταβολή % εκχυλίσιμων πρωτεϊνών φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

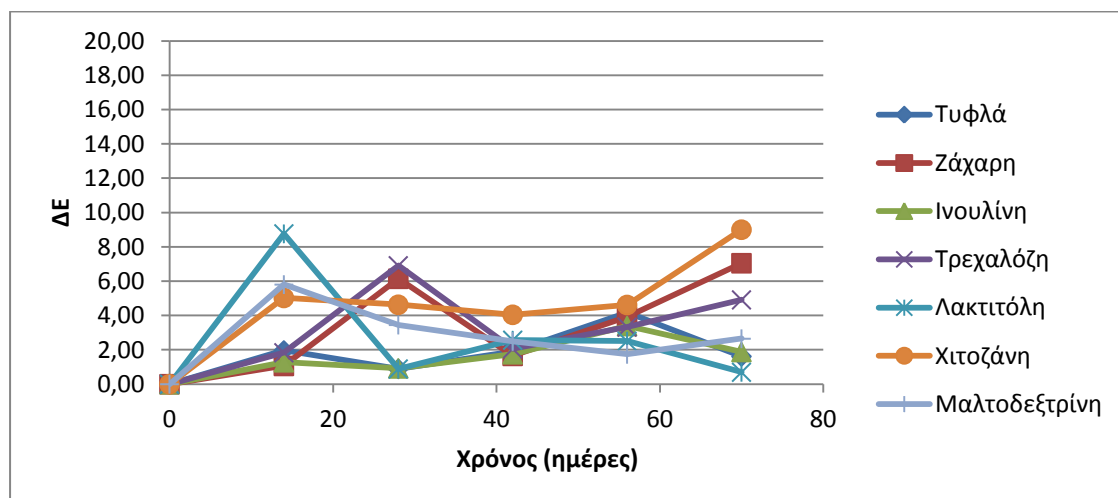
Από το διάγραμμα 7.8 παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, όλα τα δείγματα παρουσίασαν σημαντική μείωση στο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών, χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις στη συνέχεια.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μεγαλύτερο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών παρουσίασαν τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη και τα δείγματα με χιτοζάνη. Ακολουθούν τα δείγματα χωρίς κρυσταλλοπροστατευτικό, καθώς και αυτά με ζάχαρη. Αντίθετα, το μικρότερο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών εμφανίζεται στην ομάδα των δειγμάτων με τρεχαλόζη.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, το ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών των δειγμάτων δεν μεταβάλλεται σημαντικά ούτε με το χρόνο, ούτε με το χρησιμοποιούμενο κρυσταλλοπροστατευτικό υλικό κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη μαλτοδεξτρίνης και, σε δεύτερο βαθμό, η προσθήκη χιτοζάνης, διατήρησε την εκχυλισιμότητα των πρωτεϊνών των δειγμάτων καλύτερα, σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυσταλλοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

7.1.7 Χρώμα (Πείραμα 1)



Σχήμα 7.9 Μεταβολή της τιμής ΔΕ φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι τα δείγματα με ζάχαρη και τα δείγματα με τρεχαλόζη παρουσιάζουν παρόμοια αυξομείωση του δείκτη ΔΕ.

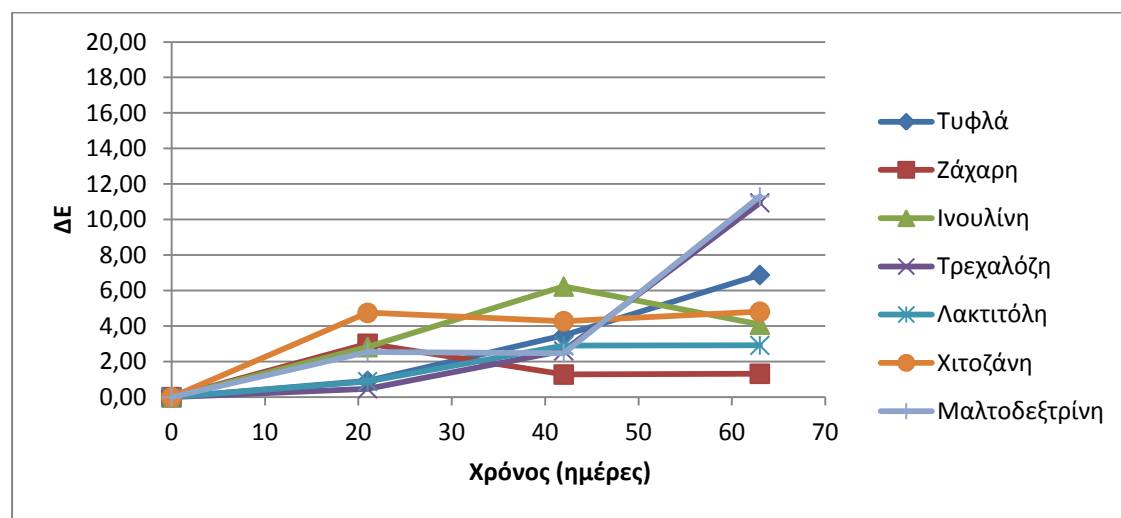
Τα δείγματα με λακτιτόλη, ενώ αρχικά (1^η δειγματοληψία) παρουσιάζουν την υψηλότερη τιμή ΔΕ, στη συνέχεια η τιμή μειώνεται σημαντικά. Παρόμοια συμπεριφορά φαίνεται να εμφανίζουν και τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη. Αντίθετα, τα δείγματα με χιτοζάνη, ενώ αρχικά εμφανίζουν χαμηλή τιμή ΔΕ, στη συνέχεια η τιμή αυξάνεται.

Μικρότερη τιμή ΔΕ, καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος φαίνεται να εμφανίζουν τα δείγματα με ινουλίνη.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της ΔΕ των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρόνο κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης διατήρησε καλύτερα το χρώμα των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

7.1.8 Χρώμα (Πείραμα 2)



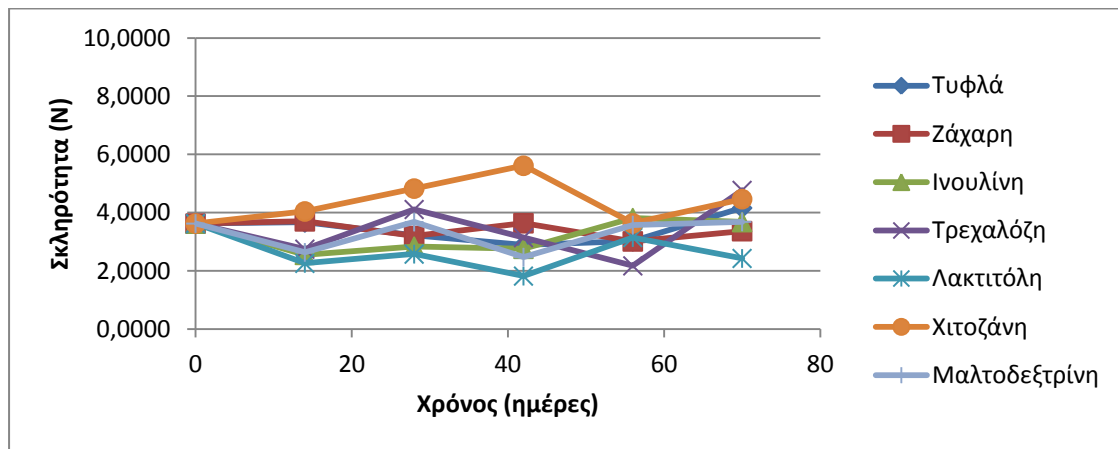
Σχήμα 7.10 Μεταβολή τιμής ΔΕ φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

Από το Σχήμα 7.10 παρατηρείται ότι στα δείγματα με τρεχαλόζη και στα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη σημειώθηκε σημαντική αύξηση στην τιμή του ΔΕ. Αύξηση παρουσιάστηκε επίσης και στα δείγματα που δεν προστέθηκε κρυοπροστατευτικό, καθώς και, σε μικρότερο βαθμό στα δείγματα με λακτιτόλη. Στην περίπτωση των δειγμάτων με ζάχαρη φαίνεται να υπήρξε μείωση στην τιμή του ΔΕ, ενώ στην περίπτωση των δειγμάτων με ινουλίνη, καθώς και αυτών με λακτιτόλη και αυτών με χιτοζάνη, δεν προέκυψε ιδιαίτερη μεταβολή.

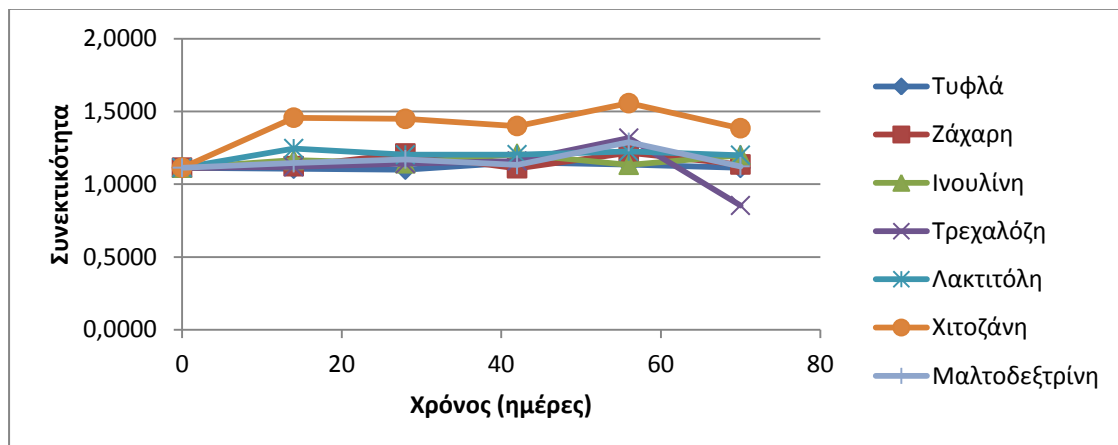
Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή του ΔΕ των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρόνο κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης και, σε δεύτερο βαθμό, η προσθήκη ινουλίνης, διατήρησε το χρώμα των δειγμάτων καλύτερα, σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

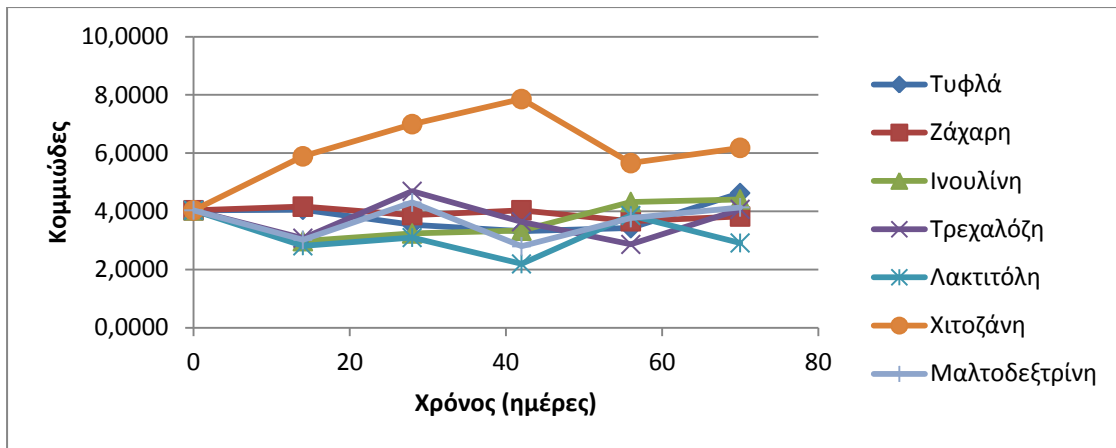
7.1.9 Υφή (Πείραμα 1)



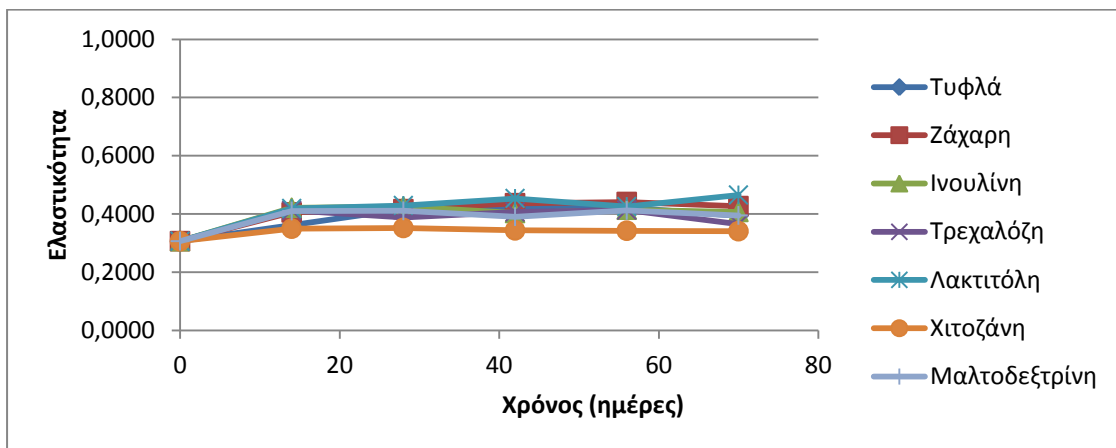
Σχήμα 7.11 Μεταβολή σκληρότητας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης



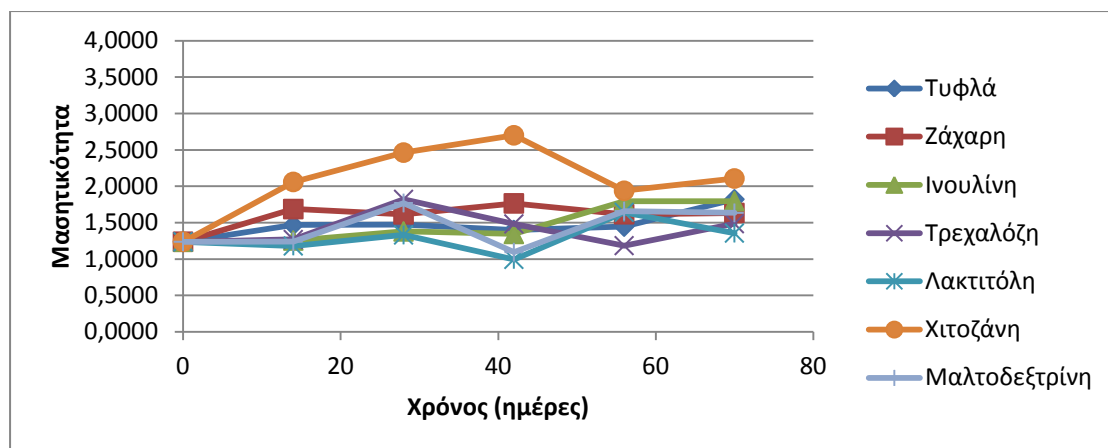
Σχήμα 7.12 Μεταβολή συνεκτικότητας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης



Σχήμα 7.13 Μεταβολή κομμώδους φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης



Σχήμα 7.14 Μεταβολή ελαστικότητας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης



Σχήμα 7.15 Μεταβολή μασητικότητας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

Από το Σχήμα 7.11 παρατηρείται ότι, σε όλες τις ομάδες δειγμάτων η τιμή της σκληρότητας αυξομειώνεται. Σταθερότερες τιμές παρουσιάζονται στην περίπτωση των δειγμάτων με ζάχαρη και των δειγμάτων με ινουλίνη. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μεγαλύτερη σκληρότητα παρουσιάζουν τα δείγματα με χιτοζάνη, ενώ αυτά με λακτιτόλη παρουσιάζουν τη μικρότερη σκληρότητα. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι η τιμή της σκληρότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Από το Σχήμα 7.12 παρατηρείται ότι, σε γενικές γραμμές η τιμή της συνεκτικότητας των δειγμάτων παρέμεινε σχετικά σταθερή. Παρουσιάστηκε αύξηση στην τιμή στην περίπτωση των δειγμάτων με χιτοζάνη και μικρή μείωση της τιμής στην 5^η δειγματοληψία στα δείγματα με τρεχαλόζη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της συνεκτικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Από το Σχήμα 7.13 παρατηρείται ότι, στα δείγματα με χιτοζάνη η τιμή του κομμιάδους αυξήθηκε σημαντικά μέχρι την 3^η δειγματοληψία και στη συνέχεια μειώθηκε, διατηρώντας διαφορά με τα κομμιάδη των υπόλοιπων ομάδων. Μικρότερη τιμή κομμιάδους φαίνεται να εμφανίζουν τα δείγματα με λακτιτόλη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή του κομμιάδους των δειγμάτων

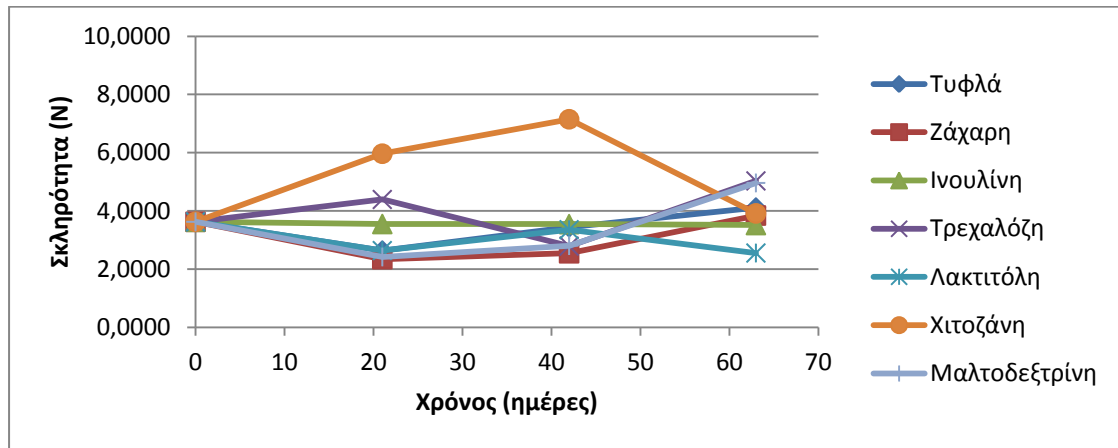
μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Από το Σχήμα 7.14 παρατηρείται ότι, σε όλες τις ομάδες δειγμάτων η τιμή της ελαστικότητας αυξήθηκε και έπειτα διατηρήθηκε σχετικά σταθερή. Μικρότερη ελαστικότητα εμφάνισαν τα δείγματα με χιτοζάνη, ενώ μεγαλύτερη τα δείγματα με λακτιτόλη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της ελαστικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

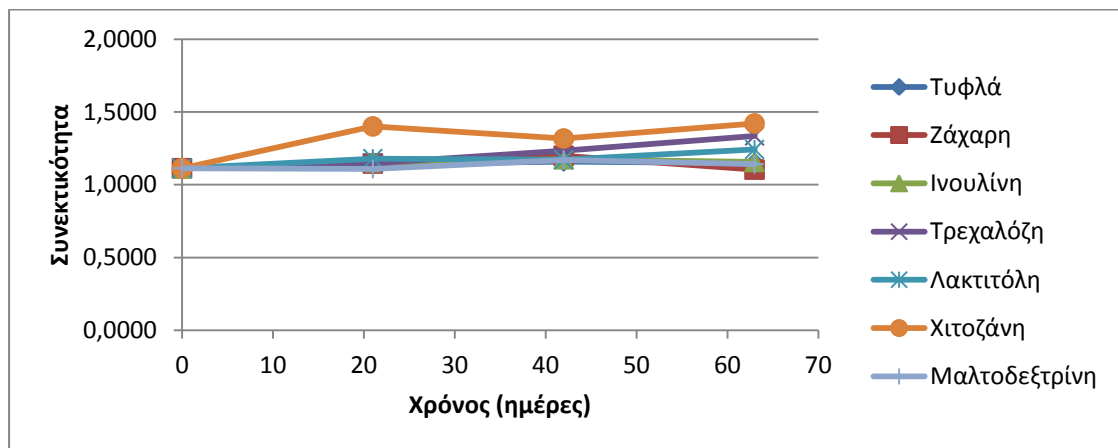
Από το Σχήμα 7.15 παρατηρείται ότι, η τιμή της μασητικότητας αυξήθηκε σε όλες τις ομάδες δειγμάτων. Μεγαλύτερη τιμή μασητικότητας παρουσίασαν τα δείγματα με τη χιτοζάνη, ενώ μικρότερη τα δείγματα με λακτιτόλη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της μασητικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης οδήγησε σε δείγματα με μεγαλύτερη σκληρότητα και συνεκτικότητα (συνεπώς και κομμιώδες), καθώς και μασητικότητα, σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης. Ωστόσο, τα δείγματα με χιτοζάνη επέδειξαν το μικρότερο βαθμό ελαστικότητας.

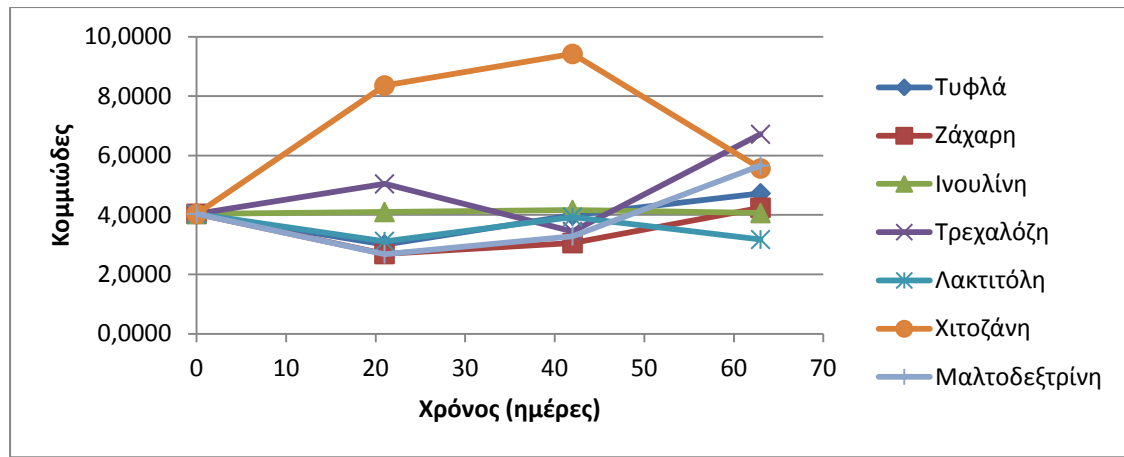
7.1.10 Υφή (Πείραμα 2)



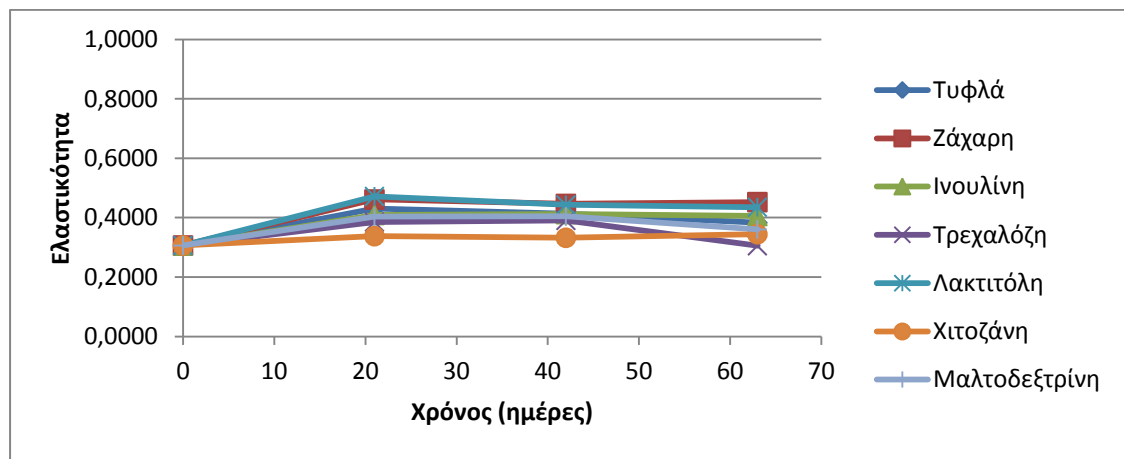
Σχήμα 7.16 Μεταβολή σκληρότητας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη



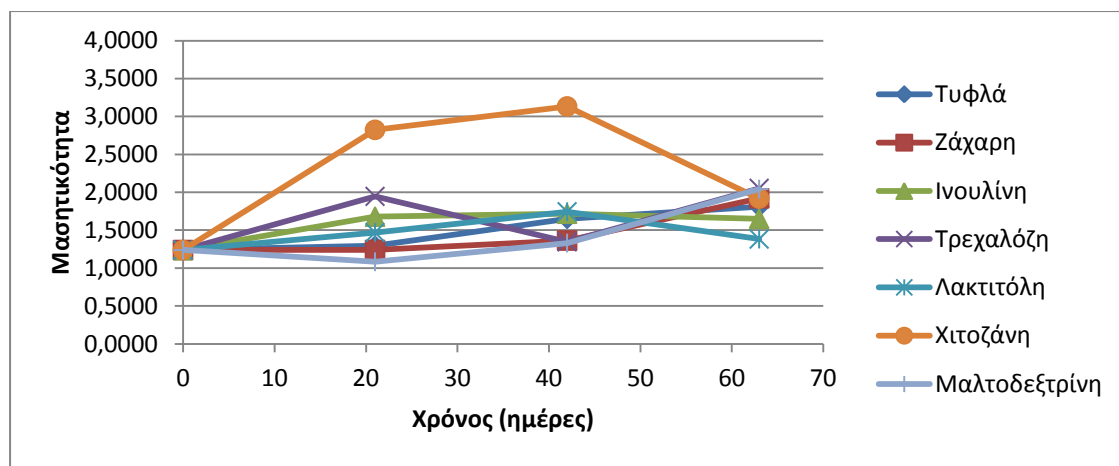
Σχήμα 7.17 Μεταβολή συνεκτικότητας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη



Σχήμα 7.18 Μεταβολή κομμώδους φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη



Σχήμα 7.19 Μεταβολή ελαστικότητας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη



Σχήμα 7.20 Μεταβολή μασητικότητας φιλέτων Cod ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

Από το Σχήμα 7.16 παρατηρείται ότι, στην περίπτωση των δειγμάτων με χιτοζάνη, η τιμή της σκληρότητας αυξήθηκε μέχρι τη 2^η δειγματοληψία και στη συνέχεια μειώθηκε. Σταθερότερη τιμή σκληρότητας παρουσιάζεται στην περίπτωση των δειγμάτων με ινουλίνη. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας παρουσιάζουν τα δείγματα με χιτοζάνη, ενώ αυτά με λακτιτόλη και αυτά με ζάχαρη παρουσιάζουν τη μικρότερη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της σκληρότητας των δειγμάτων δεν μεταβάλλεται σημαντικά ούτε με το χρόνο, ούτε με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Από το Σχήμα 7.17 παρατηρείται ότι, η τιμή της συνεκτικότητας των δειγμάτων παρουσίασε μικρή αύξηση σχετικά με το χρόνο 0, ενώ αυξήθηκε περισσότερο στην περίπτωση των δειγμάτων με χιτοζάνη. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μεγαλύτερη τιμή συνεκτικότητας παρουσιάστηκε στην περίπτωση των δειγμάτων με χιτοζάνη και μικρότερη στην περίπτωση των δειγμάτων με ζάχαρη.. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της συνεκτικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Από το Σχήμα 7.18 παρατηρείται ότι, στα δείγματα με χιτοζάνη, η τιμή του κομμωδούς αυξήθηκε σημαντικά μέχρι την 2^η δειγματοληψία και στη συνέχεια μειώθηκε. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μικρότερη τιμή κομμωδούς φαίνεται να εμφανίζουν τα δείγματα με λακτιτόλη και τα δείγματα με ζάχαρη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή του κομμωδούς των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

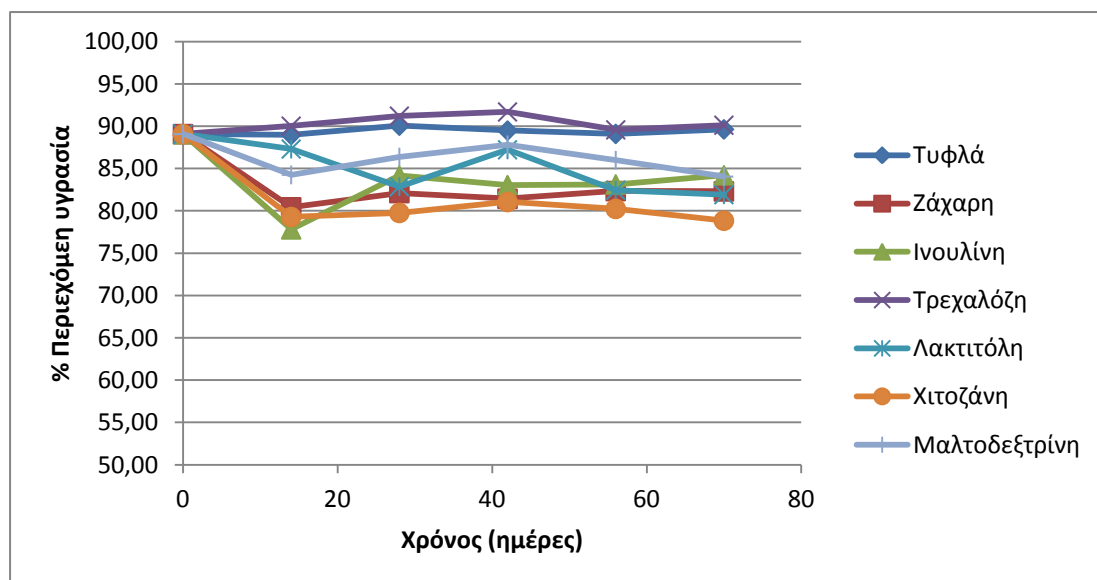
Από το Σχήμα 7.19 παρατηρείται ότι, σε όλες τις ομάδες δειγμάτων, η τιμή της ελαστικότητας αυξήθηκε και, έπειτα, διατηρήθηκε σχετικά σταθερή. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μικρότερη τιμή ελαστικότητας εμφάνισαν τα δείγματα με χιτοζάνη, ενώ μεγαλύτερη τα δείγματα με λακτιτόλη και τα δείγματα με ζάχαρη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της ελαστικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Από το Σχήμα 7.20 παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, η τιμή της μασητικότητας αυξήθηκε σε όλες τις ομάδες δειγμάτων, ιδιαίτερα στην περίπτωση των δειγμάτων με χιτοζάνη, όπου η τιμή αρχικά αυξήθηκε σημαντικά μέχρι τη 2^η δειγματοληψία και έπειτα μειώθηκε. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μεγαλύτερη τιμή μασητικότητας, επομένως, παρουσίασαν τα δείγματα με τη χιτοζάνη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της μασητικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρόνο κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης οδήγησε σε δείγματα με μεγαλύτερη σκληρότητα και συνεκτικότητα (συνεπώς και κομμωδούς), καθώς και μασητικότητα, σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης. Ωστόσο, τα δείγματα με χιτοζάνη παρουσίασαν μικρότερη ελαστικότητα.

7.2 Φιλέτα Pollock

7.2.1 Περιεχόμενη υγρασία (Πείραμα 1)



Σχήμα 7.21 Μεταβολή % περιεχόμενης υγρασίας φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας διατηρήθηκε περισσότερο στην περίπτωση των δειγμάτων που δεν προστέθηκε κρυοπροστατευτικό, ενώ διατηρήθηκε και στην περίπτωση των δειγμάτων με τρεχαλόζη. Στα δείγματα με τρεχαλόζη, το ποσοστό, αρχικά, παρουσίασε μικρή αύξηση μέχρι την 3^η δειγματοληψία, ενώ έπειτα μειώθηκε. Σε όλες τις υπόλοιπες ομάδες δειγμάτων, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μειώθηκε σε σύγκριση με αυτό στο χρόνο 0.

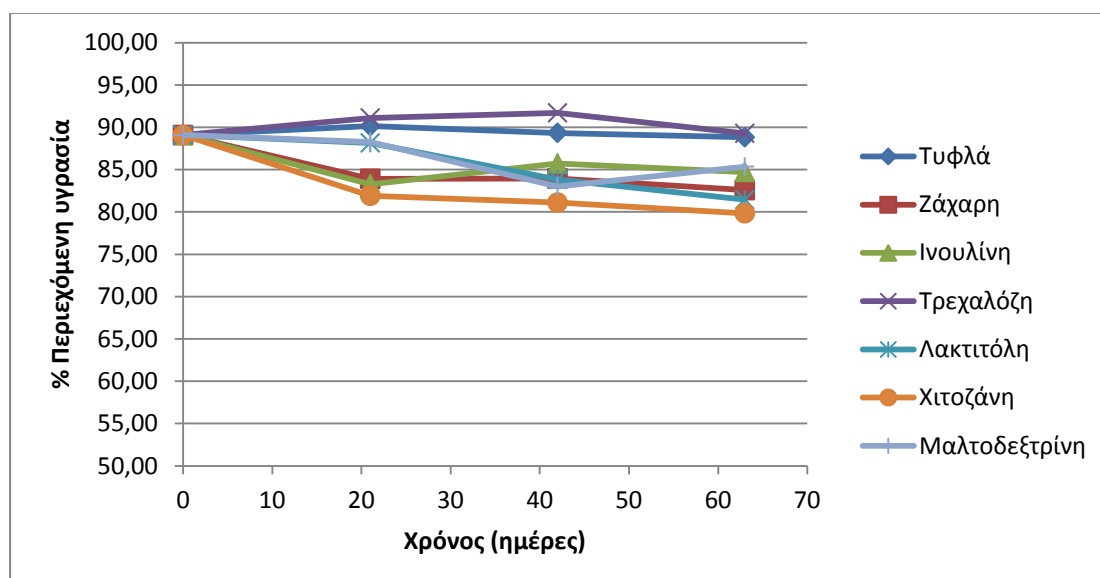
Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας παρουσίασαν τα δείγματα με τρεχαλόζη, ενώ χαμηλότερο τα δείγματα με χιτοζάνη και τα δείγματα με ζάχαρη.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη

χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη τρεχαλόζης συνέβαλε καλύτερα στη διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

7.2.2 Περιεχόμενη υγρασία (Πείραμα 2)



Σχήμα 7.22 Μεταβολή % περιεχόμενης υγρασίας φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

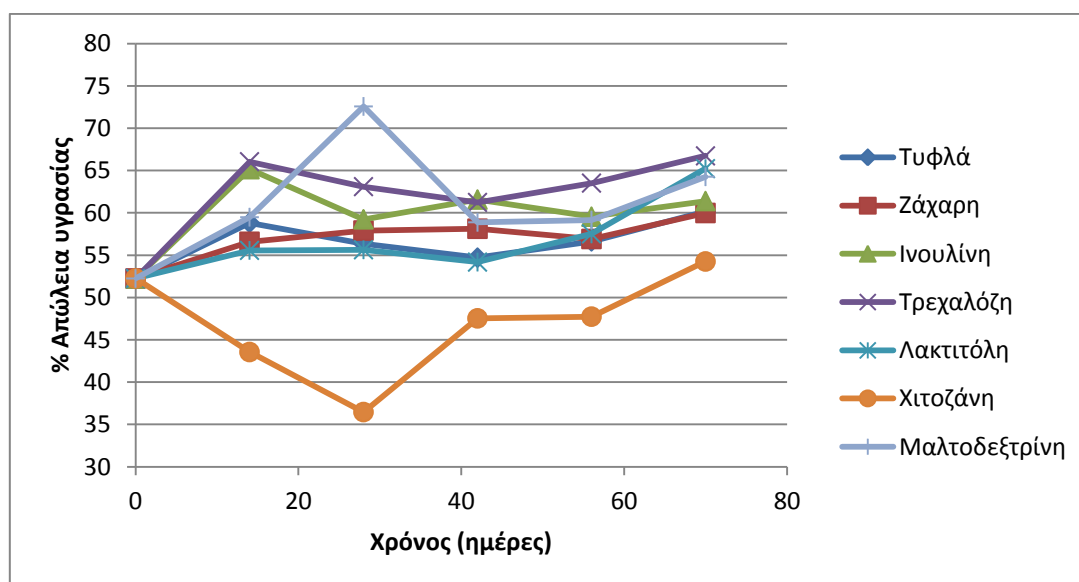
Παρατηρείται ότι η περιεχόμενη υγρασία διατηρήθηκε σχετικά σταθερή στην περίπτωση των δειγμάτων που δεν προστέθηκε κρυοπροστατευτικό, ενώ παρουσίασε μικρή αύξηση στην περίπτωση των δειγμάτων με τρεχαλόζη, όπου στην 3^η δειγματοληψία φαίνεται ότι μειώθηκε πάλι. Σε όλες τις υπόλοιπες ομάδες δειγμάτων, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μειώθηκε σε σύγκριση με αυτό στο χρόνο 0.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας παρουσίασαν τα δείγματα με τρεχαλόζη, ενώ χαμηλότερο τα δείγματα με χιτοζάνη και τα δείγματα με ζάχαρη.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Συνεπώς, προκύπτει ότι, και σε αυτήν την περίπτωση, η προσθήκη τρεχαλόζης συνέβαλε καλύτερα στη διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης.

7.2.3 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Πείραμα 1)



Σχήμα 7.23 Μεταβολή % απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης

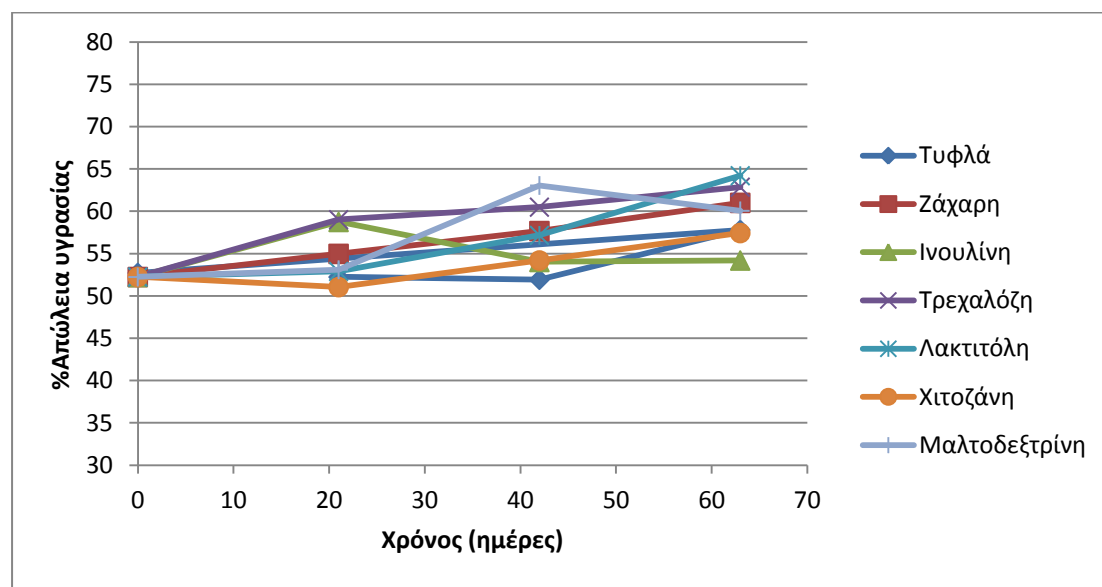
Παρατηρείται ότι τα δείγματα με χιτοζάνη παρουσιάζουν μείωση στο ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα μέχρι τη 2^η δειγματοληψία, ενώ έπειτα το ποσοστό αυξάνεται. Στην περίπτωση των δειγμάτων με τρεχαλόζη και των δειγμάτων με ινουλίνη το ποσοστό απώλειας υγρασίας παρουσιάζει αύξηση σε σχέση με το χρόνο 0, ενώ στην πορεία διατηρείται σταθερό. Οι υπόλοιπες ομάδες δειγμάτων φαίνεται να διατηρούν το ποσοστό απώλειας υγρασίας σταθερό σε σχέση με το χρόνο 0.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα εμφανίζουν τα δείγματα με τρεχαλόζη και τα δείγματα με ινουλίνη, ενώ μικρότερο τα δείγματα με χιτοζάνη.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, το ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, και σε αυτήν την περίπτωση, η προσθήκη χιτοζάνης συνέβαλε καλύτερα στη μείωση του ποσοστού απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης.

7.2.4 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα (Πείραμα 2)



Σχήμα 7.24 Μεταβολή % απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

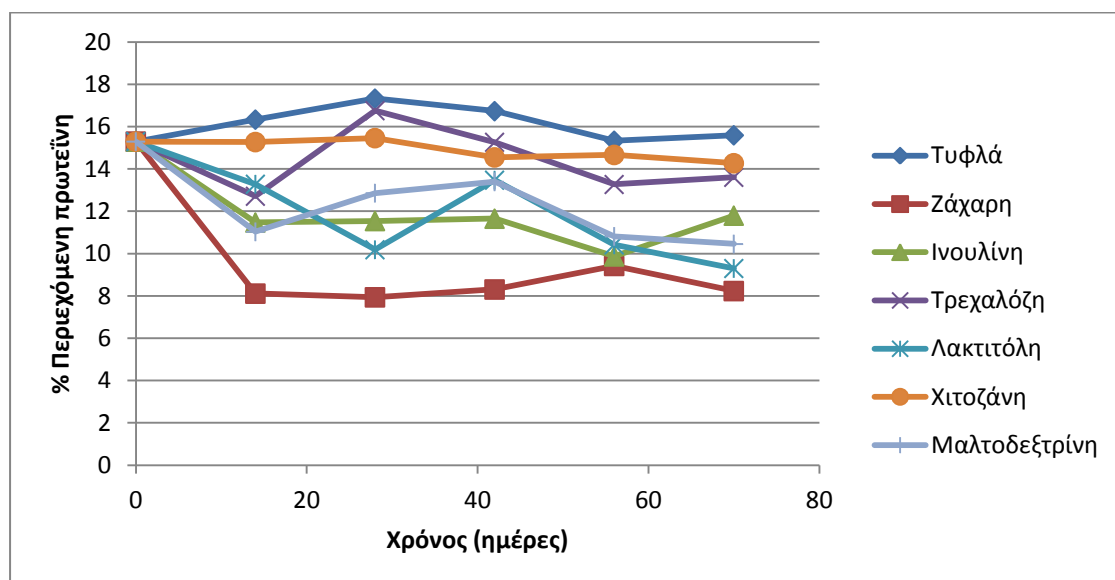
Παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, παρουσιάζεται αύξηση του ποσοστού απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα στις ομάδες δειγμάτων με τρεχαλόζη, με ζάχαρη, με λακτιτόλη, με μαλτοδεξτρίνη και σε αυτές με χιτοζάνη.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, οι ομάδες δειγμάτων με λακτιτόλη, με τρεχαλόζη και με ζάχαρη παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, το ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρόνο, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

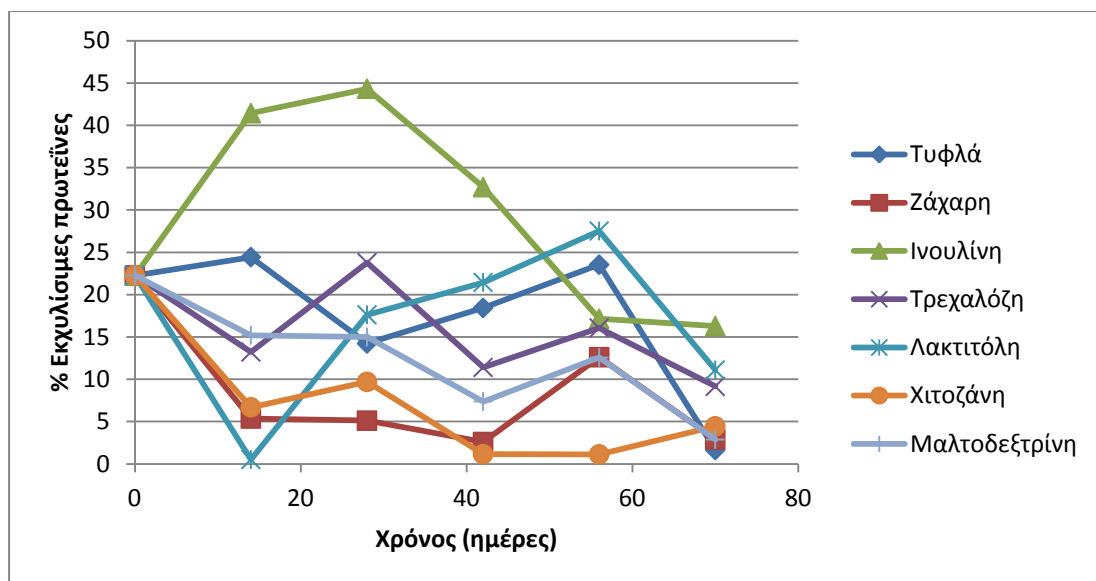
Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης, καθώς και η προσθήκη ινουλίνης, συνέβαλαν καλύτερα στη μείωση του ποσοστού απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

7.2.5 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Πείραμα 1)



Σχήμα 7.25 Μεταβολή % περιεχόμενης πρωτεΐνης φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

Από το Σχήμα 7.25 παρατηρείται ότι, σε όλες τις ομάδες δειγμάτων το πρωτεϊνικό περιεχόμενο διατηρήθηκε και δεν παρουσίασε σημαντικές αυξομειώσεις στη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, όπως, εξάλλου, είναι αναμενόμενο. Οι διαφορές στο ποσοστό περιεχόμενης πρωτεΐνης, που παρατηρούνται μεταξύ των ομάδων δειγμάτων και σε σχέση με το χρόνο 0, οφείλονται στην παρασκευή των δειγμάτων και, κυρίως, στη διαφορετική ποσότητα αζώτου που περιέχεται σε κάθε μία από τις κρυσταλλοπροστατευτικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς με την μέθοδο Kjeldahl γίνεται προσδιορισμός του αζώτου.



Σχήμα 7.27 Μεταβολή % εκχυλίσιμων πρωτεϊνών φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης

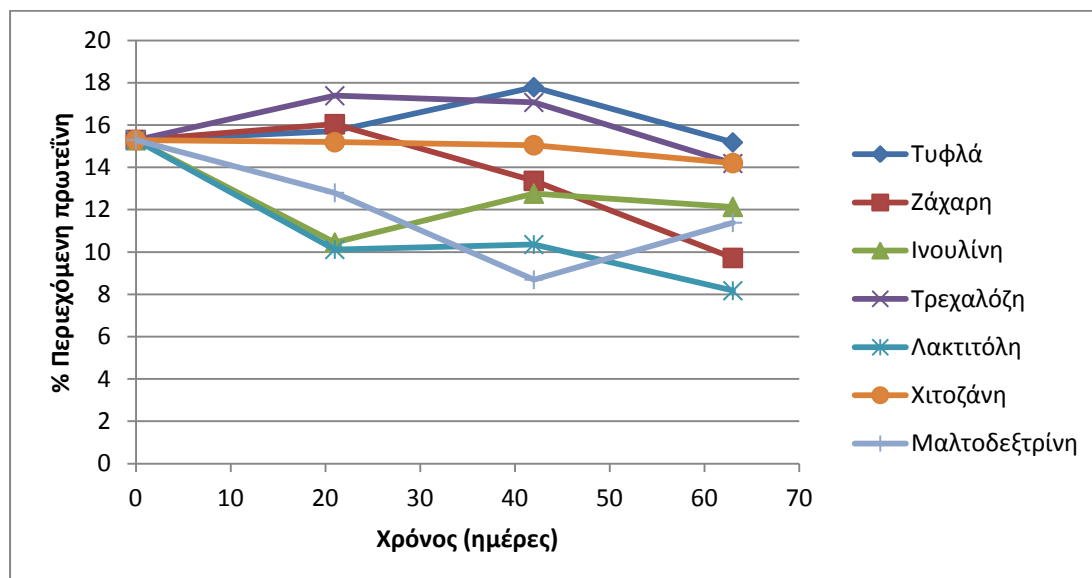
Παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, το ποσοστό των εκχυλίσιμων πρωτεϊνών σχεδόν όλως των ομάδων δειγμάτων μειώθηκε. Εξάιρεση αποτελεί η ομάδα δειγμάτων με ινουλίνη, όπου αρχικά παρουσιάστηκε αύξηση στο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών μέχρι τη 2^η δειγματοληψία και, στη συνέχεια, μείωση.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, τα δείγματα με χιτοζάνη και τα δείγματα με ζάχαρη φαίνεται να παρουσιάζουν το μικρότερο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών. Γενικά παρατηρούνται αρκετές αυξομειώσεις των τιμών.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, το ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη ινουλίνης, καθώς και η προσθήκη λακτιτόλης, συνέβαλαν καλύτερα στη διατήρηση του βαθμού εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

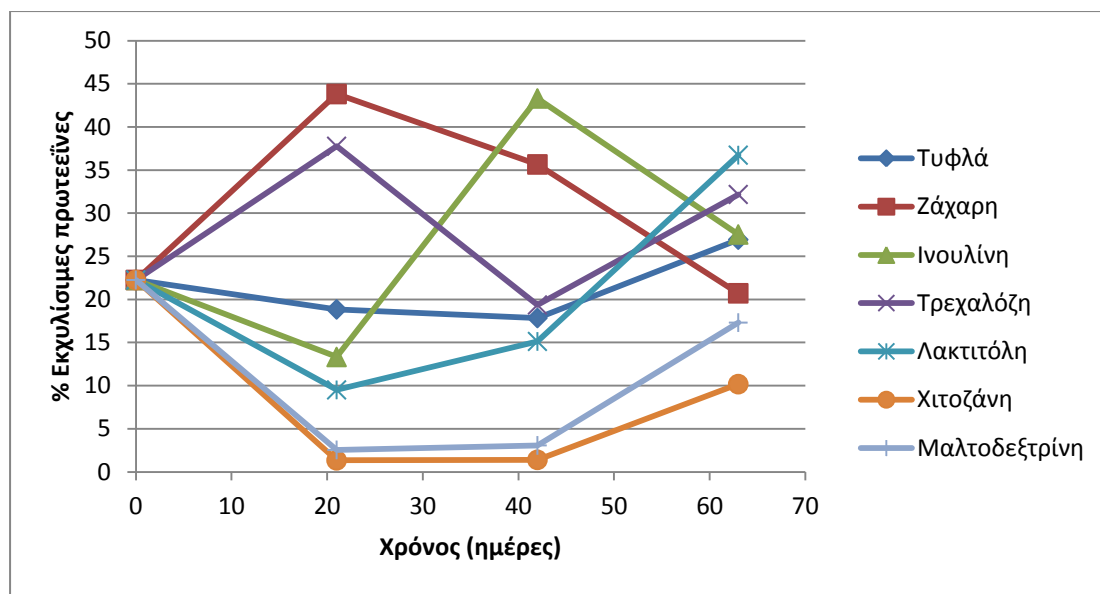
7.2.6 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Πείραμα 2)



Σχήμα 7.26 Μεταβολή % περιεχόμενης πρωτεΐνης φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

Από το Σχήμα 7.5 παρατηρείται ότι, σε όλες τις ομάδες δειγμάτων το πρωτεϊνικό περιεχόμενο διατηρήθηκε και δεν παρουσίασε σημαντικές αυξομειώσεις στη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, όπως, εξάλλου, είναι αναμενόμενο. Οι διαφορές στο ποσοστό περιεχόμενης πρωτεΐνης, που παρατηρούνται μεταξύ των ομάδων δειγμάτων και σε σχέση με το χρόνο 0, οφείλονται στην παρασκευή των δειγμάτων και, κυρίως, στη διαφορετική ποσότητα αζώτου που περιέχεται σε κάθε μία από τις κρουπροστατευτικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς με την μέθοδο Kjeldahl γίνεται προσδιορισμός του αζώτου.

Τυχόν σημαντικές αυξομειώσεις που παρατηρούνται, όπως στην περίπτωση των δειγμάτων με ινουλίνη και των δειγμάτων ζάχαρη, πιθανόν οφείλονται σε πειραματικό σφάλμα κατά τη διεξαγωγή της μέτρησης.



Σχήμα 7.28 Μεταβολή % εκχυλίσιμων πρωτεϊνών φιλέτων *Pollock* ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

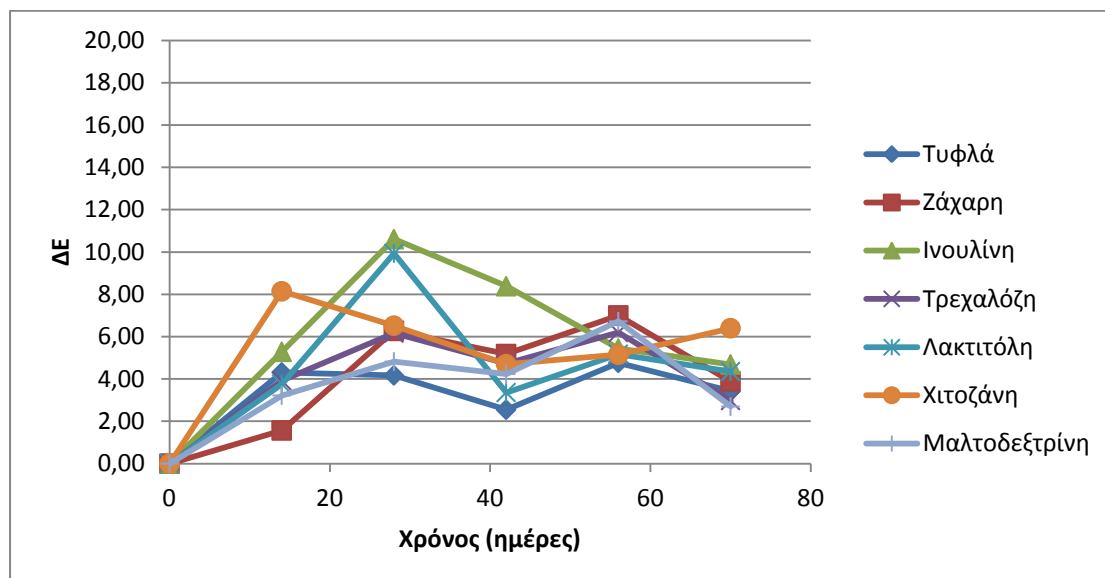
Παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, τα δείγματα με ζάχαρη παρουσιάζουν αρχικά σημαντική αύξηση και έπειτα μείωση στο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών. Τα δείγματα με ινουλίνη, αρχικά παρουσιάζουν μείωση κι έπειτα αύξηση στο ποσοστό αυτό.

Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, φαίνεται ότι τα δείγματα με χιτοζάνη και τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη παρουσιάζουν το χαμηλότερο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών. Αντίθετα, τα δείγματα με τρεχαλόζη, καθώς και αυτά με ζάχαρη και αυτά με ινουλίνη, φαίνεται να παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό αντίστοιχα.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, το ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών των δειγμάτων δεν μεταβάλλεται σημαντικά ούτε με το χρόνο αποθήκευσης, ούτε και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Συνεπώς, η προσθήκη ινουλίνης, καθώς και η προσθήκη ζάχαρης, συνέβαλαν καλύτερα στη διατήρηση του βαθμού εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης.

7.2.7 Χρώμα (Πείραμα 1)



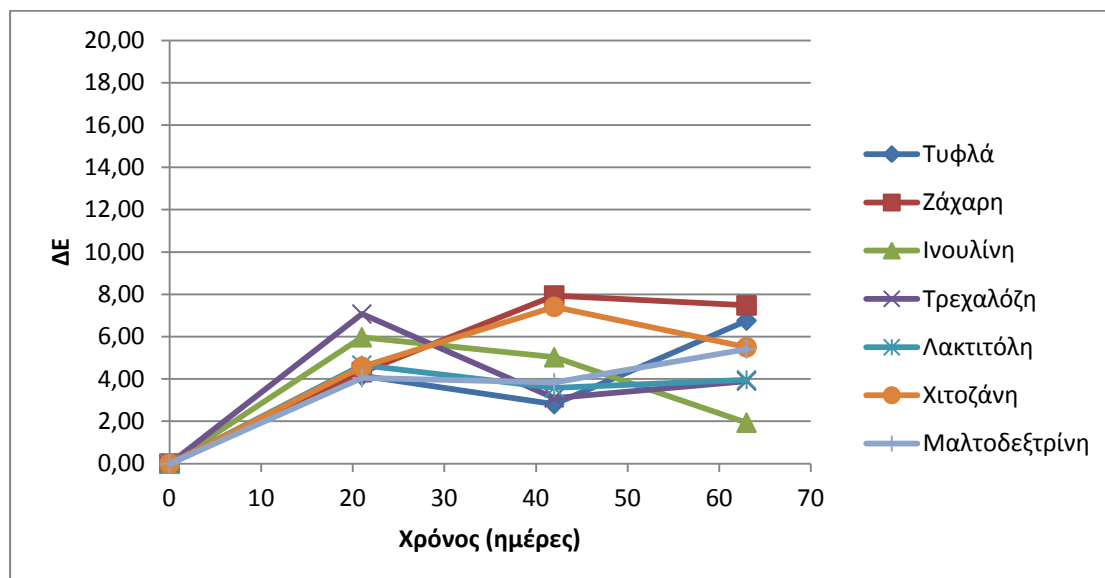
Σχήμα 7.29 Μεταβολή τιμής ΔΕ φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

Από το διάγραμμα παρατηρούνται γενικά αυξομειώσεις στις τιμές του ΔΕ ως προς το χρόνο. Υψηλές τιμές ΔΕ φαίνεται να παρουσιάζουν οι ομάδες δειγμάτων με χιτοζάνη και οι ομάδες δειγμάτων με ινουλίνη, ενώ ακολουθούν οι ομάδες δειγμάτων με ζάχαρη και με τρεχαλόζη. Παράλληλα φαίνεται ότι όλες οι ομάδες δειγμάτων με κρυσταλλοπροστατευτικές ουσίες παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ΔΕ από την ομάδα στην οποία δεν προστέθηκε κρυσταλλοπροστατευτικό.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της ΔΕ των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρόνο αποθήκευσης, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης και η προσθήκη μαλτοδεξτρίνης διατήρησε καλύτερα το χρώμα των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυσταλλοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

7.2.8 Χρώμα (Πείραμα 2)



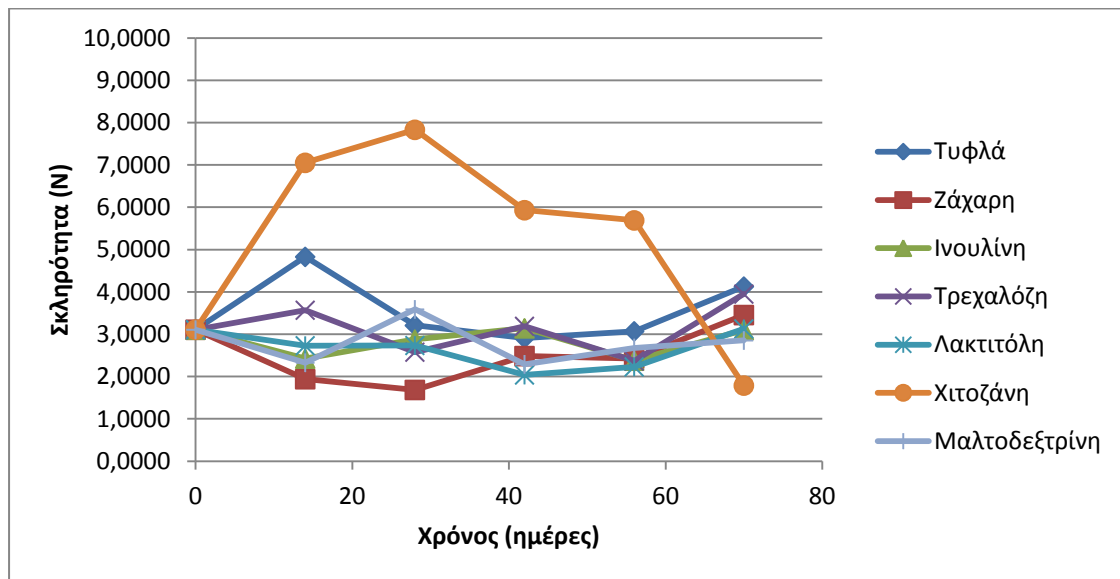
Σχήμα 7.30 Μεταβολή % τιμής ΔΕ φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

Παρατηρείται ότι, η ομάδα δειγμάτων με ζάχαρη, από τη 2^η δειγματοληψία και μετά, παρουσίασε υψηλότερες τιμές ΔΕ από τις υπόλοιπες ομάδες. Αντίστοιχα η ομάδα δειγμάτων με ινουλίνη φαίνεται να παρουσιάζει μείωση στην τιμή του ΔΕ με κάθε δειγματοληψία.

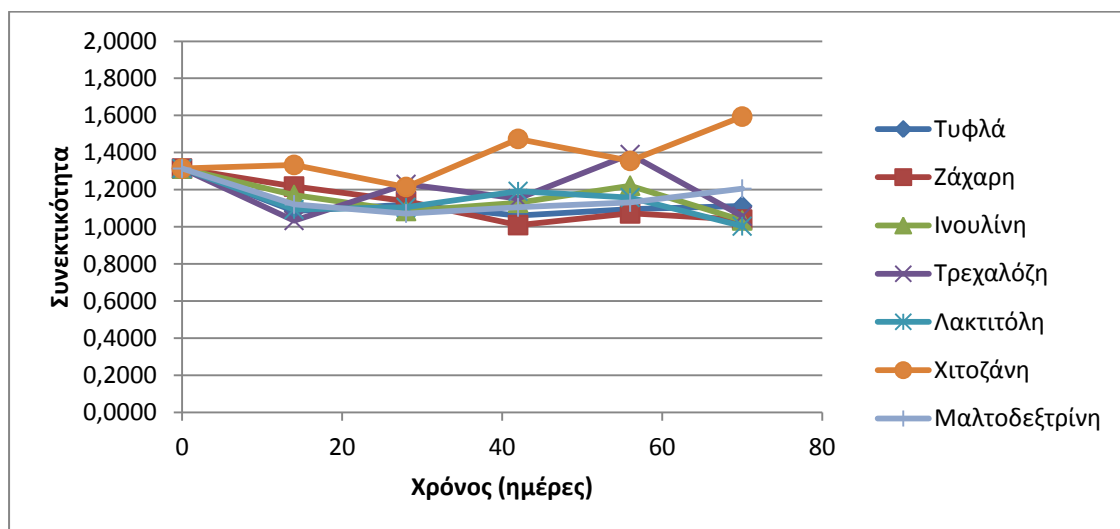
Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της ΔΕ των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης και η προσθήκη ζάχαρης διατήρησε καλύτερα το χρώμα των δειγμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης.

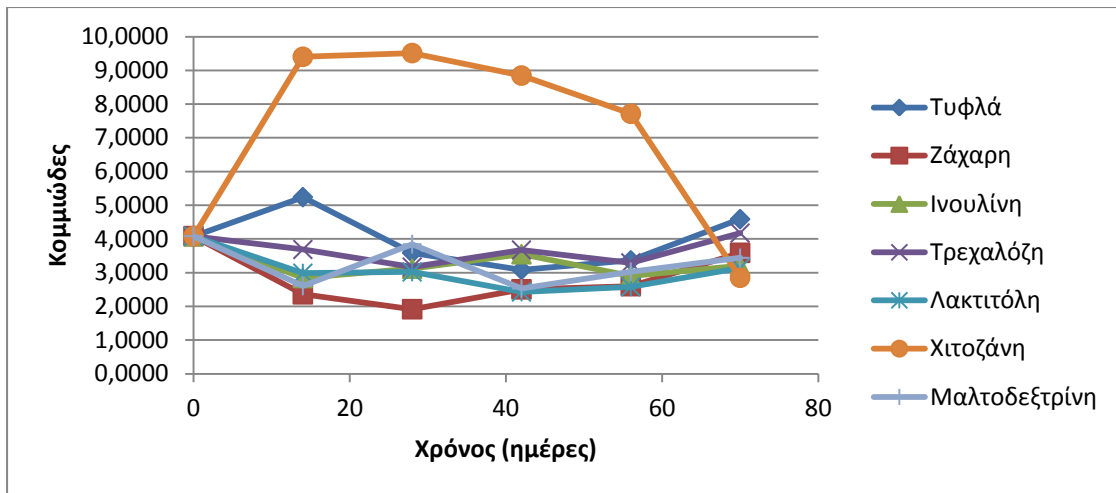
7.2.9 Υφή (Πείραμα 1)



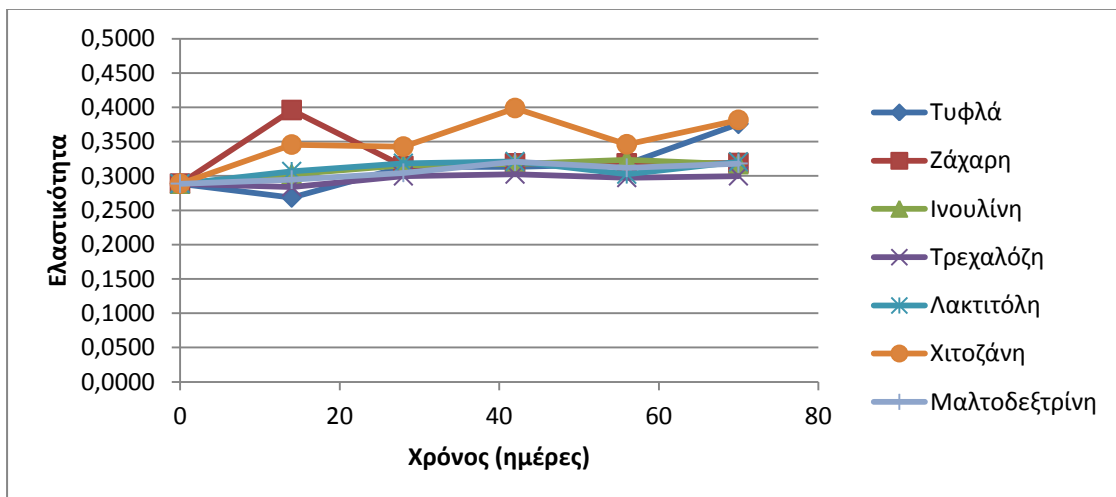
Σχήμα 7.31 Μεταβολή σκληρότητας φιλέτων Rollock ως προς το χρόνο, κατά την κανονική αποθήκευση υπό κατάψυξη



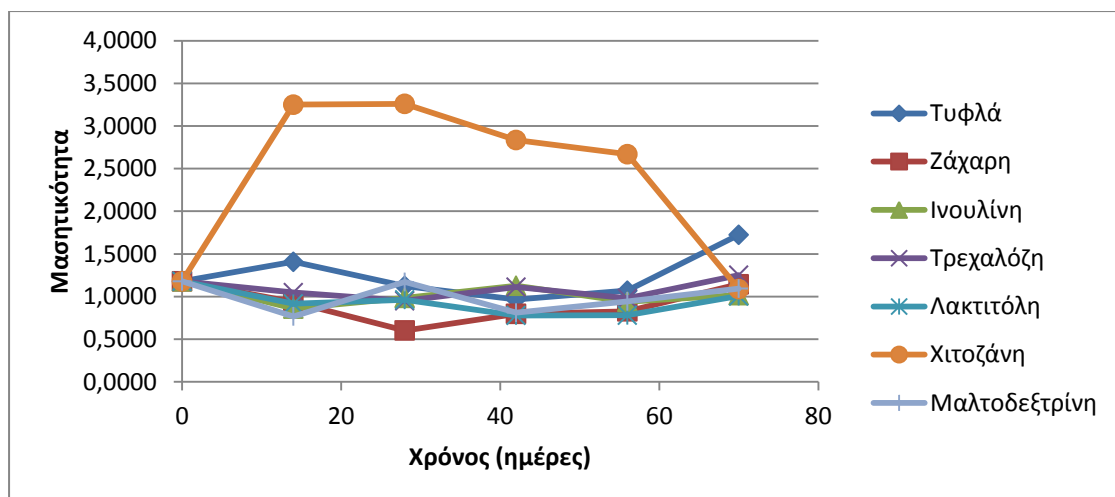
Σχήμα 7.32 Μεταβολή συνεκτικότητας φιλέτων Rollock ως προς το χρόνο, κατά την κανονική αποθήκευση υπό κατάψυξη



Σχήμα 7.33 Μεταβολή κομμώδους φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την κανονική αποθήκευση υπό κατάψυξη



Σχήμα 7.34 Μεταβολή ελαστικότητας φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την κανονική αποθήκευση υπό κατάψυξη



Σχήμα 7.35 Μεταβολή μασητικότητας φιλέτων *Pollock* ως προς το χρόνο, κατά την κανονική αποθήκευση υπό κατάψυξη

Από το Σχήμα 7.31, παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, η ομάδα δειγμάτων με χιτοζάνη παρουσίασε μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας μέχρι και την 4^η δειγματοληψία, ενώ έπειτα η τιμή μειώθηκε σημαντικά. Στις υπόλοιπες ομάδες δειγμάτων, η σκληρότητα φαίνεται να διατηρείται σε γενικές γραμμές, με τις ομάδες δειγμάτων με ζάχαρη και με λακτιτόλη να παρουσιάζουν αρχικά μικρή μείωση στην τιμή, ενώ στη συνέχεια αύξηση. Εκτός της ομάδας δειγμάτων με χιτοζάνη, όλες οι υπόλοιπες ομάδες φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερη σκληρότητα από την ομάδα των δειγμάτων που δεν προστέθηκε κρυοπροστατευτικό. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της σκληρότητας των δειγμάτων δεν μεταβάλλεται σημαντικά ούτε με το χρόνο, ούτε με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Από το Σχήμα 7.32 παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, η ομάδα δειγμάτων με χιτοζάνη παρουσιάζει μικρή αύξηση στην τιμή της συνεκτικότητας. Στις υπόλοιπες ομάδες παρατηρείται μικρή μείωση, αν και στο πέρας του χρόνου δεν παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις της τιμής. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μικρότερη τιμή συνεκτικότητας φαίνεται να παρουσιάζουν οι ομάδες δειγμάτων με ζάχαρη και με ινουλίνη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της συνεκτικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

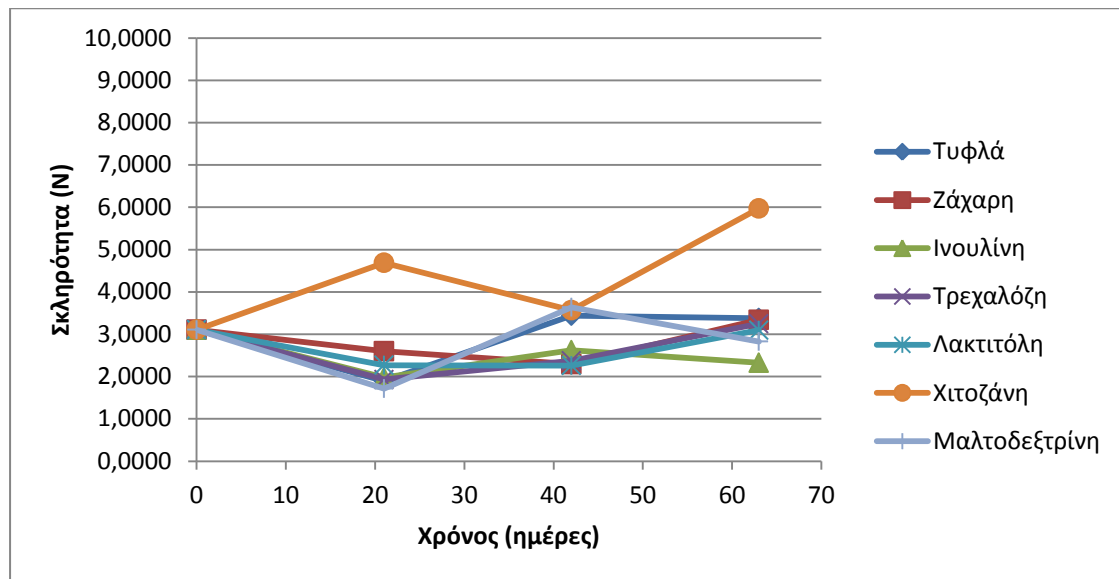
Από το Σχήμα 7.33 παρατηρείται ότι τα δείγματα με χιτοζάνη εμφανίζουν αυξημένες τιμές κομμιάδους σε σχέση με το χρόνο 0 έως και την 4^η δειγματοληψία, μετά από την οποία παρατηρείται σημαντική μείωση της τιμής του κομμιάδους. Οι υπόλοιπες ομάδες φαίνεται να εμφανίζουν μείωση στην τιμή, ιδιαίτερα στην περίπτωση της ομάδας με ζάχαρη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή του κομμιάδους των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Από το Σχήμα 7.34 παρατηρείται ότι όλες οι ομάδες δειγμάτων εμφανίζουν υψηλότερες τιμές ελαστικότητας από το χρόνο 0, ιδιαίτερα στην περίπτωση της ομάδας με χιτοζάνη. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται διατήρηση των τιμών ελαστικότητας των υπόλοιπων ομάδων δειγμάτων. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της ελαστικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

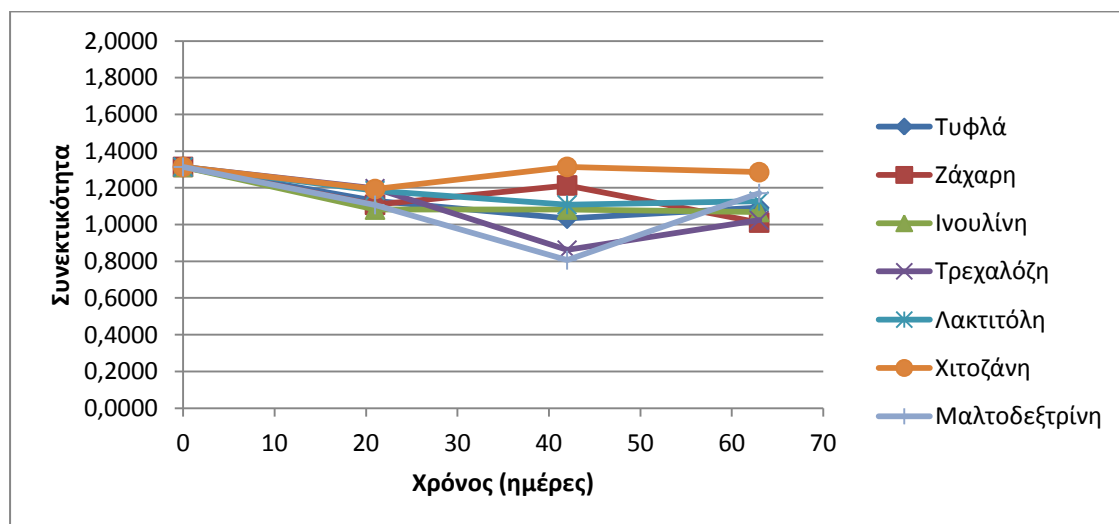
Από το Σχήμα 7.35 παρατηρείται ότι η τιμή της μασητικότητας της ομάδας δειγμάτων με χιτοζάνη είναι αρκετά αυξημένη σε σχέση με αυτή του χρόνου 0, αλλά και των υπόλοιπων ομάδων, οι οποίες φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερη τιμή μασητικότητας από το χρόνο 0. Παράλληλα, όλες οι ομάδες δειγμάτων, εκτός από αυτή με χιτοζάνη, φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερη τιμή μασητικότητας από την ομάδα δειγμάτων που δεν έχει προστεθεί κρυοπροστατευτικό. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της μασητικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

Συνεπώς, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης οδήγησε σε δείγματα με υψηλότερες τιμές παραμέτρων υφής, σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης.

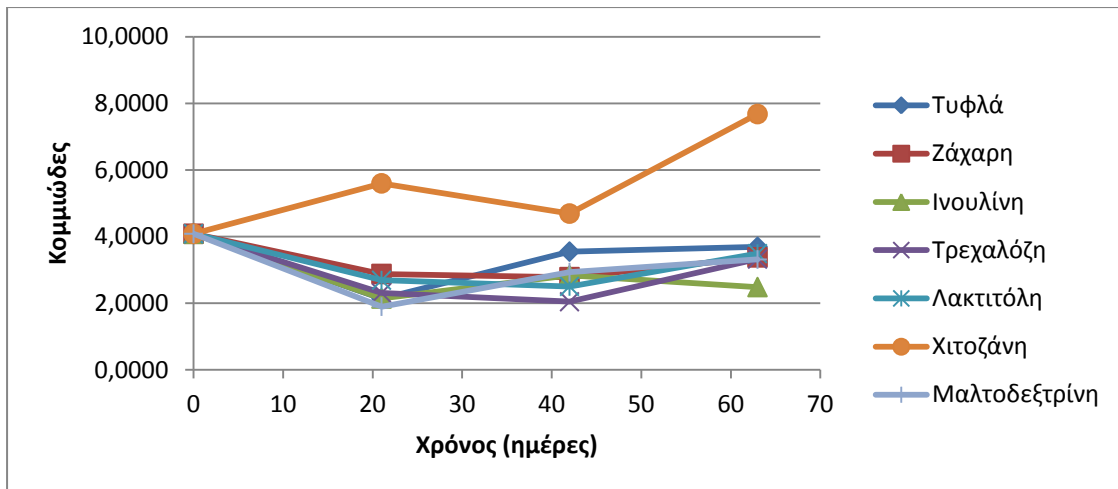
7.2.10 Υφή (Πείραμα 2)



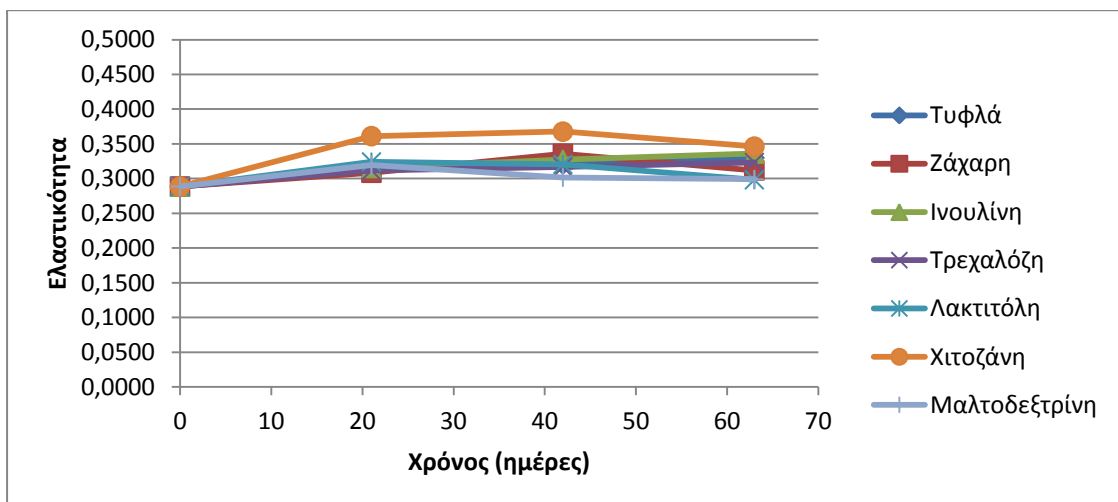
Σχήμα 7.36 Μεταβολή σκληρότητας φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη



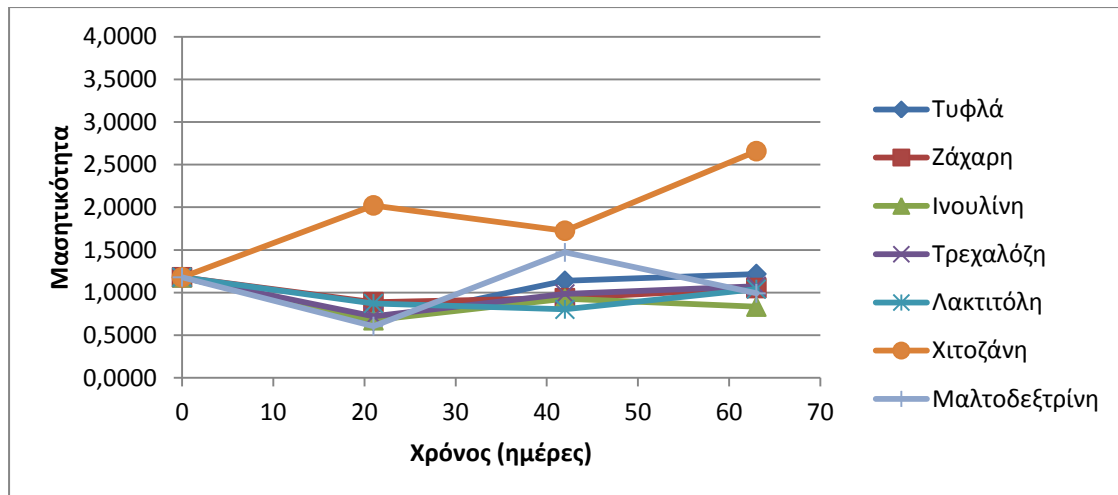
Σχήμα 7.37 Μεταβολή συνεκτικότητας φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη



Σχήμα 7.38 Μεταβολή κομμώδους φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη



Σχήμα 7.39 Μεταβολή ελαστικότητας φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη



Σχήμα 7.40 Μεταβολή μασητικότητας φιλέτων Pollock ως προς το χρόνο, κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης) σε κατάψυξη

Από το Σχήμα 7.36 παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, η ομάδα δειγμάτων με χιτοζάνη παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας. Επίσης, όλες οι υπόλοιπες ομάδες δειγμάτων φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερη τιμή σκληρότητας από την ομάδα δειγμάτων χωρίς προσθήκη κρυοπροστατευτικής ουσίας. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μικρότερη σκληρότητα φαίνεται να παρουσιάζουν τα δείγματα της ομάδας με ινουλίνη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της σκληρότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Από το Σχήμα 7.37 παρατηρείται ότι, σε σχέση με το χρόνο 0, η τιμή της συνεκτικότητας μειώθηκε ελαφρά, με την ομάδα δειγμάτων με χιτοζάνη να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή. Στις υπόλοιπες ομάδες παρατηρείται μικρή μείωση στην τιμή της συνεκτικότητας, αν και στο πέρας του χρόνου δεν παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις. Συγκρίνοντας τα δείγματα μεταξύ τους, μικρότερη τιμή συνεκτικότητας φαίνεται να παρουσιάζουν οι ομάδες δειγμάτων με τρεχαλόζη και με μαλτοδεξτρίνη. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της συνεκτικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Από το Σχήμα 7.38, παρατηρείται ότι τα δείγματα της ομάδας με χιτοζάνη εμφανίζουν αυξημένες τιμές κομμιώδους σε σχέση με το χρόνο 0. Οι υπόλοιπες ομάδες φαίνεται να εμφανίζουν μείωση στην τιμή του κομμιώδους. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή του κομμιώδους των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα, τόσο με το χρόνο, όσο και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Από το Σχήμα 7.39, παρατηρείται ότι όλες οι ομάδες δειγμάτων εμφανίζουν υψηλότερες τιμές ελαστικότητας από το χρόνο 0, ιδιαίτερα στην περίπτωση της ομάδας με χιτοζάνη. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται διατήρηση των τιμών ελαστικότητας των υπόλοιπων ομάδων δειγμάτων. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της ελαστικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Από το Σχήμα 7.40 παρατηρείται ότι, η τιμή της μασητικότητας της ομάδας δειγμάτων με χιτοζάνη είναι αρκετά αυξημένη σε σχέση με αυτή του χρόνου 0, ενώ των υπόλοιπων ομάδων παρέμεινε σταθερή ή μειώθηκε, ιδιαίτερα στην περίπτωση των ομάδων με ινουλίνη και με λακτιτόλη. Παράλληλα, όλες οι ομάδες δειγμάτων, εκτός από αυτή με χιτοζάνη φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερη τιμή μασητικότητας από την ομάδα δειγμάτων που δεν έχει προστεθεί κρυοπροστατευτικό. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, η τιμή της μασητικότητας των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

Συνεπώς, όπως και στο Πείραμα 1, προκύπτει ότι, η προσθήκη χιτοζάνης οδήγησε σε δείγματα με υψηλότερες τιμές παραμέτρων υφής, σε σχέση με τις υπόλοιπες κρυοπροστατευτικές ουσίες, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης).

7.3 Σύγκριση των δύο ειδών ψαριών

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι παρατηρήσεις-σχόλια που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση (ANOVA) που διεξήχθη σε κάθε πείραμα χωριστά (1 και 2), με ανεξάρτητες μεταβλητές το είδος των φιλέτων ψαριού που χρησιμοποιήθηκαν, το χρόνο διεξαγωγής του κάθε πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία.

7.3.1 Πείραμα 1-Αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης

Από τους πίνακες Anova και Duncan's Test προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Στην περίπτωση του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτό μεταβάλλεται σημαντικά και με τις τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod είχαν μικρότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας από τα φιλέτα Pollock.

Στην περίπτωση του ποσοστού απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτό μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα μόνο με το είδος του ψαριού. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod είχαν σημαντικά μικρότερη απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα από τα φιλέτα Pollock. Το γεγονός αυτό οφείλεται, πιθανόν, στη διαφορετική ποσότητα υγρασίας που περιέχεται στα δύο φιλέτα, όπως προέκυψε από τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας

Στην περίπτωση του ποσοστού εκχυλίσμων πρωτεϊνών των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτό μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του κάθε ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν σημαντικά μικρότερη εκχυλισμότητα των πρωτεϊνών από τα φιλέτα Pollock.

Στην περίπτωση της τιμής ΔΕ του χρώματος των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού και με το χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν σημαντικά μικρότερη τιμή ΔΕ από τα φιλέτα Pollock.

Στην περίπτωση της τιμής της σκληρότητας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα μόνο με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία. Συνεπώς, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές σκληρότητας μεταξύ των δύο ψαριών.

Στην περίπτωση της τιμής της συνεκτικότητας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα μόνο με την επίδραση της χρησιμοποιούμενης κρυοπροστατευτικής ουσίας. Συνεπώς, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές σκληρότητας μεταξύ των δύο ψαριών.

Στην περίπτωση της τιμής του κομμώδους των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα μόνο με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία. Συνεπώς, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές σκληρότητας μεταξύ των δύο ψαριών, όπως είναι, εξάλλου, αναμενόμενο, αφού το κομμώδες ισούται με την τιμή της σκληρότητας επί την τιμή της συνεκτικότητας.

Στην περίπτωση της τιμής της ελαστικότητας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού και με το χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του κάθε ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν μεγαλύτερη ελαστικότητα από τα φιλέτα Pollock.

Στην περίπτωση της τιμής της μασητικότητας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του κάθε ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν μεγαλύτερη τιμή μασητικότητας από τα φιλέτα Pollock.

7.3.2 Πείραμα 2-Αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης)

Από τους πίνακες Anova και Duncan's Test προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Στην περίπτωση του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτό μεταβάλλεται σημαντικά και με τις τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod είχαν μικρότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας από τα φιλέτα Pollock, γεγονός που συμπίπτει με τα αποτελέσματα του Πειράματος 1.

Στην περίπτωση του ποσοστού απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτό μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία. Συνεπώς, δεν παρατηρούνται διαφορές στο βαθμό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα μεταξύ των δειγμάτων, όσον αφορά το είδος του ψαριού.

Στην περίπτωση του ποσοστού εκχυλίσμων πρωτεϊνών των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτό μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα μόνο με το είδος του ψαριού. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του κάθε ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν σημαντικά μικρότερη εκχυλισσιμότητα των πρωτεϊνών από τα φιλέτα Pollock, γεγονός που συμπίπτει με τα αποτελέσματα του Πειράματος 1.

Στην περίπτωση της τιμής ΔΕ του χρώματος των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα μόνο με το χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων. Συνεπώς, δεν παρατηρούνται διαφορές στην τιμή ΔΕ όσον αφορά το είδος του ψαριού, κατά την αποθήκευσή των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης.

Στην περίπτωση της τιμής της σκληρότητας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του κάθε ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν μεγαλύτερη σκληρότητα από τα φιλέτα Pollock.

Στην περίπτωση της τιμής της συνεκτικότητας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα μόνο με την επίδραση της χρησιμοποιούμενης κρυοπροστατευτικής ουσίας. Συνεπώς, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές σκληρότητας όσον αφορά το είδος του ψαριού, γεγονός που συμπίπτει με τα αποτελέσματα του Πειράματος 1.

Στην περίπτωση της τιμής του κομμώδους των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν μεγαλύτερη σκληρότητα από τα φιλέτα Pollock, όπως είναι, εξάλλου, αναμενόμενο, αφού το κομμώδες ισούται με την τιμή της σκληρότητας επί την τιμή της συνεκτικότητας.

Στην περίπτωση της τιμής της ελαστικότητας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού και με το χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν μεγαλύτερη ελαστικότητα από τα φιλέτα Pollock, γεγονός που συμπίπτει με τα αποτελέσματα του Πειράματος 1.

Στην περίπτωση της τιμής της μασητικότητας των δειγμάτων, προκύπτει ότι αυτή μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το είδος του ψαριού και με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το είδος του κάθε ψαριού, προκύπτει ότι τα δείγματα των φιλέτων Cod παρουσίασαν μεγαλύτερη τιμή μασητικότητας από τα φιλέτα Pollock, γεγονός που συμπίπτει με τα αποτελέσματα του Πειράματος 1.

7.4 Σύγκριση των Πειραμάτων 1 και 2

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι παρατηρήσεις-σχόλια που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση (ANOVA) που διεξήχθη σε κάθε πείραμα χωριστά (1 και 2), με ανεξάρτητες μεταβλητές το είδος των φιλέτων ψαριού που χρησιμοποιήθηκαν, το χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων, τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία και το είδος του πειράματος, δηλαδή Πείραμα 1 (αποθήκευση σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης) και Πείραμα 2 (αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης -κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης). Επειδή τα δύο πειράματα διεξήχθησαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και με διαφορετικό αριθμό δειγμάτων, εξετάζονται μόνο οι κοινοί χρόνοι δειγματοληψίας, δηλαδή ο χρόνος 0 (0 ημέρες αποθήκευσης) και ο χρόνος 42 ημερών αποθήκευσης.

Από τους πίνακες Anova και Duncan's Test προκύπτει ότι, μόνο το ποσοστό απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά με το είδος του πειράματος που διεξάγεται. Συγκεκριμένα, προκύπτει ότι η απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα είναι μεγαλύτερη στο Πείραμα 2 (συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης) απ' ό,τι στο Πείραμα 1 (συνθήκες κανονικής αλλοίωσης).

7.5 Αποτελέσματα Πειράματος 3

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Πειράματος 3, το οποίο περιλαμβάνει την κανονική αποθήκευσή υπό κατάψυξη τεσσάρων δειγμάτων ψαριού, με προσθήκη διαφορετικής κρυοπροστατευτικής ουσίας σε καθένα από αυτά, για χρονικό διάστημα 30 ημερών.

7.5.1 Περιεχόμενη Υγρασία

Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα μέτρησης περιεχόμενης υγρασίας

Χρόνος (ημέρες)/Κρυοπροστατευτικά	0	30
Τυφλό	87,43%	86,75%
Μίγμα 1:1 Ινουλίνης-Τρεχαλόζης	87,43%	83,79%
Ξηρό συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού	87,43%	84,50%
Ένυδρο συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού	87,43%	87,33%

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι, παρόλο που σε σχέση με το χρόνο 0 το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας όλων των δειγμάτων μειώθηκε, σε κανένα δείγμα δεν υπήρξε σημαντική μείωση. Φαίνεται ότι η περιεχόμενη υγρασία διατηρήθηκε καλύτερα στο δείγμα με το ένυδρο συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού, ενώ λιγότερο στην περίπτωση του δείγματος με προσθήκη μίγματος τρεχαλόζης –ινουλίνης.

7.5.2 Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα μέτρησης απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Χρόνος (ημέρες)/Κρυοπροστατευτικά	0	30
Τυφλό	26,95%	27,36%
Μίγμα 1:1 Ινουλίνης-Τρεχαλόζης	26,95%	44,80%
Ξηρό συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού	26,95%	45,18%
Ένυδρο συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού	26,95%	56,35%

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι, εκτός από το τυφλό δείγμα, όλα τα υπόλοιπα δείγματα παρουσίασαν σημαντική απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα, σε σχέση με το χρόνο 0. Μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας υγρασίας παρουσιάζεται στην περίπτωση του δείγματος με ένυδρο συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού. Ωστόσο, το συγκεκριμένο δείγμα είχε εξ αρχής μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία.

7.5.3 Πρωτεϊνικό περιεχόμενο

Πίνακας 7.3 Αποτελέσματα μέτρησης πρωτεϊνικού περιεχομένου

Χρόνος (ημέρες)/Κρυοπροστατευτικά	0	30
Τυφλό	17,83%	17,23%
Μίγμα 1:1 Ινουλίνης-Τρεχαλόζης	17,83%	14,54%
Ξηρό συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού	17,83%	16,95%
Ένυδρο συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού	17,83%	17,50%

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι, σχεδόν όλα τα κρυοπροστατευτικά κατόρθωσαν να διατηρήσουν το πρωτεϊνικό περιεχόμενο σε σχέση με το χρόνο 0, όπως ήταν αναμενόμενο, εξάλλου.

7.5.4 Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα μέτρησης εκχυλίσιμων πρωτεϊνών

Χρόνος (ημέρες)/Κρυοπροστατευτικά	0	30
Τυφλό	14,79%	10,77%
Μίγμα 1:1 Ινουλίνης-Τρεχαλόζης	14,79%	17,75%
Ξηρό συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού	14,79%	25,54%
Ένυδρο συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού	14,79%	21,65%

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι, ενώ στο τυφλό δείγμα παρατηρήθηκε μείωση του ποσοστού εκχυλίσιμων πρωτεϊνών σε σχέση με το χρόνο 0, στα υπόλοιπα δείγματα το ποσοστό αυξήθηκε. Μεγαλύτερο ποσοστό εκχυλίσιμων πρωτεϊνών παρατηρήθηκε στο δείγμα με το ξηρό συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού, ενώ μικρότερο στο δείγμα με το μίγμα τρεχαλόζης-ινουλίνης.

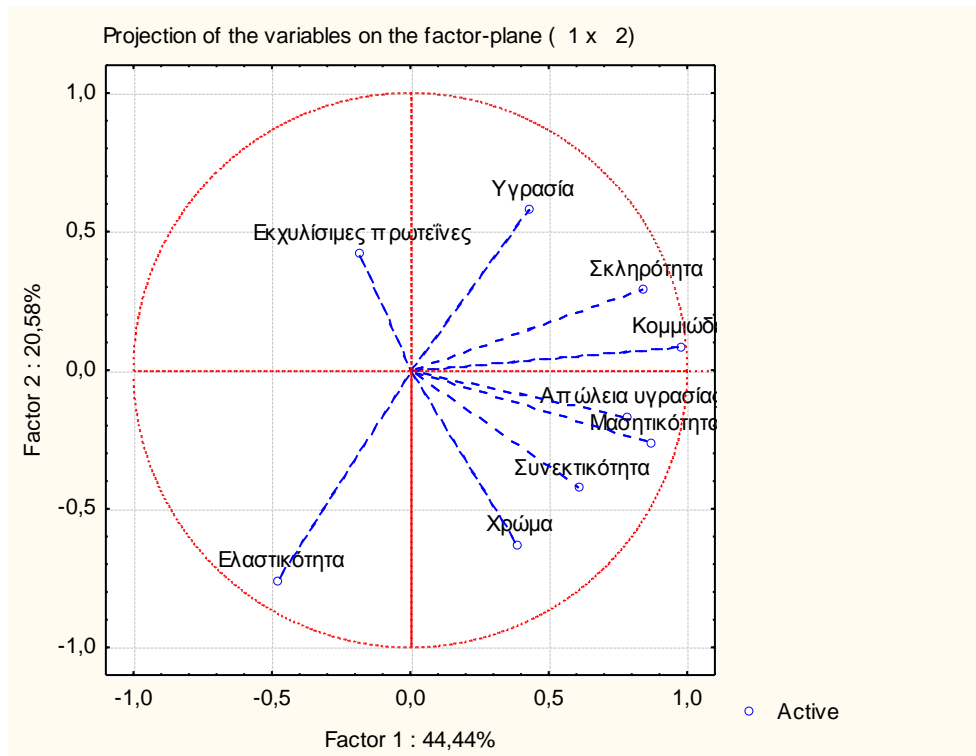
Από τη στατιστική ανάλυση που διεξήχθη σε κάθε μία από τις μετρούμενες ιδιότητες των δειγμάτων προέκυψε ότι, καμία ιδιότητα δεν μεταβάλλεται σημαντικά ούτε με το χρόνο, ούτε με τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης.

7.6 Ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA)

Για τη διευκρίνιση της επίδρασης των κρυοπροστατευτικών ουσιών και των συνθηκών συντήρησης σε κατάψυξη που μελετήθηκαν στις ιδιότητες των δειγμάτων, διεξήχθη ανάλυση κύριων συνιστωσών PCA. Οι ιδιότητες που ελήφθησαν υπ' όψιν στη συγκεκριμένη ανάλυση είναι η περιεχόμενη υγρασία, η απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα, οι εκχυλίσιμες πρωτεΐνες, το χρώμα, η σκληρότητα, η συνεκτικότητα, το κομμιώδες, η ελαστικότητα και η μασητικότητα των δειγμάτων. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε τόσο για το κάθε είδος πειράματος και φιλέτου ψαριού χωριστά, όσο και για συνδυασμό αυτών.

7.6.1 Αποθήκευση φιλέτων Cod σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης

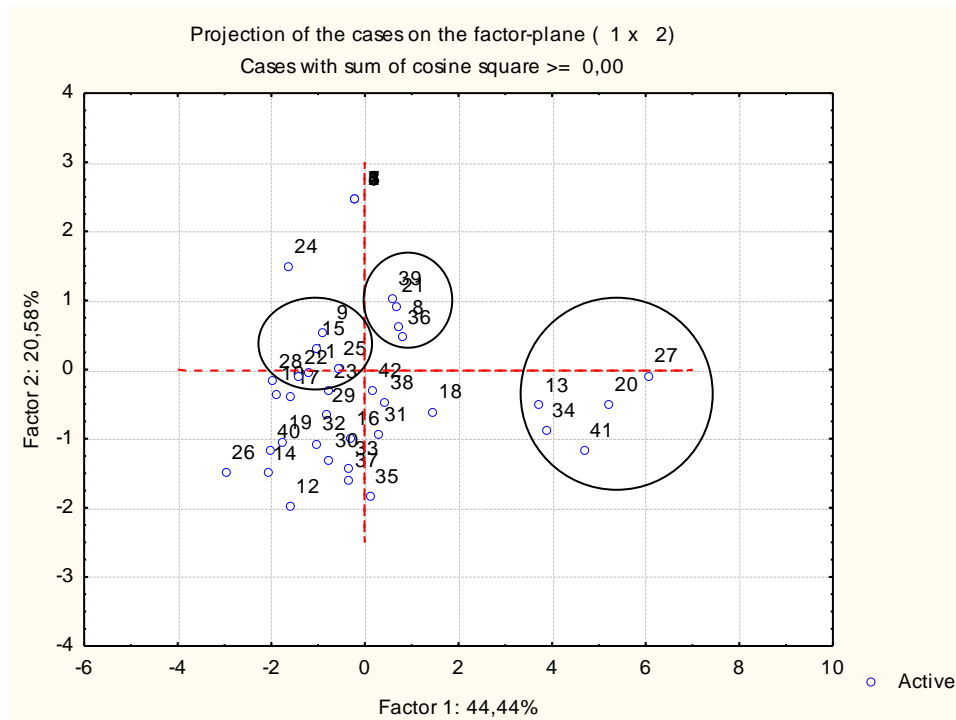
Στην Εικόνα 7.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων από φιλέτα cod σε κατάψυξη, υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης. Στο παρακάτω σχήμα, από τις τιμές των διανυσμάτων φαίνεται ποιες είναι οι κύριες συνιστώσες για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, ενώ οι τιμές της συνολικής διακύμανσης δείχνουν τη σημαντικότητα των συγκεκριμένων συνιστωσών. Στην περίπτωση αυτή, οι συνιστώσες είναι δύο, με διακύμανση 44,44 % και 20,58 % και συνολική διακύμανση 65,02 %. Η συσχέτιση της κάθε ιδιότητας που μελετάται με μία από τις δύο συνιστώσες εξαρτάται από την απόσταση της προβολής της ευθείας που αντιστοιχεί στην ιδιότητα στον άξονα που αντιστοιχεί στη συνιστώσα. Όσο μικρότερη είναι η προβολή και όσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα της ευθείας, τόσο περισσότερο συσχετίζεται η ιδιότητα με τη συνιστώσα.



Εικόνα 7.1 Γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα φιλέτα cod, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρουπροστατευτική ουσία

Από τη Εικόνα 7.1 παρατηρείται ότι η σκληρότητα, το κομμώδες, η μασητικότητα και η απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα συσχετίζονται μεταξύ τους και συνεισφέρουν θετικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα.

Στην Εικόνα 7.2 παρατίθεται το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων σε σχέση με τις κύριες συνιστώσες.



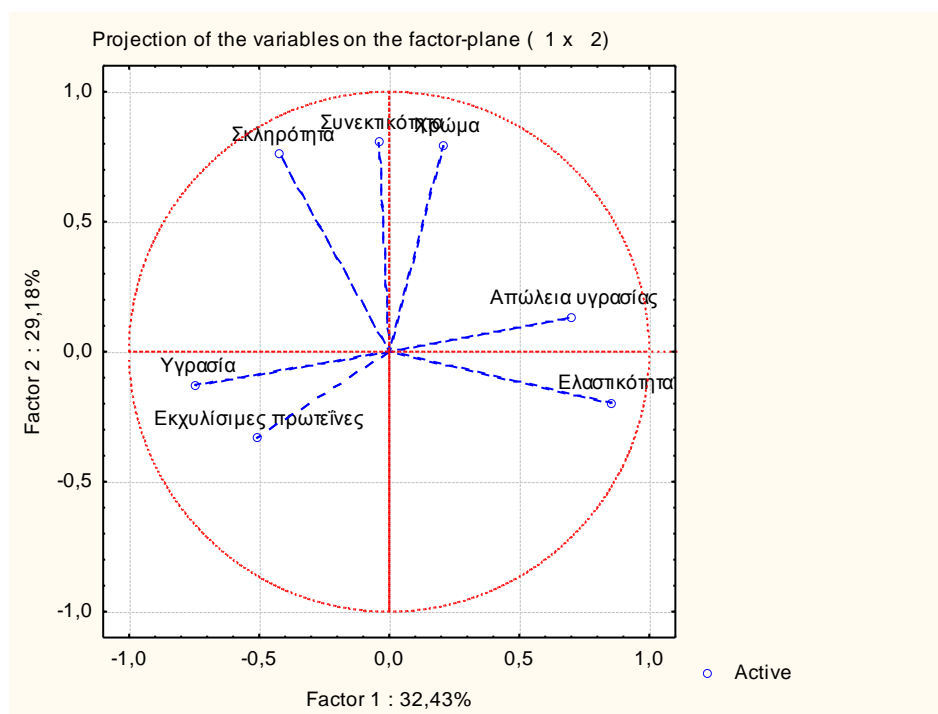
Εικόνα 7.2 Γραφική απεικόνιση των δειγμάτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα φιλέτα cod, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία

Από την Εικόνα 7.2 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1) Τα δείγματα 8, 21, 36 και 39 παρουσιάζουν υψηλές τιμές σκληρότητας και κομμώδους. Δηλαδή, τα δείγματα στο χρόνο 0 και στην 5^η δειγματοληψία χωρίς προσθήκη κρυοπροστατευτικού, στην 5^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης και στη 2^η δειγματοληψία με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης
- 2) Τα δείγματα 13, 20, 27, 34 και 41 παρουσιάζουν υψηλές τιμές σκληρότητας, κομμώδους, απώλειας υγρασίας και μασητικότητας. Δηλαδή τα δείγματα στην 1^η, στη 2^η, στην 3^η, στην 4^η και στην 5^η δειγματοληψία με προσθήκη χιτοζάνης
- 3) Τα δείγματα 9, 11, 15, 17, 22, 23, 25 και παρουσιάζουν υψηλή τιμή περιεχόμενης υγρασίας και ποσοστού εκχυλίσμων πρωτεϊνών. Δηλαδή, τα δείγματα στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία χωρίς προσθήκη κρυοπροστατευτικού, στην 1^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη ζάχαρης, στη 2^η δειγματοληψία με προσθήκη ιουλίνης, στην 1^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης.

7.6.2 Αποθήκευση φιλέτων Cod σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης)

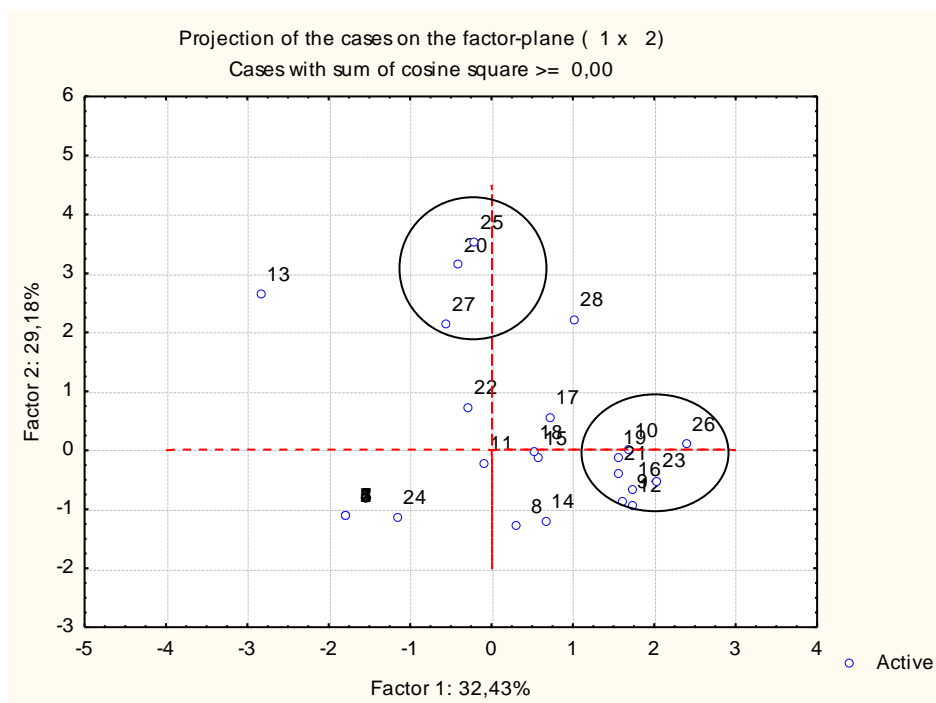
Στην Εικόνα 7.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων από φιλέτα cod σε κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης). Στην περίπτωση αυτή, οι συνιστώσες είναι δύο, με διακύμανση 32,43 % και 29,18 % και συνολική διακύμανση 61,61 %.



Εικόνα 7.3 Γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα φιλέτα cod, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρουπροστατευτική ουσία

Από τη Εικόνα 7.1 παρατηρείται ότι η σκληρότητα, η συνεκτικότητα και το χρώμα συσχετίζονται μεταξύ τους και συνεισφέρουν θετικά στη δεύτερη κύρια συνιστώσα. Επίσης, η απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα και η ελαστικότητα συσχετίζονται μεταξύ τους και συνεισφέρουν θετικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Παράλληλα, η περιεχόμενη υγρασία επιδρά αρνητικά στη δεύτερη κύρια συνιστώσα.

Στην Εικόνα 7.4 παρατίθεται το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων σε σχέση με τις κύριες συνιστώσες.



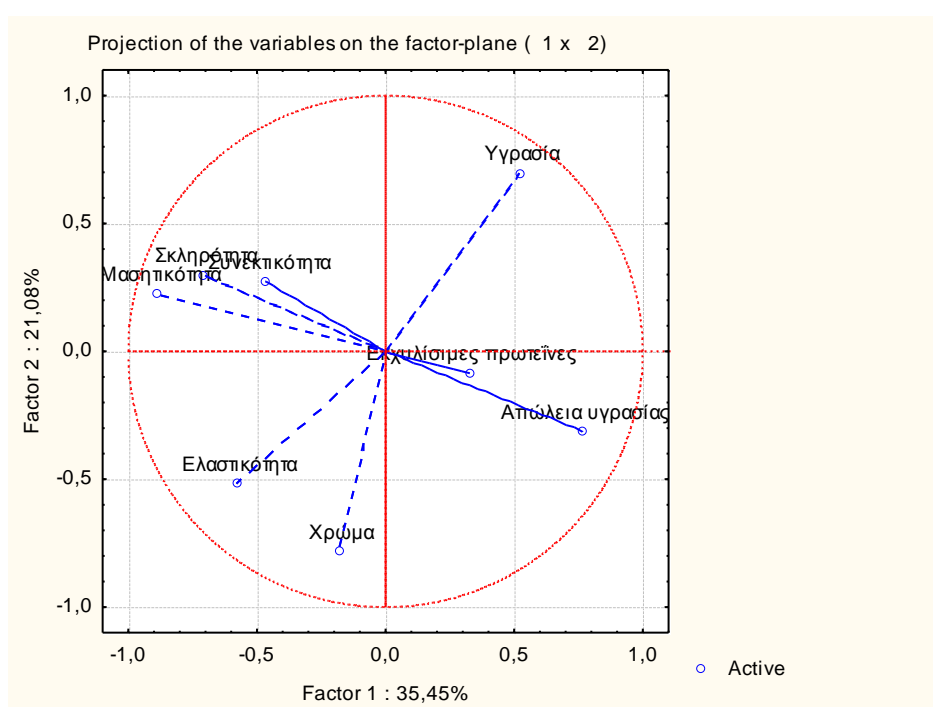
Εικόνα 7.4 Γραφική απεικόνιση των δειγμάτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα φιλέτα cod, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρυσπροστατευτική ουσία

Από τη Εικόνα 7.4 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1) Τα δείγματα 10, 12, 16, 19, 21, 23 και 26 παρουσιάζουν υψηλές τιμές ελαστικότητας και απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα, ωστόσο παρουσιάζουν χαμηλές τιμές περιεχόμενης υγρασίας. Δηλαδή, τα δείγματα στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη ζάχαρης, στην 1^η δειγματοληψία με προσθήκη ινουλίνης, στην 1^η, στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη λακτιτόλης και στη 2^η δειγματοληψία με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης
- 2) Τα δείγματα 20, 25 και 27 παρουσιάζουν υψηλές τιμές σκληρότητας, συνεκτικότητας και χρώματος. Δηλαδή, τα δείγματα στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης και στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη χιτοζάνης,

7.6.3 Αποθήκευση φιλέτων Rollock σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης

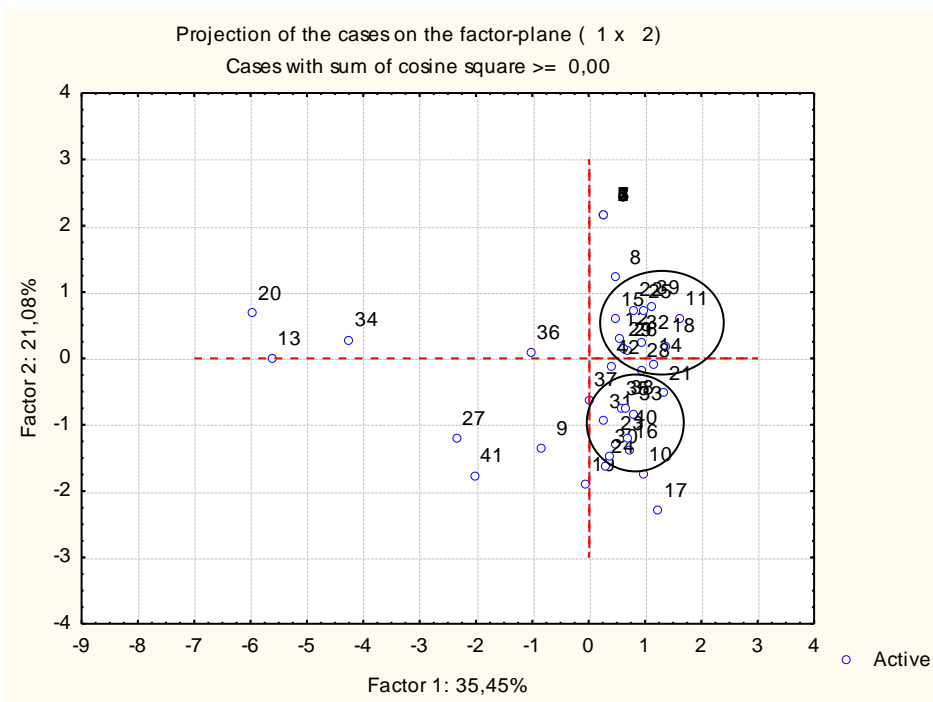
Στην Εικόνα 7.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων από φιλέτα rollock σε κατάψυξη, υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης. Στην περίπτωση αυτή, οι συνιστώσες είναι δύο, με διακύμανση 35,45 % και 21,08 % και συνολική διακύμανση 56,53 %.



Εικόνα 7.5 Γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα φιλέτα rollock, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρουπροστατευτική ουσία

Από τη Εικόνα 7.5 παρατηρείται ότι το χρώμα συνεισφέρει θετικά στη δεύτερη κύρια συνιστώσα. Επίσης, η μασητικότητα συνεισφέρει αρνητικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα.

Στην Εικόνα 7.6 παρατίθεται το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων σε σχέση με τις κύριες συνιστώσες.



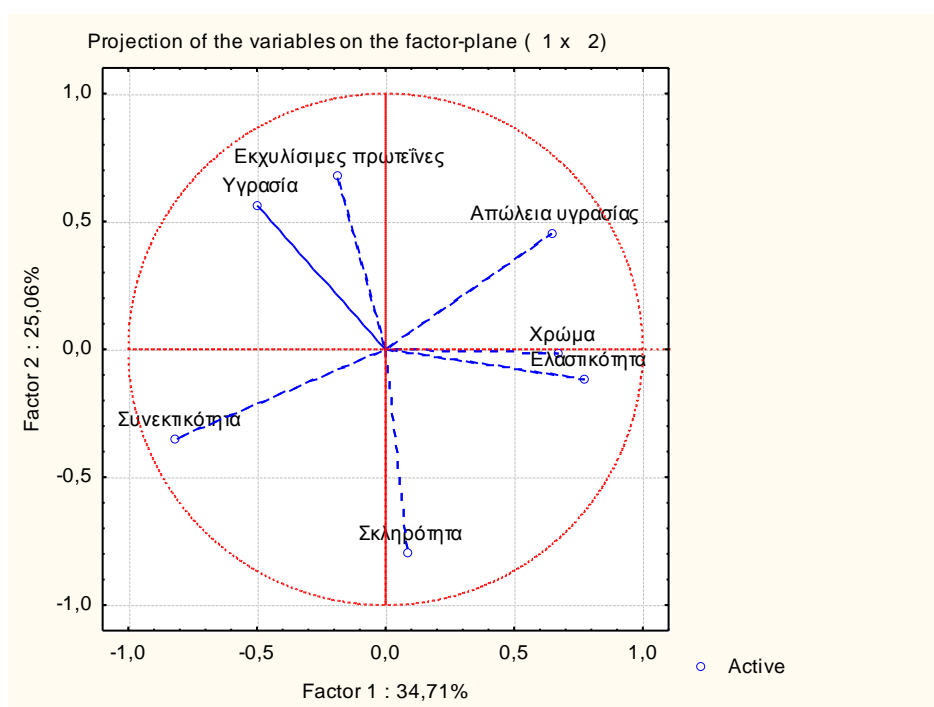
Εικόνα 7.6 Γραφική απεικόνιση των δειγμάτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα φιλέτα rollock, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία

Από τη Εικόνα 7.6 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1) Τα δείγματα 11, 14, 15, 18, 22, 25, 28, 29, 32, 42 παρουσιάζουν χαμηλές τιμές μασητικότητας. Δηλαδή τα δείγματα στη 2^η, στην 3^η και στην 4^η δειγματοληψία χωρίς προσθήκη κρυοπροστατευτικού, στην 1^η, στη 2^η, στην 3^η και στην 4^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης, στην 1^η, στην 3^η και στην 5^η δειγματοληψία με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης,
- 2) Τα δείγματα 10, 15, 16, 31, 33 παρουσιάζουν υψηλές τιμές χρώματος. Δηλαδή, τα δείγματα στη 2^η δειγματοληψία χωρίς προσθήκη κρυοπροστατευτικού, στη 2^η δειγματοληψία με προσθήκη ζάχαρης, στην 1^η και στην 4^η δειγματοληψία με προσθήκη ινουλίνης και στην 4^η δειγματοληψία με προσθήκη λακτιτόλης.

7.6.4 Αποθήκευση φιλέτων Pollock σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης)

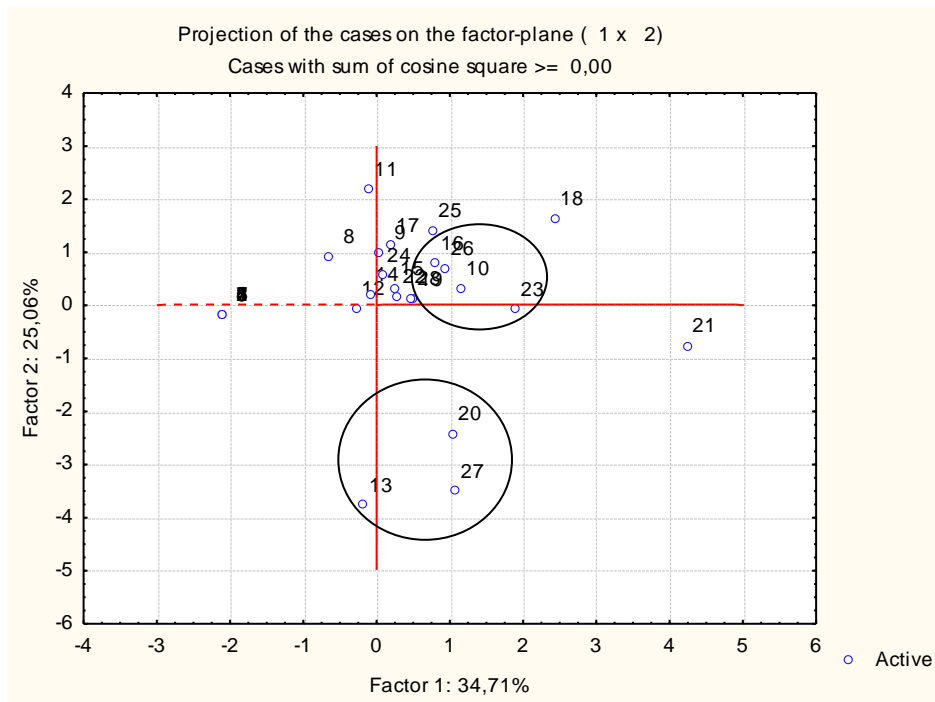
Στην Εικόνα 7.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων από φιλέτα pollock σε κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι ψύξης-απόψυξης). Στην περίπτωση αυτή, οι συνιστώσες είναι δύο, με διακύμανση 34,71 % και 25,08 % και συνολική διακύμανση 59,79 %.



Εικόνα 7.7 Γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα φιλέτα pollock, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρουοπροστατευτική ουσία

Από τη Εικόνα 7.7 παρατηρείται ότι το χρώμα και η ελαστικότητα συνεισφέρουν θετικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Επίσης, η σκληρότητα συνεισφέρει αρνητικά στη δεύτερη κύρια συνιστώσα.

Στην Εικόνα 7.8 παρατίθεται το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων σε σχέση με τις κύριες συνιστώσες.



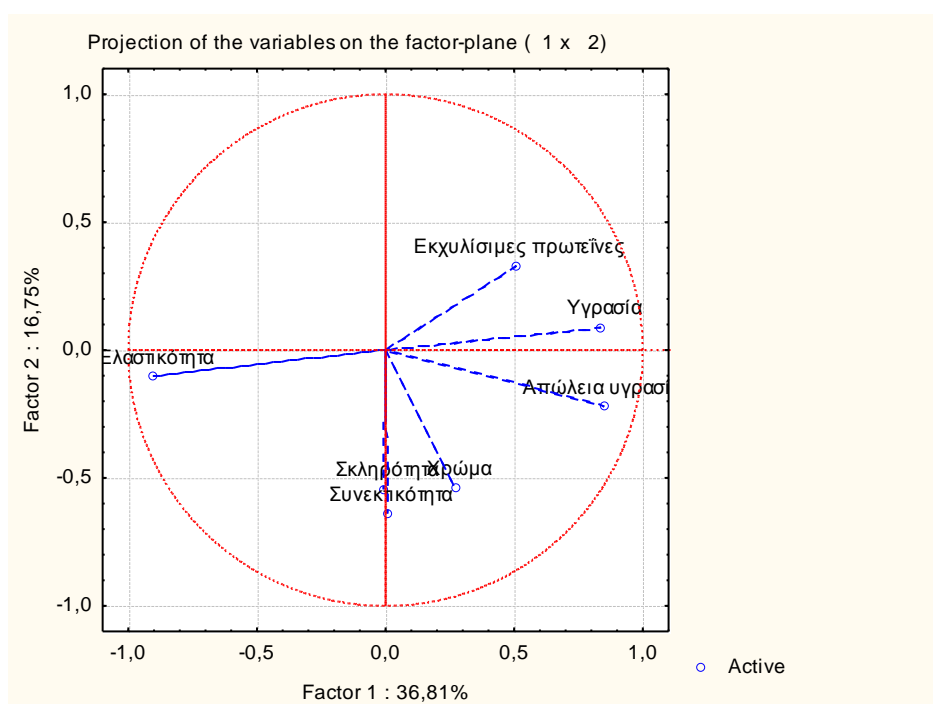
Εικόνα 7.8 Γραφική απεικόνιση των δειγμάτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα φιλέτα rollock, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος και τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία

Από τη Εικόνα 7.8 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1) Τα δείγματα 10, 16, 19, 21, 23 και 26 παρουσιάζουν υψηλές τιμές ελαστικότητας και απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα. Δηλαδή, τα δείγματα στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη ζάχαρης, στην 1^η δειγματοληψία με προσθήκη ινουλίνης, στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη λακτιτόλης και στη 2^η δειγματοληψία με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης,
- 2) Τα δείγματα 3, 20 και 27 παρουσιάζουν υψηλές τιμές σκληρότητας. Δηλαδή, τα δείγματα στο χρόνο 0 με προσθήκη ινουλίνης και στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη χιτοζάνης

7.6.5 Σύγκριση των δύο ειδών ψαριού κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης

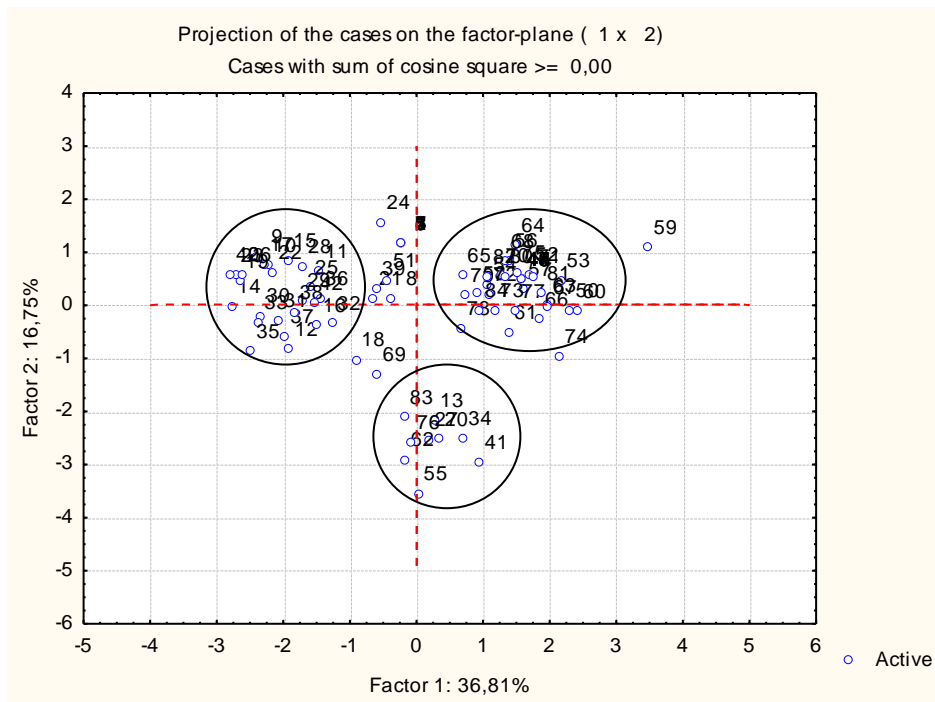
Στην Εικόνα 7.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, όσον αφορά την αποθήκευση όλων των δειγμάτων σε κατάψυξη, υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης. Στην περίπτωση αυτή, οι συνιστώσες είναι δύο, με διακύμανση 36,81 % και 16,75 % και συνολική διακύμανση 53,56 %.



Εικόνα 7.9 Γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για όλα τα δείγματα, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος, τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία και το είδος του ψαριού από το οποίο παρήχθησαν τα δείγματα

Από τη Εικόνα 7.9 παρατηρείται ότι η περιεχόμενη υγρασία και η απώλεια υγρασίας συσχετίζονται μεταξύ τους και συνεισφέρουν θετικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Αντίθετα, η ελαστικότητα συνεισφέρει αρνητικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Επίσης, η σκληρότητα, η συνεκτικότητα και το χρώμα συσχετίζονται μεταξύ τους και συνεισφέρουν αρνητικά στη δεύτερη κύρια συνιστώσα.

Στην Εικόνα 7.10 παρατίθεται το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων σε σχέση με τις κύριες συνιστώσες.



Εικόνα 7.10 Γραφική απεικόνιση των δειγμάτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για όλα τα δείγματα, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος, τη χρησιμοποιούμενη κρυσπροστατευτική ουσία και το είδος του ψαριού από το οποίο παρήχθησαν τα δείγματα

Από τη Εικόνα 7.10 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

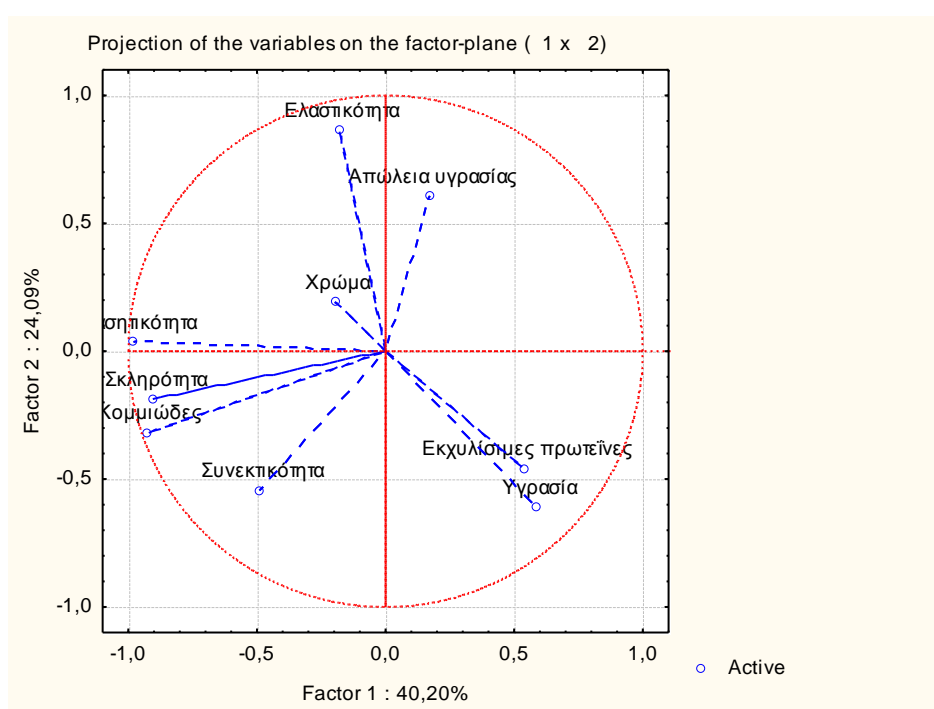
- 1) Τα δείγματα 50, 52, 53, 57, 60, 64, 65, 66, 72, 75, 77, 81, 82 παρουσιάζουν υψηλές τιμές απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα και περιεχόμενης υγρασίας. Δηλαδή τα δείγματα από φιλέτα rollock στην 1^η, 2^η και 3^η δειγματοληψία χωρίς προσθήκη κρυσπροστατευτικού, στη 2^η και 3^η δειγματοληψία με προσθήκη ινουλίνης, στην 1^η, 2^η και 5^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης, στην 3^η, 4^η δειγματοληψία με προσθήκη ζάχαρης, στην 4^η και 5^η δειγματοληψία με προσθήκη λακτιτόλης, στην 4^η δειγματοληψία με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης
- 2) Τα δείγματα 9, 11, 12, 15, 25, 28, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 38, 42 παρουσιάζουν υψηλές τιμές ελαστικότητας. Δηλαδή, τα δείγματα από φιλέτα cod στη 2^η και στην 5^η δειγματοληψία χωρίς προσθήκη κρυσπροστατευτικού, στην 1^η, στην 4^η και στην 5^η δειγματοληψία με προσθήκη ζάχαρης, στην 4^η και στην 5^η δειγματοληψία με προσθήκη ινουλίνης, στην 1^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης, στην 1^η και στην 4^η δειγματοληψία με προσθήκη

λακτιτόλης και στην 3^η, στην 4^η και στην 5^η δειγματοληψία με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης.

- 3) Τα δείγματα 3, 6, 7, 8, 13, 34, 51, 52, 55 παρουσιάζουν υψηλές τιμές σκληρότητας και συνεκτικότητας. Δηλαδή τα δείγματα από φιλέτα cod στο χρόνο 0 με προσθήκη ινουλίνης, στο χρόνο 0, στην 1^η και στην 4^η δειγματοληψία με προσθήκη χιτοζάνης και στο χρόνο 0 με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης, καθώς και τα δείγματα από φιλέτα Pollock στην 1^η δειγματοληψία με προσθήκη ινουλίνης και στην 1^η δειγματοληψία με προσθήκη χιτοζάνης.

7.6.6 Σύγκριση των δύο ειδών ψαριού κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης)

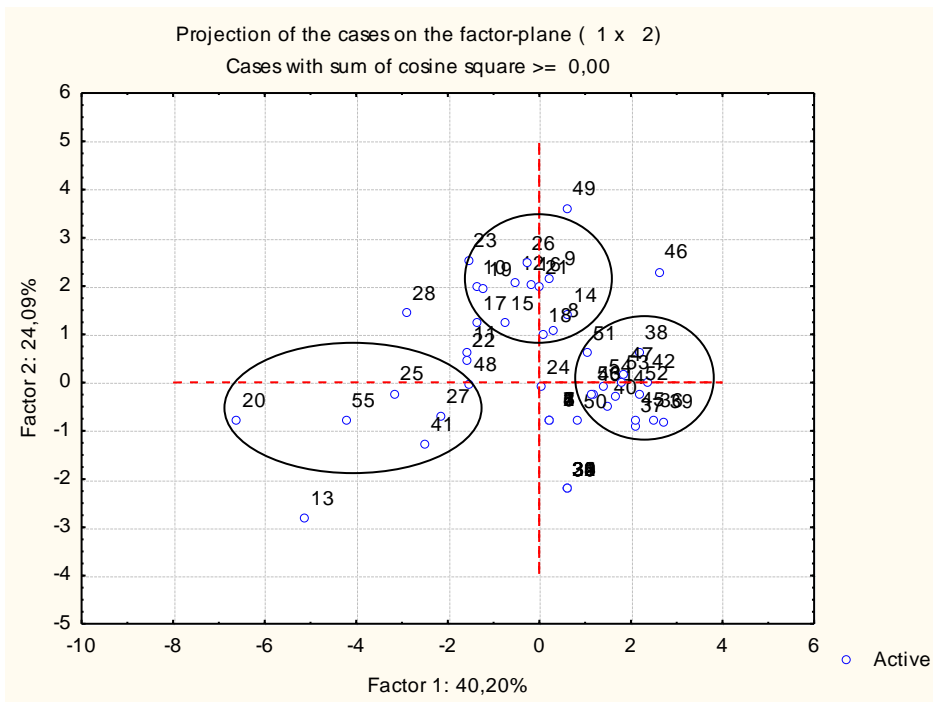
Στην Εικόνα 7.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, όσον αφορά την αποθήκευση όλων των δειγμάτων σε κατάψυξη, υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης. Στην περίπτωση αυτή, οι συνιστώσες είναι δύο, με διακύμανση 40,20 % και 24,09 % και συνολική διακύμανση 64,29 %.



Εικόνα 7.11 Γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για όλα τα δείγματα, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος, τη χρησιμοποιούμενη κρουπροστατευτική ουσία και το είδος του ψαριού από το οποίο παρήχθησαν τα δείγματα

Από τη Εικόνα 7.11 παρατηρείται ότι η μασητικότητα, η σκληρότητα και το κομμιώδες συσχετίζονται μεταξύ τους και συνεισφέρουν αρνητικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Επίσης, η ελαστικότητα και η απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα συσχετίζονται μεταξύ τους και συνεισφέρουν θετικά στη δεύτερη κύρια συνιστώσα.

Στην Εικόνα 7.10 παρατίθεται το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων σε σχέση με τις κύριες συνιστώσες.



Εικόνα 7.12 Γραφική απεικόνιση των ιδιοτήτων με την ανάλυση κύριων συνιστωσών για όλα τα δείγματα, κατά την αποθήκευσή τους σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης, με βάση το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος, τη χρησιμοποιούμενη κρυοπροστατευτική ουσία και το είδος του ψαριού από το οποίο παρήχθησαν τα δείγματα

Από τη Εικόνα 7.12 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1) Τα δείγματα 37, 38, 42, 47, 50, 52, 53, 54 εμφανίζουν χαμηλές τιμές σκληρότητας, μασητικότητας και κομμαιώδους. Δηλαδή τα δείγματα από φιλέτα Pollock στην 3^η δειγματοληψία χωρίς προσθήκη κρυοπροστατευτικού, στην 1^η δειγματοληψία με προσθήκη ζάχαρης, στην 1^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη ιουλίνης, στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης, στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη λακτιτόλης και στην 1^η δειγματοληψία με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης.
- 2) Τα δείγματα 8, 10, 14, 15, 17, 18, 19, 23, 26 παρουσιάζουν υψηλές τιμές ελαστικότητας. Δηλαδή τα δείγματα από φιλέτα cod στην 1^η και στη 2^η δειγματοληψία χωρίς προσθήκη κρυοπροστατευτικού, στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη ζάχαρης, στην 1^η και στη 2^η δειγματοληψία με προσθήκη ιουλίνης, στη 2^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης, στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη λακτιτόλης, στην 1^η δειγματοληψία με προσθήκη μαλτοδεξτρίνης.

- 3) Τα δείγματα 20, 25, 27, 41, 55 παρουσιάζουν υψηλές τιμές σκληρότητας, μασητικότητας και κομμιώδους. Δηλαδή τα δείγματα από φιλέτα cod στη 2^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη χιτοζάνης και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη τρεχαλόζης, καθώς και τα δείγματα από φιλέτα pollock στην 1^η και στην 3^η δειγματοληψία με προσθήκη χιτοζάνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Αρχικά, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων από φιλέτα cod σε κατάψυξη, υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης, προέκυψε ότι, η προσθήκη χιτοζάνης στα δείγματα επέτυχε να διατηρήσει την περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων κατά την αποθήκευσή τους, να βελτιώσει το χρώμα τους και να ενισχύσει τις παραμέτρους υφής (σκληρότητα, συνεκτικότητα, κομμιώδες, μασητικότητα), εκτός από την ελαστικότητα. Ωστόσο, η προσθήκη χιτοζάνης δεν επέδειξε ικανοποιητικά αποτελέσματα στη διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων και στη διατήρηση του βαθμού εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών τους. Οι δύο αυτές ιδιότητες αποτελούν τα σημαντικότερα κριτήρια στην αξιολόγηση της κρυοπροστατευτικής δράσης μίας ουσίας, καθώς η απώλεια υγρασίας κατά το σχηματισμό πήγματος και ο χαμηλός βαθμός εκχυλισιμότητας είναι χαρακτηριστικά των πρωτεϊνών που έχουν υποστεί μετουσίωση, και, συνεπώς, απώλεια των λειτουργικών τους ιδιοτήτων. Καλύτερη συμβολή στις ιδιότητες αυτές φαίνεται να έχει η προσθήκη ζάχαρης, που αποτελεί την πιο παραδοσιακή κρυοπροστατευτική ουσία, και, σε μικρότερο βαθμό, η προσθήκη ινουλίνης.

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και κατά την αποθήκευση των δειγμάτων από φιλέτα cod σε κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης). Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή προέκυψε ότι, η προσθήκη χιτοζάνης, εκτός από τη διατήρηση της υφής και του χρώματος, επέτυχε να διατηρήσει και το βαθμό εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών των δειγμάτων, όπως και η προσθήκη μαλτοδεξτρίνης. Στη μείωση της απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα συνέβαλε καλύτερα η προσθήκη ζάχαρης, λακτιτόλης και ινουλίνης.

Στη συνέχεια, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων από φιλέτα pollock σε κατάψυξη, υπό συνθήκες κανονικής αλλοίωσης, προέκυψε ότι, η προσθήκη χιτοζάνης, παρόλο που λειτουργεί ως ενισχυτικό υφής και χρώματος, δεν επιδεικνύει ικανοποιητικά αποτελέσματα στη διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας, τόσο κατά την αποθήκευση, όσο και κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων, καθώς και στη διατήρηση του βαθμού εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών. Ικανοποιητική επίδραση στη διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας, κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη και κατά

το μαγείρεμα των δειγμάτων, επιδεικνύει η προσθήκη χιτοζάνης και λακτιτόλης, ενώ στη διατήρηση του βαθμού εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών η προσθήκη ινουλίνης.

Συγκριτικά, όσον αφορά την αποθήκευση των δειγμάτων από φιλέτα pollock σε κατάψυξη, υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης (κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης), προκύπτει ότι και σε αυτήν την περίπτωση η προσθήκη χιτοζάνης λειτουργεί ως ενισχυτικό χρώματος και υφής. Παράλληλα επιδεικνύει ικανοποιητική επίδραση στη διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας κατά το μαγείρεμα των δειγμάτων, όπως και η προσθήκη λακτιτόλης. Όσον αφορά το βαθμό εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών, καλύτερη επίδραση στις ιδιότητες αυτές παρουσιάζει η προσθήκη τρεχαλόζης, ζάχαρης και ινουλίνης στα δείγματα.

Γενικά, όσον αφορά τη σύγκριση των δύο ειδών ψαριών, προκύπτει ότι, τα δύο είδη παρουσιάζουν διαφορές στη μεταβολή των ιδιοτήτων τους. Συγκεκριμένα, τα δείγματα που παρήχθησαν από τα φιλέτα Pollock φαίνεται ότι περιέχουν περισσότερη υγρασία από τα αντίστοιχα των φιλέτων cod, ενώ ο βαθμός απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμά τους είναι, επίσης, υψηλότερος. Ακόμα, τα δείγματα που παρήχθησαν από τα φιλέτα Pollock εμφανίζουν υψηλότερο βαθμό εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών τους, καθώς και εντονότερο χρώμα (υψηλότερη τιμή ΔΕ). Από την άλλη πλευρά, τα δείγματα που παρήχθησαν από τα φιλέτα cod παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές, όσον αφορά τις παραμέτρους υφής, εκτός της συνεκτικότητας, η οποία φαίνεται να μην παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων των δύο ειδών ψαριών.

Τέλος, από την εξέταση των τεσσάρων δειγμάτων του Πειράματος 3, οι ιδιότητες των οποίων εξετάστηκαν κατόπιν της αποθήκευσής τους σε κατάψυξη υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης, προέκυψε ότι η ενσωμάτωση του ένυδρου πρωτεϊνικού συμπυκνώματος αύξησε σημαντικά το βαθμό εκχυλισιμότητας των πρωτεϊνών του αντίστοιχου δείγματος. Ωστόσο, παρουσιάστηκε υψηλή τιμή απώλειας υγρασίας κατά το μαγείρεμα του δείγματος, γεγονός ανεπιθύμητο κατά τη μελέτη της αποτελεσματικότητας του κρυοπροστατευτικού. Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το γεγονός ότι προστέθηκε επιπλέον υγρασία στο δείγμα, καθώς το κρυοπροστατευτικό ήταν σε ένυδρη μορφή. Επομένως, η εκ νέου ενσωμάτωση πρωτεϊνικού συμπυκνώματος ψαριού σε δείγματα από φιλέτο ψαριού επέδειξε

σημαντικότερη κρυοπροστατευτική δράση σε σύγκριση με τα κοινά, υδατανθρακικής προέλευσης, κρυοπροστατευτικά του εμπορίου.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα και παρατηρήσεις, γίνονται οι εξής προτάσεις, σχετικά με τη μελέτη της κρυοπροστασίας στα ψάρια και στα τρόφιμα γενικότερα. Αρχικά, θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν αρκετά διαφορετικά είδη ψαριών, στα οποία ενσωματώνονται ποικίλες διαφορετικές κρυοπροστατευτικές ουσίες, όπως αυτές που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, σε ίσες ή διαφορετικές μεταξύ τους ποσότητες, ενώ, ιδιαίτερα σημαντική θα είναι και η δοκιμή ενσωμάτωσης μιγμάτων των ουσιών αυτών, σε διάφορες αναλογίες, στα δείγματα ψαριών. Παράλληλα, είναι σημαντικό, σε μελλοντικά πειράματα, να παρασκευαστεί μεγαλύτερος αριθμός δειγμάτων, ώστε να αποτυπώνεται σαφέστερα η εξέλιξη της κρυοπροστατευτικής δράσης της εξεταζόμενης ουσίας. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της αποθήκευσης των δειγμάτων σε κατάψυξη υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης, προτείνεται να αυξηθούν οι κύκλοι απόψυξης-επανακατάψυξης των δειγμάτων.

Επιπλέον, όσον αφορά γενικά τη μελέτη ζωικών τροφίμων, όπως τα ψάρια, θα συνέβαλε ιδιαίτερα μια περαιτέρω ανάλυση των πρωτεϊνών τους (π.χ με ηλεκτροφόρηση), διότι παρατηρήθηκε ότι κάθε είδος παρουσιάζει διαφορετική περιεκτικότητα τόσο στο περιεχόμενο, όσο και στην ποιότητα των πρωτεϊνών του. Με αυτόν τον τρόπο, θα εξασφαλιστούν καλύτερα αποτελέσματα από τις μετρήσεις και η ανάλυση θα αποβεί σημαντικά σαφέστερη. Ακόμη, θα μπορούσε να διεξαχθεί μελέτη όσον αφορά τις καμπύλες κατάψυξης των διαφόρων ειδών, ώστε με τη σύγκρισή τους να προσδιοριστούν αποτελεσματικότερα οι διαφορές στο ρυθμό κατάψυξης τους.

Τέλος, σχετικά με την ανάγκη για χρήση νέων κρυοπροστατευτικών ουσιών, από τη συμπληρωματική έρευνα που διεξήχθη, αποδείχθηκε ότι το συμπύκνωμα πρωτεϊνών ψαριού επέδειξε ικανοποιητική κρυοπροστατευτική δράση. Συνεπώς, προτείνεται η διεξαγωγή περισσότερων πειραμάτων, όπου να μελετώνται οι κρυοπροστατευτικές ιδιότητες των πρωτεϊνών από διάφορα είδη ψαριών σε σύγκριση με τις υδατανθρακικής προέλευσης κρυοπροστατευτικές ουσίες του εμπορίου, ακόμα και ο συνδυασμός αυτών σε μίγματα, κατά την αποθήκευση σε κατάψυξη, τόσο υπό κανονικές συνθήκες αλλοίωσης, όσο και υπό συνθήκες επιταχυνόμενης αλλοίωσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αποτελέσματα μετρήσεων

1) Φιλέτα cod, Πείραμα 1

Περιεχόμενη Υγρασία

Χρόνος (μέρες)/ Κρουοπροστατευτικά	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	81,64%	80,17%	79,88%	79,82%	78,43%	79,91%
Ζάχαρη (Κ1)	81,64%	73,19%	72,72%	74,12%	73,87%	70,91%
Ινουλίνη (Κ2)	81,64%	75,95%	72,75%	77,31%	70,30%	73,50%
Τρεχαλόζη (Κ3)	81,64%	80,60%	80,16%	80,86%	79,49%	80,10%
Λακτιτόλη (Κ4)	81,64%	76,03%	69,98%	71,52%	70,21%	73,96%
Χιτοζάνη (Κ5)	81,64%	84,04%	82,90%	81,78%	82,44%	81,17%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	81,64%	88,58%	93,48%	74,74%	72,01%	72,72%

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρουοπροστατευτικά	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	26,95%	50,02%	21,71%	15,12%	26,65%	28,00%
Ζάχαρη (Κ1)	26,95%	8,67%	28,45%	13,34%	23,05%	28,40%
Ινουλίνη (Κ2)	26,95%	21,85%	27,59%	26,11%	34,10%	32,91%
Τρεχαλόζη (Κ3)	26,95%	32,61%	32,34%	24,92%	37,80%	39,19%
Λακτιτόλη (Κ4)	26,95%	16,11%	28,49%	27,52%	33,60%	26,27%
Χιτοζάνη (Κ5)	26,95%	49,05%	55,31%	52,44%	63,72%	64,87%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	26,95%	11,89%	17,00%	27,50%	46,25%	38,23%

Μέτρηση πρωτεϊνών

Χρόνος (ημέρες)/ Κρουοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	17,18%	14,48%	14,85%	14,93%	14,99%	14,62%
Ζάχαρη (Κ1)	17,18%	13,75%	12,18%	12,41%	12,42%	12,53%
Ινουλίνη (Κ2)	17,18%	13,25%	11,91%	13,11%	11,08%	13,03%
Τρεχαλόζη (Κ3)	17,18%	14,23%	13,28%	14,51%	14,20%	13,94%
Λακτιτόλη (Κ4)	17,18%	12,61%	11,22%	11,34%	10,21%	12,99%
Χιτοζάνη (Κ5)	17,18%	16,17%	16,46%	15,56%	16,20%	15,21%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	17,18%	9,50%	11,55%	11,70%	9,48%	11,17%

Εκχλίσιμες πρωτεΐνες

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	13,76%	1,55%	2,66%	1,39%	3,26%	1,88%
Ζάχαρη (Κ1)	13,76%	18,27%	22,73%	7,74%	7,38%	10,70%
Ινουλίνη (Κ2)	13,76%	4,07%	8,43%	6,64%	5,76%	6,81%
Τρεχαλόζη (Κ3)	13,76%	0,81%	1,37%	1,01%	1,73%	0,91%
Λακτιτόλη (Κ4)	13,76%	3,52%	2,91%	6,82%	1,40%	2,78%
Χιτοζάνη (Κ5)	13,76%	2,42%	3,30%	2,95%	4,07%	4,83%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	13,76%	3,09%	6,49%	5,83%	3,86%	7,57%

Θολότητα υπερκείμενου υγρού

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	7,38	7,63	8,51	6,74	8,16	6,86
Ζάχαρη (Κ1)	7,38	8,31	9,38	8,12	6,7	6,52
Ινουλίνη (Κ2)	7,38	6,72	8,92	11,2	9,37	9,93
Τρεχαλόζη (Κ3)	7,38	6,85	3,83	5,19	5,57	11,6
Λακτιτόλη (Κ4)	7,38	6,56	4,9	12,1	8,71	14,5
Χιτοζάνη (Κ5)	7,38	6,72	7,97	10,3	9,6	8,76
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	7,38	5,32	5,94	8,84	8,7	11,6

Όγκος υπερκείμενου υγρού (mL)

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	81	80	78	78	75	77
Ζάχαρη (Κ1)	81	78	78	77	71	80
Ινουλίνη (Κ2)	81	78	76	77	74	80
Τρεχαλόζη (Κ3)	81	80	78	78	78	80
Λακτιτόλη (Κ4)	81	77	81	77	76	76
Χιτοζάνη (Κ5)	81	88	86	86	87	85
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	81	80	81	80	77	80

Χρώμα (ΔΕ)

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικά	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	0,00	1,97	0,89	1,89	4,17	1,62
Ζάχαρη	0,00	1,06	6,14	1,65	3,92	7,05
Ινουλίνη	0,00	1,28	0,92	1,75	3,39	1,88
Τρεχαλόζη	0,00	1,83	6,91	2,07	3,33	4,91
Λακτιτόλη	0,00	8,76	0,89	2,56	2,51	0,70
Χιτοζάνη	0,00	5,03	4,63	4,05	4,62	9,00
Μαλτοδεξτρίνη	0,00	5,81	3,45	2,49	1,74	2,65

Σκληρότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	3,6277	3,6677	3,2173	2,8880	3,0193	4,1640
Ζάχαρη	3,6277	3,7053	3,2023	3,6410	3,0153	3,3687
Ινουλίνη	3,6277	2,5550	2,8353	2,7630	3,8163	3,6790
Τρεχαλόζη	3,6277	2,7493	4,1123	3,1443	2,1760	4,7707
Λακτιτόλη	3,6277	2,2613	2,5787	1,8247	3,1490	2,4310
Χιτοζάνη	3,6277	4,0443	4,8303	5,6143	3,6357	4,4667
Μαλτοδεξτρίνη	3,6277	2,6390	3,6810	2,4727	3,5745	3,6877

Συνεκτικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	1,1130	1,1064	1,0999	1,1510	1,1345	1,1118
Ζάχαρη	1,1130	1,1233	1,2102	1,1094	1,2150	1,1353
Ινουλίνη	1,1130	1,1661	1,1434	1,2081	1,1331	1,1989
Τρεχαλόζη	1,1130	1,1197	1,1406	1,1591	1,3168	0,8533
Λακτιτόλη	1,1130	1,2455	1,2022	1,2031	1,2252	1,1996
Χιτοζάνη	1,1130	1,4567	1,4485	1,3995	1,5563	1,3842
Μαλτοδεξτρίνη	1,1130	1,1449	1,1703	1,1321	1,2895	1,1225

Κομμιώδες

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	4,0375	4,0577	3,5388	3,3242	3,4255	4,6294
Ζάχαρη	4,0375	4,1624	3,8756	4,0393	3,6637	3,8243
Ινουλίνη	4,0375	2,9793	3,2421	3,3381	4,3243	4,4109
Τρεχαλόζη	4,0375	3,0786	4,6905	3,6445	2,8653	4,0709
Λακτιτόλη	4,0375	2,8165	3,1001	2,1953	3,8581	2,9161
Χιτοζάνη	4,0375	5,8913	6,9969	7,8572	5,6581	6,1826
Μαλτοδεξτρίνη	4,0375	3,0213	4,3078	2,7993	3,7743	4,1393

Ελαστικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	0,3066	0,3615	0,4170	0,4208	0,4220	0,3934
Ζάχαρη	0,3066	0,4053	0,4165	0,4369	0,4411	0,4270
Ινουλίνη	0,3066	0,4213	0,4256	0,4031	0,4146	0,4069
Τρεχαλόζη	0,3066	0,4122	0,3881	0,4069	0,4135	0,3651
Λακτιτόλη	0,3066	0,4191	0,4293	0,4534	0,4257	0,4652
Χιτοζάνη	0,3066	0,3496	0,3520	0,3437	0,3425	0,3408
Μαλτοδεξτρίνη	0,3066	0,4102	0,4109	0,3909	0,4123	0,3950

Μασητικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	1,2378	1,4670	1,4755	1,3987	1,4456	1,8210
Ζάχαρη	1,2378	1,6868	1,6142	1,7649	1,6160	1,6330
Ινουλίνη	1,2378	1,2552	1,3800	1,3456	1,7928	1,7947
Τρεχαλόζη	1,2378	1,2690	1,8206	1,4829	1,1848	1,4863
Λακτιτόλη	1,2378	1,1804	1,3309	0,9954	1,6425	1,3566
Χιτοζάνη	1,2378	2,0594	2,4626	2,7002	1,9377	2,1069
Μαλτοδεξτρίνη	1,2378	1,2394	1,7702	1,0942	1,6592	1,6348

2) Φιλέτα cod, Πείραμα 2

Υγρασία

Χρόνος (μέρες)/ Κρυοπροστατευτικά	0	21	42	63
Τυφλά	81,64%	78,77%	79,06%	80,00%
Ζάχαρη (Κ1)	81,64%	74,42%	71,88%	69,83%
Ινουλίνη (Κ2)	81,64%	67,38%	75,43%	75,61%
Τρεχαλόζη (Κ3)	81,64%	80,31%	81,99%	80,73%
Λακτιτόλη (Κ4)	81,64%	69,00%	71,79%	71,31%
Χιτοζάνη (Κ5)	81,64%	81,98%	81,88%	82,06%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	81,64%	73,40%	73,63%	70,65%

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	26,95%	16,38%	15,65%	30,25%
Ζάχαρη (Κ1)	26,95%	13,77%	12,37%	17,87%
Ινουλίνη (Κ2)	26,95%	23,33%	16,39%	33,15%
Τρεχαλόζη (Κ3)	26,95%	33,32%	27,65%	37,46%
Λακτιτόλη (Κ4)	26,95%	12,73%	21,57%	13,14%
Χιτοζάνη (Κ5)	26,95%	55,29%	72,69%	58,81%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	26,95%	26,95%	19,95%	36,90%

Μέτρηση πρωτεϊνών

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	17,18%	14,63%	15,26%	14,87%
Ζάχαρη (Κ1)	17,18%	12,80%	11,78%	11,65%
Ινουλίνη (Κ2)	17,18%	9,38%	12,88%	12,94%
Τρεχαλόζη (Κ3)	17,18%	15,05%	15,40%	14,83%
Λακτιτόλη (Κ4)	17,18%	11,57%	11,09%	11,67%
Χιτοζάνη (Κ5)	17,18%	9,78%	14,17%	14,67%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	17,18%	5,87%	12,44%	10,74%

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	13,76%	3,80%	3,82%	2,62%
Ζάχαρη (Κ1)	13,76%	3,33%	2,58%	1,71%
Ινουλίνη (Κ2)	13,76%	3,11%	1,28%	2,36%
Τρεχαλόζη (Κ3)	13,76%	4,17%	1,59%	1,13%
Λακτιτόλη (Κ4)	13,76%	3,27%	1,96%	1,60%
Χιτοζάνη (Κ5)	13,76%	6,49%	6,40%	3,31%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	13,76%	7,92%	5,54%	4,00%

Θολότητα υπερκείμενου υγρού

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	7,38	4,52	6,51	4,45
Ζάχαρη (Κ1)	7,38	7,89	6,6	3,55
Ινουλίνη (Κ2)	7,38	6,41	9,9	8,61
Τρεχαλόζη (Κ3)	7,38	5,22	6,46	7,14
Λακτιτόλη (Κ4)	7,38	4,48	7,63	15,3
Χιτοζάνη (Κ5)	7,38	8,35	8,3	18,6
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	7,38	6,66	9,21	22,6

Όγκος υπερκείμενου υγρού (mL)

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	81	78	79	81
Ζάχαρη (Κ1)	81	78	78	79
Ινουλίνη (Κ2)	81	76	77	79
Τρεχαλόζη (Κ3)	81	81	82	79
Λακτιτόλη (Κ4)	81	75	76	79
Χιτοζάνη (Κ5)	81	87	86	87
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	81	77	80	78

Χρώμα (ΔΕ)

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικά	0	21	42	63
Τυφλά	0,00	0,92	3,48	6,88
Ζάχαρη	0,00	3,01	1,28	1,32
Ινουλίνη	0,00	2,82	6,24	4,09
Τρεχαλόζη	0,00	0,48	2,61	10,95
Λακτιτόλη	0,00	0,88	2,91	2,92
Χιτοζάνη	0,00	4,75	4,28	4,81
Μαλτοδεξτρίνη	0,00	2,55	2,47	11,31

Σκληρότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	3,6277	2,6390	3,4403	4,1167
Ζάχαρη	3,6277	2,3447	2,5473	3,8430
Ινουλίνη	3,6277	3,5517	3,5467	3,5153
Τρεχαλόζη	3,6277	4,3947	2,7913	5,0317
Λακτιτόλη	3,6277	2,6397	3,3580	2,5550
Χιτοζάνη	3,6277	5,9670	7,1493	3,9160
Μαλτοδεξτρίνη	3,6277	2,4203	2,8083	4,9627

Συνεκτικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	1,1130	1,1383	1,1600	1,1484
Ζάχαρη	1,1130	1,1455	1,1986	1,1040
Ινουλίνη	1,1130	1,1547	1,1746	1,1564
Τρεχαλόζη	1,1130	1,1484	1,2340	1,3347
Λακτιτόλη	1,1130	1,1798	1,1716	1,2424
Χιτοζάνη	1,1130	1,4003	1,3174	1,4210
Μαλτοδεξτρίνη	1,1130	1,1079	1,1706	1,1407

Κομμιώδες

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	4,0375	3,0041	3,9906	4,7274
Ζάχαρη	4,0375	2,6859	3,0533	4,2427
Ινουλίνη	4,0375	4,1011	4,1658	4,0651
Τρεχαλόζη	4,0375	5,0468	3,4446	6,7157
Λακτιτόλη	4,0375	3,1142	3,9344	3,1742
Χιτοζάνη	4,0375	8,3553	9,4189	5,5645
Μαλτοδεξτρίνη	4,0375	2,6814	3,2874	5,6611

Ελαστικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	0,3066	0,4303	0,4136	0,3830
Ζάχαρη	0,3066	0,4614	0,4465	0,4526
Ινουλίνη	0,3066	0,4091	0,4122	0,4058
Τρεχαλόζη	0,3066	0,3856	0,3908	0,3056
Λακτιτόλη	0,3066	0,4719	0,4431	0,4355
Χιτοζάνη	0,3066	0,3380	0,3326	0,3446
Μαλτοδεξτρίνη	0,3066	0,4040	0,4043	0,3607

Μασητικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	1,2378	1,2927	1,6506	1,8104
Ζάχαρη	1,2378	1,2393	1,3632	1,9201
Ινουλίνη	1,2378	1,6778	1,7172	1,6495
Τρεχαλόζη	1,2378	1,9459	1,3461	2,0524
Λακτιτόλη	1,2378	1,4696	1,7434	1,3823
Χιτοζάνη	1,2378	2,8239	3,1324	1,9176
Μαλτοδεξτρίνη	1,2378	1,0832	1,3292	2,0421

3) Φιλέτα pollock, Πείραμα 1

Υγρασία

Χρόνος (μέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	89,07%	88,98%	90,08%	89,49%	89,10%	89,64%
Ζάχαρη (Κ1)	89,07%	80,42%	82,11%	81,44%	82,35%	82,31%
Ινουλίνη (Κ2)	89,07%	77,82%	84,17%	83,05%	83,13%	84,21%
Τρεχαλόζη (Κ3)	89,07%	90,02%	91,20%	91,69%	89,58%	90,13%
Λακτιτόλη (Κ4)	89,07%	87,31%	82,86%	87,22%	82,44%	81,92%
Χιτοζάνη (Κ5)	89,07%	79,28%	79,77%	81,06%	80,24%	78,85%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	89,07%	84,26%	86,36%	87,81%	85,98%	84,06%

Απώλεια υγρασίας

Χρόνος (μέρες)/ Κρυοπροστατευτικά	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	52,24%	58,82%	56,36%	54,70%	56,63%	60,15%
Ζάχαρη (Κ1)	52,24%	56,57%	57,90%	58,12%	56,91%	59,98%
Ινουλίνη (Κ2)	52,24%	65,16%	59,23%	61,57%	59,54%	61,39%
Τρεχαλόζη (Κ3)	52,24%	66,04%	63,09%	61,23%	63,51%	66,73%
Λακτιτόλη (Κ4)	52,24%	55,56%	55,63%	54,18%	57,51%	65,21%
Χιτοζάνη (Κ5)	52,24%	43,55%	36,46%	47,53%	47,73%	54,25%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	52,24%	59,48%	72,57%	58,88%	59,13%	64,26%

Μέτρηση πρωτεϊνών

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	15,29%	16,33%	17,33%	16,73%	15,34%	15,59%
Ζάχαρη (Κ1)	15,29%	8,11%	7,94%	8,31%	9,42%	8,23%
Ινουλίνη (Κ2)	15,29%	11,47%	11,54%	11,65%	9,87%	11,80%
Τρεχαλόζη (Κ3)	15,29%	12,71%	16,76%	15,26%	13,27%	13,61%
Λακτιτόλη (Κ4)	15,29%	13,28%	10,19%	13,47%	10,42%	9,30%
Χιτοζάνη (Κ5)	15,29%	15,27%	15,46%	14,55%	14,67%	14,27%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	15,29%	11,03%	12,86%	13,40%	10,82%	10,45%

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	22,26%	24,43%	14,23%	18,42%	23,53%	1,64%
Ζάχαρη (Κ1)	22,26%	5,36%	5,11%	2,58%	12,61%	2,89%
Ινουλίνη (Κ2)	22,26%	41,44%	44,32%	32,70%	17,13%	16,28%
Τρεχαλόζη (Κ3)	22,26%	13,22%	23,79%	11,40%	16,07%	9,15%
Λακτιτόλη (Κ4)	22,26%	0,52%	17,62%	21,44%	27,52%	11,10%
Χιτοζάνη (Κ5)	22,26%	6,69%	9,69%	1,16%	1,13%	4,44%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	22,26%	15,20%	15,00%	7,38%	12,56%	2,88%

Θολότητα υπερκείμενου υγρού (mL)

Χρόνος (ημέρες) / Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	3,5	2,7	2,3	2,15	3,24	4,35
Ζάχαρη (Κ1)	3,5	4,79	5,12	5,33	5,04	5,46
Ινουλίνη (Κ2)	3,5	4,71	5,18	6,86	6,13	5,57
Τρεχαλόζη (Κ3)	3,5	3,9	4,86	3,97	3,85	4,32
Λακτιτόλη (Κ4)	3,5	3,76	4,52	5,4	3,98	6,65
Χιτοζάνη (Κ5)	3,5	12,3	8,77	14,6	8,64	12,3
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	3,5	5,74	5,88	7,11	12,2	13,6

Όγκος υπερκείμενου υγρού

Χρόνος (ημέρες) / Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	88	84	86	87	88	86
Ζάχαρη (Κ1)	88	85	85	85	84	85
Ινουλίνη (Κ2)	88	86	85	84	85	85
Τρεχαλόζη (Κ3)	88	89	88	88	87	88
Λακτιτόλη (Κ4)	88	91	85	86	88	87
Χιτοζάνη (Κ5)	88	88	88	87	87	86
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	88	86	79	85	85	86

Χρώμα (ΔΕ)

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικά	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	0,00	4,31	4,17	2,55	4,76	3,43
Ζάχαρη	0,00	1,57	6,27	5,18	7,00	3,88
Ινουλίνη	0,00	5,28	10,61	8,38	5,44	4,69
Τρεχαλόζη	0,00	3,92	6,17	4,73	6,20	2,98
Λακτιτόλη	0,00	3,76	9,93	3,36	5,17	4,35
Χιτοζάνη	0,00	8,14	6,52	4,70	5,15	6,40
Μαλτοδεξτρίνη	0,00	3,22	4,82	4,23	6,72	2,70

Σκληρότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	3,1080	4,8297	3,2087	2,9083	3,0703	4,1270
Ζάχαρη	3,1080	1,9393	1,6850	2,4850	2,4260	3,4543
Ινουλίνη	3,1080	2,4253	2,8753	3,1410	2,3767	3,1008
Τρεχαλόζη	3,1080	3,5687	2,5770	3,1890	2,3687	3,9503
Λακτιτόλη	3,1080	2,7307	2,7353	2,0380	2,2307	3,1280
Χιτοζάνη	3,1080	7,0513	7,8320	5,9320	5,6913	1,7883
Μαλτοδεξτρίνη	3,1080	2,3290	3,5880	2,2903	2,6773	2,8547

Συνεκτικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυσταλλοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	1,3142	1,0854	1,1187	1,0616	1,0962	1,1120
Ζάχαρη	1,3142	1,2170	1,1386	1,0093	1,0723	1,0393
Ινουλίνη	1,3142	1,1719	1,0855	1,1300	1,2219	1,0345
Τρεχαλόζη	1,3142	1,0337	1,2293	1,1524	1,3904	1,0573
Λακτιτόλη	1,3142	1,0934	1,1053	1,1914	1,1580	1,0035
Χιτοζάνη	1,3142	1,3336	1,2148	1,4739	1,3555	1,5940
Μαλτοδεξτρίνη	1,3142	1,1206	1,0720	1,1049	1,1312	1,2056

Κομμιώδες

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	4,0844	5,2419	3,5894	3,0874	3,3656	4,5891
Ζάχαρη	4,0844	2,3602	1,9185	2,5082	2,6015	3,5900
Ινουλίνη	4,0844	2,8423	3,1211	3,5493	2,9041	3,2077
Τρεχαλόζη	4,0844	3,6888	3,1678	3,6750	3,2934	4,1767
Λακτιτόλη	4,0844	2,9857	3,0233	2,4281	2,5831	3,1391
Χιτοζάνη	4,0844	9,4037	9,5143	8,8475	7,7148	2,8506
Μαλτοδεξτρίνη	4,0844	2,6099	3,8463	2,5306	3,0287	3,4416

Ελαστικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	0,2887	0,2685	0,3133	0,3131	0,3176	0,3757
Ζάχαρη	0,2887	0,3959	0,3143	0,3182	0,3182	0,3187
Ινουλίνη	0,2887	0,3024	0,3156	0,3176	0,3234	0,3170
Τρεχαλόζη	0,2887	0,2840	0,2998	0,3025	0,2974	0,2999
Λακτιτόλη	0,2887	0,3065	0,3185	0,3211	0,3024	0,3205
Χιτοζάνη	0,2887	0,3456	0,3426	0,3988	0,3460	0,3815
Μαλτοδεξτρίνη	0,2887	0,2945	0,3045	0,3209	0,3118	0,3181

Μασητικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	14	28	42	56	70
Τυφλά	1,1792	1,4074	1,1245	0,9666	1,0690	1,7243
Ζάχαρη	1,1792	0,9344	0,6031	0,7980	0,8278	1,1440
Ινουλίνη	1,1792	0,8594	0,9851	1,1273	0,9392	1,0168
Τρεχαλόζη	1,1792	1,0478	0,9498	1,1117	0,9794	1,2525
Λακτιτόλη	1,1792	0,9152	0,9628	0,7795	0,7810	1,0060
Χιτοζάνη	1,1792	3,2501	3,2599	2,8356	2,6693	1,0876
Μαλτοδεξτρίνη	1,1792	0,7685	1,1710	0,8121	0,9444	1,0946

4) Φιλέτα pollock, Πείραμα 2

Υγρασία

Χρόνος (μέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	89,07%	90,13%	89,33%	88,82%
Ζάχαρη (Κ1)	89,07%	83,90%	83,95%	82,57%
Ινουλίνη (Κ2)	89,07%	83,26%	85,71%	84,72%
Τρεχαλόζη (Κ3)	89,07%	91,10%	91,70%	89,28%
Λακτιτόλη (Κ4)	89,07%	88,14%	83,81%	81,45%
Χιτοζάνη (Κ5)	89,07%	81,90%	81,09%	79,84%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	89,07%	88,24%	83,00%	85,35%

Απώλεια υγρασίας

Χρόνος (μέρες)/ Κρυοπροστατευτικά	0	21	42	63
Τυφλά	52,24%	51,92%	57,80%	52,72%
Ζάχαρη (Κ1)	52,24%	54,97%	57,67%	61,00%
Ινουλίνη (Κ2)	52,24%	58,75%	54,02%	54,19%
Τρεχαλόζη (Κ3)	52,24%	59,01%	60,50%	62,85%
Λακτιτόλη (Κ4)	52,24%	52,90%	57,16%	64,21%
Χιτοζάνη (Κ5)	52,24%	41,05%	54,19%	57,44%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	52,24%	53,10%	63,06%	60,06%

Μέτρηση πρωτεϊνών

Χρόνος (ημέρες) / Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	15,29%	15,71%	17,79%	15,18%
Ζάχαρη (Κ1)	15,29%	16,04%	13,36%	9,72%
Ινουλίνη (Κ2)	15,29%	10,44%	12,76%	12,13%
Τρεχαλόζη (Κ3)	15,29%	17,38%	17,07%	14,18%
Λακτιτόλη (Κ4)	15,29%	10,12%	10,35%	8,17%
Χιτοζάνη (Κ5)	15,29%	15,19%	15,05%	14,20%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	15,29%	12,80%	8,69%	11,38%

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Χρόνος (ημέρες) / Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	22,26%	18,84%	17,84%	26,93%
Ζάχαρη (Κ1)	22,26%	43,82%	35,65%	20,71%
Ινουλίνη (Κ2)	22,26%	13,33%	43,30%	27,53%
Τρεχαλόζη (Κ3)	22,26%	37,76%	19,36%	32,17%
Λακτιτόλη (Κ4)	22,26%	9,51%	15,13%	36,73%
Χιτοζάνη (Κ5)	22,26%	1,34%	1,40%	10,17%
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	22,26%	2,55%	3,07%	17,31%

Θολότητα υπερκείμενου υγρού

Χρόνος (ημέρες) / Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	3,5	3,9	2,45	4,02
Ζάχαρη (Κ1)	3,5	7,78	3,87	6,01
Ινουλίνη (Κ2)	3,5	8,98	11,8	8,92
Τρεχαλόζη (Κ3)	3,5	3,34	4,24	4,2
Λακτιτόλη (Κ4)	3,5	3,9	3,7	5,83
Χιτοζάνη (Κ5)	3,5	10,9	7,85	7,23
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	3,5	3,49	4,77	7,75

Όγκος υπερκείμενου υγρού

Χρόνος (ημέρες) / Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	88	86	87	87
Ζάχαρη (Κ1)	88	85	85	85
Ινουλίνη (Κ2)	88	84	85	86
Τρεχαλόζη (Κ3)	88	88	88	88
Λακτιτόλη (Κ4)	88	86	87	86
Χιτοζάνη (Κ5)	88	88	87	86
Μαλτοδεξτρίνη (Κ6)	88	83	88	86

Χρώμα(ΔΕ)

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικά	0	21	42	63
Τυφλά	0,00	4,16	2,81	6,76
Ζάχαρη	0,00	4,32	7,94	7,48
Ινουλίνη	0,00	5,97	5,03	1,94
Τρεχαλόζη	0,00	7,07	3,10	3,89
Λακτιτόλη	0,00	4,66	3,57	3,96
Χιτοζάνη	0,00	4,57	7,41	5,50
Μαλτοδεξτρίνη	0,00	4,05	3,83	5,41

Σκληρότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικά	0	21	42	63
Τυφλά	3,1080	1,8943	3,4383	3,3813
Ζάχαρη	3,1080	2,5977	2,2933	3,3393
Ινουλίνη	3,1080	1,9797	2,6223	2,3263
Τρεχαλόζη	3,1080	1,9300	2,3730	3,2473
Λακτιτόλη	3,1080	2,2693	2,2610	3,0950
Χιτοζάνη	3,1080	4,6887	3,5690	5,9720
Μαλτοδεξτρίνη	3,1080	1,7153	3,6373	2,8290

Συνεκτικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικά	0	21	42	63
Τυφλά	1,3142	1,1290	1,0324	1,0917
Ζάχαρη	1,3142	1,1081	1,2133	1,0112
Ινουλίνη	1,3142	1,0820	1,0821	1,0686
Τρεχαλόζη	1,3142	1,1966	0,8617	1,0237
Λακτιτόλη	1,3142	1,1857	1,1080	1,1273
Χιτοζάνη	1,3142	1,1939	1,3145	1,2856
Μαλτοδεξτρίνη	1,3142	1,1073	0,8061	1,1714

Κομμιώδες

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικά	0	21	42	63
Τυφλά	4,0844	2,1387	3,5497	3,6915
Ζάχαρη	4,0844	2,8784	2,7825	3,3767
Ινουλίνη	4,0844	2,1420	2,8377	2,4859
Τρεχαλόζη	4,0844	2,3094	2,0449	3,3244
Λακτιτόλη	4,0844	2,6908	2,5052	3,4889
Χιτοζάνη	4,0844	5,5979	4,6913	7,6778
Μαλτοδεξτρίνη	4,0844	1,8993	2,9319	3,3139

Ελαστικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	0,2887	0,3126	0,3206	0,3300
Ζάχαρη	0,2887	0,3085	0,3357	0,3119
Ινουλίνη	0,2887	0,3154	0,3272	0,3362
Τρεχαλόζη	0,2887	0,3119	0,3169	0,3234
Λακτιτόλη	0,2887	0,3242	0,3206	0,2983
Χιτοζάνη	0,2887	0,3612	0,3677	0,3462
Μαλτοδεξτρίνη	0,2887	0,3195	0,3018	0,2991

Μασητικότητα

Χρόνος (ημέρες)/ Κρυοπροστατευτικό	0	21	42	63
Τυφλά	1,1792	0,6685	1,1380	1,2180
Ζάχαρη	1,1792	0,8881	0,9341	1,0531
Ινουλίνη	1,1792	0,6756	0,9284	0,8358
Τρεχαλόζη	1,1792	0,7203	0,9844	1,0752
Λακτιτόλη	1,1792	0,8723	0,8031	1,0408
Χιτοζάνη	1,1792	2,0220	1,7250	2,6579
Μαλτοδεξτρίνη	1,1792	0,6067	1,4711	0,9910

Πίνακες Ανοva και Duncan's Test

1) Φιλέτα cod, Πείραμα 1

Περιεχόμενη υγρασία

Univariate Tests of Significance for Υγρασία (Π1F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	25,16562	1	25,16562	12262,04	0,000000
Χρόνος	0,02448	5	0,00490	2,39	0,061732
Κρυοπροστατευτικά	0,04190	6	0,00698	3,40	0,011103
Error	0,06157	30	0,00205		

Duncan test; variable Υγρασία (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00205, df = 30,000						
	Κρυοπροστατευτικά	Υγρασία	1	2	3	4
5	4	0,738894	****			
2	1	0,744079	****	****		
3	2	0,752411	****	****	****	
7	6	0,755279	****	****	****	
1	0	0,799753		****	****	****
4	3	0,804759			****	****
6	5	0,823301				****

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Univariate Tests of Significance for Απώλεια υγρασίας (Π1F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	4,022147	1	4,022147	518,2537	0,000000
Χρόνος	0,092189	5	0,018438	2,3757	0,062616
Κρυοπροστατευτικά	0,348753	6	0,058126	7,4895	0,000058
Error	0,232829	30	0,007761		

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00776, df = 30,000				
	Κρυοπροστατευτικά	Απώλεια υγρασίας	1	2
2	1	0,214776	****	
5	4	0,264915	****	
7	6	0,279710	****	

1	0	0,280746	****	
3	2	0,282516	****	
4	3	0,323013	****	
6	5	0,520545		****

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Univariate Tests of Significance for Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,248775	1	0,248775	34,49762	0,000002
Χρόνος	0,058465	5	0,011693	1,62146	0,184668
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,087765	6	0,014627	2,02840	0,092699
Error	0,216341	30	0,007211		

Χρώμα (ΔΕ)

Univariate Tests of Significance for Χρώμα (Π1F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	328,7922	1	328,7922	80,90763	0,000000
Χρόνος	76,2446	5	15,2489	3,75238	0,009314
Κρυσταλλοπροστατευτικά	37,3742	6	6,2290	1,53281	0,201549
Error	121,9139	30	4,0638		

Duncan test; variable Χρώμα (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 4,0638, df = 30,000				
	Χρόνος	Χρώμα	1	2
1	0	0,000000		****
4	42	2,350618	****	
5	56	3,381884	****	
3	28	3,404445	****	
2	14	3,677419	****	
6	70	3,973184	****	

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Π1F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	485,3489	1	485,3489	1282,916	0,000000
Χρόνος	2,7832	5	0,5566	1,471	0,228454
Κρυσταλλοπροστατευτικά	9,3717	6	1,5619	4,129	0,003873
Error	11,3495	30	0,3783		

Duncan test; variable Σκληρότητα (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,37832, df = 30,000				
	Κρυσταλλοπροστατευτικά	Σκληρότητα	1	2
5	4	2,645389	****	
3	2	3,212722	****	
7	6	3,280417	****	
2	1	3,426722	****	
4	3	3,430056	****	
1	0	3,430667	****	
6	5	4,369833		****

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Π1F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	59,06444	1	59,06444	9970,740	0,000000
Χρόνος	0,09892	5	0,01978	3,340	0,016241
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,32782	6	0,05464	9,223	0,000009
Error	0,17771	30	0,00592		

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00592, df = 30,000				
	Χρόνος	Συνεκτικότητα	1	2
1	0	1,112970	****	
6	70	1,143636	****	
4	42	1,194614	****	****
2	14	1,194652	****	****
3	28	1,202174	****	****
5	56	1,267194		****

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00592, df = 30,000

	Κρυοπροστατευτικά	Συνεκτικότητα	1	2
4	3	1,117073	****	
1	0	1,119424	****	
2	1	1,151038	****	
3	2	1,160444	****	
7	6	1,162028	****	
5	4	1,198089	****	
6	5	1,393019		****

Κομμιώδες

Univariate Tests of Significance for Κομμιώδες (Π1F1) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	679,7148	1	679,7148	1235,532	0,000000
Χρόνος	1,7868	5	0,3574	0,650	0,663973
Κρυοπροστατευτικά	32,5326	6	5,4221	9,856	0,000005
Error	16,5042	30	0,5501		

Duncan test; variable Κομμιώδες (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,55014, df = 30,000

	Κρυοπροστατευτικά	Κομμιώδες	1	2
5	4	3,153932	****	
7	6	3,679903	****	
3	2	3,722020	****	
4	3	3,731191	****	
1	0	3,835504	****	
2	1	3,933791	****	
6	5	6,103927		****

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Ελαστικότητα (Π1F1) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	6,314538	1	6,314538	17075,64	0,000000
Χρόνος	0,056246	5	0,011249	30,42	0,000000
Κρυοπροστατευτικά	0,021685	6	0,003614	9,77	0,000006
Error	0,011094	30	0,000370		

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00037, df = 30,000

	Χρόνος	Ελαστικότητα	1	2
1	0	0,306584		****
2	14	0,397024	****	
6	70	0,399041	****	
3	28	0,405633	****	
4	42	0,407944	****	
5	56	0,410245	****	

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00037, df = 30,000

	Κρυοπροστατευτικά	Ελαστικότητα	1	2	3
6	5	0,339168			****
4	3	0,382072	****		
1	0	0,386868	****		
7	6	0,387643	****		
3	2	0,396348	****	****	
2	1	0,405558	****	****	
5	4	0,416557		****	

Μασητικότητα

Univariate Tests of Significance for Μασητικότητα (Π1F1) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	99,26738	1	99,26738	1655,295	0,000000
Χρόνος	1,05307	5	0,21061	3,512	0,012853
Κρυοπροστατευτικά	2,37956	6	0,39659	6,613	0,000157
Error	1,79909	30	0,05997		

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,05997, df = 30,000

	Χρόνος	Μασητικότητα	1	2
1	0	1,237826		****
2	14	1,451022	****	****
4	42	1,540244	****	
5	56	1,611244	****	
6	70	1,690471	****	
3	28	1,693417	****	

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π1F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,05997, df = 30,000

	Κρυοπροστατευτικά	Μασητικότητα	1	2
5	4	1,290603	****	
4	3	1,413567	****	
7	6	1,439266	****	
3	2	1,467675	****	
1	0	1,474273	****	
2	1	1,592114	****	
6	5	2,084099		****

2) Φιλέτα cod, Πείραμα 2

Περιεχόμενη υγρασία

Univariate Tests of Significance for Υγρασία (Π2F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	16,45617	1	16,45617	9743,990	0,000000
Χρόνος	0,02391	3	0,00797	4,720	0,013366
Κρυοπροστατευτικά	0,02139	6	0,00357	2,111	0,102462
Error	0,03040	18	0,00169		

Duncan test; variable Υγρασία (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00169, df = 18,000

	Χρόνος	Υγρασία	1	2
3	42	0,742360	****	
2	21	0,750346	****	
4	63	0,757411	****	
1	0	0,816400		****

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Univariate Tests of Significance for Απώλεια υγρασίας (Π2F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	8,627660	1	8,627660	6353,376	0,000000
Χρόνος	0,023282	3	0,007761	5,715	0,006269
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,014733	6	0,002456	1,808	0,154018
Error	0,024443	18	0,001358		

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00136, df = 18,000

	Χρόνος	Απώλεια υγρασίας	1	2
1	0	0,522408	****	
2	21	0,531018	****	
3	42	0,577698		****
4	63	0,589256		****

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Univariate Tests of Significance for Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π2F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,165598	1	0,165598	17,42649	0,000570
Χρόνος	0,050323	3	0,016774	1,76523	0,189802
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,049639	6	0,008273	0,87061	0,535100
Error	0,171048	18	0,009503		

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Χρώμα (Π2F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	234,0786	1	234,0786	44,35687	0,000003
Χρόνος	132,6175	3	44,2058	8,37681	0,001069
Κρυσταλλοπροστατευτικά	23,8844	6	3,9807	0,75433	0,614335
Error	94,9890	18	5,2772		

Duncan test; variable Χρώμα (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 5,2772, df = 18,000

	Χρόνος	Χρώμα	1	2	3
1	0	0,000000	****		
2	21	2,201248	****	****	
3	42	3,322735		****	
4	63	6,041449			****

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Π2F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	378,3952	1	378,3952	386,2584	0,000000
Χρόνος	1,1643	3	0,3881	0,3962	0,757330
Κρυσταλλοπροστατευτικά	12,5999	6	2,1000	2,1436	0,098149
Error	17,6336	18	0,9796		

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Π2F1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	38,98731	1	38,98731	11506,04	0,000000
Χρόνος	0,04727	3	0,01576	4,65	0,014127
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,09898	6	0,01650	4,87	0,004051
Error	0,06099	18	0,00339		

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00339, df = 18,000

	Χρόνος	Συνεκτικότητα	1	2
1	0	1,112970		****
2	21	1,182124	****	
3	42	1,203839	****	
4	63	1,221073	****	

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00339, df = 18,000

	Κρυοπροστατευτικά	Συνεκτικότητα	1	2
7	6	1,133045	****	
1	0	1,139905	****	
2	1	1,140280	****	
3	2	1,149656	****	
5	4	1,176688	****	
4	3	1,207526	****	
6	5	1,312912		****

Κομμώδες

Univariate Tests of Significance for Κομμώδες (Π2F1) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	537,6627	1	537,6627	317,5915	0,000000
Χρόνος	3,0185	3	1,0062	0,5943	0,626778
Κρυοπροστατευτικά	32,7135	6	5,4522	3,2206	0,025010
Error	30,4729	18	1,6929		

Duncan test; variable Κομμώδες (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = 1,6929, df = 18,000

	Κρυοπροστατευτικά	Κομμώδες	1	2
2	1	3,504830	****	
5	4	3,565077	****	
7	6	3,916863	****	
1	0	3,939898	****	
3	2	4,092369	****	
4	3	4,811163	****	
6	5	6,844052		****

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Ελαστικότητα (Π2F1) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	3,995561	1	3,995561	5668,357	0,000000
Χρόνος	0,050732	3	0,016911	23,991	0,000002
Κρυοπροστατευτικά	0,024694	6	0,004116	5,839	0,001589
Error	0,012688	18	0,000705		

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00070, df = 18,000

	Χρόνος	Ελαστικότητα	1	2
1	0	0,306584		****
4	63	0,383960	****	
3	42	0,406157	****	
2	21	0,414318	****	

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00070, df = 18,000

	Κρυοπροστατευτικά	Ελαστικότητα	1	2	3
6	5	0,330433			****
4	3	0,347133	****		****
7	6	0,368907	****		****
1	0	0,383368	****	****	
3	2	0,383414	****	****	
5	4	0,414271		****	
2	1	0,416756		****	

Μασητικότητα

Univariate Tests of Significance for Μασητικότητα (Π2F1) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	73,13886	1	73,13886	491,3384	0,000000
Χρόνος	1,44799	3	0,48266	3,2425	0,046420
Κρυοπροστατευτικά	2,19222	6	0,36537	2,4545	0,065227
Error	2,67942	18	0,14886		

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π2F1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,14886, df = 18,000

	Χρόνος	Μασητικότητα	1	2
1	0	1,237826		****
2	21	1,647477	****	****
3	42	1,754585	****	
4	63	1,824912	****	

3) Φιλέτα pollock, Πείραμα 1

Περιεχόμενη υγρασία

Univariate Tests of Significance for Υγρασία (Π1F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	30,75143	1	30,75143	66123,08	0,000000
Χρόνος	0,01191	5	0,00238	5,12	0,001635
Κρυοπροστατευτικά	0,03954	6	0,00659	14,17	0,000000
Error	0,01395	30	0,00047		

Duncan test; variable Υγρασία (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00047, df = 30,000				
	Χρόνος	Υγρασία	1	2
2	14	0,840127	****	
6	70	0,844437	****	
5	56	0,846885	****	
3	28	0,852215	****	
4	42	0,859650	****	
1	0	0,890726		****

Duncan test; variable Υγρασία (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00047, df = 30,000						
	Κρυοπροστατευτικά	Υγρασία	1	2	3	4
6	5	0,813766	****			
2	1	0,829497	****	****		
3	2	0,835750	****	****		
5	4	0,851381		****	****	
7	6	0,862573			****	
1	0	0,893920				****
4	3	0,902827				****

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Univariate Tests of Significance for Απώλεια υγρασίας (Π1F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	13,72833	1	13,72833	7916,774	0,000000
Χρόνος	0,03204	5	0,00641	3,696	0,010043
Κρυοπροστατευτικά	0,09134	6	0,01522	8,779	0,000015
Error	0,05202	30	0,00173		

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00173, df = 30,000

	Χρόνος	Απώλεια υγρασίας	1	2	3
1	0	0,522408			****
4	42	0,565992	****		****
5	56	0,572794	****	****	
3	28	0,573202	****	****	
2	14	0,578828	****	****	
6	70	0,617101		****	

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00173, df = 30,000

	Κρυοπροστατευτικά	Απώλεια υγρασίας	1	2	3
6	5	0,469610			****
1	0	0,564823	****		
5	4	0,567226	****	****	
2	1	0,569524	****	****	
3	2	0,598547	****	****	
7	6	0,610930	****	****	
4	3	0,621387		****	

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Univariate Tests of Significance for Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,154767	1	1,154767	74,16712	0,000000
Χρόνος	0,153854	5	0,030771	1,97631	0,111053
Κρυοπροστατευτικά	0,357698	6	0,059616	3,82897	0,005944
Error	0,467094	30	0,015570		

Duncan test; variable Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = ,01557, df = 30,000

	Κρυσταλλοπροστατευτικά	Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες	1	2
6	5	0,075594	****	
2	1	0,084684	****	
7	6	0,125447	****	
4	3	0,159802	****	
5	4	0,167425	****	
1	0	0,174195	****	
3	2	0,373554		****

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Χρώμα (Π1F2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	777,4279	1	777,4279	348,2662	0,000000
Χρόνος	194,7075	5	38,9415	17,4447	0,000000
Κρυσταλλοπροστατευτικά	27,9265	6	4,6544	2,0851	0,084772
Error	66,9684	30	2,2323		

Duncan test; variable Χρώμα (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between
MS = 2,2323, df = 30,000

	Χρόνος	Χρώμα	1	2	3
1	0	0,000000			****
6	70	4,061803	****		
2	14	4,316107	****		
4	42	4,732169	****		
5	56	5,777453	****	****	
3	28	6,926549		****	

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Π1F2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	417,1199	1	417,1199	312,3174	0,000000
Χρόνος	4,5988	5	0,9198	0,6887	0,635808
Κρυσταλλοπροστατευτικά	18,1019	6	3,0170	2,2590	0,064448
Error	40,0669	30	1,3356		

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Π1F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	59,08174	1	59,08174	6170,523	0,000000
Χρόνος	0,15604	5	0,03121	3,259	0,018126
Κρυοπροστατευτικά	0,28362	6	0,04727	4,937	0,001278
Error	0,28725	30	0,00957		

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00957, df = 30,000				
	Χρόνος	Συνεκτικότητα	1	2
3	28	1,137722	****	
6	70	1,149454	****	
2	14	1,150793	****	
4	42	1,160498	****	
5	56	1,203663	****	
1	0	1,314154		****

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00957, df = 30,000				
	Κρυοπροστατευτικά	Συνεκτικότητα	1	2
1	0	1,131318	****	
2	1	1,131782	****	
5	4	1,144299	****	
7	6	1,158078	****	
3	2	1,159664	****	
4	3	1,196194	****	
6	5	1,380997		****

Κομμώδες

Univariate Tests of Significance for Κομμώδες (Π1F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	587,0024	1	587,0024	318,0708	0,000000
Χρόνος	7,3222	5	1,4644	0,7935	0,562851
Κρυοπροστατευτικά	43,3539	6	7,2256	3,9153	0,005250
Error	55,3653	30	1,8455		

Duncan test; variable Κομμιώδες (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = 1,8455, df = 30,000

	Κρυοπροστατευτικά	Κομμιώδες	1	2
2	1	2,843797	****	
5	4	3,040618	****	
7	6	3,256898	****	
3	2	3,284842	****	
4	3	3,681007	****	
1	0	3,992984	****	
6	5	6,069229		****

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Ελαστικότητα (Π1F2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	4,190929	1	4,190929	8442,802	0,000000
Χρόνος	0,008198	5	0,001640	3,303	0,017071
Κρυοπροστατευτικά	0,011291	6	0,001882	3,791	0,006279
Error	0,014892	30	0,000496		

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00050, df = 30,000

	Χρόνος	Ελαστικότητα	1	2
1	0	0,288710		****
2	14	0,313917	****	
3	28	0,315517	****	
5	56	0,316684	****	
4	42	0,327439	****	
6	70	0,333049	****	

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00050, df = 30,000

	Κρυοπροστατευτικά	Ελαστικότητα	1	2	3
4	3	0,295393	****		
7	6	0,306399	****	****	
5	4	0,309598	****	****	
3	2	0,310777	****	****	
1	0	0,312825	****	****	
2	1	0,325665		****	****
6	5	0,350545			****

Μασητικότητα

Univariate Tests of Significance for Μασητικότητα (Π1F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	58,95418	1	58,95418	281,2745	0,000000
Χρόνος	0,54635	5	0,10927	0,5213	0,758117
Κρυοπροστατευτικά	6,26117	6	1,04353	4,9787	0,001209
Error	6,28790	30	0,20960		

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π1F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,20960, df = 30,000				
	Κρυοπροστατευτικά	Μασητικότητα	1	2
2	1	0,914420	****	
5	4	0,937300	****	
7	6	0,994965	****	
3	2	1,017822	****	
4	3	1,086733	****	
1	0	1,245191	****	
6	5	2,096932		****

4) Φιλέτα pollock, Πείραμα 2

Περιεχόμενη υγρασία

Univariate Tests of Significance for Υγρασία (Π2F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	20,92982	1	20,92982	44977,71	0,000000
Χρόνος	0,00792	3	0,00264	5,68	0,006454
Κρυοπροστατευτικά	0,01556	6	0,00259	5,57	0,002038
Error	0,00838	18	0,00047		

Duncan test; variable Υγρασία (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00047, df = 18,000				
	Χρόνος	Υγρασία	1	2
4	63	0,845738	****	
3	42	0,855160	****	
2	21	0,866685	****	****

1	0	0,890726		****
---	---	----------	--	------

Duncan test; variable Υγρασία (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00047, df = 18,000

	Κρυοπροστατευτικά	Υγρασία	1	2	3
6	5	0,829758	****		
2	1	0,848734	****		
5	4	0,856212	****		
3	2	0,856903	****		
7	6	0,864174	****	****	
1	0	0,893380		****	****
4	3	0,902878			****

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Univariate Tests of Significance for Απώλεια υγρασίας (Π2F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	8,627660	1	8,627660	6353,376	0,000000
Χρόνος	0,023282	3	0,007761	5,715	0,006269
Κρυοπροστατευτικά	0,014733	6	0,002456	1,808	0,154018
Error	0,024443	18	0,001358		

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00136, df = 18,000

	Χρόνος	Απώλεια υγρασίας	1	2
1	0	0,522408	****	
2	21	0,531018	****	
3	42	0,577698		****
4	63	0,589256		****

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Univariate Tests of Significance for Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π2F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,244246	1	1,244246	114,8011	0,000000
Χρόνος	0,017139	3	0,005713	0,5271	0,669273
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,165792	6	0,027632	2,5495	0,057694
Error	0,195089	18	0,010838		

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Χρώμα (Π2F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	382,0601	1	382,0601	158,1942	0,000000
Χρόνος	127,4846	3	42,4949	17,5953	0,000014
Κρυσταλλοπροστατευτικά	11,4622	6	1,9104	0,7910	0,588685
Error	43,4724	18	2,4151		

Duncan test; variable Χρώμα (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,4151, df = 18,000				
	Χρόνος	Χρώμα	1	2
1	0	0,000000		****
3	42	4,813942	****	
2	21	4,971505	****	
4	63	4,990211	****	

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Π2F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	247,3160	1	247,3160	567,1484	0,000000
Χρόνος	3,8072	3	1,2691	2,9103	0,062792
Κρυσταλλοπροστατευτικά	9,1593	6	1,5266	3,5007	0,017940
Error	7,8492	18	0,4361		

Duncan test; variable Σκληρότητα (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,43607, df = 18,000

	Κρυοπροστατευτικά	Σκληρότητα	1	2
3	2	2,509083	****	
4	3	2,664583	****	
5	4	2,683333	****	
7	6	2,822417	****	
2	1	2,834583	****	
1	0	2,955500	****	
6	5	4,334417		****

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Π2F2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	37,48975	1	37,48975	3884,141	0,000000
Χρόνος	0,25502	3	0,08501	8,807	0,000827
Κρυοπροστατευτικά	0,08972	6	0,01495	1,549	0,218947
Error	0,17374	18	0,00965		

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00965, df = 18,000

	Χρόνος	Συνεκτικότητα	1	2
3	42	1,059727	****	
4	63	1,111366	****	
2	21	1,143221	****	
1	0	1,314154		****

Κομμώδες

Univariate Tests of Significance for Κομμώδες (Π2F2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	335,6868	1	335,6868	537,7621	0,000000
Χρόνος	8,2939	3	2,7646	4,4289	0,016876
Κρυοπροστατευτικά	20,3454	6	3,3909	5,4321	0,002327
Error	11,2361	18	0,6242		

Duncan test; variable Κομμιώδες (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,62423, df = 18,000

	Χρόνος	Κομμιώδες	1	2	3
2	21	2,808073	****		
3	42	3,049036	****	****	
4	63	3,908449		****	****
1	0	4,084389			****

Duncan test; variable Κομμιώδες (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,62423, df = 18,000

	Κρυοπροστατευτικά	Κομμιώδες	1	2
3	2	2,887508	****	
4	3	2,940787	****	
7	6	3,057380	****	
5	4	3,192317	****	
2	1	3,280498	****	
1	0	3,366055	****	
6	5	5,512864		****

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Ελαστικότητα (Π2F2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	3,005923	1	3,005923	1705,907	0,000000
Χρόνος	0,029838	3	0,009946	5,644	0,006601
Κρυοπροστατευτικά	0,009334	6	0,001556	0,883	0,527124
Error	0,031717	18	0,001762		

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00176, df = 18,000

	Χρόνος	Ελαστικότητα	1	2
1	0	0,288710	****	
4	63	0,320717	****	
2	21	0,321898	****	
3	42	0,379274		****

Μασητικότητα

Univariate Tests of Significance for Μασητικότητα (Π2F2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	35,58203	1	35,58203	384,8073	0,000000
Χρόνος	0,45270	3	0,15090	1,6319	0,217188
Κρυοπροστατευτικά	2,82382	6	0,47064	5,0898	0,003246
Error	1,66441	18	0,09247		

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π2F2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,09247, df = 18,000				
	Κρυοπροστατευτικά	Μασητικότητα	1	2
3	2	0,904762	****	
5	4	0,973867	****	
4	3	0,989772	****	
2	1	1,013641	****	
1	0	1,050938	****	
7	6	1,062019	****	
6	5	1,896043		****

5) Σύγκριση των δύο ειδών φιλέτων (Πείραμα 1)

Περιεχόμενη υγρασία

Univariate Tests of Significance for Υγρασία (Π1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	55,77720	1	55,77720	35661,80	0,000000
Ψάρι	0,13985	1	0,13985	89,41	0,000000
Χρόνος	0,03196	5	0,00639	4,09	0,002561
Κρυοπροστατευτικά	0,05035	6	0,00839	5,37	0,000129
Error	0,11105	71	0,00156		

Duncan test; variable Υγρασία (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00156, df = 71,000				
	Ψάρι	Υγρασία	1	2
1	1	0,774068	****	
2	2	0,855673		****

Duncan test; variable Υγρασία (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00156, df = 71,000				
	Χρόνος	Υγρασία	1	2
5	56	0,792555	****	
6	70	0,802409	****	
2	14	0,804738	****	
4	42	0,815656	****	
3	28	0,820303	****	
1	0	0,853563		****

Duncan test; variable Υγρασία (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00156, df = 71,000					
	Κρυοπροστατευτικά	Υγρασία	1	2	3
2	1	0,786788	****		
3	2	0,794081	****		
5	4	0,795138	****		
7	6	0,808926	****		
6	5	0,818533	****	****	
1	0	0,846836		****	****
4	3	0,853793			****

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Univariate Tests of Significance for Απώλεια υγρασίας (Π1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	16,30608	1	16,30608	1735,146	0,000000
Ψάρι	1,44440	1	1,44440	153,700	0,000000
Χρόνος	0,09489	5	0,01898	2,019	0,086215
Κρυοπροστατευτικά	0,08706	6	0,01451	1,544	0,176505
Error	0,66722	71	0,00940		

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00940, df = 71,000				
	Ψάρι	Απώλεια υγρασίας	1	2
1	1	0,309460	****	
2	2	0,571721		****

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Univariate Tests of Significance for Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,237753	1	1,237753	98,73988	0,000000
Ψάρι	0,165789	1	0,165789	13,22555	0,000520
Χρόνος	0,138790	5	0,027758	2,21436	0,062200
Κρυοπροστατευτικά	0,312406	6	0,052068	4,15362	0,001241
Error	0,890020	71	0,012535		

Duncan test; variable Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,01254, df = 71,000				
	Ψάρι	Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες	1	2
1	1	0,076962	****	
2	2	0,165814		****

Duncan test; variable Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = ,01254, df = 71,000

	Κρυσταλλοπροστατευτικά	Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες	1	2
6	5	0,063903	****	
4	3	0,096225	****	
7	6	0,096562	****	
1	0	0,107502	****	
2	1	0,109486	****	
5	4	0,109709	****	
3	2	0,266332		****

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Χρώμα (Π1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1058,691	1	1058,691	294,5048	0,000000
Ψάρι	47,529	1	47,529	13,2215	0,000520
Χρόνος	233,671	5	46,734	13,0004	0,000000
Κρυσταλλοπροστατευτικά	36,232	6	6,039	1,6798	0,138560
Error	255,232	71	3,595		

Duncan test; variable Χρώμα (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3,5948, df = 71,000

	Ψάρι	Χρώμα	1	2
1	1	2,797925	****	
2	2	4,302347		****

Duncan test; variable Χρώμα (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3,5948, df = 71,000

	Χρόνος	Χρώμα	1	2	3
1	0	0,000000			****
4	42	3,541394	****		
2	14	3,996763	****	****	
6	70	4,017493	****	****	
5	56	4,579669	****	****	
3	28	5,165497		****	

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Π1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	901,1774	1	901,1774	1116,398	0,000000
Ψάρι	1,2914	1	1,2914	1,600	0,210062
Χρόνος	4,2031	5	0,8406	1,041	0,400287
Κρυοπροστατευτικά	24,7564	6	4,1261	5,111	0,000206
Error	57,3126	71	0,8072		

Duncan test; variable Σκληρότητα (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,80722, df = 71,000					
	Κρυοπροστατευτικά	Σκληρότητα	1	2	3
5	4	2,653583	****		
2	1	2,971500	****	****	
3	2	3,025292	****	****	
7	6	3,044153	****	****	
4	3	3,278500	****	****	
1	0	3,486333		****	
6	5	4,468500			****

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Π1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	118,1462	1	118,1462	12414,54	0,000000
Ψάρι	0,0000	1	0,0000	0,00	0,993512
Χρόνος	0,0737	5	0,0147	1,55	0,185797
Κρυοπροστατευτικά	0,5820	6	0,0970	10,19	0,000000
Error	0,6757	71	0,0095		

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00952, df = 71,000				
	Κρυοπροστατευτικά	Συνεκτικότητα	1	2
1	0	1,125371	****	
2	1	1,141410	****	
4	3	1,156634	****	

7	6	1,160053	****	
3	2	1,160054	****	
5	4	1,171194	****	
6	5	1,387008		****

Κομμιώδες

Univariate Tests of Significance for Κομμιώδες (Π1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1265,019	1	1265,019	1130,321	0,000000
Ψάρι	1,699	1	1,699	1,518	0,222013
Χρόνος	4,617	5	0,923	0,825	0,535969
Κρυσταλλοπροστατευτικά	72,787	6	12,131	10,839	0,000000
Error	79,461	71	1,119		

Duncan test; variable Κομμιώδες (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,1192, df = 71,000				
	Κρυσταλλοπροστατευτικά	Κομμιώδες	1	2
5	4	3,097275	****	
2	1	3,388794	****	
7	6	3,468401	****	
3	2	3,503431	****	
4	3	3,706099	****	
1	0	3,914244	****	
6	5	6,086578		****

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Ελαστικότητα (Π1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	10,39703	1	10,39703	11184,25	0,000000
Ψάρι	0,10844	1	0,10844	116,65	0,000000
Χρόνος	0,05060	5	0,01012	10,89	0,000000
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,00680	6	0,00113	1,22	0,306754
Error	0,06600	71	0,00093		

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00093, df = 71,000

	Ψάρι	Ελαστικότητα	1	2
2	2	0,315886	****	
1	1	0,387745		****

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00093, df = 71,000

	Χρόνος	Ελαστικότητα	1	2
1	0	0,297647		****
2	14	0,355470	****	
3	28	0,360575	****	
5	56	0,363464	****	
6	70	0,366045	****	
4	42	0,367691	****	

Μασητικότητα

Univariate Tests of Significance for Μασητικότητα (Π1) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	155,6106	1	155,6106	1144,017	0,000000
Ψάρι	2,6109	1	2,6109	19,195	0,000040
Χρόνος	0,8479	5	0,1696	1,247	0,296650
Κρυοπροστατευτικά	7,8217	6	1,3036	9,584	0,000000
Error	9,6575	71	0,1360		

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,13602, df = 71,000

	Ψάρι	Μασητικότητα	1	2
2	2	1,184766	****	
1	1	1,537371		****

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π1) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,13602, df = 71,000

	Κρυοπροστατευτικά	Μασητικότητα	1	2
5	4	1,113952	****	
7	6	1,217115	****	

3	2	1,242749	****	
4	3	1,250150	****	
2	1	1,253267	****	
1	0	1,359732	****	
6	5	2,090515		****

6) Σύγκριση των δύο ειδών φιλέτων (Πείραμα 2)

Περιεχόμενη υγρασία

Univariate Tests of Significance for Υγρασία (Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	37,25168	1	37,25168	33811,78	0,000000
Ψάρι	0,13431	1	0,13431	121,91	0,000000
Χρόνος	0,02760	3	0,00920	8,35	0,000160
Κρυοπροστατευτικά	0,03038	6	0,00506	4,60	0,001019
Error	0,04958	45	0,00110		

Duncan test; variable Υγρασία (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00110, df = 45,000

	Ψάρι	Υγρασία	1	2
1	1	0,766629	****	
2	2	0,864577		****

Duncan test; variable Υγρασία (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00110, df = 45,000

	Χρόνος	Υγρασία	1	2
3	42	0,798760	****	
4	63	0,801575	****	
2	21	0,808515	****	
1	0	0,853563		****

Duncan test; variable Υγρασία (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00110, df = 45,000

	Κρυοπροστατευτικά	Υγρασία	1	2
5	4	0,795278	****	
2	1	0,796582	****	

3	2	0,803512	****	
6	5	0,804326	****	
7	6	0,806232	****	
1	0	0,846025		****
4	3	0,857268		****

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Univariate Tests of Significance for Απώλεια υγρασίας (Π2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	17,25532	1	17,25532	15883,44	0,000000
Ψάρι	0,00000	1	0,00000	0,00	1,000000
Χρόνος	0,04656	3	0,01552	14,29	0,000001
Κρυοπροστατευτικά	0,02947	6	0,00491	4,52	0,001151
Error	0,04889	45	0,00109		

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00106, df = 46,000

	Χρόνος	Απώλεια υγρασίας	1	2
1	0	0,522408	****	
2	21	0,531018	****	
3	42	0,577698		****
4	63	0,589256		****

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00109, df = 45,000

	Κρυοπροστατευτικά	Απώλεια υγρασίας	1	2	3
6	5	0,512291			****
1	0	0,536710	****		****
3	2	0,547995	****		
2	1	0,564708	****	****	
5	4	0,566297	****	****	
7	6	0,571158	****	****	
4	3	0,586508		****	

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Univariate Tests of Significance for Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,158844	1	1,158844	108,1790	0,000000
Ψάρι	0,251001	1	0,251001	23,4311	0,000016
Χρόνος	0,055529	3	0,018510	1,7279	0,174770
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,111449	6	0,018575	1,7340	0,135029
Error	0,482053	45	0,010712		

Duncan test; variable Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,01071, df = 45,000				
	Ψάρι	Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες	1	2
1	1	0,076904	****	
2	2	0,210802		****

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Χρώμα (Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	607,1213	1	607,1213	142,8827	0,000000
Ψάρι	9,0174	1	9,0174	2,1222	0,152122
Χρόνος	230,6086	3	76,8695	18,0908	0,000000
Κρυσταλλοπροστατευτικά	12,0926	6	2,0154	0,4743	0,823772
Error	191,2090	45	4,2491		

Duncan test; variable Χρώμα (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 4,2491, df = 45,000					
	Χρόνος	Χρώμα	1	2	3
1	0	0,000000			****
2	21	3,586376	****		
3	42	4,068338	****	****	
4	63	5,515830		****	

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	618,7692	1	618,7692	1005,314	0,000000
Ψάρι	6,9419	1	6,9419	11,279	0,001604
Χρόνος	4,4615	3	1,4872	2,416	0,078766
Κρυσταλλοπροστατευτικά	20,0546	6	3,3424	5,430	0,000272
Error	27,6974	45	0,6155		

Duncan test; variable Σκληρότητα (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,66998, df = 48,000

	Ψάρι	Σκληρότητα	1	2
2	2	2,971988	****	
1	1	3,676155		****

Duncan test; variable Σκληρότητα (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,61550, df = 45,000

	Κρυσταλλοπροστατευτικά	Σκληρότητα	1	2
5	4	2,864208	****	
2	1	2,962625	****	
3	2	3,034708	****	
7	6	3,138583	****	
1	0	3,205708	****	
4	3	3,312958	****	
6	5	4,749708		****

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	76,46972	1	76,46972	6727,280	0,000000
Ψάρι	0,00733	1	0,00733	0,645	0,426123
Χρόνος	0,04785	3	0,01595	1,403	0,254208
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,16635	6	0,02773	2,439	0,039781
Error	0,51152	45	0,01137		

Duncan test; variable Συνεκτικότητα (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,01137, df = 45,000

	Κρυοπροστατευτικά	Συνεκτικότητα	1	2
7	6	1,116382	****	
1	0	1,140858	****	
3	2	1,143189	****	
2	1	1,150979	****	
4	3	1,153291	****	
5	4	1,180236	****	
6	5	1,294979		****

Κομμώδες

Univariate Tests of Significance for Κομμώδες (Π2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	861,5116	1	861,5116	766,3310	0,000000
Ψάρι	11,8380	1	11,8380	10,5301	0,002219
Χρόνος	6,5530	3	2,1843	1,9430	0,136211
Κρυοπροστατευτικά	48,9381	6	8,1564	7,2552	0,000019
Error	50,5891	45	1,1242		

Duncan test; variable Κομμώδες (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,1242, df = 45,000

	Ψάρι	Κομμώδες	1	2
2	2	3,462487	****	
1	1	4,382036		****

Duncan test; variable Κομμώδες (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,1242, df = 45,000

	Κρυοπροστατευτικά	Κομμώδες	1	2
5	4	3,378697	****	
2	1	3,392664	****	
7	6	3,487122	****	
3	2	3,489938	****	
1	0	3,652976	****	
4	3	3,875975	****	
6	5	6,178458		****

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Ελαστικότητα (Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	6,966337	1	6,966337	3640,073	0,000000
Ψάρι	0,035147	1	0,035147	18,365	0,000095
Χρόνος	0,068175	3	0,022725	11,874	0,000007
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,004707	6	0,000785	0,410	0,868558
Error	0,086121	45	0,001914		

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00191, df = 45,000				
	Ψάρι	Ελαστικότητα	1	2
2	2	0,327650	****	
1	1	0,377755		****

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00191, df = 45,000					
	Χρόνος	Ελαστικότητα	1	2	3
1	0	0,297647			****
4	63	0,352338	****		
2	21	0,368108	****	****	
3	42	0,392716		****	

Μασητικότητα

Univariate Tests of Significance for Μασητικότητα (Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	105,3744	1	105,3744	870,9861	0,000000
Ψάρι	3,3464	1	3,3464	27,6604	0,000004
Χρόνος	0,9855	3	0,3285	2,7153	0,055832
Κρυσταλλοπροστατευτικά	4,8308	6	0,8051	6,6550	0,000044
Error	5,4442	45	0,1210		

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,12098, df = 45,000

	Ψάρι	Μασητικότητα	1	2
2	2	1,127292	****	
1	1	1,616200		****

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,12098, df = 45,000

	Κρυσπροστατευτικά	Μασητικότητα	1	2
5	4	1,216077	****	
2	1	1,226871	****	
3	2	1,237660	****	
7	6	1,242563	****	
1	0	1,274410	****	
4	3	1,317656	****	
6	5	2,086984		****

7) Σύγκριση των πειραμάτων 1 και 2

Περιεχόμενη υγρασία

Univariate Tests of Significance for Υγρασία (Π1 and Π2) Sigma-restricted parameterization
Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	38,85342	1	38,85342	51675,21	0,000000
Ψάρι	0,09465	1	0,09465	125,89	0,000000
Χρόνος	0,02379	1	0,02379	31,64	0,000001
Κρυσπροστατευτικά	0,01296	6	0,00216	2,87	0,018433
Πείραμα	0,00007	1	0,00007	0,09	0,770018
Error	0,03459	46	0,00075		

Duncan test; variable Υγρασία (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00075, df = 46,000

	Ψάρι	Υγρασία	1	2
1	1	0,791841	****	
2	2	0,874065		****

Duncan test; variable Υγρασία (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00075, df = 46,000

	Χρόνος	Υγρασία	1	2
2	42	0,812344	****	
1	0	0,853563		****

Duncan test; variable Υγρασία (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00075, df = 46,000

	Κρυοπροστατευτικά	Υγρασία	1	2	3
2	1	0,814860	****		
7	6	0,818049	****		
5	4	0,825341	****	****	
3	2	0,826948	****	****	
6	5	0,836874	****	****	****
1	0	0,849345		****	****
4	3	0,859256			****

Απώλεια υγρασίας κατά το μαγείρεμα

Univariate Tests of Significance for Απώλεια υγρασίας (Π1 and Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	11,19514	1	11,19514	1106,195	0,000000
Ψάρι	0,56011	1	0,56011	55,345	0,000000
Χρόνος	0,14656	1	0,14656	14,482	0,000416
Κρυοπροστατευτικά	0,01616	6	0,00269	0,266	0,949903
Πείραμα	0,08831	1	0,08831	8,726	0,004930
Error	0,46554	46	0,01012		

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,01012, df = 46,000

	Ψάρι	Απώλεια υγρασίας	1	2
1	1	0,347106	****	
2	2	0,547127		****

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,01012, df = 46,000

	Χρόνος	Απώλεια υγρασίας	1	2
1	0	0,395958	****	
2	42	0,498275		****

Duncan test; variable Απώλεια υγρασίας (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = ,01012, df = 46,000

	Πείραμα	Απώλεια υγρασίας	1	2
1	1	0,407405	****	
2	2	0,486828		****

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Univariate Tests of Significance for Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1 and Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,119998	1	1,119998	234,1033	0,000000
Ψάρι	0,153161	1	0,153161	32,0139	0,000001
Χρόνος	0,083668	1	0,083668	17,4883	0,000128
Κρυστοπροστατευτικά	0,042196	6	0,007033	1,4700	0,209595
Πείραμα	0,001620	1	0,001620	0,3387	0,563430
Error	0,220073	46	0,004784		

Duncan test; variable Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00478, df = 46,000

	Ψάρι	Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες	1	2
1	1	0,089124	****	
2	2	0,193719		****

Duncan test; variable Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00478, df = 46,000

	Χρόνος	Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες	1	2
2	42	0,102768	****	
1	0	0,180074		****

Χρώμα

Univariate Tests of Significance for Χρώμα (Π1 and Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	239,5565	1	239,5565	103,7333	0,000000
Ψάρι	5,6717	1	5,6717	2,4560	0,123934
Χρόνος	239,5565	1	239,5565	103,7333	0,000000
Κρυσπροστατευτικά	12,4528	6	2,0755	0,8987	0,504023
Πείραμα	0,0652	1	0,0652	0,0282	0,867328
Error	106,2301	46	2,3094		

Duncan test; variable Χρώμα (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,3094, df = 46,000				
	Χρόνος	Χρώμα	1	2
1	0	0,000000	****	
2	42	4,136566		****

Σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Π1 and Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	576,9055	1	576,9055	1393,338	0,000000
Ψάρι	4,7798	1	4,7798	11,544	0,001411
Χρόνος	1,4011	1	1,4011	3,384	0,072289
Κρυσπροστατευτικά	3,7932	6	0,6322	1,527	0,190726
Πείραμα	0,6931	1	0,6931	1,674	0,202190
Error	19,0461	46	0,4140		

Duncan test; variable Σκληρότητα (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,41405, df = 46,000				
	Ψάρι	Σκληρότητα	1	2
2	2	2,917500	****	
1	1	3,501810		****

Συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Π1 and Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	78,51991	1	78,51991	5848,644	0,000000
Ψάρι	0,04394	1	0,04394	3,273	0,076959
Χρόνος	0,04854	1	0,04854	3,616	0,063515
Κρυσταλλοπροστατευτικά	0,14920	6	0,02487	1,852	0,109786
Πείραμα	0,00734	1	0,00734	0,547	0,463439
Error	0,61756	46	0,01343		

Κομμώδες

Univariate Tests of Significance for Κομμώδες (Π1 and Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	809,9913	1	809,9913	1008,674	0,000000
Ψάρι	3,8462	1	3,8462	4,790	0,033747
Χρόνος	3,7207	1	3,7207	4,633	0,036635
Κρυσταλλοπροστατευτικά	11,8014	6	1,9669	2,449	0,038699
Πείραμα	0,6439	1	0,6439	0,802	0,375190
Error	36,9392	46	0,8030		

Duncan test; variable Κομμώδες (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,80303, df = 46,000

	Ψάρι	Κομμώδες	1	2
2	2	3,541101	****	
1	1	4,065246		****

Duncan test; variable Κομμώδες (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,80303, df = 46,000

	Χρόνος	Κομμώδες	1	2
2	42	3,545410	****	
1	0	4,060937		****

Duncan test; variable Κομμιώδες (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,80303, df = 46,000

	Κρυσπροστατευτικά	Κομμιώδες	1	2
5	4	3,490978	****	
7	6	3,501883	****	
4	3	3,560854	****	
2	1	3,593759	****	
3	2	3,721996	****	
1	0	3,866150	****	
6	5	4,886595		****

Ελαστικότητα

Univariate Tests of Significance for Ελαστικότητα (Π1 and Π2) Sigma-restricted
parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	6,381026	1	6,381026	4728,950	0,000000
Ψάρι	0,015296	1	0,015296	11,336	0,001544
Χρόνος	0,089212	1	0,089212	66,115	0,000000
Κρυσπροστατευτικά	0,004644	6	0,000774	0,574	0,749185
Πείραμα	0,003253	1	0,003253	2,410	0,127379
Error	0,062070	46	0,001349		

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00135, df = 46,000

	Ψάρι	Ελαστικότητα	1	2
2	2	0,321033	****	
1	1	0,354087		****

Duncan test; variable Ελαστικότητα (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error:
Between MS = ,00135, df = 46,000

	Χρόνος	Ελαστικότητα	1	2
1	0	0,297647	****	
2	42	0,377473		****

Μασητικότητα

Univariate Tests of Significance for Μασητικότητα (Π1 and Π2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	89,99920	1	89,99920	1086,365	0,000000
Ψάρι	1,30387	1	1,30387	15,739	0,000252
Χρόνος	0,19633	1	0,19633	2,370	0,130553
Κρυσπροστατευτικά	1,13756	6	0,18959	2,289	0,051329
Πείραμα	0,20382	1	0,20382	2,460	0,123610
Error	3,81084	46	0,08284		

Duncan test; variable Μασητικότητα (Π1 and Π2) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,08284, df = 46,000

	Ψάρι	Μασητικότητα	1	2
2	2	1,115137	****	
1	1	1,420315		****

8) Πείραμα 3

Περιεχόμενη υγρασία

Univariate Tests of Significance for Υγρασία (Π3) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	5,987357	1	5,987357	40816,98	0,000000
Χρόνος	0,000675	1	0,000675	4,60	0,121212
Κρυοπροστατευτικά	0,000440	3	0,000147	1,00	0,500000
Error	0,000440	3	0,000147		

Απώλεια υγρασίας

Univariate Tests of Significance for Απώλεια υγρασίας (Π3) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,990491	1	0,990491	138,1769	0,001323
Χρόνος	0,054276	1	0,054276	7,5718	0,070643
Κρυοπροστατευτικά	0,021505	3	0,007168	1,0000	0,500000
Error	0,021505	3	0,007168		

Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες

Univariate Tests of Significance for Εκχυλίσιμες πρωτεΐνες (Π3) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,227383	1	0,227383	114,5039	0,001745
Χρόνος	0,003426	1	0,003426	1,7250	0,280464
Κρυοπροστατευτικά	0,005957	3	0,001986	1,0000	0,500000
Error	0,005957	3	0,001986		