



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Εφαρμογή εδώδιμων επικαλυμμάτων και βιοδραστικών ουσιών για την παραγωγή αλιευτικών προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας»

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΛΛΙΑΣ

ΒΟΛΟΣ, 2025



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC
ENVIRONMENT

POSTGRADUATE PROGRAMME
“MEDITERRANEAN AQUACULTURE”

POSTGRADUATE MASTER’S THESIS

**“Application of edible coatings and bioactive compounds for the
production of high added value seafood”**

NIKOLAOS MALLIAS

VOLOS, 2025

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Φωτεινή Φ. Παρλαπάνη**, Επίκουρος Καθηγήτρια, Μοριακή Μικροβιολογία και Ποιότητα Αλιευτικών Προϊόντων – Τροφίμων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπουσα*.
- 2) **Ιωάννης Σ. Μποζιάρης**, Καθηγητής, Υγιεινή και Συντήρηση Ιχθυηρών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.
- 3) **Παναγιώτα Παναγιωτάκη**, Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

Στην οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να εκφράσω την βαθιά ευγνωμοσύνη μου σε όσους με βοήθησαν στην περάτωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, η οποία συντελέστηκε στη Σχολή Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας μου, Επίκουρη Καθηγήτρια κα Φωτεινή Παρλαπάνη. Την ευχαριστώ τόσο για την ανεκτίμητη καθοδήγησή της και την αδιάλειπτη βοήθειά της στη διάρκεια του πειράματος και στη συγγραφή αυτής της εργασίας, όσο και για την παροχή του κατάλληλου εργαστηριακού χώρου αλλά και υλικών που συνετέλεσαν στην ορθή διεξαγωγή του πειράματος. Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Μποζιάρη και την Καθηγήτρια κα Παναγιωτάκη Παναγιώτα, για τις χρήσιμες συμβουλές και την καθοδήγησή τους κατά την εκπόνηση της μελέτης.

Επιπλέον, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους υποψήφιους διδάκτορες κα Ευαγγελία Καραμάνη, κα Σταυρούλα Λέτσιου και κ. Αθανάσιο Τσιαρτσάφη, καθώς και τον μεταδιδακτορικό ερευνητή Δρ. Δημήτρη Αναγνωστόπουλο, για την άμεση βοήθειά τους στο Εργαστήριο Εμπορίας & Τεχνολογίας Αλιευτικών Προϊόντων & Τροφίμων, καθώς και για την απεριόριστη υποστήριξή τους κατά την εκπόνηση του πειράματος.

Κλείνοντας θέλω να εκφράσω την βαθιά μου ευγνωμοσύνη στη σύζυγό μου, που στάθηκε δίπλα μου με αγάπη, υπομονή και στήριξη σε κάθε μου βήμα. Χωρίς την κατανόηση και τη δύναμή της, αυτό το ταξίδι δεν θα ήταν το ίδιο. Ευχαριστώ επίσης τα δυο μου παιδιά, που με το χαμόγελό τους μου έδιναν κουράγιο και έμπνευση να συνεχίζω. Η παρουσία τους στη ζωή μου είναι η μεγαλύτερη κινητήριο δύναμη. Αυτή η εργασία τους ανήκει όσο και σε εμένα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι εδώδιμες επικαλύψεις αποτελούν ασφαλή και αποτελεσματική προσέγγιση για την παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων. Σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας ήταν η ανάπτυξη καινοτόμων αλιευτικών προϊόντων, αποθηκευμένων σε εδώδιμες βιοαποικοδομήσιμες συσκευασίες, με στόχο την αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης και την παράταση της εμπορικής διάρκειας ζωής αποφλοιωμένης γαρίδας των βαθέων υδάτων (*Parapenaeus longirostris*) υπό συνθήκες ψύξης στους 4°C. Για την επίτευξη του εν λόγω στόχου, παρασκευάστηκε διάλυμα εδώδιμων επικαλύψεων, το οποίο περιείχε αλγινικό νάτριο σε συγκέντρωση 1,5% (w/v) και γλυκερόλη σε ποσοστό 10% (v/v) καθώς και μία συνταγή με φυσικά αντιμικροβιακά συστατικά, αποτελούμενη από χυμό lime 97.5%, ρίγανη 1.2% και σκόνη τζίντζερ 1.2%. Οι τέσσερις (4) μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: Γαρίδες μετά την αφαίρεση του κελύφους (Μάρτυρας, Μεταχείριση 1^η), Γαρίδες εμβαπτισμένες σε διάλυμα με αλγινικό νάτριο και γλυκερόλη (Μεταχείριση 2^η), Γαρίδες καθαρισμένες και εμβαπτισμένες σε μαρινάδα με χυμό λάιμ, τζίντζερ και ρίγανη (Μεταχείριση 3^η) και Γαρίδες με χυμό λάιμ, τζίντζερ και ρίγανη και στη συνέχεια εμβαπτισμένες σε διάλυμα που περιείχε αλγινικό νάτριο και γλυκερόλη (Μεταχείριση 4^η). Σύμφωνα με την οργανοληπτική αξιολόγηση, η 4^η μεταχείριση παρουσίασε μεγαλύτερο χρόνο ζωής κατά 4 ημέρες σε σχέση με τον μάρτυρα και με τις γαρίδες της 2^{ης} μεταχείρισης. Όσον αφορά τους μικροβιακούς πληθυσμούς, η Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα (OMX) αρχικά ήταν στα επίπεδα των 3,65 log cfu/g ενώ ξεπέρασε τους 7 log cfu/g την ημέρα απόρριψης για όλες τις μεταχειρίσεις. Τα *Pseudomonas* spp., οι ζύμες και οι μύκητες βρέθηκαν ως οι κυρίαρχοι μικροοργανισμοί στην λήξη του εμπορικού χρόνου ζωής σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ τα *Enterobacteriaceae*, Οξυγαλακτικά και H₂S βακτήρια, βρέθηκαν σε πληθυσμούς πολύ χαμηλότερους. Συνολικά, οι επικαλύψεις με το αλγινικό νάτριο 1,5%

(w/v) και γλυκερόλη 10% (v/v) βρέθηκε να επιμηκύνουν το χρόνο ζωής των γαρίδων κατά μια μέρα, ενώ οι γαρίδες που μεταχειρίστηκαν με την μαρινάδα, με ή χωρίς επικάλυψη, βρέθηκε να επιμηκύνουν το χρόνο ζωής των γαρίδων έως και 4 μέρες.

Λέξεις-κλειδιά: *Εδώδιμες επικαλύψεις, Αλγινικά άλατα, Εμπορικός χρόνος ζωής, Ειδικοί Αλλοιωγόνι Μικροοργανισμοί (EAM), γαρίδα (Parapenaeus longirostris)*

ABSTRACT

Edible coatings constitute a safe and effective approach to extending the shelf life of food products. The aim of this Master's Thesis was the development of innovative fishery products, stored in edible biodegradable packaging, with the goal of inhibiting microbial growth and extending the commercial shelf life of deep-water peeled shrimp (*Parapenaeus longirostris*) under refrigerated conditions at 4°C. To achieve this objective, an edible coating solution was prepared, containing sodium alginate at a concentration of 1.5% (w/v) and glycerol at 10% (v/v), as well as a formulation with natural antimicrobial ingredients consisting of 97.5% lime juice, 1.2% oregano, and 1.2% ginger powder. The four (4) treatments applied were :1) Control (Treatment 1): Peeled shrimp without any further processing, 2) Treatment 2: Peeled shrimp dipped in the sodium alginate and glycerol solution, 3) Treatment 3: Peeled shrimp dipped in a marinade containing lime juice, ginger, and oregano, 4) Treatment 4: Peeled shrimp marinated with lime juice, ginger, and oregano and subsequently dipped in the sodium alginate and glycerol solution. According to the sensory evaluation, Treatment 4 exhibited a shelf-life extension of 4 days compared to the control and Treatment 2. Regarding microbial populations, the Total Mesophilic Flora (TMF) was initially at 3.65 log cfu/g and exceeded 7 log cfu/g at the point of rejection for all treatments. *Pseudomonas spp.*, yeasts, and molds were identified as the dominant microorganisms at the end of the commercial shelf life in all cases, while *Enterobacteriaceae*, lactic acid bacteria, and H₂S-producing bacteria were found in significantly lower populations. Overall, coatings containing 1.5% (w/v) sodium alginate and 10% (v/v) glycerol were found to extend the shrimp's shelf life by one day, while shrimp treated with the marinade, with or without the coating, exhibited a shelf-life extension of up to four days.

Keywords: Edible coatings, Alginate salts, Commercial shelf life, Specific Spoilage
Organisms (SSOs), Shrimp (*Parapenaeus longirostris*)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	10
1. Εισαγωγή	12
1.1 Αλλοίωση ιχθυηρών	13
1.1.1 Παράγοντες αλλοίωσης	13
1.1.2 Ενδείξεις αλλοίωσης	14
1.1.3 Ειδικοί Αλλοιωγόνοι Μικροοργανισμοί στους ιχθύες	16
1.2 Μέθοδοι συντήρησης αλιευτικών προϊόντων	18
1.2.1 Ψύξη και κατάψυξη	19
1.2.2 Ξήρανση και αφυδάτωση	20
1.2.3 Αλάτισμα και κάπνιση	21
1.2.4 Μαρινάρισμα και χημική συντήρηση	22
1.2.5 Συσκευασία υπό Τροποποιημένη Ατμόσφαιρα (MAP)	23
1.2.6 Βιοτεχνολογικές προσεγγίσεις	24
1.2.7 Συσκευασία σε κενό αέρος ή σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα απουσία οξυγόνου	24
1.2.8 Συμπύκνωση	25
1.2.9 Ακτινοβολίες Ιονισμού	26
1.2.10 Υψηλές υδροστατικές πιέσεις	26
1.2.11 Ζύμωση	27
1.2.12 Νεότερες μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας	27
1.3 Συσκευασία Τροφίμων	28
1.3.1 Κατηγορίες Υλικών Συσκευασίας	29
Πλαστικά	29
Γυαλί	30
Μέταλλα	30
Χαρτί και Χαρτόνι	30
Βιοδιασπώμενα Υλικά	30
1.3.2. Κατηγορίες Υλικών Συσκευασίας Τροφίμων	30
1.3.3 Ιδιότητες και Απαιτήσεις των Υλικών Συσκευασίας	31
1.3.4 Νομοθεσία σχετικά με τα υλικά συσκευασίας τροφίμων	33
1.4 Εδώδιμες Μembrάνες	34
1.4.1 Σύνθεση και Ιδιότητες	34
1.4.2 Εφαρμογές στη Βιομηχανία Τροφίμων	36
1.4.3 Περιορισμοί και Μελλοντικές Προοπτικές	36
1.4.4 Παρασκευή Εδώδιμων Μembrανών	37
1.5 Αλγινικά Άλατα	38
1.6 Νομικό Πλαίσιο και Ασφάλεια Εδώδιμων Μembrανών	39
1. Codex Alimentarius	39
2. Κανονισμός (ΕΚ) 1935/2004	39
3. Κανονισμός (ΕΕ) 10/2011 για τα Πλαστικά Υλικά	39
	10

4. FDA Regulations (ΗΠΑ)	40
1.7 Πρόσθετα συστατικά στα Τρόφιμα	40
1.8 Αντιμικροβιακοί Παράγοντες	41
1.9 <i>Parapneaeus longirostris</i> : Βιολογία, Αλιεία και Οικολογική Σημασία	46
1.10 Σκοπός Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας	48
2. Υλικά και μέθοδοι	49
2.1 Προέλευση γαρίδων	49
2.2 Πειραματικός Σχεδιασμός	49
2.3 Εκτίμηση εμπορικού χρόνου ζωής	54
2.4 Μικροβιολογική Ανάλυση	54
3.Αποτελέσματα	57
3.1 Εμπορικός Χρόνος ζωής	57
3.2 Μικροβιακές Μεταβολές	62
3.2.1 Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα (OMX)	62
3.2.2. <i>Pseudomonas</i> spp.	63
3.2.3. Υδροθειοπαραγωγά βακτήρια	64
3.2.4. Οξυγαλακτικά βακτήρια	65
3.2.5 Βακτήρια οικογένειας Enterobacteriaceae	66
3.2.6 Ζύμες και Μύκητες	67
3.3 Μεταβολές ενεργούς οξύτητας	68
4. Συζήτηση	70
4.1 Ανάλυση των αποτελεσμάτων και ερμηνεία	71
4.1.1 Πιθανά αίτια των διαφορών	72
4.2 Σημασία των ευρημάτων και επιπτώσεις	73
4.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	75
4.4 Συνοπτική αποτίμηση	76
5.Συμπεράσματα	77
6. Βιβλιογραφία	80

1. Εισαγωγή

1.1 Αλλοίωση ιχθυηρών

Η αλλοίωση των ιχθυηρών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στη βιομηχανία των αλιευτικών προϊόντων. Τα ιχθυηρά είναι ιδιαίτερα ευπαθή λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε υγρασία, της παρουσίας ακόρεστων λιπαρών οξέων και της δράσης ενδογενών ενζύμων και μικροοργανισμών (Gram & Huss, 1996). Η αποικοδόμηση των πρωτεϊνών και των λιπιδίων που περιέχουν οδηγεί στην παραγωγή ανεπιθύμητων οσμών και γεύσεων, καθιστώντας τα ακατάλληλα προς κατανάλωση (Olafsdottir et al., 1997). Η μικροβιακή ανάπτυξη αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα αλλοίωσης των ιχθυηρών, με βακτήρια όπως οι *Pseudomonas* spp., *Shewanella putrefaciens* και *Photobacterium phosphoreum* να ευθύνονται για την παραγωγή πτητικών ενώσεων όπως αμμωνία, σουλφίδια και αμίνες (Huss, 1995). Επιπλέον, οι λιπιδικές οξειδώσεις, οι οποίες επιταχύνονται από την παρουσία οξυγόνου και μεταλλικών ιόντων, έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ταγγών γεύσεων και τη μείωση της διατροφικής αξίας των προϊόντων (Frankel, 2005). Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι συντήρησης όπως η ψύξη, η κατάψυξη, η τροποποιημένη ατμόσφαιρα και η χρήση φυσικών ή συνθετικών αντιμικροβιακών ουσιών (Ghaly et al., 2010). Ωστόσο, οι σύγχρονες τάσεις επικεντρώνονται σε καινοτόμες προσεγγίσεις, όπως η χρήση εδώδιμων βιοδιασπώμενων συσκευασιών, οι οποίες όχι μόνο προστατεύουν το προϊόν από αλλοίωση, αλλά παράλληλα προσφέρουν λειτουργικά οφέλη, ενσωματώνοντας αντιοξειδωτικά και αντιμικροβιακά συστατικά (López de Dicastillo et al., 2012). Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη αλιευτικών προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας σε συνδυασμό με τη χρήση εδώδιμων συσκευασιών παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς δύναται να

βελτιώσει τη διατηρησιμότητα και την ποιότητα των προϊόντων, ενώ ταυτόχρονα να συμβάλλει στη βιωσιμότητα της αλιευτικής βιομηχανίας.

1.1.1 Παράγοντες αλλοίωσης

Η αλλοίωση των ιχθυηρών είναι αποτέλεσμα ενός συνδυασμού χημικών, μικροβιολογικών και ενζυμικών διεργασιών, οι οποίες επηρεάζονται από διάφορους ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε υγρασία και ακόρεστα λιπαρά οξέα, τα ιχθυηρά παρουσιάζουν έντονη τάση αλλοίωσης, γεγονός που περιορίζει τη διάρκεια ζωής τους (Gram & Dalgaard, 2002). Η μικροβιακή αλλοίωση αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα αλλοίωσης των ιχθυηρών, καθώς τα ψάρια φιλοξενούν ένα πλούσιο μικροβιακό φορτίο τόσο στην επιφάνειά τους όσο και στο γαστρεντερικό τους σύστημα. Τα ψυχρόφιλα βακτήρια, όπως τα *Pseudomonas* spp., *Shewanella putrefaciens* και *Photobacterium phosphoreum* (για τους ιχθύες της Β. Θάλασσας μόνο), αναπτύσσονται γρήγορα σε συνθήκες ψύξης και παράγουν μεταβολίτες όπως αμίνες, σουλφίδια και οργανικά οξέα, τα οποία ευθύνονται για την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οσμών και γεύσεων (Huss, 1995). Η παρουσία οξυγόνου επιταχύνει την ανάπτυξη αερόβιων μικροοργανισμών, ενώ η τροποποιημένη ατμόσφαιρα και οι χαμηλές θερμοκρασίες επιβραδύνουν τη μικροβιακή ανάπτυξη (Dalgaard, 2006). Η χημική αλλοίωση σχετίζεται κυρίως με την οξείδωση των λιπιδίων, η οποία οδηγεί στην ανάπτυξη ταγγών γεύσεων και στην απώλεια της διατροφικής αξίας των προϊόντων. Τα ιχθυηρά περιέχουν υψηλές ποσότητες πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, τα οποία είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε οξειδωτικές διεργασίες. Η οξείδωση αυτή επηρεάζεται από την παρουσία οξυγόνου, μεταλλικών ιόντων (π.χ. Fe^{2+} , Cu^{2+}), φωτός και αυξημένης θερμοκρασίας (Frankel, 2005). Επιπλέον, η αυτοοξείδωση των λιπιδίων και οι αντιδράσεις με ελεύθερες ρίζες οδηγούν στην παραγωγή αλδευδών και κετονών, οι οποίες επιδεινώνουν την ποιότητα του προϊόντος (Shahidi & Zhong, 2010). Οι

φυσικοχημικοί παράγοντες, όπως η μεταβολή της υγρασίας και η απώλεια νερού, επηρεάζουν επίσης την ποιότητα των ιχθυηρών. Η αφυδάτωση των μυϊκών ιστών κατά την αποθήκευση οδηγεί σε απώλεια της υφής και στην ανάπτυξη επιφανειακών αλλοιώσεων, ενώ η απορρόφηση ανεπιθύμητων οσμών από το περιβάλλον επηρεάζει τη συνολική αποδοχή του προϊόντος (Flick et al., 2001). Τέλος, η ενζυμική αλλοίωση των ιχθυηρών σχετίζεται με τη δράση πρωτεολυτικών και λιπολυτικών ενζύμων, τα οποία συνεχίζουν να λειτουργούν και μετά τη θανάτωση του οργανισμού. Τα ένζυμα αυτά διασπούν τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια, συμβάλλοντας στη δημιουργία ανεπιθύμητων υφών, γεύσεων και οσμών. Ιδιαίτερη σημασία έχει η δράση της τριμεθυλαμινικής οξειδάσης (TMAO), η οποία μετατρέπει την τριμεθυλαμίνη (TMA) σε οξείδιο, προκαλώντας τη χαρακτηριστική οσμή αμμωνίας σε αλιευτικά προϊόντα χαμηλής ποιότητας (Hultmann & Rustad, 2004). Η κατανόηση των παραγόντων αλλοίωσης των ιχθυηρών αποτελεί βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη καινοτόμων στρατηγικών συντήρησης και βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων. Η χρήση εδωδιμων συσκευασιών με αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες μπορεί να συμβάλει στη μείωση των παραγόντων αυτών, βελτιώνοντας τη διατηρησιμότητα και τη συνολική ασφάλεια των αλιευτικών προϊόντων.

1.1.2 Ενδείξεις αλλοίωσης

Οι ενδείξεις αλλοίωσης βάσει των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών είναι οι εξής:

- i. Μεταβολές στη γεύση

Η γεύση αποτελεί βασικό κριτήριο για την αποδοχή ενός προϊόντος από τους καταναλωτές. Τα φρέσκα ψάρια και θαλασσινά είναι σχεδόν άοσμα, καθώς περιέχουν περιορισμένες ποσότητες πτητικών ενώσεων. Αμέσως μετά την αλίευση, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους παραμένουν αναλλοίωτα. Ωστόσο, η απουσία

έντονων οσμών δεν υποδηλώνει πάντοτε τη φρεσκάδα, καθώς η αντίληψη της ποιότητας ποικίλλει ανάλογα με τον καταναλωτή. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, η δράση ενζύμων μετά τον θάνατο του ψαριού μπορεί να επηρεάσει τη γεύση του. Η ταχεία οξείδωση των ακόρεστων λιπαρών οξέων συμβάλλει καθοριστικά στις μεταβολές της οσμής, της γεύσης, της υφής και του χρώματος, καθώς και στη μείωση της διατροφικής αξίας. Επιπλέον, η ενζυμική και μη ενζυμική οξείδωση των πολυακόρεστων λιπαρών οδηγεί στη δημιουργία καρβονυλίων και αλκοολών, ουσιών που συμβάλλουν στις αλλαγές της γεύσης. Παράλληλα, η ανάπτυξη πτητικών ενώσεων από μικροοργανισμούς επιταχύνει την απώλεια της χαρακτηριστικής φρεσκάδας του ψαριού. (Venugopal, 2006).

ii. Αλλαγές στην υφή

Η υφή αποτελεί βασικό παράγοντα για την ποιότητα των μυϊκών τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών. Τα ιχθυηρά είναι πιο τρυφερά σε σύγκριση με το κόκκινο κρέας, καθώς περιέχουν μικρότερη ποσότητα συνδετικού ιστού. Η αποδόμηση της σάρκας των ψαριών σχετίζεται με την αποδέσμευση της ακτινίνης, τη φθορά και τη μετουσίωση του συνδετικού ιστού. Διάφορες μυϊκές πρωτεάσες συμβάλλουν στη διαδικασία αυτή, όπως η D-καθεψίνη και η L-καθεψίνη, οι πρωτεάσες που ενεργοποιούνται από ασβέστιο (καλπαΐνες), καθώς και ένζυμα όπως η τρυψίνη, η χυμοτρυψίνη, οι αλκαλικές πρωτεάσες και οι κολλαγενασές. Όλοι αυτοί οι παράγοντες συντελούν στη σταδιακή απώλεια της δομικής συνοχής του ιστού των ψαριών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

iii. Αποχρωματισμός

Ένα σημαντικό ζήτημα που επηρεάζει την ποιότητα στη βιομηχανία θαλασσινών είναι η αποχρωμάτωση των προϊόντων. Το ροζ-ερυθρό χρώμα που χαρακτηρίζει το δέρμα πολλών ψαριών τείνει να ξεθωριάζει κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας, είτε σε ψύξη είτε σε κατάψυξη. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται

κυρίως στην οξείδωση των καροτενοειδών χρωστικών. Η έκταση του αποχρωματισμού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος του ψαριού, η διαθεσιμότητα οξυγόνου και η θερμοκρασία αποθήκευσης. Επιπλέον, μια ακόμη αιτία μεταβολής του χρώματος είναι η οξείδωση των μυοσφαιρινών που βρίσκονται στους μυϊκούς ιστούς. Η μετατροπή της ερυθρής μυοσφαιρίνης σε καστανή μεθμυοσφαιρίνη μπορεί να προκύψει τόσο μέσω ενζυμικών όσο και μέσω μη ενζυμικών μηχανισμών. (Venugopal, 2006).

iv. Μελάνωση

Η μελάνωση, δηλαδή η εμφάνιση σκοτεινών κηλίδων, αποτελεί ένα σημαντικό ποιοτικό πρόβλημα που παρατηρείται στα ψάρια, ιδίως στα καρκινοειδή, όπως οι γαρίδες και οι αστακοί. Το φαινόμενο αυτό μειώνει την εμπορική αξία των προϊόντων και επηρεάζει αρνητικά την αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Η μελάνωση προκύπτει μέσω ενός βιοχημικού μηχανισμού, κατά τον οποίο οι φαινόλες μετατρέπονται σε κινόνες με τη βοήθεια του ενζύμου πολυφαινολοξειδάση (PPO). Οι κινόνες είναι ιδιαίτερα δραστικές και, μέσω μη ενζυμικής οξείδωσης και πολυμερισμού, σχηματίζουν σκούρες χρωστικές με υψηλό μοριακό βάρος. Επιπλέον, η διαδικασία αυτή μπορεί να ενεργοποιηθεί από εξωτερικούς παράγοντες, όπως απορρυπαντικά, οργανικούς διαλύτες, ακτινοβολία γ και υψηλές θερμοκρασίες, καθώς και από ανοσολογικές αντιδράσεις που οφείλονται σε μικροβιακή μόλυνση. Σύμφωνα με τους κανονισμούς των Ηνωμένων Πολιτειών, η παρουσία θειώδους πρέπει να επισημαίνεται εφόσον η συγκέντρωσή του υπερβαίνει τα 10 ppm, προκειμένου να ενημερώνονται οι καταναλωτές, καθώς η υπερβολική πρόσληψη μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικές διαταραχές. Πειραματικές μελέτες, τόσο σε εργαστηριακό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο, έχουν δείξει ότι η 4-εξυλο-ρεσορκινόλη μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση έναντι του θειώδους ως αναστολέας σχηματισμού μαύρων κηλίδων στις γαρίδες. (Venugopal, 2006).

1.1.3 Ειδικοί Αλλοιωγόνοι Μικροοργανισμοί στους ιχθύες

Η αλλοίωση των ιχθύων αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία συνδέεται κυρίως με τη δράση μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στη σάρκα τους μετά την αλίευση. Οι μικροβιακές κοινότητες που ευθύνονται για τη μείωση της ποιότητας των ιχθυηρών διαφέρουν ανάλογα με το είδος του ψαριού, το περιβάλλον στο οποίο αλιεύθηκε, καθώς και τις συνθήκες επεξεργασίας και συντήρησης (Gram & Huss, 1996). Η δράση αυτών των μικροοργανισμών οδηγεί στην παραγωγή πτητικών ενώσεων, δυσάρεστων οσμών, μεταβολών στη γεύση και την υφή, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να παραχθούν ουσίες οι οποίες πάνω από κάποια συγκέντρωση να είναι τοξικές για τον άνθρωπο (πχ. ισταμίνη). Οι μικροοργανισμοί που θεωρούνται κύριοι υπεύθυνοι για την αλλοίωση των ιχθύων περιλαμβάνουν βακτήρια των γενών *Pseudomonas*, *Shewanella*, *Photobacterium* και *Vibrio* (Dalgaard et al., 1995). Τα *Pseudomonas* spp. επικρατούν κυρίως σε νωπά αλιεύματα που διατηρούνται σε ψύξη, καθώς χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και να παράγουν πρωτεολυτικά και λιπολυτικά ένζυμα. Τα ένζυμα αυτά προκαλούν διάσπαση πρωτεϊνών και λιπών, οδηγώντας στην παραγωγή αμμωνίας, αμινών και θειούχων ενώσεων, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την έντονη και δυσάρεστη οσμή των αλλοιωμένων ιχθύων (Gram et al., 2002). Το *Shewanella putrefaciens* αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους αλλοιωγόνους μικροοργανισμούς σε ψάρια που αποθηκεύονται υπό ψύξη, καθώς χρησιμοποιεί το οξείδιο της τριμεθυλαμίνης (TMAO) ως αποδέκτη ηλεκτρονίων, μετατρέποντάς το σε τριμεθυλαμίνη (TMA). Η TMA είναι υπεύθυνη για τη χαρακτηριστική οσμή των αλλοιωμένων ψαριών (Dalgaard et al., 1993). Παράλληλα, το *Photobacterium phosphoreum* έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί σημαντικές αλλοιώσεις σε ψάρια που αποθηκεύονται υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα, καθώς μπορεί να παράγει

μεγάλες ποσότητες TMA, ιδιαίτερα σε συνθήκες χαμηλής περιεκτικότητας οξυγόνου (Emborg et al., 2002). Το *Vibrio* spp. απαντάται συχνά σε θαλάσσια περιβάλλοντα και ορισμένα είδη του, όπως το *Vibrio vulnificus*, εκτός από την αλλοίωση των ιχθύων, ενδέχεται να προκαλέσουν λοιμώξεις στον άνθρωπο μέσω κατανάλωσης ανεπαρκώς θερμικά επεξεργασμένων θαλασσινών (Oliver, 2005). Επιπλέον, τα αναερόβια βακτήρια του γένους *Clostridium*, όπως το *Clostridium botulinum*, μπορούν να αναπτυχθούν σε συσκευασμένα προϊόντα αλιείας υπό αναερόβιες συνθήκες και να παράγουν νευροτοξίνες που είναι εξαιρετικά επικίνδυνες για τη δημόσια υγεία (Lindqvist & Lindblad, 2009). Η ανάπτυξη αυτών των μικροοργανισμών και η ταχύτητα με την οποία επηρεάζουν την ποιότητα των ιχθύων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Η θερμοκρασία αποθήκευσης παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς η ψύξη επιβραδύνει τη μικροβιακή ανάπτυξη, ενώ η έκθεση σε υψηλότερες θερμοκρασίες επιταχύνει τις αλλοιώσεις (Gram & Dalgaard, 2002). Η παρουσία οξυγόνου μπορεί να επηρεάσει τη σύνθεση των μικροβιακών πληθυσμών, με τα αερόβια βακτήρια, όπως τα *Pseudomonas* spp., να κυριαρχούν σε συνθήκες ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ τα αναερόβια βακτήρια, όπως το *Clostridium* spp., να αναπτύσσονται σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα ή σε κενού συσκευασμένα προϊόντα. Η υγρασία και το pH της σάρκας των ιχθύων αποτελούν επίσης σημαντικούς παράγοντες που καθορίζουν την ταχύτητα της αλλοίωσης. Για την επιμήκυνση του χρόνου διατήρησης των ιχθύων και την καθυστέρηση της μικροβιακής αλλοίωσης, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές συντήρησης. Η ψύξη και η κατάψυξη είναι οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι, καθώς μειώνουν σημαντικά τη μικροβιακή δραστηριότητα. Επιπλέον, η χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη μείωση της ανάπτυξης αερόβιων αλλοιογόνων μικροοργανισμών (Lindqvist & Lindblad, 2009).

1.2 Μέθοδοι συντήρησης αλιευτικών προϊόντων

Η συντήρηση των αλιευτικών προϊόντων αποτελεί κρίσιμη διαδικασία για τη διατήρηση της ποιότητάς τους, την ασφάλεια των καταναλωτών και τη μείωση των απωλειών στη βιομηχανία τροφίμων. Τα προϊόντα αυτά είναι ιδιαίτερα ευπαθή λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε νερό και των ευνοϊκών συνθηκών που προσφέρουν για την ανάπτυξη μικροοργανισμών (Gram & Dalgaard, 2002). Η συντήρηση μπορεί να επιτευχθεί με φυσικές, χημικές και βιολογικές μεθόδους, οι οποίες συμβάλλουν στην επιβράδυνση των αλλοιώσεων και στην παράταση της διάρκειας ζωής τους.

1.2.1 Ψύξη και κατάψυξη

Η ψύξη και η κατάψυξη είναι οι πιο διαδεδομένες φυσικές μέθοδοι συντήρησης αλιευτικών προϊόντων, ιδιαίτερα αποτελεσματικές για τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη αποθήκευση αντίστοιχα. Η ψύξη περιλαμβάνει τη διατήρηση του προϊόντος σε θερμοκρασίες 0–4°C, ενώ η κατάψυξη εφαρμόζεται σε θερμοκρασίες κάτω των -18°C. Η ψύξη επιβραδύνει σημαντικά τη δραστηριότητα των ενζύμων και την ανάπτυξη μικροοργανισμών, χωρίς όμως να τη σταματά εντελώς. Εξαιτίας της δράσης ψυχρόφιλων βακτηρίων, όπως των *Pseudomonas* και *Shewanella*, η διάρκεια ζωής των προϊόντων παραμένει περιορισμένη και απαιτείται αυστηρή ψυκτική αλυσίδα σε όλα τα στάδια (αλιεία, μεταφορά, αποθήκευση, λιανική). Αντίθετα, η κατάψυξη αναστέλλει ουσιαστικά τη μικροβιακή ανάπτυξη και μειώνει τις ενζυμικές δραστηριότητες στο ελάχιστο, καθιστώντας δυνατή τη μακροχρόνια συντήρηση. Το βασικό της πλεονέκτημα είναι η ικανότητα διατήρησης της ασφάλειας του τροφίμου για αρκετούς μήνες. Ωστόσο, η διαδικασία δημιουργίας παγοκρυστάλλων κατά την ταχεία ή βραδεία κατάψυξη μπορεί να προκαλέσει μηχανικές βλάβες στους ιστούς των ψαριών, αλλοιώνοντας την υφή τους και οδηγώντας σε απώλεια υγρών κατά την απόψυξη (Love, 1970). Η

αποτελεσματικότητα αυτών των μεθόδων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ο ρυθμός κατάψυξης παίζει σημαντικό ρόλο. Όσο ταχύτερη η κατάψυξη, τόσο μικρότεροι οι παγοκρύσταλλοι και λιγότερες οι βλάβες στη δομή του προϊόντος. Επίσης η διάρκεια και η σταθερότητα της θερμοκρασίας αποθήκευσης είναι πολύ σημαντικός παράγοντας. Οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά τη φύλαξη προκαλούν επανακρυστάλλωση και μεγαλύτερες ζημιές. Τέλος ιδιαίτερος σημαντική είναι και η συσκευασία. Η σωστή συσκευασία αποτρέπει την οξείδωση λιπαρών οξέων (τάγγισμα), την αφυδάτωση της επιφάνειας (καψάλισμα ψύξης) και τη διασταύρωση οσμών. Η χρήση της κατάψυξης και της ψύξης μπορεί να συνδυαστεί με άλλες μεθόδους (π.χ. MAP, κενού αέρος, εμβάπτιση σε άλμη) για την περαιτέρω παράταση της διάρκειας ζωής και την εξασφάλιση της μικροβιολογικής ασφάλειας, της σταθερότητας και της αποδοχής των προϊόντων από τους καταναλωτές (Huss, 1995; Mazur, 2004).

1.2.2 Ξήρανση και αφυδάτωση

Η ξήρανση και η αφυδάτωση αποτελούν από τις αρχαιότερες και απλούστερες μεθόδους συντήρησης τροφίμων, βασισμένες στην απομάκρυνση του νερού, το οποίο αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη μικροοργανισμών και τη δράση ενζύμων. Στην περίπτωση των αλιευτικών προϊόντων, η μείωση της υγρασίας κάτω από 15% είναι ικανή να εμποδίσει την ανάπτυξη των περισσότερων μικροοργανισμών, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής τους (Fu et al., 2017). Υπάρχουν διάφορες τεχνικές ξήρανσης: Μία μορφή αποτελεί η φυσική ξήρανση (παραδοσιακή/ηλιακή). Γίνεται με την απευθείας έκθεση του προϊόντος στον ήλιο και τον άνεμο. Αν και χαμηλού κόστους, εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και ενέχει κινδύνους μικροβιακής επιμόλυνσης ή απώλειας ποιότητας λόγω ακατάλληλης διαχείρισης. Εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την θερμική αφυδάτωση. Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται σε

ελεγχόμενα περιβάλλοντα με τη χρήση θερμαινόμενου αέρα. Παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια και σταθερότητα, ωστόσο η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τα ευαίσθητα θρεπτικά συστατικά και την υφή του προϊόντος. Τέλος μία άλλη μέθοδο αφυδάτωσης είναι η λυοφιλίωση (freeze-drying). Πρόκειται για προηγμένη μέθοδο που περιλαμβάνει την ταχεία κατάψυξη του προϊόντος και την εξάτμιση του πάγου σε κενό (εξάχνωση). Διατηρεί σε μεγάλο βαθμό την αρχική δομή, τη γεύση και τα θρεπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου, ωστόσο είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Η επιτυχής εφαρμογή ξήρανσης απαιτεί τον προσεκτικό έλεγχο παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η διάρκεια της διαδικασίας και η υγιεινή του περιβάλλοντος. Επιπλέον, συχνά εφαρμόζεται προκαταρκτική επεξεργασία (όπως εμβάπτιση σε άλμη ή ξίδι) για την ενίσχυση της σταθερότητας και της ασφάλειας του προϊόντος. Η αφυδάτωση και ξήρανση, εκτός από συντήρηση, συμβάλλουν στη μείωση του όγκου και του βάρους, διευκολύνοντας την αποθήκευση και τη μεταφορά, ενώ είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η χρήση ψύξης ή κατάψυξης.

1.2.3 Αλάτισμα και κάπνιση

Το αλάτισμα και το κάπνισμα είναι παραδοσιακές μέθοδοι συντήρησης που βασίζονται στη μείωση της υγρασίας και στη δημιουργία ενός εχθρικού περιβάλλοντος για τους μικροοργανισμούς. Η εφαρμογή τους στα αλιευτικά προϊόντα προσφέρει όχι μόνο αυξημένη διάρκεια ζωής αλλά και ιδιαίτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Αλάτισμα

Η βασική αρχή του αλατίσματος είναι η όσμωση. Το αλάτι απορροφά το νερό από τους ιστούς του ψαριού και ταυτόχρονα δημιουργεί ένα υπεροσμωτικό περιβάλλον που δεν ευνοεί την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων. Οι συγκεντρώσεις άλατος 15–20% είναι

επαρκείς για την αναστολή της ανάπτυξης των περισσότερων παθογόνων μικροοργανισμών (Doe et al., 1998). Το αλάτισμα μπορεί να γίνει είτε με ξηρή μέθοδο (προσθήκη αλατιού απευθείας πάνω στο προϊόν), είτε με την υγρή μέθοδο (εμβάπτιση σε διάλυμα άλατος) ή ως συνδυασμός και των δύο για καλύτερη διείδυση και πιο ομοιογενή κατανομή. Η διαδικασία επηρεάζει σημαντικά την υφή και τη γεύση του προϊόντος. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, το αλάτι ενδέχεται να προκαλέσει σκληρότητα και υπερβολική αλμυρότητα. Για τον λόγο αυτό, σε σύγχρονες πρακτικές επιδιώκεται η χρήση του σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές (όπως ψύξη ή τροποποιημένη ατμόσφαιρα), ώστε να μειωθούν οι συγκεντρώσεις χωρίς να μειωθεί η συντηρητική του δράση.

Κάπνιση

Η κάπνιση αποτελεί μέθοδο συντήρησης και ταυτόχρονα διαδικασία γευστικής ενίσχυσης. Βασίζεται στην έκθεση του προϊόντος στον καπνό από την καύση ξύλου, ο οποίος περιέχει φυσικές αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ενώσεις, όπως φαινόλες, φορμαλδεΰδες, οργανικά οξέα και αλδεΰδες (Sikorski & Kolodziejska, 2002). Οι ενώσεις αυτές καθυστερούν την οξείδωση των λιπών και αναστέλλουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνεια του προϊόντος. Τα βασικά είδη καπνίσματος είναι το ψυχρό κάπνισμα και το θερμό κάπνισμα. Στο ψυχρό η διαδικασία γίνεται σε θερμοκρασίες κάτω των 30°C, κυρίως για αποξήρανση και αρωματισμό. Συνδυάζεται συχνά με αλάτισμα. Αντίθετα στο θερμό οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 60–80°C όπου η θερμική επεξεργασία σκοτώνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η επιλογή ξύλου επηρεάζει σημαντικά το άρωμα και τη χημική σύνθεση του καπνού. Κατάλληλα θεωρούνται σκληρά ξύλα όπως η οξιτιά, η δρυς ή ορισμένα φρούτα, ενώ αποφεύγονται ρητινώδη ξύλα που παράγουν τοξικά παράγωγα. Ο συνδυασμός αλατίσματος και καπνίσματος είναι εξαιρετικά αποτελεσματικός, καθώς προσφέρει πολλαπλούς φραγμούς

στην αλλοίωση, αυξάνοντας τη σταθερότητα και την ασφάλεια των αλιευτικών προϊόντων.

1.2.4 Μαρινάρισμα και χημική συντήρηση

Το μαρινάρισμα συνίσταται στην επεξεργασία των αλιευτικών προϊόντων με οργανικά οξέα (π.χ. οξικό ή κιτρικό οξύ), τα οποία μειώνουν το pH και εμποδίζουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών (González-Rivas et al., 2018). Η χρήση χημικών συντηρητικών, όπως τα νιτρώδη και τα νιτρικά άλατα, συμβάλλει στην αναστολή της ανάπτυξης των κλωστηριδίων και άλλων αλλοιογόνων βακτηρίων (Toldrá et al., 2020). Ωστόσο, η υπερβολική χρήση τους ενδέχεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των καταναλωτών.

1.2.5 Συσκευασία υπό Τροποποιημένη Ατμόσφαιρα (MAP)

Η τεχνολογία MAP (Modified Atmosphere Packaging) αποτελεί μια από τις πιο εξελιγμένες μεθόδους συντήρησης, ιδιαίτερα χρήσιμη για προϊόντα υψηλής ευαισθησίας όπως τα αλιευτικά. Περιλαμβάνει την αντικατάσταση του φυσικού αέρα εντός της συσκευασίας με ειδικά μείγματα αερίων, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), άζωτο (N₂) και, σε ορισμένες περιπτώσεις, οξυγόνο (O₂), σε προσεκτικά ελεγχόμενες αναλογίες. Το CO₂ δρα ανασταλτικά έναντι της ανάπτυξης των αερόβιων βακτηρίων, το N₂ χρησιμοποιείται ως αδρανές αέριο πλήρωσης για την αποφυγή οξειδωσης και κατάρρευσης της συσκευασίας, ενώ το O₂ διατηρείται όταν απαιτείται η διατήρηση χρώματος ή η πρόληψη ανάπτυξης αναερόβιων παθογόνων. Η επιτυχία της MAP εξαρτάται από τη σωστή επιλογή της σύστασης της ατμόσφαιρας για κάθε προϊόν. Για τα αλιευτικά προϊόντα, συνηθίζεται υψηλό ποσοστό CO₂ (60-80%), καθώς προσφέρει σημαντική καθυστέρηση στην ανάπτυξη βακτηρίων όπως τα *Shewanella* spp. και τα

Lactobacillus spp. (Sivertsvik et al., 2002). Η χρήση της MAP απαιτεί επίσης υλικά συσκευασίας με υψηλή φραγή στο αέριο και δυνατότητα διατήρησης του μίγματος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται συχνά σε συνδυασμό με ψύξη, προσφέροντας σημαντική αύξηση της διάρκειας ζωής χωρίς την ανάγκη για χημικά συντηρητικά, ενώ συμβάλλει και στην καλύτερη παρουσίαση των προϊόντων στο σημείο πώλησης.

1.2.6 Βιοτεχνολογικές προσεγγίσεις

Οι σύγχρονες τάσεις περιλαμβάνουν τη χρήση φυσικών βιοσυντηρητικών, όπως βακτηριοσίνες (νισίνη, nisin) και προβιοτικά στελέχη, που περιορίζουν την ανάπτυξη παθογόνων βακτηρίων χωρίς τη χρήση χημικών συντηρητικών (Ghanbari et al., 2013). Επίσης, οι νανοτεχνολογικές εφαρμογές επιτρέπουν τη δημιουργία έξυπνων συσκευασιών με αντιμικροβιακές ιδιότητες (Mihindukulasuriya & Lim, 2014).

1.2.7 Συσκευασία σε κενό αέρος ή σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα απουσία οξυγόνου

Η συσκευασία σε κενό αέρος (Vacuum Packaging - VP) είναι μια τεχνική που αποσκοπεί στην παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων μέσω της απομάκρυνσης του αέρα από το εσωτερικό της συσκευασίας και της στεγανοποίησης του προϊόντος σε υλικό χαμηλής διαπερατότητας. Η απουσία οξυγόνου αποτρέπει την ανάπτυξη των αερόβιων μικροοργανισμών, που ευθύνονται για την πλειονότητα των αλλοιώσεων στα αλιευτικά προϊόντα, και επιβραδύνει τις οξειδωτικές αντιδράσεις που προκαλούν αλλοίωση των λιπαρών οξέων και αποχρωματισμό. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για τη συντήρηση ψαριών και θαλασσιών, καθώς μειώνει τη δραστηριότητα παθογόνων όπως τα *Pseudomonas* spp., ενώ περιορίζει σημαντικά την απώλεια υγρασίας και το φαινόμενο της αφυδάτωσης κατά την αποθήκευση. Ωστόσο, η VP δεν είναι πανάκεια: η πλήρης απουσία οξυγόνου μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη

αναερόβιων μικροοργανισμών, όπως το *Clostridium botulinum*, γι' αυτό και συνήθως εφαρμόζεται σε συνδυασμό με ψύξη ή άλλες μεθόδους (π.χ. προσθήκη συντηρητικών). Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα απουσία οξυγόνου (π.χ. χρήση CO₂ και N₂ χωρίς O₂) αποτελεί παραλλαγή της VP, με την οποία διατηρείται χαμηλή πίεση οξυγόνου αλλά επιτρέπεται κάποιος όγκος αερίων στο εσωτερικό της συσκευασίας για καλύτερη μηχανική σταθερότητα. Αυτό μπορεί να μειώσει την πίεση στην επιφάνεια του προϊόντος και να βελτιώσει την εμφάνιση του τελικού προϊόντος, διατηρώντας παρόμοια μικροβιολογικά οφέλη με την VP. Η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται από τον σωστό σχεδιασμό της συσκευασίας (υλικό, πάχος, διαπερατότητα), τη θερμοκρασία αποθήκευσης και την ακριβή σύνθεση του περιβάλλοντος αερίου. Η συσκευασία σε κενό αέρος αποτελεί σήμερα βασικό εργαλείο σε πολλές γραμμές παραγωγής τροφίμων, λόγω του χαμηλού κόστους, της ευκολίας εφαρμογής και της καλής συμβατότητας με άλλες τεχνικές συντήρησης.

1.2.8 Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση είναι μια μέθοδος επεξεργασίας τροφίμων κατά την οποία αφαιρείται μέρος της υγρασίας τους, χωρίς να φτάνει στα επίπεδα αφυδάτωσης. Σκοπός της είναι η αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών και η μείωση του όγκου και του βάρους του προϊόντος, διευκολύνοντας τη μεταφορά, την αποθήκευση και, ενίοτε, τη σταθερότητά του κατά τη διάρκεια ζωής του (Μπλούκας, 2004). Στα αλιευτικά προϊόντα, η συμπύκνωση εφαρμόζεται κυρίως σε υγρά παρασκευάσματα, όπως σούπες, ζωμούς ή υγρές μορφές επεξεργασμένων τροφίμων (π.χ. εκχυλίσματα ψαριού). Η μέθοδος αυτή δεν εξαλείφει εντελώς τους μικροοργανισμούς, αλλά μειώνει τη δραστηριότητα του νερού (aw), καθιστώντας το περιβάλλον λιγότερο ευνοϊκό για την ανάπτυξή τους. Η τεχνική της συμπύκνωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους:

- **Θερμική εξάτμιση:** Απομάκρυνση του νερού με βρασμό υπό κενό, μειώνοντας το σημείο ζέσεως ώστε να περιοριστεί η θερμική καταστροφή.
- **Ανακύκλωση ατμών:** Εφαρμογή ανακυκλούμενων συστημάτων ατμού για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.
- **Μηχανικές μέθοδοι:** Όπως μεμβρανικά συστήματα filtraρίσματος (υπερδιήθηση ή αντίστροφη ώσμωση).

Η περιεκτικότητα σε υγρασία στα συμπυκνωμένα τρόφιμα κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 20-30%, επιτρέποντας στα προϊόντα να παραμείνουν ρευστά αλλά με παρατεταμένη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τα φρέσκα. Σημαντικό είναι να διασφαλίζεται ότι οι συνθήκες αποθήκευσης (θερμοκρασία, συσκευασία) παραμένουν σταθερές, ώστε να αποφευχθεί η επαναρρόφιση υγρασίας ή η μικροβιακή επιμόλυνση. Η συμπύκνωση χρησιμοποιείται επίσης ως ενδιάμεσο στάδιο πριν την τελική αφυδάτωση ή λυοφιλίωση, ενώ μπορεί να αποτελέσει και μέσο ενίσχυσης της γεύσης, συγκεντρώνοντας τα αρωματικά και θρεπτικά συστατικά των πρώτων υλών.

1.2.9 Ακτινοβολίες Ιονισμού

Η συντήρηση τροφίμων με τη χρήση ακτινοβολιών ιονισμού αποτελεί μια μέθοδο συντήρησης η οποία επιδρά με την έκθεση των τροφίμων στις ακτίνες αυτές κάτω από δεδομένες συνθήκες. Η επίδρασή τους διακρίνεται σε άμεση (μεταβολές που προκαλεί η ακτινοβολία στα μόρια των τροφίμων) και σε έμμεση (απόρροια των μεταβολών που προκαλούνται από τον ιονισμό στα μόρια του νερού που περιέχει το τρόφιμο) (Tritsch, 2000).

1.2.10 Υψηλές υδροστατικές πιέσεις

Η χρήση των υψηλών υδροστατικών πιέσεων βασίζεται στην άσκηση υδροστατικών πιέσεων (100-600 MPa) σε προκαθορισμένο χρόνο, σε θερμοκρασίες δωματίου ή σε συνδυασμό με ίδια θέρμανση. Έτσι, καταστρέφονται οι μικροοργανισμοί και τα ένζυμα που προκαλούν αλλοίωση στο τρόφιμο, ενώ αυτό διατηρεί τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά (Earnshaw, 1996).

1.2.11 Ζύμωση

Η ζύμωση αποτελεί μία από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης τροφίμων και βασίζεται στη μετατροπή οργανικών ενώσεων, κυρίως υδατανθράκων, σε πιο σταθερά και όξινα προϊόντα, με τη βοήθεια μικροοργανισμών (βακτηρίων ή ζυμών) ή ενζύμων. Η διαδικασία αυτή οδηγεί σε μεταβολή του pH, παραγωγή οργανικών οξέων (π.χ. γαλακτικό ή οξικό οξύ) και δημιουργία συνθηκών που είναι δυσμενείς για την ανάπτυξη παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών (Steinkraus, 1997). Στα αλιευτικά προϊόντα, η ζύμωση εφαρμόζεται σε παραδοσιακές συνταγές όπως τα αλατισμένα ή ξινισμένα ψάρια (π.χ. μαρίδα, σκουμπρί, σαρδέλα), με σκοπό όχι μόνο τη συντήρηση αλλά και τη βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος. Οι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν σε αυτή τη διαδικασία περιλαμβάνουν γαλακτικά βακτήρια (π.χ. *Lactobacillus* spp.) και άλλους φυσικά απαντώμενους μικροοργανισμούς, που μπορούν να επιφέρουν επιθυμητές αλλαγές στη γεύση, την υφή και το άρωμα του τροφίμου. Η επιτυχία της ζύμωσης εξαρτάται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το αλάτι, η συγκέντρωση των υδατανθράκων και η παρουσία επιθυμητών μικροοργανισμών. Η χρήση καλλιεργειών εκκίνησης (starter cultures) μπορεί να

προσδώσει συνέπεια και ασφάλεια στη διαδικασία, διασφαλίζοντας το επιθυμητό μικροβιακό προφίλ και περιορίζοντας την παρουσία ανεπιθύμητων μικροβίων. Εκτός από την αύξηση της διάρκειας ζωής, η ζύμωση μπορεί να ενισχύσει τη βιοδιαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και να δημιουργήσει λειτουργικά προϊόντα με προβιοτικές ιδιότητες. Παράλληλα, μειώνει την ανάγκη χρήσης χημικών συντηρητικών, ενισχύοντας τη φυσικότητα και την αποδοχή από τους καταναλωτές.

1.2.12 Νεότερες μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι νέες μέθοδοι επεξεργασίας και συντήρησης τροφίμων περιλαμβάνουν τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία υψηλής τάσης, το παλμικό φως υψηλής έντασης, τα παλμικά μαγνητικά πεδία, και τους υπέρηχους. Αυτές οι μέθοδοι κατά την επεξεργασία του τροφίμου δεν απαιτούν θέρμανση και έχουν πολύ σύντομους χρόνους επεξεργασίας (Μπλούκας, 2004). Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου συντήρησης εξαρτάται από το είδος του αλιευτικού προϊόντος, τη διάρκεια αποθήκευσης και τις απαιτήσεις της αγοράς. Ο συνδυασμός τεχνικών, όπως η ψύξη με MAP ή το κάπνισμα με αλάτισμα, μπορεί να προσφέρει βέλτιστα αποτελέσματα στη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας των αλιευτικών προϊόντων.

1.3 Συσκευασία Τροφίμων

Η συσκευασία των τροφίμων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη διασφάλιση της ποιότητας, της ασφάλειας και της διάρκειας ζωής των προϊόντων. Οι κύριες λειτουργίες της συσκευασίας περιλαμβάνουν την προστασία από φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς κινδύνους, τη διευκόλυνση της μεταφοράς και αποθήκευσης και την παροχή πληροφοριών προς τους καταναλωτές μέσω της επισήμανσης (Robertson, 2012). Η πρωταρχική λειτουργία της συσκευασίας είναι η

προστασία των τροφίμων από εξωτερικούς παράγοντες, όπως το οξυγόνο, η υγρασία και το φως, που μπορούν να προκαλέσουν αλλοιώσεις. Επίσης, η συσκευασία παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποτροπή μηχανικών ζημιών κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και της αποθήκευσης (Marsh & Bugusu, 2007). Επιπλέον, η σωστή επισήμανση παρέχει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τα συστατικά, την ημερομηνία λήξης και τις συνθήκες αποθήκευσης, συμβάλλοντας στην ενημέρωση των καταναλωτών. Οι φθορές που υφίστανται τα προϊόντα οφείλονται κυρίως σε χτυπήματα κατά τη μεταφορά και σε πιέσεις κατά την αποθήκευσή τους σε αποθήκες ή πλοία. Η κατάλληλη συσκευασία μπορεί να μειώσει τα ατυχήματα και τη σοβαρότητα των μηχανικών βλαβών. Η χρήση ανθεκτικών και συμπαγών υλικών συσκευασίας, όπως μέταλλο, γυαλί και ξύλο, μπορεί να περιορίσει τις απώλειες που προκύπτουν από τις πιέσεις που δέχεται το φορτίο. Επιπλέον, η προσθήκη υλικών απορρόφησης κραδασμών, όπως αφρώδες πλαστικό ή χαρτί με αναδιπλώσεις, μπορεί να προστατεύσει το προϊόν από τα χτυπήματα κατά τη μεταφορά. Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή της συσκευασίας είναι η διαπερατότητά της σε υδρατμούς, αέρια και πτητικές αρωματικές ενώσεις (Mangraj & Goswami 2009)

1.3.1 Κατηγορίες Υλικών Συσκευασίας

Τα υλικά συσκευασίας τροφίμων διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη σύστασή τους και τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Οι κύριες κατηγορίες είναι οι εξής:

Πλαστικά

Τα πλαστικά είναι από τα πιο διαδεδομένα υλικά συσκευασίας λόγω της ευελιξίας, της ανθεκτικότητας και του χαμηλού κόστους παραγωγής τους (Marsh & Bugusu, 2007). Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πολυμερή είναι:

- Πολυαιθυλένιο υψηλής και χαμηλής πυκνότητας (HDPE, LDPE): Χρησιμοποιείται σε φιάλες γάλακτος, σακούλες και περιτυλίγματα.
- Πολυπροπυλένιο (PP): Χρησιμοποιείται σε δοχεία γιαουρτιού και καπάκια.
- Πολυεστέρας (PET): Συνήθως χρησιμοποιείται σε μπουκάλια αναψυκτικών και νερού.

Παρά τα πλεονεκτήματα των πλαστικών, ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματά τους είναι η περιβαλλοντική ρύπανση λόγω της δυσκολίας ανακύκλωσης και αποδόμησής τους (Geyer et al., 2017).

Γυαλί

Το γυαλί αποτελεί ένα αδρανές και ασφαλές υλικό για τη συσκευασία τροφίμων, με υψηλή αντοχή σε χημικές αλληλεπιδράσεις (Robertson, 2016). Χρησιμοποιείται κυρίως για ποτά, σάλτσες και γαλακτοκομικά προϊόντα. Αν και το γυαλί είναι 100% ανακυκλώσιμο, το υψηλό βάρος και η ευθραυστότητά του αποτελούν σημαντικούς περιορισμούς.

Μέταλλα

Τα μέταλλα, όπως ο χάλυβας και το αλουμίνιο, χρησιμοποιούνται κυρίως σε κονσέρβες και δοχεία ποτών. Το αλουμίνιο, ειδικότερα, είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και πλήρως ανακυκλώσιμο (Marsh & Bugusu, 2007). Ωστόσο, η εξόρυξη και η επεξεργασία του απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

Χαρτί και Χαρτόνι

Τα χάρτινα υλικά είναι φιλικά προς το περιβάλλον και χρησιμοποιούνται ευρέως σε κουτιά, σακούλες και περιτυλίγματα (Kirwan, 2013). Ωστόσο, η διαπερατότητά τους

σε υγρασία και λίπη περιορίζει τη χρήση τους χωρίς ειδική επίστρωση, όπως πολυαιθυλένιο ή κερί.

Βιοδιασπώμενα Υλικά

Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί καινοτόμα βιοδιασπώμενα υλικά, όπως οι βιοπλαστικές μεμβράνες από άμυλο και πολυγαλακτικό οξύ (PLA) (Siracusa et al., 2008). Αυτά τα υλικά μειώνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αλλά συχνά έχουν περιορισμένες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με τα συμβατικά πλαστικά.

1.3.2. Κατηγορίες Υλικών Συσκευασίας Τροφίμων

Τα υλικά συσκευασίας τροφίμων διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, τις ιδιότητές τους και τη χρήση τους στη βιομηχανία τροφίμων. Μία από τις κύριες κατηγορίες είναι τα πολυμερή, τα οποία περιλαμβάνουν πλαστικά όπως το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυστυρένιο (PS) και το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Τα υλικά αυτά είναι ελαφριά, οικονομικά και εύκολο να μορφοποιηθούν, καθιστώντας τα ιδιαίτερα δημοφιλή στη βιομηχανία τροφίμων (Robertson, 2012). Μια άλλη σημαντική κατηγορία είναι τα μεταλλικά υλικά, όπως ο κασσίτερος και το αλουμίνιο. Τα μεταλλικά δοχεία προσφέρουν εξαιρετική προστασία από το φως, το οξυγόνο και τους μικροοργανισμούς, επεκτείνοντας σημαντικά τη διάρκεια ζωής των προϊόντων. Το αλουμίνιο, συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με άλλα υλικά για εύκαμπτες συσκευασίες λόγω του χαμηλού βάρους του και της ανθεκτικότητάς του στη διάβρωση (Marsh & Bugusu, 2007). Το γυαλί αποτελεί επίσης ένα παραδοσιακό υλικό συσκευασίας, γνωστό για την αδράνειά του και τη δυνατότητα ανακύκλωσής του. Παρόλο που είναι βαρύτερο και πιο εύθραυστο σε σύγκριση με άλλα υλικά, χρησιμοποιείται κυρίως για την αποθήκευση προϊόντων υψηλής ποιότητας, όπως κρασιά, σάλτσες και κονσερβοποιημένα τρόφιμα (Kirwan,

2011). Τέλος, οι χάρτινες και χαρτονένιες συσκευασίες είναι ευρέως διαδεδομένες, ιδιαίτερα για ξηρά τρόφιμα και προϊόντα που απαιτούν δευτερογενή ή τριτογενή συσκευασία. Το χαρτί και το χαρτόνι προσφέρουν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση, καθώς είναι ανακυκλώσιμα και συχνά προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές (Jain & Tiwari, 2016).

1.3.3 Ιδιότητες και Απαιτήσεις των Υλικών Συσκευασίας

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία των τροφίμων πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα και η ασφάλεια των προϊόντων. Μια από τις βασικές ιδιότητες είναι η διαπερατότητα, η οποία αφορά τη δυνατότητα των αερίων, της υγρασίας και των αρωμάτων να διαπερνούν τη συσκευασία. Για παράδειγμα, τα πολυμερή με υψηλή διαπερατότητα στο οξυγόνο, όπως το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE), μπορεί να μην είναι κατάλληλα για προϊόντα που απαιτούν προστασία από την οξείδωση (Coles & Kirwan, 2011). Ένα άλλο κρίσιμο χαρακτηριστικό είναι η μηχανική αντοχή των υλικών, η οποία καθορίζει την ικανότητά τους να αντέχουν σε φορτία, πτώσεις και άλλες μηχανικές καταπονήσεις κατά τη μεταφορά και αποθήκευση. Τα πολυστρωματικά υλικά, τα οποία συνδυάζουν διάφορα υλικά, επιτρέπουν την επίτευξη καλύτερων μηχανικών και φραγιστικών ιδιοτήτων, προσαρμοσμένων στις ανάγκες κάθε προϊόντος (Robertson, 2013). Επιπλέον, η χημική αδράνεια των υλικών είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή μεταφοράς ουσιών από τη συσκευασία στα τρόφιμα. Το γυαλί είναι ένα από τα πλέον αδρανή υλικά, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, τα πλαστικά μπορεί να περιέχουν πρόσθετα που μεταναστεύουν στα τρόφιμα, κάτι που απαιτεί αυστηρούς ελέγχους και συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις (Arvanitoyannis & Bosnea, 2004). Τέλος, η περιβαλλοντική βιωσιμότητα αποτελεί έναν ολοένα και πιο σημαντικό παράγοντα στην επιλογή των υλικών

συσκευασίας. Οι βιοδιασπώμενες και κομποστοποιήσιμες συσκευασίες, καθώς και οι καινοτομίες στη χρήση ανακυκλωμένων υλικών, συμβάλλουν στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της βιομηχανίας τροφίμων (Marsh & Bugusu, 2007) Τα υλικά συσκευασίας τροφίμων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων, αλλά ταυτόχρονα έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η έρευνα εστιάζει στην ανάπτυξη νέων υλικών και τεχνολογιών που συνδυάζουν την αποδοτικότητα με τη βιωσιμότητα. Η ανακύκλωση και η χρήση βιοδιασπώμενων υλικών αποτελούν σημαντικές λύσεις για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της βιομηχανίας συσκευασίας.

1.3.4 Νομοθεσία σχετικά με τα υλικά συσκευασίας τροφίμων

Ο Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 10/2011 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ο οποίος εκδόθηκε στις 14 Ιανουαρίου 2011, θεσπίζει το ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα τα οποία προορίζονται να έρχονται σε άμεση ή έμμεση επαφή με τρόφιμα. Ο κανονισμός αποσκοπεί στη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων και στην προστασία της δημόσιας υγείας, καθορίζοντας τα επιτρεπτά όρια μετανάστευσης ουσιών από τα υλικά συσκευασίας προς τα τρόφιμα. Στο πλαίσιο αυτό, εισάγονται συγκεκριμένα όρια μετανάστευσης, τα οποία προσδιορίζουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ουσιών που μπορούν να μεταφερθούν από το πλαστικό υλικό στο τρόφιμο. Το ειδικό όριο μετανάστευσης (SML) καθορίζει τη μέγιστη ποσότητα μιας συγκεκριμένης ουσίας που επιτρέπεται να μεταφερθεί από το υλικό συσκευασίας στο τρόφιμο, ενώ το ολικό όριο ειδικής μετανάστευσης [SML(T)] αναφέρεται στο συνολικό ανώτατο επιτρεπτό άθροισμα συγκεκριμένων ουσιών που μεταφέρονται στο τρόφιμο ή σε προσομοιωτές τροφίμων. Παράλληλα, το όριο ολικής μετανάστευσης (OOM) προσδιορίζει τη μέγιστη ποσότητα μη πτητικών ουσιών που μπορούν να μεταφερθούν

από το πλαστικό υλικό στο τρόφιμο, ανεξαρτήτως της χημικής τους σύνθεσης. Σύμφωνα με το Άρθρο 11 του κανονισμού, τα πλαστικά υλικά δεν επιτρέπεται να μεταφέρουν ουσίες στα τρόφιμα σε ποσότητες που υπερβαίνουν τα οριζόμενα ειδικά όρια μετανάστευσης. Για ουσίες που δεν διαθέτουν συγκεκριμένο όριο, ισχύει ένα γενικό όριο της τάξεως των 60 mg/kg τροφίμου. Επιπλέον, σύμφωνα με το Άρθρο 12, το όριο ολικής μετανάστευσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 mg/dm² της επιφάνειας του υλικού που έρχεται σε επαφή με το τρόφιμο. Ο κανονισμός απαγορεύει ρητά τη χρήση ουσιών στις συσκευασίες τροφίμων οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως μεταλλαξιογόνες, καρκινογόνες ή τοξικές για την αναπαραγωγή. Η απαγόρευση αυτή διασφαλίζει ότι οι ουσίες που χρησιμοποιούνται στα πλαστικά υλικά δεν ενέχουν σοβαρούς κινδύνους για την υγεία του καταναλωτή και δεν υποβαθμίζουν την ασφάλεια των τροφίμων. Ο Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 10/2011 αποτελεί θεμελιώδες νομοθετικό κείμενο για την ορθή διαχείριση των υλικών συσκευασίας τροφίμων, ευθυγραμμίζοντας τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τις αρχές πρόληψης και ελέγχου των χημικών κινδύνων στα τρόφιμα.

1.4 Εδώδιμες Μεμβράνες

Οι εδώδιμες μεμβράνες (edible films) είναι λεπτά στρώματα βιοδιασπώμενων υλικών που εφαρμόζονται απευθείας σε τρόφιμα με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας, της συντήρησης και της ασφάλειάς τους. Πρόκειται για μια εναλλακτική λύση στις συμβατικές πλαστικές συσκευασίες, καθώς είναι βιοαποικοδομήσιμες και συχνά καταναλώνονται μαζί με το τρόφιμο. Η χρήση τους έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης περιβαλλοντικής ανησυχίας σχετικά με τα πλαστικά απόβλητα και της ανάγκης για φυσικές, βιοδιασπώμενες μεθόδους συντήρησης τροφίμων. Η ανάπτυξη των εδώδιμων μεμβρανών βασίζεται στη δυνατότητά τους να

παρέχουν φυσική προστασία από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η υγρασία και το οξυγόνο, περιορίζοντας την ανάπτυξη μικροοργανισμών και την οξείδωση. Επιπλέον, μπορούν να ενισχυθούν με βιοενεργά συστατικά, όπως αντιοξειδωτικά και αντιμικροβιακούς παράγοντες, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητά τους στη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων.

1.4.1 Σύνθεση και Ιδιότητες

Οι εδώδιμες μεμβράνες αποτελούνται κυρίως από φυσικά πολυμερή που κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικές ομάδες: υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπίδια. Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες προσφέρει διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες που επηρεάζουν τη λειτουργικότητα της μεμβράνης (Gennadios et al., 1997). Οι πολυσακχαρίτες, όπως το άμυλο, η κυτταρίνη και οι πηκτίνες, σχηματίζουν μεμβράνες με καλή μηχανική αντοχή και χαμηλή διαπερατότητα σε αέρια, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση της οξείδωσης των λιπιδίων στα τρόφιμα. Οι πρωτεΐνες, όπως η ζελατίνη, η καζεΐνη και οι πρωτεΐνες σόγιας, συμβάλλουν καθοριστικά στην ενίσχυση της μηχανικής αντοχής και της ευκαμψίας των μεμβρανών. Χάρη σε αυτά τα χαρακτηριστικά, καθίστανται ιδιαίτερα κατάλληλες για χρήση ως επικαλυπτικά υλικά σε ευαίσθητα προϊόντα, προσφέροντας αυξημένη προστασία και λειτουργικότητα. Από την άλλη πλευρά, τα λιπίδια, όπως το κερι μέλισσας και το στεαρικό οξύ, δημιουργούν μεμβράνες με χαμηλή διαπερατότητα στην υγρασία, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την προστασία των αφυδατωμένων τροφίμων και των προϊόντων αρτοποιίας. Η συνδυασμένη χρήση αυτών των συστατικών επιτρέπει τη δημιουργία μεμβρανών με βέλτιστες ιδιότητες, προσαρμοσμένες στις απαιτήσεις συγκεκριμένων προϊόντων. Για παράδειγμα, η προσθήκη γαλακτωματοποιητών μπορεί να βελτιώσει την ομοιομορφία της μεμβράνης, ενώ η χρήση πλαστικοποιητών, όπως η γλυκερόλη, αυξάνει την

ευκαμψία της (Krochta et al., 1994). με βέλτιστες ιδιότητες, προσαρμοσμένες στις απαιτήσεις συγκεκριμένων προϊόντων. Για παράδειγμα, η προσθήκη γαλακτωματοποιητών μπορεί να βελτιώσει την ομοιομορφία της μεμβράνης, ενώ η χρήση πλαστικοποιητών, όπως η γλυκερόλη, αυξάνει την ευκαμψία της.

1.4.2 Εφαρμογές στη Βιομηχανία Τροφίμων

Η χρήση των εδώδιμων μεμβρανών είναι ευρεία στη βιομηχανία τροφίμων, καλύπτοντας διάφορες ανάγκες συντήρησης και βελτίωσης της ποιότητας. Μία από τις βασικές εφαρμογές τους αφορά τη διατήρηση νωπών προϊόντων, όπως φρούτα και λαχανικά. Οι εδώδιμες μεμβράνες μειώνουν τη διαπνοή και καθυστερούν τη φυσιολογική γήρανση των προϊόντων, διατηρώντας τη φρεσκάδα και τη θρεπτική τους αξία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, σε προϊόντα όπως τα κρέατα και τα γαλακτοκομικά, οι μεμβράνες μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της οξείδωσης των λιπιδίων και στην παράταση της διάρκειας ζωής τους. Ένας άλλος σημαντικός τομέας εφαρμογής είναι τα προϊόντα αρτοποιίας και ζαχαροπλαστικής. Στα αρτοποιήματα, οι εδώδιμες μεμβράνες αποτρέπουν την απώλεια υγρασίας και τη σκλήρυνση της κρούστας, διατηρώντας τη μαλακή υφή του προϊόντος για μεγαλύτερο διάστημα. Στη ζαχαροπλαστική, η χρήση εδώδιμων μεμβρανών σε σοκολατένια προϊόντα ή γλυκίσματα μειώνει την απορρόφηση υγρασίας και την πιθανότητα σχηματισμού λευκών κηλίδων στην επιφάνεια της σοκολάτας. Μια ακόμη πολλά υποσχόμενη εφαρμογή είναι η ενσωμάτωση αντιμικροβιακών και αντιοξειδωτικών συστατικών στις εδώδιμες μεμβράνες. Προσθέτοντας φυσικά αντιμικροβιακά, όπως αιθέρια έλαια ή εκχυλίσματα φυτών, οι μεμβράνες μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και να συμβάλλουν στη βελτίωση της ασφάλειας των τροφίμων. Παρόμοια, η ενσωμάτωση αντιοξειδωτικών, όπως βιταμίνη E και εκχυλίσματα

δενδρολίβανου, βοηθά στη μείωση της οξειδωσης των λιπιδίων, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής των προϊόντων (Sánchez-González et al., 2011). Προσθέτοντας φυσικά αντιμικροβιακά, όπως αιθέρια έλαια ή εκχυλίσματα φυτών, οι μεμβράνες μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και να συμβάλλουν στη βελτίωση της ασφάλειας των τροφίμων. Παρόμοια, η ενσωμάτωση αντιοξειδωτικών, όπως βιταμίνη E και εκχυλίσματα δενδρολίβανου, βοηθά στη μείωση της οξειδωσης των λιπιδίων, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής των προϊόντων.

1.4.3 Περιορισμοί και Μελλοντικές Προοπτικές

Παρά τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα, οι εδωδιμες μεμβράνες αντιμετωπίζουν ορισμένες προκλήσεις που περιορίζουν τη μαζική εμπορική εφαρμογή τους. Ένα βασικό πρόβλημα είναι η μεταβλητότητα στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες, καθώς η σύστασή τους εξαρτάται από φυσικά υλικά που μπορεί να εμφανίζουν διακυμάνσεις στη σύνθεση και τη συμπεριφορά τους. Επιπλέον, οι μηχανικές τους ιδιότητες συχνά δεν είναι συγκρίσιμες με αυτές των συνθετικών πλαστικών, κάτι που επηρεάζει τη δομική τους ακεραιότητα και την αποτελεσματικότητά τους ως υλικά συσκευασίας. Το υψηλό κόστος παραγωγής αποτελεί επίσης έναν περιοριστικό παράγοντα, καθώς η παρασκευή εδωδιμων μεμβρανών απαιτεί εξειδικευμένες πρώτες ύλες και τεχνολογίες. Η έρευνα εστιάζει στη βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών, στη χρήση οικονομικότερων πρώτων υλών και στην αξιοποίηση νανοτεχνολογίας για την ενίσχυση των μηχανικών και λειτουργικών τους ιδιοτήτων. Η ανάπτυξη νανοςύνθετων μεμβρανών, που περιλαμβάνουν νανοσωματίδια με αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες, αποτελεί μία από τις πιο υποσχόμενες τάσεις στον τομέα αυτό.

1.4.4 Παρασκευή Εδώδιμων Μεμβρανών

Ο [Guilbert \(1986\)](#) και οι [Kester & Fenema \(1986\)](#) διέκριναν τις μεμβράνες σε πρωτεϊνικές, λιπιδικές, υδατανθρακούχες ή πολυσακχαριτικές και σε σύνθετες προερχόμενες από την ανάμειξη των προαναφερόμενων ενώσεων. Τα κύρια συστατικά της παρασκευής εδώδιμων μεμβρανών διακρίνονται ως υδροκολλοειδή (πρωτεΐνες, παράγωγα κυτταρίνης, αλγινικά άλατα, πηκτές, πηκτίνη, άμυλα και άλλοι πολυσακχαρίτες), λιπίδια (κεριά, ακυλογλυκερόλες και λιπαρά οξέα) και σύμπλοκα που περιέχουν τόσο υδροκολλοειδή όσο και λιπίδια.

Γενικά, οι βρώσιμες μεμβράνες σχηματίζονται με τους ακόλουθους μηχανισμούς:

- Απλή καταβύθιση: καταβύθιση ή αλλαγή της φυσικής κατάστασης υδροκολλοειδών διαλυμένων στο νερό,
- Ανάμιξη, αλληλεπίδραση διαλυμάτων υδροκολλοειδών με αντίθετα φορτία καταβυθίζει πολυμερικά σύμπλοκα,
- Πηκτωματοποίηση ή θερμική πήξη: η θέρμανση του πολυμερούς προκαλεί μετουσίωση, με αποτέλεσμα το σχηματισμό πηκτής ή την καταβύθιση, ή η ψύξη του συστήματος διασποράς υδροκολλοειδών προκαλεί σχηματισμό πηκτής ([Σφλώμος & Βαρζάκας, 2019](#)).

Συμπερασματικά, οι εδώδιμες μεμβράνες αντιπροσωπεύουν μια καινοτόμο και βιώσιμη λύση στη διατήρηση και προστασία των τροφίμων, προσφέροντας πλεονεκτήματα τόσο σε επίπεδο ποιότητας όσο και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Παρόλο που αντιμετωπίζουν ορισμένες προκλήσεις, οι εξελίξεις στην τεχνολογία υλικών και η ενσωμάτωση βιοενεργών συστατικών αναμένεται να βελτιώσουν τις ιδιότητές τους, καθιστώντας τις πιο αποδοτικές και εμπορικά βιώσιμες στο μέλλον.

1.5 Αλγινικά Άλατα

Τα αλγινικά άλατα αποτελούν υδατοδιαλυτούς πολυσακχαρίτες που προέρχονται από θαλάσσια φύκη και διακρίνονται για την ικανότητά τους να σχηματίζουν βιοδιασπώμενες, μη τοξικές και οικονομικά αποδοτικές επικαλύψεις. Η υψηλή μηχανική αντοχή των σχηματιζόμενων φιλμ αποδίδεται στη γραμμική πολυμερική δομή τους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ικανότητα των αλγινικών αλάτων να αλληλεπιδρούν με ιόντα ασβεστίου, οδηγώντας στο σχηματισμό πηκτής. Η σταθερότητα και η αντίσταση των επικαλύψεων σε εξωτερικές παρεμβολές εξαρτώνται άμεσα από τη σύνθεση και την περιεκτικότητα του αλγινικού άλατος (Tavassoli-Kafrani et al., 2016). Οι μεμβράνες αλγινικού οξέος παρασκευάζονται μέσω εξάτμισης υδατικών διαλυμάτων αλγινικού οξέος, ακολουθούμενης από την προσθήκη αλάτων ασβεστίου, τα οποία προάγουν το σχηματισμό διασταυρούμενων ιοντικών δεσμών. Οι μεμβράνες αυτές παρουσιάζουν υψηλή διαπερατότητα στα λιπίδια και τα έλαια, ενώ εμφανίζουν περιορισμένη διαπερατότητα στους υδρατμούς, γεγονός που επηρεάζει τις ιδιότητές τους ως φραγμού (Σφλώμος & Βαρζάκας, 2019).

1.6 Νομικό Πλαίσιο και Ασφάλεια Εδώδιμων Μεμβρανών

Οι εδώδιμες μεμβράνες είναι γενικά ασφαλείς για κατανάλωση, καθώς κατασκευάζονται από βιοσυμβατά υλικά και πληρούν τα πρότυπα τροφίμων. Ωστόσο, η ασφάλειά τους εξαρτάται από τη σύνθεση, την ποιότητα των πρώτων υλών και την τήρηση των κανονισμών. Η υπερβολική κατανάλωση μπορεί να έχει επιπτώσεις στην πέψη, ενώ η χρήση συνθετικών προσθέτων απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση για την αποφυγή αλλεργιογόνων αντιδράσεων. Η ασφαλής κατανάλωση εδώδιμων μεμβρανών καθορίζεται από διεθνείς και εθνικούς κανονισμούς τροφίμων που διασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις ασφάλειας και ποιότητας.

1. Codex Alimentarius

Ο *Codex Alimentarius*, που αναπτύχθηκε από τον FAO και τον ΠΟΥ, παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για τα υλικά συσκευασίας τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των εδώδιμων μεμβρανών. Ορίζει ότι τα υλικά αυτά δεν πρέπει να περιέχουν τοξικές ουσίες, να μην μεταναστεύουν στο τρόφιμο σε επικίνδυνα επίπεδα και να είναι ασφαλή για την ανθρώπινη κατανάλωση ([Codex Alimentarius, 2021](#)).

2. Κανονισμός (ΕΚ) 1935/2004

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο Κανονισμός (ΕΚ) 1935/2004 σχετικά με τα υλικά και αντικείμενα που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα επιβάλλει ότι κάθε συστατικό των εδώδιμων μεμβρανών πρέπει να είναι ασφαλές και να μην αλλοιώνει τη σύνθεση ή τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου ([European Parliament and Council, 2004](#)).

3. Κανονισμός (ΕΕ) 10/2011 για τα Πλαστικά Υλικά

Αν και αφορά κυρίως τα συνθετικά υλικά, ο Κανονισμός (ΕΕ) 10/2011 περιλαμβάνει αυστηρές προδιαγραφές για τη μετανάστευση ουσιών στα τρόφιμα, ένα κριτήριο που εφαρμόζεται και στις εδώδιμες μεμβράνες όταν περιέχουν πρόσθετα με λειτουργικές ιδιότητες ([European Commission, 2011](#)).

4. FDA Regulations (ΗΠΑ)

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) έχει καταχωρήσει ορισμένα υλικά εδώδιμων μεμβρανών ως *Generally Recognized as Safe (GRAS)*, γεγονός που σημαίνει ότι θεωρούνται ασφαλή υπό τις συνήθεις συνθήκες κατανάλωσης ([FDA, 2020](#)). Συνεπώς η κατανάλωση εδώδιμων μεμβρανών θεωρείται ασφαλής εφόσον συμμορφώνονται με το νομικό πλαίσιο που ορίζει η ΕΕ, ο *Codex Alimentarius* και η FDA. Οι κανονισμοί αυτοί διασφαλίζουν ότι οι πρώτες ύλες είναι μη τοξικές, ότι δεν υπάρχει ανεπιθύμητη μετανάστευση ουσιών και ότι πληρούνται οι

απαιτήσεις καθαρότητας. Ωστόσο, η συνεχής αναθεώρηση αυτών των κανονισμών και η διερεύνηση πιθανών μακροχρόνιων επιπτώσεων παραμένει απαραίτητη.

1.7 Πρόσθετα συστατικά στα Τρόφιμα

Τα πρόσθετα τροφίμων είναι ουσίες που δεν καταναλώνονται μόνες τους ως τρόφιμα, αλλά προστίθενται σκόπιμα στα τρόφιμα για τεχνολογικούς σκοπούς, όπως η βελτίωση της γεύσης, της υφής, της εμφάνισης ή της διάρκειας ζωής (Belitz et al., 2009). Χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, όπως συντηρητικά, γαλακτωματοποιητές, ενισχυτικά γεύσης, χρωστικές και γλυκαντικές ύλες. Τα συντηρητικά, όπως το βενζοϊκό νάτριο (E211) και τα νιτρώδη άλατα (E250), επιβραδύνουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών, αποτρέποντας αλλοιώσεις και τροφιμογενείς λοιμώξεις (Davidson et al., 2021). Ωστόσο, ορισμένες μελέτες συνδέουν την υπερβολική κατανάλωση νιτρωδών με αυξημένο κίνδυνο καρκινογένεσης (Lijinsky, 1999). Οι γαλακτωματοποιητές, όπως η λεκιθίνη (E322), επιτρέπουν τη σταθεροποίηση μιγμάτων υδατικών και λιπαρών συστατικών, βελτιώνοντας την υφή προϊόντων όπως η σοκολάτα και οι σάλτσες (Coulter, 2016). Αντίστοιχα, τα ενισχυτικά γεύσης, όπως το μονοξυγλουταμινικό νάτριο (MSG, E621), χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της ουμάμι γεύσης, αν και έχουν αναφερθεί περιπτώσεις ανεπιθύμητων αντιδράσεων σε ευαίσθητα άτομα (Fernstrom & Garattini, 2000). Οι χρωστικές τροφίμων διακρίνονται σε φυσικές και συνθετικές. Οι φυσικές, όπως η ανθοκυανίνη από φρούτα, θεωρούνται ασφαλέστερες, ενώ ορισμένες συνθετικές, όπως η ταρτραζίνη (E102), έχουν συνδεθεί με υπερευαίσθησιες (McCann et al., 2007). Η συστηματική αξιολόγηση της ασφάλειας των προσθέτων γίνεται από οργανισμούς όπως η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA). Παρόλο που τα περισσότερα εγκεκριμένα πρόσθετα θεωρούνται ασφαλή στις επιτρεπτές δόσεις, η μακροχρόνια κατανάλωση τους παραμένει αντικείμενο επιστημονικής έρευνας.

1.8 Αντιμικροβιακοί Παράγοντες

Οι αντιμικροβιακοί παράγοντες στα τρόφιμα είναι ουσίες που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη της ανάπτυξης παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών, συμβάλλοντας στην ασφάλεια και τη διατήρηση της ποιότητάς τους. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι φυσικής, χημικής ή βιολογικής προέλευσης, και η χρήση τους υπόκειται σε αυστηρή νομοθετική ρύθμιση από διεθνείς οργανισμούς όπως η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) και ο Αμερικανικός Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA). Όσοι αντιμικροβιακοί παράγοντες (antimicrobial agents) χαρακτηρίζονται από τους αριθμούς E 180-290 βρίσκουν εφαρμογή στην αναστολή της ανάπτυξης μικροοργανισμών προκειμένου να παραταθεί η διάρκεια ζωής των τροφίμων (European Commission, 2009). Οι ίδιες αυτές ουσίες χαρακτηρίζονται από τον Κώδικα Τροφίμων ως συντηρητικά. Μία από τις κύριες κατηγορίες αντιμικροβιακών παραγόντων είναι τα οργανικά οξέα και οι εστέρες τους, όπως το βενζοϊκό οξύ και το σορβικό οξύ. Αυτές οι ενώσεις επηρεάζουν τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης των μικροοργανισμών, οδηγώντας σε διαταραχή της μεταβολικής τους δραστηριότητας και τελικά στην αναστολή της ανάπτυξής τους (Davidson et al., 2021). Το βενζοϊκό οξύ (E210) χρησιμοποιείται ευρέως σε όξινα τρόφιμα, όπως χυμοί και αναψυκτικά, ενώ το σορβικό οξύ (E200) εφαρμόζεται κυρίως σε γαλακτοκομικά και προϊόντα αρτοποιίας. Παρά την αποτελεσματικότητά τους, η υπερβολική κατανάλωση αυτών των ουσιών έχει προκαλέσει ανησυχίες σχετικά με την πιθανή τοξικότητά τους, ιδίως σε ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού (Chipley, 2005). Μια άλλη σημαντική ομάδα αντιμικροβιακών παραγόντων είναι τα νιτρώδη και νιτρικά άλατα, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως σε προϊόντα κρέατος για την αναστολή της ανάπτυξης του *Clostridium botulinum*, του βακτηρίου που ευθύνεται για την παραγωγή της αλλαντοτοξίνης (Cassens, 1997). Τα

νιτρώδη άλατα λειτουργούν μέσω του σχηματισμού νιτρωδών οξειδίων, τα οποία έχουν βακτηριοστατική δράση. Ωστόσο, η χρήση τους είναι αμφιλεγόμενη, καθώς οι νιτρώδεις ενώσεις μπορούν να αντιδράσουν με αμίνες στο τρόφιμο, σχηματίζοντας νιτροζαμίνες, οι οποίες έχουν συνδεθεί με καρκινογενετικές επιδράσεις (Lijinsky, 1999). Τα φυσικά αντιμικροβιακά, όπως οι βακτηριοσίνες, κερδίζουν συνεχώς έδαφος ως εναλλακτικές λύσεις στα συνθετικά συντηρητικά. Η νισίνη, μια βακτηριοσίνη που παράγεται από το *Lactococcus lactis*, είναι ένα από τα λίγα φυσικά αντιμικροβιακά που έχουν λάβει έγκριση για χρήση σε τρόφιμα (Delves-Broughton et al., 1996). Η νισίνη δρα καταστρέφοντας την κυτταρική μεμβράνη των θετικών κατά Gram βακτηρίων, γεγονός που την καθιστά αποτελεσματική σε προϊόντα όπως το τυρί και τα αλλαντικά. Παρά την υψηλή αποτελεσματικότητά της, ορισμένα βακτήρια έχουν αναπτύξει ανθεκτικότητα στη νισίνη, γεγονός που περιορίζει τη μακροχρόνια χρήση της. Η χρήση αιθέριων ελαίων και φυτικών εκχυλισμάτων ως αντιμικροβιακών παραγόντων έχει επίσης μελετηθεί εκτενώς. Ορισμένα έλαια, όπως αυτά του θυμαριού και της ρίγανης, περιέχουν φαινολικές ενώσεις, όπως η καρβακρόλη και η θυμόλη, που εμφανίζουν ισχυρή αντιμικροβιακή δράση έναντι διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών (Burt, 2004). Παρόλα αυτά, η εφαρμογή αυτών των φυσικών ενώσεων σε τρόφιμα είναι περιορισμένη λόγω των έντονων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους, τα οποία μπορεί να αλλοιώνουν τη γεύση και το άρωμα του τελικού προϊόντος.

Η συνδυαστική χρήση διαφόρων αντιμικροβιακών παραγόντων, γνωστή ως "πολυπαραγοντική προσέγγιση", είναι μια στρατηγική που στοχεύει στη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας των συντηρητικών, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις πιθανές ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Για παράδειγμα, η συνδυασμένη χρήση οργανικών οξέων και φυσικών αντιμικροβιακών μπορεί να προσφέρει αυξημένη προστασία έναντι παθογόνων μικροοργανισμών, διατηρώντας παράλληλα την ποιότητα και τη θρεπτική αξία των

τροφίμων (Russell & Gould, 2003). Παρόλο που η χρήση αντιμικροβιακών παραγόντων συμβάλλει καθοριστικά στην ασφάλεια των τροφίμων, η συνεχής έρευνα είναι απαραίτητη για την κατανόηση των μακροχρόνιων επιπτώσεών τους στην ανθρώπινη υγεία. Οι καταναλωτές γίνονται ολοένα και πιο επιφυλακτικοί ως προς τα συνθετικά συντηρητικά, οδηγώντας την επιστημονική κοινότητα στην αναζήτηση φυσικών εναλλακτικών με μικρότερες πιθανότητες τοξικότητας και ανθεκτικότητας των μικροοργανισμών. Η τεχνολογική πρόοδος και η διεπιστημονική συνεργασία μεταξύ χημικών, μικροβιολόγων και διατροφολόγων αναμένεται να διαμορφώσουν τις μελλοντικές τάσεις στη χρήση αντιμικροβιακών παραγόντων στα τρόφιμα. Τα βότανα/μπαχαρικά που χρησιμοποιήθηκαν στην μαρινάδα της παρούσας εργασίας, με αντιμικροβιακή/συντηρητική δράση είναι τα εξής:

i. Ρίγανη

Η ρίγανη (*Origanum vulgare*) είναι ένα αρωματικό φυτό της οικογένειας *Lamiaceae*, ευρέως χρησιμοποιούμενο στη μεσογειακή διατροφή και γνωστό για τις φαρμακευτικές του ιδιότητες (Burt, 2004). Η αντιμικροβιακή της δράση αποδίδεται κυρίως στα αιθέρια έλαια που περιέχει, με κυριότερα ενεργά συστατικά τη θυμόλη και την καρβακρόλη (Brenes & Roura, 2010). Αυτές οι φαινολικές ενώσεις διαθέτουν ισχυρή αντιβακτηριακή δράση έναντι ενός ευρέος φάσματος παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* και *Listeria monocytogenes* (Lambert et al., 2001). Οι μηχανισμοί δράσης της ρίγανης περιλαμβάνουν την αποδιάταξη της κυτταρικής μεμβράνης των βακτηρίων, την αύξηση της διαπερατότητάς της και την αναστολή κρίσιμων ενζύμων που εμπλέκονται στο μεταβολισμό των μικροοργανισμών (Ultee et al., 2002). Επιπλέον, η ρίγανη εμφανίζει αντιοξειδωτικές ιδιότητες, οι οποίες ενισχύουν τη σταθερότητα των τροφίμων και συμβάλλουν στην καθυστέρηση της οξείδωσης των λιπιδίων, παρατείνοντας έτσι τη

διάρκεια ζωής των τροφίμων στα οποία εφαρμόζεται (Ruberto et al., 2000). Λόγω αυτών των ιδιοτήτων, η χρήση εκχυλισμάτων ρίγανης ή των αιθέριων ελαίων της σε βρώσιμα επιστρώματα και συστήματα συντήρησης τροφίμων αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη στρατηγική για τη βελτίωση της ασφάλειας και της ποιότητάς τους (Şimşek et al., 2017).

ii. Τζίντζερ

Το τζίντζερ (*Zingiber officinale*) είναι ένα αρωματικό ρίζωμα που χρησιμοποιείται ευρέως τόσο στη μαγειρική όσο και στη φαρμακολογία, λόγω των αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και αντιμικροβιακών του ιδιοτήτων (Shan et al., 2007). Η αντιμικροβιακή του δράση οφείλεται κυρίως στις βιοδραστικές ενώσεις του, όπως οι τζιντζερόλες, οι σογκαόλες και οι σουγκάρες, οι οποίες έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές έναντι διαφόρων παθογόνων βακτηρίων και μυκήτων (Singh et al., 2008). Μελέτες δείχνουν ότι το εκχύλισμα τζίντζερ μπορεί να αναστείλει την ανάπτυξη βακτηρίων όπως *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus* και *Listeria monocytogenes* μέσω της διάσπασης της κυτταρικής μεμβράνης και της αποδιοργάνωσης των ενδοκυτταρικών λειτουργιών (Ficker et al., 2003). Επιπλέον, το τζίντζερ έχει ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση της οξειδωσης των λιπιδίων και στη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων (Zhang et al., 2019). Η χρήση του σε edώδιμα επικαλύμματα ή ως φυσικό συντηρητικό σε τρόφιμα θεωρείται μια αποτελεσματική στρατηγική για τη βελτίωση της ασφάλειας και της διάρκειας ζωής τους (Ghasemzadeh et al., 2010).

iii. Λάιμ

Το λάιμ (*Citrus aurantiifolia*) είναι ένα εσπεριδοειδές φρούτο γνωστό για τη χαρακτηριστική όξινη γεύση του και την υψηλή περιεκτικότητά του σε βιοδραστικές ενώσεις, όπως η βιταμίνη C, τα φλαβονοειδή και τα αιθέρια έλαια (Dhiman et al., 2021). Η αντιμικροβιακή του δράση αποδίδεται κυρίως στα αιθέρια έλαιά του, τα οποία

περιέχουν δραστικές ενώσεις όπως η λιμονένιο, η κιτρονελλάλη και η λιναλοόλη, που διαθέτουν ισχυρή αντιβακτηριακή και αντιμυκητιακή δράση (Fisher & Phillips, 2009). Μελέτες έχουν δείξει ότι το εκχύλισμα και το αιθέριο έλαιο του λάιμ είναι αποτελεσματικά έναντι παθογόνων μικροοργανισμών όπως *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes* και *Staphylococcus aureus*, αναστέλλοντας την ανάπτυξή τους μέσω της διάσπασης της κυτταρικής μεμβράνης και της παρεμπόδισης βασικών μεταβολικών λειτουργιών (Oikeh et al., 2016). Επιπλέον, το λάιμ έχει ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, η οποία ενισχύει τη σταθερότητα των τροφίμων και μειώνει τη φθορά τους λόγω οξείδωσης (Kim et al., 2021). Η προσθήκη εκχυλισμάτων ή αιθέριου ελαίου λάιμ σε εδώδιμα επικαλύμματα θεωρείται μια πολλά υποσχόμενη στρατηγική για τη βελτίωση της ασφάλειας και της συντηρησιμότητας των τροφίμων, λόγω της φυσικής αντιμικροβιακής και συντηρητικής του δράσης (Siddiqui et al., 2018).

1.9 *Parapenaeus longirostris*: Βιολογία, Αλιεία και Οικολογική Σημασία

Η *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846), γνωστή και ως γαρίδα βαθέων υδάτων, αποτελεί ένα σημαντικό είδος δεκαπόδου καρκινοειδούς της οικογένειας *Penaeidae*. Απαντάται κυρίως στη Μεσόγειο Θάλασσα και στον Ανατολικό Ατλαντικό Ωκεανό, όπου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο τόσο στο οικοσύστημα όσο και στην εμπορική αλιεία (Kapiris et al., 2014).



Εικόνα 1.1 : Γαρίδα των Βαθέων Υδάτων ή ροδόγαρίδα (*Parapenaeus longirostris*)

Το είδος αυτό χαρακτηρίζεται από επιμήκες σώμα, διαφανές ροζ-πορτοκαλί χρωματισμό και μακριές κεραίες. Τα ενήλικα άτομα φτάνουν συνήθως σε μήκος 10-15 cm, με τα θηλυκά να εμφανίζουν μεγαλύτερες διαστάσεις σε σχέση με τα αρσενικά (Sobrino et al., 2005). Οι γαρίδες του είδους *P. longirostris* καταγράφονται σε βάθη από 20 έως 700 μέτρα, αν και η μεγαλύτερη αφθονία τους εντοπίζεται μεταξύ 100-400 μέτρων σε αμμώδη ή λασπώδη υποστρώματα (Abelló et al., 2002). Η αναπαραγωγή της *P. longirostris* παρουσιάζει εποχιακή κατανομή, με την υψηλότερη αναπαραγωγική δραστηριότητα να σημειώνεται κατά τους θερμότερους μήνες. Το είδος ακολουθεί στρατηγική πλαγκτονικής ανάπτυξης, καθώς τα αυγά εκκολάπτονται σε ελεύθερες προνύμφες που σταδιακά εξελίσσονται σε νεαρά άτομα (Heldt, 1955). Η *Parapenaeus longirostris* είναι σαρκοφάγο είδος και τρέφεται κυρίως με μικρούς βενθικούς οργανισμούς, όπως καρκινοειδή, πολυχαιτικούς σκώληκες και μικρά μαλάκια (Cartes, 1995). Αποτελεί βασικό θήραμα για πολλά είδη ιχθύων και κεφαλόποδων, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία της στη θαλάσσια τροφική αλυσίδα (Fanelli et al., 2009). Η *P. longirostris* είναι ένα από τα πλέον εκμεταλλεύσιμα αλιευτικά είδη στη Μεσόγειο, με

σημαντικά ιχθυαποθέματα να καταγράφονται στον Κόλπο της Γκαμπές (Τυνησία), στον Ατλαντικό κοντά στο Μαρόκο και στον Κορινθιακό Κόλπο στην Ελλάδα (Paraconstantinou & Kapiris, 2003). Η αλιεία της πραγματοποιείται κυρίως με τη χρήση τράτας βυθού, γεγονός που εγείρει ζητήματα διαχείρισης των αποθεμάτων της λόγω της πιθανότητας υπεραλίευσης (Fiorentino et al., 2004). Η εντατική εκμετάλλευση του είδους έχει οδηγήσει σε ανησυχίες για τη διατήρησή του. Παράγοντες όπως η κλιματική αλλαγή, η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών και οι αλλαγές στη δυναμική των θαλάσσιων ρευμάτων ενδέχεται να επηρεάσουν τη βιολογία και την κατανομή του (Colloca et al., 2013). Ως εκ τούτου, η εφαρμογή διαχειριστικών μέτρων, όπως η επιβολή ελάχιστου επιτρεπτού μεγέθους αλιείας και η δημιουργία προστατευμένων περιοχών, κρίνεται απαραίτητη για τη βιώσιμη εκμετάλλευση του είδους (Spedicato et al., 2010). Η *Parapenaeus longirostris* αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά αλιευτικά είδη στη Μεσόγειο, τόσο από οικολογική όσο και από οικονομική άποψη. Η ανάγκη για βιώσιμες πρακτικές αλιείας και η προστασία των αποθεμάτων της καθίστανται επιτακτικές προκειμένου να διασφαλιστεί η διατήρηση της οικολογικής της θέσης και της αλιευτικής της αξίας.

1.10 Σκοπός Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η διερεύνηση της επίδρασης εδώδιμων επικαλυμμάτων αλγινικών αλάτων, τόσο μεμονωμένα όσο και σε συνδυασμό με μία σύνθεση βιοδραστικών συστατικών (τζίντζερ, λάιμ, ρίγανη), στο μικροβιακό προφίλ και τον εμπορικό χρόνο ζωής αποφλοιωμένης γαρίδας υπό συνθήκες ψυκτικής αποθήκευσης στους 4°C. Η μελέτη αποσκοπεί στην αξιολόγηση της αντιμικροβιακής δράσης των επικαλυμμάτων και της δυνατότητάς τους να επιβραδύνουν την αλλοίωση

του προϊόντος, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της ποιότητάς του και στην παράταση της διάρκειας ζωής του κατά τη συντήρηση σε συνθήκες ψύξης.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Προέλευση γαρίδων

Γαρίδες βαθέων υδάτων (*Parapenaeus longirostris*) μέσου βάρους περίπου 45g η κάθε μια (Εικ.2.1) αλιεύτηκαν στον Θερμαϊκό Κόλπο στις 31 Ιανουαρίου 2025 και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Εμπορίας και Τεχνολογίας Αλιευτικών Προϊόντων και Τροφίμων του Τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βόλο.

2.2 Πειραματικός Σχεδιασμός

Προετοιμασία Γαρίδων

Οι γαρίδες αρχικά αποκεφαλίστηκαν και αποφλοιώθηκαν (Εικ. 2.1). Στη συνέχεια, χωρίστηκαν σε καθαρισμένες νωπές γαρίδες και σε μαριναρισμένες γαρίδες (Εικ. 2.2).



Εικόνα 2.1: Γαρίδες (*Parapenaeus longirostris*) μετά την αφαίρεση κελύφους



Εικόνα 2.2: Γαρίδες καθαρισμένες νωπές (αριστερά) και γαρίδες μαριναρισμένες (δεξιά)

Προετοιμασία εδώδιμων επικαλύψεων και μεταχειρίσεων

Για την επίτευξη του σκοπού της ΜΔΕ, παρασκευάστηκαν τα παρακάτω

- α)** διάλυμα εδώδιμων επικαλύψεων που περιείχε αλγινικό νάτριο 1,5% (w/v) και γλυκερόλη 10% (v/v) και
- β)** συνταγή με καρυκεύματα/μυρωδικά, η οποία περιείχε: ρίγανη 1,25% (w/v), τζίντζερ 1,25% (w/v) και λάιμ 97,5% (v/v).

Οι γαρίδες χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να προκύψουν οι παρακάτω 4 μεταχειρίσεις:

1) Μεταχείριση 1^η: Μάρτυρας



Εικόνα 2.3: Γαρίδες μετά την αφαίρεση του κελύφους (μάρτυρας)

2) **Μεταχείριση 2^η:** Καθαρισμένες γαρίδες με επικάλυψη αλγινικών



Εικόνα 2.4: Γαρίδες εμβαπτισμένες σε διάλυμα με αλγινικό νάτριο 1,5% (w/v) και γλυκερόλη 10% (v/v)

Μεταχείριση 3^η: Γαρίδες καθαρισμένες και εμβαπτισμένες σε μαρινάδα με χυμό λάιμ, τζίντζερ και ρίγανη



Εικ. 2.5: Γαρίδες εμβαπτισμένες σε μαρινάδα με ρίγανη 1,25% (w/v), τζίντζερ 1,25% (w/v) και λάιμ 97,5% (v/v).

Μεταχείριση 4^η: Γαρίδες εμβαπτισμένες σε μαρινάδα και επικαλυμμένες με εδώδιμη μεμβράνη



Εικ. 2.6: Γαρίδες με ρίγανη 1,25% (w/v), τζίντζερ 1,25% (w/v) και λάιμ 97,5% (v/v) και στη συνέχεια εμβαπτισμένες σε διάλυμα που περιείχε αλγινικό νάτριο 1,5% (w/v) και γλυκερόλη 10% (v/v).

Για τις μεταχειρίσεις με τις επικαλύψεις, οι γαρίδες εμβαπτίστηκαν στα διαλύματα για ένα λεπτό, στη συνέχεια παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου για ένα λεπτό και κατόπιν εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα που περιείχε 2% (w/v) χλωριούχου

ασβεστίου (CaCl₂) για ένα λεπτό (Liu et al. 2023). Στη συνέχεια, οι γαρίδες όλων των μεταχειρίσεων αποθηκεύτηκαν στους 4°C. Οι δειγματοληψίες για την οργανοληπτική αξιολόγηση και την μικροβιολογική ανάλυση πραγματοποιούνταν κάθε 2 μέρες. Σε κάθε δειγματοληψία λαμβάνονταν διπλά δείγματα.

2.3 Εκτίμηση εμπορικού χρόνου ζωής

Η οργανοληπτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε όλα τα δείγματα πριν από την έναρξη των μικροβιολογικών αναλύσεων. Η αξιολόγηση βασίστηκε σε πενταβάθμια κλίμακα, με τις οργανοληπτικές παραμέτρους (όπως εμφάνιση, οσμή και συνεκτικότητα) να εκτιμώνται σύμφωνα με τον Οδηγό της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις βαθμίδες φρεσκάδας των αλιευτικών προϊόντων (Howgate et al., 1992). Στην κλίμακα αυτή, η τιμή 5 αντιστοιχούσε σε άριστη ποιότητα, ενώ οι τιμές 4, 3 και 2 αντιπροσώπευαν αντίστοιχα φρέσκο, αποδεκτό και μη αποδεκτό προϊόν. Η τιμή 1 υποδήλωνε προϊόν σε προχωρημένο στάδιο αλλοίωσης. Ο χρόνος απόρριψης ορίστηκε ως το σημείο στο οποίο το προϊόν λάμβανε βαθμολογία 2 από τουλάχιστον δύο εκ των πέντε αξιολογητών.

2.4 Μικροβιολογική Ανάλυση

Μικροβιολογικά υλικά και εδώδιμα χημικά αντιδραστήρια

Τα μικροβιολογικά υλικά προμηθεύτηκαν από την εταιρεία LAB M (Lancashire, UK), εκτός από το Iron Agar (IA), το οποίο προετοιμάστηκε σύμφωνα με τους Gram et al. (1987) και περιείχε: 20 g/l πεπτόνη, 3 g/l εκχύλισμα κρέατος, 3 g/l εκχύλισμα ζυμομυκήτων, 3 g/l κιτρικό σίδηρο, 0,3 g/l θειοθειικό νάτριο, 5 g/l NaCl, 0,6 g/l L-κυστεΐνη, και 14 g/l άγαρ. Το pH ρυθμίστηκε στο 7,4. Τα χημικά αντιδραστήρια προέρχονταν από τη Sigma-Aldrich (Steinheim, Γερμανία), ενώ η γλυκερόλη (φυτική) και το αλγινικό νάτριο προέρχονταν από την εταιρεία Manis Chemicals (Ελλάδα).

Ανάλυση δειγμάτων

Σε κάθε δειγματοληψία, λαμβάνονταν δείγματα σάρκας 10g, τα οποία μεταφέρονταν ασηπτικά σε αποστειρωμένες σακούλες stomacher. Προσθέτονταν 90 ml Maximum Recovery Diluent (MRD, που περιείχε 0,85% NaCl και 0,1% πεπτόνη) και στη συνέχεια τα δείγματα ομογενοποιούνταν για 2 λεπτά με συσκευή τύπου Stomacher (Bug Mixer, Interscience, Λονδίνο, Ηνωμένο Βασίλειο). Μετά την ομογενοποίηση, πραγματοποιούνταν διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις, μεταφέροντας 1 ml από κάθε αραιώση στον επόμενο δοκιμαστικό σωλήνα που περιείχε εννεαπλάσια ποσότητα αραιωτικού μέσου. Οι μικροοργανισμοί που απαριθμήθηκαν ήταν:

α) Ολικός Μικροβιακός Πληθυσμός σε TSA (Tryptone Soy Agar) μετά από επώαση των τρυβλίων στους 25°C για 48-72 ώρες,

β) *Pseudomonas* spp. σε CFC *Pseudomonas* Agar (Cetrimide-Fucidin-Cephaloridine agar) με καταμέτρηση των αποικιών, μετά από επώαση στους 25°C για 48 ώρες,

γ) βακτήρια που παράγουν H₂S σε IA (Iron Agar), με καταμέτρηση μόνο των μαύρων αποικιών, μετά από επώαση των τρυβλίων στους 25°C για 48 ώρες,

δ) ζύμες και μύκητες σε YEPD (yeast extract, peptone, dextrose), με καταμέτρηση των αποικιών, μετά από επώαση στους 25°C για 48-72 ώρες,

ε) Οξυγαλακτικά βακτήρια σε MRS Agar (Mann, Rogosa, Sharpe agar), με καταμέτρηση των αποικιών, μετά από επώαση στους 25°C για 48-72 ώρες,

στ) Enterobacteriaceae σε Violet Red Bile Glucose Agar (VRBGA) με καταμέτρηση των μωβ αποικιών με δακτύλιο, μετά από επώαση στους 37 °C για 24 h.

Επιπρόσθετα, πραγματοποιούνται μετρήσεις για την ενεργό οξύτητα (pH) για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά. Η μέτρηση του pH γινόταν με την χρήση του Thermo Scientific Orion Star A111.



Εικ. 2.7 Thermo Scientific Orion Star A111

Τέλος, η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος Microsoft Excel.

3.Αποτελέσματα

3.1 Εμπορικός Χρόνος ζωής

Αρχικά (D0), τα φιλέτα για όλες τις μεταχειρίσεις αξιολογήθηκαν με βάση τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά ως άριστα. Αναλυτικότερα, οι γαρίδες μάρτυρες (Μεταχείριση 1η) παρέμειναν σε “άριστη” κατάσταση μέχρι και την 2^η ημέρα (D2), ενώ απορρίφθηκαν την 5^η ημέρα (D5). Οι γαρίδες με την εδώδιμη επικάλυψη (Μεταχείριση 2^η) ήταν σε “άριστη” κατάσταση έως και την 3^η ημέρα (D3), σε κατάσταση “υποβαθμισμένο αλλά αποδεκτό” έως και την 6^η ημέρα (D6), ενώ απορρίφθηκαν την επόμενη μέρα (D7). Οι γαρίδες με τη μαρινάδα (Μεταχείριση 3^η) παρέμειναν σε “άριστη” κατάσταση έως και την 5^η ημέρα (D5), σε κατάσταση «υποβαθμισμένο αλλά αποδεκτό» έως και την 9^η ημέρα (D9), ενώ έφτασαν σε κατάσταση «απορριπτόμενο» την 11^η ημέρα (D11). Τέλος, οι γαρίδες με τη μαρινάδα και την εδώδιμη επικάλυψη (Μεταχείριση 4^η) παρουσίασαν παρόμοια οργανοληπτικά σκορ με την Μεταχείριση 3^η.



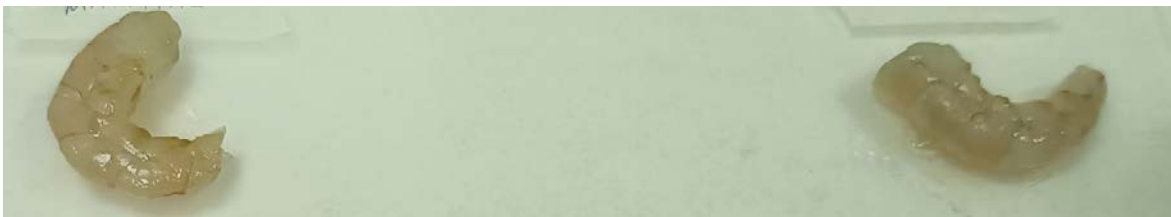
Εικ. 3.1.1: Σάρκα νωπής γαρίδας (αριστερά) και σάρκα γαρίδας μαριναρισμένης (δεξιά)



Εικ. 3.1.2: Μεταχείριση 1^η (μάρτυρας, αριστερά) και Μεταχείριση 2^η (Καθαρισμένες γαρίδες με επικάλυψη αλγινικών, δεξιά) την 3^η ημέρα συντήρησης (D3) στους 4°C.



Εικ. 3.1.3 : Μεταχείριση 3^η (γαρίδες καθαρισμένες και εμβαπτισμένες σε μαρινάδα με χυμό λάιμ, τζιντζερ και ρίγανη, αριστερά) και Μεταχείριση 4^η (γαρίδες εμβαπτισμένες σε μαρινάδα και επικαλυμμένες με εδώδιμη μεμβράνη, δεξιά) την 3^η ημέρα συντήρησης (D3) στους 4°C.



Εικ. 3.1.4 : Μεταχείριση 1^η (μάρτυρας, αριστερά) και Μεταχείριση 2^η (Καθαρισμένες γαρίδες με επικάλυψη αλγινικών, δεξιά) την 5^η ημέρα συντήρησης (D5) στους 4°C.



Εικ. 3.1.5 : Μεταχείριση 3^η (γαρίδες καθαρισμένες και εμβαπτισμένες σε μαρινάδα με χυμό λάιμ, τζιντζερ και ρίγανη, αριστερά) και Μεταχείριση 4^η (γαρίδες εμβαπτισμένες σε μαρινάδα και επικαλυμένες με εδώδιμη μεμβράνη, δεξιά) την 5^η ημέρα συντήρησης (D5) στους 4°C.

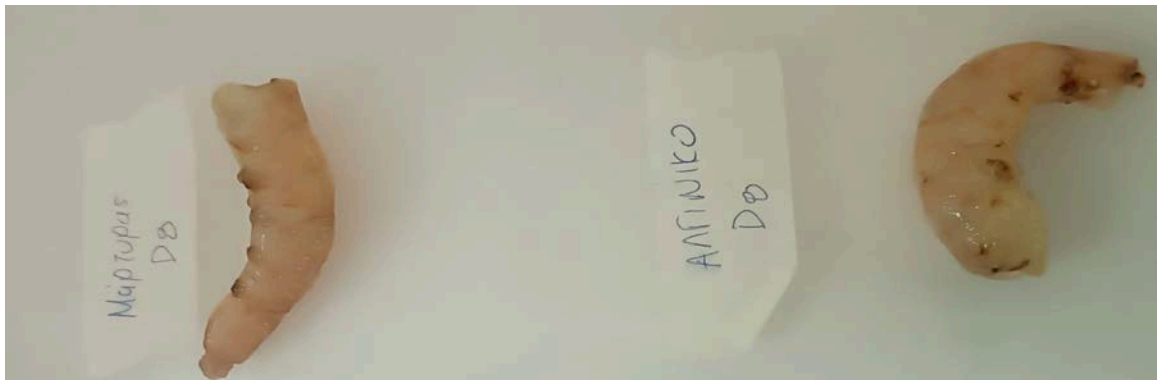


Εικ. 3.1.6 : Μεταχείριση 1^η (μάρτυρας, αριστερά) και Μεταχείριση 2^η (Καθαρισμένες γαρίδες με επικάλυψη αλγινικών, δεξιά) την 7^η ημέρα συντήρησης (D7) στους 4°C.

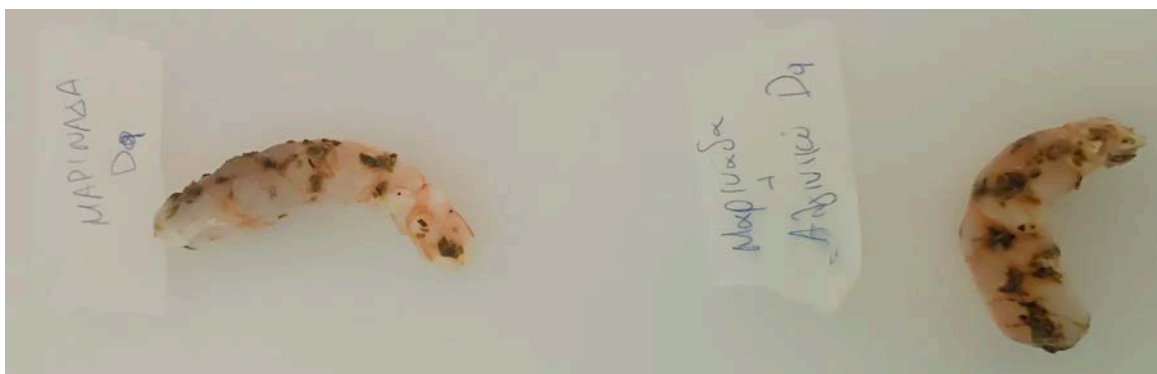


Εικ. 3.1.7 : Μεταχείριση 3^η (γαρίδες καθαρισμένες και εμβαπτισμένες σε μαρινάδα με χυμό λάιμ, τζιντζερ και ρίγανη, αριστερά) και Μεταχείριση 4^η (γαρίδες εμβαπτισμένες σε

μαρινάδα και επικαλυμμένες με εδώδιμη μεμβράνη, δεξιά) την 7^η ημέρα συντήρησης (D7) στους 4°C.



Εικ. 3.1.8 : Μεταχείριση 1^η (μάρτυρας, αριστερά) και Μεταχείριση 2^η (Καθαρισμένες γαρίδες με επικάλυψη αλγινικών, δεξιά) την 8^η ημέρα συντήρησης (D8) στους 4°C.



Εικ. 3.1.9 : Μεταχείριση 3^η (γαρίδες καθαρισμένες και εμβαπτισμένες σε μαρινάδα με χυμό λάιμ, τζιντζερ και ρίγανη, αριστερά) και Μεταχείριση 4^η (γαρίδες εμβαπτισμένες σε μαρινάδα και επικαλυμμένες με εδώδιμη μεμβράνη, δεξιά) την 8^η μέρα συντήρησης (D8) στους 4°C.



Εικ. 3.1.10 : Μεταχείριση 3^η (γαρίδες καθαρισμένες και εμβαπτισμένες σε μαρινάδα με χυμό λάιμ, τζιντζερ και ρίγανη) την 10^η ημέρα συντήρησης (D10) στους 4°C.

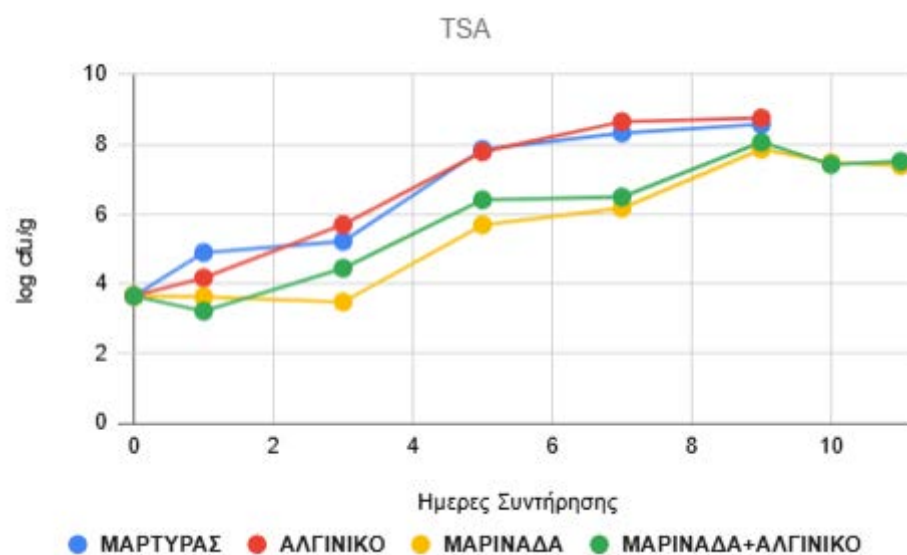


Εικ. 3.1.11: Μεταχείριση 4^η (γαρίδες εμβαπτισμένες σε μαρινάδα και επικαλυμένες με εδώδιμη μεμβράνη) την 10^η ημέρα συντήρησης (D10) στους 4°C.

3.2 Μικροβιακές Μεταβολές

Οι πληθυσμιακές μεταβολές της Ολικής Μεσόφιλης Χλωρίδας (OMX), καθώς και των κυριότερων αλλοιογόνων μικροοργανισμών – συγκεκριμένα των *Pseudomonas* spp., των υδροθειούχων (παραγωγών H₂S), των οξυγαλακτικών βακτηρίων, των βακτηρίων της οικογένειας Enterobacteriaceae, καθώς και των ζυμών και μυκήτων, απεικονίζονται στα παρακάτω Σχήματα (Σχ. 3.2.1 – Σχ. 3.2.6).

3.2.1 Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα (OMX)

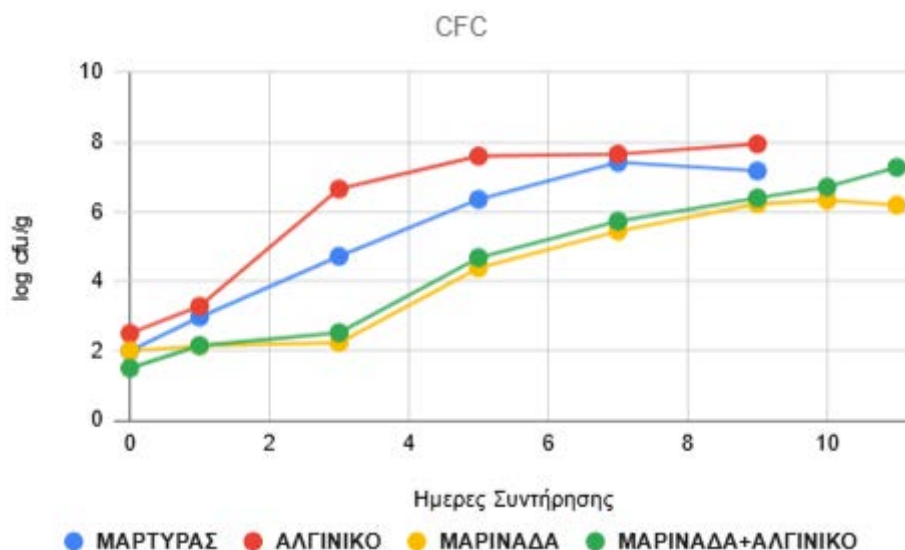


Σχήμα 3.2.1: Πληθυσμιακές μεταβολές της OMX για τις 4 μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια της συντήρησης των γαρίδων κέρατος στους 4°C. Τα σημεία αντιστοιχούν στους μέσους όρους 2 επαναλήψεων.

Μετά τον καθαρισμό των γαρίδων (D0), η OMX βρέθηκε στα επίπεδα των $3,65 \pm 0,08$ log cfu/g. Στο χρόνο απόρριψης, η OMX στους μάρτυρες και στις γαρίδες με την επικάλυψη αλγινικού έφτασαν τους $8,33 \pm 0,13$ log cfu/g και $8,65 \pm 0,01$ log cfu/g, αντίστοιχα (6^η ημέρα και για τις δύο μεταχειρίσεις), ενώ στις γαρίδες με τη μαρινάδα και στις γαρίδες με τη μαρινάδα και την επικάλυψη αλγινικού έφτασαν στα επίπεδα των 7,39

$\pm 0,06 \log \text{ cfu/g}$ και $7,51 \pm 0,01 \log \text{ cfu/g}$, αντίστοιχα (11^η ημέρα και για τις δύο μεταχειρίσεις).

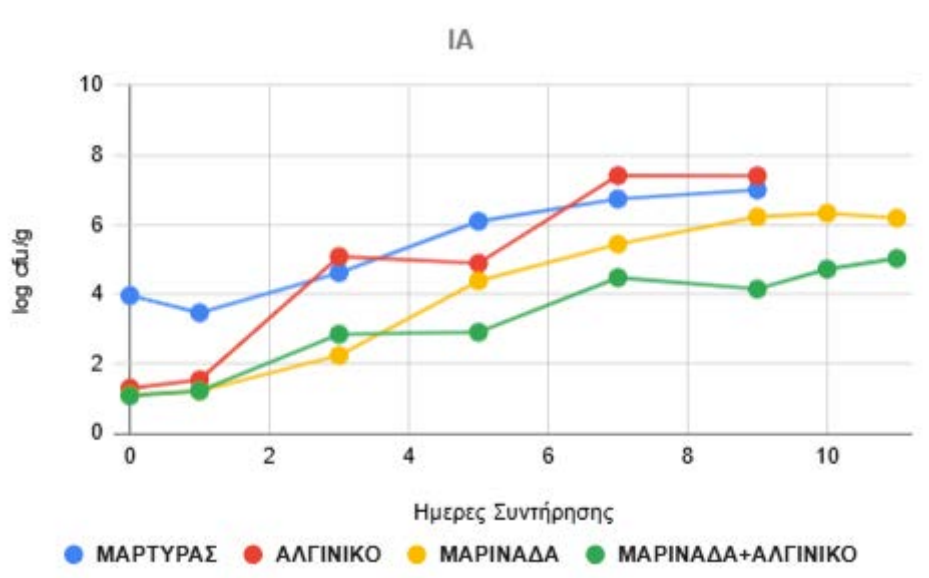
3.2.2. *Pseudomonas* spp.



Σχήμα 3.2.2: Πληθυσμιακές μεταβολές των *Pseudomonas* spp. για τις 4 μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια της συντήρησης των γαρίδων στους 4°C. Τα σημεία αντιστοιχούν στους μέσους όρους 2 επαναλήψεων.

Αρχικά (D0), τα *Pseudomonas* spp. βρέθηκαν στα επίπεδα των $2 \pm 0,41 \log \text{ cfu/g}$. Στους μάρτυρες και στις γαρίδες οι οποίες εμβαιπίστηκαν σε αλγινικό διάλυμα, ο πληθυσμός των *Pseudomonas* spp. έφτασε στα επίπεδα των $7,42 \pm 0,03 \log \text{ cfu/g}$ και $7,65 \pm 0,04 \log \text{ cfu/g}$ αντίστοιχα, στο χρόνο απόρριψης (7^η ημέρα και για τις δύο μεταχειρίσεις). Όσον αφορά τις γαρίδες με τη μαρινάδα καθώς και τις γαρίδες με τη μαρινάδα και την επικάλυψη αλγινικών έφτασαν τα επίπεδα των $6,19 \pm 0,02 \log \text{ cfu/g}$ και $7,27 \pm 0,05 \log \text{ cfu/g}$, αντίστοιχα, την μέρα απόρριψής τους (D11).

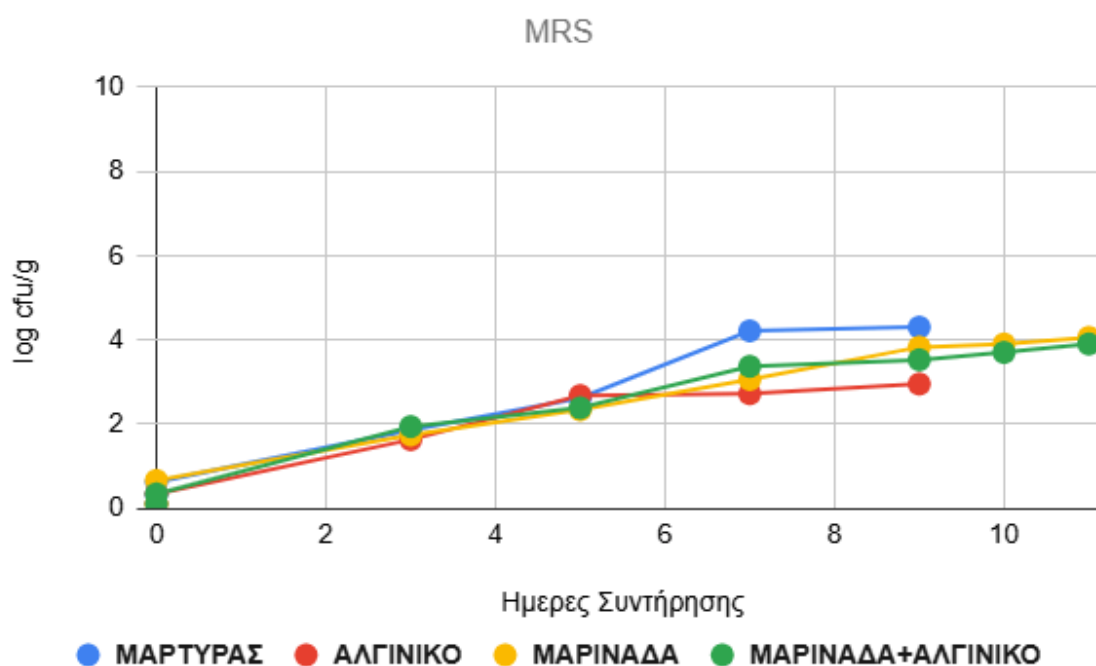
3.2.3. Υδροθειοπαραγωγά βακτήρια



Σχήμα 3.2.3: Πληθυσμιακές μεταβολές των υδροθειοπαραγωγών βακτηρίων για τις 4 μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια της συντήρησης των γαρίδων στους 4°C.

Την ημέρα 0 (D0), τα υδροθειοπαραγωγά βακτήρια βρέθηκαν στα επίπεδα των $3,96 \pm 0,24$ log cfu/g. Ο πληθυσμός στους μάρτυρες την 7^η ημέρα συντήρησης, η οποία ήταν η μέρα απόρριψής τους, έφτασε στα επίπεδα των $6,74 \pm 0,09$ log cfu/g. Στις γαρίδες με την εδώδιμη επικάλυψη αλγινικών, οι μικροοργανισμοί αυτοί έφτασαν στους $7,41 \pm 0,04$ log cfu/g την ημέρα της οργανοληπτικής τους απόρριψης (7^η μέρα). Όσον αφορά τις γαρίδες με τη μαρινάδα, τα υδροθειοπαραγωγά βακτήρια βρέθηκαν στα επίπεδα των $6,19 \pm 0,02$ log cfu/g κατά την ημέρα απόρριψής τους (D11). Τέλος, στις γαρίδες οι οποίες με την εδώδιμη επικάλυψη και τη μαρινάδα, οι πληθυσμοί των βακτηρίων αυτών έφτασαν στους $7,51 \pm 0,01$ log cfu/g κατά την ενδέκατη μέρα η οποία ήταν η ημέρα της οργανοληπτικής τους απόρριψης.

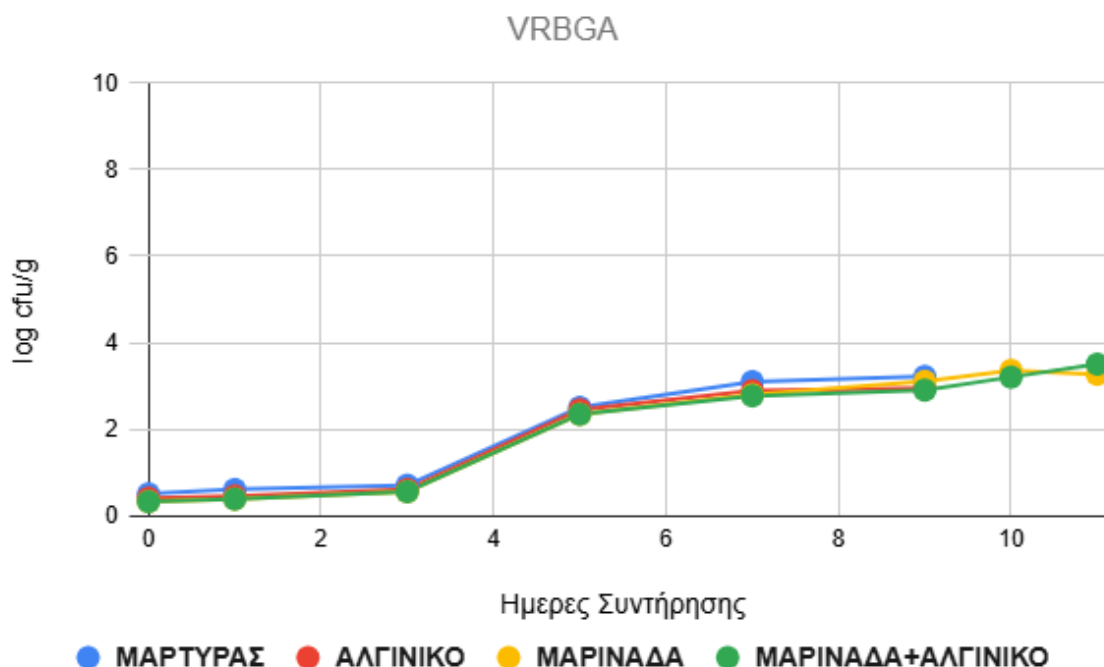
3.2.4. Οξυγαλακτικά βακτήρια



Σχήμα 3.2.4: Πληθυσμιακές μεταβολές των οξυγαλακτικών βακτηρίων για τις 4 μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια της συντήρησης των γαρίδων στους 4°C.

Την ημέρα 0, τα οξυγαλακτικά βακτήρια βρέθηκαν να είναι κάτω του ορίου ανίχνευσης του 1 λογαρίθμου. Την ημέρα απόρριψης, ο πληθυσμός τους δεν ξεπέρασε τους 4,5 λογαρίθμους σε καμία εκ των μεταχειρίσεων. Πιο συγκεκριμένα, στο μάρτυρα και στις γαρίδες που ήταν επικαλυμμένες με αλγινικά, ο πληθυσμός των οξυγαλακτικών βακτηρίων βρέθηκε στα επίπεδα των $4,21 \pm 0,06 \log \text{ cfu/g}$ και $2,95 \pm 0,05 \log \text{ cfu/g}$ αντίστοιχα την ημέρα της οργανοληπτικής απόρριψης (7^η ημέρα). Στις γαρίδες στις οποίες εφαρμόστηκε η μαρινάδα καθώς και στις γαρίδες με την εδώδιμη επικάλυψη και τη μαρινάδα, ο πληθυσμός των οξυγαλακτικών βακτηρίων βρέθηκε στα επίπεδα των $4,06 \pm 0,08 \log \text{ cfu/g}$ και $3,90 \pm 0,07 \log \text{ cfu/g}$ αντίστοιχα την ενδέκατη μέρα και για τις δύο μεταχειρίσεις.

3.2.5. Βακτήρια οικογένειας Enterobacteriaceae

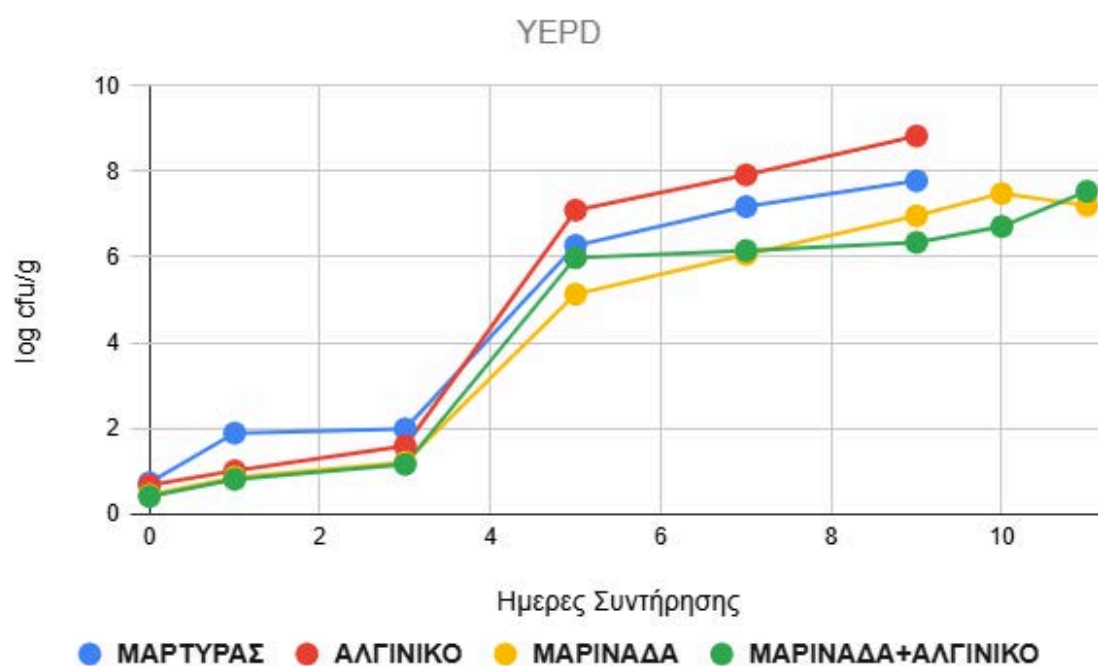


Σχήμα 3.2.5: Πληθυσμιακές μεταβολές των βακτηρίων της οικογένειας *Enterobacteriaceae*, για τις 4 μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια της συντήρησης των γαρίδων στους 4°C.

Μετά τον καθαρισμό των γαρίδων (D0), τα αρχικά επίπεδα των βακτηρίων της οικογένειας *Enterobacteriaceae* ήταν κάτω του ορίου ανίχνευσης για όλες τις μεταχειρίσεις στους 4°C. Αναφορικά με τις γαρίδες μάρτυρες την 7^η ημέρα όπου και οργανοληπτικά απορρίφθηκαν, τα επίπεδα των βακτηρίων της οικογένειας *Enterobacteriaceae* ήταν $3,10 \pm 0,01$ log cfu/g. Οι γαρίδες οι οποίες επικαλύφθηκαν με εδώδιμη μεμβράνη αλγινικών έφτασαν στους $2,89 \pm 0,04$ log cfu/g την έβδομη μέρα όπου και απορρίφθηκαν. Όσον έχει να κάνει με τις γαρίδες οι οποίες μεταχειρίστηκαν με την μαρινάδα, ο πληθυσμός των βακτηρίων μετρήθηκε στα επίπεδα των $3,27 \pm 0,05$ log

cfu/g κατά την ημέρα απόρριψής τους (D11). Τέλος στις γαρίδες οι οποίες είχαν τόσο την εδώδιμη επικάλυψη όσο και την μαρινάδα, οι πληθυσμοί των Enterobacteriaceae βακτηρίων έφτασαν $3,50 \pm 0,10 \log \text{ cfu/g}$ κατά την ενδέκατη μέρα όπου και απορρίφθηκαν.

3.2.6 Ζύμες και Μύκητες



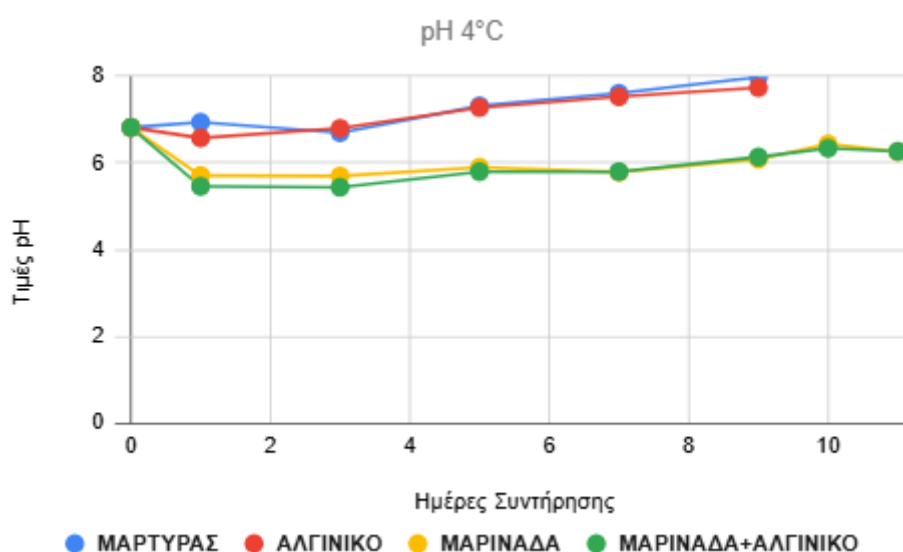
Σχήμα 3.2.6: Πληθυσμιακές μεταβολές των ζυμών και των μυκήτων, για τις 4 μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια της συντήρησης των γαρίδων στους 4°C.

Μετα τον καθαρισμό των γαρίδων (D0), τα αρχικά επίπεδα των ζυμών και των μυκήτων ήταν κάτω του ορίου ανίχνευσης για όλες τις μεταχειρίσεις στους 4°C. Ειδικότερα, οι μάρτυρες έφτασαν στα επίπεδα των $7,18 \pm 0,09 \log \text{ cfu/g}$ στο χρόνο απόρριψής τους (7^η ημέρα). Οι γαρίδες οι οποίες εμβαιπίστηκαν σε αλγινικό διάλυμα έφτασαν τα επίπεδα των $7,92 \pm 0,04 \log \text{ cfu/g}$ την ημέρα απόρριψής τους (D7). Όσον αφορά τις γαρίδες οι οποίες αποθηκεύτηκαν στους 4°C με την μέρα απόρριψής τους

(D11) έφτασαν τα επίπεδα των $7,48 \pm 0,01 \log \text{ cfu/g}$. Τέλος οι γαρίδες με μαρινάδα και επικάλυψη αλγινικών μετρήθηκαν και βρέθηκαν στα επίπεδα των $7,54 \pm 0,01 \log \text{ cfu/g}$ την ενδέκατη ημέρα όπου και απορρίφθηκαν.

3.3 Μεταβολές ενεργούς οξύτητας

Οι μεταβολές του pH για όλες τις μεταχειρίσεις στους 4°C παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρακάτω Σχήμα (Σχ. 3.3.1).



Σχήμα 3.3.1: Μεταβολή του pH για όλες τις μεταχειρίσεις στους 4°C .

Μετά την αποφλοίωση των γαρίδων, η τιμή του pH βρέθηκε ίση με 6,82. Σχετικά με τις μεταβολές του pH στις μεταχειρίσεις που αποθηκεύτηκαν στους 4°C , οι γαρίδες της 1^{ης} Μεταχείρισης (μάρτυρες) έφτασαν σε τιμή 7,98 κατά την ημέρα απόρριψής τους (7^η ημέρα). Στις γαρίδες της 2^{ης} Μεταχείρισης (με την εδώδιμη επικάλυψη) η τιμή του pH μειώθηκε την 1^η ημέρα σε 6,58, ενώ στη συνέχεια, άρχισε να αυξάνεται και την ημέρα απόρριψής τους (7^η ημέρα) βρέθηκε να έχει τιμή ίση με 7,74. Στις γαρίδες της 3^{ης} Μεταχείρισης (γαρίδες σε μαρινάδα) παρατηρήθηκε μείωση του pH έως την 7^η ημέρα,

όπου βρέθηκε ίσο με 5,79, ενώ κατά την απόρριψή τους (11^η ημέρα) οι γαρίδες είχαν pH ίσο με 6,26. Τέλος, στις γαρίδες της 4^{ης} Μεταχείρισης (γαρίδες με μαρινάδα και εδώδιμη επικάλυψη) το pH μειώνονταν φτάνοντας σε τιμή ίση με 5,44 την 5^η ημέρα, ενώ την ημέρα απόρριψής τους (11^η μέρα) έφτασε σε τιμή ίση με 6,27.

4. Συζήτηση

Ο εμπορικός χρόνος ζωής ενός αλιεύματος υπό συνθήκες ψύξης καθορίζεται από διάφορες παραμέτρους (πχ. θερμοκρασία, συσκευασία - ατμόσφαιρα, είδος ιχθύων, αρχικό μικροβιακό φορτίο). Τα αλιεύματα που φέρουν αρχικά πολύ υψηλό μικροβιακό φορτίο, παρουσιάζουν μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με εκείνα που φέρουν χαμηλό αρχικό μικροβιακό φορτίο καθώς το επίπεδο αλλοίωσης τους επέρχεται ταχύτερα (Boziaris & Parlapani 2017). Γενικώς, η άμεση ψύξη των ιχθύων είναι ένας απλός τρόπος που μπορεί να καθυστερήσει τις διεργασίες αλλοίωσης τους (αυτολυτικές, μικροβιολογικές, χημικές). Επίσης, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στην επέκταση του χρόνου ζωής των αλιευμάτων και των τροφίμων γενικότερα καθώς συμβάλλει στην διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων. Η γαρίδα, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνες και υγρασία, είναι ιδιαίτερα επιρρεπής σε μικροβιακή αλλοίωση και οξείδωση των λιπιδίων (Ghaly et al., 2010). Η εφαρμογή κατάλληλων τεχνολογιών συσκευασίας, όπως η τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Modified Atmosphere Packaging - MAP), μπορεί να επιβραδύνει σημαντικά τους ρυθμούς αλλοίωσης, περιορίζοντας την ανάπτυξη αερόβιων βακτηρίων και την οξείδωση (Özogul et al., 2004). Επιπλέον, η χρήση υλικών με φραγμό στο οξυγόνο και στην υγρασία, σε συνδυασμό με τη σωστή θερμοκρασία αποθήκευσης, μπορεί να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος διατηρώντας παράλληλα τη φρεσκάδα, το χρώμα και τη σύστασή του (Sivertsvik et al., 2002). Η καινοτομία στον τομέα της ενεργής συσκευασίας, που περιλαμβάνει την προσθήκη αντιμικροβιακών ή αντιοξειδωτικών ουσιών, παρουσιάζει επίσης σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της συντήρησης των γαρίδων (Lopez-Caballero et al., 2005). Τα αλγινικά, φυσικά πολυσακχαρίδια που εξάγονται κυρίως από καφέ φύκη (Phaeophyceae), έχουν αναδειχθεί ως σημαντικά υλικά για τη δημιουργία εδωδίων συσκευασιών, ιδιαίτερα στον τομέα της συντήρησης ευπαθών

τροφίμων όπως τα αλιεύματα (Khalil et al., 2021). Οι εδώδιμες μεμβράνες και επιστρώσεις αλγινικού νατρίου παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα κατακράτησης υγρασίας, χαμηλή διαπερατότητα στο οξυγόνο και δυνατότητα ενσωμάτωσης φυσικών αντιμικροβιακών και αντιοξειδωτικών παραγόντων (Gennadios et al., 1997). Αυτά τα χαρακτηριστικά τις καθιστούν κατάλληλες για την επιβράδυνση της οξείδωσης λιπιδίων και της ανάπτυξης αλλοιογόνων μικροοργανισμών στα προϊόντα αλιείας (Ojagh et al., 2010). Η χρήση τους στα αλιεύματα συμβάλλει στη διατήρηση της φρεσκότητας, στη μείωση των απωλειών βάρους λόγω αφυδάτωσης και στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής κατά την ψύξη ή ψύξη-απόψυξη (Sánchez-González et al., 2011). Παράλληλα, ενισχύουν τη βιωσιμότητα της αλυσίδας τροφίμων, καθώς είναι βιοδιασπώμενες και δεν παράγουν πλαστικά απόβλητα (Khalil et al., 2021). Η παρούσα μελέτη ανέδειξε την αποτελεσματικότητα των εδώδιμων επικαλύψεων, με ή χωρίς την προσθήκη φυσικών αντιμικροβιακών συστατικών, στην παράταση του εμπορικού χρόνου ζωής αποφλοιωμένης γαρίδας (*Parapenaeus longirostris*) κατά την ψυχρή αποθήκευση στους 4 °C. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθιστούν σαφές ότι η εφαρμογή πολυλειτουργικών βιοϋλικών στη συντήρηση ιχθυερών προϊόντων δύναται να επιφέρει σημαντικά οφέλη τόσο ποιοτικά όσο και οικονομικά, ενισχύοντας ταυτόχρονα τη βιωσιμότητα της αλιευτικής βιομηχανίας.

4.1 Ανάλυση των αποτελεσμάτων και ερμηνεία

Ο μάρτυρας, δηλαδή οι γαρίδες χωρίς καμία επικάλυψη ή μαρινάδα, αλλοιώθηκαν εντός πέντε ημερών, επιβεβαιώνοντας τη γνωστή ευπάθεια των ιχθυερών προϊόντων σε συνθήκες ψύξης, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία και αζωτούχες ενώσεις (Gram & Dalgaard, 2002). Η εφαρμογή μιας απλής εδώδιμης επικάλυψης, όπως αυτής με αλγινικό νάτριο (1,5% w/v) και γλυκερόλη (10% v/v),

αύξησε το χρόνο ζωής των γαρίδων κατά δύο ημέρες σε σχέση με τον μάρτυρα. Η αύξηση μπορεί να αποδοθεί στον σχηματισμό ενός ημιπερατού φραγμού που περιορίζει τη μεταφορά οξυγόνου και υγρασίας, καθώς και στη σχετική σταθερότητα των φυσικοχημικών παραμέτρων του τροφίμου (Krochta et al., 1994). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η πιο αποτελεσματική μεταχείριση ήταν εκείνη του συνδυασμού της εδώδιμης επικάλυψης με φυσική μαρινάδα (χυμός lime, σκόνη τζίντζερ, ρίγανη), η οποία καθυστέρησε την εκδήλωση της αλλοίωσης μέχρι την 11^η ημέρα. Τα συστατικά της μαρινάδας που εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη περιέχουν φυσικά αντιμικροβιακά όπως φαινολικές ενώσεις, αιθέρια έλαια και οργανικά οξέα (Burt, 2004), τα οποία συμβάλλουν στη μείωση των μικροβιακών πληθυσμών και την αναστολή της ανάπτυξης των κυρίαρχων αλλοιογόνων μικροοργανισμών όπως τα *Pseudomonas* spp. και τις ζύμες/μύκητες (Gram & Huss, 1996). Οι μετρήσεις της Ολικής Μεσόφιλης Χλωρίδας (OMX) έδειξαν χαμηλότερα φορτία στις μεταχειρίσεις με μαρινάδα, συγκριτικά με τον μάρτυρα. Η παρουσία του κιτρικού και ασκορβικού οξέος στο lime, καθώς και των δραστικών μορίων της ρίγανης (καρβακρόλη, θυμόλη) και του τζίντζερ (τζιντζερόλη), φαίνεται πως ανέστειλε αποτελεσματικά την ανάπτυξη τόσο των Gram-αρνητικών αερόβιων μικροοργανισμών όσο και των μυκήτων (Holley & Patel, 2005).

4.1.1 Πιθανά αίτια των διαφορών

Τα χαμηλότερα μικροβιακά φορτία στην ομάδα επικάλυψης συνδυαστικά με τη μαρινάδα αποδίδονται στη συνεργιστική δράση του αλγινικού με τα βιοδραστικά συστατικά. Ο χυμός lime, πλούσιος σε κιτρικό οξύ και ασκορβικό οξύ, μειώνει το pH και δρα ανασταλτικά σε μικροοργανισμούς όπως τα *Enterobacteriaceae*. Η ρίγανη περιέχει καρβακρόλη και θυμόλη, ενώ το τζίντζερ διαθέτει τζιντζερόλη, ενώσεις με τεκμηριωμένη αντιμικροβιακή δράση. Ο συνδυασμός τους δημιουργεί ένα μη φιλόξενο περιβάλλον για

την ανάπτυξη αλλοιωγόνων μικροβίων. Η εδώδιμη επικάλυψη, αν και προσέφερε ένα φράγμα κατά της απώλειας υγρασίας και της οξειδωσης, δεν περιλάμβανε επαρκείς αντιμικροβιακούς παράγοντες. Αυτό εξηγεί τον παρόμοιο χρόνο ζωής και τη μικρή διαφορά στους μικροβιακούς πληθυσμούς με την ομάδα μάρτυρα. Επιπλέον, η μικροβιακή ανάλυση έδειξε κυριαρχία των *Pseudomonas* spp., των ζυμών και μυκήτων, ειδικά μετά την 7^η ημέρα. Αυτοί οι μικροοργανισμοί είναι γνωστοί για την ικανότητά τους να επιβιώνουν και να αναπτύσσονται σε συνθήκες ψύξης, ιδίως σε θαλασσινά υψηλής υγρασίας και θρεπτικών συστατικών.

Η OMX για τις γαρίδες με επικάλυψη και μαρινάδα έφτασε τους 7,51 log cfu/g κατά την 11η ημέρα, ενώ για τις μαριναρισμένες χωρίς επικάλυψη τους 7,39 log cfu/g. Οι τιμές αυτές πλησιάζουν το όριο απόρριψης, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης. Η μικρή διαφορά υποδηλώνει ότι η επικάλυψη αλγινικού ίσως λειτούργησε περισσότερο ως υποστηρικτικό μέσο, χωρίς καθοριστικό ρόλο στη μείωση της OMX. Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις των *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas* spp., οξυγαλακτικών και υδροθειοπαραγωγών βακτηρίων ακολουθούν την ίδια τάση: μικρότεροι αριθμοί στις επεμβάσεις με μαρινάδα, ενδιάμεσοι στις απλές επικάλυψεις, υψηλότεροι στους μάρτυρες.

4.2 Σημασία των ευρημάτων και επιπτώσεις

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης προσφέρουν ουσιαστική συμβολή τόσο στο επιστημονικό πεδίο της μετασυλλεκτικής τεχνολογίας των αλιευτικών προϊόντων όσο και στην κατεύθυνση της εφαρμοσμένης βιοτεχνολογίας τροφίμων. Η χρήση εδώδιμων επικαλύψεων, ιδιαίτερα όταν αυτές ενισχύονται με φυσικά αντιμικροβιακά συστατικά, ανέδειξε τη δυνατότητά τους να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής νωπών θαλασσινών, χωρίς την προσφυγή σε συνθετικά χημικά συντηρητικά. Από τεχνολογικής σκοπιάς, η

επιμήκυνση του εμπορικού χρόνου ζωής της αποφλοιωμένης γαρίδας κατά έξι ημέρες, μέσω της εφαρμογής φυσικής μαρινάδας σε συνδυασμό με βιοπολυμερική επικάλυψη, αποδεικνύει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα τέτοιων συστημάτων στην αναστολή μικροβιακής ανάπτυξης. Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται σε συνεργιστική δράση φυσικών φαινολικών ενώσεων και οργανικών οξέων, τα οποία είναι γνωστό ότι δρουν αντιμικροβιακά μέσω μείωσης του pH, διάσπασης της κυτταρικής μεμβράνης και αναστολής μεταβολικών ενζύμων (Burt, 2004· Friedman, 2014). Η συμβολή των επικαλύψεων στη μείωση της απώλειας υγρασίας και της οξείδωσης τεκμηριώνει περαιτέρω την πολύ-λειτουργικότητα αυτών των υλικών. Σύμφωνα με Han (2014), οι εδώδιμες επικαλύψεις μπορούν να δρουν ως ημιπερατές μεμβράνες, ρυθμίζοντας τη μεταφορά αερίων και υδρατμών, επιβραδύνοντας φαινόμενα αλλοίωσης και υποβάθμισης της ποιότητας. Η προστασία έναντι αλλοιογόνων μικροοργανισμών, με έμφαση στα ψυχρόφιλα βακτήρια του γένους *Pseudomonas*, είναι κρίσιμη για τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας, καθώς αυτά συνήθως διατηρούνται υπό ψύξη, όπου η δραστηριότητα των φυσικών αντιμικροβιακών πρέπει να παραμένει αποτελεσματική (Gram & Dalgaard, 2002). Το γεγονός ότι οι εφαρμογές μαρινάδας και επικάλυψης οδήγησαν σε σαφώς μειωμένα επίπεδα OMX και ειδικών αλλοιογόνων μικροοργανισμών αποδεικνύει την καταλληλότητα του σχεδιασμού αυτών των συστημάτων για ρεαλιστικές συνθήκες συντήρησης. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τη σημαντική συμβολή της βιολειτουργικής συσκευασίας στη διατροφική αλυσίδα.

Οι εδώδιμες επικαλύψεις από βιοπολυμερή (π.χ. αλγινικά) συνιστούν υλικά φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς είναι βιοαποικοδομήσιμα και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από πλαστικά μιας χρήσης (López de Dicastillo et al., 2012· Siracusa et al., 2008). Η ενσωμάτωση φυσικών εκχυλισμάτων προσφέρει επιπλέον δυνατότητα για στοχευμένη βιολειτουργικότητα, όπως αντιοξειδωτική, αντιβακτηριακή ή

ακόμα και ενζυμική δράση, δίνοντας προοπτική για προϊόντα επόμενης γενιάς με αυξημένη προστιθέμενη αξία. Από οικονομικής και εμπορικής σκοπιάς, η αύξηση της διάρκειας ζωής μειώνει το ποσοστό απωλειών στην εφοδιαστική αλυσίδα και διευκολύνει την εξαγωγή προϊόντων σε απομακρυσμένες αγορές. Αυτό ενισχύει τη βιωσιμότητα του τομέα των θαλασσινών, ιδιαίτερα σε περιοχές με ανεπτυγμένη ιχθυοπαραγωγή (Kuswandi et al., 2020). Εξίσου σημαντικό είναι ότι τέτοιες καινοτομίες ανταποκρίνονται στην αυξανόμενη καταναλωτική απαίτηση για ασφαλή, φυσικά και “καθαρού ετικετολογίου” (clean label) προϊόντα, χωρίς την προσθήκη συνθετικών προσθέτων (Asioli et al., 2017).

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης τεκμηριώνουν την πολλαπλή αξία των εδώδιμων επικαλύψεων εμπλουτισμένων με φυσικά αντιμικροβιακά, τόσο ως τεχνολογική καινοτομία συντήρησης όσο και ως στρατηγική πράσινης μετάβασης της αλιευτικής βιομηχανίας. Η πρακτική εφαρμογή τους μπορεί να λειτουργήσει ως καταλύτης για μια περισσότερο βιώσιμη και λειτουργική συσκευασία τροφίμων, με τελικό στόχο τη διασφάλιση της ποιότητας, τη μείωση των απωλειών και την ενίσχυση της καταναλωτικής εμπιστοσύνης.

4.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Οι μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες θα πρέπει να κινηθούν προς διάφορες κατευθύνσεις με σκοπό την περαιτέρω βελτιστοποίηση της τεχνολογίας εδώδιμων επικαλύψεων και τη μεταφορά της σε βιομηχανικό επίπεδο. Αρχικά, απαιτείται η μελέτη της αποτελεσματικότητας εναλλακτικών φυσικών βιοδραστικών ουσιών, όπως αιθέρια έλαια θυμαριού, δεντρολίβανου ή σκόρδου, τα οποία έχουν επιδείξει αντιμικροβιακή δράση σε διάφορα τρόφιμα (Burt, 2004; Gutiérrez et al., 2009). Επιπλέον, η ενσωμάτωση των εν λόγω ουσιών σε νανοφορείς (π.χ. νανογαλακτώματα ή νανοκάψουλες) μπορεί να επιτρέψει την ελεγχόμενη αποδέσμευσή τους και την προστασία τους από την οξειδωση,

αυξάνοντας τη σταθερότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των δραστικών συστατικών (Espitia et al., 2012; McClements, 2018). Ιδιαίτερη σημασία έχει η διενέργεια πειραμάτων σε συνθήκες που προσομοιάζουν την πραγματική εφοδιαστική αλυσίδα (real-life simulation), όπου η επίδραση παραγόντων όπως η μεταβολή της θερμοκρασίας, η επαναψύξη και η έκθεση στο φως ενδέχεται να διαφοροποιήσει την αποτελεσματικότητα των επικαλύψεων (Han, 2014). Παράλληλα, η αξιολόγηση της αισθητηριακής αποδοχής των επικαλυμμένων προϊόντων από καταναλωτές διαφορετικών δημογραφικών ομάδων κρίνεται ουσιώδης, ώστε να διασφαλιστεί η εμπορική επιτυχία της τεχνολογίας. Τέλος, είναι αναγκαία η οικονομική αξιολόγηση (cost-benefit analysis) της εφαρμογής των επικαλύψεων σε βιομηχανική κλίμακα, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος πρώτων υλών, τον χρόνο παραγωγής και την ενσωμάτωση στον υπάρχοντα τεχνολογικό εξοπλισμό.

4.4 Συνοπτική αποτίμηση

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η χρήση εδώδιμων επικαλύψεων με ενσωματωμένα φυσικά αντιμικροβιακά προσφέρει αποτελεσματική προστασία κατά της μικροβιακής αλλοίωσης, επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής και διατηρώντας ικανοποιητικά την οργανοληπτική ποιότητα της αποφλοιωμένης γαρίδας. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει την εφαρμογή πράσινων τεχνολογιών στον τομέα της συντήρησης τροφίμων και ανοίγει νέους ορίζοντες για τη χρήση βιολειτουργικών συσκευασιών στη βιομηχανία αλιευμάτων.

5. Συμπεράσματα

Η εργασία αξιολόγησε την επίδραση φυσικών μεθόδων συντήρησης –συγκεκριμένα της εφαρμογής φυσικής μαρινάδας και εδώδιμων επικαλύψεων με βάση το αλγινικό νάτριο– στη μικροβιολογική σταθερότητα και τη διάρκεια ζωής νωπών γαρίδων. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν σημαντικές διαφορές στην αποτελεσματικότητα κάθε μεθόδου, τόσο μεμονωμένα όσο και σε συνδυασμό.

Η χρήση φυσικής μαρινάδας, αποτελούμενης από χυμό λάιμ, τζίντζερ και ρίγανη, είχε έντονη ανασταλτική δράση στην ανάπτυξη αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Η παρουσία οργανικών οξέων και φαινολικών ενώσεων, γνωστών για τις αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες, συνέβαλε ουσιαστικά στον περιορισμό της μικροβιακής δραστηριότητας. Οι γαρίδες που υποβλήθηκαν στη συγκεκριμένη μαρινάδα παρουσίασαν καθυστέρηση στην αύξηση του συνολικού μικροβιακού φορτίου κατά τουλάχιστον τέσσερις ημέρες συγκριτικά με τα δείγματα μάρτυρα, γεγονός που μεταφράζεται σε σαφή επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του προϊόντος. Η διατήρηση των μικροβιολογικών δεικτών σε χαμηλά επίπεδα συνοδεύτηκε από ικανοποιητικά αισθητικά χαρακτηριστικά (χρώμα, οσμή, υφή), τα οποία κρίθηκαν αποδεκτά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Οι εδώδιμες επικαλύψεις με βάση το αλγινικό νάτριο, αν και δεν είχαν τόσο έντονη αντιμικροβιακή δράση όσο η μαρινάδα, παρουσίασαν μετρήσιμη συνεισφορά στην παράταση του εμπορικού χρόνου ζωής των γαρίδων. Τα δείγματα με επικάλυψη παρουσίασαν μικρότερη απώλεια υγρασίας και μειωμένη οξείδωση, με αποτέλεσμα η συνολική τους ποιότητα να διατηρηθεί για μία επιπλέον ημέρα σε σύγκριση με τα αμαγείρευτα δείγματα. Η δράση της επικάλυψης αποδόθηκε στη δημιουργία

φυσικοχημικού φραγμού που μείωσε τη διαπερατότητα του οξυγόνου και καθυστέρησε την επιφανειακή αλλοίωση του προϊόντος.

Η σημαντικότερη βελτίωση, ωστόσο, παρατηρήθηκε στον συνδυασμό των δύο τεχνικών, δηλαδή στην ταυτόχρονη εφαρμογή φυσικής μαρινάδας και εδώδιμης επικάλυψης. Η συνέργεια μεταξύ της χημικής δράσης των φυσικών συστατικών της μαρινάδας και της φυσικής προστασίας της επικάλυψης είχε ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη μικροβιολογική και αισθητική σταθερότητα του προϊόντος. Τα συνδυαστικά δείγματα διατήρησαν αποδεκτή ποιότητα έως και την ενδέκατη ημέρα αποθήκευσης, χρονικό διάστημα κατά πολύ μεγαλύτερο από αυτό των άλλων ομάδων. Η παρατήρηση αυτή αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του συνδυασμού ως στρατηγική συντήρησης νωπών προϊόντων υδατοκαλλιέργειας.

Σε επίπεδο μικροβιολογικής ανάλυσης, τα κυριότερα αλλοιογόνα μικρόβια που εντοπίστηκαν ήταν τα *Pseudomonas* spp., οι ζύμες και οι μύκητες, που ευθύνονται για την ταχεία αλλοίωση των νωπών αλιευμάτων. Η ανάπτυξή τους ήταν σαφώς περιορισμένη στις επεμβάσεις με μαρινάδα και επικάλυψη, με το συνδυαστικό σχήμα να εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές. Άλλες μικροβιακές ομάδες, όπως τα *Enterobacteriaceae* και τα βακτήρια παραγωγής υδρόθειου, παρέμειναν σε χαμηλά επίπεδα σε όλα τα δείγματα, χωρίς σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των επεμβάσεων, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι βασικοί δείκτες αλλοίωσης ήταν αυτοί που επηρεάστηκαν περισσότερο από τις εφαρμογές.

Συνολικά, τα πειραματικά δεδομένα τεκμηριώνουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης φυσικών τεχνολογιών για τη διατήρηση της ποιότητας νωπών γαρίδων, με τον συνδυασμό φυσικής μαρινάδας και εδώδιμης επικάλυψης να υπερτερεί όλων των άλλων στρατηγικών, προσφέροντας ουσιαστική παράταση του χρόνου ζωής του προϊόντος και περιορισμό της μικροβιακής αλλοίωσης.

Η σημασία των ευρημάτων έγκειται τόσο στη δυνατότητα εφαρμογής φυσικών συντηρητικών όσο και στη συμβολή της τεχνολογίας αυτής στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από τα συνθετικά υλικά συσκευασίας. Οι εδώδιμες επικαλύψεις, ως βιοδιασπώμενα και ανανεώσιμα υλικά, ενισχύουν τις αρχές της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης παραγωγής (López de Dicastillo et al., 2012). Παράλληλα, η δυνατότητα ενσωμάτωσης βιοδραστικών μορίων, όπως αιθέρια έλαια ή φυσικά εκχυλίσματα, προσφέρει πολλαπλή λειτουργικότητα στις επικαλύψεις: προστασία από μικροοργανισμούς, καθυστέρηση της οξείδωσης και διατήρηση της υγρασίας (Han, 2014). Η πρακτική εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές για τη βιομηχανία των τροφίμων και ιδίως των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας. Η επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των νοπών αλιευμάτων προσφέρει πλεονεκτήματα σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας: μείωση απωλειών, βελτίωση διαχείρισης αποθεμάτων, ενίσχυση της εμπιστοσύνης του καταναλωτικού κοινού, και ενδεχόμενη αύξηση της προστιθέμενης αξίας του προϊόντος. Ειδικά σε χώρες με ισχυρή αλιευτική δραστηριότητα, η εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών μπορεί να συνεισφέρει στη βιωσιμότητα του τομέα, μειώνοντας την εξάρτηση από χημικά πρόσθετα και ενισχύοντας την εξαγωγική ανταγωνιστικότητα.

6. Βιβλιογραφία

1. **Dalgaard, P. (2006).** Fresh and lightly preserved seafood. *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering*, 4, 66-1.
2. **Flick, G. J., Martin, R. E., & Acuff, G. R. (2001).** *Safety and quality issues in fish processing*. CRC Press
3. **Frankel, E. N. (2005).** *Lipid oxidation*. Elsevier.
4. **Gram, L., & Dalgaard, P. (2002).** Fish spoilage bacteria—problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(3), 262-266.
5. **Hultmann, L., & Rustad, T. (2004).** Iced storage of Atlantic salmon (*Salmo salar*)—effects on endogenous enzymes and their impact on muscle proteins and texture. *Food Chemistry*, 87(1), 31-41.
6. **Shahidi, F., & Zhong, Y. (2010).** Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews*, 39(11), 4067-4079.
7. **Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010).** Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859-877.
8. **Gram, L., & Huss, H. H. (1996).** Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 121-137.
9. **Huss, H. H. (1995).** *Quality and quality changes in fresh fish*. FAO Fisheries Technical Paper No. 348.
10. **López de Dicastillo, C., Rodríguez, F., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2012).** Development of novel antimicrobial films based on chitosan with nano-silver particles. *Journal of Food Engineering*, 110(3), 422-429.

11. **Olafsdottir, G., Martinsdóttir, E., Oehlenschläger, J., Dalgaard, P., Jensen, B., Undeland, I., ... & Nilsen, H. (1997).** Methods to evaluate fish freshness in research and industry. *Trends in Food Science & Technology*, 8(8), 258-265.
12. **Dalgaard, P., Gram, L., & Huss, H. H. (1993).** Spoilage and shelf-life of cod fillets packed in vacuum or modified atmospheres. *International Journal of Food Microbiology*, 19(4), 283-294.
13. **Dalgaard, P., Mejlholm, O., & Huss, H. H. (1995).** Conductance method for quantitative determination of *Photobacterium phosphoreum* in fish products. *Journal of Applied Bacteriology*, 79(4), 423-432.
14. **Emborg, J., Dalgaard, P., & Huss, H. H. (2002).** Significant histamine formation in tuna (*Thunnus albacares*) at 2°C—Effect of vacuum- and modified atmosphere-packaging on psychrotolerant bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 77(1-2), 147-163.
15. **Lindqvist, R., & Lindblad, M. (2009).** Quantitative risk assessment of *Clostridium botulinum* and *Listeria monocytogenes* in vacuum-packed cold-smoked fish. *International Journal of Food Microbiology*, 129(1), 127-136.
16. **Oliver, J. D. (2005).** Wound infections caused by *Vibrio vulnificus* and other marine bacteria. *Epidemiology & Infection*, 133(3), 383-391.
17. **Doe, P. E., Olley, J., & Heruwati, E. S. (1998).** Salted fish technology. FAO Fisheries Technical Paper.
18. **Fu, X., Belwal, T., Cravotto, G., et al. (2017).** Recent advances in drying technologies for fish and fish products. *Food Reviews International*, 33(5), 456-476.

19. **Ghanbari, M., Jami, M., Domig, K. J., & Kneifel, W. (2013).** Seafood biopreservation by lactic acid bacteria—A review. *LWT-Food Science and Technology*, 54(2), 315-324.
20. **González-Rivas, F., Ripollés-Avila, C., Fontecha-Umaña, F., et al. (2018).** Food safety trends: From culture to application of new preservation methods. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 71-79.
21. **Mihindukulasuriya, S. D. F., & Lim, L. T. (2014).** Nanotechnology in food packaging: opportunities and challenges. *Journal of Food Science*, 79(7), R958-R967.
22. **Mazur, P. (2004).** Principles of cryobiology. In *Life in the Frozen State* (pp. 3-65). CRC Press.
23. **Sikorski, Z. E., & Kolodziejska, I. (2002).** Chemical and functional properties of food lipids. CRC Press.
24. **Sivertsvik, M., Rosnes, J. T., & Bergslien, H. (2002).** Modified atmosphere packaging of seafood—present status and future potential. *Trends in Food Science & Technology*, 13(9-10), 364-372.
25. **Toldrá, F., Reig, M., & Aristoy, M. C. (2020).** Innovations in chemical food safety. *Food Chemistry*, 315, 126747.
26. **Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017).** Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
27. **Kirwan, M. J. (2013).** *Paper and paperboard packaging technology*. John Wiley & Sons.
28. **Marsh, K., & Bugusu, B. (2007).** Food packaging—Roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3), R39-R55.
29. **Robertson, G. L. (2016).** *Food packaging: Principles and practice*. CRC press.

30. **Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Rosa, M. D. (2008).** Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), 634-643.
31. **Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. A., & Voilley, A. (1998).** Edible films and coatings: Tomorrow's packagings. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(4), 299-313.
32. **Gennadios, A., Weller, C. L., & Testin, R. F. (1997).** Property modification of edible protein-based films. *Transactions of the ASAE*, 40(4), 1087-1092.
33. **Krochta, J. M., Baldwin, E. A., & Nisperos-Carriedo, M. O. (1994).** Edible coatings and films to improve food quality. Technomic Publishing Company.
34. **Sánchez-González, L., Cháfer, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Desobry, S. (2011).** Biodegradable films and coatings: Structures and food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(6), 439-457.
35. **Codex Alimentarius. (2021).** *Guidelines for food packaging materials*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
36. **European Parliament and Council. (2004).** *Regulation (EC) No 1935/2004 on materials and articles intended to come into contact with food*. Official Journal of the European Union.
37. **European Commission. (2011).** *Regulation (EU) No 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food*. Official Journal of the European Union.
38. **FDA. (2020).** *Generally Recognized as Safe (GRAS) Notices*. U.S. Food & Drug Administration
39. **Abelló, P., Carbonell, A., & Torres, P. (2002).** Biogeography of epibenthic crustaceans on the shelf and upper slope off the Iberian Peninsula Mediterranean

- coasts: Implications for the establishment of natural management areas. *Scientia Marina*, 66(3), 183-198.
40. **Cartes, J. E. (1995)**. Feeding ecology of bathyal decapod crustaceans in the western Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 125, 171-182.
41. **Colloca, F., Cardinale, M., Maynou, F., Recasens, L., Sartor, P., & Jenko, K. (2013)**. Rebuilding Mediterranean fisheries: a new paradigm for ecological sustainability. *Fish and Fisheries*, 14(1), 89-109.
42. **Fanelli, E., Rey, J., Torres, P., & Gil De Sola, L. (2009)**. Trophic relationships in deep-sea fish assemblages of the western Mediterranean based on stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 396, 213-225.
43. **Fiorentino, F., Garofalo, G., De Santi, A., Bono, G., & Giusto, G. B. (2004)**. Spatio-temporal distribution and abundance of *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) in the Strait of Sicily (Central Mediterranean). *Hydrobiologia*, 527(1), 183-199.
44. **Heldt, J. H. (1955)**. Observations sur le développement larvaire des crustacés décapodes macroures. *Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco*, 1060, 1-17.
45. **Kapiris, K., Conides, A., & Papaconstantinou, C. (2014)**. Biology and population dynamics of the deep-water pink shrimp *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) in the Ionian Sea (Eastern Mediterranean). *Mediterranean Marine Science*, 15(3), 550-560.
46. **Papaconstantinou, C., & Kapiris, K. (2003)**. The biology of the deep-water pink shrimp *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) in the Greek Seas. *Journal of Natural History*, 37(20), 2579-2596.

47. **Sobrinho, I., Garcia, T., & Silva, L. (2005).** Morphometric relationships and length-weight relationships of the deep-water pink shrimp *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1846) in the Gulf of Cádiz (SW Spain). *Scientia Marina*, 69(1), 73-81.
48. **Spedicato, M. T., Lembo, G., & Carbonara, P. (2010).** Fishery management and conservation in the Mediterranean: Challenges and perspectives. *Marine Policy*, 34(3), 617-623.
49. **Burt, S. (2004).** Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.
50. **Cassens, R. G. (1997).** Composition and safety of cured meats in the USA. *Food Chemistry*, 59(4), 561-566.
51. **Chiple, J. R. (2005).** Sodium benzoate and benzoic acid. *Antimicrobials in Food*, 11, 11-48.
52. **Davidson, P. M., Sofos, J. N., & Branen, A. L. (2021).** *Antimicrobials in Food*. CRC Press.
53. **Delves-Broughton, J., Blackburn, P., Evans, R. J., & Hugenholtz, J. (1996).** Applications of the bacteriocin, nisin. *Antonie van Leeuwenhoek*, 69(2), 193-202.
54. **Lijinsky, W. (1999).** N-Nitroso compounds in the diet. *Mutation Research*, 443(1-2), 129-138.
55. **Russell, N. J., & Gould, G. W. (2003).** *Food preservatives*. Springer.
56. **Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009).** *Food Chemistry*. Springer.
57. **Coultate, T. (2016).** *Food: The Chemistry of its Components*. Royal Society of Chemistry.

58. Davidson, P. M., Sofos, J. N., & Branen, A. L. (2021). *Antimicrobials in Food*. CRC Press.
59. Fernstrom, J. D., & Garattini, S. (2000). *Monosodium glutamate: A scientific review*. Pergamon.
60. Lijinsky, W. (1999). *N-Nitroso compounds in the diet*. Mutation Research.
61. McCann, D., et al. (2007). *Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children*. The Lancet.
62. Brenes, A., & Roura, E. (2010). Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. *Animal Feed Science and Technology*, 158(1-2), 1-14.
63. Lambert, R. J., Skandamis, P. N., Coote, P. J., & Nychas, G. J. (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol, and carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*, 91(3), 453-462.
64. Ultee, A., Bennik, M. H., & Moezelaar, R. (2002). The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(4), 1561-1568.
65. Ruberto, G., Baratta, M. T., Deans, S. G., & Dorman, H. J. (2000). Antioxidant and antimicrobial activity of *Thymus*, *Origanum* and *Citrus* essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 4478-4482.
66. Şimşek, M., Duman, M., & Öztürk, E. (2017). Effect of oregano (*Origanum vulgare*) essential oil on the quality and shelf life of vacuum-packaged fresh beef. *Meat Science*, 133, 67-74.
67. Shan, B., Cai, Y. Z., Brooks, J. D., & Corke, H. (2007). The in vitro antibacterial activity of dietary spice and medicinal herb extracts. *International Journal of Food Microbiology*, 117(1), 112-119.

68. **Singh, G., Kapoor, I. P., Pandey, S. K., Singh, U. K., & Singh, R. K. (2008).** Studies on essential oils: part 10; antibacterial activity of volatile oils of some spices. *Phytotherapy Research*, 22(6), 709-716.
69. **Ficker, C., Smith, M. L., Akpagana, K., Gbeassor, M., Zhang, J., Durst, T., & Arnason, J. T. (2003).** Bioassay-guided isolation and identification of antifungal compounds from *Glycyrrhiza glabra*. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 32(3), 591-598.
70. **Zhang, X., Zhang, Y., Chen, Y., Zhang, L., & Zhang, W. (2019).** Antioxidant and antimicrobial activities of ginger essential oil (*Zingiber officinale* Rosc.) and its application in food system. *Food Control*, 98, 305-313.
71. **Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z., & Rahmat, A. (2010).** Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 15(6), 4324-4333.
72. **Dhiman, R., Sharma, K. D., Attri, S., & Kang, H. (2021).** Citrus flavonoids: A review of extraction, biosynthesis, biological activities and bioavailability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(17), 3104-3120.
73. **Fisher, K., & Phillips, C. A. (2009).** The mechanism of action of a citrus oil blend against *Enterococcus faecium* and *Enterococcus faecalis*. *Journal of Applied Microbiology*, 106(4), 1343-1349.
74. **Oikeh, E. I., Omoregie, E. S., Oviasogie, F. E., & Oriakhi, K. (2016).** Phytochemical, antimicrobial, and antioxidant activities of different citrus juice concentrates. *Food Science & Nutrition*, 4(1), 103-109.
75. **Kim, H. J., Kang, S. J., & Lee, S. H. (2021).** Antioxidant and antimicrobial effects of citrus essential oils and their applications in food preservation. *Food Science and Biotechnology*, 30(1), 1-9.

76. **Siddiqui, M. W., Singh, J. P., & Bansal, S. (2018)**. Citrus essential oils: Extraction, bioactivities, and applications in the food industry. *Food Reviews International*, 34(7), 605-623.
77. **Özogul, F., Polat, A., & Özogul, Y. (2004)**. The effects of modified atmosphere packaging and vacuum packaging on chemical, sensory and microbiological changes of sardines (*Sardina pilchardus*). *Food Chemistry*, 85(1), 49–57.
78. **Sivertsvik, M., Jeksrud, W. K., & Rosnes, J. T. (2002)**. A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products – significance of microbial growth, activities and safety. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(2), 107–127.
79. **Lopez-Caballero, M. E., Perez-Mateos, M., Fernandez-Martin, F., & Montero, P. (2005)**. Effect of packaging conditions on shelf-life of iced fresh hake (*Merluccius merluccius*) stored at 0°C. *Food Science and Technology International*, 11(3), 209–217.
80. **Boziaris, I. S., & Parlapani, F. F. (2017)**. Specific spoilage organisms (SSOs) in fish. In *The microbiological quality of food* (pp. 61-98). Woodhead Publishing.
81. **Gennadios, A., Hanna, M. A., & Kurth, L. B. (1997)**. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: A review. *LWT - Food Science and Technology*, 30(4), 337–350. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0201>
82. **Khalil, H. A., Saurabh, C. K., Tye, Y. Y., Lai, T. K., Easa, A. M., Rosamah, E., Fazita, M. N., Syakir, M. I., & Alfatah, T. (2021)**. Seaweed based sustainable films and composites for food packaging applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109888. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109888>

83. **Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2010).** Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low moisture permeability and antibacterial properties. *Food Chemistry*, 122(1), 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.033>
84. **Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011).** Edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and chitosan: Effect of oil inclusion on interesting properties for food preservation. *Food Control*, 22(3), 596–602. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.10.019>
85. **Burt, Ronald S.** “Structural Holes and Good Ideas.” *American Journal of Sociology*, vol. 110, no. 2, 2004, pp. 349–99. *JSTOR*, <https://doi.org/10.1086/421787>. Accessed 13 May 2025.
86. **Espitia, Paula & Soares, Nilda & Coimbra, Jane & Andrade, Nélio & Cruz, Renato & Medeiros, Eber. (2012).** Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Antimicrobial Activity and Food Packaging Applications. *Food and Bioprocess Technology*. 5. 10.1007/s11947-012-0797-6.
87. **McClements DJ. (2020)** Advances in nanoparticle and microparticle delivery systems for increasing the dispersibility, stability, and bioactivity of phytochemicals. *Biotechnol Adv.* 2020 Jan-Feb;38:107287. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.08.004. Epub 2018 Aug 4. PMID: 30086329.
88. **Huss, H. H., Jeppesen, V. F., Johansen, C., & Gram, L. (1995).** Biopreservation of Fish Products—A Review of Recent Approaches and Results. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 4(2), 5–26. https://doi.org/10.1300/J030v04n02_02

89. **Imat, V., Bogdanović, T., Krželj, M., Soldo, A. and Maršić-Lučić, J. (2012),** Differences in chemical, physical and sensory properties during shelf life assessment of wild and farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.). *Journal of Applied Ichthyology*, 28: 95-101.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01883.x>
90. **Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., & Varela, P. (2017).** Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99, 58–71.
91. **Friedman, M. (2014).** Antibacterial, antiviral, and antifungal properties of wines and winery byproducts in relation to their flavonoid content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(26), 6025–6042.
92. **Han, J. H. (2014).** *Edible Films and Coatings: A Review*. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging* (2nd ed., pp. 213–255). Academic Press.
93. **Kuswandi, B., Jumina, J., Restyana, A., Abdullah, A., Heng, L. Y. (2020).** Smart packaging: Sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 14, 1–11.
94. **López de Dicastillo, C., Nerín, C., Alfaro, P., Catalá, R., Gavara, R. (2012).** Active packaging with natural antioxidants to extend the shelf life of ready-to-eat meat products. *Packaging Technology and Science*, 25(2), 61–70.