



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας IV: Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών

Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων

Ωσμωτική επεξεργασία για την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων ιχθυερών μακράς διατηρησιμότητας στην ψυκτική αλυσίδα



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σεμένογλου Ιωάννα

Επιβλέπων καθηγητής: Ταούκης Πέτρος

ΑΘΗΝΑ, 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018 υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Πέτρου Ταούκη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. Πέτρο Ταούκη τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, όσο και για την καθοδήγηση και τις γνώσεις που μου παρείχε κατά την εκπόνησή του.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στη διδάκτορα Φανή Τσιρώνη για την καθοδήγηση, την πολύτιμη βοήθεια και την εξαιρετική συνεργασία τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην εκτέλεση πειραμάτων καθόλη τη διάρκεια της εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Δημόπουλο για τη βοήθεια και τις συμβουλές του που συνέβαλλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση των πειραμάτων και της εργασίας.

Ευχαριστώ ακόμα όλα τα μέλη του εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων και τους συμφοιτητές μου για τη συνεργασία μας στο εργαστήριο και για τη βοήθεια τους κατά τη διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την καταλυτική στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη νέων μεθόδων επεξεργασίας των ιχθυηρών για την επιβράδυνση της υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους και για την αύξηση της διατηρησιμότητας τους αποτελεί στόχο για την επιστημονική έρευνα και για τη βιομηχανία τροφίμων. Οι ιχθύες είναι ευαλλοίωτα τρόφιμα κυρίως λόγω της ταχύτατης ανάπτυξης μικροοργανισμών η οποία προκαλεί ποιοτική υποβάθμιση σε σύντομο χρόνο. Προκειμένου να επιτευχθεί επέκταση της διατηρησιμότητας των ιχθυηρών, πολλές από τις εφαρμοζόμενες τεχνικές στοχεύουν στην ελάττωση της ενεργότητας του νερού στη σάρκα των ιχθύων αφού αποτελεί ένα βασικό παράγοντα για τη μικροβιακή ανάπτυξη και κατά συνέπεια για τη διατηρησιμότητα. Μια μέθοδος η οποία μελετάται τις τελευταίες δεκαετίες και φαίνεται να επιτυγχάνει σημαντικά αποτελέσματα είναι η ωσμωτική αφυδάτωση, κατά την εφαρμογή της οποίας χρησιμοποιείται ένα υπερτονικό διάλυμα σακχάρου ή/και άλατος για την εμβάπτιση του τροφίμου και έτσι επιτυγχάνεται απομάκρυνση υγρασίας και πρόσληψη στερεών από το διάλυμα. Η γλυκερόλη αποτελεί ένα ωσμωτικό μέσο ιδιαίτερα αποτελεσματικό όπως αποδεικνύεται από πρόσφατες έρευνες. Για τη βιομηχανία και την επιστημονική έρευνα, κρίσιμος παράγοντας είναι ο χρόνος επεξεργασίας και γίνεται προσπάθεια να επιταχυνθούν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Παραδοσιακά χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό θερμικές μέθοδοι, ωστόσο λόγω της αρνητικής επίδρασής τους στην ποιότητα του τελικού προϊόντος, αναζητούνται νέες μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας. Μια από τις καινοτόμες και πολλά υποσχόμενες τεχνικές είναι η εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η συγκεκριμένη τεχνική έχει μελετηθεί μέχρι σήμερα αποκλειστικά σε δείγματα φρούτων και λαχανικών και υπάρχει έλλειψη δεδομένων σχετικά με την εφαρμογή σε ιχθύες και εν γένει προϊόντα ζωικής προέλευσης. Το λαβράκι αποτελεί ένα είδος που δεν έχει μελετηθεί ούτε ως προς την ωσμωτική αφυδάτωση ούτε ως προς τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, οπότε μια αρχή σε αυτή την έρευνα θα πραγματοποιηθεί μέσα από τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας.

Το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) αποτελεί είδος με μεγάλη διατροφική αξία και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την ευρωπαϊκή και ελληνική αγορά. Οι καταναλωτικές τάσεις των τελευταίων χρόνων, δείχνουν στροφή προς νωπά και όσο το δυνατόν πιο έτοιμα προς κατανάλωση ιχθυηρά τα οποία όμως πρέπει να διατηρούν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Ένα τέτοιο προϊόν το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι τα νωπά φιλέτα λαβρακιού.

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της ωσμωτικής επεξεργασίας στην ποιότητα των φιλέτων λαβρακιού καθώς και ο συνδυασμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, σε σύγκριση με τα μη προκατεργασμένα φιλέτα. Στο πρώτο μέρος της εργασίας παρασκευάστηκαν ωσμωτικά διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων σε γλυκερόλη (40, 50 και 60% σε γλυκερόλη) και 5% NaCl, σε θερμοκρασία 15°C και για χρόνους 10-240 min. Από τα αποτελέσματα επιλέχθηκε ως βέλτιστη συνθήκη το διάλυμα 50% γλυκερόλης και για χρόνο 40 min. Σε αυτά τα δείγματα πραγματοποιήθηκε μελέτη και εξαγωγή μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης της υποβάθμισης των αντικειμενικών δεικτών ποιότητας (μικροβιολογική ανάπτυξη, pH, ανάλυση υφής, απώλεια υγρών) και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των νωπών φιλέτων με το χρόνο. Στο δεύτερο μέρος εφαρμόστηκε η τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων για πεδίο έντασης 1,7 kV/cm, εύρος παλμού 15 μs, συχνότητα 20 Hz, και για 250, 500, 750

και 1000 παλμούς. Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της επεξεργασίας με ΠΗΠ στη σκληρότητα και την εμφάνιση των δειγμάτων επιλέχθηκαν οι 750 παλμοί ως συνθήκη προκατεργασίας πριν την ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα 50% σε γλυκερόλη και 5% σε αλάτι, σε θερμοκρασία 15°C και για χρόνους 10-240 min.

Από το πρώτο μέρος της εργασίας προσδιορίστηκε η επίδραση που έχουν οι συνθήκες της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην αποτελεσματικότητα της διεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξανόταν ο χρόνος επεξεργασίας και όσο πιο πυκνό ήταν το διάλυμα σε γλυκερόλη, αυξήθηκε η απώλεια υγρασίας και η πρόσληψη στερεών και προκλήθηκε μεγαλύτερη μείωση της ενεργότητας νερού. Η αλατότητα των δειγμάτων αυξήθηκε με το χρόνο επεξεργασίας, αλλά οι τιμές ήταν μεγαλύτερες όσο μικρότερη η περιεκτικότητα σε γλυκερόλη. Όλες οι εξεταζόμενες μεταβλητές μεταβάλλονται με παρόμοιο τρόπο με το χρόνο αφυδάτωσης, δηλαδή ταχύτατα κατά την πρώτη ώρα επεξεργασίας και στη συνέχεια με μειούμενο ρυθμό καθώς το σύστημα τροφίμου – διαλύματος πλησίαζε προς την ισορροπία. Από την εφαρμογή του 2^{ου} νόμου του Fick προσδιορίστηκαν οι συντελεστές διάχυσης του νερού που βρέθηκαν ίσοι με $1,90 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,77 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $3,62 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ για διαλύματα 40%, 50% και 60% σε γλυκερόλη αντίστοιχα, ενώ οι τιμές για τα στερεά ήταν $1,82 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,50 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $4,12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Από τους ποιοτικούς δείκτες που μελετήθηκαν, η υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και η αύξηση της απώλειας υγρών προσαρμόστηκαν σε γραμμικές εξισώσεις, ενώ η μικροβιακή ανάπτυξη προσαρμόστηκε στο μοντέλο Baranyi. Έτσι, υπολογίστηκαν οι ρυθμοί μεταβολής για κάθε συνθήκη. Σε κάθε μία από αυτές τις μελετώμενες παραμέτρους προσδιορίστηκε η μεταβολή του ρυθμού με τη θερμοκρασία συντήρησης εφαρμόζοντας την εξίσωση Arrhenius. Αναφορικά με τη μεταβολή του pH, παρατηρήθηκε αρχικά μείωση στην τιμή του και στη συνέχεια η τιμή αυξήθηκε. Όσον αφορά τις παραμέτρους υφής των φιλέτων, δεν παρατηρήθηκε σαφής τάση για τη μεταβολή τους συναρτήσει των συνθηκών επεξεργασίας και συντήρησης.

Όσον αφορά τη μικροβιολογική ανάλυση, οι ψευδομονάδες αποτέλεσαν το βασικό αλλοιογόνο μικροοργανισμό. Τα αποτελέσματα έδειξαν τη θετική επίδραση που έχει η ωσμωτική αφυδάτωση και η εφαρμογή χαμηλότερης θερμοκρασίας συντήρησης στην επιβράδυνση της μικροβιακής ανάπτυξης. Εξαίρεση αποτέλεσαν τα εντεροβακτήρια για τα οποία δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ επεξεργασμένων και μη φιλέτων λαβρακιού. Ο χρόνος ζωής των τροφίμων προσδιορίζεται τις περισσότερες φορές με βάση το φορτίο των ψευδομονάδων που τίθεται ως όριο αποδοχής το $6 \log(\text{CFU})/\text{g}$.

Στην οργανοληπτική εξέταση αξιολογήθηκαν η οσμή, η εμφάνιση και η συνολική εντύπωση σε νωπά φιλέτα τα οποία αποτελούν τα πρώτα χαρακτηριστικά που αξιολογεί ο καταναλωτής. Ο δείκτης της οργανοληπτικής αξιολόγησης είναι υποκειμενικός αλλά είναι εξίσου σημαντικός με τους υπόλοιπους ποιοτικούς δείκτες που περιγράφουν την αλλοίωση των τροφίμων. Επιπλέον, από την υποβάθμιση της συνολικής εντύπωσης προσδιορίστηκε ο οργανοληπτικός χρόνος ζωής.

Τέλος, τα αποτελέσματα για την απώλεια υγρών ήταν σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των προηγούμενων ποιοτικών παραμέτρων, δηλαδή καταγράφηκε η θετική επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της χαμηλότερης θερμοκρασίας συντήρησης στην καλύτερη συγκράτηση των υγρών στη σάρκα των ιχθύων.

Η διατηρησιμότητα των φιλέτων προσδιορίστηκε με βάση τους δύο δείκτες που αναφέρθηκαν παραπάνω (μικροβιακή ανάπτυξη και οργανοληπτική εξέταση) με βάση το μικρότερο από τους δύο χρόνους. Σε όλες τις μελετώμενες συνθήκες η απόρριψη των δειγμάτων προσδιορίστηκε από τη μικροβιακή ανάπτυξη. Οι χρόνοι ζωής ήταν 12, 6 και 3 ημέρες για τα ανεπεξέργαστα δείγματα στους 0°C, 5°C και 10°C αντίστοιχα και για τα ωσμωνικά προκατεργασμένα δείγματα ήταν 17, 10 και 6 ημέρες.

Από την παραγοντική ανάλυση κύριων συνιστωσών προέκυψε έντονη συσχέτιση μεταξύ της οσμής, της εμφάνισης και της γενικής εντύπωσης των νωπών φιλέτων και μεταξύ των τριών ειδών μικροοργανισμών που εξετάστηκαν, του ολικού μικροβιακού φορτίου, των ψευδομονάδων και των εντεροβακτηρίων. Επίσης, παρατηρήθηκε και έντονη συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των ψευδομονάδων και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.

Όσον αφορά την τριγωνική δοκιμή, τόσο στα νωπά όσο και στα μαγειρεμένα δείγματα, οι δοκιμαστές ξεχώρισαν επιτυχώς το διαφορετικό δείγμα. Ωστόσο, η δοκιμή αρέσκειας, δεν έδειξε προτίμηση των δοκιμαστών για το επεξεργασμένο ή μη δείγμα ούτε για τα νωπά ούτε για τα μαγειρεμένα φιλέτα λαβρακιού.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, προσδιορίστηκε η επίδραση της συνεργιστικής δράσης του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου στην ωσμωνική αφυδάτωση των φιλέτων λαβρακιού. Τα αποτελέσματα από τη μελέτη των παραμέτρων της αφυδάτωσης έδωσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα ωσμωνικά δείγματα σε ίδιας συγκέντρωσης διάλυμα (50% γλυκερόλη), ενώ δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα ωσμωνικά δείγματα σε ωσμωνικό διάλυμα σε 60% γλυκερόλη.

Τα αποτελέσματα της μελέτης οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι τα ωσμωνικά επεξεργασμένα φιλέτα λαβρακιού είναι προϊόντα υψηλής ποιότητας, με μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την αποθήκευση και με μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Επίσης, η συνδυαστική δράση με εναλλακτικές επεξεργασίες όπως τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία επιταχύνει τη μεταφορά μάζας κατά την ωσμωνική επεξεργασία των φιλέτων ψαριού. Βέβαια, ειδικά όσον αφορά την τεχνολογία των ΠΗΠ είναι απαραίτητη σε επόμενο στάδιο η μελέτη της ποιοτικής υποβάθμισης όπως στα ωσμωνικά προκατεργασμένα δείγματα και της επίδρασης αυτής της τεχνικής στον ιστό των ιχθύων. Επιπλέον, πέρα από τους αλλοιογόνους μικροοργανισμούς οι οποίοι προσδιορίστηκαν στην παρούσα εργασία, σημαντική είναι και η έρευνα για τους παθογόνους μικροοργανισμούς (π.χ *Vibrio* spp. και *Listeria* spp.). Ως προς την ωσμωνική αφυδάτωση, παρουσιάζει αρκετές δυνατότητες περαιτέρω έρευνας ως μοναδική διεργασία ή σε συνδυασμό με κάποια από τις νέες μη θερμικές μεθόδους (υπερυψηλή πίεση, χρήση υπερήχων, χρήση κενού) σχετικά με τους ιχθύες και τα ιχθυηρά γενικότερα και γύρω από την αξιοποίηση της γλυκερόλης. Τέλος τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία είναι μια πρόσφατη μέθοδος η οποία πρέπει να αξιοποιηθεί για ερευνητικούς σκοπούς αφού μέχρι σήμερα οι αναφορές σε αυτά είναι λίγες και αφορούν ένα μικρό μέρος των τροφίμων (φρούτα και λαχανικά).

Development of innovative chilled fish products of extended shelf life by osmotic dehydration

Development of new methods for fish processing to slow the degradation of their quality characteristics and to improve their sustainability is an objective of scientific research and food industry. Fish is perishable food due to microbial growth that results in quality degradation in a very short time. In order to inhibit fish spoilage during storage, processing methods aim at reducing the water activity in fish flesh, which is a key factor for microbial growth. A new method that has been developed over the last few decades and achieve significant results is osmotic dehydration in which a hypertonic sugar and/or salt solution is used for moisture removal and solid gain. Glycerol is a component of these solutions, quite effective. For industry as well as for scientific research, processing time is very important factor and so attempts are made to accelerate mass transfer during osmotic process. Thermal methods are traditionally used for this purpose, however novel non-thermal techniques have been developed, due to the negative effect of thermal energy on the quality of the final product. One of the most promising techniques is the application of pulsed electric fields (PEF) as a pretreatment of osmotic dehydration. This technique has been studied so far only on plant tissues (i.e. fruits and vegetables), so there is a lack of available data on PEF application on fish products. European sea bass is a Mediterranean species of high commercial value, especially fillets which exhibit significantly short shelf life. Up to now, this product has not been studied either in terms of osmotic pretreatment or pulsed electric fields application, so a beginning in this research will be realized through the results of this work.

Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) is one of the most cultured species in the Mediterranean area with high nutritional value and plays an important role for the European and Greek market since the production of this species in Greek aquaculture covers a large proportion of the sea bass requirements worldwide. Consumers tendencies over the last few years have shown the market requirements for fresh and convenient, ready-to-cook or ready-to-eat products which retain their high quality and sensory characteristics for longer times.

The aim of diploma thesis is to study the transfer phenomena taking place during osmotic dehydration (OD) in sea bass fillets and to describe the quality of osmotically dehydrated fillets compared to untreated samples. OD was applied individually and in combination with pulsed electric field (PEF). In the first part of the study, the effect of osmotic pretreatment on mass transfer was investigated using three different osmotic solutions. The composition of the solutions was 40, 50 and 60% glycerol, 5% sodium chloride (w/w) and distilled water and the ratio of solution's weight to food was 5:1. OD processing was monitored up to 240 min at 15°C which is a representative temperature in fish processing plants. Taking into consideration both the results of osmotic dehydration and the treatment duration, the optimal processing conditions were selected to examine the effect of OD on quality parameters and stability of sea bass fillets. Selected processing conditions were 50% glycerol and 5% NaCl for the osmotic solution and 40 min for processing time at 15°C. Pretreated and untreated samples were stored at isothermal conditions (0°C, 5°C and 10°C). The studied quality parameters of fish fillets were microbial load, pH, texture, drip loss and organoleptic characteristics. In the second part of the study, the combined effect of PEF and OD was investigated as a pretreatment and the mass transfer was kinetically studied. Sea bass fillets were treated with pulsed electric field of 1,7 kV/cm intensity, 15 µs pulse width and 250,

500, 750 and 1000 pulses. Hardness of fish fillets was instrumentally determined and organoleptic properties were evaluated and 750 pulses were selected as most effective pretreatment for osmotic dehydration (osmotic solution: 50% glycerol and 5% NaCl, processing time: 10-240 min).

Fish parameters that were monitored during osmotic pretreatment were water loss (WL), solid gain (SG), water activity (a_w) and salt content. Increase in processing time and glycerol concentration resulted in increased water loss and solid gain and decreased water activity. Salt content increased with processing time and decreased with glycerol concentration. This is due to the formation of a glycerol film on surface of the sea bass fillets which is denser as the concentration of glycerol increase in the osmotic solution and as a result it reduces transfer of salt into fish fillets. The diffusion coefficients for water (D_{ew}) and solids (D_{es}) were calculated by applying Fick's 2nd law by which a significant increase in mass transfer phenomena were observed with osmotic dehydration ($p < 0.05$). D_{ew} was determined as $1,90 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,77 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ and $3,62 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ for 40%, 50% και 60% glycerol, and D_{es} values were $1,82 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,50 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $4,12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, respectively.

The next step was the evaluation of OD and untreated fish quality during storage by means of microbiological growth, drip loss, pH, texture and sensory parameters. Drip loss and sensory scoring during storage was described using zero order kinetics and microbiological growth with Barany's model. The results of microbial growth confirmed that *Pseudomonas* spp. dominated spoilage since their growth is similar to total viable count. Osmotic pretreatment and lower storage temperatures led to significantly lower microbial growth rates ($p < 0.05$).

Appearance, odour and overall impression of fresh OD and untreated fillets was investigated by sensory analysis. These sensory characteristics are the major factors to attract consumers of fresh fish fillets. OD sea bass samples exhibited significantly lower rates of sensory degradation ($p < 0.05$). Comparing odour and appearance changes, degradation's rates of odour were higher in all conditions.

Drip loss values increased with storage time and temperature and decreased with osmotic treatment. Observed differences were statistically significant ($p < 0.05$). Drip loss of sea bass fillets is explained by degradation of proteins due to lower ability to retain water in tissues.

Another factor which indicates degradation of sea bass fillets is pH because it depends on microbial growth. pH value was initially 6,4 for both treated and untreated fillets and a decrease was observed the first days due to lactic acid production after fishing. Then, increase of pH was observed due to metabolic products of spoilage microorganisms. Concerning texture analysis of osmotically treated and untreated sea bass fillets, none of hardness, elasticity, adhesiveness and cohesiveness showed significant modifications and thus the obtained data were not mathematically modelled.

Based on the developed kinetic models, the shelf life of chilled sea bass fillets was determined. At all studied temperatures and treatments, shelf life was determined based on both *Pseudomonas* spp. load and overall impression. The lower limit of acceptability is a score of 5 for overall impression and coincided with a *Pseudomonas* spp. load of 6 log (CFU)/g at all storage temperatures. Based on these, the shelf life was 12, 6 and 3 days for the untreated samples at 0°C, 5°C and 10°C respectively, and 17, 10 and 6 days for OD fillets.

At the end of the first part of this study, sensory evaluation of OD and untreated fillets both in fresh and cooked samples was carried out. In both cases (fresh and cooked sea bass) panelists correctly indicated the osmotically pretreated sample between the untreated fillets ($p < 0.05$). For the fresh fillets, the panelists noticed darker colour and the higher cohesiveness in OD fish and for the cooked samples, the most important difference was increased sweetness for OD samples.

Within the second part of the study, the synergistic effect of pulsed electric fields and osmotic dehydration on mass transfer phenomena was demonstrated. The results from the study of dehydration parameters gave statistically significant differences ($p < 0.05$) compared to the osmotically treated samples in the same concentration solution (50% glycerol), while no significant differences were found with respect to the samples at 60% glycerol concentration. The D_{ew} coefficient was calculated as $4,03 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ and the D_{es} value was $4,14 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

In conclusion, the OD seabass fillets are high quality products with greater storage stability and longer shelf life compared to Control (untreated) samples. In addition, the combination of osmotic dehydration with pulsed electric field can enhance mass transfer phenomena during dehydration. Despite these results, PEF technology is necessary to further be investigated, considering the quality characteristics of the treated fish fillets during refrigerated storage. PEF application should be expanded on more foods because until now, there are only few references on fruits and vegetables. Moreover, the effect of nonthermal processing methods, such as OD and PEF should be studied for their effect on pathogens growth. Osmotic dehydration has several aspects for further research as a single process or in combination with novel nonthermal processing methods (e.g. high pressure, ultrasonication) for fish and fish products and around the use of glycerol and other alternative osmotic media.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1° ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
ΛΑΒΡΑΚΙ (<i>Dicentrarchus labrax</i>): ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ, ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Μορφολογία και βιολογικά χαρακτηριστικά	7
1.2.1 Μορφολογία λαβρακιού	7
1.2.2 Υγρασία	8
1.2.3 Πρωτεΐνες	9
1.2.4 Άλλες αζωτούχες ενώσεις	9
1.2.5 Υδατάνθρακες	10
1.2.6 Λίπη	10
1.2.7 Ανόργανα στοιχεία	10
1.2.8 Βιταμίνες	11
1.3 Μεταθανάτιες αλλαγές ιχθύων	11
1.4 Αλλοιώσεις ιχθύων	12
1.4.1 Μικροβιακή αλλοίωση ιχθύων	12
1.4.2 Οξειδωση λιπών	14
1.4.3 Μεταβολή φυσικών χαρακτηριστικών	14
1.4.4 Μεταβολή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	15
1.5 Επεξεργασία και συντήρηση ιχθύων	15
1.5.1 Συντήρηση υπό ψύξη, κατάψυξη και υπέρψυξη	15
1.5.2 Άλλες παραδοσιακές τεχνικές επεξεργασίας και συντήρησης	16
1.5.3 Ωσμωτική αφυδάτωση ιχθύων	16
1.5.4 Τεχνολογία εμποδίων	17
2° ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΙΧΘΥΗΡΩΝ	19
2.1 Εισαγωγή	19

2.2 Γενικές πληροφορίες για τις υδατοκαλλιέργειες	19
2.3 Παραγωγικά στάδια σε μια τυπική μονάδα υδατοκαλλιέργειας	20
2.4 Επεξεργασία και συσκευασία ιχθύων	22
2.5 Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργειών	24
2.6 Οι υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα	26
2.7 Ιχθυοκαλλιέργειες λαβρακιού	28
2.8 Κατανάλωση ιχθυηρών	29
3° ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΧΘΥΗΡΩΝ	33
3.1 Εισαγωγή	33
3.2 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης	34
3.3 Παράμετροι διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης	36
3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης	39
3.5 Ωσμωτική αφυδάτωση ιχθυηρών	41
3.6 Διεργασίες συνεργιστικές στην ωσμωτική αφυδάτωση	42
3.7 Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία	44
3.7.1 Αρχή λειτουργίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων	44
3.7.2 Εξοπλισμός συστήματος παλμικών ηλεκτρικών πεδίων	44
3.7.3 Παράμετροι διεργασίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων	48
3.7.4 Επίδραση της τεχνολογίας ΠΗΠ στην κυτταρική μεμβράνη	50
3.7.5 Επεξεργασία ιχθύων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία	52
3.8 Τεχνολογία ΠΗΠ ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης	52
4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	55
4.1 Εισαγωγή	55
4.2 Πειραματικός Σχεδιασμός	56
4.3 Πειραματική Διαδικασία	57

4.3.1 Παραλαβή και ωσμωτική προκατεργασία ιχθυηρών	57
4.3.2 Συντήρηση υπό ψύξη	58
4.4 Αναλυτικές μέθοδοι	58
4.4.1 Μέτρηση παραμέτρων κατά την ωσμωτική διεργασία	58
4.4.1.1 Προσδιορισμός περιεχόμενου νερού και ολικών στερεών	58
4.4.1.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού	58
4.4.3 Προσδιορισμός αλατότητας	59
4.4.2 Μέτρηση παραμέτρων ποιότητας ιχθυηρών	59
4.4.2.1 Μικροβιακή ανάλυση	59
4.4.2.2 Απώλεια υγρών (Drip loss)	62
4.4.2.3 Μέτρηση pH	62
4.4.2.4 Ανάλυση Υφής	63
4.4.2.5 Οργανοληπτικός έλεγχος	64
4.5 Εφαρμογή παλμικού ηλεκτρικού πεδίου	65
4.6 Επεξεργασία αποτελεσμάτων	66
4.6.1 Υπολογισμός παραμέτρων της ωσμωτικής προκατεργασίας	66
4.6.2 Κινητικά μοντέλα ποιοτικής υποβάθμισης ιχθύων	67
4.6.3 Στατιστική επεξεργασία	68
5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	69
5.1 Εισαγωγή	69
5.2 Χημική σύσταση λαβρακιού και βιοχημικές παράμετροι αξιολόγησης νωπών φιλέτων	69
5.3 Κινητική μελέτη ωσμωτικής προκατεργασίας φιλέτων λαβρακιού	70
5.4 Επίδραση του χρόνου ωσμωτικής προκατεργασίας στην ποιότητα και τη διατηρησιμότητα των φιλέτων λαβρακιού	75
5.4.1 Ανάπτυξη αλλοιογόνου μικροχλωρίδας	76
5.4.2 Απώλειες υγρού (Drip loss)	85
5.4.3 Μεταβολές του pH	87
5.4.4 Ανάλυση υφής	89

5.4.5 Οργανοληπτικός έλεγχος	91
5.4.6 Προσδιορισμός χρόνου ζωής	99
5.5 Οργανοληπτική εξέταση ωσμωνμένων και μη φιλέτων	102
5.6 Παραγοντική ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA)	103
5.7 Κινητική μελέτη του συνδυασμού εφαρμογής παλμικού ηλεκτρικού πεδίου και ωσμωτικής προκατεργασίας	104
6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	129

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ιχθυηρά αποτελούν σημαντικό κομμάτι στη διατροφή των ανθρώπων λόγω της υψηλής διατροφικής τους αξίας (μεγάλη περιεκτικότητα σε ζωικές πρωτεΐνες και καλές πηγές καλών λιπαρών, βιταμινών και ιχνοστοιχείων). Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν αυξηθεί οι ετήσιες ποσότητες παραγωγής ιχθυηρών υδατοκαλλιέργειας ξεπερνώντας τα αντίστοιχα επίπεδα παραγωγής από την ελεύθερη αλιεία προκειμένου να καλύψουν τις απαιτήσεις της αγοράς. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια οι καταναλωτές έχουν στραφεί στην αναζήτηση προϊόντων όσο το δυνατόν πιο έτοιμα για κατανάλωση. Γι' αυτό το σκοπό εφαρμόζονται όλο και περισσότερο διάφορα στάδια επεξεργασίας μετά την αλίευση και πριν την τελική διάθεση όπως η αφαίμαξη, ο εκσπλαχνισμός, η απολέπιση, η απομάκρυνση του δέρματος και η φιλετοποίηση.

Η περιορισμένη διατηρησιμότητα που χαρακτηρίζει τους ιχθύες οφείλεται σε διάφορες μεταθανάτιες αλλοιώσεις όπως μικροβιολογικές, χημικές και φυσικές μεταβολές. Η μικροβιακή ανάπτυξη αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα αλλοίωσης λόγω της ευκολίας επιμόλυνσης των συγκεκριμένων ειδών και λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά και υγρασία που το καθιστούν ιδανικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη των αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Από τις χημικές αλλοιώσεις, η σημαντικότερη είναι η οξειδωση των λιπαρών λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των περισσότερων ειδών σε λιπαρά, αν και το λαβράκι χαρακτηρίζεται από μικρή λιποπεριεκτικότητα. Τέλος, οι μεταβολές των φυσικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα ψάρια είναι εξίσου σημαντικές με τις υπόλοιπες αφού αυτά είναι τα πρώτα χαρακτηριστικά τα οποία αξιολογεί ο καταναλωτής και κρίνουν την αποδεκτότητα ή μη των προϊόντων. Τα φιλέτα ιχθύων έχουν ακόμα πιο μικρό χρόνο ζωής σε σχέση με τα ολόκληρα ψάρια αφού έχουν υποστεί διάφορα στάδια επεξεργασίας όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα οποία μπορεί να δημιουργήσουν μικροβιολογικό, χημικό ή φυσικό κίνδυνο για το τρόφιμο.

Το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) κατατάσσεται στα μεσογειακά είδη ιχθύων και αποτελεί ένα προϊόν με αξιόλογο εμπορικό ενδιαφέρον. Το φιλέτο παρουσιάζει σημαντική ζήτηση τα τελευταία χρόνια αλλά χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα περιορισμένο χρόνο ζωής όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Η Ελλάδα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή του αφού είναι η δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγός χώρα στον κόσμο με ποσοστό συνεισφοράς 30% και κατέχει τη μεγαλύτερη παραγωγή μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών. Η παραγωγή του εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου και στις Ανατολικές ακτές του Ατλαντικού ωκεανού.

Η βιομηχανία έχει στραφεί στην αναζήτηση παραγωγής νέων προϊόντων με αυξημένη διάρκεια ζωής και σταθερότητα κατά την επεξεργασία και αποθήκευσή τους, τα οποία όμως να χαρακτηρίζονται και από βελτιωμένα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Επομένως, η έρευνα έχει στραφεί σε αναζήτηση νέων τεχνολογιών επεξεργασίας και συντήρησης. Μια κατηγορία τεχνικών οι οποίες εφαρμόζονται εδώ και αρκετά χρόνια, αποσκοπούν στην ελάττωση της υγρασίας των τροφίμων. Μια πολλά υποσχόμενη τεχνική η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τις τελευταίες δεκαετίες και φαίνεται να αναστέλλει τις αλλοιογόνες δράσεις χωρίς σημαντική επίδραση στα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, είναι η ωσμωτική αφυδάτωση.

Το λαβράκι αποτελεί ένα ιχθυηρό για το οποίο δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης και επομένως δεν έχουν προσδιοριστεί ούτε τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά τη διεργασία, ούτε η επίδραση της επεξεργασίας στα ποιοτικά του χαρακτηριστικά. Για την επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας, εκτός από τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων της ωσμωτικής διεργασίας, θα μπορούσε η ωσμωτική αφυδάτωση να συνδυαστεί με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας, θερμικές ή μη. Λόγω των ανεπιθύμητων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στα τρόφιμα με την εφαρμογή θερμικών μεθόδων επεξεργασίας, οι έρευνες έχουν στραφεί προς νέες μη θερμικές μεθόδους που δεν επιφέρουν σημαντικές μεταβολές στα οργανοληπτικά, ποιοτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά των τροφίμων. Μία από αυτές τις μη θερμικές μεθόδους είναι τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η επίδραση των οποίων ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας. Ο συνδυασμός των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση έχει ξεκινήσει να μελετάται σε φρούτα και λαχανικά αλλά δεν υπάρχουν δεδομένα για την εφαρμογή του σε ζωικούς ιστούς όπως είναι το λαβράκι.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, στο πρώτο μέρος μελετήθηκε η ποιοτική και ποσοτική περιγραφή των μεταβολών που επέρχονται σε φιλέτα λαβρακιού τα οποία είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με εναλλακτικά ωσμωτικά μέσα και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Πιο συγκεκριμένα, αξιολογήθηκε ως κύριο συστατικό του ωσμωτικού διαλύματος η γλυκερόλη για την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων των ωσμωμένων προϊόντων ως προς τη διάρκεια ζωής και τη σταθερότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά τη συντήρηση υπό ψύξη. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας μελετήθηκε η επίδραση της προκατεργασίας των φιλέτων λαβρακιού με παλμικά ηλεκτρικά πεδία πριν την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιδρά στη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης των ιστών του τροφίμου και αναμένεται να αυξήσει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την αφυδάτωση οδηγώντας σε μείωση του χρόνου επεξεργασίας. Για την επιβεβαίωση αυτής της θεωρίας, τα αποτελέσματα από τα δείγματα των φιλέτων που προεπεξεργάστηκαν με παλμικά ηλεκτρικά πεδία συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα δείγματα των δειγμάτων που υπέστησαν μόνο ωσμωτική αφυδάτωση.

Στην πρώτη ενότητα της εργασίας, φιλέτα λαβρακιού τεμαχίστηκαν και τέθηκαν σε διαφορετικές συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά διαλύματα με συγκεντρώσεις 40%, 50% και 60% περιεκτικότητα σε γλυκερόλη και 5% σε αλάτι και η θερμοκρασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης επιλέχθηκε στους 15°C. Η αναλογία διαλύματος προς τρόφιμο ήταν 1:5 και οι χρόνοι μελέτης της αφυδάτωσης στους οποίους ελήφθησαν δείγματα και προσδιορίστηκαν οι παράμετροι της ώσμωσης ήταν τα 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 150, 180 και 240 min. Σε κάθε περίπτωση υπολογίστηκαν η απώλεια υγρασίας, η πρόσληψη στερεών, η ενεργότητα νερού και η περιεκτικότητα σε αλάτι. Επίσης, προσδιορίστηκαν οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας (D_{ew}) και των στερεών (D_{es}) με εφαρμογή του 2^{ου} νόμου του Fick. Επιπλέον, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν και σε συνδυασμό με οργανοληπτική αξιολόγηση, επιλέχθηκε ως βέλτιστη συνθήκη τα 40 min για διάλυμα συγκέντρωσης 50% σε γλυκερόλη. Για αυτές της συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης, μελετήθηκε η ποιοτική υποβάθμιση των φιλέτων λαβρακιού μέσω προσδιορισμού διαφορετικών αντικειμενικών και υποκειμενικών δεικτών. Οι ποιοτικές μεταβολές οι οποίες εξετάστηκαν ήταν η ανάπτυξη του ολικού μικροβιακού φορτίου, των ψευδομονάδων και των εντεροβακτηρίων, το pH, η απώλεια υγρών, η ανάλυση υφής και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά σε νωπά φιλέτα. Η αξιολόγηση της ποιοτικής υποβάθμισης

πραγματοποιήθηκε για ωσμωτικά αφυδατωμένα και μη δείγματα τα οποία συντηρήθηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (0°C, 5°C και 10°C). Επιπλέον, για την επιλεγμένη συνθήκη ώσμωσης πραγματοποιήθηκε οργανοληπτικός έλεγχος τριγωνικής δοκιμής και δοκιμής αρέσκειας σε νωπά και ψημένα δείγματα για 15 min στους 180°C.

Στη δεύτερη ενότητα, τα φιλέτα λαβρακιού τεμαχίστηκαν και τέθηκαν σε διεργασία παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) για διαφορετικό αριθμό εφαρμοζόμενων παλμών (250, 500, 750 και 1000 παλμούς). Οι υπόλοιπες συνθήκες της διεργασίας ήταν ένταση ηλεκτρικού πεδίου 1,7 kV/cm, εύρος παλμού 15 μs και συχνότητα 20 Hz. Ως βέλτιστη συνθήκη με βάση δοκιμές σκληρότητας και οργανοληπτικής αξιολόγησης των νωπών φιλέτων μετά την επεξεργασία με ΠΗΠ, επιλέχθηκε η συνθήκη των 750 παλμών. Στη συνέχεια, για αυτές τις συνθήκες ακολούθησε ωσμωτική αφυδάτωση σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για χρόνο επεξεργασίας 10-240 min όπως και στο πρώτο μέρος της εργασίας

Κατά την παραλαβή των φιλέτων λαβρακιού στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός διαφόρων βιοχημικών παραμέτρων για να αξιολογηθεί στη συνέχεια η αποτελεσματικότητα της ωσμωτικής προκατεργασίας. Η υγρασία των φιλέτων αποτελεί περίπου το 70% της σύστασης των ιχθύων και χαρακτηρίζεται από ενεργότητα νερού ίση με 0,99 καθιστώντας το τρόφιμο ιδανικό υπόστρωμα για ανάπτυξη μικροοργανισμών. Από την εφαρμογή της ωσμωτικής επεξεργασίας στις τρεις συνθήκες προέκυψε απώλεια υγρασίας η οποία ήταν αρκετά έντονη τα πρώτα 40 min και στη συνέχεια το φαινόμενο εξελίχθηκε με μειούμενο ρυθμό και έτεινε να σταθεροποιηθεί μετά από 3 ώρες. Όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση του διαλύματος σε γλυκερόλη, τόσο μεγαλύτερη ήταν η απώλεια υγρασίας για τους ίδιους χρόνους επεξεργασίας. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα από την πρόσληψη στερεών, τόσο ως προς την εξέλιξη του φαινομένου με το χρόνο όσο και ως προς την επίδραση της συγκέντρωσης του διαλύματος στην ταχύτερη εξέλιξη. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε αλάτι, τα λαβράκια περιέχουν αρχικά κατά μέσο όρο 0,32% αλάτι στη σάρκα τους. Λόγω της παρουσίας αλατιού στο ωσμωτικό διάλυμα, η τιμή αλατότητας μεταβάλλεται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση αφού ποσότητα αλατιού μεταφέρεται από το διάλυμα προς το δείγμα. Τα αποτελέσματα αυτής της παραμέτρου διαφοροποιήθηκαν από τις προηγούμενες λόγω του γεγονότος ότι μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αλάτι εμφάνισαν τα δείγματα που επεξεργάστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση γλυκερόλης. Αυτό οφείλεται στο σχηματισμό ενός υμένα ωσμωτικού μέσου στην επιφάνεια του φιλέτου ο οποίος είναι πιο συμπαγής όσο πιο πυκνό είναι το ωσμωτικό διάλυμα και επομένως παρεμποδίζει σε μεγαλύτερο βαθμό την προσρόφηση του αλατιού στο εσωτερικό του λαβρακιού. Σημαντική παράμετρος που μελετήθηκε κατά την ωσμωτική αφυδάτωση ήταν η ενεργότητα του νερού η οποία έφτασε σε επίπεδα 0,93, 0,91 και 0,90 ύστερα από 40min επεξεργασίας σε διαλύματα 40%, 50% και 60% σε γλυκερόλη αντίστοιχα, ενώ στο τέλος των 4 ωρών έφτασε σε επίπεδα 0,87, 0,83 και 0,82 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ικανοποιητικά καθώς για τιμές ενεργότητας νερού μικρότερες του 0,95 αναστέλλεται η ανάπτυξη των *Pseudomonas* spp.. Το τελευταίο βήμα στην αξιολόγηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις τρεις συγκεντρώσεις διαλύματος ήταν ο υπολογισμός των συντελεστών διάχυσης για την απομάκρυνση υγρασίας και την πρόσληψη στερεών που επιβεβαίωσαν τα παραπάνω αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα για την απομάκρυνση του νερού ήταν $1,90 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,77 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $3,62 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ για ωσμωτική επεξεργασία σε διαλύματα 40%, 50% και 60% σε γλυκερόλη αντίστοιχα, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για την πρόσληψη στερεών ήταν $1,82 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,50 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $4,12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Από το σύνολο των παραπάνω αποτελεσμάτων για την εξέλιξη της ωσμωτικής επεξεργασίας στις τρεις εξεταζόμενες συνθήκες, επιλέχθηκε η βέλτιστη συνθήκη για τη μελέτη της διατηρησιμότητας και της μεταβολής των ποιοτικών δεικτών κατά την αποθήκευση των φιλέτων λαβρακιού υπό ψύξη. Κριτήριο για την επιλογή ήταν εκτός από τα καλά αποτελέσματα αφυδάτωσης και ο χρόνος επεξεργασίας ο οποίος δεν μπορεί να είναι υπερβολικά μεγάλος. Οι ποιοτικοί δείκτες που εξετάστηκαν για αυτές τις συνθήκες ώσμωσης των φιλέτων για τα επεξεργασμένα και μη φιλέτα ήταν η μικροβιακή ανάπτυξη, η απώλεια υγρών, η ανάλυση υφής, το pH και η οργανοληπτική δοκιμή νωπών δειγμάτων.

Αναφορικά με τη μικροβιολογική ανάλυση μελετήθηκαν αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί και πιο συγκεκριμένα το ολικό μικροβιακό φορτίο, οι ψευδομονάδες και τα εντεροβακτήρια. Οι αρχικές τιμές για αυτά τα τρία είδη ήταν $3,1 \log(\text{CFU})/\text{g}$ για την ολική μικροβιακή χλωρίδα στα επεξεργασμένα και μη φιλέτα, για τις ψευδομονάδες ήταν κάτω από το ανιχνεύσιμο όριο ($<2 \log(\text{CFU})/\text{g}$) και για τις δύο μεθόδους προκατεργασίας, ενώ διαφορές παρατηρήθηκαν ως προς τα εντεροβακτήρια αφού στα μη επεξεργασμένα δείγματα η τιμή ήταν $2 \log(\text{CFU})/\text{g}$ και στα ωσμωμένα ήταν κάτω από το ανιχνεύσιμο όριο ($<1 \log(\text{CFU})/\text{g}$). Η διαφορά στο αρχικό φορτίο των εντεροβακτηρίων δικαιολογείται λόγω της απομάκρυνσης μικροοργανισμών από την επιφάνεια του τροφίμου η οποία οφείλεται στην ωσμωτική επεξεργασία. Όσον αφορά την εξέλιξη της ανάπτυξης των μικροοργανισμών, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και στους τρεις εξεταζόμενους μικροοργανισμούς, δηλαδή φαίνεται η θετική επίδραση που έχει τόσο η ωσμωτική αφυδάτωση όσο και η χαμηλότερη θερμοκρασία συντήρησης στην επιβράδυνση της μικροβιακής ανάπτυξης. Εξάριση αποτελεί η επίδραση της επεξεργασίας στα εντεροβακτήρια στις θερμοκρασίες 0°C και 5°C αφού δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Η απώλεια υγρών αποτελεί έναν δείκτη που δεν έχει μελετηθεί επαρκώς στα θέματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Από τα αποτελέσματα προέκυψαν σημαντικές διαφορές τόσο ως προς την επίδραση της θερμοκρασίας, αφού η χαμηλότερη θερμοκρασία συντήρησης επιβραδύνει το φαινόμενο, όσο κι ως προς την επεξεργασία αφού η ωσμωτική αφυδάτωση επιδρά θετικά σε αυτή την παράμετρο ποιότητας, οδηγώντας σε μεγαλύτερη συγκράτηση των υγρών κατά τη συντήρηση. Τα αποτελέσματα μεταβάλλονται γραμμικά με το χρόνο κι έτσι εξήχθησαν οι αντίστοιχοι ρυθμοί για κάθε εξεταζόμενη συνθήκη.

Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και για τη μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των νωπών φιλέτων. Τα χαρακτηριστικά της εμφάνισης, της οσμής και της γενικής εντύπωσης είναι τα πρώτα στοιχεία που αξιολογούνται από τον καταναλωτή και σε αυτά επικεντρώθηκε η μελέτη. Στις τρεις εξεταζόμενες περιπτώσεις αποδείχθηκε η θετική επίδραση που έχουν στην αναστολή της οργανοληπτικής υποβάθμισης η θερμοκρασία συντήρησης και η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Από τα αποτελέσματα εφαρμόστηκαν μοντέλα $0^{\text{ης}}$ τάξης, από την κλίση των οποίων προσδιορίστηκαν οι ρυθμοί αλλοίωσης. Η συνολική εντύπωση αποτελεί έναν υποκειμενικό παράγοντα ποιοτικής υποβάθμισης ο οποίος είναι επίσης χρήσιμος για την εξαγωγή συμπερασμάτων διατηρησιμότητας των τροφίμων.

Όσον αφορά τη μεταβολή του pH κατά τη συντήρηση των δειγμάτων, παρατηρήθηκε μια γενική τάση μεταβολής για τις περισσότερες εξεταζόμενες περιπτώσεις αλλά τα πειραματικά δεδομένα δεν προσαρμόστηκαν σε κάποιο μοντέλο. Η τιμή του pH παρουσίαζε αρχικά μια μείωση μέχρι ένα ελάχιστο σημείο και ακολουθήθηκε από αύξηση. Η εμφάνιση του ελάχιστου σημείου στην τιμή του pH εμφανίστηκε πιο αργά όταν το δείγμα είχε υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση κι όσο χαμηλότερη η θερμοκρασία συντήρησης. Αυτή η τάση στη

μεταβολή του pH εξηγείται από τη νεκρική ακαμψία και την ανάπτυξη των αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Όσον αφορά τη νεκρική ακαμψία, αυτή εμφανίζεται μετά από τη θανάτωση των ιχθύων και παράγεται γαλακτικό οξύ. Με το πέρασμα των ημερών οι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί παράγουν βασικά μεταβολικά προϊόντα με αποτέλεσμα την άνοδο των τιμών του pH. Όσο χαμηλότερη η θερμοκρασία συντήρησης, τόσο επιτείνεται η περίοδος της νεκρικής ακαμψίας και αναστέλλεται η μικροβιακή ανάπτυξη.

Τέλος, όσον αφορά τα αποτελέσματα από τις παραμέτρους της ανάλυσης υφής, δεν εξήχθη κάποιο συμπέρασμα ανάλογα με την επίδραση της ωσμωτικής επεξεργασίας, ούτε ανάλογα με την επίδραση της θερμοκρασίας για καμία από τις τέσσερις εξεταζόμενες μεταβλητές (σκληρότητα, ελαστικότητα, προσκολλησιμότητα και συνεκτικότητα).

Από το μικροβιολογικό και οργανοληπτικό έλεγχο που προηγήθηκε, προσδιορίστηκαν οι χρόνοι ζωής για κάθε συνθήκη που εξετάστηκε. Ως διατηρησιμότητα του τροφίμου σε κάθε συνθήκη επιλέχθηκε ο μικρότερος χρόνος από τους δύο (μικροβιολογικός και οργανοληπτικός). Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι όταν οι δύο τιμές χρόνου δεν ταυτίζονται, αυτός που καθόρισε τη διατηρησιμότητα ήταν η ανάπτυξη των ψευδομονάδων η οποία προηγείται της οργανοληπτικής απόρριψης των δειγμάτων. Οι χρόνοι που προσδιορίστηκαν ήταν 12, 6 και 3 μέρες αντίστοιχα για τα ανεπεξέργαστα δείγματα στους 0°C, 5°C και 10°C και για τα ωσμομένα δείγματα επεκτάθηκαν κατά 5, 4 και 3 μέρες αντίστοιχα.

Από την παραγοντική ανάλυση κύριων συνιστωσών που ακολούθησε για τις παραπάνω ποιοτικές παραμέτρους των φιλέτων λαβρακιού, εξήχθησαν η έντονη συσχέτιση μεταξύ της οσμής, της εμφάνισης και της γενικής εντύπωσης των νωπών φιλέτων, η συσχέτιση μεταξύ των τριών ειδών μικροοργανισμών που εξετάστηκαν (ολικό μικροβιακό φορτίο, *Pseudomonas* spp. και *Enterobacteriaceae* spp.) και η έντονη συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των ψευδομονάδων που αποτελεί αντικειμενικό παράγοντα αξιολόγησης της ποιότητας και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που είναι υποκειμενικός.

Το τελευταίο τμήμα του πρώτου μέρους της εργασίας αφορούσε την οργανοληπτική εξέταση με τριγωνική δοκιμή και δοκιμή αρέσκειας σε επεξεργασμένα δείγματα στην επιλεγμένη συνθήκη και σε ανεπεξέργαστα δείγματα. Η εξέταση αφορούσε νωπά και μαγειρεμένα δείγματα. Ως προς τα νωπά δείγματα, οι δοκιμαστές εντόπισαν το διαφορετικό δείγμα παρατηρώντας μεγαλύτερη γυαλάδα στην επιφάνεια, ελαφρώς πιο σκούρο χρώμα και ελαφρώς πιο συμπαγή σάρκα των ιχθύων μετά την ώσμωση. Ωστόσο, δεν προέκυψαν σημαντικές διαφορές στην αρέσκεια, δηλαδή δεν έδειξαν προτίμηση σε κάποιο από τα δύο δείγματα. Αντίστοιχα ήταν τα αποτελέσματα για τα μαγειρεμένα φιλέτα λαβρακιού αφού παρά τον εντοπισμό του διαφορετικού δείγματος λόγω κυρίως της διαφορετικής (πιο γλυκιάς) γεύσης, δεν εντοπίστηκε κάποια προτίμηση ανάμεσα στα δύο δείγματα.

Το δεύτερο κομμάτι της εργασίας ήταν η επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στη διεργασία της αφυδάτωσης οπότε η μελέτη των φαινομένων μεταφοράς μάζας έγινε σε σύγκριση με την περίπτωση της απλής ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η προκατεργασία έδωσε βελτιωμένα αποτελέσματα σε όλες τις παραμέτρους της αφυδάτωσης. Πιο συγκεκριμένα, η απώλεια υγρασίας και η πρόσληψη στερεών ήταν παρόμοια με την αντίστοιχη του διαλύματος 60% γλυκερόλη και πολύ πιο έντονη από αυτή του 50%. Αυτές οι παρατηρήσεις επιβεβαιώθηκαν και από τους συντελεστές διάχυσης υγρασίας και στερεών οι οποίοι ισούταν με $D_{ew}=4,03 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $D_{es}=4,14 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Ως προς την ενεργότητα νερού οι διαφορές που κατεγράφησαν δεν ήταν πολύ μεγάλες σε σύγκριση με την απώλεια υγρασίας. Η

ενεργότητα νερού μετά από 40 min ήταν 0,91. Η περιεκτικότητα σε αλάτι ήταν αρκετά υψηλότερη για τα δείγματα με ΠΗΠ λόγω της αύξησης της διαπερατότητας της μεμβράνης και μάλιστα φτάνει σε μέγιστη τιμή ίση με 2,34%.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης κατέδειξαν ότι τα ωσμωτικά επεξεργασμένα φιλέτα λαβρακιού αποτελούν προϊόντα υψηλής ποιότητας, με μεγαλύτερη σταθερότητα και αυξημένο χρόνο ζωής κατά τη συντήρησή τους σε ψύξη σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα. Η συνδυαστική εφαρμογή της με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης. Από τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας προκύπτουν θέματα τα οποία χρήζουν περαιτέρω έρευνας σε σχέση με την ωσμωτική αφυδάτωση και τη συνδυαστική δράση και άλλων τεχνικών. Αρχικά, τα επόμενα βήματα που προτείνονται από την παρούσα εργασία είναι ο προσδιορισμός της ποιοτικής υποβάθμισης των ιχθύων που έχουν επεξεργαστεί με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της εργασίας. Επιπλέον, σχετικά με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία προτείνεται μελέτη της επίδρασης τους στη δομή του ιστού του ψαριού. Ένα άλλο βήμα που προτείνεται να ακολουθηθεί, είναι η μελέτη της επίδρασης των προτεινόμενων μεθόδων επεξεργασίας στην ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, π.χ. *Vibrio* spp. και *Listeria* spp.. Επιπλέον, σημαντικό πεδίο έρευνας είναι η επέκταση της εφαρμογής της ωσμωτικής αφυδάτωσης και σε άλλα είδη ιχθύων και ιδιαίτερα η χρήση της γλυκερόλης ως κύριο συστατικό του ωσμωτικού διαλύματος. Επίσης, σημαντική είναι και η έρευνα γύρω από την προσθήκη αντιμικροβιακών ή/και αντιοξειδωτικών ουσιών οι οποίες αναστέλλουν τη μικροβιακή ανάπτυξη και οξείδωση των λιπών, αντίστοιχα. Η λιποπεριεκτικότητα στα ιχθυηρά επηρεάζει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και άρα θα παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε ιχθυηρά με διαφορετική περιεκτικότητα λίπους στη σάρκα τους. Άλλοι παράγοντες που αξίζει να μελετηθούν είναι η συνεργιστική δράση και άλλων εναλλακτικών μη θερμικών τεχνικών στην ωσμωτική αφυδάτωση για επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας και επέκταση της διατηρησιμότητας του τελικού προϊόντος.

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΛΑΒΡΑΚΙ (*Dicentrarchus labrax*): ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ, ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

1.1 Εισαγωγή

Ο ρόλος των ιχθυηρών για τον άνθρωπο και τη διατροφή του είναι πολύ σημαντικός αφού αποτελεί σημαντική πηγή ζωικών πρωτεϊνών πλούσιων σε όλα τα απαραίτητα αμινοξέα, καλών λιπών, βιταμινών και ιχνοστοιχείων. Διατροφή πλούσια σε ιχθυηρά έχει θετική επίδραση όσον αφορά χρόνιες ασθένειες κυρίως καρδιαγγειακών ή φλεγμονών. (Brunner et al. 2009, Torpy et al., 2006)

Για τη βιομηχανία είναι σημαντική η γνώση τόσο της σύστασης και της μορφολογίας των ιχθύων όσο και των παραμέτρων που επιδρούν στη διάρκεια ζωής αυτών των προϊόντων. Όσον αφορά τη σύσταση και τη μορφολογία των ιχθύων, η γνώση τους επιτρέπει την εύρεση της βέλτιστης μεθόδου επεξεργασίας. Ως προς τη γνώση του χρόνου ζωής των ιχθύων, αυτός εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (μικροβιολογικούς, χημικούς και φυσικούς) οι οποίοι αλλοιώνουν τα τρόφιμα. Η γνώση αυτών των παραγόντων και του τρόπου δράσης τους οδηγεί στην εύρεση μεθόδων επεξεργασίας οι οποίες επεκτείνουν τη διατηρησιμότητα. Βέβαια, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να προκαλούν με τη σειρά τους μεταβολές στα ποιοτικά (pH, υφή και άλλα) ή στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, οπότε πρέπει να αξιολογηθεί και να βελτιστοποιηθεί η εφαρμογή της κάθε μεθόδου. Τα τελευταία χρόνια διερευνώνται νέες μέθοδοι επεξεργασίας και συντήρησης όπως είναι και η ωσμωτική αφυδάτωση.

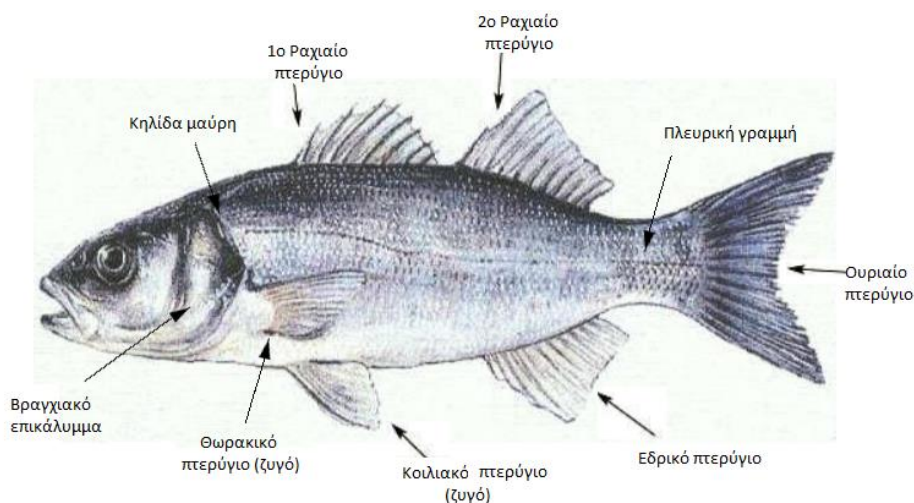
1.2 Μορφολογία και βιολογικά χαρακτηριστικά ιχθύων

Οι ιχθύες έχουν χαρακτηριστικό σχήμα το οποίο είναι εύκολα αναγνωρίσιμο και σχετίζεται με το υδάτινο περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται. Έχουν συμμετρικό σώμα που χωρίζεται σε τρεις περιοχές, το κεφάλι, τον κορμό και την ουρά. Το σώμα τους χαρακτηρίζεται ως υδροδυναμικό και ατρακτοειδές. Το μεγαλύτερο μέρος του σώματος αποτελείται από μυϊκή μάζα η οποία είναι απαραίτητη για την κολύμβηση. Η επιδερμίδα τους είναι πολυστρωματική και επικαλύπτει ένα παχύ χόριο πλούσιο σε συνδετικές ίνες. Η σπονδυλική στήλη και ο νωτιαίος μυελός εκτείνονται από το πίσω μέρος του κεφαλιού μέχρι τη βάση του ουριαίου πτερυγίου. Τέλος, η σπλαχνική κοιλότητα περιλαμβάνει τα σπλάχνα και βρίσκεται πίσω από το κεφάλι, στο κάτω και εμπρός τμήμα του σώματος. (Παπαναστασίου, 1990)

1.2.1 Μορφολογία λαβρακιού

Το Ευρωπαϊκό λαβράκι είναι γνωστό με την ονομασία *Dicentrarchus labrax*, ενώ κοινή αγγλική ονομασία είναι το European seabass. Το λαβράκι θεωρείται ως ένα από τα πιο εκλεκτά εκτρεφόμενα είδη και αποτελεί ένα είδος μεγάλης οικονομικής σημασίας. Το χρώμα του είναι γκριζο στη ραχιαία περιοχή και ασημί στην κοιλιακή και πλευρική περιοχή. Τα

νεαρά άτομα εμφανίζουν μαύρες κηλίδες στο πάνω μέρος του σώματος οι οποίες εξαφανίζονται στην ενηλικίωση. Το ψάρι αυτό είναι συνήθως μεσαίου και μεγάλου μεγέθους με μήκος περίπου 45 cm και το σώμα του είναι επίμηκες, με ατρακτοειδές σχήμα και περιλαμβάνει δύο ραχιαία πτερύγια. Στο επάνω μέρος του κεφαλιού και στην πλευρική του γραμμή φέρει μικρά λέπια. Συνολικά περιλαμβάνει δύο ραχιαία πτερύγια, ένα ζεύγος θωρακικών και ένα ζεύγος κοιλιακών πτερυγίων, ένα εδρικό και ένα ουριαίο πτερύγιο όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1. (Καββαδίας, 2002, Κυρκούδης, 2006, Φλέρης, 2004)



Σχήμα 1.1: Εξωτερική μορφολογία λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*)

Το λαβράκι είναι ευρύαλο και ευρύθερμο είδος. Έχει αποδειχθεί ότι με σταδιακή προσαρμογή σε συνθήκες χαμηλής αλατότητας μπορεί να προσαρμοστεί σε ύδατα αλατότητας 0,5%. Συνήθως προτιμάει να αναπτύσσεται σε υφάλμυρα νερά και επιστρέφει σε θαλάσσια νερά κατά την περίοδο της αναπαραγωγής. Το λαβράκι αλιεύεται σε κάθε περιοχή της Μεσογείου αλλά και στις ανατολικές ακτές του Ατλαντικού ωκεανού και πιο σπάνια στη Μαύρη Θάλασσα. Όσον αφορά το έδαφος, αναπτύσσεται κυρίως σε ιλοαμμώδεις πυθμένες κοντά σε περιοχές με ανθρώπινη δραστηριότητα λόγω της ευκολίας εύρεσης τροφής η οποία αποτελείται από μαλάκια, ψάρια και γαρίδες. Συχνά συναντάται και κατά μήκος βραχωδών ζωνών αλλά και σε εκβολές ποταμιών και λιμνοθαλασσών. (Κυρκούδης, 2006, Φλέρης, 2004)

1.2.2 Υγρασία

Το νερό στα τρόφιμα βρίσκεται είτε ως δεσμευμένο (δομικό νερό) είτε ως ελεύθερο. Γενικά το επίπεδο της υγρασίας στο σώμα των ιχθύων μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας (και αυξάνεται το ποσοστό του λίπους) και με το μέγεθος. Επίσης, τα επίπεδα της υγρασίας εξαρτώνται τόσο από ενδογενείς παράγοντες όπως η κληρονομικότητα και το βιολογικό στάδιο, όσο και από εξωγενείς παράγοντες όπως η διατροφική τους κατάσταση. Σε περιόδους παρατεταμένης αστίας και ακατάλληλης θερμοκρασίας νερού, το ποσοστό της υγρασίας φτάνει σε επίπεδο 90%. Στα λαβράκια η μέση περιεκτικότητα σε υγρασία κυμαίνεται περίπου σε επίπεδα 70-75%.

1.2.3 Πρωτεΐνες

Οι ιχθύες αποτελούν καλές πηγές ζωικής πρωτεΐνης αφού χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητα πρωτεϊνών αλλά και γενικά ενώσεων που περιέχουν άζωτο (μη πρωτεϊνικό άζωτο). Εκπροσωπούν το υψηλότερο ποσοστό οργανικών ενώσεων στο σώμα των ιχθύων και συναντώνται σε όλα τα κύτταρα και στο αίμα. Το ποσοστό τους διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος και την ηλικία των ιχθύων και κυμαίνεται μεταξύ 15-27%. Η περιεκτικότητα των φιλέτων λαβρακιού σε πρωτεΐνες έχει βρεθεί ίση με 19% περίπου. Οι πρωτεΐνες αυτές είναι μεγάλης βιολογικής αξίας αφού είναι αφομοιώσιμες και περιλαμβάνουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα σε ισορροπημένη αναλογία. Επίσης, σε ορισμένα είδη έχουν προσδιοριστεί και μικροποσότητες ελεύθερων αμινοξέων. Οι μυϊκές πρωτεΐνες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους, τις μυοϊνικές ή συστολικές που αποτελούν το 70-80% της συνολικής ποσότητας, τις σαρκοπλάσμικές σε ποσοστό 20-30% στις οποίες περιλαμβάνονται η μυοσφαιρίνη, τα ένζυμα, οι νουκλεοπρωτεΐνες και άλλα, και το υπόλοιπο ποσοστό αποτελούν οι πρωτεΐνες του στρώματος ή του συνδετικού ιστού όπως είναι το κολλαγόνο (σε ποσοστό ακόμα και 90%) και η ελαστίνη.

Η περιεκτικότητα της σάρκας των ιχθύων σε πρωτεΐνες επηρεάζεται σημαντικά και από την περιεκτικότητα σε λίπη και νερό. Πιο συγκεκριμένα, η αυξημένη περιεκτικότητα σε λίπη έχει αρνητική επίδραση στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες αφού έχει βρεθεί ότι τα άπαχα ψάρια έχουν υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο και αντίστροφα. Επιπλέον, φαίνεται ότι τα ψάρια του θαλασσινού νερού χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σχέση με αυτά του γλυκού νερού. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε νερό, η μικρή περιεκτικότητα σε νερό (και υψηλή σε πρωτεΐνες) οδηγεί σε πιο στεγνή και συνεκτική σάρκα, ενώ στην αντίστροφη περίπτωση το κρέας χαρακτηρίζεται πιο υδαρές και πλαδαρό. (Grigorakis et al., 2004)

1.2.4 Άλλες αζωτούχες ενώσεις

Εκτός από τις πρωτεΐνες, οι ιχθύες περιλαμβάνουν και μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ενώσεις σε ποσότητα μόλις 0,5-1% της σάρκας των ιχθύων ή 9-18% της συνολικής περιεκτικότητας σε άζωτο. Οι κυριότερες ενώσεις αυτής της κατηγορίας είναι η αμμωνία, η διμεθυλαμίνη και η τριμεθυλαμίνη που προέρχονται από τη διάσπαση του οξειδίου της τριμεθυλαμίνης, η ουρία, η ταυρίνη, η κρεατίνη και πολλές άλλες ενώσεις. Το οξείδιο της τριμεθυλαμίνης (TMAO) απαντάται σε μεγάλες περιεκτικότητες στα ψάρια με ωσμωρυθμιστική δράση. Σε θαλάσσιους ιχθύες, το συγκεκριμένο οξείδιο φτάνει σε συγκεντρώσεις έως 7% επί ξηρής βάσης, ενώ σε ιχθύες γλυκών νερών βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες. Επίσης, σε αυτή την κατηγορία ενώσεων εντάσσονται και η τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP), η διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και η μονοφωσφορική αδενοσίνη (AMP) οι οποίες σχετίζονται με τις μεταθανάτιες μεταβολές που παρατηρούνται στους μύες των ιχθύων όπως θα αναφερθεί και παρακάτω. Τέλος, οι πτητικές αζωτούχες βάσεις είναι υπεύθυνες για τη χαρακτηριστική οσμή και γεύση των ιχθύων και αποτελούν χαρακτηριστικό δείκτη της ποιότητάς τους. (Τούλη, 2013, Τσιρώνη, 2010)

1.2.5 Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες αποτελούν μικρό ποσοστό στους ιχθύες. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι ο οργανισμός τους αποθηκεύει ενέργεια μέσω των λιπών κατά κύριο λόγο και κατά δεύτερο λόγο μέσω των πρωτεϊνών. Η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες διαφέρει ανάλογα με το είδος, την ηλικία και τη διατροφή των ιχθύων. Ο κυριότερος υδατάνθρακας που απαντάται είναι το γλυκογόνο. (Παπαναστασίου, 1990)

1.2.6 Λίπη

Το λίπος των ιχθύων είναι πολυποίκιλο και διαφοροποιείται αρκετά ανάλογα με το είδος, την ηλικία, τη διατροφή του και την εποχή. Ως προς την ηλικία έχει βρεθεί ότι ιχθύες μεγαλύτερης ηλικίας παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά λίπους και μικρότερα ποσοστά νερού σε σχέση με τα νεαρά άτομα. Η εναπόθεση του λίπους πραγματοποιείται στους μυϊκούς ιστούς, στο συκώτι ή στα έντερα. Τα ποσοστά διακύμανσης των λιπαρών κυμαίνονται από 0,1-25% και ανάλογα με την περιεκτικότητα λίπους στη σάρκα τους ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: τα άπαχα, τα ημιλιπαρά και τα λιπαρά ψάρια. Τα άπαχα ψάρια χαρακτηρίζονται από λίπος χαμηλότερο του 5%, τα ημιλιπαρά από μέση περιεκτικότητα λίπους 5-15% και τα λιπαρά από περιεκτικότητα λίπους μεγαλύτερη από 15%. Το λαβράκι κατατάσσεται στα άπαχα ψάρια αφού η περιεκτικότητά σε λίπη έχει βρεθεί μικρότερη από 5% περίπου.

Τα λίπη των ιχθύων αποτελούνται κυρίως από εστέρες των λιπαρών οξέων (γλυκερίδια), εστέρες των στερολών και ένα ασαπωνοποίητο τμήμα που αποτελείται από ανώτερες αλκοόλες, στερόλες, αιθέρες και υδρογονάνθρακες. Τέλος, τα λίπη των ιχθύων περιλαμβάνουν και μεγάλο ποσοστό λιπαρών οξέων όπως είναι τα ω-3 πολυενοικά οξέα. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό επί των λιπών αφού τα επίπεδα τους επί του συνόλου κυμαίνονται σε ποσοστά 40-75%. Τα λίπη και πιο συγκεκριμένα η οξειδωση τους αποτελεί έναν παράγοντα αλλοίωσης των ιχθύων κατά την αποθήκευσή τους. (Belitz et al., 2009, Grigorakis et al., 2004, Παπαναστασίου, 1990)

1.2.7 Ανόργανα στοιχεία

Η κατανάλωση ιχθύων από τους ανθρώπους προμηθεύει τον οργανισμό τους με πολλά απαραίτητα ανόργανα συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα σε μικροποσότητες. Το σύνολο των ανόργανων συστατικών στο σώμα των ιχθύων κυμαίνεται περίπου σε επίπεδα 3% - 7% επί του συνολικού βάρους τους. Η σάρκα των ιχθύων σε σχέση με άλλους ζωικούς οργανισμούς περιλαμβάνει πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ιωδίου, φθορίου και σεληνίου, μικρότερη ποσότητα σιδήρου και αντίστοιχες ποσότητες χαλκού. Επιπλέον, οι ιχθύες χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητά σε ασβέστιο και φώσφορο. Παρακάτω στον πίνακα 1.1 περιλαμβάνονται τα κυριότερα ανόργανα στοιχεία στη σάρκα των ψαριών και οι μέσες περιεκτικότητές τους. Βέβαια, οι συγκεντρώσεις του κάθε στοιχείου διαφοροποιούνται και σε αυτή την περίπτωση ανάλογα με τη σύσταση του περιβάλλοντος, την τροφή τους, το είδος και τη βιολογική τους σύσταση. Από αυτούς τους παράγοντες, μεγαλύτερη επίδραση έχουν η σύσταση της τροφής και το περιβάλλον ανάπτυξης.

1.2.8 Βιταμίνες

Οι ιχθύες περιλαμβάνουν αρκετές ποσότητες κυρίως λιποδιαλυτών αλλά και υδατοδιαλυτών βιταμινών. Το είδος και τα επίπεδα των βιταμινών διαφοροποιούνται και σε αυτή την περίπτωση ανάλογα με το είδος του ιχθύος, την ηλικία τους και τη διατροφική και φυσιολογική τους κατάσταση. Το λίπος των ψαριών αποτελεί σημαντική πηγή των λιποδιαλυτών βιταμινών Α και D. Επιπλέον, σε ικανοποιητικές συγκεντρώσεις περιέχονται και οι βιταμίνες Ε (τοκοφερόλη) και Κ και οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες. Στον πίνακα 1.1 περιλαμβάνονται εκτός από τα ανόργανα στοιχεία και οι μέσες συγκεντρώσεις των βιταμινών.

Πίνακας 1.1: Μέση περιεκτικότητα σε ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες της σάρκας των ιχθύων (Belitz et al., 2009)

Ανόργανα άλατα	Μέση περιεκτικότητα (mg/100g)	Βιταμίνες	Μέση περιεκτικότητα
Κάλιο	300	Βιταμίνη Α ⁽¹⁾	25 µg/100g
Χλώριο	200	Βιταμίνη Β ₁ (θειαμίνη)	50 µg/100g
Φωσφόρος	173 - 217	Βιταμίνη Β ₂ (ριβοφλαβίνη)	120 µg/100g
Θείο	200	Νικοτινικό οξύ	3 mg/100g
Νάτριο	63	Βιταμίνη Β ₁₂	1 µg/100g
Μαγνήσιο	24 - 31	Παντοθενικό οξύ	0.5 mg/100g
Ασβέστιο	48 - 42	Πυριδοξίνη	500 µg/100g
Σίδηρος	0,5 - 24,8	Βιοτίνη	5 µg/100g
Μαγγάνιο	1,0	Φολικό οξύ	80 µg/100g
Ψευδάργυρος	1,0	Βιταμίνη C	3 mg/100g
Φθόριο	0,5	Βιταμίνη D ⁽¹⁾	15 µg/100g
Αρσενικό	0,4	Βιταμίνη E ⁽¹⁾	12 µg/100g
Χαλκός	0,04 - 0,17		
Ιώδιο	0,1		

1.3 Μεταθανάτιες αλλαγές ιχθύων

Μετά το θάνατο των ιχθύων, η κυκλοφορία του αίματος καθώς και η παροχή οξυγόνου στους μύες σταματούν λόγω της παύσης λειτουργίας της καρδιάς και της παύσης ελέγχου του σώματος από τον εγκέφαλο. Έτσι, αρχίζουν να αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες και τα πλούσια σε ενέργεια φωσφορικά όπως η φωσφορική κρεατίνη, το ATP και το ADP αποικοδομούνται. Η μοναδική πηγή ενέργειας είναι πλέον η γλυκόλυση στους μυϊκούς ιστούς η οποία συνοδεύεται από πτώση του pH. Επειδή η περιεκτικότητα των μυϊκών ιστών σε γλυκογόνο είναι σχετικά μικρή, η μείωση του pH δεν είναι πολύ έντονη και πέφτει περίπου στο 6,2. Όταν η συγκέντρωση της ATP μειωθεί αρκετά, η ακτινομουσίνη που είναι μια βασική πρωτεΐνη των μυϊκών ινών, χάνει την ελαστικότητά της και αποβάλλει ποσότητα του περιεχόμενου νερού της. Έτσι, ο ιστός του ιχθύος μετατρέπεται από μαλακός, εύκαμπτος και στεγνός σε σκληρό και άκαμπτο.

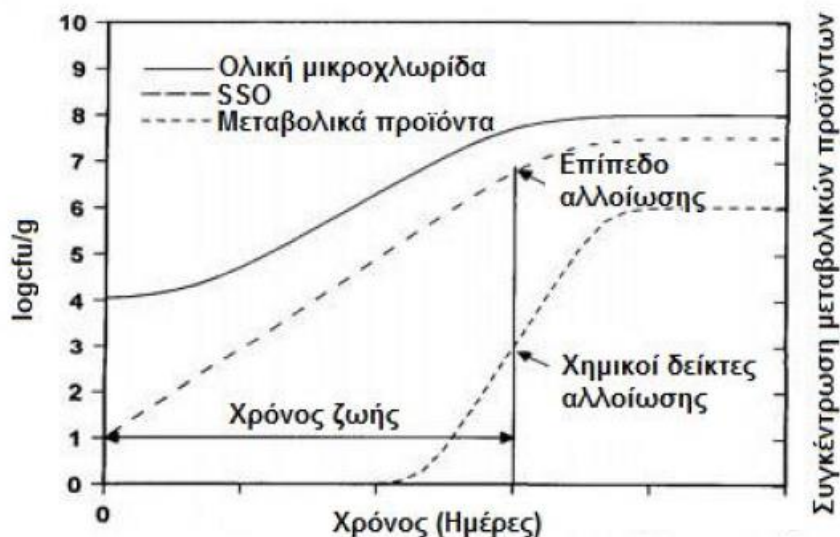
Το φαινόμενο της νεκρικής ακαμψίας διακρίνεται σε δύο στάδια, το πρώτο που αφορά το χρόνο από τη θανάτωση του ιχθύος μέχρι την έναρξη της ακαμψίας και το δεύτερο που περιλαμβάνει το διάστημα από την έναρξη μέχρι το τέλος της νεκρικής ακαμψίας. Στα δύο αυτά στάδια επιβραδύνεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών οπότε είναι επιθυμητή η επιμήκυνση αυτού του χρόνου για να διατηρείται για περισσότερο η φρεσκάδα τους. Γι' αυτό το λόγο, εκτός από την άμεση ψύξη αμέσως μετά την αλίευση, αναζητούνται και νέες μέθοδοι αλίευσης ώστε να περιορίζεται η μυϊκή δραστηριότητα, η ασφυξία και το στρες των ιχθύων πριν την αλίευση. Η διάρκεια και η έκταση της νεκρικής ακαμψίας εξαρτώνται από τον τύπο και τη φυσιολογική κατάσταση του ψαριού. Σε ορισμένα είδη μπορούν να περάσουν αρκετές ημέρες μέχρι να υποχωρήσει πλήρως η νεκρική ακαμψία. Η διάρκεια της είναι γενικά μικρότερη στους χονδριχθύες και μεγαλύτερη στους τελεόστεους ιχθύες. Επίσης, η ακαμψία εμφανίζεται ταχύτερα στους ιχθύες με σκουρόχρωμη σάρκα σε σχέση με τους ιχθύες με ανοιχτόχρωμη σάρκα. Ο τρόπος μεταχείρισης των ψαριών στα οποία δεν έχει εμφανιστεί η νεκρική ακαμψία, δεν επηρεάζει το χρόνο έναρξης αυτού του φαινομένου. Η θερμοκρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επιδρά στο φαινόμενο και συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα την ταχύτερη εξέλιξη του φαινομένου. (Belitz et al., 2009)

1.4 Αλλοιώσεις ιχθύων

Οι νωποί ιχθύες είναι αρκετά ευαλλοιώτα προϊόντα σε σχέση με άλλα νωπά προϊόντα και επομένως για να επεκταθεί ο χρόνος ζωής τους, πρέπει να είναι γνωστοί οι παράγοντες αλλοίωσης. Ο σημαντικότερος από αυτούς είναι η μικροβιακή ανάπτυξη και ακολουθούν οι χημικές αλλοιώσεις οι οποίες επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Η μέθοδος και οι συνθήκες συντήρησης επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό αυτές τις δράσεις.

1.4.1 Μικροβιακή αλλοίωση ιχθύων

Τα τρόφιμα χαρακτηρίζονται από ευκολία επιμόλυνσης και υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά οπότε αποτελούν ιδανικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Οι νωποί ιχθύες περιέχουν υψηλό αρχικό μικροβιακό φορτίο, ενώ επιπλέον ευνοούν την μικροβιακή ανάπτυξη λόγω του αυξημένου pH (λίγο χαμηλότερο του 7), της υψηλής υγρασίας, της χαμηλής περιεκτικότητας σε γλυκόζη, της μεγάλης περιεκτικότητας μη πρωτεϊνικού αζώτου και λόγω του υδατικού περιβάλλοντος ανάπτυξης. Η φυσική μικροχλωρίδα τους αποτελείται από μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών αλλά μόνο ένα μέρος αυτών μπορούν να δημιουργήσουν αποικίες στο τρόφιμο και να δώσουν μεγάλους πληθυσμούς. Ο ακριβής μηχανισμός λόγω του οποίου αναπτύσσονται ορισμένα είδη μικροοργανισμών έναντι άλλων δεν είναι ακόμα γνωστός. Το μέρος των μικροοργανισμών που ευθύνονται για τη μικροβιακή αλλοίωση του κάθε τροφίμου ονομάζονται ειδικοί αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί (Specific spoilage organisms-SSO). Στο σχήμα 1.2 παριστάνεται γραφικά η αλλοίωση των ιχθύων όπως αυτή περιγράφεται από την ολική μικροχλωρίδα, τους SSO και τους χημικούς δείκτες. (Gram and Huss, 1996, Αρβανιτογιάννης, 2001)



Σχήμα 1.2: Περιγραφή της αλλοίωσης ιχθύων (τροποποίηση από Gram and Huss, 1996)

Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται τόσο στην εξωτερική όσο και στην εσωτερική επιφάνεια των ιχθύων. Οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού είναι οι ψυχρότροφοι Gram-αρνητικοί, τα ραβδόμορφα βακτήρια των γενών *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Shewanella*, *Flavobacterium*, *Vibrionaceae* και *Aeroomonadaceae*, και ορισμένοι Gram-θετικοί μικροοργανισμοί. Έχει αποδειχθεί ότι οι *Pseudomonas* spp. είναι ο κυρίαρχος αλλοιογόνος παράγοντας των ιχθύων για διάφορους λόγους. Αρχικά, είναι ψυχρότροφοι μικροοργανισμοί οπότε η ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης τους ανήκει στις θερμοκρασίες συντήρησης. Επιπλέον, μεταβολίζουν ουσίες από τη σάρκα των ιχθύων αλλοιώνοντας τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τέλος, πολλαπλασιάζονται σε μικρό χρονικό διάστημα. Η ανάπτυξη και η μεταβολική δράση των μικροοργανισμών στους ιχθύες γίνονται αντιληπτές λόγω μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών όπως αναφέρεται και στον πίνακα 1.2. (Gram and Huss, 1996)

Πίνακας 1.2: Μικροβιολογική αλλοίωση ιχθύων και μεταβολές οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (Gram and Huss, 1996)

Μικροβιολογική Δραστηριότητα	Οργανοληπτική Εκδήλωση
Διάσπαση συστατικών προϊόντος	Παραγωγή οσμών και γεύσης αλλοίωσης
Παραγωγή εξωκυτταρικού πολυσακχαρικού υλικού	Παραγωγή γλοιώδους υγρού
Ανάπτυξη μυκήτων, βακτηρίων, ζυμών	Εμφάνιση ορατών έγχρωμων ή μη αποικιών
CO ₂ από υδατάνθρακες ή αμινοξέα	Παραγωγή αερίων
Παραγωγή διαλυτών χρωστικών ουσιών	Αποχρωματισμός

Ο προσδιορισμός των SSO είναι δύσκολος και γι' αυτό περιλαμβάνει διάφορους μικροβιολογικούς, χημικούς και οργανοληπτικούς ελέγχους. Τα μεταβολικά προϊόντα των μικροοργανισμών αποτελούν καλούς χημικούς δείκτες αλλοίωσης. Για παράδειγμα, το οξείδιο της τριμεθυλαμίνης (TMAO) περιέχεται στους ιχθύες σε σημαντικές ποσότητες και μετά το θάνατό τους διασπάται από τους μικροοργανισμούς σε διμεθυλαμίνη και

τριμεθυλαμίνη. Η τριμεθυλαμίνη είναι πτητική ένωση η οποία περιέχεται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στους φρέσκους ιχθύες, αλλά σε μεγαλύτερες ποσότητες τους προσδίδει χαρακτηριστική οσμή αλλοίωσης. Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας πραγματοποιείται μέσω προσδιορισμού του αζώτου της τριμεθυλαμίνης (TMA-N). Βέβαια, η οργανοληπτική υποβάθμιση εξαρτάται κι από πολλές άλλες χημικές ουσίες, κάποιες από τις οποίες δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί. Ένας άλλος χημικός δείκτης είναι οι ολικές πτητικές αζωτούχες ενώσεις (TVB-N) οι οποίες καθορίζουν την ποιότητα των ιχθύων στα τελικά στάδια της αλλοίωσής τους. Σε ορισμένους ιχθύες περιέχεται υψηλή συγκέντρωση ιστιδίνης στη σάρκα τους η οποία μετατρέπεται από ορισμένους μικροοργανισμούς σε ισταμίνη η οποία αποτελεί χημικό δείκτη αλλοίωσης. Τέλος, ορισμένα βακτήρια παράγουν θειούχες ενώσεις οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν για να βρεθεί το επίπεδο αλλοίωσης. (Bonell, 1994, Gram and Huss, 1996, Grigorakis et al., 2003)

Για τη μελέτη της ανάπτυξης των αλλοιογόνων μικροοργανισμών συναρτήσει των συνθηκών συντήρησης έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα τα οποία περιγράφουν είτε τη μεταβολή του αριθμού των κυττάρων των οργανισμών με το χρόνο είτε την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στις κινητικές παραμέτρους (μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης, χρόνος υστέρησης και άλλα), ενώ υπάρχουν και μοντέλα τα οποία συνδυάζουν και τα δύο προηγούμενα είδη μοντέλων. Σε αυτά είναι απαραίτητη η γνώση του είδους των αλλοιογόνων μικροοργανισμών και των αρχικών τους φορτίων, καθώς και το τελικό όριο αλλοίωσης. Ένα διαδεδομένο μοντέλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία είναι το μοντέλο Barranyi το οποίο εκτός από την εκθετική φάση περιλαμβάνει και τη φάση υστέρησης. Το μοντέλο εφαρμόζεται από το πρόγραμμα «MicroFit» και το Dmfit προσαρμόζει το μοντέλο στις πειραματικές καμπύλες. (Buchanan, 1993, McClure et al., 1994)

1.4.2 Οξείδωση λιπών

Μετά τη μικροβιολογική αλλοίωση, σημαντικό πρόβλημα για τους ιχθύες είναι η οξείδωση των λιπών και ιδιαίτερα για αυτά με μεγάλη περιεκτικότητα σε λίπη. Το φαινόμενο ξεκινάει αμέσως μετά τη θανάτωση των ιχθύων και προσδίδει ανεπιθύμητη γεύση και οσμή στο προϊόν. Η εξέλιξη του φαινομένου επηρεάζεται από πολλούς εξωτερικούς παράγοντες όπως η παρουσία φωτός, το οξυγόνο και η θερμοκρασία και από ενδογενείς παράγοντες όπως η περιεκτικότητα σε ακόρεστα λιπαρά οξέα και φωσφολιπίδια. Για τον προσδιορισμό τους έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι χημικοί δείκτες όπως ο αριθμός ανισιδίνης (Anisidine Value, AV), ο αριθμός υπεροξειδίων (Peroxide Value, PV) και το θειοβαρβιτικό οξύ (Thiobarbituric acid, TBA). Η μέθοδος PV είναι καλή για τα πρώτα στάδια της οξείδωσης, ενώ για την TBA έχει γίνει συσχέτιση με την υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. (Botta. 1995, Richards et al., 2002)

1.4.3 Μεταβολή φυσικών χαρακτηριστικών

Εκτός από τις χημικές και μικροβιολογικές μεταβολές, παράμετροι ποιότητας των ιχθύων είναι διάφορες φυσικές μεταβολές που επέρχονται και οι οποίες έχουν σημαντικό ρόλο αφού αυτά τα χαρακτηριστικά αποτελούν κριτήριο αποδεκτότητας για τους καταναλωτές. Σε αυτή τη κατηγορία εντάσσονται το χρώμα, η εμφάνιση, το σχήμα και η ομοιομορφία τους. Ως προς το χρώμα έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι μέτρησης του χρώματος με κατάλληλα όργανα. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά υφής, αυτά προσδιορίζονται από τον

υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων όπως η σκληρότητα, η προσκολλησιμότητα, η μασητικότητα, η συνεκτικότητα και η ελαστικότητα. Για τον προσδιορισμό τους έχουν αναπτυχθεί ενόργανες μέθοδοι οι οποίες υποβάλλουν τα τρόφιμα σε προσομοιώσεις μάσησης, κοπής, συμπίεσης, εφελκυσμού και άλλα ανάλογα με το μετρούμενο μέγεθος.

1.4.4 Μεταβολή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

Η οργανοληπτική αξιολόγηση των τροφίμων αποτελεί τον πιο διαδεδομένο έλεγχο στις γραμμές παραγωγής προϊόντων ιχθύων. Κατά τη διάρκεια του αξιολογούνται διάφορα χαρακτηριστικά όπως η εμφάνιση, η οσμή, το χρώμα, η υφή, η γεύση, η μετάγευση και διάφορα άλλα τόσο σε νωπά όσο και σε μαγειρεμένα δείγματα. Η αξιολόγηση μπορεί να γίνει είτε από μέλη των εταιρειών παραγωγής είτε από εξειδικευμένους ελεγκτές. Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες αλλοιώσεις που παρατηρούνται στους ιχθύες κατά την αποθήκευσή τους. Οι ημέρες που αναφέρονται είναι ενδεικτικές αφού επηρεάζονται από τις συνθήκες αποθήκευσης. (Botta, 1995)

Πίνακας 1.3: Οργανοληπτικές μεταβολές ιχθύες κατά την αποθήκευσή τους υπό ψύξη (τροποποίηση από Botta, 1995)

Ημέρες συντήρησης σε πάγο	Μεταβολές στην ποιότητα
0-2	Πολύ φρέσκο, λεπτή γεύση φυκιών, ελαφρώς μεταλλική γεύση. Εμφανής νεκρική ακαμψία
3-7	Απώλεια χαρακτηριστικών οσμής και γεύσης. Σάρκα ουδέτερη γευστικά. Ελαστική υφή
8-16	Παραγωγή διαφόρων ανεπιθύμητων, πτητικών, οσμηρών ουσιών. Γεύση ξινή, πικρή, αμμωνίας και τάγγισμα. Υφή σκληρή και υδαρής ή σκληρή και ξηρή.
>16	Εμφανείς αλλοιώσεις

1.5 Επεξεργασία και συντήρηση ιχθύων

Το σύνολο των αλλοιώσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω οι οποίες παρατηρούνται στους ιχθύες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων μεθόδων επεξεργασίας και συντήρησης πέραν των παραδοσιακών με σκοπό την επιβράδυνση της ποιοτικής υποβάθμισης και της μικροβιακής ανάπτυξης. Παρακάτω θα αναφερθούν ορισμένες από αυτές τις τεχνικές οι οποίες είτε χρησιμοποιούνται ευρέως ήδη είτε είναι πιο καινοτόμες με προοπτικές μελλοντικής εφαρμογής.

1.5.1 Συντήρηση υπό ψύξη, κατάψυξη και υπέρψυξη

Η ψύξη και η κατάψυξη είναι οι πιο ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι συντήρησης των αλιευμάτων στη βιομηχανία αναστέλλοντας την ποιοτική υποβάθμιση των τροφίμων. Έτσι, δίνει τη δυνατότητα σε βιομηχανίες να δημιουργούν απόθεμα και άρα να ανταποκρίνονται

στις απαιτήσεις της αγοράς. Ορισμένες από τις μεθόδους ψύξης είναι η ψύξη με πάγο, με ψυχρό θαλασσινό νερό, με ψυχρή άλμη και με αέρα. Η υπέρψυξη κατά την οποία η θερμοκρασία προσεγγίζει το σημείο κατάψυξης, είναι σχετικά πιο σύγχρονη μέθοδος έρευνας και εφαρμογής. Αυτές οι τεχνικές βασίζονται στις χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες αναστέλλουν ή επιβραδύνουν τις μικροβιολογικές, χημικές και φυσικές δράσεις στα ψάρια. Διάφοροι παράγοντες επιδρούν στη διατηρησιμότητα με αυτές τις τεχνικές, οι βασικές από τις οποίες είναι το είδος του ιχθύος, η μέθοδος αλιείας και επεξεργασίας που έχει υποστεί πριν την ψύξη/κατάψυξη και η θερμοκρασία. Η υπέρψυξη καθορίζεται και από επιπλέον παραμέτρους όπως θερμοδυναμικά και κινητικά δεδομένα του τροφίμου και γι' αυτό το λόγο είναι πιο πολύπλοκος μηχανισμός. Όσον αφορά την υπέρψυξη, μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στα χαρακτηριστικά των τροφίμων όπως και η κατάψυξη λόγω των αλλαγών στους κρυστάλλους πάγου που σχηματίζονται. Με αυτή τη μέθοδο ο χρόνος ζωής των δειγμάτων είναι μικρότερος σε σχέση με τη μέθοδο της κατάψυξης ωστόσο προκαλεί μικρότερες ανεπιθύμητες μεταβολές στη δομή και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του τροφίμου λόγω του σχηματισμού μικρότερων και λιγότερων κρυστάλλων. (Belitz, 2006, Dunn et al., 2008, Rahman, 1995)

1.5.2 Άλλες παραδοσιακές τεχνικές επεξεργασίας και συντήρησης

Ορισμένες από τις παραδοσιακές τεχνικές οι οποίες εφαρμόζονται σε νωπούς ιχθύες είναι η κάπνιση, η αλάτιση, το μαρινάρισμα, η ξήρανση και διάφορες άλλες. Το κάπνισμα των αλιευμάτων αποτελεί μέθοδο συντήρησης κατά την οποία στη σάρκα των ιχθύων εισέρχονται αντισηπτικές ουσίες οι οποίες προέρχονται από τον καπνό της καύσης ξύλου ή πριονιδιών. Ανάλογα με τη θερμοκρασία, διακρίνονται σε ψυχρό και σε θερμό κάπνισμα.

Η αλάτιση αποτελεί μια μέθοδο συντήρησης τροφίμων από τα αρχαία χρόνια μέχρι σήμερα. Η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται στην ελάττωση της ενεργότητας νερού η οποία επέρχεται λόγω της παρουσίας του αλατιού. Αυτή η μέθοδος συνήθως ακολουθείται και από άλλες μεθόδους όπως ξήρανση ή κάπνισμα αφού από μόνη της δεν εξασφαλίζει πλήρη βακτηριακή προστασία.

Η μέθοδος του μαριναρίσματος μοιάζει με την αλάτιση με τη διαφορά ότι αντί για αλάτι προστίθεται ξύδι, κρασί ή μίγμα τους. Αυτά τα συστατικά μπορούν να συνδυαστούν με αλάτι ή καρυκεύματα για καλύτερα αποτελέσματα διατηρησιμότητας και για λόγους εξισορρόπησης της γεύσης. (Belitz, 2006)

Η μέθοδος της ξήρανσης είναι μια αρκετά αποτελεσματική μέθοδος για την αύξηση της διατηρησιμότητας. Η διεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε φυσικά στον ήλιο είτε με τεχνικά μέσα, όπως είναι η ξήρανση σε ρεύμα αέρα, υπό κενό ή με κατάψυξη. Η μέθοδος της φυσικής ξήρανσης είναι η πιο οικονομική αλλά δημιουργούνται προβλήματα ποιοτικής υποβάθμισης των τελικών προϊόντων. (Belitz, 2006, Regenstein and Regenstein, 1991)

1.5.3 Ωσμωτική αφυδάτωση ιχθύων

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια πρόσφατη τεχνική επεξεργασίας των ιχθύων και γενικά των τροφίμων η οποία αν και έχει ερευνηθεί αρκετά, δεν έχει υιοθετηθεί σε μεγάλο βαθμό από τη βιομηχανία. Η συγκεκριμένη τεχνική οδηγεί στην απομάκρυνση ποσότητας νερού από το τρόφιμο μέσω της εμβάπτισης του σε υπερτονικό διάλυμα

σακχάρου και/ή άλατος. Το θέμα της ωσμωτικής αφυδάτωσης θα αναλυθεί περαιτέρω στο κεφάλαιο 3 της εργασίας.

1.5.4 Τεχνολογία εμποδίων

Η τεχνολογία εμποδίων (hurdle technology) στην επεξεργασία των ιχθύων είναι μια νέα προσέγγιση για την παραγωγή ασφαλών, σταθερών, θρεπτικών και οικονομικών τροφίμων. Αποτελεί ένα δυναμικό και ταχύτατα εξελισσόμενο πεδίο. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει το συνδυασμό διαφορετικών μεθόδων συντήρησης επιβάλλοντας περισσότερες παραμέτρους ανάλυσης της αλλοίωσης (εμπόδια). Η καθεμία από τις εφαρμοζόμενες τεχνικές στοχεύει και σε διαφορετική δράση του τροφίμου. Παρακάτω στον πίνακα 1.4 αναφέρονται ορισμένοι από αυτούς τους παράγοντες που δρουν παρεμποδιστικά στους μικροοργανισμούς. Ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους έχουν πιο έντονη επίδραση στην αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης και δρουν σε πολλούς μικροοργανισμούς ενώ άλλες έχουν πιο ασθενή δράση και για μικρό εύρος μικροοργανισμών. (Τζια et al., 2007)

Πίνακας 1.4: Παράμετροι της τεχνολογίας εμποδίων στην επιβράδυνση της μικροβιακή ανάπτυξης (Τζια et al., 2007)

Φυσικά Εμπόδια	Φυσικοχημικά εμπόδια
Θερμική επεξεργασία (π.χ. αποστείρωση, παστερίωση, λεύκανση)	a_w
	pH
Θερμοκρασία συντήρησης	Eh
Ακτινοβολήση	NaCl
Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια	NaNO ₂
Υπερυψηλή πίεση	CO ₂
Ultrasonication	Οργανικά οξέα
Συσκευασία	Συντηρητικά
MAP	Κάπνισμα
Ασηπτική συσκευασία	Μπαχαρικά
Μικροϋφή	Ανταγωνιστική μικροχλωρίδα
	Βακτηριοσίνες

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΙΧΘΥΗΡΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο ιχθυηρά περιγράφονται οι ιχθύες, τα οστρακοειδή και κάθε ζωντανός υδρόβιος οργανισμός ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Οι υδατοκαλλιέργειες είναι ένας ταχύτατα αναπτυσσόμενος τομέας τις τελευταίες δεκαετίες ο οποίος χαρακτηρίζεται με έναν από τους υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης μεταξύ των βιομηχανιών των τροφίμων. Οι ιχθυοκαλλιέργειες ελέγχουν ολόκληρο ή μέρος των φάσεων ανάπτυξης των ιχθύων. Οι ιχθύες είτε πρόκειται για εκτρεφόμενους είτε για ελεύθερης αλιείας μπορούν να ακολουθήσουν διάφορα στάδια επεξεργασίας μέχρι την τελική κατανάλωση ανάλογα με τις καταναλωτικές τάσεις και ανάγκες των καταναλωτών.

2.2 Γενικές πληροφορίες για τις υδατοκαλλιέργειες

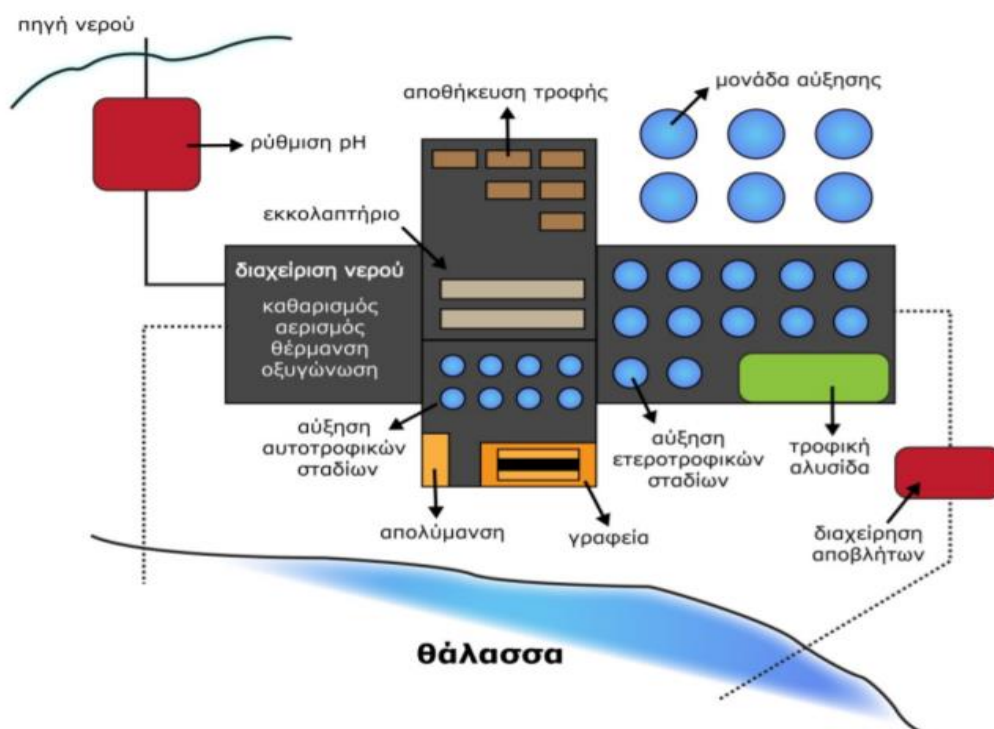
Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization-FAO), ο όρος υδατοκαλλιέργεια χρησιμοποιείται για να περιγράψει την καλλιέργεια ή εκτροφή υδρόβιων οργανισμών σε ηπειρωτικές ή παράκτιες περιοχές μέσω παρεμβάσεων στη διαδικασία αύξησης και εκκόλαψης, με σκοπό την αύξηση της παραγωγής των εν λόγω μικροοργανισμών. Ο έλεγχος ολόκληρου ή μέρους του κύκλου ζωής των οργανισμών αποτελεί το στοιχείο διαφοροποίησης των υδατοκαλλιεργειών από τις συμβατικές μεθόδους αλιείας. Εκτός από τον κύριο σκοπό των υδατοκαλλιεργειών που συνοψίζεται στην παραγωγή αλιευμάτων ευρείας κατανάλωσης, άλλες χρήσεις αυτών είναι η παραγωγή υδρόβιων οργανισμών είτε ως τροφή για τα καλλιεργούμενα είδη είτε για την αξιοποίησή τους στη φαρμακευτική και τη βιοτεχνολογία, είτε για την παραγωγή καλλωπιστικών ειδών και γόνων. Στις υδατοκαλλιέργειες συμπεριλαμβάνεται μια πληθώρα περιβαλλόντων ανάπτυξης όπως είναι η θάλασσα, τα υφάλμυρα και τα εσωτερικά νερά και μια μεγάλη ποικιλία φυτών και σπονδυλωτών και ασπόνδυλων ζώων. Οι υδατοκαλλιέργειες μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σε κατηγορίες ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των ειδών, με το περιβάλλον ανάπτυξης και τον τρόπο καλλιέργειας. (Libey and Bosworth, 1990, Κότσουφα, 2014)

Οι απαρχές της υδατοκαλλιέργειας τοποθετούνται στην αρχαία εποχή όταν ο άνθρωπος εφάρμοσε τεχνικές επέμβασης και αξιοποίησης των φυσικών πόρων. Οι πρώτοι τύποι υδατοκαλλιέργειας αφορούσαν την παγίδευση άγριων οργανισμών σε λιμνοθάλασσες, νερόλακους και ρηχές λίμνες για να είναι διαθέσιμα οποιαδήποτε στιγμή. Οι πρώτες αναφορές για τέτοιου είδους δραστηριότητες καταγράφηκαν σε Αρχαία Αίγυπτο, Αρχαία Ελλάδα και Κίνα. Στα νεότερα χρόνια, τα επιτεύγματα της βιομηχανικής επανάστασης ώθησαν την επιστημονική έρευνα στην εκτροφή διαφόρων ειδών όπως ο σολομός και η πέστροφα αρχικά στην Αμερική και αργότερα στην Ευρώπη. Έπειτα, η ανάπτυξη της βιολογίας και της τεχνολογίας συνέβαλλε στην ανάπτυξη της εντατικής υδατοκαλλιέργειας, δηλαδή στον έλεγχο από τον άνθρωπο όλων των σταδίων ανάπτυξης των οργανισμών

αυξάνοντας την απόδοση της παραγωγής. Η Ιαπωνία αξιοποίησε για πρώτη φορά πλωτούς κλωβούς και αιωρούμενα σχοινιά για την εκτροφή ψαριών και οστράκων. Παράλληλα οι Σκανδιναβικές χώρες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας στην Ευρώπη αφού η μεγάλη εμπορική επιτυχία που καταγράφηκε σε αυτές τις χώρες, αποτέλεσε κίνητρο ενασχόλησης και για τις Μεσογειακές χώρες οι οποίες σήμερα αποτελούν έναν από τους βασικούς πυλώνες στην υδατοκαλλιέργεια. (Basurco and Lovatelli, 2003, Bosworth, 2012, Λάμπρου, 2017)

2.3 Παραγωγικά στάδια σε μια τυπική μονάδα υδατοκαλλιέργειας

Ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των ειδών που καλλιεργούνται σε κάθε μονάδα υδατοκαλλιέργειας, μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός σε εκκολαπτήρια, μονάδες προπάχυνσης, και μονάδες πάχυνσης τα οποία θα αναλυθούν περαιτέρω στη συνέχεια. Μια μονάδα μπορεί να περιλαμβάνει ορισμένους από τους παραπάνω χώρους ή και όλους αυτούς όταν θέλει να καλύπτει το σύνολο της παραγωγικής διαδικασίας από την τεχνητή αναπαραγωγή μέχρι την παραγωγή ιχθυηρών εμπορεύσιμου μεγέθους. Αυτές οι τελευταίες μονάδες ονομάζονται μονάδες πλήρους παραγωγής και ένα τυπικό διάγραμμα μονάδας παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1. Εκτός από τους χώρους καλλιέργειας, απαραίτητοι είναι και ορισμένοι βοηθητικοί χώροι για τη ρύθμιση των συνθηκών του νερού πριν τη διεργασία (ρύθμιση pH, οξυγόνου, θερμοκρασίας και καθαρισμός) και μετά το τέλος της διεργασίας (διαχείριση αποβλήτων), αποθήκες τροφής και χώροι για τη συσκευασία. (Κότσουφα, 2014)

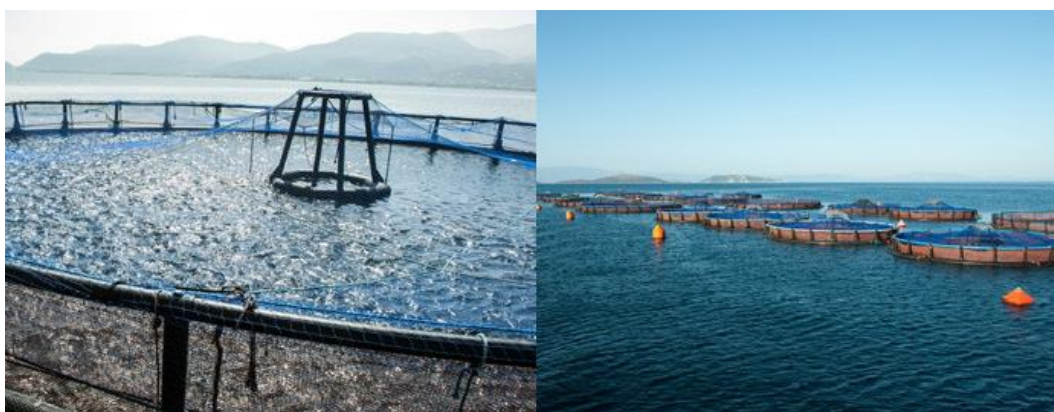


Σχήμα 2.1: Σχεδιάγραμμα κάτοψης μιας τυπικής μονάδας υδατοκαλλιέργειας πλήρους παραγωγής (Βουλτσιάδου et al., 2015)

Το πρώτο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας αφορά την παραγωγή γόνου στα εκκολαπτήρια. Ιχθύες γεννητικά ώριμοι επιλέγονται προσεκτικά από το προσωπικό έτσι ώστε να καλύπτουν κάποιες προϋποθέσεις ως προς τη μορφολογία, την εμφάνιση, την υγιεινή και τη συμπεριφορά. Στο τμήμα των γεννητόρων η αναλογία αρσενικών και θηλυκών επιλέγεται να είναι 1:1 και οι συνθήκες (θερμοκρασία, οξυγόνο και pH νερού) και οι τροφές είναι απόλυτα ελεγχόμενες. Τα βιώσιμα αυγά διαχωρίζονται από τα νεκρά, αποστειρώνονται για αποφυγή προσβολής από παράσιτα, μύκητες και βακτήρια και μεταφέρονται σε νέους χώρους επώασης. Στη συνέχεια, οι ιχθύες εκκολάπτονται και τρέφονται αρχικά με ζωντανή τροφή (φυτοπλαγκτόν) και μετά από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης με βιομηχανική τροφή. (Κότσουφα, 2014, Τσιρώνη, 2010, Χώτος και Ρογδάκης, 1992)

Το επόμενο βήμα στην παραγωγική διαδικασία αφορά την προπάχυνση η οποία αποτελεί ένα προκαταρκτικό στάδιο προετοιμασίας πριν από την πάχυνση που έπεται. Σε αυτό το βήμα, οι νέοι ιχθύες εκτρέφονται μέχρι να αποκτήσουν ικανοποιητικό μέγεθος. Παράλληλα λαμβάνει χώρα η προσαρμογή τους στις συνθήκες εκτροφής, δηλαδή το πέρασμα από τη ζωντανή τροφή στη συνθετική και η ενίσχυση των μυών τους. Οι ιχθυοτροφές που χρησιμοποιούνται αποτελούνται από ιχθυάλευρα υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και βιταμίνες. (Κότσουφα, 2014, Τσιρώνη, 2010)

Το τελευταίο στάδιο της ανάπτυξης των ιχθυηρών αφορά την πάχυνσή τους μέχρι να αποκτήσουν το επιθυμητό εμπορεύσιμο μέγεθος. Η εκτροφή πραγματοποιείται σε πλωτούς σιδερένιους κλωβούς (δεξαμενές) ή σε δίχτυα. Σε αυτό το βήμα, όπως συνέβη και στην προπάχυνση, η διατροφή αποτελείται από ιχθυάλευρα πλούσια σε πρωτεΐνες και βιταμίνες. Εκτός από τη συνεχή επίβλεψη των συνθηκών των υδάτων (θερμοκρασία, pH, αλατότητα, οξυγόνο), πρέπει σε καθημερινή βάση να ελέγχονται ο αριθμός των ιχθύων, η χορηγούμενη τροφή και οι δεξαμενές και οι κλωβοί για τυχόν αστοχίες. Κατά την πάχυνση είναι απαραίτητη η διαδικασία της διαλογής κατά την οποία οι ιχθύες ταξινομούνται ανάλογα με το μέγεθος τους και τοποθετούνται σε ξεχωριστές δεξαμενές ή κλωβούς. (Wilde et al., 1995, Κότσουφα, 2014)



Σχήμα 2.2: Μονάδες πάχυνσης υδατοκαλλιέργειας (Andromeda group)

Όταν φτάσει η ώρα της αλίευσης, αυτή πραγματοποιείται με ειδικά διαμορφωμένα πλωτά μέσα που περιλαμβάνουν τον απαραίτητο εξοπλισμό για τη θανάτωση και τη

συντήρηση των ιχθυηρών σε πάγο. Πιο συγκεκριμένα ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει τις βούτες, πλωτό γερανό για τη μεταφορά του φορτίου από τις δεξαμενές στις βούτες και βοηθητικές απόχες. Οι ιχθύες μετά την αλίευση μεταφέρονται μέσα στις βούτες σε γλυκό νερό με πάγο όπου πραγματοποιείται η ακαριαία θανάτωση τους (θερμικό σοκ). Η χρήση του νερού είναι απαραίτητη για να μην συνθλιβούν από τον πάγο, αλλά να διατηρήσουν το σχήμα τους. Τα ιχθυηρά μπορούν να μεταβάλλουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό τους παρόμοια με τη θερμοκρασία στο περιβάλλον τους. Επομένως, όταν εισέρχονται στους κλωβούς σε θερμοκρασία περίπου 0°C, επιβραδύνονται η μικροβιακή ανάπτυξη και η ποιοτική υποβάθμιση. Η διαδικασία της αλίευσης πραγματοποιείται σταδιακά ώστε να μην προκαλείται στρες στα ψάρια το οποίο επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του. Τέλος, οι ιχθύες που πρόκειται να αλιευθούν, υπόκεινται σε νηστεία για μερικές μέρες έτσι ώστε το πεπτικό τους σύστημα να απαλλαγεί πλήρως από υπολείμματα τροφών τα οποία μπορούν να αλλοιώσουν τη γεύση και τη φρεσκάδα τους και για να έχουν αποσυντεθούν πλήρως όλες οι φαρμακευτικές ουσίες. (Alasalvar and Taylor, 2002, Βουλτσιάδου et al., 2015, Παπαναστασίου, 1990, Τσιρώνη, 2010, Χώτος και Ρογδάκης, 1992)

Τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας των ιχθυηρών μέχρι την τελική διάθεση θα αναφερθούν στην επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.

2.4 Επεξεργασία και συσκευασία ιχθύων

Μετά την αλίευση τους, τα ιχθυηρά μπορούν είτε να συσκευαστούν όπως είναι, είτε να ακολουθήσουν μια σειρά από βήματα επεξεργασίας πριν τη συσκευασία μέχρι την τελική τους διάθεση ανάλογα με τις απαιτήσεις της αγοράς και ανάλογα με το είδος της αλιείας, με την τοποθεσία, το προσωπικό και τα διαθέσιμα μέσα. Οι προετοιμασίες αυτές πρέπει να πραγματοποιηθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα ώστε να αποφευχθεί τυχόν αλλοίωση των ιχθύων. Ορισμένες από τις διαδικασίες αυτές έχουν αυτοματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια με σκοπό την αύξηση της ημερήσιας παραγωγής, αλλά παρουσιάζουν το μειονέκτημα του μεγαλύτερου κόστους σε σχέση με την χειροκίνητη διαδικασία.

Το πρώτο στάδιο είναι η αφαίμαξη, δηλαδή η απομάκρυνση του αίματος από τα ψάρια με σκοπό την πρόληψη ορισμένων ασθενειών. Η αφαίμαξη εξαρτάται από την περιοχή εκτροφής και το είδος που παράγεται. Για παράδειγμα, αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη σε δείγματα καρχαρία αφού απομακρύνεται η ουρία από το αίμα η οποία αν παραμείνει, μετατρέπεται σε αμμωνία το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Βέβαια, σε ορισμένες περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η αυξημένη ερυθρότητα στον ιχθύ, δεν χρειάζεται η διαδικασία της αφαίμαξης. Η διαδικασία της αφαίμαξης πραγματοποιείται κόβοντας τις αρτηρίες πίσω από τα βράγχια και μπροστά από την καρδιά.

Έπειτα, ακολουθεί ο εκσπλαχνισμός δηλαδή η απομάκρυνση των εντοσθίων με τη βοήθεια ειδικών εργαλείων. Τα εντόσθια χαρακτηρίζονται από υψηλό μικροβιακό φορτίο και από υδρολυτικά ένζυμα και επομένως είναι καλό να αφαιρούνται για να μην επιμολύνεται η σάρκα των ιχθύων. Λόγω των χαρακτηριστικών των εντόσθιων, αυτή η διαδικασία πρέπει να πραγματοποιείται όσο το δυνατόν πιο σύντομα και γι' αυτό σε ορισμένες περιπτώσεις λαμβάνει χώρα ακόμα και εντός του αλιευτικού σκάφους αρκεί να τηρούνται οι συνθήκες υγιεινής. Για την πραγματοποίηση της διαδικασίας, το ψάρι τέμνεται κατά μήκος από την πλευρά της κοιλιάς.

Στη συνέχεια, απομακρύνονται τα βράγχια όταν αυτό είναι απαραίτητο από την αγορά. Τα βράγχια περιέχουν κι αυτά υψηλό μικροβιακό φορτίο, ωστόσο δεν έχει διαπιστωθεί ότι αυτό επηρεάζει τη σάρκα του ψαριού, οπότε η διαδικασία της απομάκρυνσης τους δεν είναι τόσο απαραίτητη όσο στην περίπτωση των εντόσθιων.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη, σε μια μονάδα παραγωγής ιχθυηρών μπορεί να πραγματοποιηθεί πλήρης απομάκρυνση του δέρματος ή μόνο απολέπιση. Γενικά, το δέρμα προτιμάται να παραμένει στο τελικό προϊόν γιατί συνήθως αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα του κάθε είδους. Από την άλλη πλευρά, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η τάση από τους καταναλωτές να προτιμούν τρόφιμα όσο το δυνατόν έτοιμα για κατανάλωση για να εξοικονομούν χρόνο, οπότε η διαδικασία της απολέπισης είναι σε πολλές περιπτώσεις απαραίτητη (FAO, 2016). Συνήθως η διαδικασία αυτή φέρεται εις πέρας με τη βοήθεια ενός αιχμηρού αντικειμένου και πραγματοποιείται μέσα σε ρεύμα νερού. Αντίστοιχα, η απομάκρυνση του δέρματος γίνεται με τη βοήθεια μιας λεπίδας η οποία τέμνει την περιοχή ανάμεσα στο δέρμα και τη σάρκα του ψαριού.

Το τελευταίο βήμα της επεξεργασίας είναι η φιλετοποίηση η οποία είναι όλο και πιο διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια λόγω των απαιτήσεων της αγοράς. Η διαδικασία της φιλετοποίησης έχει αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό αφού είναι αρκετά γρηγορότερη και αποτελεσματική. Όμως, είναι αρκετά πιο δαπανηρή σε σύγκριση με την αντίστοιχη χειρωνακτική διαδικασία ενώ απαιτείται και ένα στάδιο προετοιμασίας κατά το οποίο οι ιχθύες διαχωρίζονται με βάση το μέγεθος. Επιπλέον, σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μεγαλύτερη απώλεια ωφέλιμου ψαριού και έτσι υπάρχει μια τάση επιστροφής προς τις χειρωνακτικές μεθόδους. Σε κάθε περίπτωση από κάθε ψάρι κόβονται δύο φιλέτα τα οποία απομακρύνονται από το υπόλοιπο σώμα. Ότι απομένει πέραν των δύο φιλέτων μαζί με τα απόβλητα των προηγούμενων σταδίων επεξεργασίας αποτελούν τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας ιχθυηρών με σημαντικές προοπτικές αξιοποίησης λόγω της σύστασής τους. Τα τελευταία χρόνια, η αξιοποίηση των παραπροϊόντων της επεξεργασίας ιχθυηρών αποτελεί μείζον ζήτημα και αντικείμενο έρευνας για τον κλάδο των υδατοκαλλιεργειών. (Regenstein and Regenstein, 1991, Μπακλώρη, 2010, Τσιρώνη, 2010)



Σχήμα 2.3: Στάδια επεξεργασίας ιχθυηρών (Andromeda group)

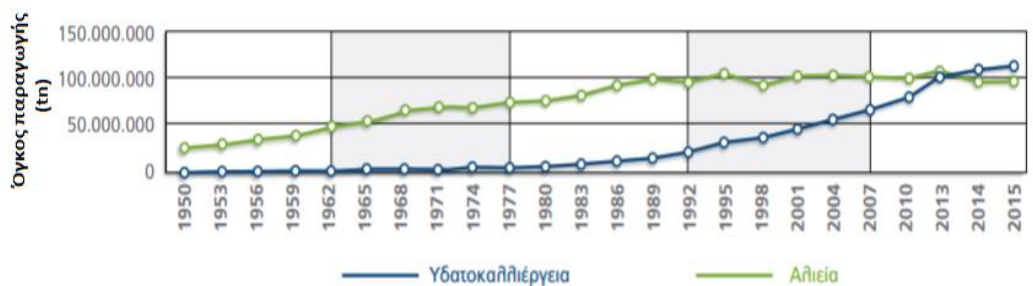
Το τελευταίο στάδιο πριν την τελική διάθεση των προϊόντων αφορά τη συσκευασία τους. Η συσκευασία είναι ένα βασικό στάδιο όλης της παραγωγικής διαδικασίας αφού σε

μεγάλο βαθμό καθορίζει τη διάρκεια ζωής και τη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών προστατεύοντάς το προϊόν από επιμολύνσεις κατά τη διανομή και αποθήκευση του. Επιπλέον, στη συσκευασία αναγράφονται και χρήσιμες πληροφορίες για τον καταναλωτή σχετικά με το περιεχόμενο όπως η ημερομηνία εξαίευσης και λήξης, το μέσο βάρος των ιχθυηρών και το συνολικό βάρος του κιβωτίου και ο κωδικός ιχνηλασιμότητας της κάθε παρτίδας. Απαραίτητα στοιχεία στη διαδικασία της αποθήκευσης είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας σε πολύ χαμηλά επίπεδα (από -2°C έως 4°C) και ο χρόνος από την αλίευση μέχρι τη συσκευασία (με ή χωρίς επεξεργασία) να μην ξεπερνάει τις 8 ώρες. Στην περίπτωση της συσκευασίας φιλεταρισμένων ιχθυηρών με το δέρμα τους, είναι απαραίτητο να μην έρχεται σε επαφή η σάρκα του ενός με το δέρμα του άλλου προκειμένου να αποφεύγονται επιμολύνσεις. (Regenstein and Regenstein, 1991, Τσιρώνη, 2010)

Τα ιχθυηρά διαλέγονται ανάλογα με το μέγεθος, ζυγίζονται και μεταφέρονται στον αντίστοιχο υποδοχέα. Μόλις συμπληρωθεί το απαιτούμενο βάρος σε κάθε υποδοχέα, αυτός κλείνει και τα ψάρια μεταφέρονται στα αποθηκευτικά κιβώτια. Εκτός από τα ιχθυηρά, στα κιβώτια τοποθετείται και πάγος ο οποίος διαχωρίζεται από τα δείγματα με πλαστική μεμβράνη. Ο πάγος είναι σημαντικός παράγοντας αφού καθορίζει την επιτυχία της ψύξης και καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως ο βαθμός τεμαχισμού του πάγου, η κατανομή του γύρω από τα ψάρια και η αναλογία ψαριού/πάγου. Η επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας δεν πρέπει να ξεπερνάει τους 4°C όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Μια καλή τιμή αναλογίας δείγματος/ ψαριού έχει βρεθεί ότι είναι 3:1. (Κότσυφα, 2014, Τσιρώνη, 2010)

2.5 Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργείων

Οι υδατοκαλλιέργειες αναπτύσσονται σε παγκόσμιο επίπεδο με γοργούς ρυθμούς. Σύμφωνα με τον τελευταίο οδηγό για την αλιεία και την υδατοκαλλιέργεια που εξέδωσε ο παγκόσμιος οργανισμός τροφίμων και γεωργίας (Food and Agriculture Organization, FAO) η παγκόσμια παραγωγή των υδατοκαλλιεργείων έχει αυξηθεί πάρα πολύ με το πέρασμα των χρόνων και ιδιαίτερα τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Τα στοιχεία που υπάρχουν για το έτος 2015 δείχνουν ότι η συνολική παραγωγή ξεπέρασε τους 106 εκατομμύρια τόνους αποφέροντας έσοδα πάνω από 130 δις ευρώ. Τα ετήσια νούμερα της παραγωγής παρουσιάζουν αύξηση κάθε χρόνο, αν και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση του ρυθμού αύξησης. Πιο συγκεκριμένα, τη δεκαετία 2005-2014 ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας κυμαινόταν στο 5,8%, ενώ την προηγούμενη δεκαετία είχε φτάσει το 7,2%. Παρακάτω στο σχήμα 2.4 παρουσιάζεται η μεταβολή της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας από το 1950 μέχρι το 2015 και η αντίστοιχη μεταβολή για την αλιεία. Το 2014 θεωρείται ως έτος ορόσημο αφού για πρώτη φορά η υδατοκαλλιέργεια ξεπέρασε σε παραγωγή την αλιεία αποδεικνύοντας το σημαντικό ρόλο που κατέχει πλέον στην αγορά των ιχθυηρών. Η παραγωγή της αλιείας παρατηρείται ότι έχει σχεδόν σταθεροποιηθεί τα τελευταία χρόνια. (FAO, 2016, ΣΕΘ, 2017)



Σχήμα 2.4: Εξέλιξη της παραγωγής αλιείας (πράσινο) και υδατοκαλλιέργειας (μπλε χρώμα) κατά το χρονικό διάστημα 1950-2015 (ΣΕΘ, 2017)

Οι λόγοι που έχουν οδηγήσει στην τεράστια ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας είναι διάφοροι και απορρέουν τόσο από τις αυξανόμενες απαιτήσεις της κοινωνίας, όσο και από την ανάπτυξη διαφόρων τομέων της επιστήμης. Από τη μία πλευρά, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται συνεχώς, όπως αυξάνονται και οι ανάγκες τους σε τρόφιμα. Η διαφαινόμενη αδυναμία τόσο της αλιείας όσο και της υπόλοιπης ζωικής και φυτικής παραγωγής να καλύψει αυτές τις ανάγκες, άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας. Επιπλέον, τα προβλήματα που δημιουργούνται από την αλιεία όπως είναι η υπεραλίευση κατά τόπους και η περιβαλλοντική υποβάθμιση των βιοτόπων, δεν συναντώνται στις ιχθυοκαλλιέργειες. Από την άλλη πλευρά, η ραγδαία ανάπτυξη στους τομείς κυρίως της βιολογίας και της τεχνολογίας παρείχε την κατάλληλη τεχνογνωσία για την εφαρμογή και πρόοδο αυτού του είδους παραγωγής. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η διαθεσιμότητα κατάλληλων περιβαλλόντων για ανάπτυξη υδατοκαλλιεργειών όπως εσωτερικά ύδατα, λιμνοθάλασσες και κόλποι οι οποίοι διαθέτουν κατάλληλη ποιότητα νερού, θερμοκρασία παραγωγής και παροχή θρεπτικών συστατικών. Τέλος, κινητήρια δύναμη για την αύξηση της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας τα τελευταία χρόνια αποτέλεσε η στροφή των επενδύσεων σε νέους τομείς, ανάμεσα στους οποίους ανήκει και η υδατοκαλλιέργεια, με αποτέλεσμα να χρηματοδοτηθεί η έρευνα πάνω σε αυτό θέμα και να εξασφαλιστούν οι κατάλληλες υποδομές που θα το υποστηρίξουν. (FAO, 2016, Τσιρώνη, 2010)

Τα νούμερα για την παγκόσμια παραγωγή που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αναφέρονται στο σύνολο των ειδών που εκτρέφονται στις υδατοκαλλιέργειες. Αυτά μπορούν να ταξινομηθούν με βάση διάφορα κριτήρια, αλλά τα πιο σημαντικά είναι το περιβάλλον ανάπτυξης και το είδος του οργανισμού που εκτρέφεται. Σύμφωνα με στοιχεία του 2015, τα θαλάσσια νερά αποτελούν ως περιβάλλον εκτροφής το 47% της συνολικής παραγωγής υδατοκαλλιέργειας, ενώ από κοντά ακολουθούν με 45% τα γλυκά νερά. Το υπόλοιπο 8% αναπτύσσεται σε υφάλμυρα ύδατα, ποσοστό που αντιστοιχεί σε περίπου 8 tn για αυτή τη χρονιά. (FAO, 2016, ΣΕΘ, 2017)

Μέχρι σήμερα, έχουν καταγραφεί ανά τον κόσμο τουλάχιστον 580 διαφορετικά είδη τα οποία έχουν εκτραφεί τουλάχιστον μία φορά σε οποιοδήποτε περιβάλλον και με οποιοδήποτε τρόπο εκτροφής. Ως προς τη διάρθρωση της παραγωγής το 2015, σχεδόν το μισό της παγκόσμιας παραγωγής αποτελούν τα ψάρια, δηλαδή περίπου 52 εκατομμύρια τόνοι. Στη συνέχεια, ακολουθούν τα υδρόβια φυτά τα οποία αν και αντιπροσωπεύουν το 27,7% της παραγωγής, η αξία τους αποτελεί μόλις το 3% της συνολικής αξίας παραγωγής. Έπειτα, η 3^η μεγαλύτερη κατηγορία αφορά τα μαλάκια με ποσοστό 15,5% του συνόλου. Τα

καρκινοειδή, δηλαδή αστακοί, καβούρια, караβίδες, γαρίδες και άλλα, αν και αφορούν το 7% της συνολικής παραγωγικής, η αξία τους ανέρχεται στο 23,6% της αξίας των υδατοκαλλιέργειών. Τέλος, το μικρότερο ποσοστό από πλευράς αξίας και όγκου παραγωγής κατανέμεται στα ασπόνδυλα και τα αμφίβια / ερπετοειδή. (FAO, 2016, ΣΕΘ, 2017)



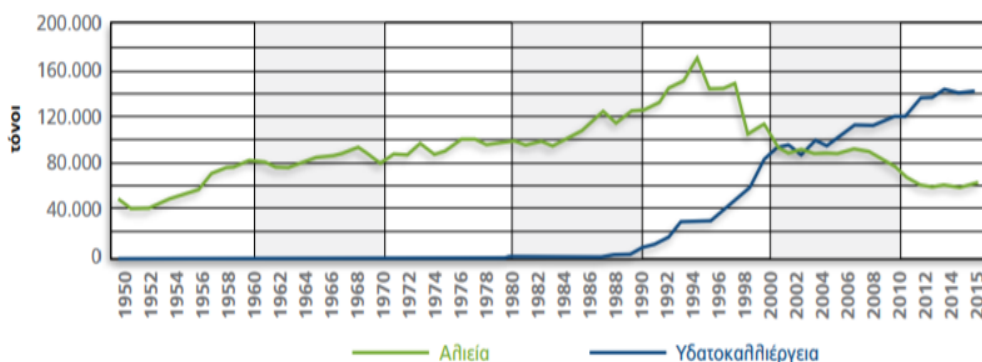
Σχήμα 2.5: Ανάλυση παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας ανάλογα με το εκτρεφόμενο είδος για το 2015 με βάση τον όγκο (αριστερά) και την αξία (δεξιά) (ΣΕΘ, 2017)

Η κατανομή της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειών δεν είναι ομοιόμορφη ανά τον κόσμο, με την Κίνα και γενικότερα την Ασία να αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό του όγκου της συνολικής παραγωγής. Συγκεκριμένα, η Κίνα καλύπτει το 61,6% της συνολικής υδατοκαλλιέργειας η οποία προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση και συνολικά η Ασία το 89%. Το υπόλοιπο ποσοστό της παραγωγής κατανέμεται κυρίως στην Αμερική κατά 4,5% και στην Ευρώπη με 4%. Οι μικρότεροι παραγωγοί με βάση τον ετήσιο όγκο είναι η Αφρική που καλύπτει το 2,3% και η Ωκεανία με μόλις 0,2%. Σε όλες τις ηπείρους έχει σημειωθεί αύξηση στην απόλυτη τιμή της παραγωγή την τελευταία 20ετία, αλλά μελετώντας τα ποσοστά ως προς τη συνολική παραγωγή, παρατηρείται μείωση στην περιοχή της Ευρώπης και της Ωκεανίας και αύξηση στην Αφρική και την Αμερική. Αντιθέτως, η συνεισφορά της Ασίας παραμένει σχεδόν σταθερή με τα χρόνια σε ποσοστό 88-89%. (FAO, 2016, ΣΕΘ, 2017)

2.6 Οι υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα

Ο κλάδος της αλιείας έχει μακρά ιστορία και παράδοση στην περιοχή της Ελλάδας. Οι εξαιρετικές κλιματολογικές συνθήκες, η γεωμορφολογία και η ποικιλία των πηγών (ποτάμια, λίμνες και θάλασσες) σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της έρευνας και της τεχνολογίας εντός και εκτός συνόρων, τη χρηματοδότηση από εγχώρια και ευρωπαϊκά κονδύλια και την αδυναμία των αλιευτικών αποθεμάτων να καλύψουν τις αγοραστικές ανάγκες, συνέβαλλαν στην ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας στην Ελλάδα με επίκεντρο τις θαλάσσιες καλλιέργειες. Το 1980 η υδατοκαλλιέργεια αποτελούσε μόλις το 2% της εγχώριας παραγωγής αλιευμάτων που αντιστοιχούσε περίπου σε 2000 τόνους, ενώ το υπόλοιπο 98% προερχόταν από την αλιεία. Ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας αφορούσε την ιχθυοκαλλιέργεια εκτατικής μορφής σε λιμνοθάλασσες και εντατικής μορφής σε εσωτερικά ύδατα. Σύμφωνα με τα στοιχεία του υπουργείου αγροτικής ανάπτυξης και τροφίμων

(ΥΠΑΑΤ), το 1985 οι καλλιέργειες αφορούσαν την παραγωγή πέστροφας και μυδιών και λειτουργούσαν μόνο 12 μονάδες εκτροφές. Μέσα σε τρεις δεκαετίες, ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας σημείωσε ραγδαία ανάπτυξη όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6, σε αντίθεση με την αλιεία η οποία κατέγραψε μείωση από τα μέσα της δεκαετίας του '90 και μετά. Η αύξηση της υδατοκαλλιέργειας αποτυπώνεται και στον αριθμό των μονάδων υδατοκαλλιέργειας οι οποίες σήμερα ανέρχονται σε περίπου 350 για ιχθυοκαλλιέργειες και σε 600 για οστρακοκαλλιέργειες. (ΣΕΘ, 2017, ΥΠΑΑΤ, 2014)



Σχήμα 2.6: Μεταβολή της παραγωγής με υδατοκαλλιέργεια (μπλε) και με αλιεία (πράσινο χρώμα) στην Ελλάδα το διάστημα 1950-2015 (ΣΕΘ, 2017)

Στην Ελλάδα εκτρέφονται κυρίως ψάρια και όστρακα, ενώ τα τελευταία χρόνια ο κλάδος έχει κάνει άνοιγμα προς την καλλιέργεια υδρόβιων φυτών τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία καλλυντικών, ως βιοκαύσιμα, ως συμπληρώματα διατροφής και άλλα. Το 2015 ο κλάδος της καλλιέργειας υδρόβιων φυτών αφορούσε λιγότερο από 0,1% της παραγωγής της χώρας αλλά κατέγραφε αύξηση 17% σε σχέση με το 2014. Με βάση τα στοιχεία του 2015, οι οστρακοκαλλιέργειες αποτελούν το 14% της συνολικής παραγωγής αλλά η αξία τους αντιστοιχεί μόλις στο 1% της συνολικής αξίας των υδατοκαλλιεργειών. Το υπόλοιπο 86% αποτελούν οι ιχθυοκαλλιέργειες, η αξία των οποίων καλύπτουν σχεδόν όλη την αξία του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας (99%).

Η ελληνική ιχθυοκαλλιέργεια παράγει κορυφαίας ποιότητας προϊόντα ακολουθώντας τις αυστηρές εθνικές και Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για την προστασία του περιβάλλοντος, την υγεία και ευζωία των εκτρεφόμενων ειδών και την προστασία του καταναλωτή. Η εφαρμογή αυτών των προδιαγραφών αύξησε το κόστος παραγωγής λόγω της βελτιωμένης ποιότητας. Ωστόσο, αν και οι προδιαγραφές που ακολουθούνται θα έπρεπε να αποτελούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι άλλων παραγωγών, η ανταγωνιστικότητα τους μειώνεται λόγω της αυξημένης τιμής.

Η ιχθυοκαλλιέργεια στην Ελλάδα αποτελεί τον ταχύτερα αναπτυσσόμενο κλάδο παραγωγής τροφίμων. Από τα διάφορα είδη, η εκτροφή των θαλάσσιων μεσογειακών ευρύαλων ιχθύων, δηλαδή η τσιπούρα και το λαβράκι αποτελούν περίπου το 98% της συνολικής παραγωγής (η τσιπούρα σε ποσοστό 55% και το λαβράκι σε ποσοστό 43%). Το υπόλοιπο ποσοστό μοιράζεται σε άλλα μεσογειακά είδη όπως είναι το μυτάκι, το φαγκρί, το λυθρίνι και η συναγρίδα. Η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού στην Ελλάδα έφτασε τους 113.000 τόνους το 2014 και έχει τοποθετήσει την χώρα στην πρώτη θέση μεταξύ των

παραγωγών χωρών αυτών των ειδών τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Ανάμεσα στις χώρες της Ευρώπης, η Ελλάδα καλύπτει το 54% της συνολικής ευρωπαϊκής παραγωγής λαβρακιού και το 61% της τσιπούρας. Από τη συνολική παραγωγή, το μεγαλύτερο ποσοστό εξάγεται σε άλλες χώρες καθιστώντας τα ιχθυηρά το δεύτερο σε αξία εξαγωγίμο προϊόν της χώρας μετά το ελαιόλαδο (ΣΕΘ, 2017, ΥΠΑΑΤ, 2014)

Ως προς τη γεωγραφική κατανομή των μονάδων ιχθυοκαλλιεργειών, το μεγαλύτερο ποσοστό παράγεται στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Δωδεκανήσου, της Εύβοιας, της Κεφαλονιάς και της Ιθάκης και στις θαλάσσιες περιοχές των νομών Θεσπρωτίας, Φθιώτιδας και Αιτωλοακαρνανίας. Η κατανομή των μονάδων ανά περιοχή παρουσιάζεται λεπτομερώς στην επόμενη εικόνα όπου αναγράφεται και το αντίστοιχο ποσοστό συνεισφοράς. (ΣΕΘ, 2017)



Σχήμα 2.7: Κατανομή μονάδων ιχθυοκαλλιεργείας στον Ελλαδικό χώρο (ΣΕΘ, 2017)

2.7 Ιχθυοκαλλιέργειες λαβρακιού

Η εκτροφή του μεσογειακού είδους λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) καταγράφηκε για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1970 οπότε και παρήχθησαν 10 τόνοι λαβρακιού. Από εκείνο το σημείο σημειώθηκε ραγδαία ανάπτυξη όπως αναφέρθηκε και παραπάνω και πλέον σήμερα οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου είδους καλύπτονται σχεδόν εξ ολοκλήρου από την ιχθυοκαλλιέργεια (ποσοστό 98%) και μόλις το 2% προέρχεται από την άγρια αλιεία. Στοιχεία από την Ελλάδα για το 2015 έδειξαν ότι η συνολική παραγωγή λαβρακιού ανήλθε στους 45.000 τόνους, με αξία περίπου 235 εκατομμυρίων ευρώ. Οι τιμές αυτές παρουσίασαν αύξηση 7% σε σχέση με το 2015. Η εκτροφή αυτού του είδους ιχθυηρού το 2016 καταγράφηκε σε 19 χώρες κυρίως από την περιοχή της Μεσογείου και τη Μέση Ανατολή. Από αυτές, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής προέρχεται από την Ελλάδα και

την Τουρκία αφού καλύπτουν μαζί το 74% και ακολουθεί η Ισπανία με 13,2%. Οι υπόλοιπες χώρες έχουν ετήσια παραγωγή μικρότερη από 15.000 τόνους για το έτος 2016. (ΣΕΘ, 2017)

Το λαβράκι στην αγορά διατίθεται στην αγορά κυρίως ως νωπό και σε ελάχιστο βαθμό ως κατεψυγμένο. Στη νωπή μορφή του διατίθεται είτε ολόκληρο είτε σε φιλέτα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, αλλά και μικρότερο χρόνο ζωής. Έτσι, είναι απαραίτητη η αναζήτηση νέων τεχνολογιών οι οποίες θα επεκτείνουν το χρόνο ζωής αυτών των προϊόντων.

Η μεσογειακή ιχθυοκαλλιέργεια στην οποία κατατάσσεται και το λαβράκι, χαρακτηρίζεται από έντονη εξωστρέφεια αφού το 80% της ελληνικής παραγωγής εξάγεται και μόλις το 20% παραμένει για κατανάλωση εντός της χώρας. Η μεγαλύτερη αγορά των ελληνικών ιχθυηρών είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση σε ποσοστό 95% και το υπόλοιπο μέρος εξάγεται στην Βόρεια Αμερική και σε τρίτες χώρες. Πιο συγκεκριμένα, η Ιταλία η Ισπανία και η Γαλλία απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής παραγωγής και μαζί με το μέρος της παραγωγής που καταναλώνεται μέσα στη χώρα, αποτελούν το 81% της συνολικής ελληνικής παραγωγής. (ΣΕΘ, 2017)

Η καλλιέργεια του λαβρακιού ασκείται εντατικά σε χερσαίες εγκαταστάσεις κατά τα πρώτα στάδια της εκκόλαψης και της προπάχυνσης και σε πλωτούς κλωβούς κατά την πάχυνση. Στην Ελλάδα η υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα αναπτύχθηκε αξιοποιώντας τη μεγάλη ακτογραμμή και αποφεύγοντας τους κλειστούς κόλπους. Η χρήση της ακτογραμμής προσφέρει πληθώρα θέσεων προστατευμένων από κυματισμούς, με νερά που ανανεώνονται και με καλή ποιότητα περιβαλλοντικών παραμέτρων.

2.8 Κατανάλωση ιχθυηρών

Τα ιχθυηρά αποτελούν σημαντικό κεφάλαιο στην ανθρώπινη διατροφή. Μια υγιεινή διατροφή πρέπει να περιλαμβάνει επαρκή ποσότητα πρωτεϊνών οι οποίες να περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα, τα απαραίτητα λίπη όπως είναι τα λιπαρά οξέα μακρίας αλυσίδας (ω -3 λιπαρά οξέα), βιταμίνες και μέταλλα. Οι ανάγκες αυτές μπορούν να καλυφθούν και από τα ιχθυηρά αφού αποτελούν πλούσια πηγή αφομοιώσιμων και καλής ποιότητας πρωτεϊνών οι οποίες περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα. Επίσης, περιλαμβάνουν ακόρεστα λιπαρά οξέα όπως είναι τα ω -3 και είναι καλές πηγές βιταμινών Α, Β και D και διαφόρων μετάλλων όπως ασβεστίου, φωσφόρου, ιωδίου, ψευδαργύρου, σιδήρου και σεληνίου. Όλα αυτά τα οφέλη εξασφαλίζονται ειδικά αν τα ψάρια καταναλώνονται ολόκληρα. Επιπλέον, έχει αποδειχτεί ότι η αυξημένη κατανάλωση ιχθύων μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά στη μείωση καρδιαγγειακών νοσημάτων. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί προληπτικά ενάντια στη στεφανιαία καρδιακή νόσο και στα φλεγμονώδη νοσήματα όπως είναι ο διαβήτης τύπου II. Επιπλέον, τα ιχθυηρά βοηθούν στην ανάπτυξη του εγκεφάλου και του νευρικού συστήματος των βρεφών. Τέλος, η κατανάλωσή τους έχει συσχετιστεί με δίαιτες απώλειας βάρους και περιορισμού της παχυσαρκίας. (Brunner et al. 2009, FAO, 2016, Torpy et al. 2006, Τσιρώνη, 2010)

Οι ιχθύες θεωρούνται από μεγάλο μέρος του πληθυσμού ως μια υγιεινή, θρεπτική και γευστική τροφή και αυτό αποτυπώνεται από τη συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωσή τους. Η μέση ετήσια κατανάλωση ιχθύων κυμαινόταν σε μόλις 9 kg/άτομο το 1960 και έφτασε

σχεδόν τα 20 kg το 2015. Άλλοι λόγοι που συνέβαλλαν στην αύξηση της μέσης κατανάλωσης είναι η αυξημένη παραγωγή, η αύξηση των εισοδημάτων και οι βελτιωμένοι δίαυλοι διανομής των προϊόντων. Όμως, η κατά κεφαλή κατανάλωσή είναι άνισα κατανεμημένη ως προς την ποσότητα και την ποικιλία, τόσο μεταξύ των διαφορετικών χωρών αλλά και εντός των χωρών. Οι ανισότητες που καταγράφονται οφείλονται στη διαθεσιμότητα και το κόστος των ιχθύων, στην προσβασιμότητα σε αλιευτικούς πόρους, στο διαθέσιμο εισόδημα και στα κοινωνικά χαρακτηριστικά όπως οι διατροφικές συνήθειες ανά τόπους. Οι μεγαλύτερες διαφορές καταγράφονται μεταξύ των λιγότερο και πιο ανεπτυγμένων χωρών αφού το 2013 η μέση κατανάλωση των πρώτων έφτασε σχεδόν τα 19 kg ενώ στις άλλες έφτασε μόλις τα 7,6 kg. Στις βιομηχανικές χώρες η μέση ετήσια κατανάλωση έφτασε σχεδόν τα 27 kg ανά άτομο. (FAO, 2016)

Σημαντικές διαφοροποιήσεις καταγράφονται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω και στα διαφορετικά είδη που καταναλώνονται κατά τόπους. Έτσι, οι ιχθύες βαθέων υδάτων καταναλώνονται κυρίως στην Αμερική και τη Βόρεια Ευρώπη, ενώ στην Ασία και τη Μεσόγειο καταναλώνονται κυρίως κεφαλόποδα. Τα οστρακοειδή καταναλώνονται κυρίως στις πιο ανεπτυγμένες χώρες λόγω της υψηλότερης αξίας τους. Μια άλλη παράμετρος κατανάλωσης είναι και ο χρόνος προετοιμασίας του τροφίμου αφού ο σύγχρονος καταναλωτής προτιμάει όλο και περισσότερο προϊόντα εύκολα στην παρασκευή τους. (Τσιρώνη, 2010)

Στην Ευρώπη το 2013, η μέση ετήσια κατανάλωση ιχθυηρών ανά άτομο έφτασε τα 22,2 kg, τιμές παραπλήσιες με αυτές της Ασίας, της Ωκεανίας και της Λατινικής Αμερικής. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του FAO, η μέση κατανάλωση ιχθύων στην Ευρώπη αναμένεται να φτάσει τα 24 kg ανά άτομο χωρίς αναμενόμενες μεταβολές στα είδη που καταναλώνονται και σήμερα. Από την κατανάλωση αυτή τη μεγαλύτερη ζήτηση την έχουν ο τόνος και ο μπακαλιάρος από τα άγρια ψάρια, ενώ από τα εκτρεφόμενα ο σολομός βρίσκεται στην κορυφή των προτιμήσεων με ετήσια κατανάλωση πάνω από 2kg. Όσον αφορά τα μεσογειακά είδη στα οποία συγκαταλέγεται το λαβράκι, η μεγαλύτερη κατανάλωσή τους παρατηρείται στις νότιες ευρωπαϊκές χώρες, ενώ τα τελευταία χρόνια κερδίζουν μερίδιο της αγοράς και στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη. (FAO, 2016, ΣΕΘ, 2017)

Σύμφωνα με στοιχεία του FAO, η κατανάλωση των ιχθύων στην Ελλάδα μέχρι το 2030 αναμένεται να φτάσει τα 27 kg κατά κεφαλήν ετησίως καταγράφοντας μικρή αύξηση. Επομένως, η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού τα οποία είναι τα πιο διαδεδομένα είδη στην ελληνική αγορά, παρουσιάζει σημαντική δυνατότητα εξέλιξης τα επόμενα χρόνια αφού η προβλεπόμενη παραγωγή αναμένεται να φτάσει τους 55.000 τόνους το 2030. (FAO, 2016, Τσιρώνη, 2010)

Η πλειοψηφία του ελληνικού πληθυσμού δείχνει προτίμηση σε ιχθύες ελεύθερης αλιείας έναντι του ιχθυοτροφείου αν και η εικόνα αυτή έχει βελτιωθεί σε σχέση με τα περασμένα χρόνια όπου ο Έλληνας καταναλωτής δεν έδειχνε προτίμηση στα ψάρια ιχθυοτροφείου σε ποσοστό 82%. Τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή των καταναλωτών αποτελούν κατά σειρά η φρεσκότητα των ιχθύων, οι συνθήκες συντήρησης τους, οι πιστοποιήσεις υγιεινής τους, η γεύση και η προέλευσή τους. Από την άλλη πλευρά, το μέγεθος, η συσκευασία, η διαθεσιμότητα και η τιμή δεν αποτελούν σημαντικά κριτήρια για τους καταναλωτές ιχθύων ιχθυοτροφείου. Τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να αποτελέσουν ερέθισμα για την υιοθέτηση μέτρων ενημέρωσης του καταναλωτή σχετικά με την ενημέρωση των καλλιεργούμενων ιχθυηρών. Στην προσπάθεια τόνωσης της ζήτησης στην εγχώρια αγορά, θα πρέπει να ακολουθηθεί ένα σχέδιο το οποίο θα περιλαμβάνει την παραγωγή νέων διαφοροποιημένων προϊόντων υψηλής ποιότητας, την εύρεση βελτιωμένων

διαδικασιών παραγωγής, συσκευασίας και διανομής σε συνδυασμό με ένα σύστημα μάρκετινγκ που θα προβάλλει τα εκτρεφόμενα είδη και ειδικά την τσιπούρα και το λαβράκι που αποτελούν τα βασικά παραγόμενα είδη της χώρας. (ΣΕΘ, 2017. Τσιρώνη, 2010)

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΧΘΥΗΡΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Το νερό είναι ένα από τα βασικά συστατικά που απαντάται σε όλα τα τρόφιμα. Το νερό αυτό στο τρόφιμο διαχωρίζεται στο ελεύθερο και στο δεσμευμένο. Από αυτές τις δύο καταστάσεις το διαθέσιμο νερό είναι αυτό που καθορίζει τις φυσικοχημικές, μικροβιολογικές και ενζυμικές δράσεις που συμβαίνουν στο τρόφιμο και καθορίζουν τη σταθερότητα και την ποιότητά του κατά την αποθήκευση. Αντιθέτως, το δεσμευμένο νερό είναι συνδεδεμένο με υδατοδιαλυτές ενώσεις και δεν είναι διαθέσιμο για αυτές τις δράσεις. Η ενεργότητα του νερού είναι ένα μέτρο που εκφράζει την αναλογία αυτών των δύο καταστάσεων του νερού και αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη διατηρησιμότητα του τροφίμου. Η μείωση της ενεργότητας του νερού μέσω αφυδάτωσης στοχεύει στην αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης και την αύξηση της διάρκειας ζωής και στη διατήρηση των χαρακτηριστικών του προϊόντος με το χρόνο.

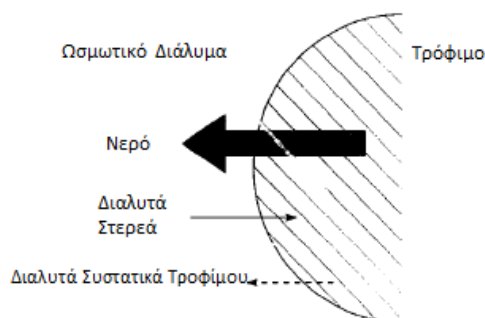
Η αφυδάτωση αποτελεί μια παλιά και ευρέως διαδεδομένη τεχνική μείωσης της υγρασίας και συντήρησης των τροφίμων. Όσον αφορά τα ιχθυηρά, οι πρώτες τεχνικές που εφαρμόστηκαν με αυτό το σκοπό ήταν η ξήρανση στον ήλιο και στον αέρα, η αλάτιση και το μαρινάρισμα. Τις τελευταίες δεκαετίες αντικείμενο μελέτης αποτελεί η εύρεση νέων τεχνικών επεξεργασίας των τροφίμων οι οποίες θα δώσουν ένα ελκυστικό προϊόν με βελτιωμένα ποιοτικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά. Μια τέτοια τεχνική προεπεξεργασίας είναι η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης η οποία παρουσιάζει μια πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι των κλασσικών τεχνικών μείωσης του περιεχόμενου νερού τα οποία θα αναλυθούν λεπτομερώς σε επόμενη παράγραφο του κεφαλαίου. Επιπλέον, κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται και νέες, μη θερμικές μέθοδοι οι οποίες σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση επιταχύνουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, χωρίς να προκαλούν ανεπιθύμητες αντιδράσεις που υποβαθμίζουν τα θρεπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως συμβαίνει στις θερμικές μεθόδους. Ανάμεσα σε αυτές τις νέες μεθόδους συγκαταλέγεται και η τεχνικών των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ, pulsed electric field – PEF).

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον και από τη βιομηχανία τροφίμων για την εισαγωγή της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην παραγωγική διαδικασία με σκοπό την παραγωγή βελτιωμένων προϊόντων. Μέχρι σήμερα αυτή η διαδικασία έχει εφαρμοστεί ως μέθοδος προεπεξεργασίας σε φρούτα για να καλύψει τις αγοραστικές ανάγκες σε φρέσκα προϊόντα έναντι των κατεψυγμένων και κονσερβοποιημένων. Με την επίλυση ορισμένων ζητημάτων τα οποία αφορούν κυρίως τη μεταφορά της διεργασίας από πιλοτικές μονάδες σε βιομηχανική κλίμακα θα μπορέσουν να ανοίξουν νέοι ορίζοντες για τις βιομηχανίες στην παραγωγή καινοτόμων προϊόντων. Όσον αφορά τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία στη βιομηχανία τροφίμων, παρά τα πλεονεκτήματα που φαίνεται ότι παρουσιάζουν, μέχρι σήμερα είναι περιορισμένη η εμπορική αξιοποίηση τέτοιων συστημάτων επεξεργασίας με ΠΗΠ λόγω του υψηλού αρχικού κόστους και κάποιων άλλων μειονεκτημάτων.

3.2 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική επεξεργασία (Osmotic dehydration, OD) αποτελεί ένα συνδυασμό των διεργασιών της αφυδάτωσης και του εμπλουτισμού όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, ένα τρόφιμο υψηλής περιεκτικότητας σε νερό εμβαπτίζεται ολόκληρο ή σε κομμάτια σε ένα υπερτονικό μέσο όπως είναι ένα διάλυμα υψηλής περιεκτικότητας σε σάκχαρο ή άλας. Λόγω της διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της κυτταρικής μεμβράνης του τροφίμου, πραγματοποιούνται κυρίως δύο ροές με αντίθετες κατευθύνσεις. Από τη μία πλευρά, νερό από το εσωτερικό του τροφίμου απομακρύνεται προς το ωσμωτικό διάλυμα αραιώνοντάς το. Παράλληλα, διαλυμένες ουσίες του ωσμωτικού διαλύματος μεταφέρονται προς το εσωτερικό του τροφίμου εμπλουτίζοντας τη σύστασή του. Πέραν αυτών των δύο κύριων ροών του νερού και των στερεών, λαμβάνει χώρα και εκροή διαφόρων διαλυτών στερεών συστατικών του τροφίμου όπως σάκχαρα, βιταμίνες και οργανικά οξέα προς το διάλυμα. Οι ποσότητες αυτών των συστατικών είναι αμελητέες σε σχέση με το νερό και τα στερεά που μεταφέρονται, όμως είναι ουσιαστικές για τη σύνθεση του τελικού προϊόντος αφού επηρεάζουν σημαντικά τα οργανοληπτικά και ποιοτικά του χαρακτηριστικά. (Raoult-Wack, 1994, Shi and Xue, 2009)

Η απομάκρυνση του νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση γίνεται μέσω διάχυσης και τριχοειδούς ροής, ενώ η μεταφορά των διαλυμένων ουσιών από και προς το κύτταρο πραγματοποιείται μόνο με διάχυση. Βέβαια, η γνώση για την πρόβλεψη των φαινομένων μεταφοράς μάζας εξακολουθεί να μην έχει πλήρως αποκρυπτογραφηθεί αν και έχουν καταβληθεί αρκετές προσπάθειες τις τελευταίες δεκαετίες. Τα φαινόμενα μεταφοράς που συμβαίνουν κατά την ώσμωση παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 3.1. (Rahman, 2007, Raoult-Wack, 1994)



Σχήμα 3.1: Φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την αφυδάτωση τροφίμου σε ωσμωτικό διάλυμα

Κατά την ωσμωτική επεξεργασία με διάλυμα σακχάρου/άλατος, σχηματίζεται ένα στρώμα στερεών συστατικών κάτω από την επιφάνεια του τροφίμου. Έτσι, δημιουργείται ένα επιπλέον εμπόδιο στη μεταφορά μάζας αφού αυτό το στρώμα εξασθενεί τη διαφορά της ωσμωτικής πίεσης μεταξύ διαλύματος και τροφίμου. Ο σχηματισμός του στρώματος παρεμποδίζει κυρίως τη μεταφορά των στερεών προς το τρόφιμο και μειώνει την απώλεια των υδατοδιαλυτών συστατικών από αυτό, ενώ δεν επηρεάζει την απώλεια του νερού. Η παρουσία του άλατος στο διάλυμα παρεμποδίζει το σχηματισμό αυτού του στρώματος

αυξάνοντας το ρυθμό απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών. (Collignan et al., 1994, Raoult-Wack, 1994)

Η κινητήρια δύναμη για την απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο είναι η διαφορά ωσμωτικής πίεσης η οποία δημιουργείται λόγω της διαφοράς συγκέντρωσης ανάμεσα στα δύο μέρη (τρόφιμο και διάλυμα). Όσο η ενεργότητα του ωσμωτικού διαλύματος παραμένει αρκετά μικρότερη από αυτή του τροφίμου, τόσο λαμβάνει χώρα η απομάκρυνση του νερού. Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιείται σε δύο φάσεις απώλειας νερού. Στην πρώτη φάση παρατηρείται μεγάλος ρυθμός απώλειας νερού από το τρόφιμο ο οποίος σταδιακά μειώνεται στο δεύτερο στάδιο και τελικά μηδενίζεται όταν το σύστημα φτάσει σε ισορροπία. (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996, Shi and Xue, 2009)

Για την μαθηματική περιγραφή της ωσμωτικής αφυδάτωσης, υπολογίζονται δύο μεγέθη, η απώλεια της υγρασίας (Water Loss, WL, $g_{\text{νερού}}/g_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$) και η ολική πρόσληψη στερεών (Solid Gain, SG, $g_{\text{ολικών στερεών}}/g_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$) οι οποίες προσδιορίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o} \quad (3.1)$$

$$SG = \frac{(m - m_o)}{m_o} \quad (3.2)$$

όπου M_o το αρχικό βάρος του δείγματος πριν την ωσμωτική επεξεργασία, M το βάρος μετά την ώσμωση, m το ξηρό βάρος του δείγματος μετά την ώσμωση και m_o το αρχικό ξηρό βάρος χωρίς την ώσμωση.

Για τη συσχέτιση των δύο αυτών μεγεθών με τις παραμέτρους της ωσμωτικής αφυδάτωσης, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εμπειρικά ή ημι-εμπειρικά μοντέλα τα οποία προσεγγίζουν το τρόφιμο είτε μακροσκοπικά ή/και μικροσκοπικά. Ανάμεσα στην πληθώρα των μοντέλων, ορισμένα είναι πολύ εξειδικευμένα και μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορα ακανόνιστα σχήματα, ενώ άλλα μοντέλα λειτουργούν με κάποιες παραδοχές όπως για παράδειγμα στη γεωμετρία των δειγμάτων, τις τιμές ισορροπίας και την αντίσταση του διαλύματος. (Ochoa – Martínez and Ayala – Aronte, 2007)

Το πιο ευρέως διαδεδομένο μοντέλο για τον υπολογισμό των συντελεστών διάχυσης των φαινομένων μεταφοράς μάζας μέσω αναλυτικών λύσεων, βασίζεται στο 2^ο νόμο του Fick ο οποίος περιγράφει τη διάχυση σε μη μόνιμη κατάσταση. Η εξίσωση που περιγράφει το μηχανισμό της ώσμωσης στη μη μόνιμη κατάσταση είναι:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (3.3)$$

όπου C είναι η συγκέντρωση της ουσίας στο τρόφιμο τη χρονική στιγμή t , D ο συντελεστής διάχυσης, x η χαρακτηριστική απόσταση που διαφέρει ανάλογα με τη γεωμετρία του υλικού και t είναι ο χρόνος.

Η λύση της παραπάνω γενικευμένης εξίσωσης (3.3) προσδιορίζει τους συντελεστές διάχυσης του νερού και των στερεών. Ο σκοπός του προσδιορισμού αυτών των μεγεθών είναι για να συσχετιστούν τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα, με εύκολα μετρήσιμα μεγέθη όπως είναι η συγκέντρωση και η θερμοκρασία του διαλύματος και για να προσδιοριστούν οι

συνθήκες τις διεργασίες όπως η τελική επιθυμητή υγρασία και ο συνολικός χρόνος της επεξεργασίας. (Nsonzi et al, 1998)

3.3 Παράμετροι διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης

Οι κυριότερες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης αφορούν το ίδιο το τρόφιμο, το ωσμωτικό διάλυμα, διάφορες παραμέτρους της διεργασίας (συγκέντρωση διαλύματος, αναλογία διαλύματος/ τροφίμου, θερμοκρασία και χρόνος επεξεργασίας) καθώς και την προκατεργασία με κάποια άλλη τεχνολογία όπως είναι η μέθοδος του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου.

Επιλογή ωσμωτικού μέσου

Μια βασική παράμετρος που πρέπει να καθοριστεί, είναι η επιλογή του κατάλληλου ωσμωτικού μέσου η οποία καθορίζεται από τα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, το μοριακό βάρος της ουσίας και το κόστος. Το μέσο θα πρέπει να επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα ως προς την ώσμωση, δηλαδή να δίνει μεγάλο ρυθμό απώλειας νερού και να ελαττώνει σημαντικά την ενεργότητα του νερού. Επίσης, θα πρέπει να προσδίδει στο τρόφιμο καλά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και καλές διατροφικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, δεν πρέπει να δημιουργεί έντονη γλυκύτητα και να το επιβαρύνει με θερμίδες. Μεγάλο μέρος των επιστημονικών μελετών χρησιμοποιούν ως ωσμωτικό μέσο σακχαρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη και μαλτοδεξτρίνες. Άλλες ουσίες οι οποίες έχουν αξιοποιηθεί στα ωσμωτικά διαλύματα είναι η τρεχαλόζη και η ραφινόζη και διάφορα άλλα σάκχαρα, το ασκορβικό και το κιτρικό οξύ, το χλωριούχο νάτριο και το χλωριούχο ασβέστιο. Επίσης, γίνεται και συνδυασμός των διαφόρων συστατικών με σκοπό να μειωθεί το κόστος και να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της διεργασίας. (Li and Ramaswamy, 2005, Rahman, 2007, Raoult-Wack, 1994)

Μοριακό βάρος ωσμωτικού μέσου

Το μοριακό βάρος της ουσίας του ωσμωτικού μέσου έχει σημαντικό ρόλο αφού επηρεάζει το ρυθμό της απώλειας υγρασίας και της πρόσληψης στερεών. Πιο συγκεκριμένα, οι ενώσεις με υψηλά μοριακά βάρη ευνοούν την απώλεια της υγρασίας αλλά παρεμποδίζουν την πρόσληψη των στερεών η οποία ευνοείται από τα χαμηλότερα μοριακά βάρη. Τα σάκχαρα μικρού μοριακού βάρους ευνοούν την πρόσληψη των στερεών λόγω της πιο γρήγορης διείσδυσης των μορίων στο εσωτερικό του τροφίμου. Λόγω αυτής της αντίφασης, προτιμάται συνήθως μίγμα δύο ή περισσότερων διαλυμένων ουσιών. (Raoult-Wack, 1994, Torreggiani, 1995)

Συγκέντρωση διαλύματος

Η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου είναι σημαντική για τη διεργασία, οπότε πρέπει να προσδιοριστεί η κατάλληλη τιμή συγκέντρωσης. Έχει αποδειχθεί ότι όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών, τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός της

απώλειας υγρασίας. Επίσης, το πιο πυκνό διάλυμα έχει χαμηλότερη ενεργότητα νερού η οποία αποτελεί κινητήρια δύναμη για την εξέλιξη της διεργασίας. Επιπλέον, η αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας στοιβάδας στην επιφάνεια του τροφίμου η οποία ενισχύει το φαινόμενο της αφυδάτωσης αλλά όχι της πρόσληψης ουσιών. (Rahman, 2007, Tortoe, 2010)

Θερμοκρασία διαλύματος

Η θερμοκρασία της ωσμωτικής επεξεργασίας επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό της αφυδάτωσης του προϊόντος αφού η διάχυση είναι ένα φαινόμενο εξαρτώμενο από τη θερμοκρασία. Επίσης, αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο που επιδρά στην κινητική της απώλειας της υγρασίας και της πρόσληψης των στερεών. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί πιο έντονη εκροή νερού και εισροή στερεών, αν και το τελευταίο φαινόμενο δεν επηρεάζεται σε τόσο μεγάλο βαθμό. Αυτό συμβαίνει λόγω της πιο εύκολης διάχυσης του νερού μέσω της κυτταρικής μεμβράνης σε σχέση με τις διαλυμένες ουσίες. Ωστόσο σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να συμβούν παράλληλα και άλλες ανεπιθύμητες δράσεις στα τρόφιμα όπως ενζυμικό αμαύρισμα ή υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Επίσης, σε θερμοκρασίες άνω των 50°C έχει παρατηρηθεί αύξηση της πρόσληψης στερεών επειδή πιθανόν παραμορφώνεται η κυτταρική μεμβράνη και άρα η διαπερατότητά της. Όσον αφορά την επεξεργασία των ιχθυηρών, οι πρώτες μελέτες πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασίες σχετικά υψηλές, μεγαλύτερες από 20°C (Corzo and Bracho, 2006, Mujaffar and Sankat, 2006, Ribeiro et al., 2004) ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν μελετηθεί και χαμηλότερες θερμοκρασίες (Checmarev et al., 2016, Li et al., 2017, Τσιρώνη, 2010). Βέβαια, η βέλτιστη θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για κάθε είδος τροφίμου διαφέρει και εξαρτάται από το ίδιο το τρόφιμο. (Barbosa-Cánovas, 1996, Rahman, 2007, Torreggiani, 1995, Tortoe, 2010)

Χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας

Ο χρόνος της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι μια ακόμα σημαντική παράμετρος σχεδιασμού και καθορίζεται από την επιθυμητή τιμή της υγρασίας και των στερεών στο τελικό προϊόν. Η αφυδάτωση συνεχίζεται μέχρι την ισορροπία της ενεργότητας νερού του διαλύματος και του τροφίμου. Όμως, η χρονική διάρκεια επιλέγεται να είναι πριν την ισορροπία για να ελαχιστοποιηθούν οι ποιοτικές μεταβολές που επιτυγχάνονται με τη μακροχρόνια ωσμωτική επεξεργασία και γιατί με το πέρασμα του χρόνου και ειδικά προς το τέλος της διεργασίας οι ρυθμοί μεταφοράς μάζας ελαττώνονται. Για μεγάλους χρόνους παρατηρούνται μεταβολές στις μακροσκοπικές ιδιότητες του τροφίμου όπως είναι το σχήμα και το μέγεθος των κυττάρων, ενώ μπορεί να προκληθεί και αποκόλληση των κυττάρων. (Falade and Igbeka, 2007, Raoult-Wack, 1994, Torreggiani, 1995)

Ανάδευση

Για την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, μπορεί να εφαρμοστεί ανάδευση. Μέσω αυτής της τεχνικής ελαχιστοποιείται η αντίσταση στη μεταφορά μάζας με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός της απώλειας υγρασίας και της πρόσληψης των στερεών. Επιπλέον, η ανάδευση επιλύει ένα ακόμα πρόβλημα το οποίο

δημιουργείται από τη φύση των ωσμωτικών διαλυμάτων τα οποία λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας τους σε σάκχαρα δημιουργούν προβλήματα επίπλευσης των δειγμάτων. Έτσι, παρεμποδίζεται η πλήρης επαφή διαλύματος και δείγματος και άρα μειώνεται ο ρυθμός μεταφοράς μάζας. Τα προβλήματα αυτά επιλύονται με την ανάδευση του μέσου κοντά στο δείγμα αυξάνοντας τους ρυθμούς μεταφοράς και μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο για να επιτευχθεί μια επιθυμητή τιμή υγρασίας. Όμως, επειδή η ανάδευση ως διεργασία έχει ένα κόστος εξοπλισμού και λειτουργίας, πρέπει να μελετηθεί αν η διαφορά στη μεταφορά μάζας είναι σημαντική ή όχι, κι αν η εφαρμογή της είναι οικονομικά συμφέρουσα ή όχι. Επιπλέον, ιδιαίτερα για στερεά τρόφιμα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πιθανότητα τραυματισμού του δείγματος κατά την ανάδευση. (Falade and Igbeka, 2007, Phisut, 2012, Tortoe, 2010)

Τρόφιμο

Εκτός από το ωσμωτικό διάλυμα, σημαντικό ρόλο στη διεργασία διαδραματίζει και το ίδιο το τρόφιμο. Οι διαφορές στη χημική σύσταση (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, ιχνοστοιχεία και άλλα) και στη δομή (πορώδες, προσανατολισμός ινών και άλλα) επηρεάζουν την κινητική της μεταφοράς μάζας. Για παράδειγμα, σε διαφορετικά δείγματα φρούτων έχει βρεθεί ο ρόλος της συνεκτικότητας των ιστών, η συγκέντρωση σε διαλυτά και μη στερεά, η ενζυμική δραστηριότητα και η ενδοκυτταρική δομή στην πρόσληψη των στερεών και την απώλεια της υγρασίας. Πέρα από τη δομή και τη σύσταση, και η γεωμετρία του τροφίμου επηρεάζει τη διεργασία. Έχει αποδειχθεί ότι το μικρότερο πάχος επιταχύνει τα φαινόμενα, ενώ το σχήμα και οι διαστάσεις του δείγματος επηρεάζουν το ρυθμό μεταφοράς μάζας. Πιο συγκεκριμένα, ο λόγος της επιφάνειας προς τον όγκο φαίνεται ότι μέχρι κάποιο όριο ευνοεί τα φαινόμενα εισροής στερεών και εκροής νερού, ενώ πάνω από αυτό το όριο, τα αποτελέσματα αντιστρέφονται. (Lerici, 1985, Rahman, 2007, Tortoe, 2010)

Αναλογία μάζας διαλύματος/τροφίμου

Επιπλέον, η αναλογία του ωσμωτικού διαλύματος προς τη μάζα του τροφίμου αποτελεί σημαντική παράμετρο για τον έλεγχο της ωσμωτικής διεργασίας. Η απώλεια υγρασίας και η πρόσληψη στερεών επιταχύνονται με την αύξηση αυτού του λόγου. Κατά την εξέλιξη της διεργασίας απομακρύνονται ποσότητες νερού αραιώνοντας το διάλυμα και μειώνοντας την κινητήρια δύναμη της διεργασίας. Για μεγάλες τιμές δεν μεταβάλλεται σημαντικά η ωσμωτική πίεση του διαλύματος διατηρώντας το ρυθμό μεταφοράς μάζας σε υψηλά επίπεδα. Υπάρχει μια τιμή αναλογίας πάνω από την οποία δεν παρατηρείται διαφορά στη μέγιστη τιμή μεταφοράς μάζας. Η τιμή αυτή διαφέρει από τρόφιμο σε τρόφιμο και συνήθως δεν είναι μεγαλύτερη από 10:1. Σε εργαστηριακές μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί λόγοι μαζών αρκετά υψηλοί, ακόμα και 50:1, αλλά σε βιομηχανική κλίμακα κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό αφού καθημερινά επεξεργάζονται τόνοι τροφίμων και επομένως πολλοί τόνοι ωσμωτικών διαλυμάτων υψηλού ιξώδους (λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε σάκχαρα) πρέπει να κυκλοφορούν στο σύστημα. Αυτό δεν είναι επιθυμητό γιατί μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα λόγω του ιξώδους των διαλυμάτων. (Falade and Igbeka, 2007, Manroudou et al., 1998)

Προεπεξεργασία με άλλες τεχνικές

Τέλος, σε περιπτώσεις που ο ρυθμός μεταφορά μάζας είναι μικρός, η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να συνδυαστεί με άλλες τεχνικές όπως τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η χρήση υπερήχων, η υπερυψηλή πίεση, η χρήση κενού και άλλες. Η κάθε προκατεργασία δρα με διαφορετικό τρόπο στο τρόφιμο. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη συνεργιστική δράση αυτών των διεργασιών στην ωσμωτική αφυδάτωση αναφέρονται στη συνέχεια στην παράγραφο 3.6. (Rahman, 2007)

3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα με αποτέλεσμα να είναι αρκετά ελκυστική για τη βιομηχανία ως μέθοδος προκατεργασίας αλλά και για την παραγωγή νέων προϊόντων με βελτιωμένες ιδιότητες. Το βασικό προτέρημα της μεθόδου είναι ότι δεν προκαλεί ποιοτική αναβάθμιση του τροφίμου. Από τις μελέτες πάνω στο θέμα έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνονται τόσο τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά όπως είναι το χρώμα, το άρωμα και η υφή αλλά επιπλέον βελτιώνεται και η θρεπτική αξία του τροφίμου αφού αποτελεί και μια μέθοδο εμπλουτισμού σε στερεά διαλυτά συστατικά. Επιπλέον, σε δείγματα φρούτων και λαχανικών έχει παρατηρηθεί ότι επιβραδύνει την απώλεια της βιταμίνης C. Βέβαια, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η αποκόμιση αυτών των χαρακτηριστικών εξαρτάται άμεσα από την κατάλληλη επιλογή του ωσμωτικού μέσου. (Rahman, 2007, Torreggiani and Bertolo, 2001, Vial et al., 1991)

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα ειδικά για τη βιομηχανική εφαρμογή της μεθόδου, αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας, αφού η συγκεκριμένη διεργασία δεν είναι ιδιαίτερα ενεργειακά έντονη. Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους αφυδάτωσης όπως είναι η ξήρανση με αέρα, με κατάψυξη ή υπό κενό, η ωσμωτική επεξεργασία έχει χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις αφού συνήθως η επεξεργασία δεν απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες ή ενέργεια για κατάψυξη, ούτε έχει απαιτήσεις για δημιουργία κενού. Οι Lenart and Lewicki (1988) απέδειξαν ότι η ενεργειακή απαίτηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στους 40°C με ανασύσταση του ωσμωτικού διαλύματος με εξάτμιση ήταν δυο φορές χαμηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη απαίτηση της ξήρανσης σε αέρα στους 70°C. Πέρα από το ενεργειακό κόστος, η συγκεκριμένη τεχνική δεν απαιτεί και ειδικό εξοπλισμό καθιστώντας την αρκετά οικονομική μέθοδο. (Lenart and Lewicki, 1988, Rahman, 2007)

Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να μειώσει το κόστος συσκευασίας και διανομής του προϊόντος. Μέσω της διαδικασίας αυτής μειώνεται το περιεχόμενο νερό στα τρόφιμα και παρατηρείται και μείωση του βάρους και του μεγέθους τους με αποτέλεσμα τη διευκόλυνση της αποθήκευσης και της συσκευασίας και τη μείωση του κόστους αυτών των εργασιών. (Fellows, 2000, Rahman, 2007)

Άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι μέσω αυτής της μεθόδου, μειώνονται οι απαιτήσεις σε πρόσθετες-συντηρητικές χημικές ουσίες. Η μείωση της ενεργότητας του νερού αναστέλλει ή επιβραδύνει πολλές φυσικοχημικές και μικροβιολογικές δράσεις οι οποίες συμβαίνουν στα τρόφιμα και τα αλλοιώνουν. Επιπλέον, τα σάκχαρα που προσλαμβάνονται στο τρόφιμο παρεμποδίζουν το ενζυμικό μαύρισμα στα φρούτα και τα λαχανικά μέσω της αδρανοποίησης του ενζύμου πολυφαινολική οξειδάση και επιβραδύνουν την αλλοίωση της

οσμής αφού δεν απομακρύνονται πτητικές ουσίες όπως συμβαίνει σε άλλες διεργασίες ξήρανσης. (Rahman, 2007, Wientjes, 1968)

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ωσμωτική επεξεργασία μειώνει την ενεργότητα του νερού στα τρόφιμα και έτσι αναστέλλονται ή επιβραδύνονται πολλές φυσικοχημικές, μικροβιακές και ενζυμικές δράσεις που πραγματοποιούνται φυσικά στα τρόφιμα. Έτσι, ελαττώνονται τα προβλήματα κατά την αποθήκευση τους και αυξάνεται ο χρόνος ζωής τους. (Rahman, 2007)

Παρά την πληθώρα πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω για την χρήση της τεχνολογίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, υπάρχουν και σημαντικά προβλήματα κυρίως τεχνολογικής φύσης τα οποία πρέπει να επιλυθούν προκειμένου να αποκτήσει περισσότερες εφαρμογές σε βιομηχανική κλίμακα. Ένα βασικό μειονέκτημα αφορά την έλλειψη πληροφοριών για το σχεδιασμό και τον έλεγχο αυτής της διεργασίας σε βιομηχανική κλίμακα. Οι περισσότερες μελέτες που υπάρχουν, επικεντρώνονται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας, αλλά για τη βιομηχανία εξίσου σημαντικό ρόλο έχουν και τα ποσοτικά. Επίσης, είναι απαραίτητο να λάβουν χώρα περισσότερες μελέτες οι οποίες θα επικεντρώνονται στη διακύμανση των σταθερών ισορροπίας και των ρυθμών ανάλογα με τις μεταβλητές της διεργασίας και τα χαρακτηριστικά του τροφίμου. Όσον αφορά τον έλεγχο της διεργασίας, οι μετρήσεις της συγκέντρωσης σε πραγματικό χρόνο είναι ένας καλός δείκτης ελέγχου της διαδικασίας. (Tortoe, 2010)

Επιπλέον, τα τρόφιμα που επεξεργάζονται, έχουν την τάση να επιπλέουν στο ωσμωτικό διάλυμα μειώνοντας τη διεπιφάνεια διαλύματος – τροφίμου. Αυτό οφείλεται στη χαμηλότερη πυκνότητα που εμφανίζουν τα τρόφιμα σε σχέση με τα πυκνά ωσμωτικά διαλύματα. Το ωσμωτικό διάλυμα έχει μεγάλο ιξώδες λόγω μεγάλης περιεκτικότητας σε σάκχαρα οπότε μπορούν να εμφανιστούν προβλήματα όπως η δημιουργία αντίστασης στη μεταφορά μάζας και η προσκόλληση τους στην επιφάνεια του τροφίμου. Τέλος, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στη σωστή διαχείριση των τροφίμων που επεξεργάζονται έτσι ώστε να μην θραύονται με τη ροή σε περίπτωση συνεχής λειτουργίας, ούτε κατά την ανάδευση σε λειτουργία διαλείποντος έργου. (Rahman, 2007, Raoult-Wack, 1994, Tortoe, 2010)

Μια άλλη σημαντική παράμετρος που πρέπει να επιλύσουν οι βιομηχανίες πριν την εφαρμογή της διεργασίας, είναι η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος μετά το πέρας της ωσμωτικής επεξεργασίας. Κατά την επεξεργασία, νερό μεταφέρεται από το τρόφιμο στο διάλυμα αραιώνοντας το και στερεά συστατικά του αρχικού διαλύματος απομακρύνονται από το διάλυμα. Επίσης, μέσω του νερού που απομακρύνεται από το προϊόν, συμπαρασύρονται σε μικροποσότητες και διάφορες διαλυτές ουσίες οι οποίες όμως επηρεάζουν τη γεύση και το άρωμα του διαλύματος. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της σύστασης του διαλύματος σε σχέση με τα αρχικά του χαρακτηριστικά. Επειδή δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα η παρασκευή νέων διαλυμάτων για κάθε εφαρμογή και ειδικά πολύ πυκνών διαλυμάτων, είναι απαραίτητη η μελέτη της επαναχρησιμοποίησής τους απομακρύνοντας όλα τα στερεά συστατικά που προέρχονται από το τρόφιμο. Ορισμένες λύσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η συνεχής διήθηση για την απομάκρυνση των ιστών που πιθανόν απορρίπτονται στο διάλυμα, ενώ ανάλογα και με τη φύση του συστήματος μπορούν να εφαρμοστούν εξάτμιση, συμπύκνωση με μεμβράνες ή προσθήκη διαλυτών συστατικών. Η εφαρμογή αυτών των τεχνικών θα πρέπει να συνυπολογιστεί στο συνολικό κόστος της διεργασίας για να φανεί αν συμφέρει η εισαγωγή επιπλέον σταδίων στη διαδικασία. Η πιο διαδεδομένη τεχνική είναι η μέθοδος της εξάτμισης η οποία έχει αυξημένο κόστος. Η περίπτωση της προθήκης διαλυτών ουσιών ή ανάμιξης με συμπυκνωμένο διάλυμα

εμφανίζει μειωμένο κόστος εξοπλισμού και ενέργειας αλλά αυξάνει τη μάζα του διαλύματος. (Raoult-Wack, 1994, Rastogi et al., 2002, Tortoe, 2010) Βέβαια, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση του διαλύματος δεν μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές αφού τίθενται θέματα όπως το ενδεχόμενο μικροβιακής μόλυνσης. Μέχρι σήμερα υπάρχουν λίγες μελέτες πάνω στο θέμα της ανακύκλωσης και της μικροβιολογικής μόλυνσης, αν και είναι ένα θέμα που χρήζει περαιτέρω έρευνας. (Raoult-Wack, 1994, Torreggiani, 1995) Οι Dermesonliouoglou and Taoukis (2008b) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι κατά την ωσμωτική αφυδάτωση τομάτας, η επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος για 10 φορές, δεν έδωσε ανεπιθύμητες μεταβολές στα προϊόντα.

Η τελευταία παράμετρος που θα πρέπει να μελετηθεί για να εξεταστεί η επιτυχία ή μη της ωσμωτικής αφυδάτωσης, είναι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Ανάλογα με τα συστατικά του διαλύματος, το τελικό προϊόν μπορεί να εμφανίσει αυξημένη γλυκύτητα, αλμυρότητα ή οξύτητα. Επομένως, πρέπει να ελεγχθεί η διάχυση του κάθε συστατικού και του νερού. Στα πλαίσια της οργανοληπτικής βελτιστοποίησης του τροφίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν πρόσθετα τα οποία είτε εμποδίζουν ή ευνοούν την πρόσληψη στερεών ή της υγρασίας είτε επιβραδύνουν τη μικροβιακή ανάπτυξη στην επιφάνεια του. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μικροβιολογικός έλεγχος. (Rahman, 2007, Tortoe, 2010)

3.5 Ωσμωτική αφυδάτωση ιχθυηρών

Τα προϊόντα ιχθυηρών έχουν υποστεί διάφορες μεθόδους επεξεργασίας από τα αρχαία χρόνια μέχρι σήμερα με σκοπό την συντήρησή τους. Ανάμεσα στις παραδοσιακές τεχνικές συντήρησης συμπεριλαμβάνονται η αλάτιση, η ξήρανση και το μαρινάρισμα. Η ωσμωτική προκατεργασία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για να βελτιστοποιήσει τις παραδοσιακές τεχνικές συντήρησης αφού οι εργαστηριακές μελέτες έχουν δώσει εξαιρετικά αποτελέσματα. Η ελάττωση της ενεργότητας νερού παρεμποδίζει την μικροβιακή ανάπτυξη, ενώ επιπλέον λαμβάνει χώρα και απομάκρυνση μικροοργανισμών από τη διεπιφάνεια τροφίμου/διαλύματος. Κατά τη συντήρηση υπό ψύξη, η μικροβιακή ανάπτυξη είναι ο κύριος παράγοντας ο οποίος καθορίζει τη διατηρησιμότητα του τροφίμου και επομένως, η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί καλή λύση για την αύξηση του χρόνου ζωής των ιχθυηρών. (Collignan et al., 2001, Rastogi et al., 2002, Τσιρώνη, 2010)

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εργαστηριακές μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε διάφορα είδη ιχθυηρών όπως είναι η τσιπούρα, ο σολομός, η σαρδέλα, ο κολιός, η τιλάπια και άλλα. Στον παρακάτω πίνακα 3.1 παρουσιάζονται ορισμένες από τις μελέτες που έλαβαν χώρα την τελευταία δεκαετία και οι βασικές συνθήκες της κάθε διεργασίας. Οι μελέτες προσανατολίζονται είτε στη μελέτη των φαινομένων μεταφοράς μάζας μέσω προσδιορισμού των συντελεστών διάχυσης, είτε στη μεταβολή της ποιότητάς τους με τη χρήση διαφορετικών ποιοτικών δεικτών.

Οι περισσότερες από τις μελέτες του πίνακα 3.1, αλλά και γενικά οι μελέτες που αφορούν τα ιχθυηρά επικεντρώνονται περισσότερο στη μελέτη των φαινομένων μεταφοράς μάζας για διαφορετικά ωσμωτικά μέσα. Τα διάφορα μέσα περιέχουν στις περισσότερες περιπτώσεις κάποιο σάκχαρο όπως γλυκερόλη, μαλτοδεξτρίνη, σουκρόζη, σορβιτόλη και σε κάποιες μελέτες χρησιμοποιείται και άλας σε μικρή περιεκτικότητα (<10%). Επίσης, γίνεται

προσπάθεια για να βρεθούν νέες τεχνικές σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση οι οποίες θα βελτιώσουν περισσότερο τα φαινόμενα μεταφοράς. Μεγαλύτερη έλλειψη παρουσιάζεται στη μελέτη της επίδρασης των ωσμωτικών διαλυμάτων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων. Ορισμένες από αυτές τις μελέτες παρατήρησαν κυρίως τις μεταβολές του χρώματος και τις μεταβολές της υφής των επεξεργασμένων και μη ιχθυρών, ενώ έχουν μελετηθεί και οι μεταβολές των χαρακτηριστικών με το χρόνο αποθήκευσης σε διάφορες θερμοκρασίες και για διαφόρους τρόπους αποθήκευσης όπως για παράδειγμα σε αερόβιες συνθήκες, υπό κενό και σε συσκευασίες με τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

Πίνακας 3.1: Μελέτες της επίδρασης ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα ιχθυρών

Τρόφιμο	Ωσμωτικό διάλυμα	Συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης	Βιβλιογραφική αναφορά
Λαβράκι	40, 50, 60% μαλτοδεξτρίνη, 5%NaCl	15°C, 0-3 h	Τσιρώνη, 2010
Κολιός	40% γλυκερόλη, 5%NaCl	7°C	Checmarev et al., 2016
	54% γλυκερόλη, 7%NaCl	50, 70 και 90°C, 0-3 h	Checmarev et al., 2013
Τιλάπια	5% τρεχαλόζη	4°C, 1 h	Li et al., 2017
	20, 25, 30, 35 και 40% σουκρόζη	20 και 30°C, 1-8 h	Duan et al., 2012
Κυπρίνος	45, 52,5 και 60% σουκρόζη 60, 70, 80% μελάσα	10, 20 και 30°C, 0-5 h	Lončar et al., 2014

3.6 Διεργασίες συνεργιστικές στην ωσμωτική αφυδάτωση

Σε ορισμένες περιπτώσεις που ο ρυθμός μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση είναι μικρός, μπορεί να υπάρξει συνδυαστική δράση με άλλες μεθόδους οι οποίες επιταχύνουν τα φαινόμενα της μεταφοράς υγρασίας από το τρόφιμο. Ανάμεσα στις μεθόδους οι οποίες έχουν εφαρμοστεί είναι τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η υπερυψηλή πίεση, η χρήση υπερήχων και η χρήση κενού. Η κάθε προκατεργασία δρα με διαφορετικό τρόπο στο τρόφιμο. Η εφαρμογή κενού κατά την ωσμωτική επεξεργασία διευκολύνει τη μεταφορά ουσιών από το κύτταρο προς το περιβάλλον λόγω της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται. Σε αυτή τη περίπτωση η μεταφορά μάζας πραγματοποιείται λόγω της κλασσικής διάχυσης και επιπλέον λόγω τριχοειδούς ροής. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση της πίεσης οδηγεί στη διαφυγή αερίου από τους πόρους του τροφίμου και το κενό που δημιουργείται καλύπτεται από το ωσμωτικό διάλυμα αυξάνοντας το ρυθμό μεταφοράς μάζας. Η τεχνική αυτή είναι πιο αποτελεσματική για τρόφιμα με μεγάλο πορώδες. (Fito, 1994, Rahman, 2007) Σύμφωνα με τους Zielinska and Markowski (2018) η χρήση κενού σε δείγματα cranberries αύξησε το συντελεστή διάχυσης της υγρασίας και των στερεών περίπου κατά 9 φορές σε σχέση με την απλή ωσμωτική επεξεργασία.

Μία άλλη τεχνική η οποία στηρίζεται στη μεταβολή της πίεσης για να επιταχύνει τα φαινόμενα μεταφοράς είναι η χρήση της υπερυψηλής πίεσης (ή υψηλής υδροστατικής πίεσης) συνεργιστικά με την ωσμωτική αφυδάτωση. Ο τρόπος δράσης της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η αύξηση της πίεσης στην περιοχή του ωσμωτικού διαλύματος και του

τροφίμου που οδηγεί στην επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας αυξάνοντας τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης. Η διαπερατότητα μεταβάλλεται λόγω τροποποιήσεων στη δομή του κυτταρικού τοιχώματος και κυρίως στους μη ομοιοπολικούς δεσμούς του. (Rahman, 2007, Taiwo et al., 2003) Μελέτες πάνω στη συγκεκριμένη μέθοδο σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση έδειξαν την επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς του νερού και των στερεών σε μικρότερο βαθμό. (Nuñez-Mancilla et al., 2011) Επίσης, τα τελευταία χρόνια έχει μελετηθεί και η τεχνολογία εμποδίων με την εφαρμογή πρώτα ωσμωτικής αφυδάτωσης και στη συνέχεια υπερυψηλής πίεσης όπως για παράδειγμα οι Andreou et al. (2018) που μελέτησαν τη συνδυαστική εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης και υπερυψηλής πίεσης σε δείγματα φιλέτου στήθους κοτόπουλου και οι Dermesonliouoglou et al. (2016) με μία ανάλογη μελέτη στο συνδυασμό των τεχνικών σε δείγματα φράουλας.

Όσον αφορά τη χρήση των υπερήχων, η εφαρμογή ηχητικών κυμάτων σε ένα στερεό μέσο προκαλεί ταλαντώσεις των μορίων του κατά τη διάδοση του κύματος. Η ροή των κυμάτων επηρεάζει το πάχος του οριακού στρώματος μεταξύ της φάσης του τροφίμου και του διαλύματος. Κατά τους υπερήχους σχηματίζονται φυσαλίδες στο υγρό οι οποίες δημιουργούν τοπικά διακυμάνσεις της πίεσης και έτσι, αυξάνεται η διάχυση κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι επηρεάζει αρνητικά τους ιστούς των τροφίμων προκαλώντας κυτταρική διάσπαση. (Fernandes et al., 2009, Rahman, 2007) Οι Nowacka et al. (2018) παρατήρησαν τη σημαντική επίδραση της χρήσης υπερήχων σε δείγματα cranberries ως προς την απώλεια υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση για 72h σε διαλύματα σουκρόζης και τρεχαλόζης (αύξηση κατά 13%), ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην πρόσληψη στερεών. Οι Zielinska and Markowski (2018) επεξεργάστηκαν και αυτοί δείγματα cranberries με διάφορες συνεργιστικές τεχνικές στην ωσμωτική αφυδάτωση και για την περίπτωση των υπερήχων κατέγραψαν σημαντική αύξηση των συντελεστών διάχυσης από $0,7 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ σε $3,0 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ για την απώλεια υγρασίας και από $0,4 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ σε $2,1 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ για την πρόσληψη στερεών.

Τέλος, η εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ως προεπεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης αποτελεί ένα πρόσφατο πεδίο έρευνας με πολλές προοπτικές εφαρμογής σε διάφορα τρόφιμα. Ο τρόπος με τον οποίο επιδρά η συγκεκριμένη μη θερμική τεχνική στα κύτταρα του τροφίμου είναι παρόμοιος με αυτό της υπερυψηλής πίεσης, δηλαδή αυξάνει τη διαπερατότητα της μεμβράνης, αν και ο μηχανισμός της ηλεκτροδιαπερατότητας δεν έχει πλήρως διευκρινιστεί. (Rahman, 2007) Μέχρι σήμερα ο συνδυασμός παλμικού ηλεκτρικού πεδίου και ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει περιοριστεί σε δείγματα φρούτων και λαχανικών, ενώ παρουσιάζεται έλλειμμα η έρευνα σε ζωικούς ιστούς δηλαδή σε ψάρια και κρέατα. Στις μελέτες που έχουν δημοσιευτεί, φαίνεται η θετική επίδραση της προκατεργασίας των ΠΗΠ στην ωσμωτική αφυδάτωση. Οι Dermesonliouoglou et al. (2016b) μελετώντας την προκατεργασία με ΠΗΠ σε δείγματα ακτινίδιου κατέγραψαν μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας και πρόσληψη στερεών κατά το συνδυασμό των δύο τεχνικών έναντι της απλής ώσμωσης, καθώς και αύξηση του χρόνου ζωής των δειγμάτων, ενώ δεν παρατήρησαν καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και δεν διαπίστωσαν μεταβολές στην περιεχόμενη βιταμίνη C. Οι Dermesonliouoglou et al. (2018) κατέληξαν σε αντίστοιχα αποτελέσματα μελετώντας δείγματα goji berries. Πιο συγκεκριμένα, η διάχυση των στερεών σχεδόν διπλασιάστηκε με την προκατεργασία του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου, ενώ η διάχυση της υγρασίας επηρεάστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό από την προκατεργασία και ανάλογα με τις εφαρμοζόμενες συνθήκες σχεδόν δεκαπλασιάστηκε. Ως προς τις ποιοτικές παραμέτρους, διαπιστώθηκε μικρή μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων. Περισσότερες πληροφορίες

σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

3.7 Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ)

Η μέθοδος των ΠΗΠ παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της διάρρηξης των κυτταρικών μεμβρανών με χαμηλό λειτουργικό κόστος και λόγω της ενεργοποίησης του μεταβολισμού των κυττάρων, ενώ δεν αλλοιώνει το τρόφιμο όπως συμβαίνει με τις θερμικές μεθόδους επεξεργασίας. Βέβαια, η αγορά τέτοιων συστημάτων είναι περιορισμένη από τη βιομηχανία τροφίμων και επομένως είναι μειωμένη και η εφαρμογή της τεχνολογίας των ΠΗΠ σε αυτόν το κλάδο, με το μεγαλύτερο μέρος των βιομηχανιών να στρέφονται στις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας.

Ο όρος παλμικά ηλεκτρικά πεδία χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια περιοδική αυξομείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε μορφή παλμού με βάση τις αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού. Η έννοια του παλμού περιγράφει την ακαριαία αύξηση και μείωση της έντασης σε πολύ μικρό χρόνο.

3.7.1 Αρχή λειτουργίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων

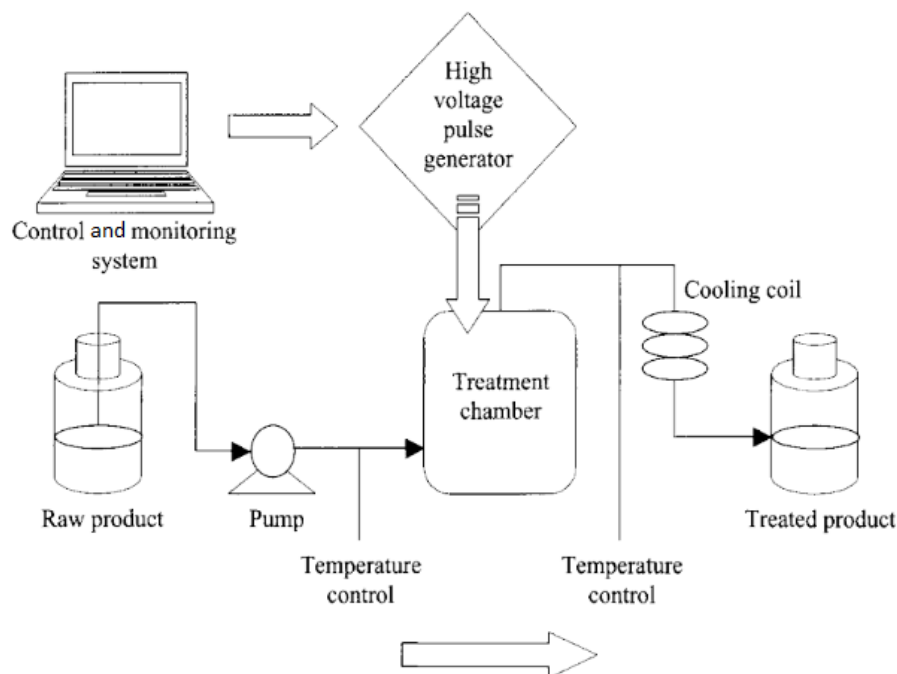
Η βασική αρχή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων είναι η εφαρμογή παλμών υψηλού ηλεκτρικού πεδίου και πολύ μικρής διάρκειας. Η διάρκεια του παλμού κυμαίνεται σε επίπεδα μs - ms και η ένταση του από 100-300 V/cm μέχρι και 20-80 kV/cm. Η χρήση των υψηλών ηλεκτρικών πεδίων (>20 kV/cm) αξιοποιείται ως μια εναλλακτική λύση για την αδρανοποίηση παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών και ενζύμων υγρών τροφίμων διατηρώντας σχεδόν αμετάβλητες τις ιδιότητες του (Lelieveld et al., 2007, Vega – Mercado et al., 1997, Wang et al., 2018). Η ηλεκτρική ενέργεια υψηλής ισχύος που διαπερνά το τρόφιμο, προέρχεται από ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής ισχύος η οποία συλλέγεται και αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή όπως θα αναφερθεί λεπτομερώς στη συνέχεια του κεφαλαίου. (Barbosa-Cánovas et al., 1999, Vega-Mercado et al., 2007)

Το τρόφιμο τοποθετείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και η διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος οφείλεται στην παρουσία ιόντων τα οποία εξασφαλίζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Στην περίπτωση των στερεών τροφίμων όπως είναι και το λαβράκι που μελετήθηκε, απαιτείται ένα υγρό μέσο, συνήθως νερό, μέσω του οποίου θα επιτευχθεί η μεταφορά των φορτισμένων ιόντων σε κάθε σημείο του τροφίμου, ενώ στα υγρά τρόφιμα η μεταφορά των ιόντων εξασφαλίζεται από το ίδιο το τρόφιμο (Cullen et al., 2012, Mohamed and Amer – Eissa, 2012, Raso, 2015).

3.7.2 Εξοπλισμός συστήματος παλμικών ηλεκτρικών πεδίων

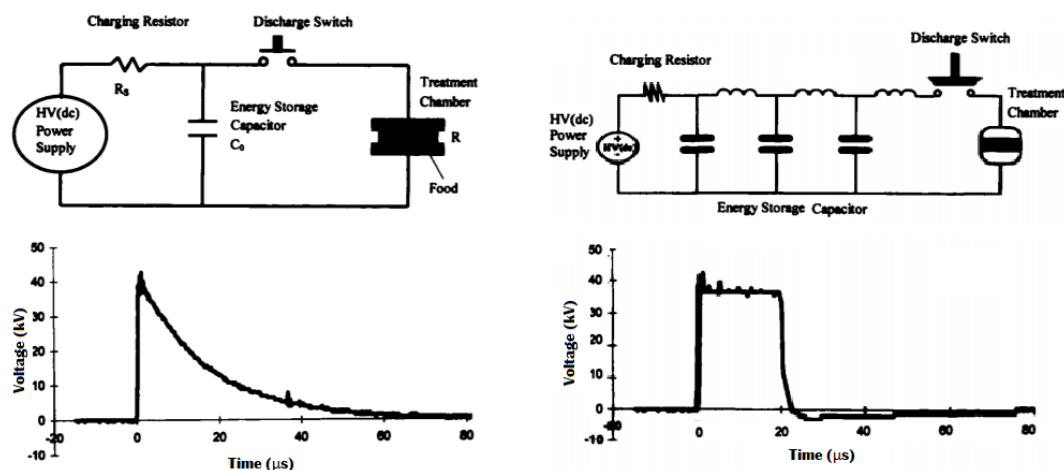
Για την εφαρμογή του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου απαιτείται η παραγωγή μεγάλου αριθμού παλμών υψηλής έντασης σε μικρό χρονικό διάστημα. Τα συστήματα παραγωγής ΠΗΠ διαφέρουν σε κάποια σημεία ανάλογα με το αν προορίζονται για συνεχή ή ασυνεχή λειτουργία και αν χρησιμοποιούνται για εργαστηριακή, βιομηχανική ή ημιβιομηχανική κλίμακα. Ωστόσο, ένα τυπικό σύστημα περιλαμβάνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας, ένα θάλαμο επεξεργασίας, υπολογιστή για τη ρύθμιση των συνθηκών της διεργασίας και καταγραφής των αποτελεσμάτων, συστήματα ψύξης και μετρητές των συνθηκών της διεργασίας. (Barbosa-Cánovas et al., 1999, FDA, 2014, Mohamed and Amer – Eissa, 2012). Ένα τέτοιο τυπικό διάγραμμα ροής παρουσιάζεται παρακάτω.



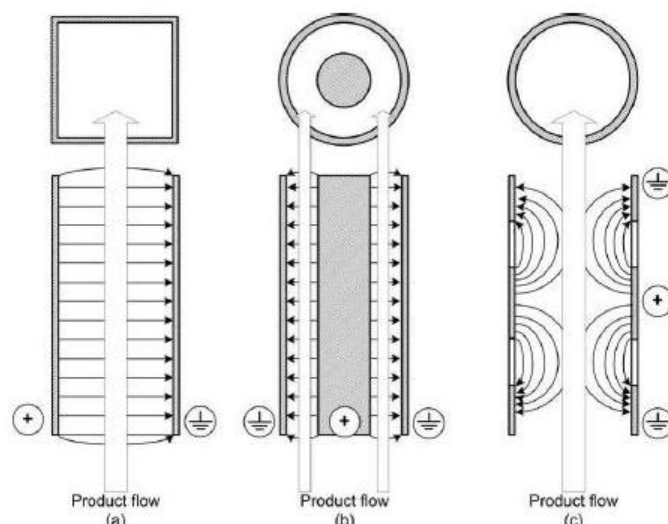
Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής τυπικού συστήματος ΠΗΠ συνεχούς λειτουργίας (Mohamed and Amer – Eissa, 2012)

Το βασικό κομμάτι του εξοπλισμού είναι ο χώρος παραγωγής των παλμών και ο θάλαμος επεξεργασίας στον οποίο εισέρχεται το τρόφιμο. Η γεννήτρια των παλμών περιλαμβάνει μια πηγή-φορτιστή η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές, αντιστάσεις, πυκνωτές, διακόπτες και ηλεκτροδία σε σύνδεση με το χώρο επεξεργασίας. Όσον αφορά την αρχή λειτουργίας αυτού του κυκλώματος, η πηγή με τη βοήθεια μιας αντίστασης φορτίζει τον πυκνωτή ο οποίος αποθηκεύει αυτή την ενέργεια. Η εκκένωση της ηλεκτρικής ενέργειας στο θάλαμο επεξεργασίας ελέγχεται από έναν διακόπτη ο οποίος κατά το στάδιο της φόρτισης παραμένει ανοικτός και όταν κλείσει, απελευθερώνει την αποθηκευμένη ενέργεια μέσω των ηλεκτροδίων σε ελάχιστο χρόνο. Ο διακόπτης είναι πολύ σημαντικός για την εφαρμογή των ΠΗΠ και ειδικά σε βιομηχανική κλίμακα αφού ενεργοποιεί και απενεργοποιεί ένα κύκλωμα υψηλής ισχύος σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Όταν η τάση του πυκνωτή δεν είναι αρκετά υψηλή, χρησιμοποιείται και ένας μετασχηματιστής παλμών για να την αυξήσει. Μικρές διαφορές παρατηρούνται στα κυκλώματα ανάλογα με τη μορφή του παλμού όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.3 που ακολουθεί, αν και η αρχή λειτουργίας παραμένει η ίδια. Για παράδειγμα, στους παλμούς τετραγωνικούς μορφής συνδέονται πολλοί πυκνωτές σε σειρά. (FDA, 2014, Lelieveld et al., 2007, Raso and Heinz, 2006, Zhang et al., 1996)



Σχήμα 3.3: Κύκλωμα παραγωγής παλμών εκθετικής μείωσης (αριστερά) και τετραγωνικής μορφής (δεξιά) (FDA, 2014)

Ο θάλαμος επεξεργασίας είναι ο χώρος όπου τοποθετείται το τρόφιμο και εκτίθεται στους παλμούς ηλεκτρικού πεδίου. Σε αυτόν περιέχονται δύο τουλάχιστον ηλεκτρόδια, το ένα υψηλής τάσης και το άλλο σε δυναμικό γείωσης. Τα ηλεκτρόδια διαχωρίζονται μεταξύ τους από μονωτικό υλικό. Επίσης, τα ηλεκτρόδια θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση και να μην αποσπώνται κομμάτια υλικού κατά την επεξεργασία επειδή αποτελούν κίνδυνο για τα τρόφιμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις διαθέτουν και σύστημα ψύξης έτσι ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανσή τους κατά την διαδικασία. Όσον αφορά το θάλαμο, σημαντικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά είναι οι διαστάσεις, ο όγκος και η απόσταση των ηλεκτροδίων. Οι θάλαμοι που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι διαλείποντος ή συνεχούς έργου. Οι πρώτοι είναι αρκετά χρήσιμοι κυρίως για στερεά τρόφιμα καθώς και για εργαστηριακή κλίμακα αφού επεξεργάζονται μικροί όγκοι, η θερμοκρασία των ηλεκτροδίων διατηρείται εύκολα με ψύξη και με επεξεργασία σε χαμηλή συχνότητα παλμών. Οι θάλαμοι συνεχούς λειτουργίας επιλέγονται σε περιπτώσεις επεξεργασίας μεγάλων όγκων κυρίως υγρών τροφίμων και ενσωματώνονται εύκολα σε υπάρχουσες γραμμές επεξεργασίας τροφίμων. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες μορφές για τους θαλάμους επεξεργασίας, ωστόσο τρία είναι τα κυρίαρχα συστήματα: οι θάλαμοι με παράλληλα ηλεκτρόδια, οι ομοαξονικοί και οι συγγραμμικοί σχηματισμοί. Οι διαφορές αυτών των θαλαμών παρουσιάζονται στο σχήμα 3.4. (Barbosa-Cánovas et al., 1999, Cullen et al., 2012, Ho and Mittal, 2000, Mohamed and Amer – Eissa, 2012, Raso and Heinz, 2006)



Σχήμα 3.4: Διάφορες γεωμετρίας θαλάμων επεξεργασίας ΠΗΠ: (a) παράλληλων πλακών, (b) ομοαξονικών και (c) συγγραμμικών σχεδιασμών (Toerfl, 2006)

Βιβλιογραφικά, έχουν προταθεί συστήματα παλμικών ηλεκτρικών πεδίων με πολλαπλούς θαλάμους σε σειρά, συστήματα με βαθμωτή (stepwise recirculation) και με συνεχή ανακυκλοφορία (continuous recirculation). Στην περίπτωση της βαθμωτής ανακυκλοφορίας το τρόφιμο επεξεργάζεται πολλαπλές φορές μέσα από το θάλαμο και μετά το τέλος κάθε κύκλου πραγματοποιείται καθαρισμός του θαλάμου. Τα προαναφερθέντα συστήματα έχουν το πλεονέκτημα ότι τα τρόφιμα επεξεργάζονται για μεγαλύτερο χρόνο επιτυγχάνοντας καλύτερα αποτελέσματα, για παράδειγμα μεγαλύτερη απενεργοποίηση μικροοργανισμών. Για συγκεκριμένο θάλαμο επεξεργασίας που απαιτείται συγκεκριμένος ρυθμός παλμών και παροχής τροφίμου, ο αριθμός των παλμών ανά πέρασμα τροφίμου από το θάλαμο είναι περιορισμένος. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται μέσω αυτών των τριών συστημάτων. (Kempkes, 2011, Leadley and Williams, 2006)

Τα συστήματα ψύξης που περιέχονται στις μονάδες ΠΗΠ διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο αφού διατηρούν τη θερμοκρασία σε χαμηλά επίπεδα για να μην μετατραπεί σε θερμική ενέργεια και αυξήσει πολύ τη θερμοκρασία του τροφίμου. Κατά την επεξεργασία με το ηλεκτρικό πεδίο, ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας είναι απώλειες με τη μορφή θερμότητας η οποία είναι ανεπιθύμητη στην όλη διεργασία. Στις περισσότερες περιπτώσεις το σύστημα ψύξης είναι εναλλάκτης ενέργειας με νερό ως ψυκτικό μέσο. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σύστημα ψύξης διαθέτουν και τα ηλεκτρόδια για αποφυγή υπερθέρμανσης. (Barbosa-Cánovas et al., 1999, Ho and Mittal, 2000, Raso and Heinz, 2006)

Τέλος, τα συστήματα των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων περιλαμβάνουν και έναν υπολογιστή για τη ρύθμιση των παραμέτρων της διεργασίας και για τη συλλογή των αποτελεσμάτων. Ο υπολογιστής συνδέεται με τη μονάδα παραγωγής παλμών και τους διάφορους μετρητές του συστήματος οι οποίοι καταγράφουν την τάση και το ρεύμα που εφαρμόζεται, ενώ μέσω θερμοστοιχείων καταγράφεται και η θερμοκρασία. Από αυτά τα δεδομένα, εκτός από τον έλεγχο της διεργασίας υπολογίζονται και άλλες παράμετροι όπως η ενέργεια ανά όγκο τροφίμου. Όλα τα αποτελέσματα καταγράφονται στον υπολογιστή. (Barbosa-Cánovas et al., 1999)

3.7.3 Παράμετροι διεργασίας ηλεκτρικών πεδίων

Οι σημαντικότερες παράμετροι οι οποίες καθορίζουν την αποτελεσματικότητα των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και αφορούν το ίδιο το σύστημα είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E), ο χρόνος επεξεργασίας (t), το σχήμα, το εύρος και ο αριθμός των παλμών, η ειδική ενέργεια παλμού (W) και η συχνότητα επανάληψης παλμών (f). Εκτός από τις παραμέτρους του συστήματος, ρόλο έχουν και αυτές που αφορούν το τρόφιμο όπως είναι η αγωγιμότητα, αν και παρακάτω θα αναλυθούν οι παράμετροι του συστήματος των ΠΗΠ. (Cullen et al., 2012, Deeth et al., 2007, Timmermans et al., 2011)

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου περιγράφει την ένταση του πεδίου στο θάλαμο κατά την επεξεργασία των τροφίμων. Εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι η εφαρμοζόμενη τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων, η απόσταση τους, η γεωμετρία του θαλάμου και οι διηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού που βρίσκεται μεταξύ των ηλεκτροδίων. (Raso. 2015) Για τις τρεις διαμορφώσεις των θαλάμων επεξεργασίας που αναφέρθηκαν στο σχήμα 3.4, παρουσιάζονται και οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου. Για τις παράλληλες πλάκες ηλεκτροδίων, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι ομοιόμορφη σε όλο το μήκος και η τιμή της δίνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{V}{d} \quad (3.4)$$

όπου V η τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων και d η απόσταση μεταξύ τους.

Στον ομοαξονικό και στο συγγραμικό σχεδιασμό η ένταση του πεδίου μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση, δηλαδή είναι ανομοιογενές πεδίο. (Barbosa-Cánovas et al., 1999, Gerlach et al., 2008)

Με την εφαρμογή του ηλεκτρικού πεδίου, οι κυτταρικές μεμβράνες φορτίζονται. Όταν η τιμή του διαμεμβρανικού δυναμικού ξεπεράσει μια οριακή τιμή, παρατηρείται ο σχηματισμός των πόρων. Η κρίσιμη ένταση του πεδίου εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και τον προσανατολισμό των κυττάρων στο ηλεκτρικό πεδίο. Όσο πιο μικρό το μέγεθος των κυττάρων, τόσο μεγαλύτερη ένταση απαιτείται, ενώ και η διάταξη τους στο χώρο καθορίζει την τιμή της έντασης. (Ho and Mittal. 2000, Zimmermann. 1996, Heinz et al 2001) Η αύξηση της έντασης του πεδίου μεγαλώνει την αποδοτικότητα της επεξεργασίας, αλλά περιορίζεται από την διηλεκτρική αντοχή του τροφίμου. Εάν το ηλεκτρικό πεδίο ξεπεράσει τη διηλεκτρική αντοχή, δημιουργείται ηλεκτρική εκκένωση με ανεπιθύμητα αποτελέσματα για το τρόφιμο, τα ηλεκτρόδια και ολόκληρο το θάλαμο επεξεργασίας. (Barbosa-Cánovas et al., 1999, Ho and Mittal, 2000, Raso and Heinz, 2006).

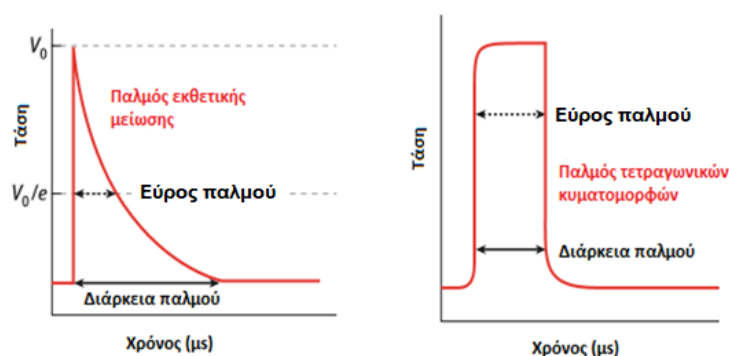
Μορφή παλμών

Η μορφή των παλμών είναι μια εξίσου σημαντική παράμετρος η οποία επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας. Συνολικά έχουν αξιοποιηθεί διάφορες μορφές παλμών στην επεξεργασία με παλμικό ηλεκτρικό πεδίο, ωστόσο αυτοί που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι ο παλμός εκθετικής μείωσης, οι τετραγωνικές κυματομορφές, οι διπολικόι

παλμοί και οι στιγμιαίες αντιστροφές. Στα δύο τελευταία είδη παλμών, η τιμή της τάσης εναλλάσσεται σε θετικές και αρνητικές τιμές αλλά η διαφορά τους έγκειται στην εμφάνιση μηδενικής τάσης για κάποιο χρονικό διάστημα (διάστημα χαλάρωσης) στους παλμούς διπολικής αντιστροφής. (FDA, 2014, Leadley and Williams, 2006).

Οι παλμοί εκθετικής μείωσης χαρακτηρίζονται από μια απότομη αύξηση της τάσης η οποία ακολουθείται από βραδεία εκθετική μείωση μέχρι να μηδενιστεί. Η συγκεκριμένη μορφή έχει εφαρμοστεί αρκετά σε ΠΗΠ αφού δημιουργείται και τροποποιείται εύκολα. (Leadley and Williams, 2006)

Ο τετραγωνικός παλμός είναι ένα ιδανικό σχήμα παλμών κατά την επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και έχει αξιοποιηθεί ευρέως σε τέτοιες εφαρμογές αν και η παραγωγή αυτού του είδους παλμού είναι πιο δύσκολη. Το πλεονέκτημα που εμφανίζει οφείλεται στο γεγονός ότι η τιμή της τάσης και άρα και της έντασης του πεδίου παραμένει σταθερή και στη μέγιστη τιμή της σε όλη τη διάρκεια του παλμού σε αντίθεση με της εκθετικής μείωσης. Άρα, είναι και πιο ενεργειακά αποδοτική αυτή η μορφή παλμού. Τέλος, οι τετραγωνικοί παλμοί θεωρούνται πιο αποτελεσματικοί σε εφαρμογές απενεργοποίησης μικροοργανισμών με ΠΗΠ. Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζονται τα δύο πιο χαρακτηριστικά είδη παλμού, ο τετραγωνικός και ο εκθετικής μείωσης. (Leadley and Williams, 2006, Vega – Mercado et al., 1997)



Σχήμα 3.5: Απεικόνιση των δύο βασικών παλμών εφαρμογής στα ΠΗΠ, εκθετικός στα αριστερά και ο τετραγωνικός στη δεξιά πλευρά του σχήματος

Εύρος ή διάρκεια παλμού

Για τον τετραγωνικό παλμό, το εύρος ή η διάρκεια παλμού ορίζεται ως ο χρόνος κατά τον οποίο η τάση λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της. Για την περίπτωση του παλμού εκθετικής μείωσης, ως ισοδύναμο εύρος λαμβάνεται αυτό που αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται μέχρι η τάση να μειωθεί στο $\frac{1}{e}$ της μέγιστης τιμής, δηλαδή μέχρι να μειωθεί κατά 37%. Σε αυτή την περίπτωση, η συνολική διάρκεια του παλμού διαφέρει από το εύρος, όπως απεικονίζεται και παραπάνω στο σχήμα 3.5. (Raso and Heinz, 2006)

Χρόνος επεξεργασίας (t)

Ο χρόνος επεξεργασίας με παλμικό ηλεκτρικό πεδίο εξαρτάται από τη διάρκεια (εύρος) του παλμού (τ) και τον αριθμό των παλμών (n) που εφαρμόζονται μέσω της σχέσης (Raso, 2015):

$$t = \tau \cdot n \quad (3.5)$$

Συχνότητα επανάληψης παλμών (f)

Η συχνότητα εκφράζει τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται στη μονάδα του χρόνου και μετριέται σε Hz. Αυτό το μέγεθος είναι σημαντικό γιατί προσδιορίζει την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παραδίδεται στο τρόφιμο στη μονάδα του χρόνου. Η ενέργεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του προϊόντος λόγω του φαινομένου Joule, γεγονός που υποδεικνύει τη σημασία της γνώσης της συχνότητας των παλμών. (Barbosa-Cánonas et al., 1999)

Ειδική ενέργεια παλμού (W)

Η ειδική ενέργεια παλμού εκφράζει την ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνει το προϊόν μέσα στο θάλαμο επεξεργασίας ανά παλμό. Εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του μέσου που επεξεργάζεται και από τον παλμό που εφαρμόζεται (εύρος και μέγιστη τάση παλμού. (Barbosa-Cánonas et al., 1999, Heinz et al., 2001, Raso, 2015) Η ειδική ενέργεια ανά παλμό υπολογίζεται για κάθε μορφή παλμού βασιζόμενη στα σήματα της τάσης και του ρεύματος στα ηλεκτρόδια μέσω της σχέσης:

$$W = \frac{1}{m} \int_0^{\infty} V(t) \cdot I(t) dt \quad (3.6)$$

όπου m η μάζα του δείγματος, V η τάση στα άκρα του θαλάμου και I το ρεύμα που διαπερνά το θάλαμο επεξεργασίας κάθε χρονική στιγμή t .

Η συνολική ειδική ενέργεια (W_T) μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ειδική ενέργεια ανά παλμό με τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται κατά την επεξεργασία, δηλαδή:

$$W_T = W \cdot n \quad (3.7)$$

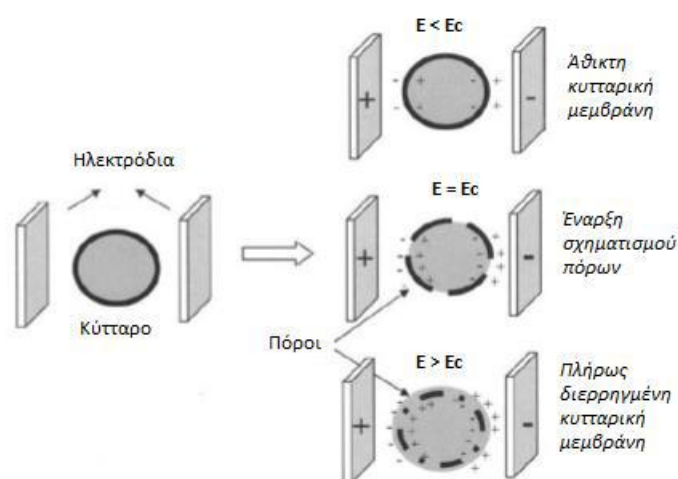
Το συγκεκριμένο μέγεθος αξιοποιείται για τη σύγκριση της συγκεκριμένης μεθόδου με άλλες τεχνολογίες. (Raso, 2015)

3.7.4 Επίδραση της τεχνολογίας ΠΗΠ στην κυτταρική μεμβράνη

Η τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στα τρόφιμα χρησιμοποιείται κυρίως για την απενεργοποίηση των μικροοργανισμών και για την αύξηση της μεταφοράς μάζας από και προς το κύτταρο. Γι' αυτό το σκοπό είναι απαραίτητη η αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης με τη διαδικασία που ονομάζεται ηλεκτροδιάτρηση.

Η επίδραση της εφαρμογής εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου σε ένα κύτταρο αποτελείται από τέσσερα στάδια. Αρχικά, αυξάνεται το διαμεμβρανικό δυναμικό της μεμβράνης λόγω του εφαρμοζόμενου εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Στη συνέχεια, ξεκινούν να δημιουργούνται μικροί υδρόφιλοι πόροι οι οποίοι στο επόμενο στάδιο αυξάνονται τόσο σε μέγεθος όσο και σε πλήθος. Η έκθεση των κυττάρων στους παλμούς υψηλής έντασης προκαλεί αποσταθεροποίηση της λιπιδικής διπλοστοιβάδας και των πρωτεϊνών της κυτταρικής μεμβράνης. Στο τελευταίο στάδιο, πραγματοποιείται διαρροή ενδοκυτταρικών ουσιών από το κύτταρο στο περιβάλλον ή εισαγωγή εξωκυτταρικών ενώσεων. Όμως, με την ηλεκτροδιάτρηση ορισμένα κύτταρα μπορεί να θανατωθούν λόγω της μεγάλης διαπερατότητας της μεμβράνης. Σε αυτό το στάδιο, αν η ηλεκτροδιάτρηση είναι αναστρέψιμη, οι πόροι κλείνουν και το κύτταρο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. (FDA, 2014, Saulis, 2010)

Η αναστρεψιμότητα ή μη του φαινομένου της ηλεκτροδιάτρησης εξαρτάται από την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, το χρόνο επεξεργασίας και τον αριθμό των παλμών. Για κάθε κύτταρο υπάρχει μια κρίσιμη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E_c) πάνω από την οποία η κυτταρική μεμβράνη σπάει ή δημιουργούνται πόροι. Η πλήρης διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης είναι απαραίτητη στην περίπτωση που η εφαρμογή των ΠΗΠ αξιοποιείται για την απενεργοποίηση μικροοργανισμών. Αντιθέτως, αν η ένταση του πεδίου δεν είναι αρκετά υψηλή για να προκαλέσει μόνιμες μεταβολές, τότε η κυτταρική μεμβράνη έχει την τάση να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση. Αυτή η κατάσταση παρατηρείται για τιμές έντασης κοντά στην κρίσιμη τιμή. (Asavasanti et al., 2010, Saulis, 2010, Zimmermann, 1996) Οι θεωρίες που έχουν αναπτυχθεί για την ηλεκτροδιάτρηση, βασίζονται σε αποτελέσματα πειραμάτων σε απλά συστήματα. Τα τρόφιμα, όμως, αποτελούν πιο πολύπλοκα συστήματα στα οποία η κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες των συστατικών του τροφίμου, το πορώδες και τη δομή που μεταβάλλεται κατά την εφαρμογή των ΠΗΠ. (Vorobiev and Lebonka, 2006)



Σχήμα 3.6: Στάδια διάρρηξης της κυτταρικής μεμβράνης ανάλογα με την εφαρμοζόμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

3.7.5 Επεξεργασία ιχθύων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία

Η τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων τεχνικών επεξεργασίας όπως είναι οι θερμικές μέθοδοι. Τα βασικά σημεία υπεροχής είναι η ταχύτατη αδρανοποίηση των μικροοργανισμών χωρίς να απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες ή μεγάλα ποσά ενέργειας και η διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της θρεπτικής τους αξίας. Αναφορικά με τα αλιεύματα, εφόσον πρόκειται για στερεά τρόφιμα, υπάρχουν περιορισμοί ως προς την αποτελεσματικότητα των ΠΗΠ ως μέθοδο ελάττωσης του μικροβιακού φορτίου και οι εφαρμογές που έχουν αναφερθεί ως σήμερα αφορούν κυρίως τη μελέτη της επίδρασης της επεξεργασίας στην υφή του προϊόντος. (Dellarosa et al., 2015)

Όμως, η συγκεκριμένη τεχνολογία πρέπει να ξεπεράσει ορισμένα εμπόδια τα οποία πρέπει να ερευνηθούν περαιτέρω για να επιτρέψουν την εφαρμογή της σε βιομηχανική κλίμακα. Αρχικά, η μέθοδος ΠΗΠ μπορεί να καταστρέφει αποτελεσματικά τα ένζυμα και τους μικροοργανισμούς αλλά αυτό δεν συμβαίνει με σπόρια τα οποία παραμένουν ενεργά. Επιπλέον, η παρουσία φυσαλίδων στα δείγματα μπορεί να οδηγήσει σε ανομοιογενή επεξεργασία και να δημιουργήσει προβλήματα στη μονάδα. Όταν το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο υπερβεί τη διηλεκτρική αντοχή των φυσαλίδων, τότε μπορεί να συμβούν εκφορτίσεις, ενώ μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και σπινθήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέθοδος να εφαρμόζεται κυρίως για ομοιογενή υγρά τρόφιμα. Επίσης, η εφαρμογή των ΠΗΠ περιορίζεται σε προϊόντα που αντέχουν σε υψηλά ηλεκτρικά πεδία. Η διηλεκτρική ιδιότητα ενός τροφίμου εξαρτάται από τη δομή και τη χημική σύνθεση. Τα ομοιογενή υγρά με χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ιδανικά για επεξεργασία με τη μέθοδο των ΠΗΠ. Τα προϊόντα με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνουν την αντίσταση του θαλάμου και κατά συνέπεια απαιτούν περισσότερη ενέργεια για να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό πεδίο. Τα στερεά τρόφιμα μπορούν να επεξεργαστούν με ΠΗΠ μόνο σε μη συνεχή λειτουργία και υπό ελεγχόμενη ένταση για να αποφευχθούν οι ηλεκτρικές εκκενώσεις. Τέλος, ίσως το πιο βασικό μειονέκτημα είναι η δυσκολία μετάβασης της λειτουργίας από την πιλοτική-εργαστηριακή κλίμακα στη βιομηχανική. (Barbosa-Cánovas et al., 1999, FDA, 2014, Kempkes, 2010)

3.8 Τεχνολογία ΠΗΠ ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η αφυδάτωση αποτελεί μία από τις παλαιότερες και βασικότερες μεθόδους για την προστασία των τροφίμων. Η διεργασία εξαρτάται από το ρυθμό απομάκρυνσης της υγρασίας από τον πυρήνα του τροφίμου. Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, η κυτταρική μεμβράνη δημιουργεί αντίσταση στη μεταφορά των στερεών και του νερού. Επομένως, σε βιομηχανική κλίμακα είναι επιθυμητή η επιτάχυνση της μεταφοράς μάζας η οποία θα εξοικονομούσε χρόνο και ενέργεια αλλά διατηρώντας ή ακόμα και βελτιώνοντας τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Ορισμένες άλλες προκατεργασίες που εφαρμόστηκαν για την επιτάχυνση της μεταφοράς μάζας με διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης ήταν η παροχή θερμότητας και η χρήση ενζύμων. Όμως, αυτές δεν έχουν αξιοποιηθεί γιατί παρουσιάζουν μειονεκτήματα όπως η υποβάθμιση της ποιότητας του τροφίμου και το μεγαλύτερο κόστος. Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία έχουν εφαρμοστεί σε ορισμένες περιπτώσεις ως προεπεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης αφού δεν παρουσιάζουν τα μειονεκτήματα των προηγούμενων μεθόδων. (Lelieveld et al., 2007, Maftoonazad, 2010, Nobel, 2009, Toepfl et al., 2006, Wang et al., 2018).

Αν και η τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων φαίνεται να είναι αρκετά ελπιδοφόρα, μέχρι σήμερα οι μελέτες για τη συνδυαστική δράση αυτής της τεχνολογίας με την ώσμωση είναι ελάχιστες και περιορίζονται σε δείγματα λαχανικών και φρούτων. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται ορισμένες από τις μελέτες στις οποίες τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία χρησιμοποιήθηκαν ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Πίνακας 3.2: Μελέτες της συνδυαστικής εφαρμογής παλμικού ηλεκτρικού πεδίου και ωσμωτικής αφυδάτωσης

Τρόφιμο	Συνθήκες ΠΗΠ	Συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης	Βιβλιογραφική αναφορά
Goji Berry	0,9, 1,8 και 2,8 kV/cm 750, 1500 και 7500 p	60% γλυκερόλη, 20% μαλτοδεξτρίνη, 1% NaCl	Dermesonlouoglou et al., 2018
Blueberries	3 kV/cm 200 pulses/s	Σιρόπι 70% ζάχαρης με 0,025%NaCl	Yu et al., 2018
Ακτινίδιο	0,7, 1,1 και 1,8 kV/cm 250, 833 και 2250 p	30% γλυκερόλη, 20% μαλτοδεξτρίνη, 10% τρεχαλόζη, 1%, NaCl	Dermesonlouoglou et al., 2016
	100, 250 και 400 V/cm 60 p	Διάλυμα σακχαρόζης 61,5 °Bx	Traffano-Schiffo, 2017
Μήλο	100, 250 και 400 V/cm 20 και 60 p	Διάλυμα 30% σακχαρόζης	Dellarosa et al., 2016
	0,9 kV/cm 750 p	Διάλυμα σακχαρόζης 44.5–65 Brix	Amami et al., 2006
Καρότα	0,6 kV/cm 500 p	0%/45-65%, 5%/60% και 15%/50% διάλυμα NaCl / σουκρόζη	Amami et al., 2007
Κόκκινες πιπεριές	1, 1,5 και 2 kV/cm 20 p	Διάλυμα σακχαρόζης 50 °Brix	Ade-Omowaye et al., 2003
Πατάτα	0,4 kV/cm	4% NaCl	Ammar et al., 2010

Στις μελέτες που έχουν διεξαχθεί, παρατηρείται η θετική επίδραση που έχει η τεχνολογία του ΠΗΠ ως μέθοδος προεπεξεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Αρχικά, επιταχύνεται η διεργασία της ώσμωσης αφού οι ρυθμοί μεταφοράς μάζας του νερού και των στερεών είναι μεγαλύτεροι (Dermesonlouoglou et al., 2018, Yu et al., 2018, Traffano-Schiffo, 2017). Οι Amami et al. (2006) πραγματοποιώντας πειράματα σε μήλο και οι Ade-Omowaye et al. (2003) σε κόκκινη πιπεριά, κατέληξαν ότι η επίδραση των ΠΗΠ είναι αρκετά πιο έντονη στην απώλεια υγρασίας σε σχέση με την πρόσληψη στερεών. Στα δείγματα κόκκινης πιπεριάς, η απώλεια υγρασίας αυξήθηκε κατά 11-25% ανάλογα με τις συνθήκες, ενώ η πρόσληψη στερεών αυξήθηκε μόνο κατά 2-5%.

Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, τα αποτελέσματα για το χρώμα είναι αντικρουόμενα. Οι Dermesonlouoglou et al. (2018) κατέγραψαν διατήρηση του χρώματος σε δείγματα goji berries, ενώ οι Dermesonlouoglou et al. (2016) σε δείγματα ακτινιδίου κατέγραψαν αρνητική μεταβολή στο χρώμα. Επίσης, οι Amami et al. (2014) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η διεργασία με ΠΗΠ προκάλεσε μεγαλύτερη αμαύρωση σε δείγματα μήλου αλλά πιο περιορισμένη σε δείγματα καρότου σε σχέση με τα αντίστοιχα ανεπεξεργαστα δείγματά τους. Οι Yu et al. (2018) συγκρίνοντας τη μέθοδο ΠΗΠ με τη θερμική προκατεργασία πριν την ώσμωση σε δείγματα blueberries, συμπέραναν ότι έχουν καλύτερη εμφάνιση στην περίπτωση της επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Μελετώντας τα θρεπτικά συστατικά, έχει παρατηρηθεί μεγαλύτερη κατακράτηση της βιταμίνης C με το χρόνο σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα ακτινίδιου (Dermesonlouoglou et al., 2016). Παρομοίως, οι Dermesonlouoglou et al. (2018) και Yu et al. (2018) παρατήρησαν μεγαλύτερη κατακράτηση φαινολικών ενώσεων σε goji berries και σε blueberries και μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι με βάση το θεωρητικό μέρος το οποίο αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, να μελετηθούν οι κινητικές που περιγράφουν την ωσμωτική αφυδάτωση φιλέτων λαβρακιού και να προσδιοριστούν οι μεταβολές που παρατηρούνται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων και μη φιλέτων με το χρόνο αποθήκευσης. Τα λαβράκια αποτελούν ένα είδος ιχθύος το οποίο δεν έχει μελετηθεί ως προς την ωσμωτική αφυδάτωση, ενώ η επιλογή των φιλέτων στηρίχθηκε στην σύγχρονη τάση των καταναλωτών να προτιμούν προϊόντα όσο το δυνατόν πιο έτοιμα για κατανάλωση. Επιπλέον, το λαβράκι είναι ένα ιχθυηρό το οποίο είναι από τα σημαντικότερα είδη για την ελληνική υδατοκαλλιέργεια αφού μαζί με την τσιπούρα αποτελούν τα κυρίαρχα είδη παραγωγής και εξαγωγής. Η επιλογή της γλυκερόλης ως κύριο συστατικό του ωσμωτικού διαλύματος έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις τροφίμων τα τελευταία χρόνια κι επιλέχθηκε στην παρούσα εργασία γιατί επιταχύνει περισσότερο τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας έναντι άλλων σακχάρων τα οποία χρησιμοποιούνται παραδοσιακά. Στο πρώτο μέρος της εργασίας πραγματοποιείται κινητική μελέτη των παραμέτρων της ωσμωτικής επεξεργασίας για διαφορετικές συγκεντρώσεις ωσμωτικού διαλύματος και στη συνέχεια, για μια συγκεκριμένη συνθήκη η οποία επιλέχθηκε ως βέλτιστη, προσδιορίζεται η ποιοτική υποβάθμιση που επέρχεται στα δείγματα με το χρόνο συντήρησης και για διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης. Γι' αυτό το σκοπό αξιοποιούνται διάφοροι αντικειμενικοί (μικροβιολογία, pH, απώλεια υγρών, ανάλυση υφής) και υποκειμενικοί δείκτες (οργανοληπτική εξέταση). Στο δεύτερο μέρος της εργασίας συνδυάστηκε η εφαρμογή παλμικού ηλεκτρικού πεδίου με την ώσμωση για να προσδιοριστεί η επίδραση του ΠΗΠ στη μεταφορά μάζας νερού και στερεών. Μέχρι σήμερα η συνεργιστική δράση των δύο τεχνικών έχει μελετηθεί σε δείγματα φρούτων και λαχανικών αλλά όχι σε ζωικούς ιστούς.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Εισαγωγή

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε στα κεφάλαια 1-3 της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναδείχθηκε ο σημαντικός ρόλος που έχει για την υγεία και τον οργανισμό η εισαγωγή των ιχθυηρών στη διατροφή του ανθρώπου. Επίσης, οι τάσεις των καταναλωτών δείχνουν την προτίμηση σε προϊόντα έτοιμα προς κατανάλωση όπως είναι τα καθαρισμένα και φιλεταρισμένα ψάρια. Οι ιχθύες και επομένως και το λαβράκι είναι ιδιαίτερα ευπαθή τρόφιμα στην ανάπτυξη μικροοργανισμών και στην αλλοίωση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Τα φιλέτα ιχθύων είναι ακόμα πιο ευαλλοιώτα λόγω της επεξεργασίας που έχουν υποστεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα νωπά προϊόντα να παρουσιάζουν μικρό χρόνο ζωής και επομένως να αναζητούνται νέες μέθοδοι επέκτασης της διατηρησιμότητας.

Το λαβράκι αποτελεί ένα είδος μεγάλης εμπορικής σημασίας τόσο για την Ελλάδα όσο και για την Ευρώπη. Η έρευνα, η ανάπτυξη και η βελτίωση της παραγωγής λαβρακιού ιχθυοτροφείου έχει οδηγήσει σε αύξηση της ετήσιας παραγωγής αυτού του είδους και μείωση των τιμών πώλησης. Η παραγωγή νέων προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας, με αυξημένο χρόνο ζωής και η μείωση των απωλειών από τη μη διάθεση τους αποτέλεσε και συνεχίζει μέχρι σήμερα να αποτελεί κίνητρο για τη μελέτη και εφαρμογή εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας και συσκευασίας.

Στους ιχθύες, η αλλοίωση προκαλείται κατά κύριο λόγο από την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Επομένως, η μερική αφυδάτωση αποτελεί μία λύση σε αυτό το πρόβλημα αφού ελαττώνει την ενεργότητα του νερού μειώνοντας το ρυθμό ανάπτυξης των αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών. Οι προηγούμενες μελέτες πάνω σε ιχθύες έχουν αποδείξει τη θετική επίδραση που έχει η εφαρμογή της ωσμωτικής επεξεργασίας στην επέκταση του χρόνου ζωής και τη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων. Ωστόσο μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την ωσμωτική αφυδάτωση λαβρακιού, ολόκληρου ή φιλέτων. Επιπλέον, οι περισσότερες από τις μελέτες επικεντρώνονται στη μελέτη των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την επεξεργασία και ένα μικρό ποσοστό αυτών αξιολογεί την ποιοτική υποβάθμιση που επέρχεται στους ιχθύες με το χρόνο συντήρησης. Ιδιαίτερα οι αναλύσεις υφής, του pH και της απώλειας υγρών κατά την αποθήκευση αποτελούν ένα πεδίο που χρήζει περαιτέρω έρευνας.

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία αποτελούν μία μέθοδο ενίσχυσης των φαινομένων μεταφοράς μάζας οπότε τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει η έρευνα για το συνδυασμό τους με ωσμωτική αφυδάτωση. Τα αποτελέσματα δείχνουν μείωση του χρόνου επεξεργασίας με μικρές ενεργειακές απαιτήσεις. Βέβαια, η έρευνα έχει επικεντρωθεί στη μελέτη διαφόρων φρούτων και λαχανικών οπότε μέχρι σήμερα υπάρχει έλλειψη στοιχείων σχετικά με το συνδυασμό αυτών των τεχνικών στους ιχθύες και γενικά στους ζωικούς ιστούς.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης φιλέτων λαβρακιού με σκοπό την επέκταση της διατηρησιμότητας καθώς και ο συνδυασμός της μεθόδου με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Πιο

συγκεκριμένα, στο πρώτο μέρος της εργασίας μελετώνται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας για διαφορετικές συγκεντρώσεις ωσμωτικού διαλύματος και στη συνέχεια προσδιορίζονται τόσο η διατηρησιμότητα όσο και η μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο συντήρησης για μια επιλεγμένη συνθήκη και εξάγονται τα αντίστοιχα μοντέλα. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας συγκρίνονται τα αποτελέσματα της προκατεργασίας ή μη με παλμικά ηλεκτρικά για τις ίδιες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης.

4.2 Πειραματικός Σχεδιασμός

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ποιοτική και ποσοτική μελέτη των μεταβολών που πραγματοποιούνται σε δείγματα φιλέτων λαβρακιού τα οποία έχουν υποστεί ωσμωτική προκατεργασία και σε μη επεξεργασμένα δείγματα. Στο πρώτο μέρος της εργασίας, πραγματοποιείται κινητική μελέτη της ποιοτικής υποβάθμισης των ωσμωτικά προκατεργασμένων φιλέτων. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν υδατικά διαλύματα με περιεκτικότητα 40, 50 και 60% σε γλυκερόλη και 5% σε NaCl. Η επιλογή της συγκεκριμένης τιμής συγκέντρωσης του άλατος (5%) έγινε με βάση αποτελέσματα προηγούμενων μελετών ωσμωτικών διαλυμάτων σε δείγματα ψαριού όπως για παράδειγμα σε δείγματα τσιπούρας (Τσιρώνη, 2010) και σε δείγματα κολιού (Chernomarev et al., 2016). Η ωσμωτική προκατεργασία λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία 15°C, μια θερμοκρασία η οποία συχνά επικρατεί στην γραμμή παραγωγής των ιχθυηρών. Οι χρόνοι της επεξεργασίας που μελετήθηκαν, καλύπτουν ένα εύρος από 10 min έως 240 min (4 h). Για τη μαθηματική περιγραφή των φαινομένων μεταφοράς μάζας, τα αποτελέσματα προσαρμόζονται στον 2^ο νόμο του Fick και υπολογίζονται οι συντελεστές μεταφοράς του νερού και των στερεών. Επιπλέον, μελετάται η επίδραση της ωσμωτικής προκατεργασίας στην ποιότητα των φιλέτων για διαφορετικές συνθήκες αποθήκευσης στους 0°C, 5°C και 10°C. Σε αυτά τα δείγματα προσδιορίζεται ο ρυθμός ανάπτυξης του μικροβιακού φορτίου (ολικό μικροβιακό φορτίο, *Pseudomonas* spp. και *Enterobacteriaceae* spp.), η μεταβολή του pH, η μεταβολή στην υφή, η απώλεια υγρών και τέλος οι αλλαγές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των νωπών φιλέτων.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας λαμβάνει χώρα η μελέτη της χρήσης παλμικού ηλεκτρικού πεδίου (ΠΗΠ) πριν την ωσμωτική επεξεργασία για να διαπιστωθεί αν διευκολύνει τη μεταφορά μάζας νερού και στερεών. Αυτό το πεδίο έρευνας δεν έχει μελετηθεί επαρκώς μέχρι σήμερα. Συγκεκριμένα, δεν έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία προηγούμενη μελέτη της επίδρασης της προκατεργασίας με ΠΗΠ στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ζωικού ιστού, παρά μόνο σε φυτικής προέλευσης προϊόντα (Dermesonliouoglou et al., 2016b, Dermesonliouoglou et al., 2018) Έτσι, πρώτα πραγματοποιήθηκαν κάποια δοκιμαστικά πειράματα εφαρμογής παλμικών πεδίων προκειμένου να επιλεγεί μια συνθήκη για περαιτέρω ανάλυση. Οι διάφορες σειρές πειραμάτων διαφοροποιήθηκαν στον αριθμό των παλμών που διέρχονται από τα φιλέτα (250, 500, 750 και 1000 παλμοί). Στη συνέχεια, μέσω ανάλυσης υφής (σκληρότητας) και οργανοληπτικής αξιολόγησης επιλέχθηκε η συνθήκη των 750 παλμών. Τα δείγματα αυτά επεξεργάστηκαν ωσμωτικά με διάλυμα συγκέντρωσης 50% σε γλυκερόλη για τους ίδιους χρόνους παραμονής (10-240min). Τα αποτελέσματα θα αξιοποιηθούν για να συγκριθούν με τα δείγματα 50% γλυκερόλης της πρώτης ενότητας της εργασίας από τα οποία διαφοροποιούνται στην εφαρμογή του ΠΗΠ.

4.3 Πειραματική Διαδικασία

4.3.1 Παραλαβή και ωσμωτική προκατεργασία ιχθυηρών

Τα νωπά φιλέτα λαβρακιού υδατοκαλλιέργειας (*Dicentrarchus labrax*) με βάρος 100 ± 10 g ανά τεμάχιο μεταφέρονται στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. εντός 2-10 ωρών από τη φιλετοποίηση. Τα φιλέτα φέρονται σε συσκευασίες από πολυστυρένιο και καλύπτονται με επαρκή ποσότητα πάγου (0°C). Επιπλέον, μια μεμβράνη πολυαιθυλενίου τοποθετείται μεταξύ των στρωμάτων των φιλέτων ώστε να αποφευχθεί η επαφή μεταξύ δέρματος και σάρκας των διαφορετικών φιλέτων.

Τα νωπά φιλέτα από λαβράκια τεμαχίζονται σε κομμάτια βάρους 10 ± 1 g και διαστάσεων $3 \times 3 \times 1$ cm³. Για την παρασκευή των ωσμωτικών διαλυμάτων χρησιμοποιείται υδατικό διάλυμα με μεγάλο ποσοστό σε γλυκερόλη και μικρότερο σε αλάτι (NaCl). Αρχικά, παρασκευάστηκαν τρία ωσμωτικά διαλύματα με διαφορετική περιεκτικότητα σε γλυκερόλη. Πιο συγκεκριμένα, στις 3 σειρές πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα με περιεκτικότητα 40%, 50% και 60% σε γλυκερόλη. Στα διαλύματα έχει προστεθεί και σταθερή ποσότητα άλατος 5% w/w. Αυτά αναδεύονται μέχρι πλήρη διάλυση των συστατικών και στη συνέχεια μεταφέρονται σε ψυχόμενο θάλαμο θερμοκρασίας 15°C . Έπειτα, τα δείγματα ψαριού εισάγονται στο ωσμωτικό διάλυμα με αναλογία τροφίμου προς διάλυμα ίση με 1:5 και τοποθετείται ένα οριζόντιο πλέγμα έτσι ώστε να διατηρούνται τα δείγματα κάτω από την επιφάνεια του ωσμωτικού διαλύματος. Για κάθε διαφορετική σειρά πειραμάτων, τα δείγματα απομακρύνονται από το διάλυμα σε προεπιλεγμένους χρόνους από 10 - 240 min (10, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 150, 180 και 240 min). Κατά την εξαγωγή των δειγμάτων από το διάλυμα, αυτά τοποθετούνται σε διηθητικό χαρτί με σκοπό την απομάκρυνση της περίσσειας του διαλύματος από την επιφάνεια.

Η επιλογή της γλυκερόλης έγινε γιατί αποτελεί ένα κοινό συστατικό για ωσμωτικά διαλύματα τα τελευταία χρόνια αφού μειώνει την ενεργότητα του νερού στα τρόφιμα λόγω του σχετικά μικρού μοριακού βάρους ($M.B.=92,09\text{g/mol}$) και είναι ένα ασφαλές, μη τοξικό πρόσθετο για τα τρόφιμα σύμφωνα με τον κανονισμό του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (ΕΚ) αριθ. 1333/2008. Επίσης, αποτρέπει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο τρόφιμο κατά την αποθήκευση και του προσδίδει ευχάριστη γλυκιά γεύση λόγω της μικρής γλυκύτητας. Τέλος, όπως τα περισσότερα σάκχαρα, εμποδίζει την απώλεια πτητικών συστατικών διατηρώντας το άρωμα του τροφίμου. Η μεγάλη περιεκτικότητα του σακχάρου επιλέγεται για να μεγιστοποιήσει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας χωρίς να προκαλείται ποιοτική αλλοίωση του τροφίμου. (Parniakon et al. 2016, Wientjes 1968) Το αλάτι (NaCl) που προστίθεται σε μικρότερη συγκέντρωση στο διάλυμα χρησιμοποιείται για να εξισορροπήσει τη γλυκιά γεύση στο τελικό προϊόν λόγω της γλυκερόλης και για να αυξήσει και την απόδοση της διεργασίας.

4.3.2 Συντήρηση υπό ψύξη

Για τη μελέτη διατηρησιμότητας σε συνθήκες ψύξης τα δείγματα διατηρούνται σε ψυχόμενους θαλάμους ρύθμισης θερμοκρασίας ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) (Sanyo MIR 153, Sanyo Electric, Ora-Gun, Gunna, Japan) σε ισοθερμοκρασιακές συνθήκες. Η θερμοκρασία στους θαλάμους παρακολουθείται με χρήση ηλεκτρονικών καταγραφικών θερμοκρασίας (COX TRACER, Belmont, NC).

4.4 Αναλυτικές Μέθοδοι

4.4.1 Μέτρηση παραμέτρων κατά την ωσμωτική διεργασία

4.4.1.1 Προσδιορισμός περιεχόμενου νερού και ολικών στερεών

Για τον προσδιορισμό του περιεχόμενου νερού (υγρασίας) και της περιεκτικότητας σε ολικά στερεά, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: τα δείγματα ζυγίζονται πριν και μετά την ωσμωτική προκατεργασία. Στη συνέχεια, ξηραίνονται σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 110°C (WTB BINDER 7200, Type C53, Tuttlingen, Germany) για 24 h και ζυγίζονται μετά το τέλος της ξήρανσης. Οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή αποτελεσμάτων με βάση τις εξισώσεις που αναφέρονται στις παραγράφους 3.2 και 4.6.

4.4.1.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού

Για τον προσδιορισμό της ενεργότητας νερού στα δείγματα χρησιμοποιείται η συσκευή Aqua lab 4TEV (Decagon Devices, USA) (Σχήμα 4.1). η οποία δίνει το αποτέλεσμα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Μικρή ποσότητα δείγματος εισάγεται σε ειδικό πλαστικό κύπελλο και τοποθετείται εντός της συσκευής.



Σχήμα 4.1: Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού Aqua lab 4TEV

4.4.1.3 Προσδιορισμός αλατότητας

Για τον προσδιορισμό της αλατότητας των δειγμάτων, δηλαδή της περιεκτικότητας τους σε αλάτι (NaCl), χρησιμοποιείται η μέθοδος Mohr. Γι' αυτό το σκοπό, 3 g δείγματος ψαριού αναμιγνύονται με απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:10 και ομογενοποιούνται για 1min στην αντίστοιχη συσκευή τύπου Stomacher (BagMixer®, Interscience, France). Με τη χρήση πιπέτας μεταφέρεται 1 mL από το ομογενοποιημένο διάλυμα σε κωνική φιάλη των 100 mL και συμπληρώνεται με 25 mL απιονισμένου νερού έτσι ώστε να αυξηθεί ο όγκος του διαλύματος και να καθίσταται πιο εύκολος ο προσδιορισμός. Έπειτα, προστίθενται 2 mL δείκτη χρωμικού καλίου (K_2CrO_4) και ακολουθεί η τιτλοδότηση με νιτρικό άργυρο ($AgNO_3$) συγκέντρωσης 0,1 N μέχρι το χρώμα του διαλύματος να μετατραπεί από κίτρινο σε καστανέρυθρο.

4.4.2 Μέτρηση παραμέτρων ποιότητας ιχθυηρών

4.4.2.1 Μικροβιακή ανάλυση

Για τον προσδιορισμό του μικροβιακού φορτίου στα δείγματα, ακολουθείται η μέθοδος της ανάπτυξης σε τρυβλία. Τα στάδια που ακολουθούνται είναι η αποστείρωση του εξοπλισμού και των υποστρωμάτων, η δειγματοληψία, η προετοιμασία των αραιώσεων, ο εμβολιασμός και τέλος η καταμέτρηση των αποικιών. Τα επιμέρους στάδια θα αναλυθούν λεπτομερώς παρακάτω. Στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκαν το ολικό μικροβιακό φορτίο (total viable count), οι ψευδομονάδες (*Pseudomonas* spp.) και τα εντεροβακτήρια (*Enterobacteriaceae* spp.). Για το ολικό μικροβιακό φορτίο επιλέχθηκε το μη επιλεκτικό υπόστρωμα Plate Count Agar (PCA), για τις ψευδομονάδες το επιλεκτικό υπόστρωμα Certimide Agar (CFC) και για τα εντεροβακτήρια τα οποία αναπτύσσονται προαιρετικά αναερόβια, επιλέγεται το επιλεκτικό υπόστρωμα Violet Red Bile Glucose Agar (VRBG). Η συχνότητα των μικροβιακών ελέγχων εξαρτάται από την επεξεργασία ή μη των δειγμάτων και από τη θερμοκρασία αποθήκευσής τους.

Αποστείρωση εργαλείων και υποστρωμάτων

Για την πραγματοποίηση των μικροβιακών αναλύσεων πρέπει να αποστειρωθούν τα εργαλεία, τα υποστρώματα και ο χώρος εργασίας. Ο χώρος απολυμαίνεται με οινόπνευμα για να εξασφαλιστούν όσο το δυνατόν ασφαλέστερες συνθήκες και παράλληλα, προετοιμάζεται και η αποστείρωση. Στην αποστείρωση τοποθετούνται τα υποστρώματα που θα απλωθούν στα τρυβλία, ένα σιφώνιο των 10 mL, ο ορός Ringer ισοτονικού διαλύματος ως προς το κυτταρόπλασμα και tips δύο μεγεθών. Η αποστείρωση πραγματοποιήθηκε σε αυτόκλειστο της εταιρείας Sanyo (LabAutoclave) σε θερμοκρασία 121°C για 15 min. Μετά το τέλος της, ο

ορός αφήνεται να ψυχθεί πριν χρησιμοποιηθεί και τα υποστρώματα τοποθετούνται σε υδατόλουτρο στους 60°C για να παραμείνουν ρευστά και να μην στερεοποιηθούν.

Δειγματοληψία

Το επόμενο στάδιο αφορά τη δειγματοληψία των κομματιών από το λαβράκι. Η μικροβιακή ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε ωσμωτικά επεξεργασμένα και μη (δείγματα control) ψάρια. Γι' αυτό το σκοπό, τοποθετείται ένα ποτήρι ζέσεως πάνω σε ζυγό και μέσα σε αυτόν ανοίγεται μια αποστειρωμένη πλαστική σακούλα χωρίς να μολυνθεί το εσωτερικό της. Ο ζυγός μηδενίζεται και λαμβάνονται 10 g δείγματος ψαριού. Η δειγματοληψία έγινε με τη χρήση λαβίδας και μαχαιριού τα οποία προηγουμένως ήταν τοποθετημένα σε οινόπνευμα και καίγονται σε φλόγα για να αποστειρωθούν. Στη σακούλα με το δείγμα τοποθετείται η απαραίτητη ποσότητα ισοτονικού ορού Ringer βάρους 9 φορές το βάρος του ψαριού. Έτσι, προκύπτει αραιώση 1:10 του αρχικού δείγματος ή 10^{-1} . Η σακούλα κλείνεται απομακρύνοντας τον αέρα και τοποθετείται για ομογενοποίηση στο Stomacher για 1 min. Με αυτό τον τρόπο το μικροβιακό φορτίο διαχέεται στο υγρό καθιστώντας δυνατό τον υπολογισμό του στα τρυβλία.

Προετοιμασία διαδοχικών αραιώσεων

Για την προετοιμασία των δειγμάτων για επίστρωση πρέπει να παρασκευαστούν πρώτα οι κατάλληλες αραιώσεις. Οι αραιώσεις είναι απαραίτητες γιατί η πρώτη αραιώση του ψαριού με το ισοτονικό διάλυμα είναι πιθανό να μην δίνει καλά αποτελέσματα για την απαρίθμηση του μικροβιακού πληθυσμού. Έτσι, ανάλογα με τις συνθήκες επεξεργασίας και αποθήκευσης των δειγμάτων, με το χρόνο αποθήκευσης και με τα αποτελέσματα από τις μικροβιακές αναλύσεις των προηγούμενων ημερών, καταστρώνεται ένα πλάνο για τις απαραίτητες αραιώσεις της κάθε ημέρας για κάθε υπόστρωμα. Για κάθε δείγμα επιλέγονται 3 διαδοχικές αραιώσεις οι οποίες μετριοούνται κάθε φορά. Με το πέρασμα του χρόνου, το μικροβιακό φορτίο αυξάνεται και άρα πραγματοποιούνται όλο και μεγαλύτερες αραιώσεις.

Κατά τη διαδικασία των διαδοχικών αραιώσεων χρησιμοποιούνται αποστειρωμένοι δοκιμαστικοί σωλήνες, ένας για κάθε αραιώση μεγαλύτερη του 10^{-1} . Για την πρώτη αραιώση (10^{-1}) αξιοποιείται το διάλυμα από τη σακούλα στην οποία ομογενοποιήθηκε το δείγμα. Σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα αναγράφεται το δείγμα και η αραιώση και ύστερα συμπληρώνονται με 9 mL ορού Ringer με τη χρήση αποστειρωμένου σιφώνιου των 10 mL. Για τη δεύτερη αραιώση προστέθηκε στον πρώτο δοκιμαστικό σωλήνα 1 mL από το ομογενοποιημένο διάλυμα της σακούλας με τη χρήση πιπέτας. Ο σωλήνας ανακινείται έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές διάλυμα. Η νέα αραιώση είναι η 2^η που αντιστοιχεί σε 10^{-2} σε σχέση με το αρχικό δείγμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται λαμβάνοντας 1 mL από τη δεύτερη αραιώση το οποίο προστίθεται στο δεύτερο δοκιμαστικό σωλήνα (3^η αραιώση). Η κάθε αραιώση είναι υποδεκαπλάσια της προηγούμενης και τα βήματα αυτά επαναλαμβάνονται μέχρι να επιτευχθούν οι επιθυμητές αραιώσεις. Κατά τη μετάβαση από τη μία αραιώση στην επόμενη, γίνεται αλλαγή του tip για να μην προκύψει επιμόλυνση της μικρότερης αραιώσης από τη μεγαλύτερη.

Επίστρωση υποστρωμάτων - Εμβολιασμός δειγμάτων

Μετά την προετοιμασία των αραιώσεων, ακολουθεί η προετοιμασία των υποστρωμάτων και ο εμβολιασμός των δειγμάτων. Σε αυτό το σημείο διαφοροποιείται η διαδικασία για τις καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε αερόβιες και σε αναερόβιες συνθήκες. Υπό αερόβιες συνθήκες αναπτύσσονται το ολικό μικροβιακό φορτίο και οι ψευδομονάδες, ενώ υπό αναερόβιες τα εντεροβακτήρια. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα ολικά βακτήρια αναπτύσσονται στο μη επιλεκτικό υπόστρωμα PCA, οι ψευδομονάδες στο επιλεκτικό CFC και τα εντεροβακτήρια στο μη επιλεκτικό VRBG.

Για τις αερόβιες καλλιέργειες, πρώτα απλώνεται το αποστειρωμένο υπόστρωμα στα αποστειρωμένα τρυβλία και αφήνεται να στερεοποιηθεί. Για τα υποστρώματα PCA και CFC τοποθετούνται περίπου 10 mL σε κάθε τρυβλίο οπότε υπολογίζεται και η συνολική ποσότητα υποστρώματος που πρέπει να παρασκευαστεί για όλα τα δείγματα. Η διαδικασία του απλώματος των υποστρωμάτων στα τρυβλία μπορεί να πραγματοποιηθεί και από προηγούμενη μέρα οπότε τα τρυβλία αποθηκεύονται στους 5°C - 10°C για διάστημα όχι μεγαλύτερο της μιας βδομάδας. Μετά, σημειώνεται πάνω στο κάθε τρυβλίο το δείγμα το οποίο θα αναπτυχθεί, δηλαδή η επεξεργασία (C για τα ανεπεξέργαστα δείγματα και O για τα ωστωμένα δείγματα), η θερμοκρασία αποθήκευσης (0°C, 5°C ή 10°C) και η αραιώση. Για κάθε αραιώση πραγματοποιούνται δύο επαναλήψεις. Έπειτα, με τη βοήθεια μιας πιπέτας προστίθενται 100 μL από το δείγμα στο υπόστρωμα και απλώνονται σε όλη την επιφάνεια με τη χρήση ελαστικού πολυμερικού ραβδίου με κυκλική απόληξη (στυλεό).

Για τις αναερόβιες καλλιέργειες των εντεροβακτηρίων ακολουθείται διαφορετική διαδικασία, αφού πρώτα εισάγεται το δείγμα και μετά το υπόστρωμα. Πρώτα λαμβάνεται 1mL από το κάθε δείγμα και τοποθετείται σε άδειο αποστειρωμένο τρυβλίο. Στη συνέχεια, προστίθεται ορισμένη ποσότητα από το VRBG υπόστρωμα έτσι ώστε να καλυφθεί όλη η επιφάνεια και τα τρυβλία ανακινούνται ελαφρά ώστε να ενσωματωθούν οι μικροοργανισμοί μέσα στο υπόστρωμα. Το υπόστρωμα αφήνεται να στερεοποιηθεί και ακολουθεί μια δεύτερη επίστρωση ώστε να καλυφθεί η επιφάνεια της πρώτης. Επειδή η εισαγωγή του υποστρώματος γίνεται μετά το δείγμα, θα πρέπει αυτό να ψυχθεί σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη από 45°C για να μην θανατωθούν οι μικροοργανισμοί αλλά όχι πολύ χαμηλή για να μην στερεοποιηθεί στην κωνική φιάλη. Για το συγκεκριμένο υπόστρωμα η συνολική απαιτούμενη ποσότητα είναι περίπου 15 mL ανά τρυβλίο οπότε υπολογίζεται αντίστοιχα η ποσότητα που πρέπει να παρασκευαστεί.

Επώαση – Καταμέτρηση αποικιών

Μετά την επίστρωση, όλα τα τρυβλία τοποθετούνται ανάποδα και αφήνονται να επωαστούν στους 35°C. Το ολικό μικροβιακό φορτίο πρέπει να επωαστεί για 72h, οι ψευδομονάδες για 48h και τα εντεροβακτήρια και αυτά για 48h. Μετά το πέρας αυτών των χρόνων καταμετρώνται οι αναπτυσσόμενες αποικίες. Η καταμέτρηση πραγματοποιείται στην κατάλληλη αραιώση ώστε να υπάρχουν περίπου 20-200 αποικίες ανά τρυβλίο. Τέλος, ο αριθμός των αποικιών ανάγεται στην αραιώση 0 και μετά προσδιορίζεται το μικροβιακό φορτίο αν g δείγματος.

4.4.2.2 Απώλεια υγρών (Drip loss)

Για τον προσδιορισμό της απώλειας υγρών από τα φιλέτα, πρώτα ετοιμάζονται κομματάκια ψαριού βάρους 10 g όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στη μικροβιακή ανάλυση. Δύο από τα κομματάκια για κάθε θερμοκρασία συντήρησης (0°C, 5°C και 10°C) ωσμώνονται με τη διαδικασία που έχει αναφερθεί παραπάνω για 40 min με διάλυμα περιεκτικότητας 50% σε γλυκερόλη. Μετά την ώσμωση, τα κομματάκια αυτά και άλλα δύο ανεπεξέργαστα κομμάτια για κάθε θερμοκρασία ζυγίζονται, καταγράφεται η μάζα τους και τοποθετούνται το καθένα σε προζυγισμένο σακουλάκι. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα και στις ημέρες που πραγματοποιούνται και οι υπόλοιποι έλεγχοι ποιοτικής υποβάθμισης, ζυγίζονται τα αντίστοιχα δείγματα ψαριού αλλά και το σακουλάκι και καταγράφονται τα δεδομένα. Για τον υπολογισμό της ποσοστιαίας απώλειας υγρών σε κάθε περίπτωση, γίνεται χρήση του τύπου:

$$Drip\ loss\ (\%) = \frac{m_{αρχ} - m_{τελ}}{m_{αρχ}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

4.4.2.3 Μέτρηση pH

Η μέτρηση των τιμών του pH πραγματοποιείται με τη χρήση ηλεκτρονικού pH-μέτρου (pH-meter 338, AMEL Instruments, Milan, Italy) (σχήμα 4.2). Για την λήψη της μέτρησης, πραγματοποιείται εμβάπτιση του pH-μέτρου στο ομογενοποιημένο διάλυμα του δείγματος με τον ορό Ringer αραίωσης 1:10 το οποίο έχει δημιουργηθεί κατά τον μικροβιολογικό έλεγχο. Η μέτρηση του pH πραγματοποιείται μετά το τέλος του μικροβιολογικού ελέγχου, για να μην μολυνθεί το δείγμα.



Σχήμα 4.2: Συσκευή μέτρησης pH pH-meter 338, AMEL Instruments

4.4.2.4 Ανάλυση Υφής

Για την ανάλυση της υφής χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής TA.XT2i Stable Micro Systems σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το κάθε δείγμα υποβάλλεται σε δύο κύκλους συμπίεσης προσομοιάζοντας τη διαδικασία της μάσησης. Το δείγμα συμπιέζεται με κύλινδρο διαμέτρου 20 mm. Στο λογισμικό καθορίζονται όλες οι παράμετροι όπως η ταχύτητα καθόδου του κυλίνδρου, το βάθος διείδυσης από την επιφάνεια του δείγματος, ο αριθμός των επαναλήψεων και άλλα χαρακτηριστικά. Από τη μέτρηση της υφής προκύπτει το διάγραμμα που απεικονίζεται στο σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.3: Αναλυτής υφής TA.XT2i Stable Micro Systems

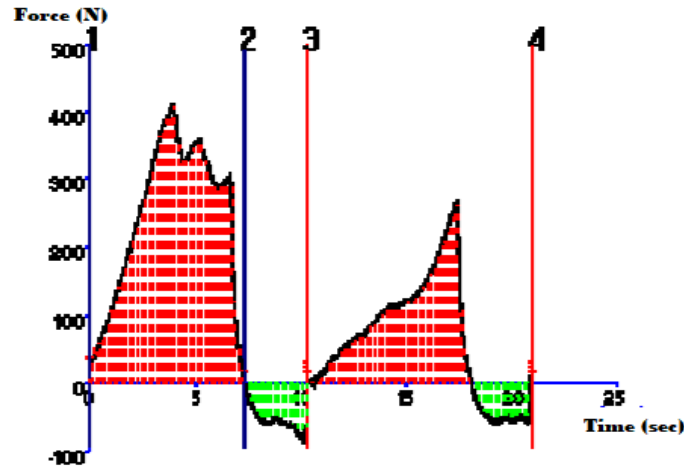
Από τα γράφημα του αναλυτή προσδιορίζονται οι παρακάτω ιδιότητες για τα δείγματα:

-Σκληρότητα (Hardness): Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπιεστεί ένα τρόφιμο μεταξύ των γομφίων του στόματος. Η σκληρότητα υπολογίζεται από τη μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται κατά τον πρώτο κύκλο μάσησης.

-Ελαστικότητα (Elasticity): Το πόσο ένα συμπιεσμένο τρόφιμο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση όταν πάψει να υφίσταται το φορτίο. Η ελαστικότητα δίνεται από το λόγο της μέγιστης δύναμης που εμφανίζεται στον δεύτερο κύκλο μάσησης προς την αντίστοιχη δύναμη του πρώτου κύκλου.

-Συνεκτικότητα (Cohesiveness): Η δύναμη των δεσμών που συγκρατούν το τρόφιμο. Το συγκεκριμένο μέγεθος προσδιορίζεται από το εμβαδόν που σχηματίζεται κάτω από τον άξονα των γ , μεταξύ των γραμμών 2 και 3 όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα 4.4.

-Προσκολλησιμότητα (Adhesiveness): Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί ένα τρόφιμο από μια επιφάνεια. Η προσκολλησιμότητα υπολογίζεται από το λόγο των θετικών εμβαδόν του δεύτερου κύκλου μάσησης προς το αντίστοιχο του πρώτου κύκλου μάσησης. (Τζια et al, 2007)



Σχήμα 4.4: Τυπικό γράφημα ανάλυσης υφής

4.4.2.5 Οργανοληπτικός έλεγχος

Εκτός της αντικειμενικής εκτίμησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων με τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν παραπάνω, είναι απαραίτητη και η μελέτη της υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους. Ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε σε νωπά δείγματα ψαριού. Σε αυτά προσδιορίστηκαν η εμφάνιση, η οσμή και η γενική εντύπωση των δειγμάτων. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά βαθμολογούνται με κλίμακα 1 – 9, όπου το 1 αντιπροσωπεύει τη χαμηλότερη ποιότητα και το 9 την καλύτερη. Για τιμές χαμηλότερες του 5, το τρόφιμο θεωρείται ότι δεν είναι καλό ποιοτικά και άρα δεν είναι αποδεκτό από τον καταναλωτή. Αντίστοιχα, για τιμές μεγαλύτερες του 5, τα τρόφιμα είναι αποδεκτά.

Τριγωνική δοκιμή – Δοκιμή αρέσκειας

Πέρα από τον έλεγχο της μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο στα νωπά φιλέτα, πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική δοκιμή προκειμένου να συγκριθούν τα επεξεργασμένα και τα δείγματα μάρτυρες (ανεπεξεργαστα). Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε τριγωνική δοκιμή και δοκιμή αρέσκειας τόσο σε νωπά όσο και σε μαγειρεμένα φιλέτα. Στην τριγωνική δοκιμή δόθηκαν τρία δείγματα από τα οποία τα δύο είναι ίδια (control δείγματα) και το τρίτο ήταν το ωσμομένο δείγμα και ζητήθηκε από κάθε δοκιμαστή να εντοπίσει το διαφορετικό. Στη δοκιμή αρέσκειας, δόθηκαν στους δοκιμαστές τα ίδια δείγματα με την τριγωνική δοκιμή (νωπά και μαγειρεμένα και ωσμοτικά επεξεργασμένα και μη) για να τα κατατάξουν με βάση την προτίμησή τους. Ο βαθμός αρέσκειας συμβολίζεται με κλίμακα 1-10 στην οποία το 1 είναι το κακό και το 10 το καλό.



Σχήμα 4.5: Τριγωνική δοκιμή και δοκιμή αρεσκείας σε νωπά δείγματα λαβρακιού (δεξιά) και σε μαγειρεμένα (αριστερά)

Τα φιλέτα λαβρακιού που χρησιμοποιήθηκαν ήταν φιλέτα τα οποία παρελήφθησαν την ίδια μέρα στο εργαστήριο έτσι ώστε να μην έχουν αλλοιωθεί. Στις δύο εξεταζόμενες οργανοληπτικές δοκιμές, τα ωσσωμένα φιλέτα είχαν προκατεργαστεί για 40 min με διάλυμα 50% σε γλυκερόλη και 5% NaCl. Τα μαγειρεμένα φιλέτα ψήθηκαν σε φούρνο στους 180°C για 15 min. Το πάνελ των δοκιμαστών αποτελείται από 10 δοκιμαστές του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του Ε.Μ.Π..

4.5 Εφαρμογή παλμικού ηλεκτρικού πεδίου

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων της εφαρμογής των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων χρησιμοποιείται η πιλοτικής κλίμακας μονάδα Elcrack-5kW, DIL, Quakenbruck, Γερμανία. Η συσκευή αποτελείται από μια γεννήτρια παραγωγής παλμών και ένα θάλαμο διαλείποντος έργου σταθερού όγκου 400 mL κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα. Στο θάλαμο υπάρχουν δύο απέναντι πλάκες – ηλεκτρόδια σε απόσταση 40 mm οι οποίες φορτίζονται αντίθετα και έτσι επιτυγχάνεται η δημιουργία του ηλεκτρικού πεδίου.

Για την εφαρμογή του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου, τα δείγματα του ψαριού τεμαχίζονται όπως και στην ωσμοτική επεξεργασία, σε κομμάτια βάρους 10g και διαστάσεων $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$. Στη συνέχεια, πέντε κομμάτια ψαριού εισάγονται στο θάλαμο επεξεργασίας μαζί με απιονισμένο νερό, τριπλάσιο του βάρους των ψαριών. Η επεξεργασία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε ηλεκτρικό πεδίο έντασης 1,7 kV/cm, με εύρος παλμού 15 μs και συχνότητα 20 Hz. Για αυτές τις ρυθμίσεις πεδίου επιλέχθηκαν διαφορετικοί αριθμοί παλμών με σκοπό να επιλεγεί η βέλτιστη συνθήκη ως προς αυτή τη παράμετρο. Πιο συγκεκριμένα, οι παλμοί που μελετήθηκαν ήταν 250, 500, 750 και 1000. Ως βέλτιστη συνθήκη επιλέχθηκε αυτή των 750 παλμών και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων των

προκατεργασμένων και μη φιλέτων με παλμικό ηλεκτρικό πεδίο. Η διαδικασία της μελέτης της επίδρασης του χρόνου στα δείγματα του ΠΗΠ έλαβε χώρα με τη μέθοδο που παρατέθηκε παραπάνω και με τη χρησιμοποίηση ωσμωτικού διαλύματος περιεκτικότητας 50% σε γλυκερόλη και 5% σε αλάτι NaCl.

4.6 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

4.6.1 Υπολογισμός παραμέτρων της ωσμωτικής προκατεργασίας

Η πορεία της ωσμωτικής αφυδάτωσης μελετάται μέσω του προσδιορισμού της απώλειας νερού (Water Loss, WL) που αποτυπώνει την ποσότητα νερού που διαχέεται από το τρόφιμο προς το διάλυμα και της πρόσληψης στερεών (Solid Gain, SG) που αναφέρεται στην ποσότητα στερεών που εισέρχονται από το διάλυμα στο τρόφιμο. Για τον προσδιορισμό αυτών των δεικτών ακολουθείται η διαδικασία και οι εξισώσεις οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω στην παράγραφο 3.2.

Για τη μαθηματική περιγραφή της ωσμωτικής διεργασίας και την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των βασικών παραμέτρων, τα παραπάνω αποτελέσματα προσαρμόζονται στον 2^ο νόμο του Fick που περιγράφει τη διάχυση στη μη μόνιμη κατάσταση. Η λύση της εξίσωσης εξαρτάται από τη γεωμετρία του τροφίμου. Τα δείγματα φιλέτων ψαριού θεωρούνται ως άπειρες πλάκες, δηλαδή η αφυδάτωση πραγματοποιείται από τις δύο κύριες πλευρές. Επίσης, γίνονται οι παραδοχές ότι ισχύει: (α) ομοιόμορφη κατανομή αρχικής υγρασίας, (β) αμελητέα εξωτερική αντίσταση στη μεταφορά μάζας και (γ) μη συρρίκνωση κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Λαμβάνονται υπόψη οι εξής αρχικές οριακές συνθήκες:

$$\text{για } t=0, \quad C=C_0 \quad -1 < x < 1 \quad (4.2)$$

$$\text{για } t>0, \quad C=C_1 \quad x=1 \quad (4.3)$$

όπου C η συγκέντρωση των συστατικών θεωρώντας ένα καλά αναμεμιγμένο ωσμωτικό διάλυμα. Με αυτές τις συνθήκες, οι παράμετροι της απώλειας υγρασίας και της πρόσληψης στερεών γράφονται ως εξής:

$$M = \frac{(w_t - w_\infty)}{(w_0 - w_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \cdot \pi^2 \cdot F_{ow} \right] \quad (4.4)$$

και

$$S = \frac{(s_t - s_\infty)}{(s_0 - s_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \cdot \pi^2 \cdot F_{os} \right] \quad (4.5)$$

όπου w και s η περιεχόμενη υγρασία και τα περιεχόμενα στερεά συστατικά αντίστοιχα, οι δείκτες 0, t και ∞ αντιπροσωπεύουν τις συγκεντρώσεις αρχικά, σε τυχαία χρονική στιγμή και στην ισορροπία αντίστοιχα, F_{ow} και F_{os} είναι οι αριθμοί Fourier για τη διάχυση της υγρασίας και των στερεών αντίστοιχα. Οι αριθμοί Fourier δίνονται από τις εξισώσεις:

$$F_{ow} = \frac{D_{ew}}{l^2} t \quad (4.6)$$

$$F_{os} = \frac{D_{es}}{l^2} t \quad (4.7)$$

όπου D_{ew} και D_{es} είναι οι δραστικοί συντελεστές διάχυσης της υγρασίας και των στερεών αντίστοιχα, t ο χρόνος εμβάπτισης των φιλέτων στα ωσμωτικά διαλύματα και l το μισό του πάχους του τροφίμου. Οι τιμές F_{ow} και F_{os} υπολογίζονται συναρτήσει των τιμών M και S και παριστάνονται γραφικά ως προς το χρόνο t , λαμβάνοντας υπόψη τον πρώτο όρο της σειράς. Από την κλίση των ευθειών που λαμβάνονται, υπολογίζονται οι συντελεστές D_{ew} και D_{es} . (Dermesonlouoglou et al., 2008, Rastogi et al., 1997).

Στη συγκεκριμένη εργασία, οι διαστάσεις των προς επεξεργασία δειγμάτων είναι $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$ και επομένως τα δείγματα μπορούν να θεωρηθούν ως άπειρες πλάκες. Άρα, επιτρέπουν τη χρήση των παραπάνω εξισώσεων αφού η διάχυση από τις πλευρικές περιοχές είναι αρκετά περιορισμένη και μπορεί να αγνοηθεί.

4.6.2 Κινητικά μοντέλα ποιοτικής υποβάθμισης ιχθύων

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για σταθερή θερμοκρασία αποθήκευσης και για κάθε ποιοτικό δείκτη, αναζητείται η κατάλληλη τάξη της αντίδρασης που περιγράφει την ποιοτική αλλοίωση. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι τιμές της σταθεράς του ρυθμού ποιοτικής αλλοίωσης σε όλες τις θερμοκρασίες που μελετήθηκαν. Το επόμενο στάδιο στην κινητική μελέτη αφορά τη μαθηματική έκφραση της εξάρτησης της σταθεράς του ρυθμού k της εν λόγω δράσης από τη θερμοκρασία με τη χρήση της εξίσωσης Arrhenius:

$$k = k_o \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (4.8)$$

Η οποία μπορεί να γραφεί με αναφορά σε μια πρακτική θερμοκρασία αναφοράς, T_{ref} ως εξής:

$$k = k_{ref} \cdot \exp\left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (4.9)$$

όπου k_o είναι ένας προεκθετικός παράγοντας, k_{ref} είναι ο ρυθμός μεταβολής σε μια θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} (π.χ. 4°C για ψυγμένα προϊόντα), E_a η ενέργεια ενεργοποίησης και R η παγκόσμια σταθερά των αερίων.

Η παραπάνω εξίσωση με λογαρίθμηση μετατρέπεται ως εξής:

$$\ln(k) = \ln(k_{ref}) - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right) \quad (4.10)$$

Με την κατασκευή του διαγράμματος Arrhenius, συσχετίζεται γραμμικά η τιμή $\ln k$ με το μέγεθος $\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}$, από την κλίση του οποίου μπορεί να προσδιοριστεί η ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) για τον εν λόγω δείκτη. (Taoukis et al., 1997)

Έτσι, έχει ολοκληρωθεί η κινητική μελέτη της ποιοτικής υποβάθμισης του τροφίμου για όλο το θερμοκρασιακό εύρος μελέτης και κατασκευάζεται το μοντέλο διατηρησιμότητας για κάθε ποιοτικό δείκτη του τροφίμου.

Όσον αφορά τις μετρήσεις των μικροβιολογικών αναλύσεων, αυτές προσαρμόζονται στατιστικά στο μοντέλο Baranyi (Baranyi Growth Model), με χρήση του προγράμματος DMfit software (IFR, Institute of Food Research, Reading, UK) για την κατασκευή των καμπυλών ανάπτυξης των μικροοργανισμών που μελετώνται και τον προσδιορισμό των σταθερών του ρυθμού ανάπτυξης (k). (Baranyi and Roberts, 1995)

4.6.3 Στατιστική επεξεργασία

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων όσον αφορά την επίδραση της εφαρμογής ή μη μεθόδου ωσμωτικής προκατεργασίας στις οργανοληπτικές αξιολογήσεις τριγωνικής δοκιμής και δοκιμής αρέσκειας πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης με χρήση πολλών παραμέτρων χωρίς αλληλεπίδραση (ANOVA) ώστε να προσδιοριστεί η σημαντικότητα των διαφορών ($\alpha=0.05$). Επίσης, πραγματοποιήθηκε και έλεγχος Duncan ($\alpha=0.05$) για τη επίδραση της προκατεργασίας στις ποιοτικές παραμέτρους των φιλέτων λαβρακιού κατά τη συντήρηση. Για τη ταυτόχρονη στατιστική ανάλυση όλων των μεταβλητών και για τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις αντικειμενικές και τις οργανοληπτικές μετρήσεις, πραγματοποιείται ανάλυση κύριων συνιστωσών PCA (Principal Component Analysis). Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιείται με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, USA).

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας παρατίθενται τα αποτελέσματα των πειραμάτων τα οποία περιεγράφηκαν παραπάνω στο κεφάλαιο 4 της εργασίας και τα οποία αποτέλεσαν το πειραματικό μέρος του θέματος της εργασίας. Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το ποιες είναι οι βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής επεξεργασίας για τα συστατικά που αξιοποιούνται στο διάλυμα. Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την εξασφάλιση της ποιότητας των ιχθυηρών είχε κατευθύνει το μεγαλύτερο μέρος των ερευνητών στη μικροβιολογία πρόρρησης με σκοπό την πρόβλεψη και ποσοτικοποίηση της συμπεριφοράς των μικροοργανισμών. Έτσι, και σε αυτή την εργασία η εξαγωγή μαθηματικών μοντέλων πρόρρησης είναι ένα από τα ζητήματα που μελετώνται με εκτεταμένες και συνεχείς αναλύσεις σε επίπεδο μικροβιολογίας, αναλύσεις υφής, pH, απώλειας υγρών και οργανοληπτικού ελέγχου. Οι παραπάνω ποιοτικοί δείκτες θα αξιολογηθούν για να μελετηθούν από διάφορες οπτικές οι μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά τη συντήρηση των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Στο τελευταίο τμήμα της εργασίας θα αξιολογηθεί η χρήση παλμικού ηλεκτρικού πεδίου (ΠΗΠ) πριν την ωσμωτική επεξεργασία και θα συγκριθούν οι παράμετροι της διεργασίας με και χωρίς τη χρήση του ΠΗΠ.

5.2 Χημική σύσταση λαβρακιού και βιοχημικές παράμετροι αξιολόγησης νωπών φιλέτων

Από τις διάφορες πειραματικές μεθόδους που πραγματοποιήθηκαν καθόλη τη διάρκεια του πειραματικού μέρους για την αξιολόγηση των δειγμάτων, προέκυψαν και αποτελέσματα σχετικά με την αρχική σύσταση των νωπών φιλέτων λαβρακιού. Αυτές οι μετρήσεις έλαβαν χώρα κατά την παραλαβή των δειγμάτων στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του Ε.Μ.Π.. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των φιλέτων από τις διάφορες μετρήσεις βρέθηκε ίση με **70,4% ($\pm 1,7\%$)**. Αυτή η τιμή της υγρασίας είναι σύμφωνη με αποτελέσματα δημοσιευμένων μελετών για φιλέτα από λαβράκια στην περιοχή της Μεσογείου. (Lenas et al., 2011, Özden and Erkan, 2008) Αντίστοιχα, η περιεκτικότητα σε αλάτι (NaCl) των φιλέτων υπολογίστηκε με βάση τα πειράματα αλατότητας ίση με **0,32% ($\pm 0,06\%$)**. Η αρχική τιμή ενεργότητας τους είναι **0,9910 ($\pm 0,0064$)**. Η τιμή αυτή που παρατηρείται, είναι εντός των ορίων που ισχύουν για νωπά ιχθυηρά στα οποία οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,95 και 1 (Fennema, 1996) Οι αρχικές τιμές του pH που καταγράφηκαν στα λαβράκια κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων είναι **6,437 ($\pm 0,006$)**. Η τιμή αυτή είναι σε συμφωνία με τιμές pH που έχουν προκύψει για φιλέτα λαβρακιού σε πρότερες μελέτες (Alparslan et al., 2012, Yazgan et al., 2017)

Επιπλέον, προσδιορίστηκαν οι τιμές του μικροβιακού φορτίου κατά την παραλαβή των φιλέτων λαβρακιού στο εργαστήριο και συγκεκριμένα υπολογίστηκαν το ολικό μικροβιακό φορτίο, ο αριθμός των ψευδομονάδων και των εντεροβακτηρίων. Τα

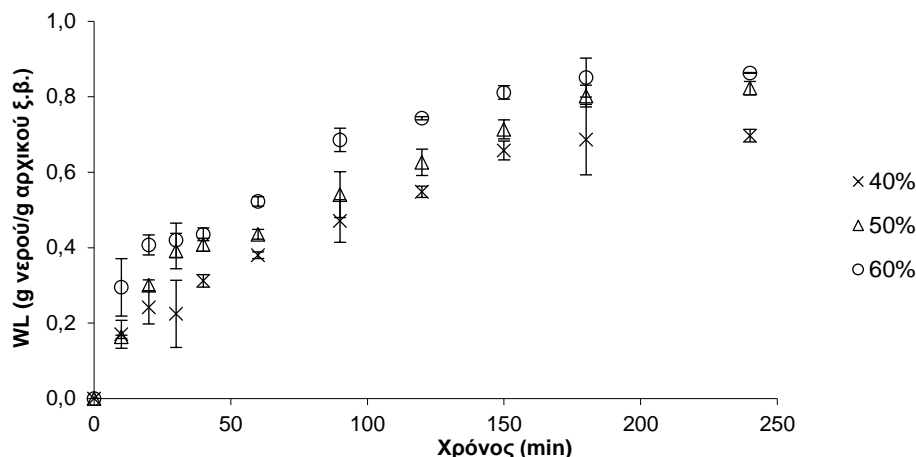
αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν **3,1 log(cfu)/g** για το ολικό μικροβιακό φορτίο, ο αριθμός των ψευδομονάδων ήταν κάτω από το ανιχνεύσιμο όριο, δηλαδή **<2,0 log(cfu)/g** και **1,9 log(cfu)** για τα εντεροβακτήρια. Ο αρχικός αριθμός του ολικού μικροβιακού φορτίου και των εντεροβακτηρίων ήταν παρεμφερείς με αυτούς που υπολογίστηκε σε προηγούμενη μελέτη σε φιλέτα λαβρακιού (Yazgan et al. 2017). Βέβαια, σε άλλες μελέτες σε φιλέτα, σε ολόκληρα λαβράκια ή σε τμήματα του ψαριού όπως σάρκα ή δέρμα ξεχωριστά, έχουν παρατηρηθεί διαφορετικές αρχικές τιμές μικροβιακού φορτίου. Αυτό θεωρείται ότι οφείλεται στις διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες ανάπτυξης των ψαριών στους επιμέρους τόπους (θερμοκρασία, αλατότητα νερού, επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου), στις συνθήκες συγκομιδής, στην επεξεργασία που υπόκεινται μετά τη συλλογή τους όπως για παράδειγμα η επεξεργασία που υφίστανται τα φιλέτα που μελετώνται και στη θερμοκρασία αποθήκευσης. Όλα αυτά τα επιμέρους στάδια είναι πιθανές εστίες μόλυνσης και επιβάρυνσης του μικροβιακού πληθυσμού. (Carrascosa et al., 2013, Erkan and Özden, 2006, Leroi, 2013)

Από τις αναλύσεις υφής που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα φιλέτων λαβρακιού κατά την παραλαβή τους, προσδιορίστηκαν τα εξής χαρακτηριστικά υφής: Σκληρότητα **0,8786 (±0,0095) N**, ελαστικότητα **0,9240 (±0,0032)**, προσκολλησιμότητα **-0,208 (±0,027) N·s** και συνεκτικότητα **0,723 (±0,013)**.

5.3 Κινητική μελέτη ωσμωτικής προκατεργασίας φιλέτων λαβρακιού

Στην πρώτη ενότητα της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται η κινητική μελέτη της ποιοτικής υποβάθμισης ωσμωτικά προκατεργασμένων φιλέτων λαβρακιού με τη χρήση ωσμωτικών διαλυμάτων διαφορετικής συγκέντρωσης. Αναλυτικότερα, τα διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για συγκεντρώσεις 40%, 50% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκόζη και 5% σε άλας NaCl και οι μετρήσεις πάρθηκαν σε χρόνους 0 (μη ωσμωμένα δείγματα), 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 150, 180 και 240min.

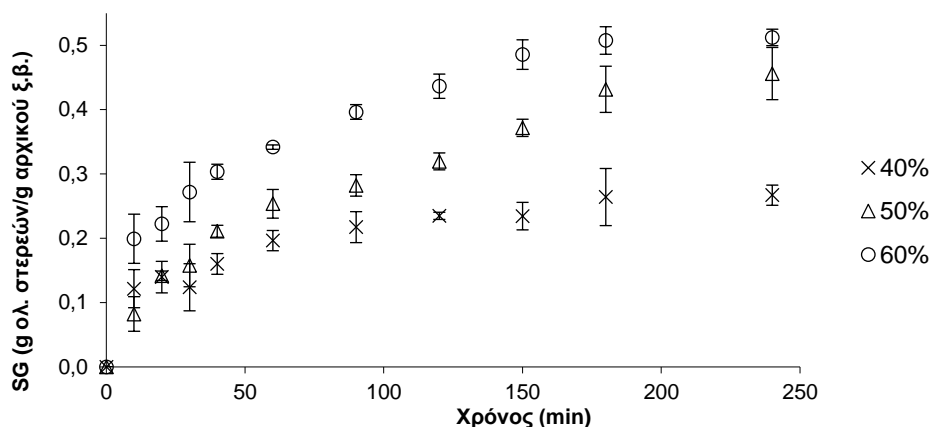
Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ωσμωτικής επεξεργασίας χρησιμοποιούνται κυρίως οι δείκτες της απώλειας υγρασίας (Water Loss, WL), της πρόσληψης στερεών (Solid Gain, SG), της περιεκτικότητας σε NaCl και της ενεργότητας νερού επειδή κατά τη διαδικασία αυτή παρατηρείται μείωση του περιεχόμενου νερού και πρόσληψη γλυκερόλης και άλατος από το διάλυμα. Αυτές οι παράμετροι παρουσιάζονται παρακάτω στα διαγράμματα που ακολουθούν. Στα διαγράμματα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε συνθήκη και επιπλέον περιλαμβάνονται και οι αποκλίσεις αυτών για να ελεγχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών συγκεντρώσεων γλυκερόλης.



Διάγραμμα 5.1: Μεταβολή της απώλειας νερού ($\text{g}_{\text{νερού}}/\text{g}_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$) με το χρόνο για \times 40, Δ 50 και \circ 60% γλυκερόλη (με 5% NaCl) στους 15°C (Μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση)

Η διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης προκαλεί έντονες απώλειες στην υγρασία από τη σάρκα των εξεταζόμενων φιλέτων. Η αρχική τιμή υγρασίας είναι κατά μέσο όρο ίση με $2,43 \text{ g}_{\text{νερού}}/\text{g}_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$ και μετά από μία ώρα προκατεργασίας φτάνει σε επίπεδα 1,84, 1,73 και 1,64 $\text{g}_{\text{νερού}}/\text{g}_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$ για τα διαλύματα 40, 50, και 60% σε γλυκερόλη (με 5% NaCl) αντίστοιχα.

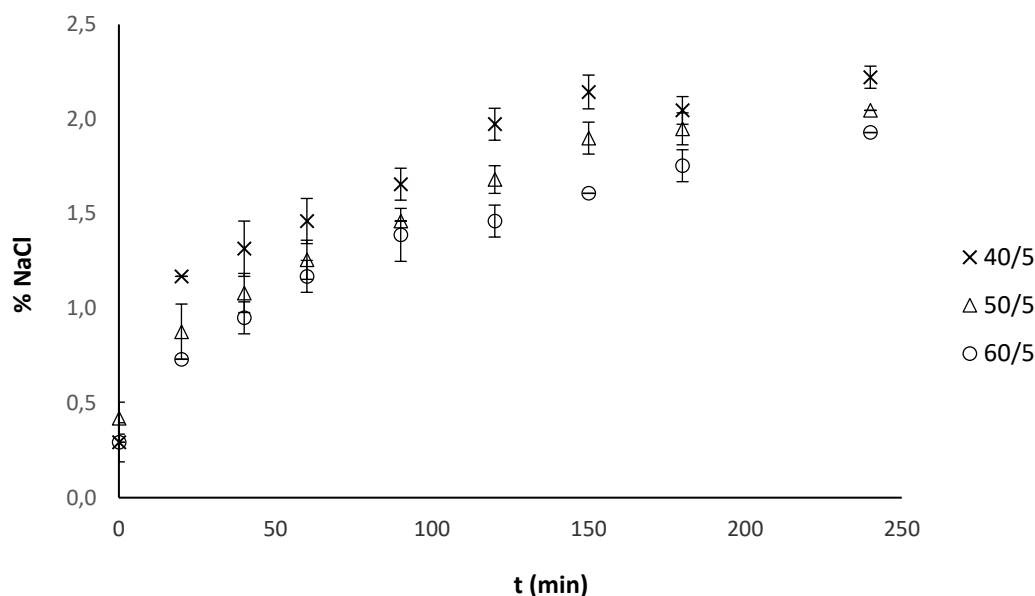
Από το διάγραμμα εξάγονται δύο συμπεράσματα, ένα για τη διακύμανση των τιμών με το χρόνο και ένα για τις διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκερόλης. Αρχικά, παρατηρείται ότι και για τις τρεις συγκεντρώσεις όσο αυξάνεται ο χρόνος της προκατεργασίας, τόσο μεγαλύτερη απώλεια νερού εμφανίζεται με το πέρασμα του χρόνου. Αυτό το αποτέλεσμα είναι λογικό αφού όσο περισσότερο αφήνεται το δείγμα ψαριού στο διάλυμα τόσο θα συνεχίζεται η ανταλλαγή νερού από το ψάρι στο διάλυμα και στερεών από το διάλυμα στο δείγμα μέχρι να φτάσει σε ισορροπία το σύστημα. Σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις φαίνεται ότι στην αρχή η απώλεια της υγρασίας είναι πολύ έντονη και όσο αυξάνεται ο χρόνος, η απώλεια πραγματοποιείται με μειούμενο ρυθμό και τείνει να σταθεροποιηθεί για πολύ μεγάλους χρόνους. Συγκρίνοντας τις διαφορετικές σειρές μεταξύ τους, είναι εμφανές ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με τη συγκέντρωση της γλυκερόλης. Για 40% σε γλυκερόλη εμφανίζεται η μικρότερη απώλεια υγρασίας ενώ για 60% η μεγαλύτερη για τους ίδιους χρόνους επεξεργασίας. Παρατηρώντας τις μέσες τιμές με τις τυπικές τους αποκλίσεις φαίνεται ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των σημείων κυρίως για τους χρόνους μετά τα 30min, ενώ για μικρότερους χρόνους οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.



Διάγραμμα 5.2: Μεταβολή της πρόσληψης των ολικών στερεών ($\frac{\text{g στερεού}}{\text{g αρχικού ξηρού βάρους}}$) με το χρόνο για x 40, Δ 50 και o 60% γλυκερόλη (με 5% NaCl) στους 15°C (Μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση)

Η πρόσληψη των στερεών η οποία μελετάται σε αυτή την ενότητα οφείλεται στη μεταφορά γλυκερόλης και άλατος από το ωσμωτικό διάλυμα στα δείγματα λαβρακιού. Τα αποτελέσματα για την πρόσληψη των στερεών είναι παρόμοια με αυτά που εξήχθησαν και για την απώλεια της υγρασίας. Συγκεκριμένα, με το πέρασμα του χρόνου η πρόσληψη των στερεών αυξάνεται συνολικά, αρχικά αυτό συμβαίνει πολύ απότομα ενώ στη συνέχεια μειώνεται ο ρυθμός μέχρι που τείνει να λάβει μια σταθερή τιμή. Επίσης, μεγαλύτερη πρόσληψη παρατηρείται για τη μεγαλύτερη συγκέντρωση γλυκερόλης και μικρότερη για τη μικρότερη συγκέντρωση. Επίσης, οι τυπικές αποκλίσεις από τη μέση τιμή, δείχνουν ότι οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών σειρών είναι σημαντικές, ειδικά για χρόνους πάνω από τη μισή ώρα.

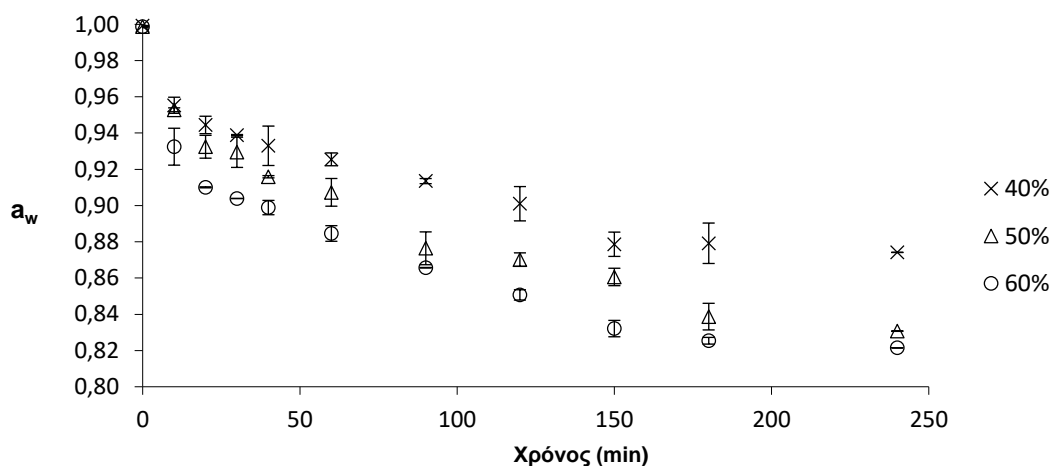
Μια άλλη παράμετρος η οποία δείχνει την εξέλιξη της ωσμωτικής κατεργασίας είναι η περιεκτικότητα του ψαριού σε NaCl. Η πρόσληψη του άλατος περιορίζεται με βάση τη θεωρία, από την παρουσία της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα, γεγονός που εξηγείται από το σχηματισμό ενός υμένα του ωσμωτικού μέσου που περιβάλλει το δείγμα και παρεμποδίζει την εισροή μορίων άλατος στο εσωτερικό (Τσιρώνη, 2010). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 5.3: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε % NaCl των δειγμάτων με το χρόνο για X 40, Δ 50 και o 60% γλυκερόλη (με 5% NaCl) στους 15°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

Από τα αποτελέσματα εξάγονται δύο σημαντικά συμπεράσματα. Το πρώτο είναι ότι με το πέρασμα του χρόνου η περιεκτικότητα σε αλάτι αυξάνεται, γεγονός που οφείλεται στο ωσμωτικό διάλυμα το οποίο περιέχει NaCl και το οποίο σταδιακά διαχέεται στο δείγμα ψαριού. Η αρχική τιμή αλατότητας στα φιλέτα είναι κατά μέση τιμή ίση με 0,32% ($\pm 0,06\%$) και μετά από τις τρεις ώρες προκατεργασίας φτάνει τις τιμές 2,05%, 1,95% και 1,75% για 40%, 50% και 60% γλυκερόλη αντίστοιχα. Το άλλο συμπέρασμα που προκύπτει, είναι ότι η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε γλυκερόλη εμφανίζει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αλάτι για τους ίδιους χρόνους. Αυτό επιβεβαιώνει τη θεωρία που αναφέρθηκε παραπάνω, δηλαδή το πιο πυκνό διάλυμα σε γλυκερόλη σχηματίζει πιο πυκνό υμένα στην επιφάνεια του δείγματος και παρεμποδίζει περισσότερο την εισαγωγή του άλατος στα δείγματα των ψαριών. Παρατηρώντας τις τυπικές αποκλίσεις των τριών σειρών, φαίνεται ότι για περιεκτικότητα 50% και 60% οι τιμές παρουσιάζουν μικρές διαφορές και ειδικά για τους μικρότερους χρόνους (μέχρι 90 min). Αντιθέτως, οι διαφορές μεταξύ των σειρών 40% και 50% σε γλυκερόλη είναι πιο έντονες.

Τέλος, οι τιμές της ενεργότητας του νερού είναι ένας σημαντικός δείκτης για την αξιολόγηση της ωσμωτικής προκατεργασίας αφού δίνει άμεσα αποτελέσματα από τα οποία μπορεί να αξιολογηθεί σε πρώτη φάση η επιτυχία ή όχι της διεργασίας.



Διάγραμμα 5.4: Μεταβολή της ενεργότητας νερού (a_w) με το χρόνο για x 40, Δ 50 και ο 60% γλυκερόλη (με 5% NaCl) στους 15°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει έντονη πτώση στις τιμές της ενεργότητας νερού στα πρώτα 40 min και μετά συνεχίζει να μειώνεται αλλά με μικρότερο ρυθμό. Οι τιμές της ενεργότητας του νερού με το πέρας της διεργασίας είναι περίπου 0,82 - 0,83 για περιεκτικότητα 50% και 60% σε γλυκερόλη και 0,87 για 40%, ενώ η αρχική τιμή ενεργότητας φτάνει σε επίπεδα 0,99. Επομένως, οδηγούν σε πολύ σταθερά προϊόντα χωρίς να προκαλείται σημαντική αλλοίωση των ποιοτικών και θρεπτικών χαρακτηριστικών των φιλέτων λαβρακιού. Βέβαια, η ποιοτική αξιολόγηση των ωσμωνμένων και μη φιλέτων θα αξιολογηθούν και παρακάτω με άλλες παραμέτρους.

Μέσα στην πρώτη ώρα της ωσμωτικής προκατεργασίας, η ενεργότητα του νερού έχει φτάσει σε επίπεδα κοντά στο 0,88 - 0,93 ανάλογα με το διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε και το οποίο είναι ικανοποιητικό σε σχέση με την μικροβιακή ανάλυση. Σύμφωνα με τους Neumeyer *et al.* (1997), σε επίπεδο κάτω του 0,95 έχει ανασταλεί σημαντικά η ανάπτυξη των *Pseudomonas* spp. και σύμφωνα με τον Οργανισμό Ελέγχου Φαρμάκων και Τροφίμων (FDA) των παθογόνων μικροοργανισμών *Vibrio* spp. (FDA, 2011). Σε τιμές ενεργότητας νερού χαμηλότερες από 0,92 δεν αναπτύσσεται η *Listeria* spp. σύμφωνα με τον FDA (2011). Η συστηματική μικροβιολογική ανάλυση των μελετώμενων δειγμάτων περιγράφεται σε επόμενη ενότητα.

Υπολογισμός συντελεστών διάχυσης νερού και στερεών

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, θα προσδιοριστούν οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας από το φιλέτο λαβρακιού στο διάλυμα και των στερεών από το διάλυμα στο φιλέτο. Αφού προσδιορίστηκαν οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας και των στερεών που προσλαμβάνονται ως προς τη μάζα του ωσμωνμένου φιλέτου, εφαρμόστηκε ο 2^{ος} νόμος του Fick με βάση τις εξισώσεις 4.6 και 4.7 που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα και τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στις εξισώσεις πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος SPSS.

Πίνακας 5.1: Συντελεστές διάχυσης της απώλειας νερού (D_{ew}) και της πρόσληψης στερεών (D_{es}) για ωσμωτικά διαλύματα περιεκτικότητας 40, 50 και 60% σε γλυκερόλη και (5% NaCl) (μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση)

Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{ew} (m^2 \cdot s^{-1})$	$D_{es} (m^2 \cdot s^{-1})$
40% γλυκερόλη (5%NaCl)	$1,90 (\pm 0,15) \cdot 10^{-9}$	$1,82 (\pm 0,12) \cdot 10^{-9}$
50% γλυκερόλη (5%NaCl)	$2,77 (\pm 0,15) \cdot 10^{-9}$	$2,50 (\pm 0,21) \cdot 10^{-9}$
60% γλυκερόλη (5%NaCl)	$3,62 (\pm 0,27) \cdot 10^{-9}$	$4,12 (\pm 0,55) \cdot 10^{-9}$

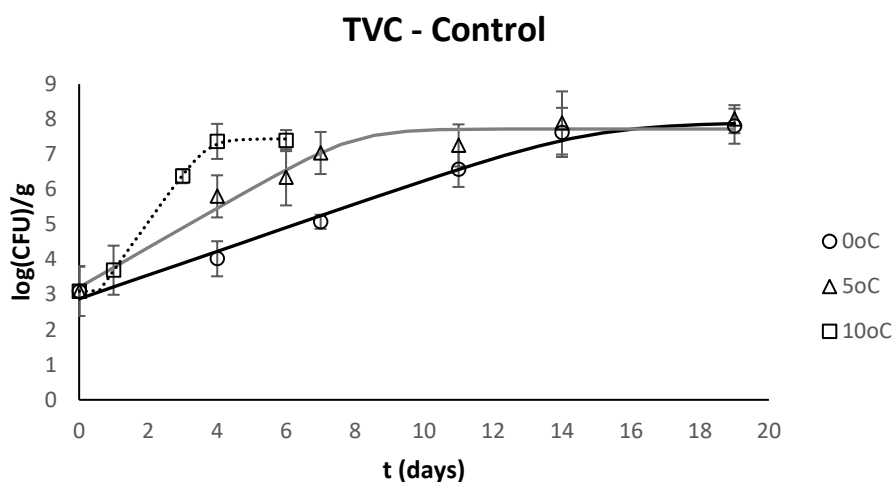
Από τις τιμές και τις αποκλίσεις τους φαίνεται ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών των συντελεστών διάχυσης τόσο του νερού όσο και των στερεών ($p < 0,05$). Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε γλυκερόλη, τόσο πιο έντονη είναι η διάχυση του νερού και των στερεών, συμπέρασμα το οποίο επιβεβαιώνει και τα διαγράμματα της απώλειας υγρασίας (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) τα οποία παρουσιάστηκαν παραπάνω. Η προσαρμογή των πειραματικών σημείων στο νόμο του Fick είναι πολύ καλή αφού οι συντελεστές συσχέτισης είναι μεγαλύτεροι από 0,96 με εξαίρεση το συντελεστή για τα στερεά στην περιεκτικότητα γλυκερόλης 60% όπου $R^2=0,94$. Οι τιμές αυτές των συντελεστών είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αντίστοιχες τιμές που έχουν παρουσιαστεί από προηγούμενες μελέτες για άλλα είδη ψαριών. Σύμφωνα με τους Chesnarev et al. (2013) οι τιμές των συντελεστών διάχυσης για το νερό, τη γλυκερόλη και το αλάτι σε κολίο βρέθηκαν ίσοι με $0,96-1,34 \cdot 10^{-9} m^2 \cdot s^{-1}$, $0,85-1,15 \cdot 10^{-9} m^2 \cdot s^{-1}$ και $0,98-1,50 \cdot 10^{-9} m^2 \cdot s^{-1}$ αντίστοιχα ανάλογα με τη θερμοκρασία ($50^\circ C - 90^\circ C$) και για ωσμωτικό διάλυμα 57% γλυκερόλης και 7% σε NaCl. Σύμφωνα με την Τσιρώνη (2010), οι συντελεστές διάχυσης νερού και στερεών σε τσιπούρα για ίδιας συγκέντρωσης ωσμωτικά διαλύματα με μαλτοδεξτρίνη ήταν $2,14 - 2,75 \cdot 10^{-9} m^2 \cdot s^{-1}$ και $2,17 - 2,82 \cdot 10^{-9} m^2 \cdot s^{-1}$ αντίστοιχα.

5.4 Επίδραση του χρόνου ωσμωτικής προκατεργασίας στην ποιότητα και τη διατηρησιμότητα των φιλέτων λαβρακιού

Από την εξέταση των κινητικών παραμέτρων που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα για την αξιολόγηση των διαφορετικών ωσμωτικών διαλυμάτων σε συνάρτηση με το χρόνο, επιλέχθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες στις οποίες θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια ο έλεγχος για τη διατηρησιμότητα και την ποιοτική μεταβολή των δειγμάτων με το χρόνο και τη θερμοκρασία συντήρησης. Εκτός από ένα καλό αποτέλεσμα στις τιμές απώλειας νερού, πρόσληψης στερεών, περιεκτικότητας σε αλάτι και ενεργότητας νερού, πρέπει να συνεκτιμηθεί και ο χρόνος ωσμωτικής προκατεργασίας. Με άλλα λόγια, ο χρόνος δεν μπορεί να είναι υπερβολικά μεγάλος γιατί δεν θα είναι συμφέρουσα η διεργασία, άλλα ούτε και υπερβολικά μικρός, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές τιμές στις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν. Ως κατάλληλες συνθήκες επεξεργασίας επιλέχθηκε ο χρόνος 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και 5% NaCl, γιατί επιφέρουν ικανοποιητική ελάττωση της ενεργότητας του νερού με την ελάχιστη επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του φιλέτου.

5.4.1 Ανάπτυξη αλλοιογόνου μικροχλωρίδας

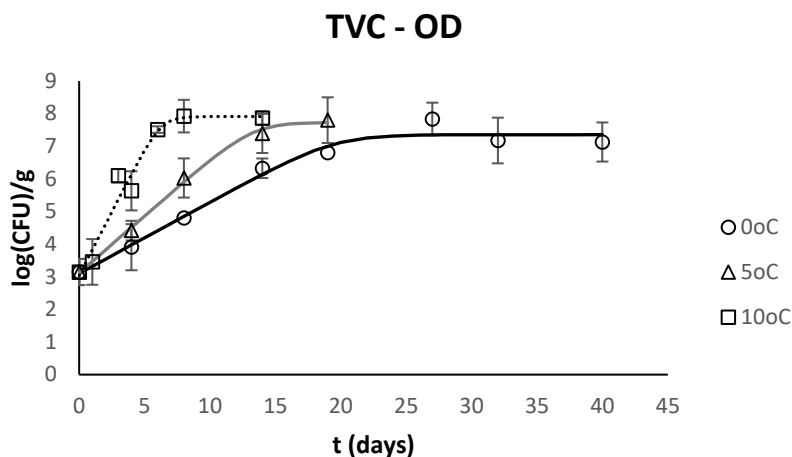
Τα προϊόντα των ιχθυηρών στα οποία συγκαταλέγεται το λαβράκι είναι αρκετά ευαλλοίωτα και ιδιαίτερα τα φρέσκα τρόφιμα. Σε αυτό το σημείο μελετώνται ορισμένοι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί και συγκεκριμένα η ολική μικροβιακή χλωρίδα (*total viable count*), οι ψευδομονάδες (*Pseudomonas spp.*) και τα εντεροβακτήρια (*Enterobacteriaceae spp.*). Τα αποτελέσματα για κάθε είδος παρουσιάζονται ανάλογα με την προκατεργασία ή μη των δειγμάτων. Από τα πειραματικά σημεία και την επεξεργασία τους, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή του μοντέλου Baranyi σε κάθε περίπτωση και έτσι προσδιορίστηκαν οι ρυθμοί ανάπτυξης των μικροοργανισμών στην εκθετική φάση. Στα διαγράμματα που ακολουθούν, τα σημεία αποτελούν τις μέσες τιμές των πειραματικών μετρήσεων και οι συνεχείς γραμμές προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου Baranyi.



Διάγραμμα 5.5: Μεταβολή της ολικής μικροβιακής χλωρίδας (TVC) σε ανεπεξέργαστα φιλέτα λαβρακιού (Control) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης (○ 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

Από το διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι στη χαμηλότερη θερμοκρασία ανάπτυξης τα δείγματα έχουν την πιο αργή ανάπτυξη και στη μεγαλύτερη θερμοκρασία το μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης του ολικού μικροβιακού φορτίου. Επιπλέον, με το τέλος της εκθετικής φάσης ακολουθεί η φάση στασιμότητας, δηλαδή ο αριθμός του ολικού μικροβιακού φορτίου ανά γραμμάριο φιλέτου λαβρακιού σταθεροποιείται. Το πλατό εμφανίζεται στο διάστημα 7,5-8 log(CFU)/g ανάλογα με τη θερμοκρασία ανάπτυξης, ενώ η αρχική τιμή του φορτίου είναι 3,1 log(CFU)/g.

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα αποτελέσματα για την ανάπτυξη του ολικού μικροβιακού φορτίου σε ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα για τις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης 0°C, 5°C και 10°C.



Διάγραμμα 5.6: Μεταβολή της ολικής μικροβιακής χλωρίδας (TVC) σε ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (◯ 0°C, Δ 5°C και ◻ 10°C)

Τα αποτελέσματα για τα δείγματα OD είναι παρόμοια με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα δείγματα control. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία συντήρησης των δειγμάτων, τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός ανάπτυξης του μικροβιακού φορτίου και πιο γρήγορα το φορτίο φτάνει στη μέγιστη τιμή του. Τα μέγιστα επίπεδα που φτάνει το ολικό φορτίο στις τρεις θερμοκρασίες είναι ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν και στα control δείγματα ενώ και η αρχική τιμή του φορτίου είναι πάλι 3,1 log(CFU)/g.

Από την εφαρμογή του μοντέλου Baranji για κάθε περίπτωση, προσδιορίζονται οι ρυθμοί ανάπτυξης της εκθετικής φάσης για την ολική μικροβιακή χλωρίδα. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους πίνακες 5.2 και 5.3 για τα ανεπεξέργαστα και τα ωσμωμένα δείγματα λαβρακιού αντίστοιχα.

Πίνακας 5.2: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης ολικής μικροβιακής χλωρίδας (TVC) σε νωπά ανεπεξέργαστα δείγματα φιλέτων λαβρακιού και για θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

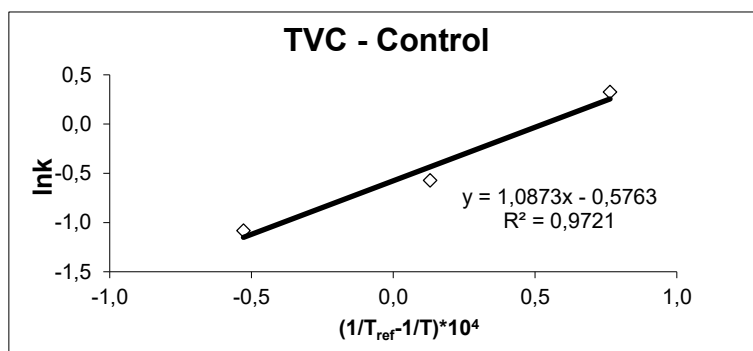
Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί ανάπτυξης k (d ⁻¹) TVC
0	0,3385 ± 0,0276
5	0,5640 ± 0,0726
10	1,3840 ± 0,0478

Από τα αποτελέσματα για τους ρυθμούς ανάπτυξης, παρατηρούμε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των Control και OD δειγμάτων για τις ίδιες θερμοκρασίες (p<0,05). Ενδεικτικά, ο ρυθμός ανάπτυξης του ολικού μικροβιακού φορτίου του control δείγματος στους 0°C είναι σχεδόν ίσος με τον ρυθμό του OD στους 5°C.

Πίνακας 5.3: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης ολικής μικροβιακής χλωρίδας (TVC) σε ωσσωμένα νωπά δείγματα φιλέτων λαβρακιού και για θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

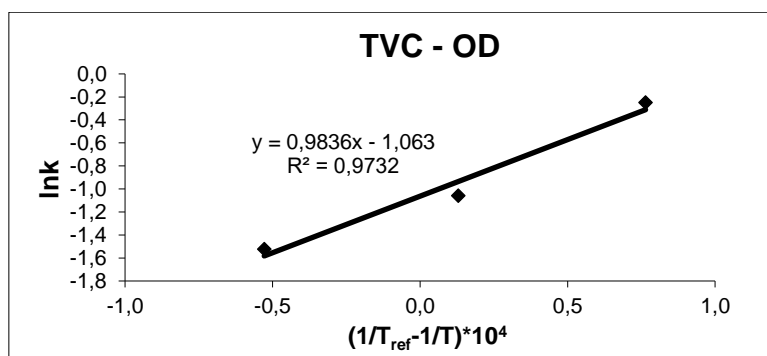
Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί ανάπτυξης k (d ⁻¹) TVC
0	0,2181 ± 0,0244
5	0,3474 ± 0,0254
10	0,7796 ± 0,1296

Οι ρυθμοί ανάπτυξης για τα ανεπεξεργαστα και τα ωσσωτικά επεξεργασμένα φιλέτα χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της γραμμικοποιημένης εξίσωσης Arrhenius η οποία αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.6.2 και στην οποία ως θερμοκρασία αναφοράς χρησιμοποιούνται οι 4°C. Τα αποτελέσματα της εξίσωσης Arrhenius παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.7: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης του ολικού μικροβιακού φορτίου στα μη επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

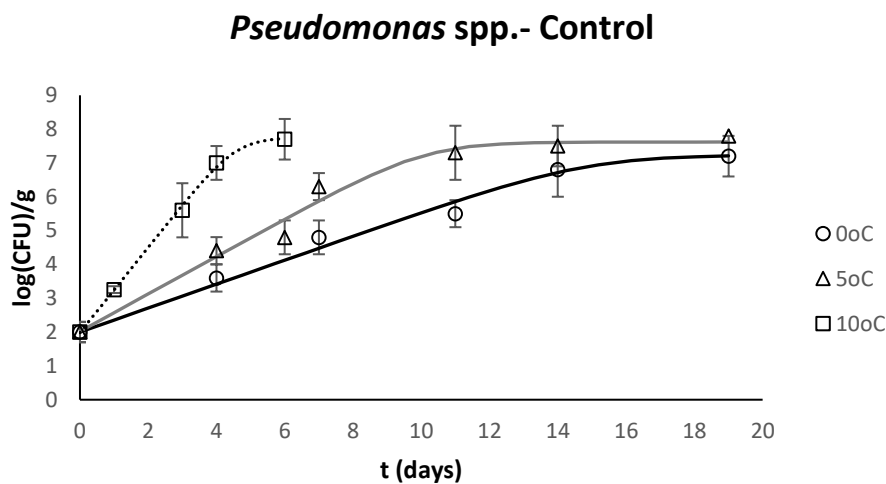
Από το διάγραμμα 5.7 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για το TVC στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Αυτή βρέθηκε ίση με $E_a = 90,4$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref} = 0,5620$ d⁻¹.



Διάγραμμα 5.8: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης του ολικού μικροβιακού φορτίου στα ωσσωτικά επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

Αντίστοιχα με παραπάνω, από το διάγραμμα 5.8 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για το TVC στα ωσσωμένα δείγματα. Αυτή ισούται με $E_a=81,8$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref}=0,3454$ d⁻¹. Η εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius στα πειραματικά σημεία και στις δυο προηγούμενες περιπτώσεις είναι αρκετά καλή αφού οι συντελεστές συσχέτισης είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτεροι από 0,97.

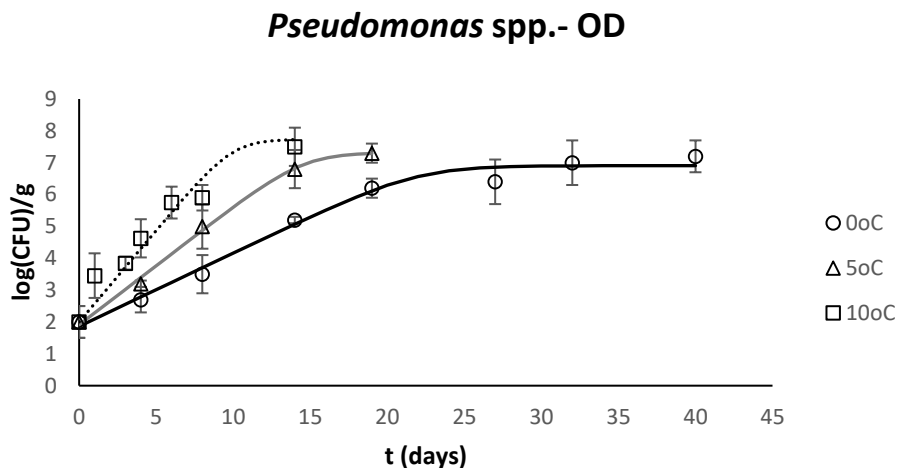
Στη συνέχεια, θα ακολουθήσει η αντίστοιχη μικροβιακή ανάλυση για την ανάπτυξη των ψευδομονάδων (*Pseudomonas* spp.).



Διάγραμμα 5.9: Μεταβολή του αριθμού των ψευδομονάδων (*Pseudomonas* spp.) σε ανεπεξέργαστα φιλέτα λαβρακιού (Control) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης (◯ 0°C, Δ 5°C και ◻ 10°C)

Από το διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ανάπτυξης τα δείγματα έχουν μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης του αριθμού των ψευδομονάδων. Επιπλέον, όταν οι καμπύλες φτάνουν σε πλατώ, ο αριθμός των ψευδομονάδων ανά γραμμάριο φιλέτου λαβρακιού εμφανίζεται στο διάστημα 7,2-7,8 log(CFU)/g ανάλογα με τη θερμοκρασία συντήρησης. Συγκρίνοντας το φορτίο των ψευδομονάδων με το ολικό μικροβιακό φορτίο στα τελικά αλλοιωμένα προϊόντα, συμπεραίνεται ότι το κυρίαρχο είδος των μικροοργανισμών που οδηγούν στην αλλοίωση των φιλέτων λαβρακιού κατά τη συντήρηση σε ψύξη είναι οι ψευδομονάδες. Αυτό επιβεβαιώνεται και από προηγούμενες μελέτες πάνω στη μικροβιολογία του λαβρακιού (Paradopoulos et al., 2003, Parlapani et al., 2015). Γι' αυτό το λόγο, στον υπολογισμό της διατηρησιμότητας των ψαριών λαμβάνεται υπόψη η ανάπτυξη των ψευδομονάδων όπως θα αναφερθεί και σε επόμενο κεφάλαιο.

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα αποτελέσματα για την ανάπτυξη των ψευδομονάδων σε ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα και για τις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης 0°C, 5°C και 10°C.



Διάγραμμα 5.10: Μεταβολή του αριθμού των ψευδομονάδων (*Pseudomonas* spp.) σε ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (◯ 0°C, Δ 5°C και ◻ 10°C)

Τα αποτελέσματα για τα δείγματα OD είναι παρόμοια με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα δείγματα control. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία συντήρησης των δειγμάτων, τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός ανάπτυξης του μικροβιακού φορτίου και πιο γρήγορα το φορτίο φτάνει στη μέγιστη τιμή του. Τα μέγιστα επίπεδα που φτάνει το ολικό φορτίο στις τρεις θερμοκρασίες είναι παρόμοια με αυτά που αναφέρθηκαν και στα control δείγματα.

Από την εφαρμογή του μοντέλου Baranyi για κάθε περίπτωση, προσδιορίζονται οι ρυθμοί ανάπτυξης της εκθετικής φάσης για τις ψευδομονάδες και τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους πίνακες 5.4 και 5.5 για τα ανεπεξέργαστα και τα ωσμωμένα δείγματα λαβρακιού αντίστοιχα.

Πίνακας 5.4: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης του αριθμού των ψευδομονάδων σε νωπά ανεπεξέργαστα δείγματα φιλέτων λαβρακιού και για θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

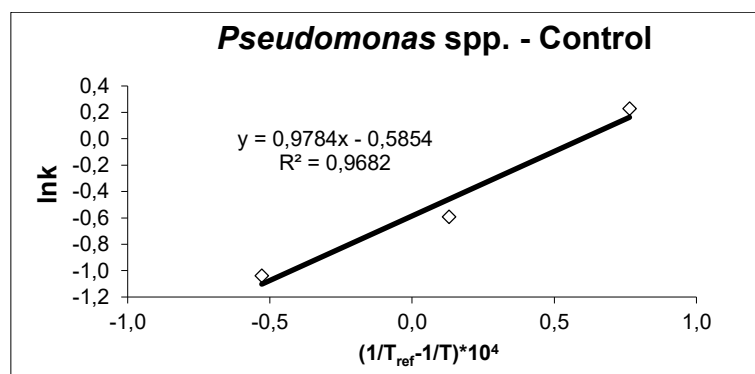
Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί ανάπτυξης k (d ⁻¹) <i>Pseudomonas</i> spp.
0	0,3544 ± 0,0503
5	0,5539 ± 0,0685
10	1,2585 ± 0,0490

Πίνακας 5.5: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης των ψευδομονάδων σε ωσμωμένα νωπά δείγματα φιλέτων λαβρακιού και για θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί ανάπτυξης k (d ⁻¹) <i>Pseudomonas spp.</i>
0	0,2302 ± 0,0210
5	0,3710 ± 0,0238
10	0,5742 ± 0,1077

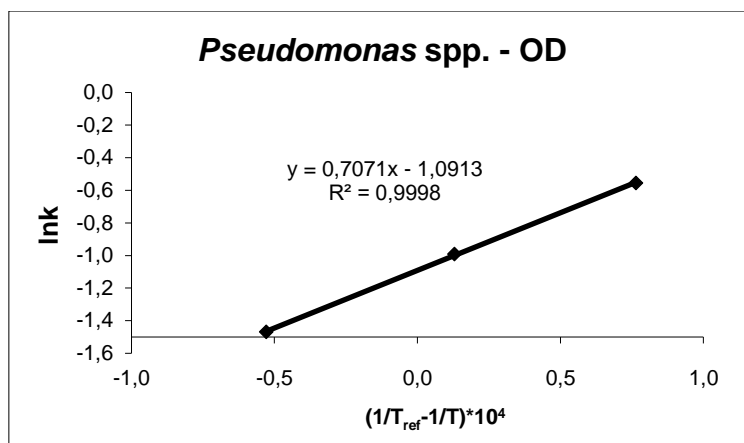
Από τα αποτελέσματα για τους ρυθμούς ανάπτυξης, παρατηρούμε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των Control και OD δειγμάτων για τις ίδιες θερμοκρασίες ($p < 0,05$). Ενδεικτικά, ο ρυθμός ανάπτυξης των ψευδομονάδων στα control δείγματα στους 0°C είναι σχεδόν ίσος με τον ρυθμό των OD δειγμάτων στους 5°C και ο ρυθμός του control δείγματος στους 5°C είναι σχεδόν ίσος με τον ρυθμό του OD στους 10°C.

Οι ρυθμοί ανάπτυξης για τα ανεπεξέργαστα και τα ωσμωτικά επεξεργασμένα φιλέτα χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της γραμμικοποιημένης εξίσωσης Arrhenius η οποία αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.6.2 και στην οποία ως θερμοκρασία αναφοράς χρησιμοποιούνται οι 4°C. Τα αποτελέσματα της εξίσωσης Arrhenius παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.11: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης του αριθμού των ψευδομονάδων (*Pseudomonas spp.*) στα μη επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

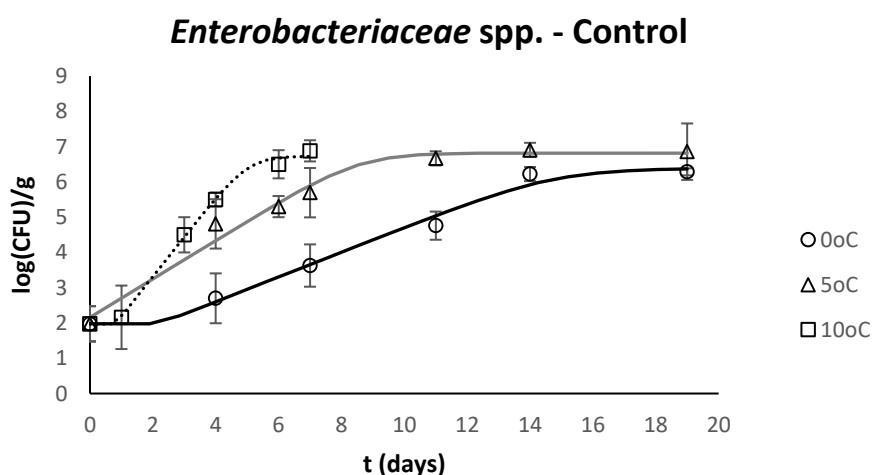
Από το διάγραμμα 5.11 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για τις ψευδομονάδες στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Αυτή βρέθηκε ίση με $E_a = 81,3$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref} = 0,5569$ d⁻¹.



Διάγραμμα 5.12: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης του αριθμού των ψευδομονάδων (*Pseudomonas* spp.) στα ωσμοτικά επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

Αντίστοιχα με πριν, από το διάγραμμα 5.12 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για τις ψευδομονάδες στα ωσμομένα δείγματα. Αυτή ισούται με $E_a=58,8$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref}=0,3358$ d⁻¹. Η ενέργεια ενεργοποίησης είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με αυτή των ανεπεξέργαστων δειγμάτων, δείχνοντας ότι οι ρυθμοί ανάπτυξης των ψευδομονάδων στα επεξεργασμένα δείγματα εξαρτώνται λιγότερο από τη θερμοκρασία συντήρησης.

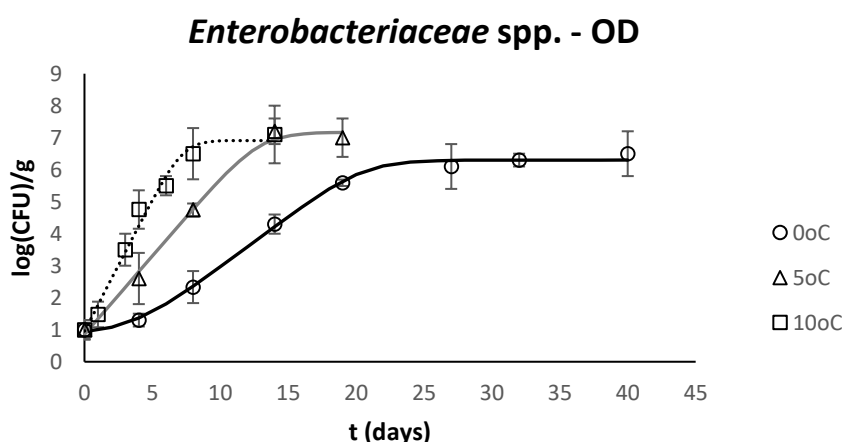
Το τελευταίο μέρος της ανάλυσης της αλλοιογόνου μικροχλωρίδας είναι η μελέτη του αριθμού των εντεροβακτηρίων (*Enterobacteriaceae* spp.).



Διάγραμμα 5.13: Μεταβολή του αριθμού των εντεροβακτηρίων (*Enterobacteriaceae* spp.) σε ανεπεξέργαστα φιλέτα λαβρακιού (Control) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης (○ 0°C, △ 5°C και □ 10°C)

Από το διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ανάπτυξης, τα δείγματα έχουν μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης του αριθμού των εντεροβακτηρίων. Ο αρχικός αριθμός του φορτίου για τα μη επεξεργασμένα δείγματα ισούται με $2,0 \log(\text{CFU})/\text{g}$. Επιπλέον, όταν οι καμπύλες φτάνουν σε πλατώ, ο αριθμός των εντεροβακτηρίων ανά γραμμάριο φιλέτου λαβρακιού εμφανίζεται στο διάστημα $6,3-6,9 \log(\text{CFU})/\text{g}$ ανάλογα με τη θερμοκρασία συντήρησης. Στη θερμοκρασία των 0°C παρατηρείται εμφάνιση λανθάνουσας φάσης τις πρώτες 2-3 μέρες, σε αντίθεση με τις άλλες δύο θερμοκρασίες στις οποίες δεν εντοπίζεται κάτι τέτοιο.

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα αποτελέσματα για την ανάπτυξη των εντεροβακτηρίων σε ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα και για τις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης 0°C , 5°C και 10°C .



Διάγραμμα 5.14: Μεταβολή του αριθμού των εντεροβακτηρίων (*Enterobacteriaceae* spp.) σε ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (\circ 0°C , Δ 5°C και \square 10°C)

Τα αποτελέσματα για τα δείγματα OD είναι παρόμοια με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα δείγματα control. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία συντήρησης των δειγμάτων, τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός ανάπτυξης του μικροβιακού φορτίου. Τα μέγιστα επίπεδα που φτάνει ο αριθμός των εντεροβακτηρίων στις τρεις θερμοκρασίες είναι στο διάστημα $6,5-7,0 \log(\text{CFU})/\text{g}$, ενώ τη χρονική στιγμή $t=0$ βρίσκεται κάτω από το ανιχνεύσιμο όριο. Συγκρίνοντας τις αρχικές τιμές για τα δύο διαφορετικά είδη δειγμάτων, φαίνεται ότι στα ωσμωμένα δείγματα η τιμή αυτή είναι κάτω από το ανιχνεύσιμο όριο. Άρα, αποδεικνύεται ότι μέσα από αυτή τη προκατεργασία, εκτός από την πιο αργή ανάπτυξη, έχει μειωθεί και το μικροβιακό φορτίο. Αυτό οφείλεται στην ωσμωτική επεξεργασία καθώς παράλληλα με τη μεταφορά μάζας λαμβάνει χώρα απομάκρυνση των μικροοργανισμών από τη διεπιφάνεια προϊόντος/διαλύματος. (Τσιρώνη, 2010) Τέλος, για τη θερμοκρασία των 0°C παρατηρείται εμφάνιση λανθάνουσας φάσης τις πρώτες τρεις μέρες περίπου, σε αντίθεση με τις άλλες δύο θερμοκρασίες στις οποίες δεν εντοπίζεται κάτι τέτοιο.

Από την εφαρμογή του μοντέλου Baranji για κάθε περίπτωση, προσδιορίζονται οι εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης για τα εντεροβακτήρια. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους πίνακες 5.6 και 5.7 για τα ανεπεξέργαστα και τα ωσσωμένα δείγματα λαβρακιού.

Πίνακας 5.6: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης του αριθμού των εντεροβακτηρίων (*Enterobacteriaceae* spp.) σε νωπά ανεπεξέργαστα δείγματα φιλέτων λαβρακιού για θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

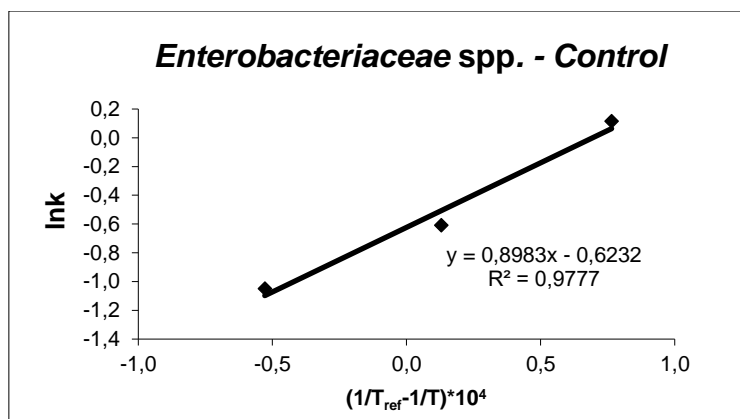
Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί ανάπτυξης k (d ⁻¹) <i>Enterobacteriaceae</i> spp.
0	0,3506 ± 0,0402
5	0,5445 ± 0,0579
10	1,1220 ± 0,0862

Πίνακας 5.7: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης των εντεροβακτηρίων (*Enterobacteriaceae* spp.) σε ωσσωμένα δείγματα νωπών φιλέτων λαβρακιού για θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί ανάπτυξης k (d ⁻¹) <i>Enterobacteriaceae</i> spp.
0	0,3198 ± 0,0307
5	0,4906 ± 0,0471
10	0,8228 ± 0,0830

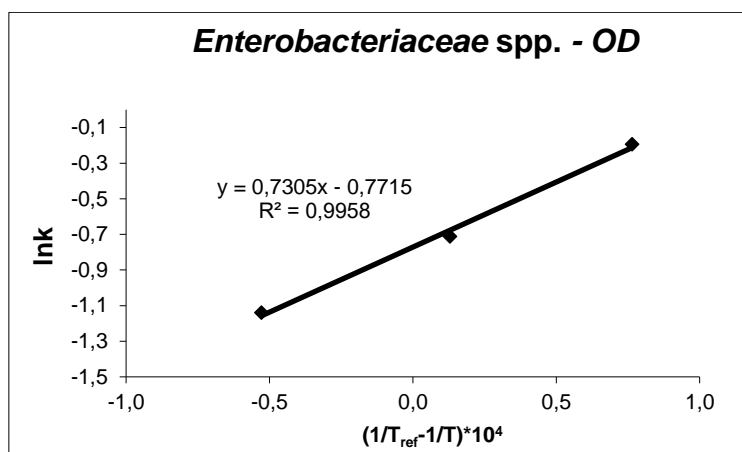
Από τα αποτελέσματα για τους ρυθμούς ανάπτυξης, παρατηρούμε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των Control και OD δειγμάτων για τη θερμοκρασία των 10°C ($p < 0,05$), άλλα δεν είναι το ίδιο έντονες με τις άλλες δυο θερμοκρασίες που εξετάστηκαν (0°C και 5°C) ($p > 0,05$).

Οι ρυθμοί ανάπτυξης για τα ανεπεξέργαστα και τα ωσσωτικά επεξεργασμένα φιλέτα χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της γραμμικοποιημένης εξίσωσης Arrhenius στην οποία ως θερμοκρασία αναφοράς χρησιμοποιούνται οι 4°C. Τα αποτελέσματα της εξίσωσης Arrhenius παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.15: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης του αριθμού των εντεροβακτηρίων (*Enterobacteriaceae* spp.) στα μη επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

Από το διάγραμμα 5.15 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για τα *Pseudomonas* spp. στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Αυτή βρέθηκε ίση με $E_a = 74,7$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref} = 0,5362$ d⁻¹.



Διάγραμμα 5.16: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης του αριθμού των εντεροβακτηρίων (*Enterobacteriaceae* spp.) στα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

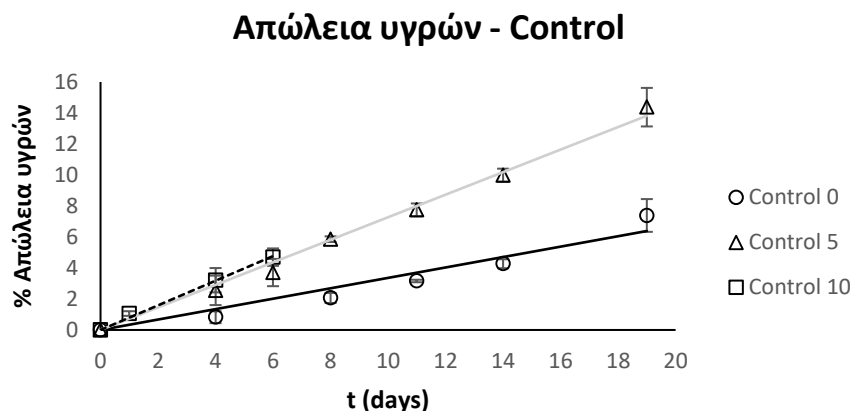
Αντίστοιχα με πριν, από το διάγραμμα 5.16 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για τα *Pseudomonas* στα ωσμωμένα δείγματα. Αυτή ισούται με $E_a = 60,7$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref} = 0,4623$ d⁻¹.

5.4.2 Απώλειες υγρού (Drip loss)

Ένας άλλος δείκτης για την ποιοτική υποβάθμιση των ιχθυρών είναι η απώλεια υγρών (drip loss) από τη σάρκα των φιλέτων λαβρακιού. Το φαινόμενο της απώλειας υγρού με το χρόνο αποθήκευσης εξηγείται από την υποβάθμιση των πρωτεϊνών στη σάρκα του

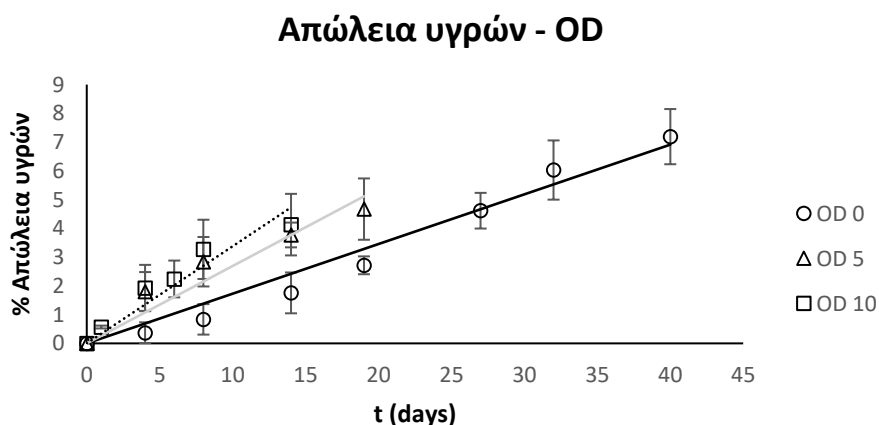
ψαριού κατά τη διάρκεια της αλλοίωσής του, δηλαδή η μετουσίωση των πρωτεϊνών που πραγματοποιείται, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας συγκράτησης νερού στους ιστούς των μυών. (Turan and Kocatepe, 2013)

Τα αποτελέσματα από τις μεταβολές αυτού του δείκτη για τα control και τα OD δείγματα συνοψίζονται στα επόμενα δύο διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.17: Μεταβολή του του ποσοστού απώλειας υγρών σε ανεπεξέργαστα φιλέτα (control) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για τις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (○ 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνονται οι διαφορές των ανεπεξέργαστων δειγμάτων για τις διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης, ειδικά μετά την πρώτη εβδομάδα. Τις πρώτες 7 μέρες αποθήκευσης, οι τιμές της απώλειας υγρών για τις θερμοκρασίες των 5°C και 10°C είναι παραπλήσιες ($p > 0,05$), ενώ στη χαμηλότερη θερμοκρασία των 0°C υπάρχει πιο μεγάλη διαφοροποίηση έναντι των άλλων δύο σειρών ($p < 0,05$).



Διάγραμμα 5.18: Μεταβολή του ποσοστού απώλειας υγρών σε ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για τις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (○ 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

Σε αυτές τις σειρές δεδομένων για τα ωσσωμένα δείγματα, οι διαφορές μεταξύ των ρυθμών στις τρεις θερμοκρασίες (0°C, 5°C και 10°C) είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$).

Παρατηρώντας τα πειραματικά σημεία φαίνεται ότι η αύξηση του ποσοστού της απώλειας υγρών από τα φιλέτα μπορεί να περιγραφεί από μια εξίσωση 1^{ου} βαθμού ως προς το χρόνο συντήρησης. Η ευθεία αυτή θα πρέπει να διέρχεται από την αρχή των αξόνων αφού τη χρονική στιγμή $t=0$, τα φιλέτα δεν έχουν χάσει υγρό και η κλίση της θα ισούται με το ρυθμό αύξησης του *drip loss*. Τα αποτελέσματα των ρυθμών συνοψίζονται στους δύο επόμενους πίνακες.

Πίνακας 5.8: Ρυθμοί αύξησης του ποσοστού απώλειας υγρών νωπών ανεπεξεργαστων φιλέτων λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C

Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμός k (d ⁻¹)	R ²
0	0,3360	0,9396
5	0,7274	0,9931
10	0,7943	0,9943

Πίνακας 5.9: Ρυθμοί αύξησης του ποσοστού απώλειας υγρών σε ωσσωμένα δείγματα νωπών φιλέτων λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C

Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμός k (d ⁻¹)	R ²
0	0,1728	0,9709
5	0,2691	0,9091
10	0,3377	0,9090

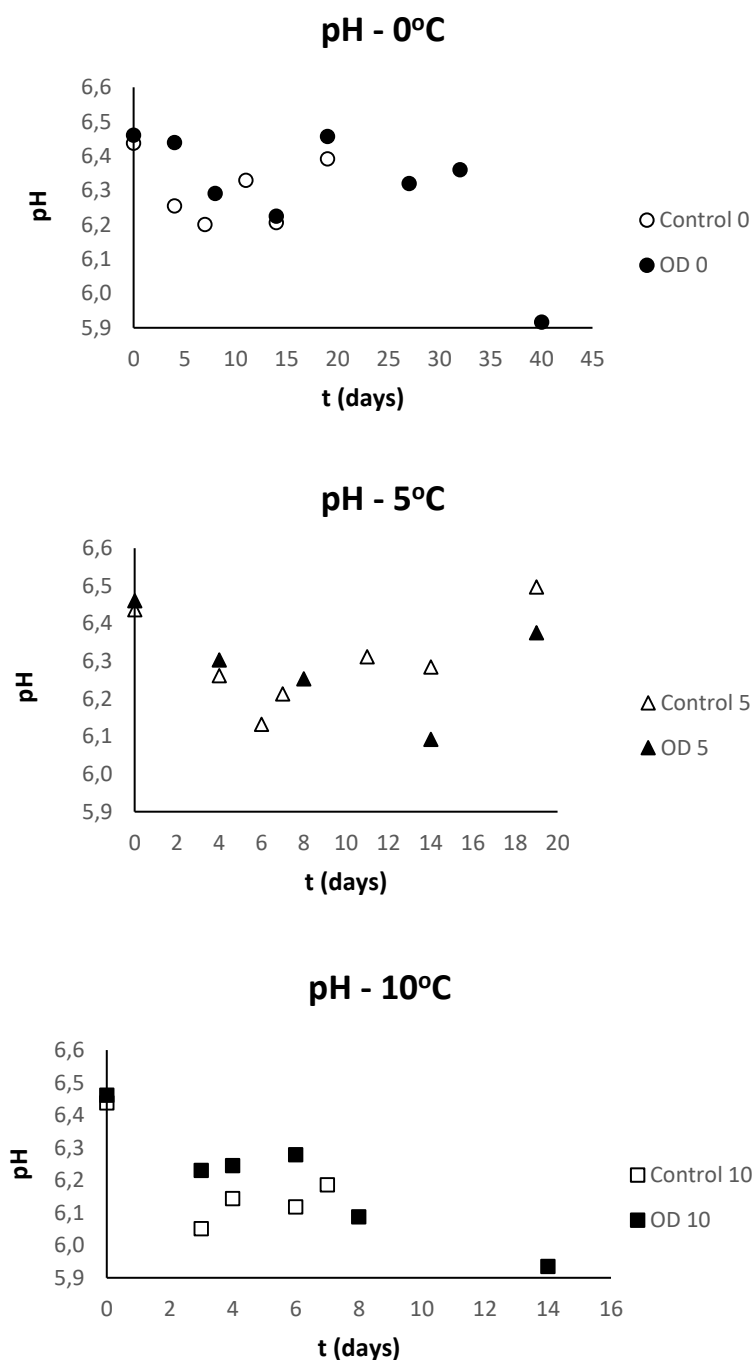
Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αποθήκευσης, τόσο αυξάνεται και ο ρυθμός, όπως αναμενόταν. Επίσης, συγκρίνοντας τους ρυθμούς για τις ίδιες θερμοκρασίες επιβεβαιώνεται για ακόμα μια φορά η θετική επίδραση που έχει η ωσμωτική επεξεργασία στην απώλεια υγρών από το σώμα του ψαριού αφού εντοπίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$).

5.4.3 Μεταβολές του pH

Ο επόμενος δείκτης που εξετάζεται είναι η μεταβολή του pH με το χρόνο στα επεξεργασμένα και μη δείγματα και για τις τρεις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C. Το pH εξαρτάται από την ανάπτυξη των μικροοργανισμών οι οποίοι μέσω των μεταβολικών ουσιών καθορίζουν την τιμή του. Όπως αναφέρεται και παραπάνω, με βάση προηγούμενες μελέτες, οι ψευδομονάδες είναι ο βασικός αλλοιογόνος μικροοργανισμός που αναπτύσσεται σε

προϊόντα ιχθυερών κατά την αποθήκευσή τους σε ψύξη. Οι ψευδομονάδες και άλλοι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί παράγουν βασικές μεταβολικές ενώσεις οι οποίες αυξάνουν το pH. (Gram and Huss, 1996, Yazgan et al., 2017) Επίσης, σε άλλη μελέτη που διεξήχθη σε λαβράκια, αναφέρεται ότι στην αρχή της αποθήκευσης των δειγμάτων υπό ψύξη, παράγεται γαλακτικό οξύ λόγω της ακαμψίας. (Alparslan et al., 2012)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το pH που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις.

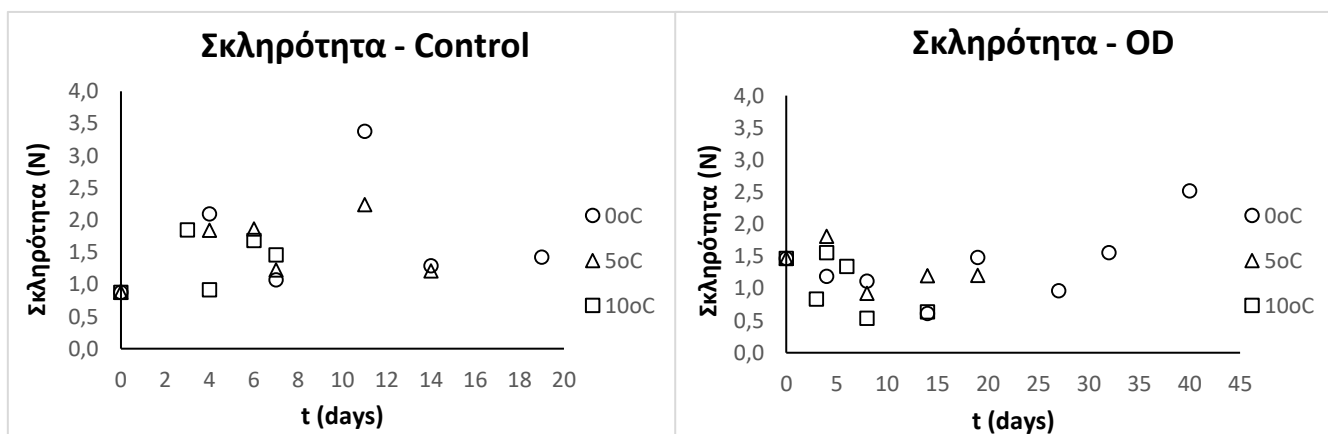


Διάγραμμα 5.19: Μεταβολή του pH σε ανεπεξέργαστα (OD) και ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης για θερμοκρασία συντήρησης 0°C (πάνω), 5°C (στη μέση) και 10°C (κάτω)

Παρατηρώντας τα διαγράμματα του pH στους 0°C φαίνεται ότι στις πρώτες μετρήσεις υπάρχει μια πτωτική τάση, ενώ στη συνέχεια το pH αυξάνεται και στις δύο συνθήκες. Στο control δείγμα, η ελάχιστη τιμή καταγράφηκε την 7^η μέρα ενώ στα ωσσωμένα την 14 μέρα. Η υστέρηση για τα OD δείγματα συμβαδίζει με τα αποτελέσματα του μικροβιολογικού ελέγχου όπου η ανάπτυξη των μικροοργανισμών καθυστερεί σε σχέση με τα ανεπεξεργαστα δείγματα και άρα με βάση τη θεωρία που αναφέρθηκε παραπάνω, καθυστερεί η παραγωγή των βασικών μεταβολικών προϊόντων. Από το διάγραμμα των 5°C, στα μη επεξεργασμένα δείγματα υπάρχει η τάση που περιεγράφηκε και στα παραπάνω δείγματα και η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται με βάση τα πειραματικά δεδομένα την 6^η μέρα, δηλαδή εμφανίζεται πιο σύντομα σε σχέση με τη χαμηλότερη θερμοκρασία συντήρησης. Αντιθέτως, στο διάγραμμα των ωσσωμένων φιλέτων εμφανίζεται πτωτική τάση των πειραματικών σημείων μέχρι τη 14^η ημέρα και μετά αυξάνεται. Τέλος, στους 10°C η ελάχιστη τιμή στο pH έχει επιτευχθεί πριν την 3^η ημέρα και στη συνέχεια παρατηρείται μια μικρή αύξηση. Επομένως, το γενικό συμπέρασμα είναι ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συντήρησης των δειγμάτων τόσο πιο γρήγορα φτάνει το δείγμα στην ελάχιστη τιμή του, ενώ και τα επεξεργασμένα δείγματα καθυστερούν το φαινόμενο σε σχέση με τα μη ωσσωμένα και για τις ίδιες θερμοκρασίες συντήρησης. Αυτό το αποτέλεσμα είναι σε συμφωνία με την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

5.4.4 Ανάλυση υφής

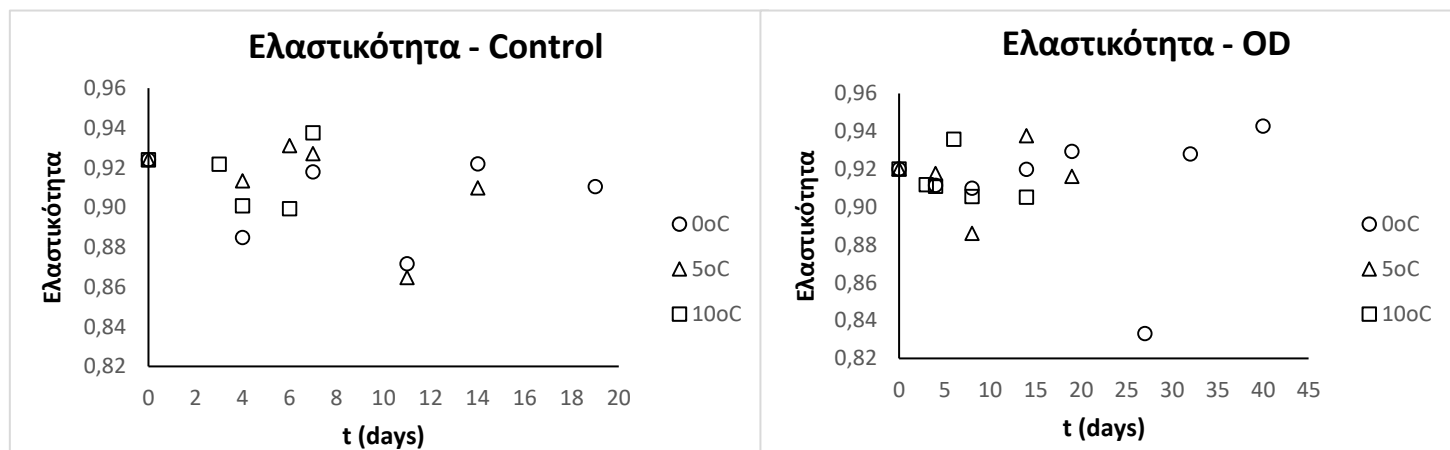
Κατά την ανάλυση υφής εξετάστηκαν, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, η σκληρότητα, η ελαστικότητα, η προσκολλησιμότητα και η συνεκτικότητα. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που θα ακολουθήσει, προκύπτει ότι η ανάλυση υφής δεν αποτελεί χαρακτηριστικό δείκτη για τον προσδιορισμό της ποιότητας των φιλέτων λαβρακιού.



Διάγραμμα 5.20: Μεταβολή της σκληρότητας (Hardness) σε ανεπεξεργαστα (αριστερά) και σε ωσσωτικά προκατεργασμένα νωπά φιλέτα λαβρακιού (δεξιά) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για τις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (○ 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

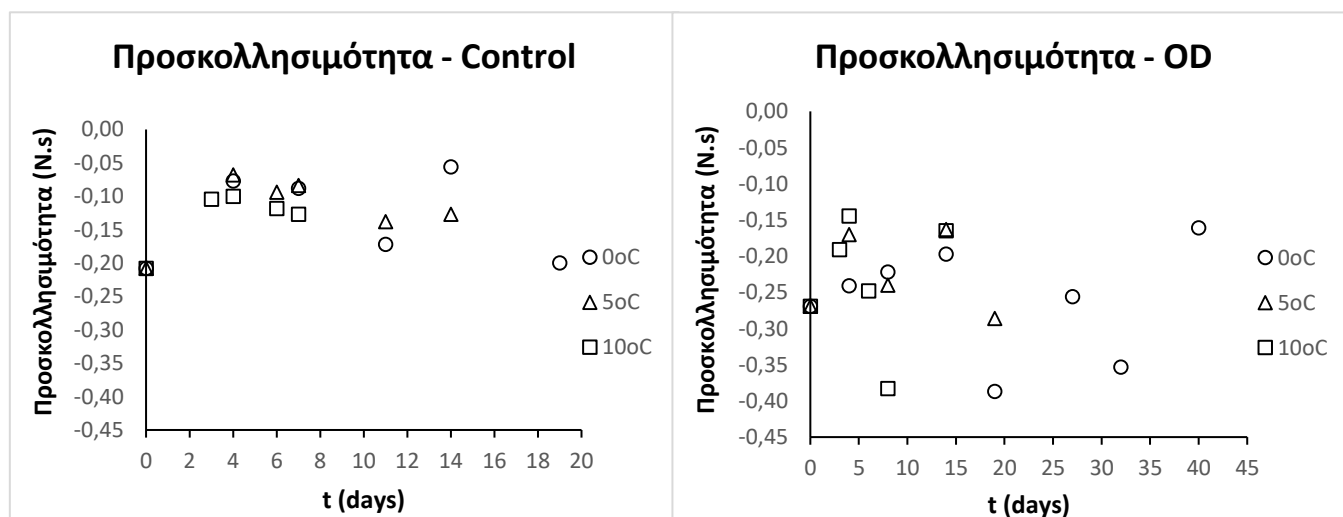
Από τα αποτελέσματα της σκληρότητας και για τα ανεπεξέργαστα και για τα ωσμημένα φιλέτα ψαριού δεν μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για τη μεταβολή της με το χρόνο. Επίσης, συμπέρασμα δεν εξαγεται ούτε συγκρίνοντας τα διαφορετικά επεξεργασμένα δείγματα για την ίδια θερμοκρασία.

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν τα αποτελέσματα για την ελαστικότητα των φιλέτων λαβρακιού.



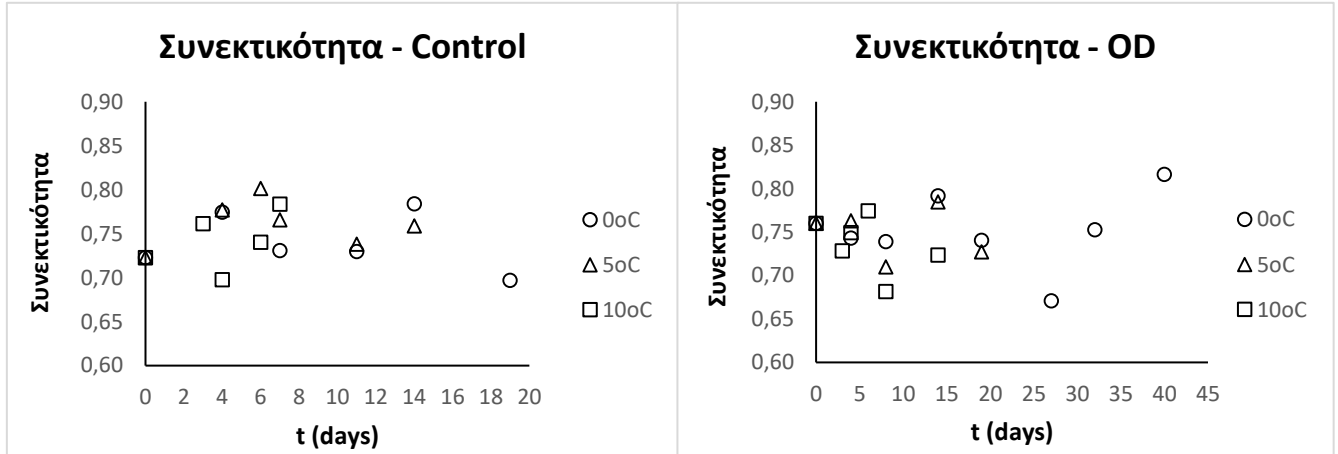
Διάγραμμα 5.21: Μεταβολή της ελαστικότητας (Elasticity) σε ανεπεξέργαστα (αριστερά) και σε ωσμητικά προκατεργασμένα νωπά φιλέτα λαβρακιού (δεξιά) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για τις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (ο 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

Μελετώντας την ελαστικότητα πάλι δεν υπάρχει κάποια σαφής τάση για όλα τα δείγματα, ούτε μπορούν να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ των διαφορετικά επεξεργασμένων φιλέτων. Έπειτα ακολουθεί η μελέτη της προσκολλησιμότητας των δειγμάτων με το χρόνο για τις διάφορες σειρές δειγμάτων.



Διάγραμμα 5.22: Μεταβολή της προσκολλησιμότητας (Adhesiveness) σε ανεπεξέργαστα (αριστερά) και σε ωσμητικά προκατεργασμένα νωπά φιλέτα λαβρακιού (δεξιά) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για τις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (ο 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

Όπως και στα προηγούμενα δύο μεγέθη της ανάλυσης υφής που παρουσιάστηκαν, έτσι και για την προσκολλησιμότητα δεν εξάγονται συμπεράσματα. Το τελευταίο μέγεθος που θα παρουσιαστεί είναι η συνεκτικότητα.



Διάγραμμα 5.23: Μεταβολή της συνεκτικότητας (Cohesiveness) σε ανεπεξέργαστα (αριστερά) και σε ωσμητικά προκατεργασμένα νωπά φιλέτα λαβρακιού (δεξιά) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για τις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (○ 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

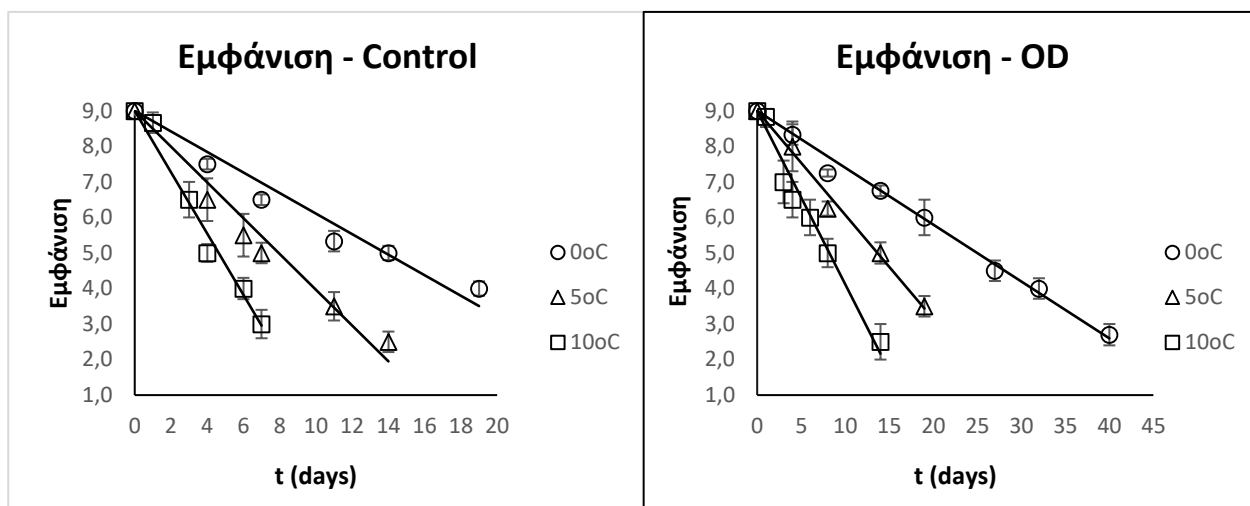
Μελετώντας τα αποτελέσματα της συνεκτικότητας για τα ωσμημένα και για τα μη επεξεργασμένα δείγματα, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια γενική τάση ούτε συγκρίνοντας το είδος προκατεργασίας, ούτε συγκρίνοντας τις διαφορετικές θερμοκρασίες.

5.4.5 Οργανοληπτικός έλεγχος

Εκτός από όλους τους αντικειμενικούς τρόπους καταγραφής της μεταβολής της ποιότητας στα λαβράκια οι οποίοι αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχει και ένας δείκτης που χαρακτηρίζεται από υποκειμενικότητα αλλά είναι εξίσου σημαντικός με όλους τους προηγούμενους και λαμβάνεται υπόψη για την εξαγωγή της τιμής διατηρησιμότητας. Πρόκειται για την οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων ψαριού και πιο συγκεκριμένα, για τη σύγκριση των διαφορών των ωσμημένων και των μη επεξεργασμένων δειγμάτων στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης. Στα πλαίσια της εργασίας, καθόλη τη διάρκεια του χρόνου συντήρησης και σε κάθε στιγμή που πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία για την αξιολόγηση της ποιοτικής υποβάθμισης των δειγμάτων με αντικειμενικά κριτήρια, αξιολογήθηκαν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των νωπών ψαριών και συγκεκριμένα η οσμή, η εμφάνιση και η συνολική εντύπωση η οποία προκύπτει από τα προηγούμενα δύο μεγέθη. Αυτά είναι τα πρώτα χαρακτηριστικά τα οποία αξιολογεί ο καταναλωτής κατά την παραλαβή του τροφίμου και γι' αυτό το λόγο δόθηκε βάση σε αυτά τα δύο χαρακτηριστικά. Επιπλέον, η γενική εντύπωση των νωπών φιλέτων αποτελεί έναν δείκτη από τον οποίο προσδιορίστηκε το όριο οργανοληπτικό όριο αποδεκτότητας.

Κατά την παραλαβή των φιλέτων στο εργαστήριο, αυτά παρουσιάζουν ευχάριστο άρωμα και εμφάνιση. Όπως είναι φυσικό, με το πέρασμα των ημερών τα χαρακτηριστικά

αυτά αλλοιώνονται όπως θα φανεί και παρακάτω από τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, το άρωμα των ψαριών γίνεται όλο και πιο έντονα δυσάρεστο, ενώ η εμφάνιση συνοδεύεται από σταδιακό αποχρωματισμό της σάρκας και πιο ξηρή εμφάνιση. Πρέπει να τονιστεί ότι τη χρονική στιγμή 0 που λαμβάνονται τα δείγματα, θεωρήθηκε ότι όλα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά έχουν τη μέγιστη τιμή τους, δηλαδή 9, σε όλες τις συνθήκες. Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα ως σημεία και ως συνεχή γραμμή εμφανίζεται η εξίσωση υποβάθμισης η οποία θα αναλυθεί παρακάτω για κάθε περίπτωση.



Διάγραμμα 5.24: Μεταβολή της εμφάνισης (Appearance) σε ανεπεξέργαστα (αριστερά) και σε ωσμητικά προκατεργασμένα νωπά φιλέτα λαβρακιού (δεξιά) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για τις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (○ 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

Από αυτά τα δύο διαγράμματα της μεταβολής της εμφάνισης νωπών φιλέτων λαβρακιού μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα. Τόσο στα control όσο και στα OD δείγματα, παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη θερμοκρασία συντήρησης οδηγεί σε μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης της εμφάνισης των φιλέτων.

Παρατηρώντας τα σημεία για κάθε μια συνθήκη ξεχωριστά, φαίνεται να εμφανίζουν μια γραμμικότητα, δηλαδή η αλλοίωση των χαρακτηριστικών φαίνεται να ακολουθεί κινητική 0ης τάξης. Άρα, η εξίσωση που περιγράφει την υποβάθμιση των χαρακτηριστικών δίνεται από μια εξίσωση της μορφής:

$$s = -k_s \cdot t + s_0 \quad (5.1)$$

όπου k_s η σταθερά μείωσης του οργανοληπτικού χαρακτηριστικού, t ο χρόνος μετρημένος σε ημέρες, s_0 η αρχική τιμή της βαθμολογίας και s η τιμή την χρονική στιγμή t . Από τα παραπάνω διαγράμματα προσδιορίζεται η σταθερά ρυθμού για την εμφάνιση σε καθεμία περίπτωση, ενώ η τιμή s_0 ορίζεται παντού ίση με 9. Τα αποτελέσματα των ρυθμών μαζί με τους συντελεστές συσχέτισης που προκύπτουν από την εφαρμογή της εξίσωσης (5.1) στα πειραματικά δεδομένα, συνοψίζονται στους δύο επόμενους πίνακες.

Πίνακας 5.10: Ρυθμοί υποβάθμισης της εμφάνισης νωπών ανεπεξέργαστων φιλέτων λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C

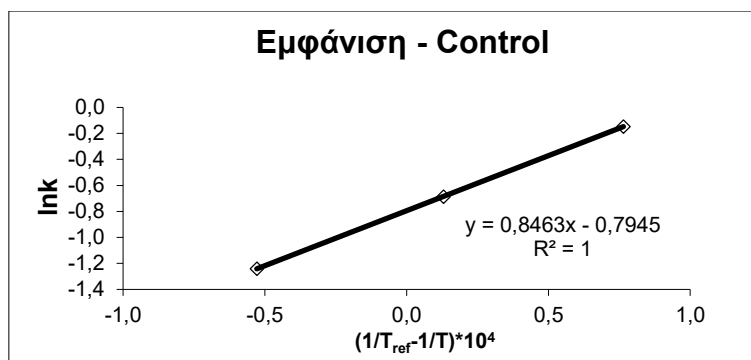
Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί αλλοίωσης k εμφάνισης (d ⁻¹)	R ²
0	0,2891	0,9991
5	0,5036	0,9622
10	0,8639	0,9795

Πίνακας 5.11: Ρυθμοί υποβάθμισης της εμφάνισης σε ωσσωμένα δείγματα νωπών φιλέτων λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C

Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί αλλοίωσης k εμφάνισης (d ⁻¹)	R ²
0	0,1601	0,9917
5	0,2928	0,9894
10	0,4881	0,9732

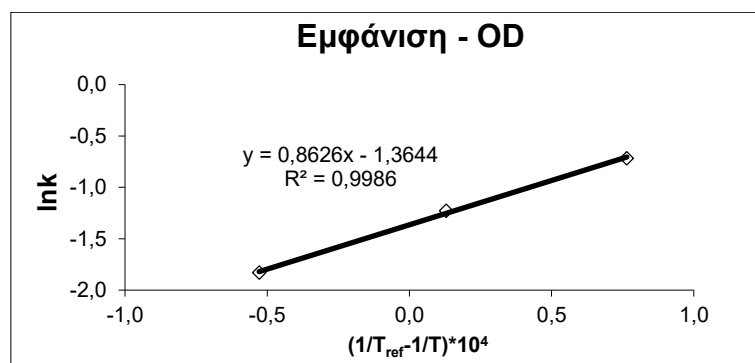
Από τους ρυθμούς που προέκυψαν, επιβεβαιώνεται για ακόμα μια φορά ότι η μεγαλύτερη θερμοκρασία συνεπάγεται και μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης ($p < 0,05$) και ότι η ωσμωτική αφυδάτωση επιβραδύνει την αλλοίωση σε κάθε θερμοκρασία ($p < 0,05$). Παρατηρώντας τους ρυθμούς για τα επεξεργασμένα και μη φιλέτα, ο ρυθμός για το OD δείγμα στους 5°C είναι σχεδόν ίσος με τον ρυθμό του control στους 0°C και ο ρυθμός του control δείγματος στους 5°C είναι σχεδόν ίσος με τον ρυθμό του OD στους 10°C. Τέλος, η προσαρμογή της εξίσωσης στα πειραματικά σημεία είναι πολύ καλή ($R^2 > 0,96$ για κάθε περίπτωση).

Οι ρυθμοί ανάπτυξης για τα ανεπεξέργαστα και τα ωσμωτικά επεξεργασμένα φιλέτα χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της γραμμικοποιημένης εξίσωσης Arrhenius η οποία αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια και στην οποία ως θερμοκρασία αναφοράς χρησιμοποιούνται οι 4°C. Τα αποτελέσματα της εξίσωσης Arrhenius παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.25: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς υποβάθμισης της εμφάνισης στα μη επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

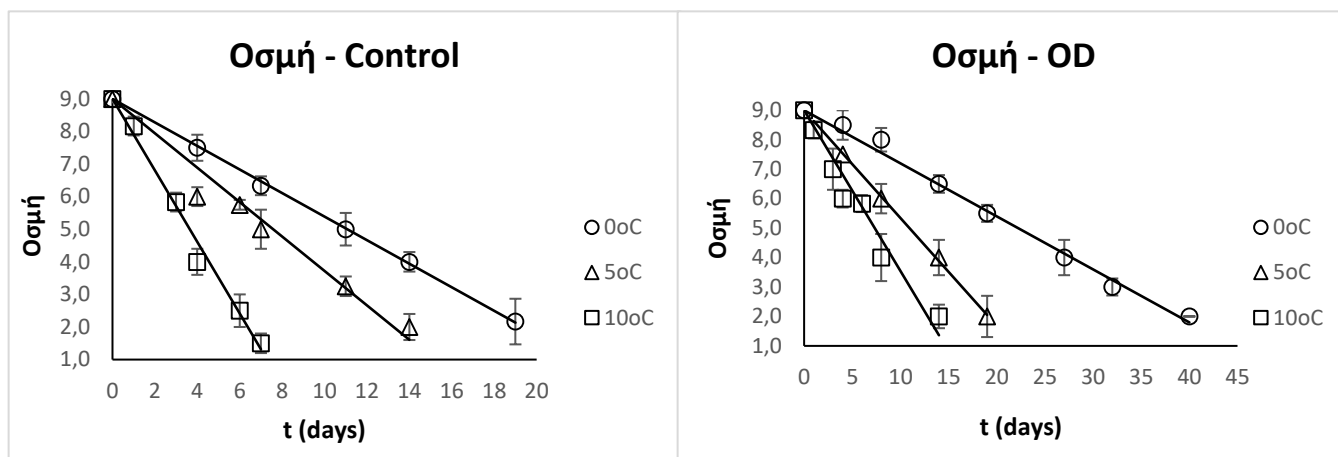
Από το διάγραμμα 5.25 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για την εμφάνιση στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Αυτή βρέθηκε ίση με $E_a=70,4$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref}=0,4518$ d⁻¹.



Διάγραμμα 5.26: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς υποβάθμισης της εμφάνισης στα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

Αντίστοιχα με παραπάνω, από το διάγραμμα 5.26 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για την εμφάνιση στα ωσμωμένα δείγματα. Αυτή ισούται με $E_a=71,7$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref}=0,2555$ d⁻¹. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τις δύο διαφορετικές συνθήκες φαίνεται ότι ενώ υπάρχουν έντονες διαφορές στη σταθερά ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς, αυτή η διαφορά δεν απεικονίζεται στην ενέργεια ενεργοποίησης. Η εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius στα πειραματικά σημεία και στις δυο προηγούμενες περιπτώσεις είναι αρκετά καλή αφού οι συντελεστές συσχέτισης είναι μεγαλύτεροι από 0,99.

Έπειτα, εξετάζεται η μεταβολή της οσμής των νωπών φιλέτων και για τις δύο συνθήκες επεξεργασίας (ωσμωμένα και μη) και για την κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης που μελετάται (0°C, 5°C και 10°C).



Διάγραμμα 5.27: Μεταβολή της οσμής (Odour) σε ανεπεξέργαστα (αριστερά) και σε ωσμητικά προκατεργασμένα νωπά φιλέτα λαβρακιού (δεξιά) για 40 min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για τις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (○ 0°C, Δ 5°C και □ 10°C)

Από τα δύο διαγράμματα, είναι ξεκάθαρο ότι με το πέρασμα του χρόνου το άρωμα των νωπών φιλέτων υποβαθμίζεται σε όλες τις συνθήκες που εξετάζονται αλλά με διαφορετικό ρυθμό σε κάθε περίπτωση. Όπως και στην περίπτωση της εμφάνισης, τόσο στα control όσο και στα OD δείγματα παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη θερμοκρασία συντήρησης οδηγεί σε μεγαλύτερο ρυθμό ελάττωσης της βαθμολόγησης της οσμής στα νωπά φιλέτα ($p < 0,05$). Επίσης, στατιστικά σημαντικές διαφορές προέκυψαν και με την επεξεργασία ($p < 0,05$). Οι ρυθμοί υποβάθμισης για αυτό το οργανοληπτικό χαρακτηριστικό, παρουσιάζονται στους πίνακες 5.12 και 5.13.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ίδια με αυτά που προέκυψαν και από την εμφάνιση των νωπών φιλέτων.

Παρατηρώντας τους ρυθμούς ποιοτικής υποβάθμισης για την εμφάνιση και την οσμή, παρατηρείται ότι σε όλες τις συνθήκες που εξετάζονται, η υποβάθμιση της οσμής είναι εντονότερη και επέρχεται γρηγορότερα σε σχέση με την υποβάθμιση της εμφάνισης.

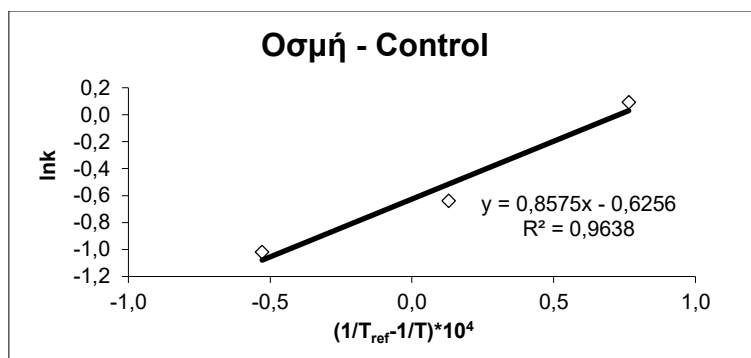
Πίνακας 5.12: Ρυθμοί υποβάθμισης της οσμής νωπών ανεπεξέργαστων φιλέτων λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C

Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί αλλοίωσης k οσμής (d ⁻¹)	R ²
0	0,3614	0,9991
5	0,5281	0,9645
10	1,0976	0,9892

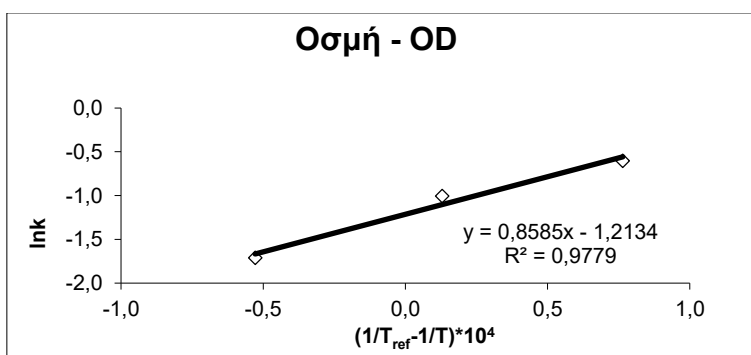
Πίνακας 5.13: Ρυθμοί υποβάθμισης της οσμής σε ωστωμένα δείγματα νωπών φιλέτων λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C

Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί αλλοίωσης k οσμής (d ⁻¹)	R ²
0	0,1801	0,9924
5	0,3658	0,9992
10	0,5455	0,9538

Οι ρυθμοί ανάπτυξης για τα ανεπεξέργαστα και τα ωστωτικά επεξεργασμένα φιλέτα χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της γραμμικοποιημένης εξίσωσης Arrhenius στην οποία ως θερμοκρασία αναφοράς χρησιμοποιούνται οι 4°C. Τα αποτελέσματα της εξίσωσης Arrhenius παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.28: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς αλλοίωσης της οσμής στα μη επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

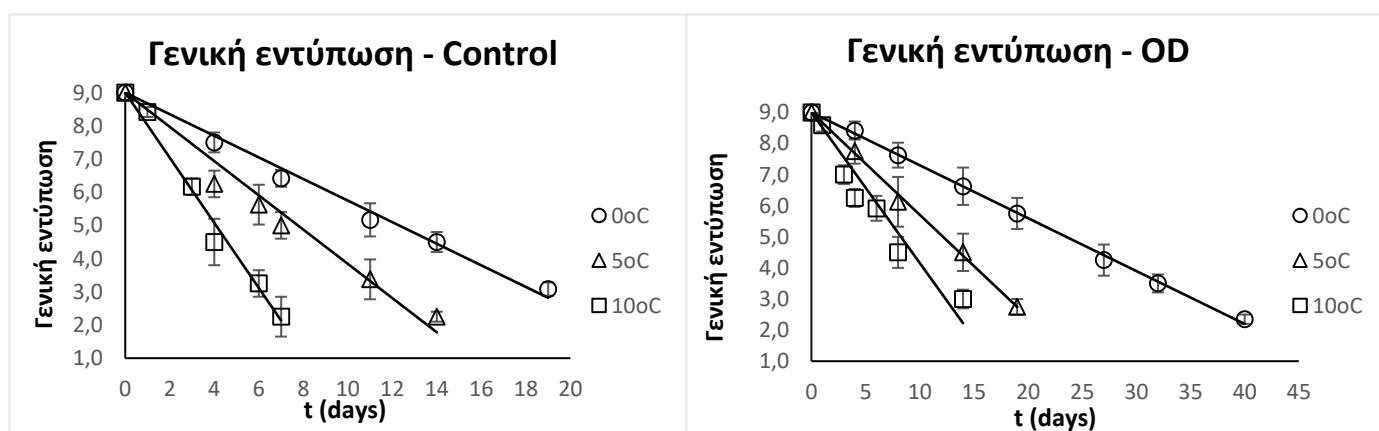


Διάγραμμα 5.29: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς αλλοίωσης της οσμής στα ωστωτικά επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

Αντίστοιχα με την επεξεργασία της εμφάνισης που ακολούθησε παραπάνω, από το διάγραμμα 5.28 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για την οσμή στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Αυτή βρέθηκε ίση με $E_a=71,3 \text{ kJ/mol}$, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref}=0,5349 \text{ d}^{-1}$.

Με ανάλογο τρόπο επεξεργασίας, από το διάγραμμα 5.29 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για την οσμή στα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα. Αυτή ισούται με $E_a=71,4 \text{ kJ/mol}$, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς (4°C) ισούται με $k_{ref}=0,2972 \text{ d}^{-1}$. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τις δύο συνθήκες (επεξεργασίας και μη), εμφανίζονται έντονες διαφορές στις σταθερές ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς, αλλά όχι στην ενέργεια ενεργοποίησης, δηλαδή υπάρχει παρόμοια εξάρτηση από τη θερμοκρασία. Η διαφορά στις σταθερές του ρυθμού επιβεβαιώνει ότι η ώσμωση επιβραδύνει την ποιοτική υποβάθμιση ως προς αυτό το χαρακτηριστικό.

Ένα ακόμα οργανοληπτικό χαρακτηριστικό που εξετάζεται και το οποίο επηρεάζεται από τους δείκτες της οσμής και της εμφάνισης των νωπών φιλέτων, είναι η γενική εντύπωση των νωπών φιλέτων. Αυτή η μεταβλητή είναι σημαντική αφού μπορεί να προσδιοριστεί μια τιμή διατηρησιμότητας του τρόφιμου με βάση αυτό. Τα διαγράμματα που προκύπτουν για αυτή τη μεταβλητή παρουσιάζονται παρακάτω.



Διάγραμμα 5.30: Μεταβολή της γενικής εντύπωσης (Overall impression) σε ανεπεξεργαστα (αριστερά) και σε ωσμωτικά προκατεργασμένα νωπά φιλέτα λαβρακιού (δεξιά) για 40min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης και για 3 διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (\circ 0°C , Δ 5°C και \square 10°C)

Από τα διαγράμματα είναι εμφανής η επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στη διατήρηση των επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ($p<0,05$). Όπως συνέβη και στα προηγούμενα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν, εφαρμόστηκε κινητική αλλοίωσης μηδενικής τάξης και τα αποτελέσματα από τους ρυθμούς παρουσιάζονται στους πίνακες 5.14 και 5.15.

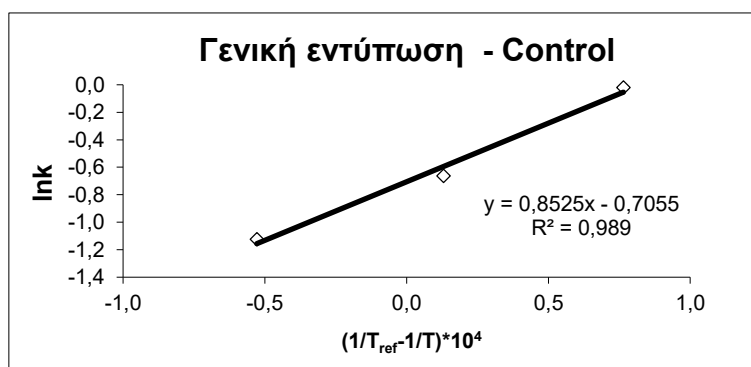
Πίνακας 5.14: Ρυθμοί υποβάθμισης της συνολικής εντύπωσης νωπών ανεπεξεργαστων φιλέτων λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C

Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί αλλοίωσης k γενικής εντύπωσης (d ⁻¹)	R ²
0	0,3253	0,9881
5	0,5128	0,9645
10	0,9805	0,9859

Πίνακας 5.15: Ρυθμοί υποβάθμισης της συνολικής εντύπωσης σε ωσμομένα δείγματα νωπών φιλέτων λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C

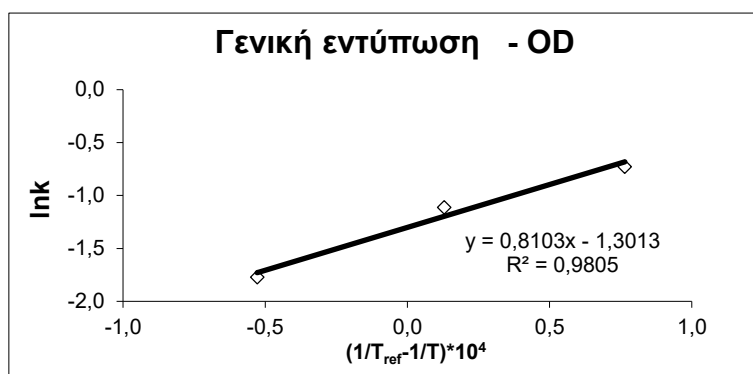
Θερμοκρασία T (°C)	Ρυθμοί αλλοίωσης k γενικής εντύπωσης (d ⁻¹)	R ²
0	0,1701	0,9985
5	0,3293	0,9970
10	0,4842	0,9268

Οι ρυθμοί ανάπτυξης για τα ανεπεξεργαστα και τα ωσμοτικά επεξεργασμένα φιλέτα χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της γραμμικοποιημένης εξίσωσης Arrhenius στην οποία ως θερμοκρασία αναφοράς χρησιμοποιούνται οι 4°C. Τα αποτελέσματα της εξίσωσης Arrhenius παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.31: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς αλλοίωσης της γενικής εντύπωσης στα νωπά μη επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

Από το διάγραμμα 5.31 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για τη γενική εντύπωση στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Αυτή βρέθηκε ίση με $E_a = 70,9$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref} = 0,4939$ d⁻¹.



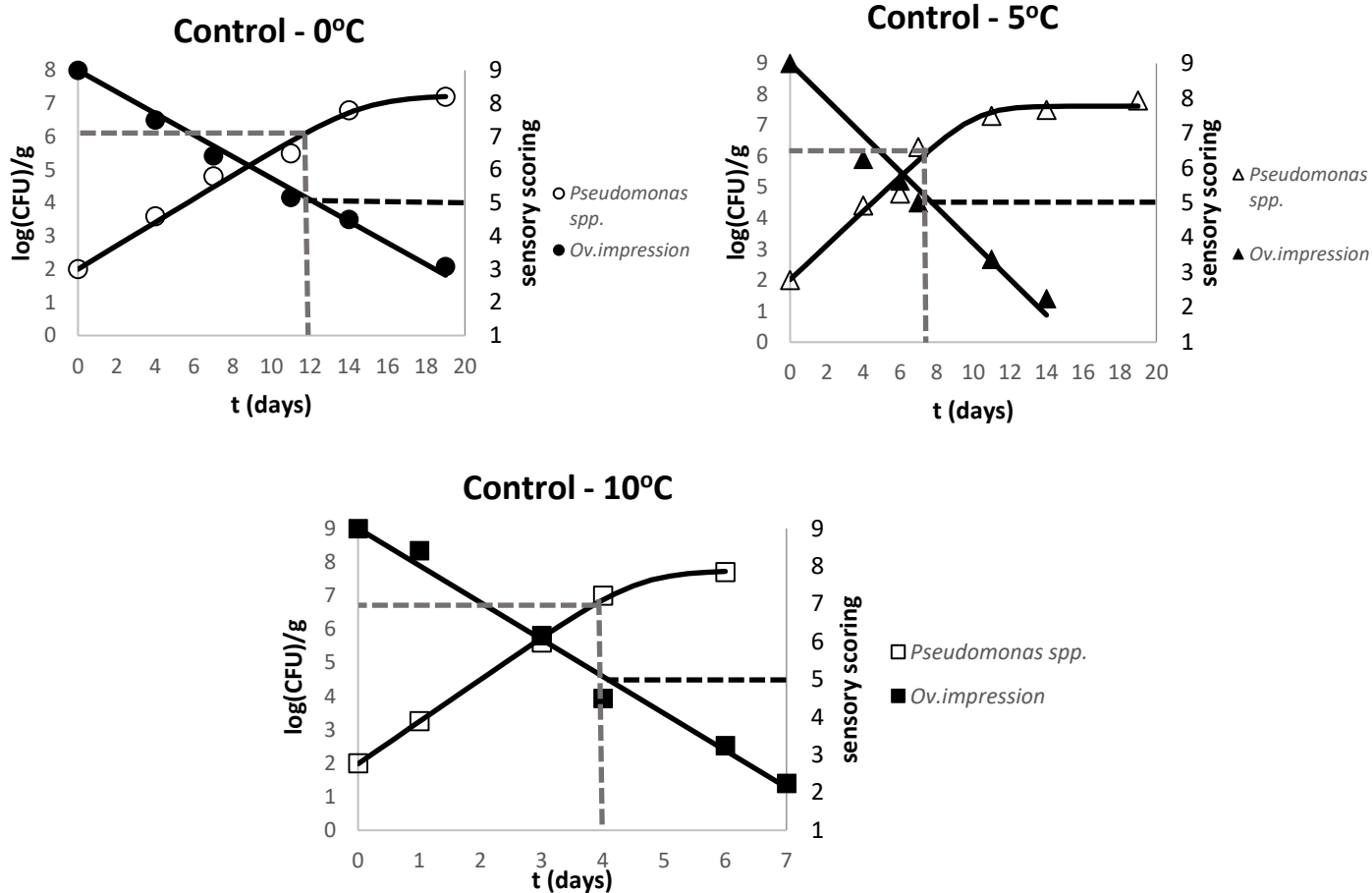
Διάγραμμα 5.32: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς αλλοίωσης της γενικής εντύπωσης στα νωπά ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα φιλέτου ψαριού

Αντίστοιχα με παραπάνω, από το διάγραμμα 5.32 προσδιορίζεται η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για τη γενική εντύπωση στα ωσμωμένα δείγματα. Αυτή ισούται με $E_a=67,4$ kJ/mol, ενώ η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς ισούται με $k_{ref}=0,2722$ d⁻¹. Και σε αυτή την περίπτωση, οι διαφορές στις σταθερές ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς είναι έντονες, αλλά στην ενέργεια ενεργοποίησης όχι. Η εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius στα πειραματικά σημεία και στις δυο προηγούμενες περιπτώσεις είναι αρκετά καλή αφού οι συντελεστές συσχέτισης είναι λίγο μεγαλύτεροι από 0,98.

5.4.6 Προσδιορισμός χρόνου ζωής

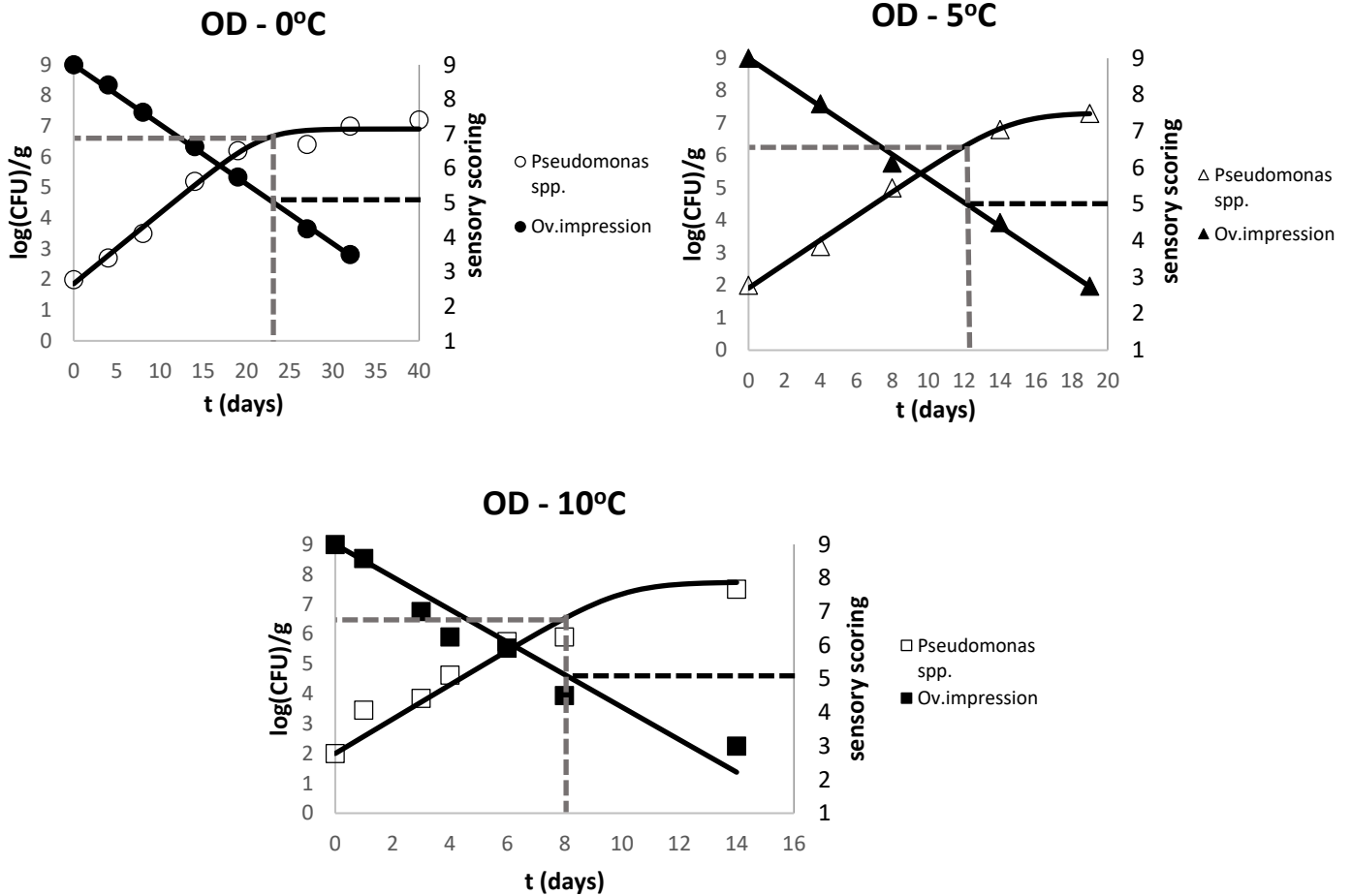
Με βάση την επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προηγήθηκε στις προηγούμενες ενότητες, προκύπτει ο χρόνος ζωής των φιλέτων λαβρακιού για κάθε επεξεργασία ή μη και για κάθε θερμοκρασία συντήρησης. Ο χρόνος προσδιορίστηκε με δύο τρόπους, και μικροβιολογικά και οργανοληπτικά. Για τον υπολογισμό του χρόνου ζωής με μικροβιολογικούς δείκτες χρησιμοποιήθηκε η ανάπτυξη των ψευδομονάδων αφού αποδείχτηκε ότι αυτές αποτελούν τον κυρίαρχο αλλοιογόνο μικροοργανισμό. Για τον υπολογισμό του χρόνου ζωής με βάση την οργανοληπτική αξιολόγηση, αξιοποιήθηκε η συνολική εντύπωση των νωπών φιλέτων. Ως όριο αποδοχής ή μη για τον οργανοληπτικό χρόνο ζωής έχει τεθεί το 5. Από τα κοινά διαγράμματα που παρουσιάζονται στα σχήματα 5.33 και 5.34, για όλες τις μελετώμενες συνθήκες εκτιμήθηκε η ανάπτυξη των ψευδομονάδων τη χρονική στιγμή της οργανοληπτικής απόρριψης. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι τη χρονική στιγμή που η συνολική εντύπωση είναι ίση με 5, το φορτίο των ψευδομονάδων είναι ίσο με $6 - 6,5 \log(\text{CFU})/\text{g}$. Επομένως, ως όριο για την αξιολόγηση του μικροβιολογικού χρόνου ζωής χρησιμοποιείται το $6 \log(\text{CFU})/\text{g}$ για τις ψευδομονάδες.

Πρώτα παρουσιάζονται τα διαγράμματα των control δειγμάτων για τις τρεις θερμοκρασίες συντήρησης (0°C, 5°C και 10°C).



Διάγραμμα 5.33: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ανάπτυξης ψευδομονάδων και μεταβολής γενικής εντύπωσης ωμών φιλέτων και συσχέτιση της διατηρησιμότητας στα μη επεξεργασμένα φιλέτα λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)

Ο χρόνος ζωής των δειγμάτων ορίζεται με βάση το μικρότερο χρόνο από τον οργανοληπτικό και το μικροβιολογικό χρόνο. Στα συγκεκριμένα πειραματικά σημεία προέκυψε ότι ο χρόνος της μικροβιακής ανάπτυξης ήταν αυτός που τελικά καθόρισε τη διατηρησιμότητα αφού ήταν μικρότερος ή ίσος με το χρόνο της οργανοληπτικής ανάλυσης για κάθε θερμοκρασία. Έτσι, οι χρόνοι ζωής στις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C για τα control δείγματα ήταν 12, 6 και 3 μέρες αντίστοιχα. Επομένως, σε αυτά τα διαγράμματα φαίνεται για ακόμα μια φορά ότι όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία αποθήκευσης, τόσο μικρότερος είναι και ο χρόνος ζωής των δειγμάτων αφού για τις θερμοκρασίες που εξετάστηκαν, η μείωση της θερμοκρασίας κατά 5°C, οδηγεί σε διπλασιασμό του χρόνου ζωής.



Διάγραμμα 5.34: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ανάπτυξης ψευδομονάδων και μεταβολής γενικής εντύπωσης ωμών φιλέτων και συσχέτιση της διατηρησιμότητας στα ωσσωμένα φιλέτα λαβρακιού για τις θερμοκρασίες 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)

Στα συγκεκριμένα πειραματικά σημεία προέκυψε, όπως και στα control δείγματα ότι ο χρόνος της μικροβιακής ανάπτυξης ήταν αυτός που τελικά καθόρισε τη διατηρησιμότητα αφού ήταν μικρότερος ή ίσος με το χρόνο της οργανοληπτικής ανάλυσης. Έτσι, οι χρόνοι ζωής στις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C για τα ωσσωμένα δείγματα ήταν 17, 10 και 6 μέρες αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τους χρόνους για τα control και τα ωσσωτικά προκατεργασμένα δείγματα, προκύπτει η σημαντική επίδραση της ωσσωτικής προκατεργασίας στη διάρκεια ζωής των φιλέτων λαβρακιού αφού στους 10°C η διατηρησιμότητα αυξήθηκε κατά 3 ημέρες, στους 5°C κατά 4 ημέρες και στους 0°C κατά 5 μέρες.

Σε ορισμένες μελέτες, ο μικροβιολογικός προσδιορισμός του χρόνου ζωής λαμβάνει χώρα μέσω του ολικού μικροβιακού φορτίου, όπως ορίζει και η διεθνής επιτροπή για τις μικροβιολογικές προδιαγραφές στα τρόφιμα (International Commission on Microbiological Specifications for Foods - ICMSF). (ICMSF, 1986) Έτσι, πραγματοποιήθηκε και προσδιορισμός του χρόνου ζωής με βάση το ολικό μικροβιακό φορτίο και τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα και συγκρίνονται με τα αποτελέσματα από τις ψευδομονάδες και τον οργανοληπτικό έλεγχο.

Πίνακας 5.16: Προσδιορισμός του χρόνου ζωής φιλέτων λαβρακιού για ανεπεξέργαστα και ωσσωμένα δείγματα για τις θερμοκρασίες 0°C, 5°C και 10°C με βάση το ολικό μικροβιακό φορτίο (TVC)

Shelf life (d) με βάση το TVC	Control	OD
0°C	12	19
5°C	6	11
10°C	3	5

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι χρόνοι που προέκυψαν για το ολικό μικροβιακό φορτίο των ανεπεξέργαστων φιλέτων ταυτίζονται πλήρως με τα προηγούμενα αποτελέσματα για την περίπτωση των ανεπεξέργαστων δειγμάτων και παρουσιάζουν μικρή απόκλιση 1-2 ημερών για τα ωσσωμένα δείγματα. Επομένως, επιβεβαιώνεται ότι οι ψευδομονάδες αποτελούν τον κυρίαρχο μικροοργανισμό που αναπτύσσεται στα λαβράκια.

5.5 Οργανοληπτική εξέταση ωσσωμένων και μη φιλέτων

Πέραν της οργανοληπτικής εξέτασης η οποία πραγματοποιήθηκε για τη μελέτη της μεταβολής της ποιότητας των ωσσωτικά επεξεργασμένων και μη φιλέτων λαβρακιού με το χρόνο, έλαβαν χώρα και τριγωνική δοκιμή και δοκιμή αρέσκειας για να ελεγχθεί αν η προκατεργασία είχε επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος και για να προσδιοριστεί ποια από τις δύο μεθόδους είναι πιο αρεστή στους δοκιμαστές.

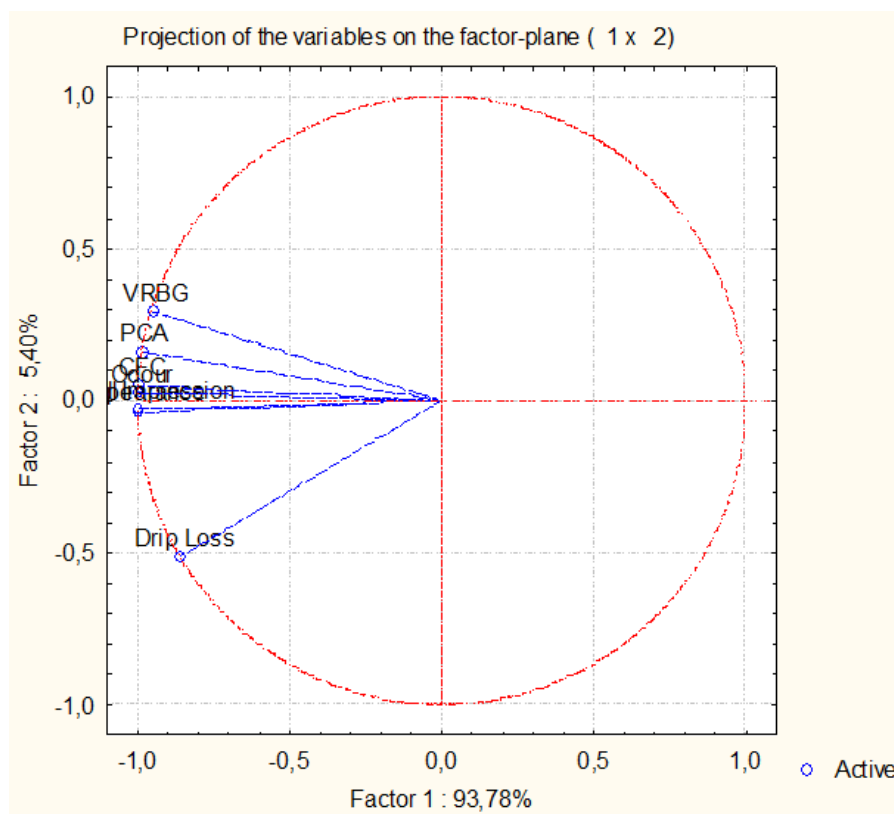
Όσον αφορά τα νωπά δείγματα τόσο για την τριγωνική δοκιμή όσο και για τη δοκιμή αρέσκειας, για τη στατιστική επεξεργασία ακολουθήθηκε η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων χωρίς αλληλεπίδραση. Ως προς την τριγωνική δοκιμή, όλοι οι δοκιμαστές εντόπισαν το διαφορετικό δείγμα (ωσσωμένο) από τα υπόλοιπα δύο ίδια (μη επεξεργασμένα) ($p < 0,05$). Ανάμεσα στα διαφορετικά χαρακτηριστικά που παρατήρησαν οι δοκιμαστές στα νωπά (μη μαγειρεμένα) δείγματα ήταν η πιο γυαλιστερή και διαφανής επιφάνεια, το πιο σκούρο χρώμα και η ελαφρώς πιο σκληρή σάρκα του ωσσωμένου δείγματος έναντι του control. Από την ανάλυση αρέσκειας στα νωπά δείγματα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$). Επομένως, οι δοκιμαστές δεν έδειξαν κάποια προτίμηση μεταξύ των ωσσωτικά προεπεξεργασμένων και μη νωπών δειγμάτων αν και εντόπισαν σωστά το διαφορετικό δείγμα.

Παρόμοια ανάλυση ακολουθήθηκε και για τα μαγειρεμένα δείγματα. Ως προς την τριγωνική δοκιμή, και σε αυτή την περίπτωση οι δοκιμαστές εντόπισαν το διαφορετικό δείγμα (ωσσωμένο) από τα υπόλοιπα δύο ίδια (μη επεξεργασμένα) ($p < 0,05$). Η βασική διαφορά του ωσσωμένου δείγματος έναντι των υπολοίπων παρατηρήθηκε στην ελαφρώς πιο ευχάριστα γλυκιά γεύση. Όσον αφορά τη δοκιμή αρέσκειας, από τους μέσους όρους φαίνεται η προτίμηση των δοκιμαστών προς τα ωσσωμένα δείγματα (μέσος όρος αρέσκειας 9,1) έναντι των ανεπεξέργαστων (μέσος όρος 8,7), αλλά οι διαφορές αυτές δεν είναι

στατιστικά σημαντικές ($p>0,05$). Βέβαια, η δοκιμή αρέσκειας εμπεριέχει κι έναν υποκειμενικό παράγοντα όποτε είναι πιθανή η μη ύπαρξη σημαντικών διαφορών μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων.

5.6 Παραγοντική ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA)

Με βάση τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω σχετικά με τη μεταβολή της ποιοτικής υποβάθμισης, πραγματοποιείται παραγοντική ανάλυση των μεταβλητών (ωσμωτικά επεξεργασμένα ή ανεπεξεργαστα δείγματα, θερμοκρασία και χρόνος συντήρησης) για τους μελετώμενους παράγοντες (μικροβιακή ανάπτυξη ολικού μικροβιακού φορτίου, *Pseudomonas* spp. και *Enterobacteriaceae* spp., οργανοληπτική αξιολόγηση οσμής, εμφάνιση και γενικής εντύπωσης και απώλεια υγρών). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παραγοντική ανάλυση κύριων συνιστωσών παρουσιάζονται παρακάτω στο σχήμα 5.35.



Διάγραμμα 5.35: Ανάλυση κύριων συνιστωσών κατά τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της μελέτης της ποιοτικής υποβάθμισης των φιλέτων λαβρακιού

Από το σχήμα αυτό συμπεραίνεται ότι η ανάπτυξη των ψευδομονάδων σχετίζεται έντονα με τη μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των νωπών φιλέτων. Επίσης, τα εξεταζόμενα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, εμφάνιση οσμή και γενική εντύπωση είναι πολύ έντονα συσχετίσιμα μεταξύ τους όπως αναμενόταν, λόγω της σχέσης της συνολικής

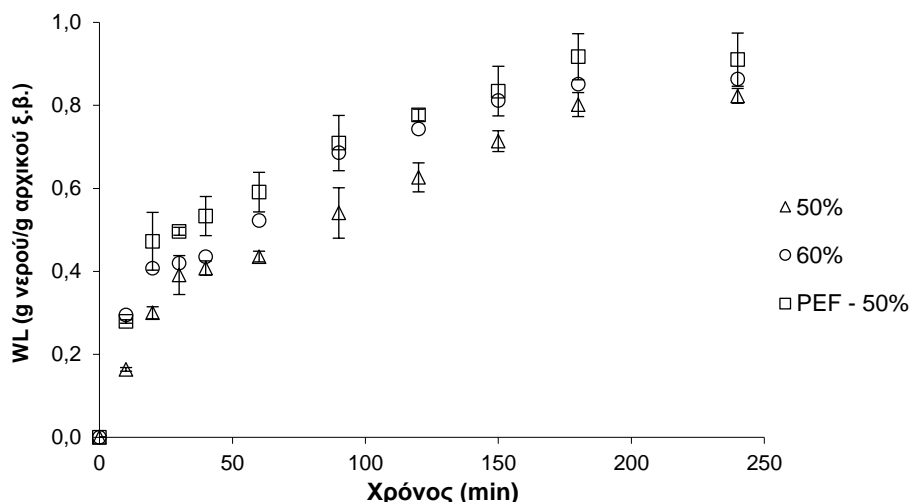
εντύπωσης με τα άλλα δυο χαρακτηριστικά. Ως προς τη μικροβιακή ανάπτυξη, παρατηρείται ότι το ολικό μικροβιακό φορτίο σχετίζεται εξίσου και με τα δύο άλλα είδη αλλοιογόνων μικροοργανισμών, τις ψευδομονάδες (*Pseudomonas* spp.) και τα εντεροβακτήρια (*Enterobacteriaceae* spp.). Η απώλεια υγρών (drip loss) δεν έχει μεγάλη σχέση με τις άλλες εξεταζόμενες παραμέτρους. Όσον αφορά τους παράγοντες ανάλυσης, ο παράγοντας 1 επιδρά σημαντικά σε όλες τις μεταβλητές με εξαίρεση την απώλεια υγρών η οποία σχετίζεται σε μικρότερο βαθμό και με τον 2^ο παράγοντα.

5.7 Κινητική μελέτη του συνδυασμού εφαρμογής παλμικού ηλεκτρικού πεδίου και ωσμωτικής προκατεργασίας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετηθεί αν η εφαρμογή του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου (ΠΗΠ) έχει θετική επίδραση στην ωσμωτική προκατεργασία. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν κάποιες δοκιμαστικές μετρήσεις για διάφορες τιμές αριθμού παλμών με σκοπό να βρεθεί μια βέλτιστη τιμή στην οποία πραγματοποιήθηκε η κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Μεταξύ των τιμών 250, 500, 750 και 1000 παλμών επιλέχθηκαν οι 750 παλμοί με βάση τα αποτελέσματα σκληρότητας και οργανοληπτικής εξέτασης. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές σκληρότητας που προέκυψαν από 5 επαναλήψεις για κάθε συνθήκη, δεν έδωσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$). Ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, για μεγαλύτερες τιμές παλμών από την επιλεγμένη ήταν εμφανής η διάρρηξη των ιστών του λαβρακιού, ενώ για τους 250, 500 και 750 παλμούς δεν παρατηρήθηκαν διαφορές.

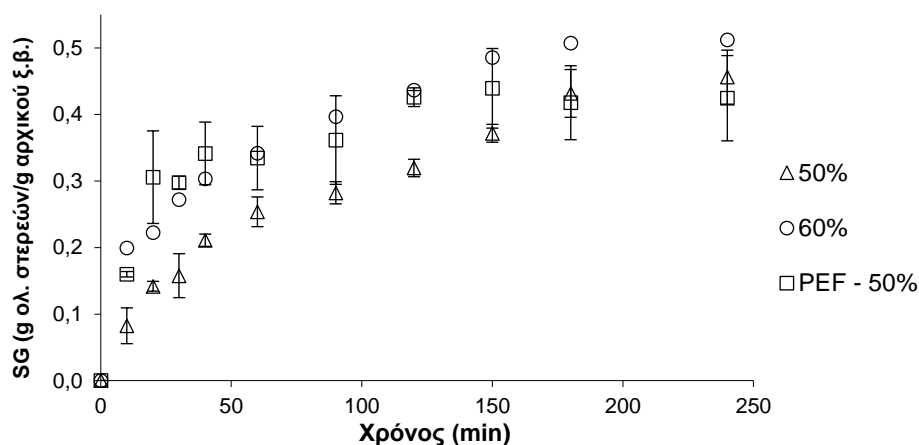
Τα φιλέτα που δέχονται την εφαρμογή του ηλεκτρικού πεδίου, στη συνέχεια ωσμώνονται με διάλυμα περιεκτικότητας 50% σε γλυκερόλη. Για αυτό το λόγο θα συγκριθούν τα αποτελέσματα του ΠΗΠ με τα ωσμομένα φιλέτα ψαριού, η κινητική μελέτη των οποίων προηγήθηκε στην ενότητα 5.3. Επίσης, στα διαγράμματα έχουν συμπεριληφθεί και τα δείγματα OD με 60% γλυκερόλη για να γίνει η συσχέτιση των αποτελεσμάτων και με αυτή τη σειρά δεδομένων. Η ανάλυση που θα ακολουθηθεί είναι ίδια με παραπάνω αφού θα αναλυθούν η απώλεια υγρασίας, η πρόσληψη στερεών, η αλατότητα και η ενεργότητα νερού, ενώ στο τέλος θα προσδιοριστούν και οι συντελεστές διάχυσης νερού και στερεών.

Το διάγραμμα για την απώλεια νερού παρουσιάζεται παρακάτω και σε αυτό περιλαμβάνονται τα ωσμομένα δείγματα και τα δείγματα που έχουν επεξεργαστεί με τη μέθοδο του ΠΗΠ πριν την ώσμωση.



Διάγραμμα 5.36: Μεταβολή της απώλειας νερού ($\text{g}_{\text{νερού}}/\text{g}_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$) με το χρόνο για Δ OD 50% , \circ OD 60% και \square PEF-OD 50% γλυκερόλη (με 5% NaCl) στους 15°C (Μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση)

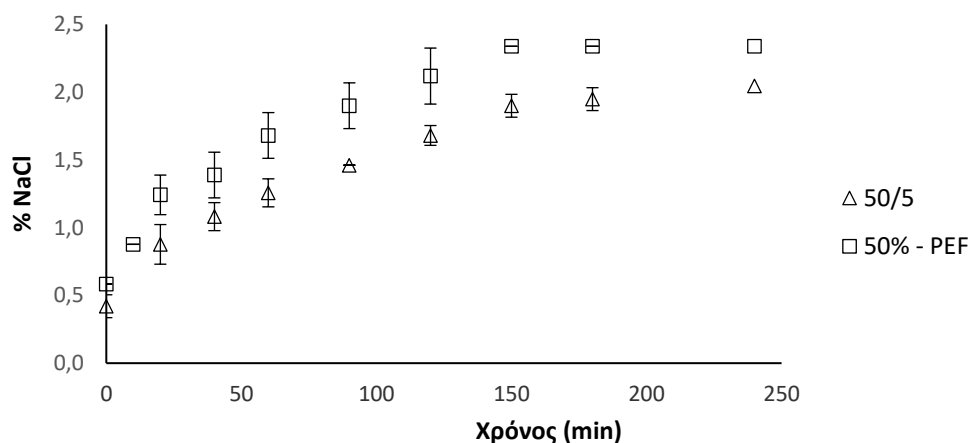
Στο προηγούμενο διάγραμμα φαίνεται ότι η εφαρμογή του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου πριν την ωσμωτική επεξεργασία έχει θετική επίδραση στην απώλεια υγρασίας των φιλέτων λαβρακιού. Οι τιμές της απώλειας υγρασίας των ΠΗΠ δειγμάτων είναι υψηλότερες από τα απλά OD δείγματα για τους ίδιους χρόνους παραμονής στα ωσμωτικά διαλύματα και οι διαφορές τους είναι σημαντικές. Άρα επιβεβαιώνεται ότι διευκολύνεται η μεταφορά της υγρασίας από το ψάρι στο διάλυμα όπως θα αποδειχτεί και στη συνέχεια από τους συντελεστές διάχυσης.



Διάγραμμα 5.37: Μεταβολή της πρόσληψης των ολικών στερεών ($\text{g}_{\text{στερεού}}/\text{g}_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$) με το χρόνο για Δ OD 50% , \circ OD 60% και \square PEF-OD 50% γλυκερόλη (με 5% NaCl) στους 15°C (Μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση)

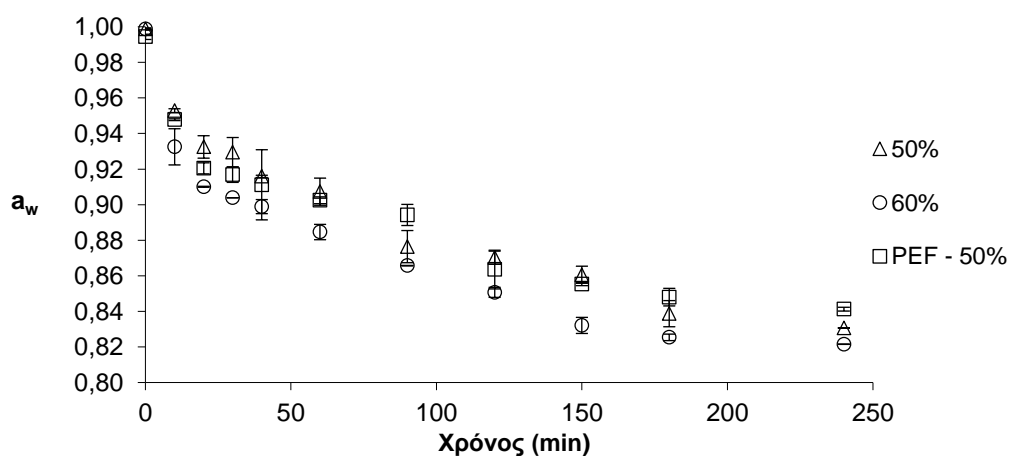
Από το διάγραμμα 5.37 για την πρόσληψη των στερεών, συμπεραίνεται ότι τα αποτελέσματα για τις δύο εξεταζόμενες σειρές είναι ανάλογα με αυτά για την απώλεια της υγρασίας, δηλαδή υπάρχουν έντονες διαφορές μεταξύ τους οι οποίες οφείλονται στο ΠΗΠ

που διευκολύνει την ανταλλαγή ουσιών από και προς το φιλέτο. Αντιθέτως, οι τιμές για το ΠΗΠ και για το OD 60% είναι σχεδόν ίσες και πιο συγκεκριμένα για μικρούς χρόνους (την πρώτη ώρα) είναι ελαφρώς μεγαλύτερη η σειρά του ΠΗΠ, ενώ για μεγαλύτερους χρόνους υπερισχύει το ωσμωτικά αφυδατωμένο δείγμα.



Διάγραμμα 5.38: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε % NaCl των δειγμάτων με το για Δ OD 50% και □ PEF-OD 50% γλυκερόλη (με 5% NaCl) στους 15°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

Η περιεκτικότητα των φιλέτων ψαριού σε αλάτι (NaCl) είναι μεγαλύτερη για τα ΠΗΠ δείγματα σε σχέση με τα απλά OD δείγματα περιεκτικότητας 50%. Άρα, θα είναι και μεγαλύτερη από τα αποτελέσματα του 60%, αφού όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα σε γλυκερόλη, τόσο λιγότερο αλάτι περιέχουν τα φιλέτα μετά την ώσμωση. Αυτό είναι σε συμφωνία και με τα προηγούμενα αποτελέσματα αφού τα ΠΗΠ φιλέτα λόγω της πιο μεγάλης πρόσληψης στερεών από το ωσμωτικό διάλυμα, προσλαμβάνει και πιο μεγάλη ποσότητα αλατιού το οποίο περιέχεται στο διάλυμα. Έτσι, αυξάνεται η αλατότητα των δειγμάτων αυτών. Επιπλέον, φαίνεται ότι μετά από 2,5 h παραμονής στο διάλυμα, η αλατότητα (% NaCl) των φιλέτων λαβρακιού σταθεροποιείται στην τιμή 2,34% η οποία είναι η τιμή κορεσμού σε αλάτι.



Διάγραμμα 5.39: Μεταβολή της ενεργότητας νερού (a_w) με το χρόνο για Δ OD 50%, ο OD 60% και □ PEF-OD 50% γλυκερόλη (με 5% NaCl) στους 15°C (Μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

Τα αποτελέσματα από τις δύο εξεταζόμενες σειρές δειγμάτων που ωσμώνονται με το ίδιο διάλυμα είναι παραπλήσια, δηλαδή, τα ΠΗΠ δείγματα εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές ενεργότητας νερού σε σχέση με τα ωσμωμένα δείγματα. Επίσης, οι τιμές της ενεργότητας νερού για τη σειρά OD 60% είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του ΠΗΠ.

Το τελευταίο βήμα κατά την κινητική μελέτη της ωσμωτικής προκατεργασίας είναι ο προσδιορισμός των συντελεστών διάχυσης για τη μεταφορά νερού από το δείγμα στο διάλυμα και των στερεών από το διάλυμα στο δείγμα. Τα αποτελέσματα με τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις τους συνοψίζονται στον πίνακα 5.17 μαζί με τα αποτελέσματα για τα ωσμωμένα δείγματα για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση.

Πίνακας 5.17: Συντελεστές διάχυσης της απώλειας νερού (D_{ew}) και της πρόσληψης στερεών (D_{es}) για PEF – OD και απλά OD φιλέτα ψαριού σε διαλύματα περιεκτικότητας 50% σε γλυκερόλη και (5% NaCl) και σε OD 60% (μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση)

	$D_{ew} (m^2 \cdot s^{-1})$	$D_{es} (m^2 \cdot s^{-1})$
PEF – OD 50%	$4,03 (\pm 0,32) \cdot 10^{-9}$	$4,14 (\pm 0,38) \cdot 10^{-9}$
OD 50%	$2,77 (\pm 0,15) \cdot 10^{-9}$	$2,50 (\pm 0,21) \cdot 10^{-9}$
OD 60%	$3,62 (\pm 0,27) \cdot 10^{-9}$	$4,12 (\pm 0,55) \cdot 10^{-9}$

Οι τιμές για τους συντελεστές διάχυσης του νερού και των στερεών των φιλέτων που έχουν υποστεί επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία είναι μεγαλύτεροι από αυτούς των ωσμωμένων δειγμάτων για το ίδιο ωσμωτικό διάλυμα ($p < 0,05$). Αυτό το συμπέρασμα επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα διαγράμματα της απώλειας υγρασίας και της πρόσληψης στερεών, δηλαδή η ανταλλαγή των ουσιών από και προς το φιλέτο του ψαριού συμβαίνει πιο γρήγορα μετά τη διεργασία του ΠΗΠ. Τέλος, οι συντελεστές διάχυσης είναι μεγαλύτεροι και από αυτούς του διαλύματος περιεκτικότητας 60% σε γλυκερόλη αλλά οι διαφορές δεν είναι σημαντικές. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές για τα στερεά είναι σχεδόν ίσες στις δύο περιπτώσεις ($p > 0,05$) αλλά η διαφορά στους συντελεστές του νερού είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$), όπως επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ –

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας προκειμένου να δοθεί συγκεντρωτικά η συνολική εικόνα των επιτευγμάτων της μελέτης που ολοκληρώθηκε και να περιγραφούν τα πεδία εκείνα που χρήζουν περαιτέρω εμβάθυνσης. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της ωσμωτικής προκατεργασίας ως μοναδική διεργασία και ο συνδυασμός της με εφαρμογή παλμικού ηλεκτρικού πεδίου στην ποιότητα νωπών φιλέτων λαβρακιού. Στόχος ήταν η κινητική μελέτη των διαφορετικών παραμέτρων που εξετάστηκαν αλλά και η ανάπτυξη μοντέλων πρόρρησης της διατηρησιμότητας με βάση μικροβιολογικούς και υποκειμενικούς δείκτες ποιότητας. Μέχρι σήμερα, οι επιστημονικές μελέτες έχουν στραφεί στην εξαγωγή μοντέλων από μικροβιολογικά και οργανοληπτικά δεδομένα. Αντιθέτως, υπάρχει ανεπάρκεια στην αξιολόγηση κυρίως των μεταβολών της υφής και της απώλειας υγρών από τα δείγματα αλλά και του pH σε μικρότερο βαθμό. Επίσης, ο συνδυασμός των ΠΗΠ και της ωσμωτικής αφυδάτωσης ιχθυερών είναι κάτι εξίσου νέο στην επιστημονική γνώση, αφού κάποιες αντίστοιχες μελέτες έχουν γίνει μόνο σε φρούτα και λαχανικά. Σε πρακτικό επίπεδο, οι απαιτήσεις της αγοράς οδηγούν στην ανάγκη για εύρεση καινοτόμων μεθόδων για την παραγωγή νέων προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, με μεγάλη διατηρησιμότητα και επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

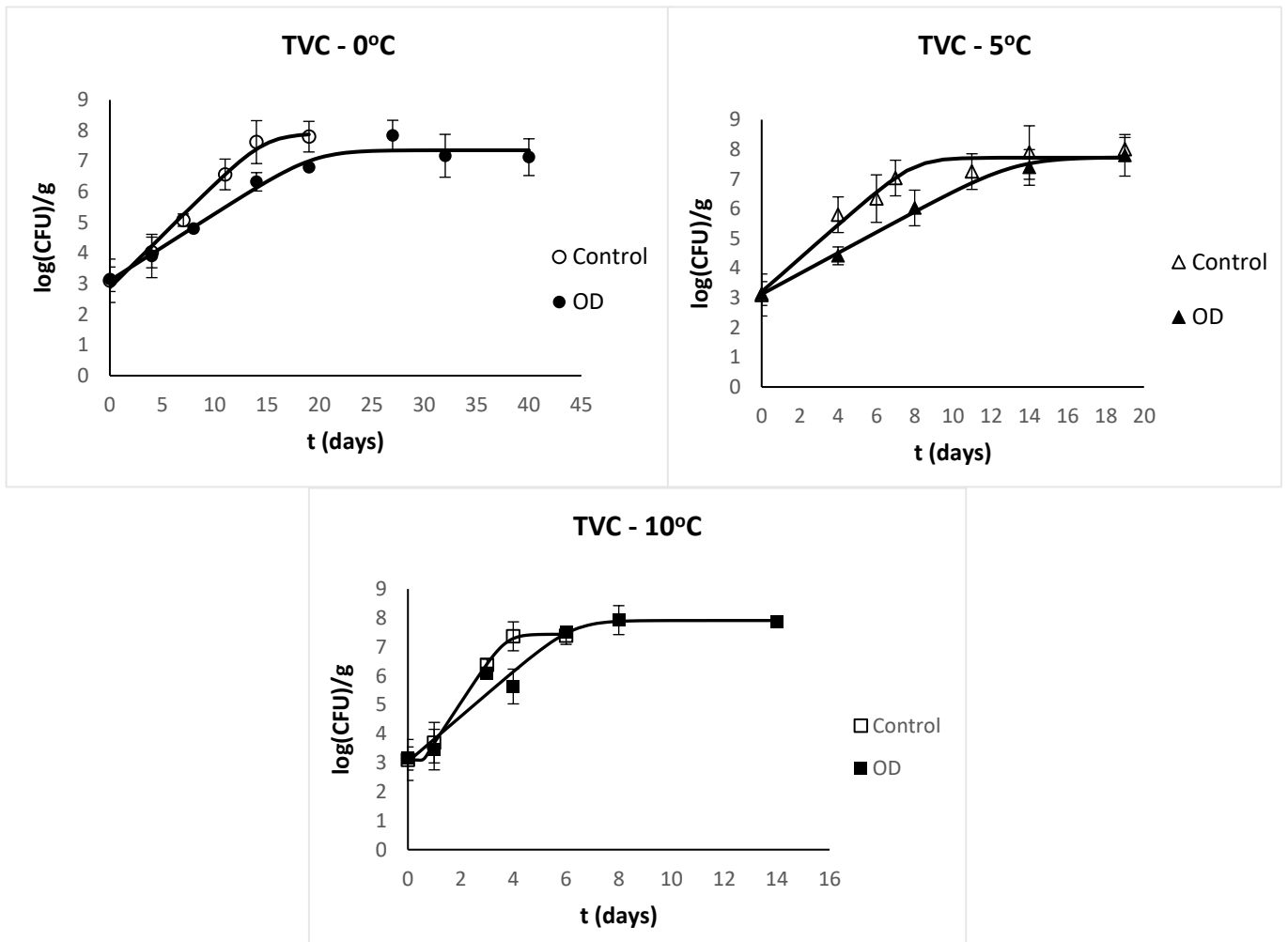
Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης φιλέτων λαβρακιού για τρία ωσμωτικά διαλύματα περιεκτικότητας 40, 50 και 60% σε γλυκερόλη και 5% σε αλάτι (NaCl). Σε όλες τις περιπτώσεις αυτή η προκατεργασία οδήγησε σε σημαντική απώλεια υγρασίας και πρόσληψη στερεών. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η αρχική υγρασία των φιλέτων ψαριού που είναι κατά μέσο όρο ίση με $2,43 \text{ g}_{\text{νερού}}/\text{g}_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$ και οδήγησε σε επίπεδα 1,84, 1,73 και 1,64 $\text{g}_{\text{νερού}}/\text{g}_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}$ για τα διαλύματα 40, 50, και 60% αντίστοιχα εντός της πρώτης ώρας παραμονής στο διάλυμα. Σε αυτό το χρόνο η συνολική πρόσληψη στερεών φτάνει σε τιμές 5,52, 6,98 και 7,83 $\text{g}_{\text{στερεών}}/\text{g}_{\text{αρχικού ωσμομένου δείγματος}}$ για τα διαλύματα 40, 50, και 60%. Η πρόσληψη στερεών αφορά τόσο τη γλυκερόλη όσο και το αλάτι που εισέρχεται στη μάζα του ψαριού και γι' αυτό το λόγο προσδιορίστηκε η αλατότητα των δειγμάτων. Από τα αρχικά επίπεδα του 0,32% που περιέχει κατά μέσο όρο το λαβράκι κατά την παραλαβή του στο εργαστήριο, φτάνει στις τιμές 1,46, 1,26 και 1,17% ανάλογα με τη συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος. Το μικρότερο ποσοστό άλατος παρατηρείται κατόπιν της επεξεργασίας στο ωσμωτικό διάλυμα με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλυκερόλη γεγονός που εξηγείται λόγω του σχηματισμού ενός λεπτού υμένα ωσμωτικού μέσου στην επιφάνεια των φιλέτων ο οποίος είναι πυκνότερος όσο πιο πυκνό το διάλυμα και άρα παρεμποδίζει περισσότερο την εισχώρηση μορίων NaCl. Επίσης, αν και αυξάνεται αρκετά το περιεχόμενο αλάτι, η γεύση του τελικού προϊόντος εξισορροπείται από τη γλυκιά γεύση της γλυκερόλης. Επιπλέον, η ενεργότητα του νερού μειώνεται σημαντικά εντός μιας ώρας από μια αρχική τιμή 0,99 σε επίπεδα 0,89-0,93 ανάλογα με το ωσμωτικό διάλυμα. Έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία ότι σε ενεργότητα νερού χαμηλότερη από 0,95 αναστέλλεται σε μεγάλο βαθμό η ανάπτυξη των ψευδομονάδων

όπως αποδείχτηκε και στη συνέχεια της εργασίας. Τέλος, πολύ σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του φαινομένου είναι ο προσδιορισμός των συντελεστών διάχυσης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν $1,90 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,77 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $3,62 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ για την υγρασία και για διαλύματα 40%, 50% και 60% σε γλυκερόλη αντίστοιχα, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τα στερεά ήταν $1,82 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,50 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $4,12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τα παραπάνω συμπεράσματα για την επίδραση της συγκέντρωσης του διαλύματος στην εξέλιξη των φαινομένων μεταφοράς μάζας νερού και στερεών.

Από τα κινητικά δεδομένα για τα διαφορετικά ωσμωτικά διαλύματα επιλέχθηκε η βέλτιστη συνθήκη για την περαιτέρω μελέτη της ποιοτικής υποβάθμισης με τους διαφορετικούς δείκτες. Για τον προσδιορισμό της συνθήκης αυτής, εκτός από τα παραπάνω αποτελέσματα, ελήφθη υπόψη και ο χρόνος παραμονής των φιλέτων στο διάλυμα. Η γενική εικόνα των αποτελεσμάτων έδειξε ότι το διάλυμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε γλυκερόλη δεν παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με το διάλυμα 50% για μικρούς χρόνους, σε αντίθεση με το διάλυμα με 40% γλυκερόλη το οποίο διαφοροποιείται περισσότερο. Ως χρόνος προκατεργασίας επιλέχθηκαν τα 40 min και η θερμοκρασία της διεργασίας ήταν 15°C επειδή προσομοιάζει καλύτερα τη θερμοκρασία που επικρατεί σε μια μονάδα μεταποίησης αλιευμάτων.

Σε αυτή την εξεταζόμενη συνθήκη, εξετάστηκαν οι μεταβολές του αλλοιογόνου μικροβιακού φορτίου, της απώλειας υγρών, του pH, της υφής και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των νωπών φιλέτων λαβρακιού με το χρόνο συντήρησης σε τρεις θερμοκρασίες και προσδιορίστηκε η διατηρησιμότητα των δειγμάτων. Με εξαίρεση την ανάλυση υφής κατά την οποία δεν εξήχθησαν συμπεράσματα για τη σκληρότητα, την ελαστικότητα, την προσκολλησιμότητα και τη συνεκτικότητα, για όλα τα υπόλοιπα μεγέθη καταγράφηκε η γενική τάση και στις περισσότερες περιπτώσεις προσδιορίστηκαν μοντέλα που περιγράφουν την εξάρτηση του κάθε ρυθμού από τη θερμοκρασία. Όσον αφορά τη μεταβολή του pH, σε όλες τις περιπτώσεις αυτό μειώθηκε αρχικά λόγω της παραγωγής γαλακτικού οξέος από τη νεκρική ακαμψία και στη συνέχεια αυξήθηκε λόγω της παραγωγής βασικών μεταβολιτών από τους αλλοιογόνους μικροοργανισμούς και κυρίως από τις ψευδομονάδες. Η εμφάνιση του ελάχιστου σημείου στο pH επεκτάθηκε χρονικά για χαμηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης και για τα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα. Για τους υπόλοιπους τρεις ποιοτικούς δείκτες που μελετήθηκαν, υπολογίστηκαν οι ρυθμοί μεταβολής τους με το χρόνο αποθήκευσης. Σε αυτούς τους δείκτες, τόσο για τα ανεπεξέργαστα (control) όσο και για τα ωσμωμένα δείγματα (OD) παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συντήρησης, αυξάνεται ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών, απώλειας υγρών από το φιλέτο και υποβαθμίζονται πιο γρήγορα τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά.

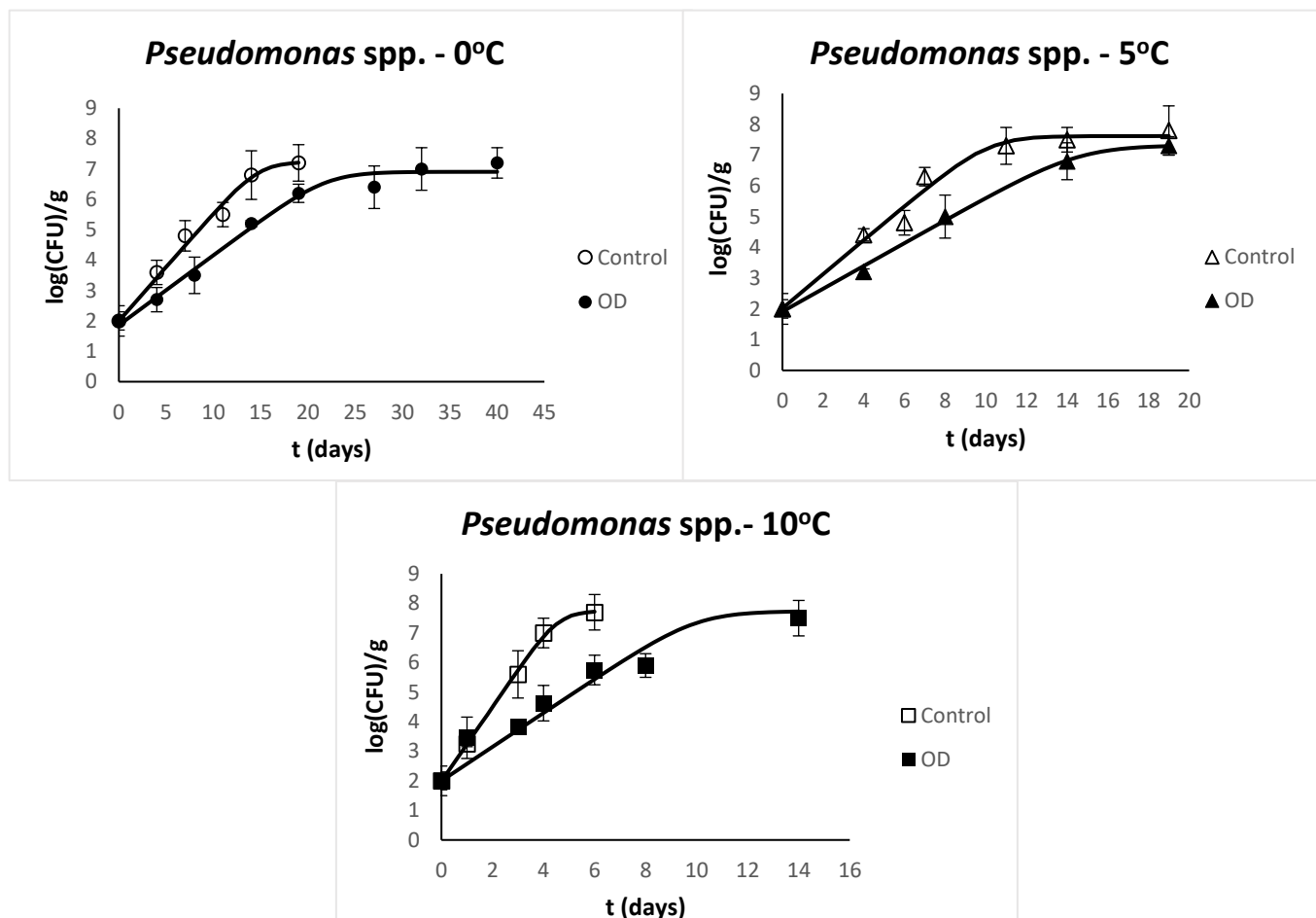
Από τη μικροβιολογική ανάλυση προσδιορίστηκαν το ολικό μικροβιακό φορτίο, το φορτίο των ψευδομονάδων και των εντεροβακτηρίων. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα ανάπτυξης αυτών των τριών ειδών ανάλογα με τη θερμοκρασία αποθήκευσης, δηλαδή θα συγκριθούν για κάθε θερμοκρασία τα ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα ψαριού με τα ανεπεξέργαστα για να απεικονιστεί η θετική επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης.



Διάγραμμα 6.1: Μεταβολή της ολικής μικροβιακής χλωρίδας (TVC) σε ανεπεξέργαστα (OD) και ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης για θερμοκρασία συντήρησης 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)

Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι το αρχικό ολικό μικροβιακό φορτίων των αερόβιων μικροοργανισμών είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις επεξεργασίας ή μη, ενώ οι ρυθμοί ανάπτυξης είναι χαμηλότεροι στα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα.

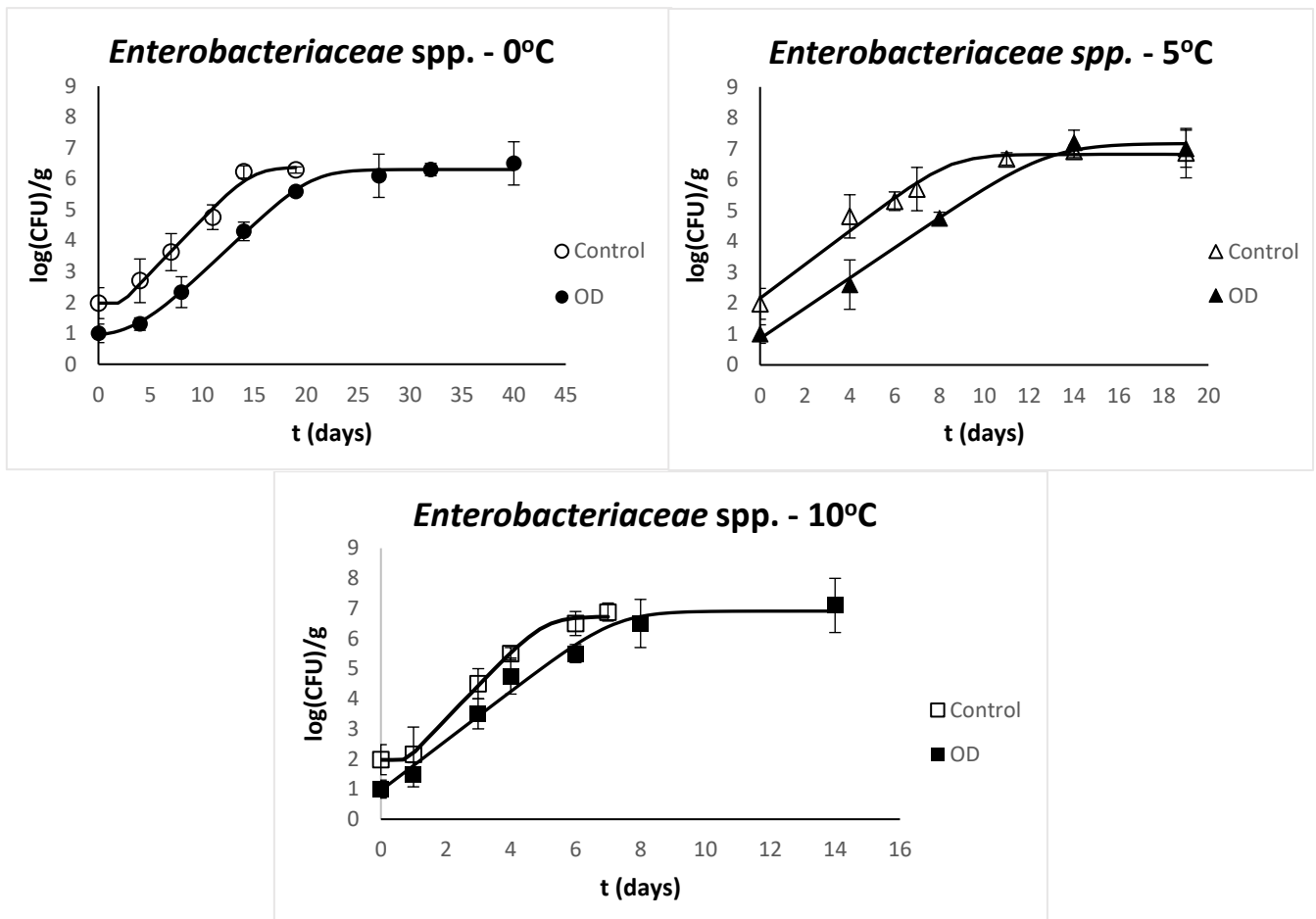
Έπειτα, παρατίθενται τα διαγράμματα ανάπτυξης των ψευδομονάδων ανάλογα με τη θερμοκρασία αποθήκευσης.



Διάγραμμα 6.2: Μεταβολή του αριθμού των ψευδομονάδων σε ανεπεξέργαστα (OD) και ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης για θερμοκρασία συντήρησης 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)

Σχετικά με την ανάπτυξη των ψευδομονάδων παρατηρήθηκε ότι αυτές αποτελούν το κυρίαρχο είδος των μικροοργανισμών στο φιλέτο λαβρακιού. Έτσι το φορτίο τους χρησιμοποιείται ως δείκτης για τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής του τροφίμου θέτοντας ως μέγιστο επιτρεπτό όριο το 6 log(CFU)/g. Τα αποτελέσματα από τους χρόνους ζωής για τις ψευδομονάδες ήταν παρόμοια με τα αποτελέσματα που εξάγονται χρησιμοποιώντας ως δείκτη την ανάπτυξη του ολικού μικροβιακού φορτίου με όριο το 7 log(CFU)/g όπως αναφέρεται και σε άλλες μελέτες του λαβρακιού. (Parlapani et al., 2015)

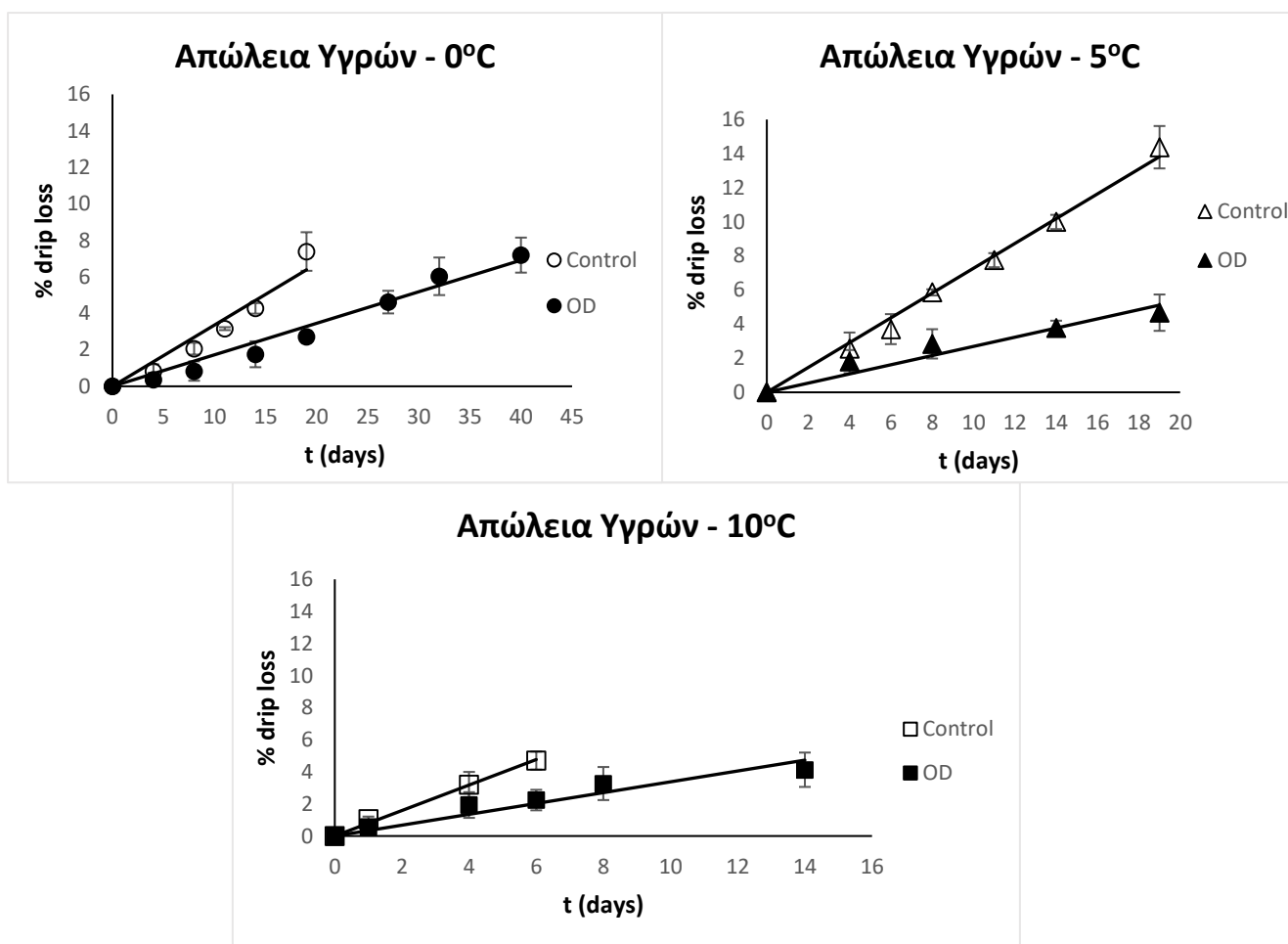
Τέλος, παρατίθενται τα διαγράμματα ανάπτυξης των εντεροβακτηρίων ανάλογα με τη θερμοκρασία αποθήκευσης.



Διάγραμμα 6.3: Μεταβολή του αριθμού των εντεροβακτηρίων σε ανεπεξέργαστα (OD) και ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης για θερμοκρασία συντήρησης 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)

Από τα παραπάνω διαγράμματα για την μικροβιακή ανάπτυξη επιβεβαιώνεται η θετική επίδραση που είχε η ωσμωτική προκατεργασία σε αυτό τον ποιοτικό δείκτη. Εκτός από τη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, στην περίπτωση των εντεροβακτηρίων επιτυγχάνεται και μείωση στο αρχικό φορτίο επιβεβαιώνοντας τη θεωρία ότι με την ωσμωτική αφυδάτωση επιτυγχάνεται και μείωση του μικροβιακού φορτίου από την επιφάνεια του ψαριού.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την απώλεια υγρών από τη σάρκα των φιλέτων του ψαριού, προσδιορίστηκαν οι ρυθμοί αύξησης της απώλειας αλλά δεν προσδιορίστηκε κάποιο όριο που να υποδηλώνει την ποιοτική υποβάθμιση.

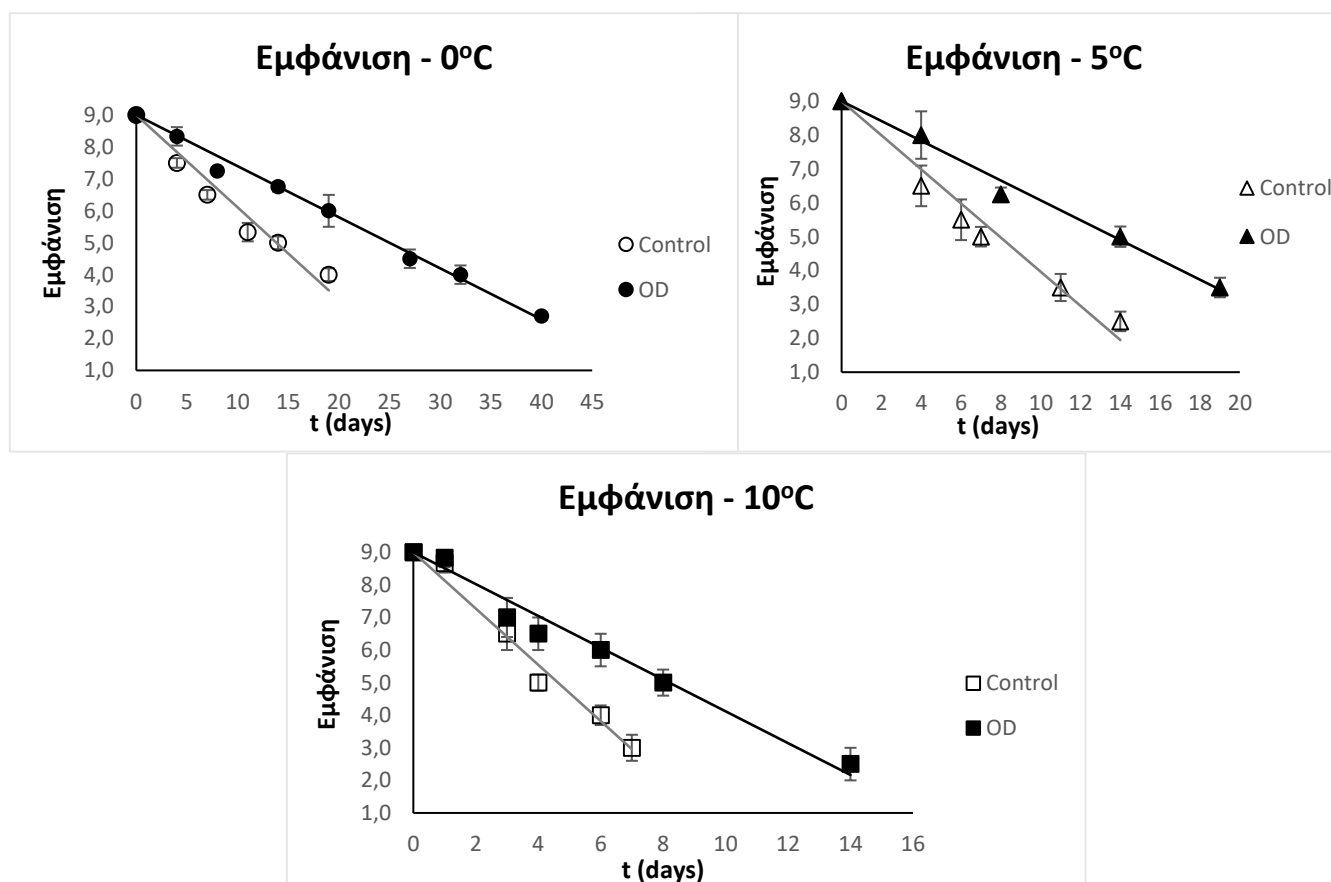


Διάγραμμα 6.4: Μεταβολή του drip loss σε ανεπεξέργαστα (OD) και ωσμωτικά προκατεργασμένα φιλέτα λαβρακιού (OD) για 40min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης για θερμοκρασία συντήρησης 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)

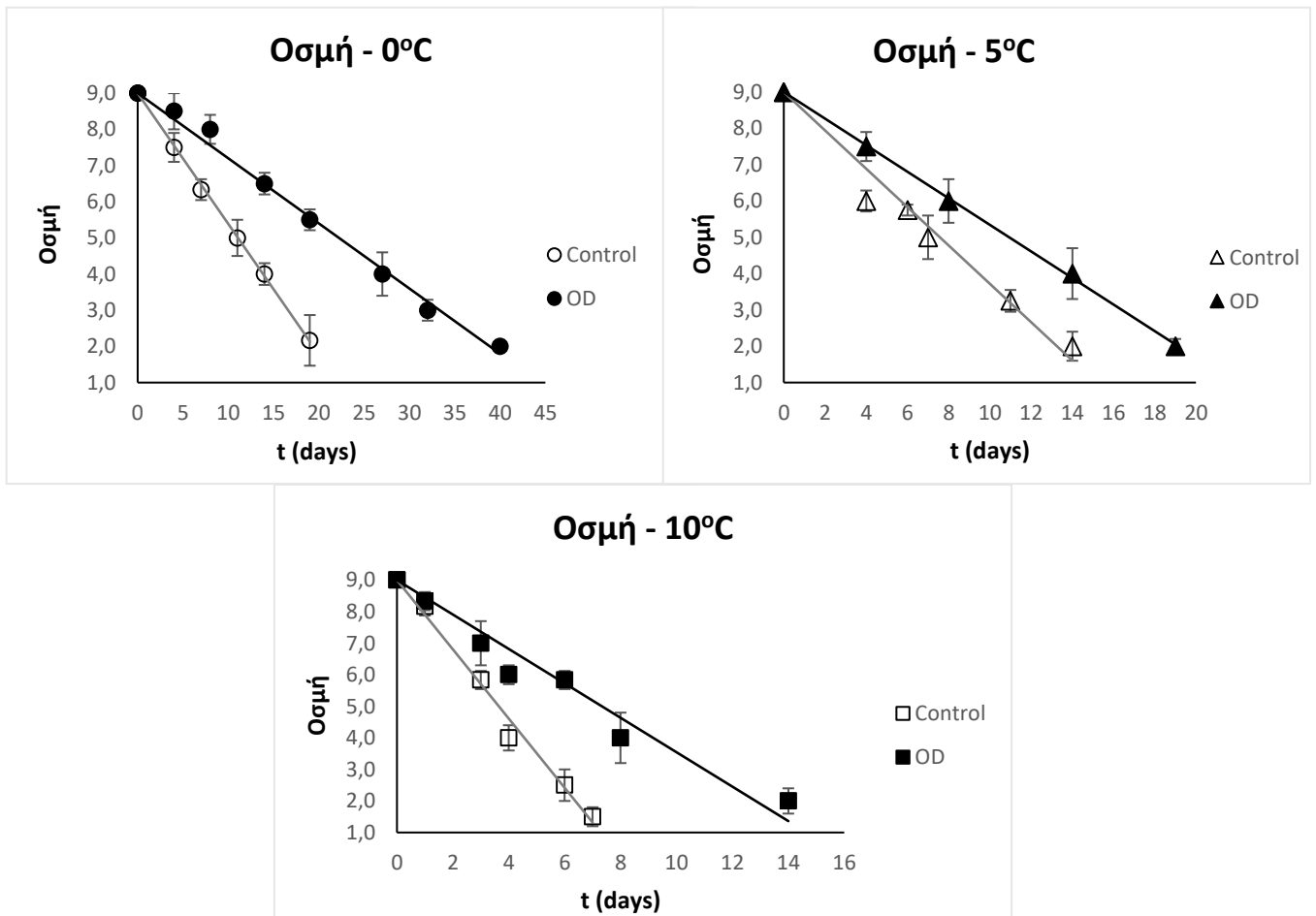
Από τα τρία αυτά διαγράμματα φαίνεται η επίδραση που έχει η ωσμωτική αφυδάτωση στον περιορισμό της απώλειας υγρών από τα φιλέτα κατά τη μακροχρόνια αποθήκευσή τους σε σταθερή θερμοκρασία. Στις τρεις θερμοκρασίες που μελετήθηκαν και ειδικότερά στους 0°C και 5°C οι διαφορές αυτές είναι πιο έντονες σε σχέση με τις αντίστοιχες διαφορές που εντοπίζονται στους 10°C. Όμως, στους 10°C τα πειράματα ολοκληρώθηκαν την 7^η μέρα για τα control δείγματα οπότε αυτό μπορεί να είναι μια αιτία που δεν εμφανίζονται τόσο έντονες διαφορές. Επίσης, στους 0°C η μέγιστη τιμή drip loss που καταγράφεται στα control δείγματα την 19^η μέρα είναι 7,4%, τιμή την οποία τα ωσμωμένα φιλέτα την προσεγγίζουν 13 μέρες αργότερα. Αντίστοιχα, στους 10°C η μέγιστη τιμή στα ανεπεξέργαστα φιλέτα είναι 4,7% την 6^η μέρα και στα ωσμωμένα η τιμή αυτή προσεγγίζεται την 14^η μέρα. Τέλος, όσον αφορά τη θερμοκρασία των 5°C, τα πειράματα διακόπηκαν την ίδια ημέρα οπότε μπορεί να συγκριθεί η διαφορά στην τελική τιμή που φτάνουν ανάλογα με την

προεπεξεργασία ή μη που έχουν υποστεί. Τελικά προκύπτει ότι τα control φιλέτα μετά από 19 ημέρες στους 5°C έχουν φτάσει σε απώλειες 14,3%, ενώ τα OD σε 4,7%.

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα της μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των νωπών φιλέτων ανά θερμοκρασία συντήρησης. Έτσι, γίνεται αντιληπτή και οπτικά η διαφορά που προκαλείται από την ωσμωτική προκατεργασία. Σε αυτά τα διαγράμματα εμφανίζονται οι μέσες τιμές ως σημεία και ως συνεχή γραμμή εμφανίζεται η εξίσωση υποβάθμισης του κάθε χαρακτηριστικού.

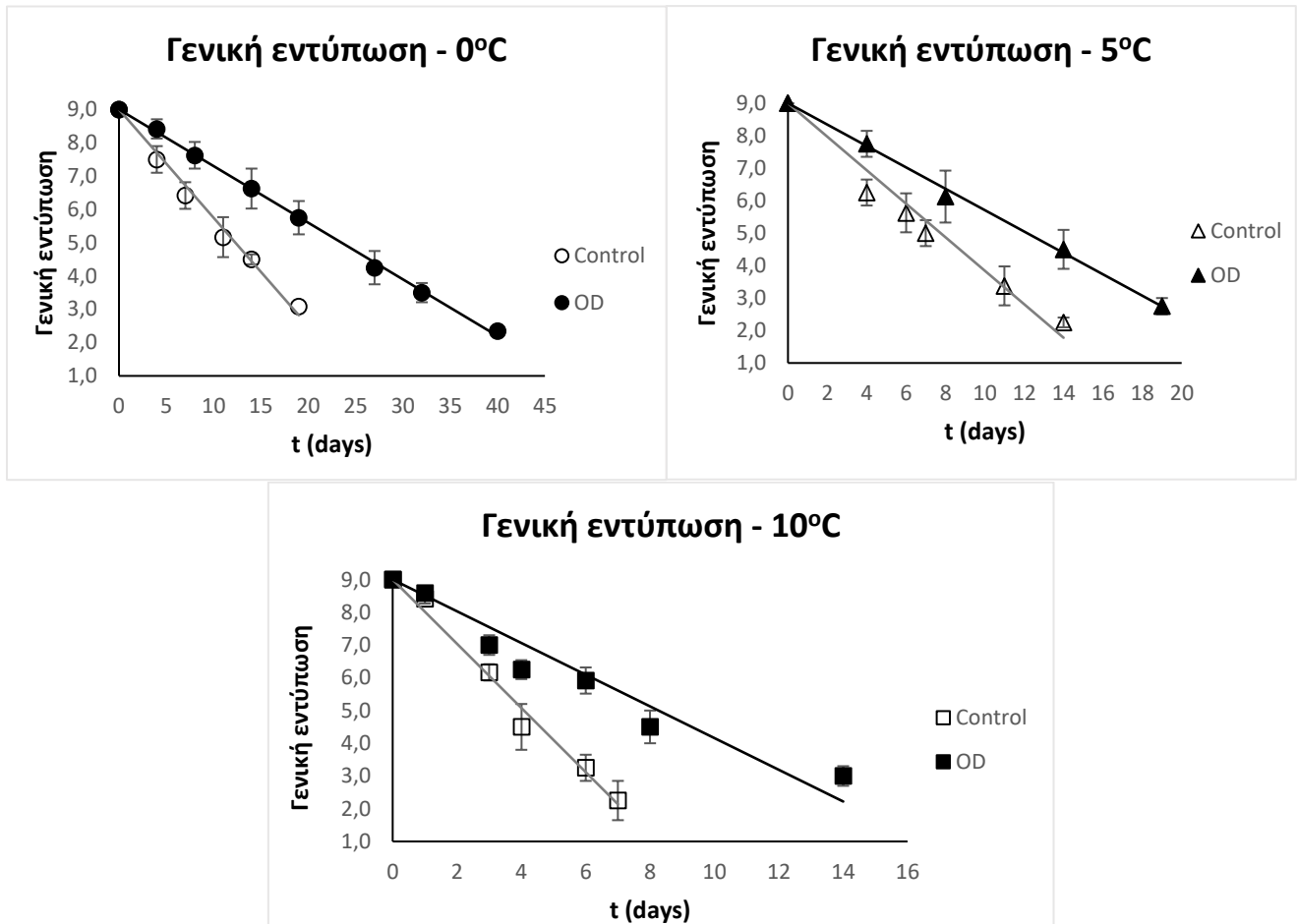


Διάγραμμα 6.5: Μεταβολή της εμφάνισης νωπών ανεπεξεργαστων (OD) και ωσμωτικά προκατεργασμένων φιλέτων λαβρακιού (OD) για 40min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης για θερμοκρασία συντήρησης 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)



Διάγραμμα 6.6: Μεταβολή της οσμής νωπών ανεπεξέργαστων (OD) και ωσμωτικά προκατεργασμένων φιλέτων λαβρακιού (OD) για 40min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης για θερμοκρασία συντήρησης 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)

Από τις δύο προηγούμενες μεταβλητές οργανοληπτικού ελέγχου, προκύπτει ένα άλλο μέγεθος, η γενική εντύπωση των νωπών φιλέτων το οποίο είναι πολύ σημαντικό για τη μελέτη της ποιοτικής υποβάθμισης αφού με βάση αυτό προσδιορίζεται ο οργανοληπτικός χρόνος ζωής των φιλέτων θέτοντας ως όριο αποδεκτότητας το 5 για αυτή τη μεταβλητή.



Διάγραμμα 6.7: Μεταβολή της γενικής εντύπωσης νωπών ανεπεξεργαστων (OD) και ωσμωτικά προκατεργασμένων φιλέτων λαβρακιού (OD) για 40min σε διάλυμα 50% γλυκερόλης για θερμοκρασία συντήρησης 0°C (πάνω αριστερά), 5°C (πάνω δεξιά) και 10°C (κάτω)

Από τα διαγράμματα είναι εμφανής η θετική επίδραση της ώσμωσης στη διατήρηση των επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, αφού οι ρυθμοί αλλοίωσης είναι μικρότεροι σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Από το διάγραμμα της γενικής εντύπωσης προσδιορίστηκε ένας οργανοληπτικός χρόνος ζωής.

Από τους μικροβιακούς και οργανοληπτικούς χρόνους ζωής που προσδιορίστηκαν σε κάθε ενότητα, προκύπτει η συνολική διατηρησιμότητα του τροφίμου ως η μικρότερη τιμή από τους επιμέρους χρόνους. Τελικά, στους 10°C η διατηρησιμότητα για τα control δείγματα βρέθηκε ίση με 3 d ενώ για τα OD ήταν ίση με 6 d. Αντίστοιχα, στους 5°C η διατηρησιμότητα για τα control ήταν 6 d ενώ για τα OD ήταν 10 d και στους 0°C η διατηρησιμότητα για τα control ήταν 12 d ενώ για τα OD ήταν ίση με 17 d.

Από την παραγοντική ανάλυση κύριων συνιστωσών, προέκυψαν συμπεράσματα σχετικά με τη συσχέτιση των ποιοτικών παραμέτρων που εξετάστηκαν στην ποιοτική υποβάθμιση. Τελικά προέκυψε έντονη συσχέτιση μεταξύ των τριών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και μεταξύ των τριών ειδών για τα οποία μελετήθηκε η μικροβιακή

ανάλυση. Επίσης, εντοπίστηκε έντονη συσχέτιση μεταξύ της ανάπτυξης των ψευδομονάδων, ο αριθμός των οποίων αποτελεί αντικειμενικό παράγοντα προσδιορισμού της ποιοτικής υποβάθμισης και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των νωπών φιλέτων τα οποία αποτελούν υποκειμενικό παράγοντα αξιολόγησης.

Το τελευταίο στάδιο στη μελέτη του πρώτου μέρους της εργασίας αποτελεί η οργανοληπτική εξέταση τριγωνικής δοκιμής και δοκιμής αρέσκειας σε επεξεργασμένα δείγματα για διάλυμα 50% γλυκερόλης και για χρόνο 40 min και σε ανεπεξέργαστα δείγματα. Η εξέταση αφορούσε τόσο νωπά όσο και σε μαγειρεμένα δείγματα. Ως προς την τριγωνική δοκιμή στα νωπά δείγματα, οι δοκιμαστές εντόπισαν το διαφορετικό δείγμα τονίζοντας τις διαφορές στην γυαλάδα της επιφάνειας, το πιο σκούρο χρώμα των ωσμωνένων δειγμάτων και την ελαφρώς πιο συμπαγή σάρκα μετά την ώσμωση. Η ίδια δοκιμή στα ψημένα δείγματα έδωσε αντίστοιχα αποτελέσματα αφού εντοπίστηκε το διαφορετικό δείγμα λόγω κυρίως της πιο γλυκιάς γεύσης του. Ως προς τη δοκιμή αρέσκειας, τόσο στα νωπά όσο και στα μαγειρεμένα δείγματα δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, δηλαδή οι δοκιμαστές δεν έδειξαν κάποια προτίμηση σε κάποιο από τα δύο δείγματα.

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας παρουσιάστηκε η θετική επίδραση που έχει η επεξεργασία των φιλέτων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία πριν την ωσμωτική αφυδάτωση. Τα δείγματα τέθηκαν σε ηλεκτρικό πεδίο έντασης 1,7 kV/cm και για 750 παλμούς και στη συνέχεια ακολούθησε η ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα 50% σε γλυκερόλη. Η απώλεια της υγρασίας με το χρόνο παραμονής στο ωσμωτικό διάλυμα ήταν πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα δείγματα που ωσμήθηκαν μόνο στο ίδιο διάλυμα. Επίσης, η υγρασία ήταν λίγο μεγαλύτερη και από τα ωσμωνένια φιλέτα σε διάλυμα 60% γλυκερόλης. Πιο συγκεκριμένα, η υγρασία στα ΠΗΠ φιλέτα μειώθηκε από 2,91 σε 2,05 $\frac{\text{g}_{\text{νερού}}}{\text{g}_{\text{αρχικού ξηρού βάρους}}}$ μετά την πρώτη ώρα. Η πρόσληψη στερεών ήταν επίσης πιο έντονη στα ΠΗΠ φιλέτα ψαριού σε σχέση με τα απλά ωσμωνένια φιλέτα σε διάλυμα 50% γλυκερόλης. Όμως, δεν εντοπίζονται σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με τα δείγματα 60% γλυκερόλης. Αυτή η εικόνα για την υγρασία και τα στερεά αποτυπώνεται και στους συντελεστές διάχυσης οι οποίοι υπολογίστηκαν ίσοι με $D_{ew}=4,03 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $D_{es}=4,14 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από τα δείγματα 50%. Μέρος των προσλαμβανόμενων στερεών αποτελεί το αλάτι. Οι τιμές της αλατότητας ήταν πολύ μεγαλύτερες από όλες τις σειρές των ωσμωνένων δειγμάτων και μετά από 150 min έφτασε σε μέγιστη τιμή που ήταν ίση με 2,34%. Τέλος, οι τιμές της ενεργότητας του νερού ήταν χαμηλότερες στα ΠΗΠ δείγματα για το ίδιο ωσμωτικό διάλυμα αλλά οι διαφορές δεν ήταν πολύ μεγάλες αναλογικά με τις διαφορές στην απώλεια υγρασίας και στα 40 min είχε φτάσει σε επίπεδα 0,91.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης κατέδειξαν ότι τα ωσμωτικά επεξεργασμένα φιλέτα λαβρακιού αποτελούν προϊόντα υψηλής ποιότητας, με μεγαλύτερη σταθερότητα στα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και αυξημένο χρόνο ζωής κατά τη συντήρησή τους σε ψύξη σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα. Η συνδυαστική εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία έδωσε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την απλή ώσμωση.

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση στα πρώτα κεφάλαια και από τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας προκύπτουν θέματα τα οποία χρήζουν περαιτέρω έρευνας σε σχέση με την ωσμωτική αφυδάτωση και τη συνδυαστική δράση της με άλλες τεχνικές. Αρχικά, τα επόμενα βήματα που προτείνονται από την παρούσα εργασία να ακολουθηθούν, αφορούν

κυρίως τη μελέτη στοιχείων γύρω από τη συνεργιστική δράση των δύο τεχνικών. Τα σημαντικότερα κενά που προτείνεται να καλυφθούν είναι ο προσδιορισμός της ποιοτικής υποβάθμισης των ιχθύων που έχουν επεξεργαστεί με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση με τους ποιοτικούς δείκτες που αναφέρθηκαν στη παρούσα εργασία και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της εργασίας. Επιπλέον, σχετικά με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία προτείνεται σε επόμενο στάδιο, η μελέτη της δομής του ιστού των ιχθύων για να ελεγχθεί η επίδραση των παραμέτρων στη δομή των ιχθύων. Επίσης, εκτός από την εύρεση του βέλτιστου αριθμού παλμών που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, μπορούν να αναζητηθούν οι βέλτιστες συνθήκες και ως προς άλλες παραμέτρους όπως η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, η συχνότητα και το εύρος παλμού. Ένα άλλο θέμα που προτείνεται, είναι η μελέτη της επίδρασης της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών όπως είναι το *Vibrio* spp. και η *Listeria* spp., η ανάπτυξη των οποίων αναστέλλεται σημαντικά με βάση τη θεωρία για τις τιμές ενεργότητας νερού που έφτασαν τα φιλέτα μετά την αφυδάτωση. Επιπλέον, σημαντικό πεδίο έρευνας είναι η επέκταση της εφαρμογής της ωσμωτικής αφυδάτωσης και σε άλλα είδη ιχθύων και ιδιαίτερα η χρήση της γλυκερόλης ως συστατικό του ωσμωτικού διαλύματος. Επίσης, σημαντική είναι και η έρευνα γύρω από την προσθήκη αντιοξειδωτικών ή/και αντιμικροβιακών ουσιών οι οποίες αναστέλλουν την οξείδωση των λιπών και την ανάπτυξη των μικροοργανισμών αντίστοιχα. Η λιποπεριεκτικότητα στα πιο λιπαρά ιχθυηρά επηρεάζει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και άρα θα ήταν ενδιαφέρουσα η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε ιχθυηρά με διαφορετική λιποπεριεκτικότητα στη σάρκα τους. Άλλοι παράγοντες που αξίζει να μελετηθούν είναι η συνεργιστική δράση και άλλων εναλλακτικών μη θερμικών τεχνικών στην ωσμωτική αφυδάτωση για επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας όπως είναι η υπερυψηλή πίεση, η εφαρμογή κενού ή χρήση υπερήχων ή η εφαρμογή φυγοκεντρικών δυνάμεων κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Τέλος, λόγω της περιορισμένης εφαρμογής και των δύο τεχνικών στη βιομηχανία είναι η επίλυση των σημαντικότερων προβλημάτων που εμφανίζονται. Για την περίπτωση της ωσμωτικής αφυδάτωσης, το σημαντικότερο πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί είναι η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος μετά την επεξεργασία, ενώ για τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία είναι το μεγάλο κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ade-Omowaye B.I.O., Rastogi N.K., Angersbach A., Knorr D. 2001. Effects of high hydrostatic pressure or high intensity electrical field pulse pretreatment on dehydration characteristics of red paprika. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Volume 2. Pages 1-7.
2. Ade-Omowaye B.I.O., Talens P., Angersbach A., Knorr D. 2003. Kinetics of osmotic dehydration of red bell peppers as influenced by pulsed electric field pretreatment. *Food Research International*. Volume 36. Pages 475-483.
3. Alasalvar C., Taylor T.. 2002. *Seafoods-Quality, Technology and Nutraceutical Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York. Pages 7-15.
4. Alparslan Y., Gürel C., Metin C., Hasanhocaoglu H., Baygar T. 2012. Determination of Sensory and Quality Changes at Treated Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) During Cold-Storage. *Food Processing & Technology*. Volume 3.
5. Amami E., Fersi A., Vorobiev E., Kechaou N. 2007. Osmotic dehydration of carrot tissue enhanced by pulsed electric field, salt and centrifugal force. *Journal of Food Engineering*. Volume 83. Pages 605-613.
6. Amami E., Khezami L., Jemai A.B. and Vorobiev E.. 2014. Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, Volume 26. Pages 93– 102.
7. Amami E., Vorobiev E., Kechaou N.. 2006. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric fields. *LWT-Food Science and Technology*. Volume 39. Pages 1014-1021.
8. Andreou V., Tsironi T., Dermesonlouoglou E., Katsaros G., Taoukis P.. 2018. Combinatory effect of osmotic and high pressure processing on shelf life extension of animal origin products – Application to chilled chicken breast fillets. *Food Packaging and Shelf Life*. Volume 15. Pages 43–51.
9. Asavasanti S, Ersus S, Ristenpart W, Stroeve P, Barret D. 2010. Critical electric field strengths of onions tissues treated by pulsed electric fields. *Journal of Food Science*. Volume 75. Pages 433–443.
10. Baranyi J., Roberts T.A. 1995. Mathematics of predictive food microbiology. *International Journal of Food Microbiology*. Volume 26. Pages 199-218.
11. Barbosa-Cánovas G., Gongora-Nieto M. M., Pothakamury U. R., Swanson B. G. 1999. *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Academic Press. San Diego, USA. Pages 1-45.
12. Barbosa-Cánovas G., Vega-Mercado H.. 1996. Osmotic Dehydration. In: Barbosa-Cánovas G. V., Vega-Mercado H. (Ed.), *Dehydration of Foods*. Chapter 8. International Thomson Publishing (ITP). Pages 265-288.
13. Basurco B. Lovatelli A.. 2003. The aquaculture situation in the Mediterranean Sea predictions for the future. In: *Research Gate*. Full-text (PDF) Available from: May 17, 2016.
14. Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P.. 2009. *Food Chemistry*. Springer. 4th Revised and extended edition. Pages 617-639.
15. Bonnell A.D.. 1994. *Quality Assurance in Seafood Processing-A Practical Guide*. Chapman & Hall (Eds.). USA.
16. Bosworth B.. 2012.. *Aquaculture*. In: Ankenman Granata L., Flick G., Martin R. (Ed.) *The Seafood Industry: Species, Products, Processing, and Safety*. Wiley-Blackwell Publishing. 2nd Edition. Chapter 24. Pages 318-326.

17. Botta J.R.. 1995. Evaluation of Seafood Freshness Quality. Library of Congress. USA.
18. Brunner E., Jones P., Friel S., Bartley M.. 2009. Fish, human health and marine ecosystem health: policies in collision. *International Journal of Epidemiology*. Volume 38. Pages 93-100.
19. Carrascosa C., Millán R., Saavedra P., Jaber J.R., Montenegro T., Raposo A., Pérez E., Sanjuán E.. 2013. Predictive models for bacterial growth in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in ice. *International Journal of Food Science and Technology*. Volume 49. Pages 354-363
20. Checmarev G., Casales M.R., Yeannes M.I.. 2016. Kinetics of colour change of osmotically dehydrated chub mackerel (*Scomber japonicus*) during storage at different temperatures. *Food Science and Technology*. Volume 37. Pages 119-123.
21. Checmarev G., Casales M.R., Yeannes M.I., Bevilacqua A. E.. 2013. MASS TRANSFER MODELING DURING OSMOTIC DEHYDRATION OF CHUB MACKEREL (*SCOMBER JAPONICUS*) SLICES IN SALT AND GLYCEROL SOLUTION AT DIFFERENT TEMPERATURES. *Journal of Food Processing and Preservation*. Volume 38. Pages 1599-1607
22. Collignan A., Bohuon P., Deumier F., Poligne I.. 2001. Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*. Volume 49. Pages 153-162.
23. Corzo O., Bracho N.. 2006. Equilibrium water and salt contents of sardine sheets during osmotic dehydration. *LWT - Food Science and Technology*. Volume 39. Pages 358-364.
24. Cullen P., Tiwari B., Valdramidis V.. 2012. Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods. *Food Science and Technology, International Series*. Elsevier. 1st Edition. USA.
25. Deeth H., Datta N., Ross A., Dam X.. 2007. Pulsed Electric Field Technology: Effect on Milk and Fruit Juices. In: Tewari G., Juneja V.. *Advances in Thermal and Non-thermal Food Preservation*. Blachwell Publishing. Chapter 13. Pages 241-270
26. Dellarosa N., Ragni L., Laghi L., Tylewicz U., Rocculi P., Dalla Rosa M.. 2016. Time domain nuclear magnetic resonance to monitor mass transfer mechanisms in apple tissue promoted by osmotic dehydration combined with pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Volume 37C. Pages 345-351.
27. Dellarosa N., Tappi S., Mannozi C., Tylewicz U., Balestra F., Rocculi P., Ragni L., Dalla Rosa M., Romani S. 2015. Study on PEF pre-treatment of fresh octopus (*Octopus vulgaris*). *International Non-thermal Processing Workshop*. Athens, Greece. 12-13 November 2015.
28. Dermesonlouoglou E., Bimpilas A., Andreou V., Katsaros G., Giannakourou M., Taoukis P.. 2016. Process Optimization and Kinetic Modeling of Quality of Fresh-Cut Strawberry Cubes Pretreated by High Pressure and Osmosis. *Journal of Food Processing and Preservation*. Volume 41.
29. Dermesonlouoglou E., Chalkia A., Dimopoulos G., Taoukis P. 2018. Combined effect of pulsed electric field and osmotic dehydration pre-treatments on mass transfer and quality of air dried goji berry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 49. Pages 106-115.
30. Dermesonlouoglou E.K., Pourgouri S., Taoukis P.. 2008. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Volume 9. Pages 542-549.
31. Dermesonlouoglou E.K., Taoukis P.. 2008b. Characterisation of reused osmotic solution during tomato osmotic dehydration. *IFT Annual Meeting*, 28 June – 1 July, New Orleans-Louisiana, U.S.A.. *Book of Abstracts*. Pages 29.

32. Dermesonlouoglou E., Zachariou I., Andreou V., Taoukis P.. 2016 b. Effect of pulsed electric fields on mass transfer and quality of osmotically dehydrated kiwifruit. *Food and Bioproducts Processing*. Volume 100 Part B. Pages 535-544.
33. Duan Z., Wang J., Wu Y., Peng J., Yang Y., Pan Y.. 2012. Study on Characteristic of Osmotic Dehydration and Mass Transfer of Tilapia Fillet in Sucrose Solution. *Advanced Materials Research*. Volumes 554-556. Pages 1332-1336.
34. Dunn A.S., Rustad T. 2008. Quality of superchilled vacuum packed Atlantic salmon (*Salmon salar*) fillets stored at -1.4 and -3.6°C. *Food Chemistry*. Volume 106. Pages 122-131.
35. Erkan N., Özden Ö.. 2006. Gutted and Un-Gutted Sea Bass (*Dicentrarchus Labrax*) Stored in Ice: Influence on Fish Quality and Shelf-Life. *International Journal of Food Properties*. Volume 9. Pages 331-345.
36. Falade K.O. Igbeka J.C.. 2007. Osmotic dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. *Food Reviews International*. Volume 23. Pages 373 – 405.
37. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all.*
38. Fito P. 1994. Modelling of vacuum dehydration of food. *Journal of Food Engineering*. Volume 22. Pages 313-328.
39. FDA, US Food and Drug Administration. 2011. *Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance. 4th Edition.* U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration. Pages 417-438.
40. FDA, US Food and Drug Administration. 2014. *Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies. Pulsed Electric Field.* U.S. Food and Drug Administration. Pages 5-77.
41. Fellows P. 2000. Dehydration. In: Fellows P. *Food Processing Technology: Principles and Practice. 2nd Edition.* CRC Press. Chapter 15. Pages 311-339. Cambridge, England.
42. Fennema O.. 1996. Water and Ice. In: Fennema O.. *Food Chemistry. 5th Edition.* New York, USA.
43. Fernandes F., Gallão M. I., Rodrigues S.. 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*. Volume 90. Pages 186-190.
44. Gerlach D., Alleborn N., Baars A., Delgado A., Moritz J., Knorr D..2008. Numerical simulations of pulsed electric fields for food preservation: a review. *Innovative Food. Science & Emerging Technologies*. Volume 9. Pages 408-417.
45. Gram L., Huss H.H.. 1996. Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*. Volume 33. Pages 121-137.
46. Grigorakis K., Alexis M., Gialamas I., Nikolopoulou D.. 2004. Sensory, microbiological, and chemical spoilage of cultured common sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in ice: a seasonal differentiation. *European Food Research and Technology*. Volume 219. Pages 584-587.
47. Grigorakis K., Taylor K.D.A., Alexis M.N.. 2003. Seasonal patterns of spoilage of icestored cultured gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Food Chemistry*. Volume 81. Pages 263-268.
48. Heinz V., Alvarez I., Angersbach A., Knorr D. 2001. Preservation of liquid foods by high intensity pulsed electric fields-basic concepts for process design. *Trends in Food Science & Technology*. Volume 12. Pages. 103-111.
49. Ho S., Mittal S.. 2000. High voltage pulsed electrical field for liquid food pasteurization. *Food Reviews International*. Volume 16. Pages 395-434.

50. ICMSF. 1986. *Microorganisms in Foods 2: Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications*. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications. Toronto.
51. Kempkes A.. 2010. Pulsed electric field (PEF) systems for commercial food and juice processing. In: Doona C., Kustin K., Feeherry F. (Ed.). *Case Studies in Novel Food Processing Technologies: Innovations in Processing, Packaging, and Predictive Modelling*. Woodhead Publishing. Chapter 4. Pages 73-102.
52. Leadley C., William A.. 2006. Pulsed Electric Field Processing, Power Ultrasound and Other Emerging Technologies. In: Brennan J. (Ed.). *Food Processing Handbook*. 2nd edition. WILEY – VCH. Chapter 7. Pages 201-231.
53. Lelieveld H. L., Notermans S., De Haan S. W. H.. 2007. *Food preservation by pulsed electric fields: from research to application*. Woodhead Publishing Limited. Cambridge England.
54. Lenart A., Lewicki P.P.. 1988. Energy consumption during osmotic and convective drying of plant tissue. *Acta Alimentaria Polonica*. Volume 14. Pages 65-72.
55. Lenas D., Chatziantoniou S., Nathanailides C., Triantafillou D.. 2011. Comparison of wild and farmed sea bass (*Dicentrarchus labrax* L) lipid quality. *Procedia Food Science*. Volume 1. Pages 1139-1145.
56. Lericci C.R., Pinnavaia G., Dalla Rosa M., Bartolucci L.. 1985. Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality. *Journal of Food Engineering*. Volume 50. Pages 1217-1219.
57. Leroi F.. 2010. Occurrence and role of lactic acid bacteria in seafood products. *Food Microbiology*. Volume 27. Pages 698-709.
58. Li H., Ramaswamy H.S. 2005. Osmotic dehydration. *Stewart Postharvest Review*. Volume 1. Pages 1-9.
59. Li M., Wu Y.-Y., Guan Z.-Q.. 2017. Effect of Physical Osmosis Methods on Quality of Tilapia Fillets Processed by Heat Pump Drying. *Polish journal of food and nutrition sciences*. Volume 67. Pages. 145–150.
60. Libey G., Bosworth B.. 1990. Aquaculture. In: Martin R., Flick G., *The Seafood Industry*. Springer Science + Business Media, LLC. Chapter 18. Pages 291-301. New York, USA.
61. Lončar B., Pezo L., Lević L., Filipović V., Nićetin M., Knežević V., Kuljanin T.. 2014. Osmotic dehydration of fish: Principal component analysis. *Acta periodica technologica*. Volume 45. Pages 45-53.
62. Maftoonazad N. 2010. Use of Osmotic Dehydration to Improve Fruits and Vegetables Quality During Processing. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. Bentham Science Publishers. Volume 2. Pages 233-242.
63. Mavroudis N.E., Gekas V., Sjöholm I.. 1998. Osmotic dehydration of apples-Effects of agitation and raw material characteristics. *Journal of Food Engineering*. Volume 35. Pages 191-209.
64. Mohamed M. and Amer-Eissa A.. 2012. Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology In: Amer-Eissa A.. *Structure and Function of Food Engineering*. Intech. Chapter 11. Pages 275-299
65. Mujaffar S., Sankat C.. 2006. The mathematical modelling of the osmotic dehydration of shark fillets at different brine temperatures. *International Journal of Food Science & Technology*. Volume 41. Pages 405-416.
66. Neumeyer X., Ross T., McMeekin T.A. 1997. Development of a predictive model to describe the effects of temperature and water activity on the growth of spoilage pseudomonads. *International Journal of Food Microbiology*. Volume 38, Pages 45-54

67. Nobel P. 2009. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. 4th Edition. Academic Press. London.
68. Nowacka M., Tylewicz U., Tappi S., Siroli L, Lanciotti R., Romani S., Witrowa-Rajchert D.. 2018. Ultrasound assisted osmotic dehydration of organic cranberries (*Vaccinium oxycoccus*): Study on quality parameters evolution during storage. Food Control. Volume 93. Pages 40-47.
69. Nsonzi F., Ramaswamy H.S. 1998. Quality evaluation of osmo-convective dried blueberries. Drying Technology. Volume 16. Pages 705-723.
70. Nuñez-Mancilla Y., Perez-Won P., Vega-Gálvez A., Arias V., Tabilo-Munizaga G., Briones-Labarca V., Lemus-Mondaca R., Di Scala K.. 2011. Modeling mass transfer during osmotic dehydration of strawberries under high hydrostatic pressure conditions. Innovative Food Science and Emerging Technologies. Volume 12. Pages 338-343.
71. Ochoa – Martínez C.I., Ayala – Aponte A.A.. 2007. Prediction of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of apples using neural networks. LWT - Food Science and Technology. Volume 40. Pages 638 – 645.
72. Özden Ö., Erkan N. 2008. Comparison of biochemical composition of three aqua cultured fishes (*Dicentrarchus labrax*, *Sparus aurata*, *Dentex dentex*). International Journal of Food Sciences and Nutrition. Volume 59. Pages 545–557.
73. Papadopoulos V., Chouliara I., Badeka A., Savvaidis I.N., Kontominas M.G.. 2003. Effect of gutting on microbiological, chemical, and sensory properties of aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in ice. Food Microbiology. Volume 20. Pages 411-420.
74. Parlapani F., Haroutounian S., Nychas G.-J., Boziaris I.. 2015. Microbiological spoilage and volatiles production of gutted European sea bass stored under air and commercial modified atmosphere package at 2 °C. Food Microbiology. Volume 50. Pages 44-53.
75. Parniakov O., Bals O., Lebovka N., Vorobiev E.. 2016. Effects of pulsed electric fields assisted osmotic dehydration on freezing-thawing and texture of apple tissue. Journal of Food Engineering. Volume 183. Pages 32-38
76. Phisut, N.. 2012. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. International Food Research Journal. Volume 19. Pages 7-18.
77. Rahman S.. 1995. Food properties handbook. CRC Press, Inc. Boca Raton. Pages 137- 138.
78. Rahman S.. 2007. Osmotic Dehydration of Foods. In: Rahman S.. Handbook of Food Preservation. 2nd edition. CRC Press. Chapter 19. Pages 433-446.
79. Raoult-Wack A.L.. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in Food Science & Technology. Volume 5. Pages 255-260.
80. Raso J.. 2015. Fundamental and applied aspects of pulsed electric field for microbial inactivation. 1st World Congress on Electroporation and Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine and Food and Environmental Technologies. Springer. Pages 11-14.
81. Raso J., Heinz V. 2006. Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry Fundamentals and Applications. Springer Science + Business Media, LLC. USA.
82. Rastogi N.K., Eshtiaghi M.N., Knorr D. 1999. Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots. Journal of Food Science. Volume 64. Pages 1020-1023.
83. Rastogi N.K., Raghavarao K.S.M.S. 1997. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration. Journal of Food Engineering. Volume 34. Pages 429-440.

84. Rastogi N.K., Raghavarao K.S.M.S., Niranjana K., Knorr D. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*. Volume 13. Pages 48-59.
85. Regenstein J., Regenstein C. 1991. *Introduction to Fish Technology*. Springer. New York USA.
86. Ribeiro S.C.A., Araujo E.A.F., Tobinaga S.. 2004. Effect of ternary solutions on the osmotic dehydration of catfish (*Hypophthalmus edentatus*) fillets. *Drying 2004 - Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*. Sao Paulo, Brazil. 22-25 August 2004. Volume C. Pages 2181-2188.
87. Richards M.P., Modra A.M., Li R.. 2002. Role of deoxyhemoglobin in lipid oxidation of washed cod muscle mediated by trout, poultry and beef hemoglobins. *Meat Science* Volume 62. Pages 157-163.
88. Saulis G.. 2010. Electroporation of cell membranes: The fundamental effects of pulsed electric fields in food processing. *Food Engineering Reviews*. Volume 2. Pages 52–73.
89. Shi J., Xue S.J.. 2009. Application and Development of Osmotic Dehydration Technology in Food Processing. In: Ratti C. (Ed.). *Advances in Food Dehydration*. CRC Press. Chapter 7. Pages 187-209.
90. Taiwo K.A., Angersbach A., Knorr D. 2002. Influence of high intensity electric field pulses and osmotic dehydration on the rehydration characteristics of apple slices at different temperatures. *Journal of Food Engineering*. Volume 52. Pages 185-192.
91. Taiwo K.A., Eshtiaghi M.N., Ade-Omowaye B.I.O., Knorr D. 2003. Osmotic dehydration of strawberry halves: Influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. *Journal of Food Science and Technology*. Volume 38. Pages 693-707.
92. Taoukis P., Labuza T., Saguy I.S. 1997. Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. In: Valentas K., Rotstein E., Singh P. (Ed.). *Handbook of food engineering practice*. CRC Press. Chapter 9. Pages 361-403.
93. Timmermans R.A.H., Mastwijk H.C., Knol J.J., Quataert M.C.J., Vervoort L., Van der Plancken I., Hendrickx M.E., Matser A.M.. 2011. Comparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electric field processes for mild pasteurization of orange juice. Part I: Impact on overall quality attributes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Volume 12. Pages 235-243.
94. Toepfl S.. 2006. *Pulsed Electric Fields (PEF) for Permeabilization of Cell Membranes in Food-and Bioprocessing: Applications, Process and Equipment Design and Cost Analysis*. Berlin, Germany.
95. Toepfl S., Mathys A., Heinz V., Knorr D.. 2006. Review: Potential of high hydrostatic pressure and pulsed electric fields for energy efficient and environmentally friendly food processing. *Food Reviews International*. Volume 22. Pages 405-423.
96. Torpy J., Lynn C., Glass R.. 2006. Eating Fish: Health Benefits and Risks. *Jama*. Volume 296.
97. Torreggiani D. 1995. Technological aspects of osmotic dehydration in foods. In: Barbosa-Cánovas G, Welte-Chanes J.(Ed.). *Food preservation by moisture controls: fundamentals and applications*. Technomic Publishing Co. USA. Pages 281-304.
98. Torreggiani D., Bertolo G.. 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*. Volume 49. Pages 247-253.
99. Tortoe C.. 2010. A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*. Volume 4. Pages 303-324.

100. Turan H., Kocatepe D.. 2013. Different MAP Conditions to Improve the Shelf Life of Sea Bass. *Food science and biotechnology*. Volume 22. Pages 1589-1599.
101. Vial C., Guilbert S., Cuq J.L.. 1991. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic-acid content. *Sciences des Aliments*. Volume 11. Pages 63-84.
102. Vega – Mercado H., Gongora – Nieto M., Barbosa – Cánovas G., Swanson B.. 2007. Pulsed Electric Fields in Food Preservation. In: Rahman S. (Ed.). *Handbook of Food Preservation*. 2nd edition. CRC Press. Chapter 33. Pages 783-811.
103. Vega – Mercado H., Martin – Belloso O., Qin B.-L., Chang F. J., Góngora – Nieto M., Barbosa–Cánovas G., Swanson B.. 1997. Non-thermal food preservation: Pulsed electric fields. *Trends in Food Science & Technology*. Volume 8. Pages 151 – 157.
104. Vorobiev E., Lebovka N.. 2006. Extraction of Intercellular Components by Pulsed Electric Fields. In: Raso J., Heinz V. (Ed.) *Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry*. Springer Science + Business Media, LLC. Chapter 6. Pages 153-193.
105. Wang M.-S., Wang L.-H., Bekhit A. E.-D., Yang J., Hou Z.-P., Wang Y.-Z., Dai Q.-Z., Zeng X.-A.. 2018. A review of sublethal effects of pulsed electric field on cells in food processing. *Journal of food engineering*. Volume 223. Pages 32-41.
106. Wientjes A.G. 1968. The influence of sugar concentrations on the vapor pressure of food odor volatiles in aqueous solutions. *Journal of Food Science*. Volume 33. Pages 1-2.
107. Wilde J.W., Kamstra A. 1995. Fish production. In: Ruiter A. (Ed.). *Fish and fishery products: Composition, nutritive properties and stability*. CAB International. Pages 1-29.
108. Yazgan H, Ozogul Y, Durmuş M., Balıkçı E., Gökdoğan S., Uçar Y, Tuğçe Aksun E.. 2017. Effects of oil-in-water nanoemulsion based on sunflower oil on the quality of farmed sea bass and gilthead sea bream stored at chilled temperature (2±2 °C). *Journal of Aquatic Food Product Technology*. Volume 26. Pages 979-992.
109. Yu Y., Jin TZ., Fan X., Wu J.. 2018. Biochemical degradation and physical migration of polyphenolic compounds in osmotic dehydrated blueberries with pulsed electric field and thermal pretreatments. *Food Chemistry*. Volume 239. Pages 1219-1225.
110. Zhang Q., Qin B. L., Barbosa-Cánovas G., Swanson B., Pedrow P.. 1996. Batch mode for treatment using pulsed electric fields. US Patent.
111. Zielinska M., Markowski M.. 2018. Effect of microwave-vacuum, ultrasonication, and freezing on mass transfer kinetics and diffusivity during osmotic dehydration of cranberries. *Drying Technology*. Volume 36. Pages 1158-1169.
112. Zimmermann U. 1996. The effect of high intensity electric field pulses on eukaryotic cell membranes: fundamentals and applications. In: Zimmermann U, Neil G.A. (Ed). *Electromanipulation of Cells*. CRC Press. Chapter 1. Pages 1–106.
113. Αρβανιτογιάννης Ι., Σάνδρου Δ., Κούρτης Λ.. 2001. Ασφάλεια τροφίμων: Εφαρμογή της ανάλυσης επικινδυνότητας και κρίσιμων σημείων ελέγχου (HACCP) στις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. University Studio Press. Θεσσαλονίκη.
114. Βουλτσιάδου Ε., Αμπατζόπουλος Θ, Αντωνοπούλου Ε., Γκάνιας Κ., Γκέλης Σ., Στάικου Α., Τριανταφυλλίδης Α.. 2015. Υδατοκαλλιέργειες Οργανισμοί, συστήματα παραγωγής, προοπτικές. ΣΕΑΒ. Θεσσαλονίκη.
115. Καββαδίας Σ.. 2002. Ετήσιες διακυμάνσεις αιματολογικών παραμέτρων στο ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax L.*) και συσχετισμός τους με τις φυσιολογικές μεταβολές αβιοτικών παραμέτρων, σε εντατική εκτροφή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). 2002

116. Κότσυφα Α.. 2014. Διαχείριση ποιότητας και ασφάλειας κατά την παραγωγική διαδικασία ιχθύων υδατοκαλλιέργειας, Διπλωματική εργασία.
117. Κυρκούδης Ι.. 2006.), Συμβολή στη μελέτη της μικροβιακής χλωρίδας και ιδιαίτερα των *Vibrio* spp. σε ιχθυογεννητικούς σταθμούς τσιπούρας και λαβρακιού στην Ελλάδα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Θεσσαλονίκη.
118. Λάμπρου Ε.. 2017. ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΙΟΥ NODA ΣΕ ΑΛΙΕΥΜΑΤΑ, ΔΙΘΥΡΑ ΚΑΙ ΙΧΘΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΑΘΟΓΕΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΤΟ ΛΑΒΡΑΚΙ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΥΛΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΙΟΥ ΣΤΟΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΨΑΡΙΟΥ, Διδακτορική διατριβή. Καρδίτσα.
119. Μπακλώρη Χ.. 2010. Κινητική μελέτη δεικτών διατηρησιμότητας καπνιστού χελιού (Διπλωματική Εργασία). Αθήνα.
120. Παπαναστασίου Δ.. 1990. Τεχνολογία και ποιοτικός έλεγχος αλιευμάτων Ι. Εκδόσεις Ίων.
121. ΣΕΘ, Σύνδεσμος Ελλήνων Θαλασσοκαλλιεργειών. 2017. Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια 2017.
122. Τζια Κ., Ταούκης Π., Ωραιοπούλου Β.. 2007. Επιστήμη και Μηχανική Τροφίμων Συστατικά – Ιδιότητες – Ρεολογία – Μικροβιολογία – Ποιότητα – Συσκευασία. Εκδόσεις Ε.Μ.Π..
123. Τούλη Α.. 2013. Έξυπνη συσκευασία: Μελέτη και εφαρμογή χρονο-θερμοκρασιακών δεικτών (ΤΤΙ) στη ψυκτική αλυσίδα κατεψυγμένων θαλασσινών. Διπλωματική εργασία. Αθήνα.
124. Τσιρώνη Θ..Ν.. 2010, Μελέτη μη θερμικών προκατεργασιών για τη βελτίωση διατηρησιμότητας ιχθυηρών. Αθήνα.
125. ΥΠΑΑΤ, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. 2014. Πολυετές Εθνικό Στρατηγικό Σχέδιο για την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα 2014-2020. Αθήνα.
126. Φλέρης Γ. 2004. Συνδυασμένη επίδραση του σώματος των δεξαμενών και του εμπλουτισμού της τροφής με λιπαρά οξέα σε αναπτυσσόμενα άτομα κυπρίνου, *Cyprinus carpio*, λαβρακιού, *Dicentrarchus labrax* και τσιπούρας, *Sparus aurata*. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.
127. Χώτος Γ., Ρογδάκης Ι., 1992. Υδατοκαλλιέργειες ευρυαλών ψαριών – Λαβράκι και Τσιπούρα (Τεχνικές της Αναπαραγωγής και Πάχυνσης). Εκδόσεις Ίων. Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Τριγωνική δοκιμή σε νωπά δείγματα

Πίνακας 1: Αποτελέσματα τριγωνικής οργανοληπτικής δοκιμής σε νωπά φιλέτα λαβρακιού (0: ίδιο δείγμα, 1: διαφορετικό)

Δοκιμαστής	Μη επεξεργασμένα	OD	Μη επεξεργασμένα
	713	821	946
1	0	1	0
2	0	1	0
3	0	1	0
4	0	1	0
5	0	1	0
6	0	1	0
7	0	1	0
8	0	1	0
9	0	1	0
10	0	1	0

Πίνακας 2: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης δύο παραγόντων χωρίς αλληλεπίδραση για την τριγωνική οργανοληπτική δοκιμή σε νωπά φιλέτα λαβρακιού

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	Πλήθος	Άθροισμα	Μέσος όρος	Διακύμανση
1	3	1	0,333333333	0,333333333
2	3	1	0,333333333	0,333333333
3	3	1	0,333333333	0,333333333
4	3	1	0,333333333	0,333333333
5	3	1	0,333333333	0,333333333
6	3	1	0,333333333	0,333333333
7	3	1	0,333333333	0,333333333
8	3	1	0,333333333	0,333333333
9	3	1	0,333333333	0,333333333
10	3	1	0,333333333	0,333333333
713	10	0	0	0
821	10	10	1	0
946	10	0	0	0

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

Προέλευση διακύμανσης	SS	βαθμοί ελευθερίας	MS	F	τιμή-P	κριτήριο F
Γραμμές	-3,6E-15	9	-3,94746E-16	-2	#ΑΡΙΘ!	2,456281149
Στήλες	6,666667	2	3,333333333	1,68885E+16	3,5E-138	3,554557146
Σφάλμα	3,55E-15	18	1,97373E-16			
Σύνολο	6,666667	29				

Δοκιμή αρέσκειας σε νωπά δείγματα

Πίνακας 3: Αποτελέσματα δοκιμής αρέσκειας σε νωπά φιλέτα λαβρακιού (1: κακό, 10: καλό)

Δοκιμαστής	Μη επεξεργασμένα	ΟΔ	Μη επεξεργασμένα
	713	821	946
1	9	10	9
2	10	9	10
3	10	9,5	10
4	10	6	10
5	9	10	9
6	10	10	10
7	8	6	7
8	8,5	10	8,5
9	9	10	9
10	8	10	8

Πίνακας 4: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης δύο παραγόντων χωρίς αλληλεπίδραση για την δοκιμή αρέσκειας σε νωπά φιλέτα λαβρακιού

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	Πλήθος	Άθροισμα	Μέσος όρος	Διακύμανση
1	3	28	9,333333	0,333333
2	3	29	9,666667	0,333333
3	3	29,5	9,833333	0,083333
4	3	26	8,666667	5,333333
5	3	28	9,333333	0,333333
6	3	30	10	0
7	3	21	7	1
8	3	27	9	0,75
9	3	28	9,333333	0,333333
10	3	26	8,666667	1,333333
713	10	91,5	9,15	0,669444
821	10	90,5	9,05	2,691667

946

10

90,5

9,05

1,025

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

Προέλευση διακύμανσης	SS	βαθμοί ελευθερίας	MS	F	τιμή-P	κριτήριο F
Γραμμές	19,875	9	2,208333	2,028061	0,096415	2,456281
Στήλες	0,066667	2	0,033333	0,030612	0,969902	3,554557
Σφάλμα	19,6	18	1,088889			
Σύνολο	39,54167	29				

Τριγωνική δοκιμή σε μαγειρεμένα δείγματα

Πίνακας 5: Αποτελέσματα τριγωνικής οργανοληπτικής δοκιμής σε μαγειρεμένα φιλέτα λαβρακιού (0: ίδιο δείγμα, 1: διαφορετικό)

Δοκιμαστής	Μη επεξεργασμένα	OD	Μη επεξεργασμένα
	157	634	896
1	1	0	0
2	1	0	0
3	1	0	0
4	1	0	0
5	1	0	0
6	1	0	0
7	1	0	0
8	1	0	0
9	1	0	0
10	1	0	0

Πίνακας 6: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης δύο παραγόντων χωρίς αλληλεπίδραση για την τριγωνική οργανοληπτική δοκιμή σε μαγειρεμένα φιλέτα λαβρακιού

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	Πλήθος	Άθροισμα	Μέσος όρος	Διακύμανση
1	3	1	0,333333	0,333333
2	3	1	0,333333	0,333333
3	3	1	0,333333	0,333333
4	3	1	0,333333	0,333333
5	3	1	0,333333	0,333333
6	3	1	0,333333	0,333333
7	3	1	0,333333	0,333333
8	3	1	0,333333	0,333333
9	3	1	0,333333	0,333333
10	3	1	0,333333	0,333333
157	10	10	1	0
634	10	0	0	0
896	10	0	0	0

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

Προέλευση διακύμανσης	SS	βαθμοί ελευθερίας	MS	F	τιμή-P	κριτήριο F
Γραμμές	-3,6E-15	9	-3,9E-16	-2	#ΑΡΙΘ!	2,456281149
Στήλες	6,666667	2	3,333333	1,69E+16	3,5E-138	3,554557146
Σφάλμα	3,55E-15	18	1,97E-16			
Σύνολο	6,666667	29				

Δοκιμή αρέσκειας σε μαγειρεμένα δείγματα

Πίνακας 7: Αποτελέσματα δοκιμής αρέσκειας σε μαγειρεμένα φιλέτα λαβρακιού (1: κακό, 10: καλό)

Δοκιμαστής	Μη επεξεργασμένα	ΟΔ	Μη επεξεργασμένα
	157	634	896
1	8	10	10
2	5	10	10
3	8,5	7	7,5
4	10	8,5	8,5
5	10	10	10
6	10	9	9
7	9,5	10	10
8	10	7	7
9	10	8	8,5
10	10	8	8

Πίνακας 8: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης δύο παραγόντων χωρίς αλληλεπίδραση για την δοκιμή αρέσκειας σε νωπά φιλέτα λαβρακιού

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	Πλήθος	Άθροισμα	Μέσος όρος	Διακύμανση
1	3	28	9,333333	1,333333
2	3	25	8,333333	8,333333
3	3	23	7,666667	0,583333
4	3	27	9	0,75
5	3	30	10	0
6	3	28	9,333333	0,333333
7	3	29,5	9,833333	0,083333
8	3	24	8	3
9	3	26,5	8,833333	1,083333
10	3	26	8,666667	1,333333
157	10	91	9,1	2,6
634	10	87,5	8,75	1,513889
896	10	88,5	8,85	1,280556

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

<i>Προέλευση διακύμανσης</i>	<i>SS</i>	<i>βαθμοί ελευθερίας</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>τιμή-P</i>	<i>κριτήριο F</i>
Γραμμές	15,53333	9	1,725926	0,940939	0,515245	2,456281
Στήλες	0,65	2	0,325	0,177183	0,83907	3,554557
Σφάλμα	33,01667	18	1,834259			
Σύνολο	49,2	29				