



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χριστίνας Μπακλώρη

Κινητική Μελέτη Δεικτών Διατηρησιμότητας

Καπνιστού Χελιού



Επιβλέπων Καθηγητής

Πέτρος Ταούκης

Αθήνα 2010

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με την επίβλεψη και την καθοδήγηση του Καθηγητή ΕΜΠ Πέτρου Ταούκη. Θέμα της παρούσης εργασίας είναι η κινητική μελέτη δεικτών διατηρησιμότητας καπνιστού χελιού. Τα προϊόντα που μελετήθηκαν ήταν καπνιστά φιλέτα χελιού που προμηθεύονταν από την εταιρεία Ιχθυοκαλλιέργειες - Β. ΓΕΙΤΟΝΑΣ & ΣΙΑ Ε.Ε.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή ΕΜΠ Πέτρο Ταούκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσης εργασίας, αλλά και για τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχε στην περάτωση αυτής, με τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς και την Διδάκτορα Θεοφανία Τσιρώνη, η οποία με την εμπειρία, τις καίριες παρατηρήσεις και επισημάνσεις της, την αστείρευτη υπομονή της, αλλά και το χάρισμα της μεταδοτικότητας της γνώσης, βοήθησε σημαντικά την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους Καθηγητές, τους Διδάκτορες, τους Υποψήφιους Διδάκτορες καθώς και τους συμφοιτητές μου στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του ΕΜΠ για την άριστη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της διπλωματικής μου εργασίας.

Περίληψη

Η ανάπτυξη νέων μεθόδων επεξεργασίας και συσκευασίας των αλιευμάτων, με σκοπό τη μείωση του ρυθμού υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους, αποτελεί βασικό στόχο της επιστημονικής και εφαρμοσμένης έρευνας. Τα ψυγμένα προϊόντα ιχθύων είναι εξαιρετικά ευαλλοίωτα και η ποιότητά τους υποβαθμίζεται σε σύντομο χρόνο, εξαιτίας της μικροβιακής ανάπτυξης που οδηγεί στην αλλοίωσή τους. Προκειμένου να αυξηθεί η διατηρησιμότητα των ιχθύων, είναι απαραίτητη η ανάσχεση της ανάπτυξης των περιεχόμενων αλλοιογόνων μικροοργανισμών, επηρεάζοντας παράλληλα όσο το δυνατό λιγότερο τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

Τα χέλια είναι τελεόστεοι ιχθύες. Ανήκουν στην τάξη *Anguilliformes* και στην οικογένεια *Anguillidae*. Είναι άκρως ευρύαλα είδη που απαντώνται σε μεγάλο εύρος βιοτόπων: σε γλυκά, μεταβατικά ή θαλασσινά νερά, σε βαθιά ή σε ρηχά νερά, σε ανοιχτές ή κλειστές περιοχές, ενώ, μπορεί να μείνουν έξω από το νερό αρκετές ώρες. Στα περισσότερα παράκτια οικοσυστήματα, αποτελούν σημαντικό ποσοστό της ιχθυοβιομάζας και τροφή για πολλούς θηρευτές. Αποτελούν, έτσι, ένα βασικό κρίκο στη τροφική αλυσίδα, ενώ ως μεταναστευτικά είδη συμμετέχουν στη ροή οργανικού υλικού μεταξύ θαλασσινών και εσωτερικών νερών.

Το γένος *Anguilla* εμφανίζει ευρεία εξάπλωση, με τα περισσότερα είδη να απαντώνται σε τροπικά νερά. Ένα από τα εμπορικότερα είδη του είναι το ευρωπαϊκό χέλι (*Anguilla anguilla*) το οποίο απαντάται στην Ευρώπη και στη Μεσόγειο, εξαιτίας του ζεστού Ρεύματος του Κόλπου (*Gulf Stream*) και του Ρεύματος του Β. Ατλαντικού (*North Atlantic Drift*).

Στην Ελλάδα υπάρχει μεγάλο εμπορικό ενδιαφέρον για το χέλι, αφού είναι ένα εξαγωγίμο προϊόν υψηλής εμπορικής αξίας και αποτελεί το δεύτερο σημαντικότερο αλίευμα των μεταβατικών νερών μετά τα κεφαλοειδή (Katselis *et al.*, 2003). Το σύνολο σχεδόν της παραγωγής εξάγεται στις χώρες της Ευρώπης, κυρίως στην Ιταλία, στη Γερμανία, στην Ολλανδία, στην Ιρλανδία και στη Δανία (ΚΕΠΕ 1990).

Το ευρωπαϊκό χέλι, είναι ένα είδος με σημαντική οικονομική αξία για τις ατλαντικές και τις μεσογειακές ακτές της Ευρώπης και της βόρειας Αφρικής. Για το λόγο αυτό και σε συνδυασμό με την ευαλλοίωτη φύση των ιχθύων γενικότερα, καθίσταται αναγκαία η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την αποτελεσματική συντήρηση του χελιού και των προϊόντων του και την επέκταση της διατηρησιμότητάς του.

Η κάπνιση των τροφίμων αποτελεί μια παραδοσιακή μέθοδο συντήρησης των ιχθύων σε πολλά μέρη του κόσμου που συνδυάζει σε μία παραγωγική διαδικασία τα αποτελέσματα της αλάτισης, της αφυδάτωσης και της θέρμανσης με τις αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες του καπνού (Burt, 1988, Beltrán and Moral, 1990). Η αποδοχή των καπνιστών ιχθύων από τους σύγχρονους καταναλωτές στις οικονομικά αναπτυγμένες χώρες οφείλεται κυρίως στα ιδιαίτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά αυτών, που επιτυγχάνονται με διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές κάπνισης (θερμή, ψυχρή, κ.ά.), και δευτερευόντως στη μακρόχρονη συντήρησή τους (Beltrán *et al.*, 1989). Αν και με τη θερμή κάπνιση επιτυγχάνεται ως ένα βαθμό θερμική εξυγίανση των προϊόντων, οι καπνιστοί ιχθύες θεωρούνται ως ευαλλοίωτα τρόφιμα, δεδομένου ότι, σύμφωνα με τις σύγχρονες διατροφικές τάσεις, η συγκέντρωση του χλωριούχου νατρίου σε αυτά είναι σχετικά χαμηλή, για τη μακρόχρονη συντήρησή τους. Η άμεση ψύξη των προϊόντων αμέσως μετά τη διαδικασία κάπνισής τους, η συσκευασία τους σε απόλυτα ικανοποιητικές συνθήκες υγιεινής και η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας συντήρησής τους μέχρι την κατανάλωση μπορούν να εγγυηθούν την ασφάλεια των συγκεκριμένων τροφίμων (Bell *et al.*, 1995). Επιπρόσθετα, η συσκευασία τους σε κενό μπορεί να παρατείνει το χρόνο συντήρησής τους (Palaria *et al.*, 1990, Davis *et al.*, 2000).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη της διατηρησιμότητας καπνιστών φιλέτων χελιού (*Anguilla anguilla*) συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C. Μετρήθηκαν ο ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας, των γαλακτικών βακτηρίων, των ψευδομονάδων καθώς και του βακτηρίου *Brochothrix thermosphacta*, η μεταβολή του pH, η ολική ποσότητα των πτητικών αζωτούχων ενώσεων (TVB-N), η οξείδωση των λιπών (TBARs) και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, άρωμα, γεύση

και υφή) με σκοπό τον προσδιορισμό της συνάρτησης ποιότητας για τους μελετούμενους δείκτες. Προκείμενου να αξιολογηθεί η εφαρμοσιμότητα του μοντέλου Arrhenius στην ψυκτική αλυσίδα, διεξήχθησαν πειράματα σε δυναμικές συνθήκες με δραστική θερμοκρασία 7,5°C, σύμφωνα με το εξής θερμοκρασιακό σενάριο: 8 ώρες στους 3°C, 8 ώρες στους 10°C και 8 ώρες στους 6°C.

Στα καπνιστά φιλέτα χελιού, κυριότερος παράγοντας αλλοίωσης υπήρξε η οξείδωση των λιπών. Οι τιμές των TBARs παρουσίασαν σημαντική αύξηση συναρτήσει του χρόνου ενώ παρουσίασαν παρόμοια θερμοκρασιακή εξάρτηση του ρυθμού μεταβολής τους με εκείνη της υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών με τιμές E_a 63,4 και 74,7 kJ/mol αντίστοιχα.

Οι τιμές των TVB-N παρουσίασαν αύξηση με το χρόνο ακολουθώντας κινητική πρώτης τάξης, ενώ η μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (εμφάνιση, άρωμα, γεύση, υφή) περιγράφηκε με κινητική μηδενικής τάξης.

Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, δεν παρατηρήθηκαν ενδείξεις μικροβιακής αλλοίωσης ούτε οργανοληπτικά, αλλά ούτε και στις μικροβιακές αναλύσεις, όπου οι τιμές του μικροβιακού φορτίου που μετρήθηκαν ήταν χαμηλές και το προϊόν ήταν μικροβιολογικά αρκετά σταθερό. Οι ρυθμοί ανάπτυξης υπολογίστηκαν με προσαρμογή των μετρήσεων στο μοντέλο Baranyi, ενώ η επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό ανάπτυξης των επικρατώντων μικροοργανισμών (γαλακτικά βακτήρια) υπολογίστηκε με βάση τη σχέση Arrhenius.

Από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε προκύπτει ότι η επεξεργασία των προϊόντων χελιού με τη μέθοδο της κάπνισης αλλά και η συσκευασία τους υπό κενό δημιουργεί προϊόντα μικροβιακά σταθερά, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα και επεκτείνοντας το χρόνο διατήρησής τους.

Περιεχομένα

Κεφάλαιο 1 ^ο : Παραγωγική Διαδικασία Ιχθύων	1
1.1. Πρόλογος	1
1.2. Υδατοκαλλιέργειες	1
1.2.1. Παραγωγικά στάδια σε μια τυπική μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας	1
1.2.2. Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργειών	2
1.2.3. Οι υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα	3
1.3. Αλιευτική εκμετάλλευση χελιού	4
1.3.1. Αλιεία χελιού στην Ευρώπη	4
1.3.2. Αλιεία χελιού στην Ελλάδα	5
1.4. Μέθοδοι και εποχικότητα αλιείας	7
1.4.1. Μέθοδοι και εποχικότητα αλιείας νεαρών χελιών	7
1.4.2. Μέθοδοι και εποχικότητα αλιείας ενήλικων χελιών	10
1.5. Επεξεργασία ιχθύων	11
1.5.1. Επεξεργασία ιχθύων μέσα στο αλιευτικό σκάφος	11
1.5.2. Απολέπιση	13
1.5.3. Φιλετοποίηση	14
1.5.4. Απομάκρυνση δέρματος	15
1.5.5. Χημικές διεργασίες	15
1.5.6. Συσκευασία	15
1.6. Τεχνολογία εμποδίων (hurdle technology) στην επεξεργασία ιχθύων	16
Κεφάλαιο 2 ^ο : Μορφολογία, Σύσταση και Αλλοιώσεις Ιχθύων	21
2.1. Πρόλογος	21
2.2. Μορφολογία ιχθύων και βιολογικά χαρακτηριστικά	21

2.2.1. Περιγραφή ειδών χελιού –Γεωγραφική εξάπλωση	22
2.2.2. Μορφολογία	23
2.3. Χημική σύσταση ιχθύων	25
2.3.1. Πρωτεΐνες	25
2.3.2. Άλλες αζωτούχες ενώσεις	26
2.3.3. Υδατάνθρακες	26
2.3.4. Λίπη	27
2.3.5. Ανόργανα συστατικά	28
2.3.6. Βιταμίνες	29
2.4. Μεταθανάτιες αλλαγές τω ιχθύων	32
2.5. Αλλοιώσεις ιχθύων	33
2.5.1. Μικροβιακή αλλοίωση ιχθύων.	33
2.5.2. Χημικοί δείκτες μικροβιακής αλλοίωσης ιχθύων. Προϊόντα μικροβιακού μεταβολισμού	36
2.5.3. Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης της αλλοίωσης των ιχθύων	39
2.5.4. Οξείδωση των λιπών στους ιχθύες	44
2.5.5. Φυσικά χαρακτηριστικά ποιότητας των ιχθύων	45
2.5.6. Οργανοληπτική εξέταση ιχθύων	46

Κεφάλαιο 3^ο: Τεχνολογία Παραγωγής και Ποιοτική Αξιολόγηση Καπνιστών Ιχθύων

3.1. Πρόλογος	51
3.2. Αλάτιση	53
3.3. Αφυδάτωση των ιχθύων	54
3.4. Κάπνιση	55
3.4.1. Παραγωγή καπνού: Πρώτες ύλες και μέθοδοι	55

3.4.2. Ιδιότητες του καπνού	58
3.4.3. Μέθοδοι και συστήματα κάπνισης των ιχθύων	62
3.5. Χημικές και βιοχημικές μεταβολές στη σάρκα των καπνιστών ιχθύων – Θρεπτική αξία αυτής	62
3.6. Προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την κάπνιση και τη συντήρηση των καπνιστών ιχθύων	69
3.7. Κίνδυνοι που εγκυμονούνται στους καπνιστούς ιχθύες	72
3.8. Ποιοτική αξιολόγηση των καπνιστών ιχθύων	77
3.8.1. Οργανοληπτικός έλεγχος των καπνιστών ιχθύων	79
3.8.2. Μηχανικές και φυσικές μέθοδοι	79
3.8.3. Φυσικοχημικές εξετάσεις	80
3.8.4. Χημικές αναλύσεις με τις οποίες προσδιορίζεται η χημική σύσταση των καπνιστών ιχθύων	80
3.8.5. Βιοχημικές αναλύσεις	80
3.8.6. Μικροβιακοί δείκτες	82
3.9. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	82

Κεφάλαιο 4^ο: Πειραματικός σχεδιασμός – Υλικά και Μέθοδοι

85

4.1. Πρόλογος	85
4.1.1. Πειραματικός σχεδιασμός	85
4.2. Μελετούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά – Μέθοδοι	86
4.2.1. Μέτρηση μικροβιακού φορτίου	86
4.2.2. Μέτρηση pH	89
4.2.3. Προσδιορισμός αλατότητας (Μέθοδος Mohr)	90
4.2.4. Χημικές μέθοδοι προσδιορισμού της αλλοίωσης	90
4.2.5. Προσδιορισμός πρωτεϊνών	92
4.2.6. Προσδιορισμός ολικών λιπών	92

4.2.7. Προσδιορισμός τέφρας (ανόργανων συστατικών)	92
4.2.8. Προσδιορισμός περιεχόμενου νερού	93
4.2.9. Οργανοληπτική εξέταση	93
4.2.10. Στατιστική επεξεργασία	94
Κεφάλαιο 5^ο: Παρουσίαση – Συζήτηση Αποτελεσμάτων	97
5.1. Πρόλογος	97
5.2. Χημική σύσταση καπνιστών φιλέτων χελιού	97
5.3. Μέτρηση μικροβιακού φορτίου σε καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό	101
5.3.1. Μέτρηση της ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό	102
5.3.2. Μέτρηση γαλακτικών βακτηρίων σε καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό	104
5.4. Μέτρηση pH σε καπνιστά φιλέτα χελιού	106
5.5. Προσδιορισμός της ολικής ποσότητας των πτητικών αζωτούχων ενώσεων	108
5.6. Προσδιορισμός της οξείδωσης των λιπών	111
5.7. Οργανοληπτική εξέταση	114
5.8. Προσδιορισμός χρόνου ζωής	122
5.9. Επαλήθευση μοντέλου πρόβλεψης σε δυναμικές συνθήκες	123
5.10. Παραγοντική ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA – Principal Component Analysis) – Συσχέτιση οργανοληπτικών δοκμών και αντικειμενικών μετρήσεων	125
Κεφάλαιο 6^ο: Συμπεράσματα και Προτάσεις	127
Βιβλιογραφία	131

Κεφάλαιο 1^ο: Παραγωγική Διαδικασία Ιχθύων

1.1 Πρόλογος

Τα ψάρια, είτε προέρχονται από ιχθυοκαλλιέργειες, είτε αναπτύσσονται ελεύθερα στη θάλασσα, χρειάζεται να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία, από τη στιγμή της αλιείας τους μέχρι την κατανάλωσή τους. Η επίτευξη των καλύτερων μεθόδων επεξεργασίας απαιτεί συνεχή πρόοδο και εξέλιξη της τεχνολογίας που αφορά την αλιεία και τη μεταποίηση ιχθύων (Regenstein, 1991). Για το λόγο αυτό, θα ήταν σκόπιμο να αναφερθούν τα στάδια επεξεργασίας ενός ψαριού μέχρι τη στιγμή που καθίσταται έτοιμο προς κατανάλωση. Τα στάδια αυτά αφορούν την εκτροφή στις υδατοκαλλιέργειες, τις διάφορες μεθόδους αλιείας καθώς και τις διεργασίες μεταποίησης και συντήρησής του, με σκοπό να παραχθούν τα προϊόντα ιχθύων και να διανεμηθούν στην αγορά.

1.2. Υδατοκαλλιέργειες

1.2.1 Παραγωγικά στάδια σε μία τυπική μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας

Ο όρος υδατοκαλλιέργεια χρησιμοποιείται για να περιγράψει την εκτροφή υδρόβιων οργανισμών, κατά την οποία διατηρείται ο έλεγχος ολόκληρου ή μέρους του κύκλου ζωής τους. Ο έλεγχος αυτός διακρίνει τις υδατοκαλλιέργειες από τις συμβατικές μεθόδους αλιείας, στις οποίες οι οργανισμοί συλλέγονται από φυσικά αποθέματα (Martin, 1990). Το πρώτο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας αφορά την παραγωγή γόνου, η οποία λαμβάνει χώρα στους ιχθυογεννητικούς σταθμούς.

Ένας σύγχρονος ιχθυογεννητικός σταθμός αποτελείται από το τμήμα γεννητόρων, το τμήμα λαρβών, το τμήμα ζωντανής τροφής και το τμήμα πάχυνσης.

Στο τμήμα γεννητόρων κάτω από απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες οι ιχθύες γεννούν τα αυγά (γεννήτορες). Στη συνέχεια στο τμήμα λαρβιών, οι ιχθύες εκκολάπτονται και τα ιχθύδια τρέφονται αρχικά με ζωντανή τροφή και μετά τον απογαλακτισμό τους με βιομηχανική τροφή. Στο τμήμα ζωντανής τροφής παράγεται κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες φυτοπλαγκτόν για το πρώτο στάδιο διατροφής των λαρβιών. Τέλος, στο τμήμα πάχυνσης, πραγματοποιείται η ολική προετοιμασία του γόνου μέχρι να μεταφερθεί στους ιχθυοκλωβούς για την τελική πάχυνσή του σε έτοιμο ιχθύ (Χώτος & Ρογδάκης, 1992, Wilde *et al.*, 1995). Στο στάδιο αυτό, τα ιχθύδια (γόνοι) μεταφέρονται από τους ιχθυογεννητικούς σταθμούς στις μονάδες πάχυνσης και τοποθετούνται σε πλωτά κλουβιά με δίχτυα ή σε δεξαμενές. Εκεί εκτρέφονται μέχρι να φτάσουν σε εμπορεύσιμο μέγεθος. Οι ιχθυοτροφές που χρησιμοποιούνται παρασκευάζονται από ιχθυάλευρα και έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και βιταμίνες (Wilde *et al.*, 1995).

Η αλίευση πραγματοποιείται με ειδικά διαμορφωμένα πλωτά μέσα που διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό για τη θανάτωση και συντήρηση των ιχθύων με πάγο. Οι προς αλίευση ιχθύες νηστεύονται για μερικές ημέρες, ώστε το πεπτικό τους σύστημα να είναι τελείως απαλλαγμένο από υπολείμματα τροφών. Οι ιχθύες μετά την αλίευσή τους θανατώνονται ακαριαία, με τη μεταφορά τους σε γλυκό νερό με πάγο (παγοσόκ). Στη συνέχεια οι ιχθύες οδηγούνται σε συσκευαστήρια για την κατάψυξη, τυποποίηση ή άμεση διάθεσή τους στην αγορά.

1.2.2. Παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργειών

Σύμφωνα με στοιχεία της Διεθνούς Οργάνωσης Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) η παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιεργειών παρουσίασε σημαντική αύξηση τις τελευταίες δεκαετίες, από λιγότερο από 10^6 tn το 1950 σε $59,4 \cdot 10^6$ tn το 2004, αύξηση που αντιστοιχεί σε US \$ $70,3 \cdot 10^9$. Οι σημαντικότερες αιτίες της εντυπωσιακής αυτής ανάπτυξης είναι οι εξής:

- Η διαφαινόμενη αδυναμία της φυτικής και ζωικής παραγωγής να καλύψουν τις ανάγκες σε τρόφιμα του παγκόσμιου πληθυσμού που

αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς.

- Η βαθμιαία μείωση της προσφοράς αλιευμάτων που προέρχονται από τη συλλεκτική και ελεύθερη αλιεία των θαλασσών και των εσωτερικών νερών (λιμνών, ποταμών) λόγω υπεραλίευσης ή/και περιβαλλοντικής υποβάθμισης των βιοτόπων τους.
- Η συνεχής αύξηση της ζήτησης σε αλιεύματα. Αυτή οφείλεται αφενός στο πρότυπο υγιεινής διατροφής που προβάλλεται πλέον σε πολλές οικονομικά αναπτυγμένες χώρες, στις απαιτήσεις του οποίου ανταποκρίνονται τα διατροφικά χαρακτηριστικά των ιχθύων (πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας, μεγάλη περιεκτικότητα σε ακόρεστα λιπαρά οξέα κυρίως της σειράς ω-3 και χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο) και αφετέρου της σχετικής βελτίωσης του οικονομικού επιπέδου των χωρών του τρίτου κόσμου (Hanson et al., 1994).

Το 69,6% ($41,3 \cdot 10^6$ tn) της παγκόσμιας παραγωγής ιχθύων πραγματοποιείται στην Κίνα και το 21,9% στην υπόλοιπη Ασία και την περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού. Το 2004 η δυτική Ευρώπη συνεισέφερε κατά 3,5% στην παγκόσμια παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών με $2,1 \cdot 10^6$ tn (US \$5,4·10⁹) καθώς η κεντρική και ανατολική Ευρώπη παράγει το 0,4% της παγκόσμιας παραγωγής (250000 tn). Η Λατινική Αμερική, η περιοχή της Καραϊβικής και της Νότιας Αμερικής και η Αφρική συνεισέφεραν κατά 2,3%, 1,3% και 1,1%, αντίστοιχα, το 2004 (FAO, 2007a και b).

1.2.3. Οι υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα

Ο κλάδος των υδατοκαλλιεργειών στη χώρα μας παρουσιάζει ιδιαίτερη ανάπτυξη, με υψηλές παραγωγικές επιδόσεις. Η παραγωγή από υδατοκαλλιέργειες στα εσωτερικά νερά το έτος 2007 ανήλθε στους 113.188 τόνους (αύξηση 16,5% σε σχέση με το 2004), καλύπτοντας το 54,3% της συνολικής παραγωγής ιχθύων.

Σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Εταιρίας Στατιστικών και Οικονομικών Πληροφοριών (Hellastat A.E.) οι προοπτικές για τον κλάδο της

ιχθυοκαλλιέργειας αναμένεται να είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές με προβλεπόμενη ετήσια αύξηση της παραγωγής κατά 5%. Κύριοι λόγοι στους οποίους βασίζονται οι θετικές αυτές προβλέψεις είναι η μείωση των αλιευμάτων, λόγω ρυθμιστικών και περιβαλλοντικών παραγόντων, η αυξανόμενη έμφαση για την υγιεινή διατροφή, η όλο και μεγαλύτερη εξοικείωση του καταναλωτικού κοινού με τους ιχθύες ιχθυοκαλλιέργειας, οι πιο έντονες διαφημιστικές ενέργειες των εταιρειών, η διείσδυση των αλιευμάτων σε νέες αγορές του εξωτερικού, η ανάπτυξη καλλιέργειας νέων ειδών και η υψηλή τεχνογνωσία και η μακροχρόνια εμπειρία των εταιρειών του κλάδου. Σε γενικές γραμμές, η ιχθυοκαλλιέργεια στην Ελλάδα επικεντρώνεται στην παραγωγή γόνου και ιχθύων τσιπούρας και λαβρακιού, ενώ γίνονται συνεχείς προσπάθειες και έρευνα από τις εταιρείες του κλάδου, με στόχο την ανάπτυξη της καλλιέργειας νέων ειδών (μυτάκι, λυθρίνι, φαγκρί, σαργός, συναγρίδα κ.α.).

1.3. Αλιευτική εκμετάλλευση χελιού

1.3.1 Αλιεία χελιού στην Ευρώπη

Το ευρωπαϊκό χέλι, είναι ένα είδος με σημαντική οικονομική αξία για τις ατλαντικές και τις μεσογειακές ακτές της Ευρώπης και της βόρειας Αφρικής. Σύμφωνα με τον Dekker (2003c), κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '60, η ετήσια παραγωγή έφθασε τη μέγιστη τιμή των 40.000 τόνων, ενώ τη δεκαετία του '90 μειώθηκε στο 1/2. Ο συγγραφέας κατέληξε στα παραπάνω, ανασυνθέτοντας τις δηλωμένες παραγωγές επειδή θεωρείτο ότι ήταν σημαντικά υπο-εκτιμημένες.

Ο συνολικός αριθμός των αλιέων, που ασχολείται με την αλιεία του ευρωπαϊκού χελιού, υπολογίζεται σε 25.000 (Moriarty & Dekker 1997) και σε ορισμένες περιοχές ενδέχεται να αντιπροσωπεύει έως και το 75% του εισοδήματός τους. Αυτό ισχύει κυρίως για τις εκβολές των ποταμών της Γαλλίας, όπου δραστηριοποιούνται περίπου 1.100 σκάφη, ενώ 450 αλιείς ασχολούνται με την αλιεία του γυαλόχελου.

Ο τομέας της αλιείας του ευρωπαϊκού χελιού στην Ευρώπη είναι ιδιαίτερα ετερογενής. Η αλιευτική εκμετάλλευση γίνεται σε όλη την περιοχή της γεωγραφικής του κατανομής (>10 εκατ. km²) και σε επιφάνεια πάνω από 100.000

km² των παράκτιων νερών (Dekker 2000a). Τα ενήλικα χέλια (κιτρινόχελα, ασημόχελα) αλιεύονται κυρίως στα μεταβατικά και στα θαλάσσια νερά της βόρειας Ευρώπης και της Μεσογείου, ενώ τα νεαρά χέλια (γυαλόχελα, eivers) κυρίως στις εκβολές των ποταμών του Βισκαϊκού Κόλπου και στο Κανάλι του Μπρίστολ της Μεγάλης Βρετανίας (Dekker 2000a, 2003a). Ο Βισκαϊκός Κόλπος, αν και αποτελεί λιγότερο από το 10% της περιοχής κατανομής του χελιού, δέχεται (πιθανόν λόγω της θέσης του) τα 3/4 της στρατολόγησης, ενώ παράγει μόνο το 10% της συνολικής βιομάζας του ασημόχελου (Dekker 2000b). Η παραγωγικότητα (αλιευτική απόδοση ανά μονάδα υδάτινης επιφάνειας) είναι υψηλότερη στη δυτική Μεσόγειο και μειώνεται βαθμιαία προς την ανατολική Μεσόγειο και τη βόρεια Ευρώπη (Dekker 2003a). Παραδοσιακά, το χέλι είναι ένα είδος ψαριού με μεγάλη ζήτηση στην Ευρώπη. Το γυαλόχελο εμπορεύεται για εντατική καλλιέργεια σε χώρες της Ευρώπης και της ανατολικής Ασίας (κυρίως Κίνα), για προγράμματα εμπλουτισμών, κυρίως σε χώρες της βόρειας Ευρώπης, και για απευθείας βρώση στην Ισπανία και στη Γαλλία. Τόσο το κιτρινόχελο, όσο και το ασημόχελο αλιεύονται για απευθείας βρώση. Τα τελευταία χρόνια, το μεγαλύτερο μέρος των χελιών που προορίζονται για κατανάλωση προέρχεται από την εντατική του εκτροφή (χελοκαλλιέργεια).

Τα χέλια αλιεύονται από επαγγελματίες αλλά και από ερασιτέχνες αλιείς. Η αλιεία είναι κυρίως μικρής κλίμακας (τυπική αλιεία ασκείται σε υδάτινη επιφάνεια περίπου 8 km²), ενώ η μεγάλης κλίμακας αλιεία είναι περιορισμένη και αποτελεί λιγότερο από το 5% των συνολικών συλλήψεων (Dekker 2000a).

1.3.2 Αλιεία χελιού στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχει μεγάλο εμπορικό ενδιαφέρον για το χέλι, αφού είναι ένα εξαγωγίμο προϊόν υψηλής εμπορικής αξίας και αποτελεί το δεύτερο σημαντικότερο αλιεύμα των μεταβατικών νερών μετά τα κεφαλοειδή (Katselis *et al.*, 2003). Το σύνολο σχεδόν της παραγωγής εξάγεται στις χώρες της Ευρώπης, κυρίως στην Ιταλία, στη Γερμανία, στην Ολλανδία, στην Ιρλανδία και στη Δανία (ΚΕΠΕ 1990). Η εγχώρια κατανάλωση χελιών είναι ασήμαντη και περιορίζεται

σε περιοχές, όπου υπάρχουν μεταβατικά ή εσωτερικά νερά, που οι τοπικοί πληθυσμοί καταναλώνουν παραδοσιακά το είδος αυτό.

Η αλιεία του χελιού βασίζεται κύρια στο απόθεμα του ασημόχελου, που μεταναστεύει από τα μεταβατικά νερά προς τη θάλασσα κατά τους χειμερινούς μήνες.

Για την αλιεία του χρησιμοποιούνται βολκοί και οι μόνιμες ιχθυοσυλληπτικές εγκαταστάσεις (πήρες) στην είσοδο των λιμνοθαλασσών (Εικόνα 1.3.1).



Εικόνα 1.3.1: Βολκοί για την αλιεία χελιού στο Νομό Πρέβεζας.



Εικόνα 1.3.2: Χέλι (γόνος).

Η διάθεση των χελιών στην αγορά γίνεται συνήθως με δημοπρασία. Η διαδικασία πώλησης με δημοπρασία είναι υποχρεωτική για τους συνεταιρισμούς που μισθώνουν δημόσια ιχθυοτροφεία, αφού απαιτείται έγκριση της νομαρχίας για τη διάθεση της παραγωγής. Τη διοργάνωση των δημόσιων πλειοδοτικών διαγωνισμών αναλαμβάνουν οι αλιευτικοί συνεταιρισμοί ή οι ιχθυόσκαλες.

Εκτός από τις εξαγωγές χελιού που προέρχονται από την αλιεία, πραγματοποιούνται και εξαγωγές από τις μονάδες εντατικής εκτροφής του (χελοκαλλιέργειες). Επειδή η τεχνητή αναπαραγωγή χελιού δεν είναι εφικτή, οι μονάδες πάχυνσης προμηθεύονται άγριο γόνο, ο οποίος εισάγεται κυρίως από τις χώρες της δυτικής Ευρώπης (Γαλλία και Αγγλία).

1.4. Μέθοδοι και εποχικότητα αλιείας

1.4.1. Μέθοδοι και εποχικότητα αλιείας νεαρών χελιών

(γυαλόχελο, elver)

Οι μέθοδοι αλιείας γυαλόχελου στηρίζονται στη φυσική διαδικασία της μετανάστευσής του. Λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη απόσταση από τα υποτιθέμενα πεδία ωτοκίας (Θάλασσα Σαργασσών) και τις επακόλουθες διαφορές στην πυκνότητα της στρατολόγησης, καθώς και το ρόλο-κλειδί της θερμοκρασίας του νερού, γίνεται φανερό ότι μια και μόνη αλιευτική μέθοδος, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλη την περιοχή εξάπλωσης του χελιού, για παράδειγμα, από τα ποτάμια της Γαλλίας με μεγάλες πυκνότητες γυαλόχελων έως τα παράκτια νερά της Βαλτικής με μικρές πυκνότητες, και από τα κρύα νερά της Νορβηγίας έως τα θερμά της Αιγύπτου.

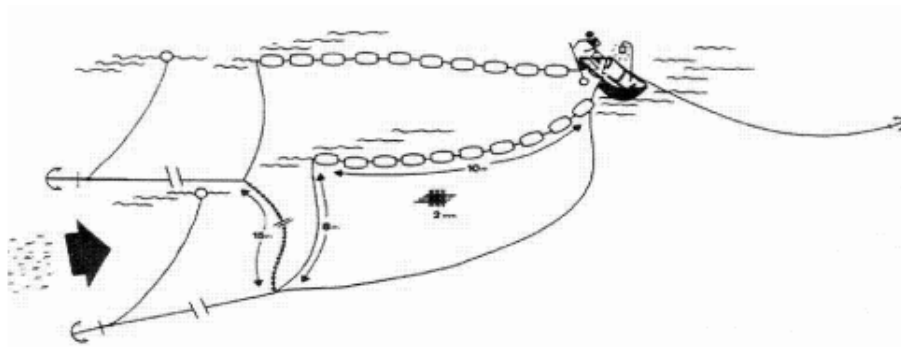
Στις περισσότερες εκβολές των ποταμών της Γαλλίας, η αλιεία γίνεται με τράτες (*trawl nets*) που αλιεύουν είτε επιφανειακά είτε σε βαθύτερα στρώματα νερού (Εικ. 1.4.1). Γενικά, 19 τύποι αλιευτικών εργαλείων, επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται από τους επαγγελματίες αλιείς και αυτά συχνά προσαρμόζονται στις ιδιαίζουσες συνθήκες της κάθε περιοχής. Οι ερασιτέχνες

επιτρέπεται να χρησιμοποιούν 11 τύπους εργαλείων (με ειδικούς περιορισμούς στο σχήμα και μέγεθος των δικτύων).



Εικόνα 1.4.1: Τράτες (*trawl nets*) με δύο τύπους αλιευτικών εργαλείων, για την αλιεία γυαλόχελου στις εκβολές των ποταμών της Γαλλίας (Feunteun *et al.* 2002).

Στην Ισπανία και στην Πορτογαλία (ποταμός Μίνχο) η αλιεία γίνεται με ένα είδος δικτυού που τοπικά είναι γνωστό ως «tela» (Εικόνα 2.2). Τα γυαλόχελα μεταφέρονται με τη βοήθεια της παλίρροιας μέσα στο δίχτυ, όπου από το σκάφος συλλέγονται με απόχη.



Εικόνα 1.4.2: Αλιεία γυαλόχελου στον ποταμό Μίνχο (Ισπανία και Πορτογαλία). Τα γυαλόχελα με τη βοήθεια της παλίρροιας εισέρχονται στο δίχτυ και συλλέγονται με απόχη από το σκάφος (Weber 1986).

Στη Μεγάλη Βρετανία (Κανάλι του Μπρίστολ) η απόχη (*dip net*) είναι το μοναδικό νόμιμο εργαλείο (Εικόνα 1.4.3). Οι μεγαλύτερες συλλήψεις γίνονται στο τέλος της πλημμυρίδας και στην αρχή της άμπωτης, οπότε τα γυαλόχελα συγκεντρώνονται κοντά στις όχθες.



Εικόνα 1.4.3: Αλιεία νεαρών χελιών με απόχη (*dip net*) σε ποτάμια της Μεγάλης Βρετανίας (www.defra.gov.uk).

Οι βολκοί (*fyke nets*) είναι πιθανόν το πιο κοινό αλιευτικό εργαλείο (Εικόνα 1.4.4). Τα γυαλόγελα κινούνται προς τον βολκό, είτε επειδή μεταφέρονται με τη πλημμυρίδα, είτε επειδή κολυμπούν ενεργητικά προς τα ανάντη του ποταμού. Οι βολκοί χρησιμοποιούνται σε Ιρλανδία, Ολλανδία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία και Πορτογαλία. Για την αλιεία απαιτείται ειδική άδεια και συνήθως οι αλιείς είναι υποχρεωμένοι να αναφέρουν τις συνολικές συλλήψεις. Εξαιρέση αποτελεί η αλιεία στο Κανάλι του Μπρίστολ και στο Μαρόκο.



Εικόνα 1.4.4: Βολκοί (*fyke nets*) για την αλιεία νεαρών χελιών (www.2bnmaine.com).

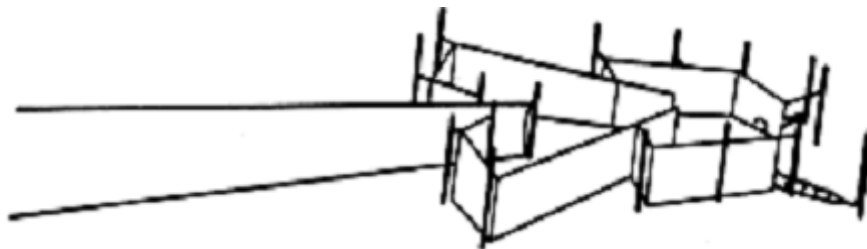
Η αλιεία γυαλόχελου σε όλη την Ευρώπη εμφανίζει εποχική κατανομή από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο. Η κατανομή συλλήψεων ακολουθεί μια γεωγραφική διαβάθμιση από το νότο προς τον βορρά. Στις νότιες περιοχές, η αλιεία ξεκινά τον

Νοέμβριο (Ισπανία), ενώ στις βόρειες χώρες (Β. Ιρλανδία) τον Μάρτιο. Η αλιεία σταματά περίπου τον Φεβρουάριο στο νότο, ενώ στον βορρά τον Μάιο. Στις ενδιάμεσες περιοχές, οι συλλήψεις ακολουθούν ένα βαθμιαίο εποχικό πρότυπο σε σχέση με τα δύο παραπάνω ακραία πρότυπα (ICES 2005).

1.4.2. Μέθοδοι και εποχικότητα αλιείας ενήλικων χελιών (κιτρινόχελο, ασημόχελο)

Τα κιτρινόχελα έχουν μικρότερη εμπορική αξία από τα ασημόχελα για αυτό και η αλιεία τους είναι περιορισμένη. Η αλιεία ασημόχελων πραγματοποιείται, κατά τη μετανάστευσή τους από τα εσωτερικά ή μεταβατικά νερά προς τη θάλασσα (πεδία ωοτοκίας), με μόνιμους ιχθυοφραγμούς. Η μαζικότερη αλιεία κιτρινόχελων/ασημόχελων πραγματοποιείται σε Δανία, Νορβηγία, Σουηδία, Ολλανδία, Γερμανία και Β. Ιρλανδία, αλλά και στα μεταβατικά νερά της Ιταλίας.

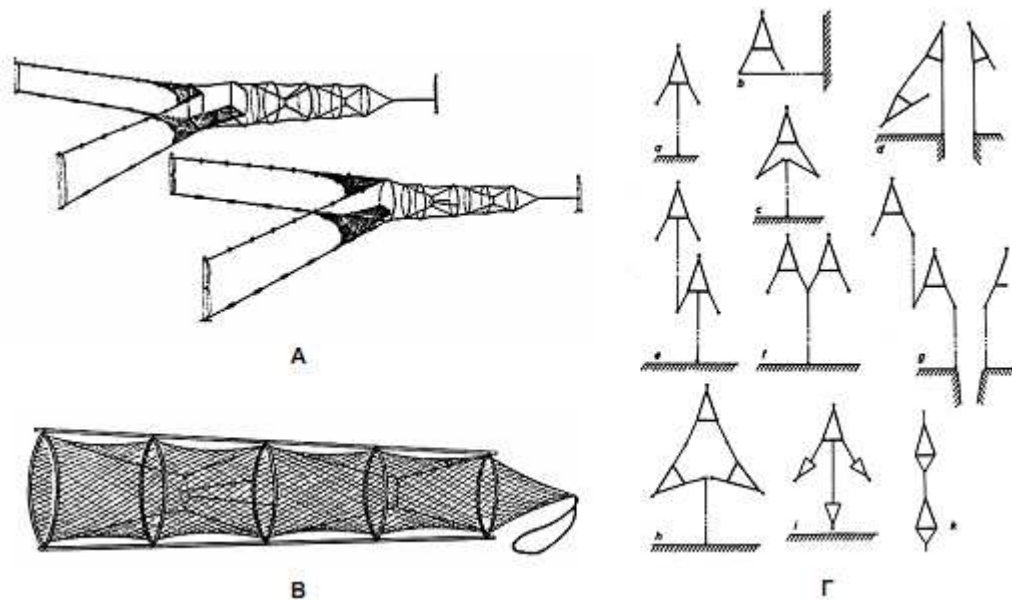
Η αλιεία ασημόχελου στη Βαλτική Θάλασσα γίνεται κυρίως με μόνιμες παγίδες(*round nets*) (Εικόνα 1.4.5) ή με παρόμοιο παθητικό εργαλείο, ενώ στις υπόλοιπες χώρες κυρίως με βολκούς και παραγάδια (Εικ. 1.4.6).



Εικόνα 1.4.5: Μόνιμες παγίδες (*round nets*) για την αλιεία ενήλικων χελιών στη Βαλτική Θάλασσα (www.fao.org).

Η αλιεία κιτρινόχελου σε όλη την Ευρώπη εμφανίζει εποχικό πρότυπο, που δεν είναι σταθερό στις επιμέρους περιοχές. Γενικά, η αλιεία ξεκινά τον Απρίλιο και οι μεγαλύτερες συλλήψεις συμβαίνουν τον Ιούνιο-Ιούλιο. Η αλιεία ασημόχελου είναι επίσης εποχική και η πιο έντονη διακύμανση παρατηρείται στην εποχή έναρξής της. Η εποχή αλιείας ξεκινά τον Απρίλιο (Ολλανδία), τον Μάιο (Δανία, Σουηδία), τον Ιούνιο ή τον Ιούλιο. Στις βόρειες χώρες (Δανία και Σουηδία) όπου η μετανάστευση ξεκινά νωρίς, φαίνεται να σχετίζεται με την

ανοιξιάτικη ροή των ποταμών. Στις νότιες χώρες, οι συλλήψεις πραγματοποιούνται, λίγο αργότερα, από το καλοκαίρι μέχρι το φθινόπωρο (ICES 2005).



Εικόνα 1.4.6: Διάφοροι τύποι βολκών (*fyke nets*) για την αλιεία ενήλικων χελιών. Α: Βολκοί με «φτερά» Β. Απλοί βολκοί. Γ: Βολκοί σε διάφορες διατάξεις (www.fao.org).

1.5. Επεξεργασία Ιχθύων

Όταν τα ψάρια συλλεχθούν και τοποθετηθούν μέσα στο αλιευτικό σκάφος, το προσωπικό συχνά πραγματοποιεί κατάλληλες επεξεργασίες και τελικά τακτοποιεί τα ψάρια, ώστε να δύνανται να διανεμηθούν στην αγορά.

1.5.1. Επεξεργασία των ιχθύων μέσα στο αλιευτικό σκάφος

Πρώτο στάδιο της επεξεργασίας των ψαριών είναι η αφαιμάξη, που σχετίζεται με τις συνήθειες της κάθε περιοχής και με το είδος του ψαριού. Για παράδειγμα, στον καρχαρία η αφαιμάξη εξυπηρετεί την απομάκρυνση της ουρίας που περιέχεται στο αίμα του, προκειμένου να αποφευχθεί η μετατροπή της σε

αμμωνία. Παρ'όλ'αυτά, η αφαίμαξη δεν πραγματοποιείται όταν είναι επιθυμητή η αυξημένη ερυθρότητα στο ψάρι, όπως π.χ. στη Γερμανία.

Η αφαίμαξη πραγματοποιείται συνήθως κόβοντας τις αρτηρίες ακριβώς πίσω από τα βράγχια και μπροστά από την καρδιά. Τότε τα ψάρια αφήνονται στον αέρα ή τοποθετούνται στο νερό για περίπου 20 min, που διαρκεί η διαδικασία της αφαίμαξης. Το νερό θεωρείται ευνοϊκότερο του αέρα, αλλά απαιτεί συνεχείς αλλαγές και μια ξεχωριστή δεξαμενή.

Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα εκσπλαχνισμός, ο οποίος συνήθως πραγματοποιείται τέμνοντας κατά μήκος το ψάρι από την πλευρά της κοιλιάς και κατόπιν απομακρύνοντας τα εντόσθια με χρήση ειδικών εξαρτημάτων. Ο εκσπλαχνισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στο αλιευτικό σκάφος για διάφορους λόγους. Κυρίως, με τον τρόπο αυτόν εξαλείφεται η πιθανότητα μόλυνσης της εδώδιμης σάρκας του ψαριού από τα εντόσθια, τα οποία περιέχουν υψηλό μικροβιακό φορτίο, αλλά και υδρολυτικά ένζυμα.

Σε πολλές περιπτώσεις, τα βράγχια πρέπει να απομακρύνονται, ειδικά αν αυτό επιβάλλει η αγορά στην οποία θα διανεμηθεί το προϊόν. Είναι πιθανό τα βράγχια να περιέχουν υψηλό μικροβιακό φορτίο, αλλά μέχρι στιγμής δεν έχει αποδειχθεί η επίδρασή τους στη σάρκα του ψαριού. Ωστόσο, τα βράγχια αποτελούν σημαντικό παράγοντα προσδιορισμού της ποιότητας του ψαριού και η απουσία τους δυσχεραίνει την αξιολόγησή τους.

Στην περίπτωση που τα ψάρια δεν πρόκειται να εκσπλαχνιστούν ή να υποστούν καμία περαιτέρω επεξεργασία μέσα στο αλιευτικό σκάφος, τότε είναι απαραίτητο να αποθηκευθούν καταλλήλως καθ'όλη τη διάρκεια του ταξιδιού. Η καταλληλότερη μέθοδος συντήρησης για την περίπτωση αυτή είναι η τοποθέτηση σε πάγο.

Όσο καλύτερα αναμιχθούν τα ψάρια με τον πάγο, τόσο καλύτερα θα ψυχθούν. Η τήξη του πάγου δημιουργεί μια αργή ροή νερού, η οποία προκαλεί διαρκεί ψύξη και καθαρισμό του ψαριού. Ο πάγος πρέπει να τοποθετείται πάνω στην κοιλότητα της κοιλιάς του ψαριού, δηλαδή στο σημείο όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μικροβιακό φορτίο. Αναφορικά με τη συσκευασία, τα ψάρια

τοποθετούνται σε κιβώτια μικρού πάχους, όπου φέρονται ένα επίπεδο ψαριών και πάγου, έτσι ώστε να αποφευχθεί η σύνθλιψη των ψαριών.

Η κατάλληλη χρήση του πάγου απαιτεί κατανόηση του ρόλου του στη διατήρηση της ποιότητας των ιχθύων. Ο πάγος παρέχει στο ψάρι ψύξη, καθαρισμό και ενυδάτωση. Παρ'όλ'αυτά, αν ο πάγος δεν είναι απόλυτα καθαρός, αποτελεί εστία μόλυνσης του ψαριού από ψυχρότροφα βακτήρια. Προκειμένου η ψύξη να πραγματοποιείται αποτελεσματικά, είναι σημαντική η απόλυτη επαφή του ψαριού με τον τηκόμενο πάγο. Ο αέρας, ως φυσικός μονωτής, πρέπει να αποφεύγεται. Ο καθαρισμός πραγματοποιείται από τον τηκόμενο πάγο που απομακρύνει από την επιφάνεια του ψαριού διάφορα βακτήρια. Το νερό που συσσωρεύεται είναι σημαντικό να απομακρύνεται συχνά, ώστε να αποφεύγεται η μόλυνση. Εξίσου σημαντική είναι η προσθήκη του πάγου, για τη διατήρηση της θερμοκρασίας. Μια ιδανική θερμοκρασία για το λόγο αυτό είναι οι 2 – 3°C. Η ενυδάτωση αφορά τη διατήρηση της υγρασίας της εξωτερικής επιφάνειας του ψαριού, ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση των καταναλωτών για τη λεία όψη του φρέσκου ψαριού.

1.5.2. Απολέπιση

Στην περίπτωση των ψαριών στα οποία δεν πραγματοποιείται απομάκρυνση του δέρματος, όπως στο κοκκινόψαρο και μερικές φορές στον μπακαλιάρο, συχνά λαμβάνει χώρα απολέπιση. Συχνά το δέρμα διατηρείται στο ψάρι για να είναι περισσότερο αναγνωρίσιμο από τον καταναλωτή, αν το δέρμα αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα για κάποιο είδος. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος απολέπισης είναι η χρήση ενός αιχμηρού εργαλείου, ενώ η όλη διαδικασία πραγματοποιείται υπό τη ροή νερού. Η χρήση ειδικών μηχανών με χρήση βουρτσών είναι σαφώς γρηγορότερη, αλλά λιγότερο οικονομική. Τα λέπια που συλλέγονται μετά το πέρας της διαδικασίας συνήθως απορρίπτονται.

1.5.3. Φιλετοποίηση

Η φιλετοποίηση δύναται να πραγματοποιηθεί είτε χειρωνακτικά, είτε με χρήση μηχανών. Η φιλετοποίηση με το χέρι αποτελεί ένα είδος τέχνης. Χρησιμοποιείται ένα μαχαίρι και τα δύο φιλέτα κόβονται και απομακρύνονται από το υπόλοιπο σώμα του ψαριού. Τα εναπομείναντα κομμάτια ψαριού, μετά την απομάκρυνση των φιλέτων, αποτελούν πιθανώς πολύτιμο παραπροϊόν, το οποίο μέχρι στιγμής δεν έχει αξιοποιηθεί. Η φιλετοποίηση με χρήση κατάλληλης μηχανής, απαιτεί το διαχωρισμό των ψαριών κατά μέγεθος για την κατάλληλη ρύθμιση και λειτουργία του μηχανήματος. Η μέθοδος αυτή, αν και περισσότερο δαπανηρή, είναι πολύ γρήγορη και αποτελεσματική.



Εικόνα 1.5.3.1: Φιλετοποίηση χελιού.

1.5.4. Απομάκρυνση δέρματος

Υπάρχουν διάφορες μηχανές που πραγματοποιούν την απομάκρυνση του δέρματος των ψαριών. Τα περισσότερα μηχανήματα περιλαμβάνουν τη χρήση μιας λεπίδας, η οποία τέμνει την περιοχή μεταξύ του δέρματος και της σάρκας του ψαριού.



Εικόνα 1.5.4.1: Αποδερμάτωση χελιού.

1.5.5. Χημικές διεργασίες

Το ψάρι στη συνέχεια υφίσταται χημικές διεργασίες. Αυτές αφορούν τον ψεκάσμο με polyphosphate ή διάλυμα άλμης. Η άλμη περιέχει από 1 έως 9 % αλάτι. Η άλμηση στο στάδιο αυτό έχει σκοπό την τελειοποίηση του ψαριού και την αποκατάσταση της εμφάνισής του, εξαλείφοντας την πιθανή τραχύτητα που ακολούθησε την επεξεργασία του.

1.5.6. Συσκευασία

Στο στάδιο αυτό τα φιλέτα είναι έτοιμα για συσκευασία. Πραγματοποιείται ζύγιση των ψαριών και συσκευασία τους σε μεταλλικά ή πλαστικά δοχεία. Τα φιλέτα που περιλαμβάνουν το δέρμα είναι σημαντικό να συσκευάζονται, έτσι ώστε να έρχεται σε επαφή το δέρμα του ενός με του άλλου, ή η σάρκα τους ενός με του άλλου.

Η τάση για αλλοίωση καθιστά τον έλεγχο της θερμοκρασίας μια σημαντική παράμετρο της συσκευασίας. Η μάζα του ψαριού και η αρχική θερμοκρασία καθορίζουν το χρόνο που απαιτείται για να επιτευχθεί η κατάλληλη θερμοκρασία στα ψάρια. Για το λόγο αυτό, η θερμοκρασία κατά την επεξεργασία πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητη η ψύξη των ψαριών αλλά και η ταχύτατη επεξεργασία.

Οι πλαστικές συσκευασίες μπορεί να καλύπτονται είτε από ένα σκληρό πλαστικό κάλυμμα, είτε από ένα καθαρό πλαστικό φιλμ, το οποίο είναι θερμικά μονωμένο. Η τελευταία περίπτωση συσκευασίας αναφέρεται ως «Gen-packs». Στο χώρο της βιομηχανικής αλιείας συνεχίζει να συζητάται η αξία των μεταλλικών συσκευασιών σε σχέση με τις αντίστοιχες πλαστικές και κάθε υλικό έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και τους δικούς του υποστηρικτές. Η υψηλή αγωγιμότητα του μετάλλου παρατίθεται εν αντιθέσει της ευκολίας και του χαμηλού κόστους των πλαστικών.



Εικόνα 1.5.6.1: Συσκευασμένο χέλι.

1.6. Η τεχνολογία εμποδίων (hurdle technology) στην επεξεργασία ιχθύων

Η τεχνολογία εμποδίων αποτελεί μία νέα προσέγγιση για την παραγωγή ασφαλών, σταθερών, θρεπτικών και οικονομικών τροφίμων. Πρόκειται για τη συνδυαστική εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων συντήρησης με σκοπό την επιβολή μίας σειράς παραμέτρων ανάσχεσης της αλλοίωσης, οι οποίες καλούνται εμπόδια (hurdles). Η εφαρμογή πολλαπλών εμποδίων συνεπάγεται ότι η δράση του καθενός θα στοχεύει σε διαφορετική δράση του κυττάρου. Τέτοιου είδους

εμπόδια που επιδρούν στη μικροβιακή ανάπτυξη στα τρόφιμα συνοψίζονται στον Πίνακα 1.1.

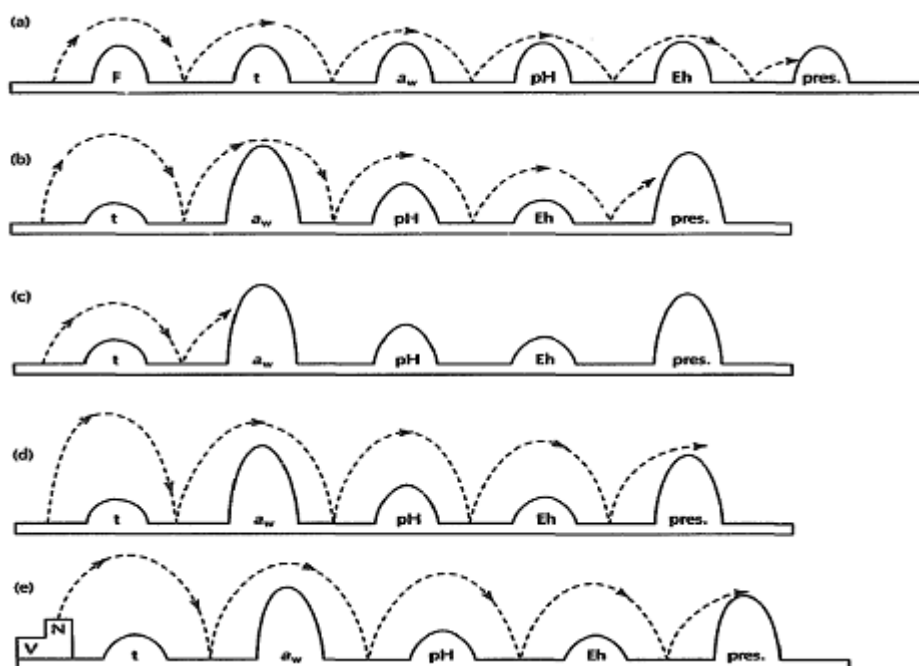
Πίνακας 1.1: Παράγοντες (εσωτερικοί και εξωτερικοί) που επιδρούν στη μικροβιακή ανάπτυξη στα τρόφιμα (Τζια *et al.*, 2007)

Φυσικά εμπόδια	Φυσικοχημικά εμπόδια
Θερμική επεξεργασία (π.χ. αποστείρωση, παστερίωση, λεύκανση)	a_w
Θερμοκρασία συντήρησης	pH
Ακτινοβόληση	E_h
Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια	NaCl
Υπερψηλή πίεση	NaNO ₂
Υπέρηχοι	CO ₂
Συσκευασία	Οργανικά οξέα
Τροποποιημένη ατμόσφαιρα	Συντηρητικά
Ασηπτική συσκευασία	Κάπνισμα
	Μπαχαρικά
	Ανταγωνιστική μικροχλωρίδα
	Βακτηριοσίνες

Ορισμένες τέτοιες παράμετροι, όπως για παράδειγμα η παστερίωση, αποτελούν υψηλά εμπόδια για τους περισσότερους μικροοργανισμούς ενώ υπάρχουν εμπόδια, όπως το NaCl, που παρουσιάζουν πιο ασθενή δράση ή η δράση τους περιορίζεται σε ένα εύρος μικροοργανισμών. Ο στόχος της τεχνολογίας εμποδίων είναι η συνδυαστική εφαρμογή εμποδίων, έτσι ώστε να αναστέλλεται η δράση της μικροχλωρίδας που περιέχεται στο συγκεκριμένο τρόφιμο (Leistner *et al.*, 1995). Στο Σχήμα 1.6 παριστάνονται παραδείγματα εφαρμογής της τεχνολογίας εμποδίων για τη συντήρηση τροφίμων.

Εμπόδια που εφαρμόζονται σε προϊόντα είναι η προσθήκη άλατος (μπακαλιάρος), η χρήση κάπνισης (σολομός, μπακαλιάρος), οξέων (μαριναρισμένα προϊόντα, πίκλες), η θερμοκρασία (υψηλή ή χαμηλή), μικροοργανισμοί ζύμωσης (παραδοσιακά ασιατικά προϊόντα) καθώς και η χρήση διαφόρων τύπων συσκευασίας (συσκευασία σε κενό). Ωστόσο, σύγχρονες μελέτες επεκτείνουν το πεδίο των παραγόντων που μπορούν να συντελέσουν στη διατήρηση των αλιευμάτων και εμπόδια όπως οργανικά οξέα, βακτηριοσίνες, χιτοζάνη, νιτρώδη, λακτουόπεροξειδάση, διάφορα αιθέρια έλαια, συσκευασία σε

τροποποιημένες ατμόσφαιρες κτλ ερευνώνται, καθώς και καινοτόμες μέθοδοι ελάττωσης του μικροβιακού φορτίου όπως η χρήση μικροκυμάτων και ραδιοσυχνοτήτων, η ωμική και η επαγωγική θέρμανση, η υπερυψηλή υδροστατική πίεση, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η υψηλή τάση, η υπεριώδης ακτινοβολία, οι υπέρηχοι, διάφοροι ηλεκτρολύτες, το όζον κτλ (Leroi *et al.*, 2008).



Σχήμα 1.6. Παραδείγματα εφαρμογής της τεχνολογίας εμποδίων για τη διατήρηση τροφίμων. F: Θέρμανση, t: ψύξη, a_w : χαμηλή ενεργότητα νερού, pH: οξίνιση, E_h : χαμηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής, pres.: συντηρητικά, V: βιταμίνες, N: θρεπτικά (Leistner *et al.*, 1995).

Η τεχνολογία εμποδίων επιτρέπει την παραγωγή σταθερών προϊόντων με συνδυαστική χρήση ήπιων μεθόδων επεξεργασίας. Λόγω της συνεργιστικής δράσης των επιμέρους παραμέτρων, τα εμπόδια μπορούν να εφαρμοστούν σε χαμηλότερη ένταση απ' ό,τι θα απαιτείτο στην περίπτωση που θα εφαρμόζονταν μεμονωμένα ως μέθοδοι διατήρησης. Η χρήση της τεχνολογίας εμποδίων θεωρείται επιτυχημένη, εάν ο συνδυασμός των εμποδίων αναστέλλει τη μικροβιακή ανάπτυξη στο τρόφιμο, σταθεροποιώντας τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη θρεπτικότητα του τροφίμου. Για παράδειγμα, ελάττωση

της ενεργότητας του νερού με προσθήκη αντίστοιχα συμβατών διαλυτών ουσιών, όπως για παράδειγμα μιγμάτων αλάτων, σακχάρων, πολυολών κτλ. ή / και μερική αφυδάτωση, ή η ενσωμάτωση στερεών συστατικών επιβάλλουν στα κύτταρα τη ρύθμιση της ωσμωτικής πίεσης, αυξάνοντας τις απαιτήσεις για μεταβολική δραστηριότητα. Η ελάττωση εξάλλου των επιπέδων O₂ στη συσκευασία, με συντήρηση υπό κενό είτε υπό τροποποιημένες ατμόσφαιρες, οδηγεί σε περιορισμό της ενεργειακής απόδοσης των αερόβιων μικροοργανισμών, καθιστώντας τους λιγότερο ικανούς να ανταπεξέλθουν στα επιβαλλόμενα εμπόδια. Εξάλλου, εάν τα επίπεδα O₂ περιοριστούν σημαντικά, η ανάπτυξη αυστηρά αερόβιων μικροοργανισμών, όπως είναι οι περισσότεροι μύκητες, αναστέλλεται πλήρως.

Η εφαρμογή ελάχιστης επεξεργασίας μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των υπάρχουσών τεχνολογιών διατήρησης των αλιευμάτων, όπως η συσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες, και να επεκτείνει σημαντικά το χρόνο ζωής των προϊόντων, μειώνοντας εξάλλου την πιθανότητα ανάπτυξης παθογόνων βακτηρίων όπως *Listeria* spp. και *Salmonella* spp. ή την παραγωγή τοξινών από μικροοργανισμούς όπως *Clostridium botulinum* (Rosnes *et al.*, 2003). Για παράδειγμα, το σορβικό κάλιο έχει αποδειχτεί ότι επεκτείνει σημαντικά το χρόνο ζωής ιχθύων συσκευασμένων σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες (Reddy *et al.*, 1992). Συγκεκριμένα συνδυασμός 1% σορβικού καλίου και MA 60% CO₂, 20% O₂ και 20% N₂ σε 1°C επέκτεινε τη διατηρησιμότητα κόκκινου σαλούβαρδου (*Urophycis chuss*) και σολομού κατά τουλάχιστον 28 ημέρες, συγκριτικά με τα συσκευασμένα σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες χωρίς την προσθήκη συντηρητικού (Fey *et al.*, 1982). Εναλλακτικά, η προσθήκη πολυφωσφορικών σε προϊόντα ιχθυερών συσκευασμένων σε MA έχει αναφερθεί ότι περιορίζει την απώλεια υγρού (drip loss) και τη μικροβιολογική, χημική και οργανοληπτική υποβάθμιση σε λαβράκι (Alvarez *et al.*, 1996, Masniyom *et al.*, 2005). Η χρήση αιθερίου ελαίου ρίγανης σε συνδυασμό με MAP και αλάτιση σε μικρό βαθμό έχει αποδειχτεί αποτελεσματική για τη διατήρηση φιλέτων τσιπούρας (Goulas *et al.*, 2007), ενώ ο συνδυασμός MAP και συντήρησης σε υπέρψηξη βρέθηκε ιδιαίτερα

αποτελεσματικός για τη διατήρηση νωπού μπακαλιάρου και σολομού (Fagan *et al.*, 2004). Η ακτινοβόληση ως προκατεργασία σε συνδυασμό με συσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες έχει αναφερθεί εξάλλου ότι μπορεί να επεκτείνει το χρόνο ζωής αλιευμάτων (Przybylski *et al.*, 1989).

Η συνεργιστική δράση της χρήσης αντιμικροβιακών ουσιών και νέων τεχνολογιών, όπως η ακτινοβόληση, αποτελεί αντικείμενο σύγχρονων ερευνών. Οι Licciardello *et al.* (1984) ανέφεραν σημαντική επέκταση της διατηρησιότητας μπακαλιάρου διατηρημένου σε πάγο, με προσθήκη σορβικού καλίου πριν τη συσκευασία και ακτινοβόληση με 1 kGy. Η ακτινοβόληση (1.5 kGy) σε συνδυασμό με διατήρηση σε ψύξη (0-2°C) κυπρίνου (*Cyprinus carpio*) οδήγησε σε διπλάσιο χρόνο ζωής (31 ημέρες), συγκριτικά με το χρόνο ζωής (15 ημέρες) μη ακτινοβολημένων δειγμάτων (Icekson *et al.*, 1996), ενώ σε συνδυασμό με αλάτιση και συσκευασία υπό κενό, η ακτινοβόληση 1-3 kGy οδήγησε έως και σε τετραπλασιασμό του χρόνου ζωής πέστροφας συντηρημένης σε ψύξη, και ταυτόχρονα περιόρισε σημαντικά την ανάπτυξη *Listeria monocytogenes* (Savnaidis *et al.*, 2002). Παρόμοια επίπεδα ακτινοβόλησης (1-3 kGy) οδήγησαν εξάλλου σε διπλασιασμό του χρόνου ζωής (27-18 ημέρες) σε αλατισμένα και συσκευασμένα υπό κενό φιλέτα τσιπούρας (Chouliara *et al.*, 2004).

Η εφαρμογή της τεχνολογίας εμποδίων στη συντήρηση τροφίμων είναι ένα δυναμικό και ταχύτατα εξελισσόμενο πεδίο. Οι καινοτόμες τεχνολογίες, όπως η υπερυψηλή υδροστατική πίεση και η ηλεκτροδιήθηση, επιφέρουν σημαντική διατήρηση χωρίς τη χρήση υψηλών θερμοκρασιών και αρχικά θεωρήθηκαν ως αυτόνομες διεργασίες. Ωστόσο, έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι τα πλεονεκτήματα των μεθόδων αυτών μεγιστοποιούνται, πιθανώς όταν αυτές εφαρμόζονται σε συνδυασμό με άλλα συμβατικά εμπόδια. Το γεγονός αυτό ενισχύει την άποψη ότι η τεχνολογία εμποδίων σχετίζεται άμεσα με τις πρόσφατες εξελίξεις στη μηχανική τροφίμων, καθιστώντας την θεμελιώδες μέσο για τις μελλοντικές τάσεις στη διατήρηση των τροφίμων (Leistner *et al.*, 2005).

Κεφάλαιο 2°: Μορφολογία, Σύσταση και Αλλοιώσεις Ιχθύων

2.1. Πρόλογος

Παράμετροι όπως η σύσταση της σάρκας καθώς και η μορφολογία των ιχθύων αποτελούν σημαντικούς παράγοντες, η γνώση των οποίων βοηθά στην πληρέστερη κατανόηση της λειτουργίας τους και στην επίτευξη της βέλτιστης επεξεργασίας του, επιτρέποντας την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας. Προκειμένου, εξάλλου, να επεκταθεί ο χρόνος ζωής των προϊόντων ιχθύων, είναι σημαντικό να εκτιμηθούν οι παράγοντες που επιδρούν στην αλλοίωση των ιχθύων, καθιστώντας αυτά μη αποδεκτά οργανοληπτικά και ακατάλληλα για κατανάλωση. Οι αλλοιώσεις των νωπών ιχθύων, τα οποία διατηρούνται για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, οφείλονται κυρίως σε μικροβιολογικούς παράγοντες. Ωστόσο, κατά τη συντήρηση ιχθύων, παρατηρούνται βιοχημικές δράσεις είτε πρόκειται για νωπά, είτε για επεξεργασμένα προϊόντα και οδηγούν σε μεταβολές των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους (Gram *et al.*, 1996).

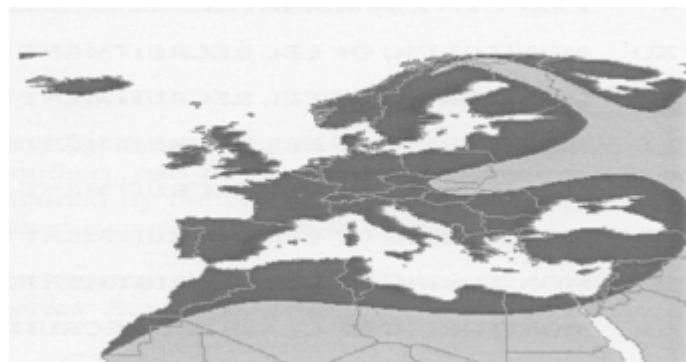
2.2. Μορφολογία Ιχθύων και Βιολογικά Χαρακτηριστικά

Οι ιχθύες έχουν εν γένει ένα χαρακτηριστικό σχήμα, το οποίο συχνά είναι εύκολα αναγνωρίσιμο και σχετίζεται με το υδάτινο περιβάλλον τους. Το γενικά συμμετρικό σώμα τους αποτελείται από τρεις διαδοχικές περιοχές, το κεφάλι, τον κορμό και την ουρά. Το τυπικό σώμα των ιχθύων είναι υδροδυναμικό και ατρακτοειδές. Η σπλαγχνική κοιλότητα περιλαμβάνει τα ζωτικά σπλάχνα και βρίσκεται πίσω από το κεφάλι, στο κάτω και εμπρός τμήμα του σώματος. Η σπονδυλική στήλη και ο νωτιαίος μυελός εκτείνονται από το πίσω τμήμα του κεφαλιού μέχρι τη βάση του ουραίου πτερυγίου. Το μεγαλύτερο τμήμα του σώματος αποτελείται από μυϊκή μάζα, μεγάλο ποσοστό της οποίας είναι αναγκαίο για την κολύμβηση. Η επιδερμίδα των ιχθύων είναι πολυστρωματική και επικαλύπτει ένα παχύ χόριο, πλούσιο σε συνδετικές ίνες (Παπαναστασίου, 1990).

2.2.1. Περιγραφή ειδών χελιού –Γεωγραφική εξάπλωση

Τα χέλια είναι τελεόστεοι ιχθύες. Ανήκουν στην τάξη Anguilliformes και στην οικογένεια Anguillidae. Το γένος *Anguilla* περιλαμβάνει 15 είδη, σύμφωνα με τις πρόσφατες βιοχημικές μελέτες (Lecomte-Finiger, 2003), εμφανίζει ευρεία εξάπλωση, με τα περισσότερα είδη να απαντώνται σε τροπικά νερά. Από αυτά, τέσσερα είδη είναι τα πιο εμπορικά, το *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) (ευρωπαϊκό χέλι), το *A. rostrata* (Lesueur, 1817) (αμερικάνικο χέλι), το *A. japonica* (Temminck & Schlegel, 1847) (ιαπωνικό χέλι) και το *A. marmorata* (Quoy & Gaimard 1824).

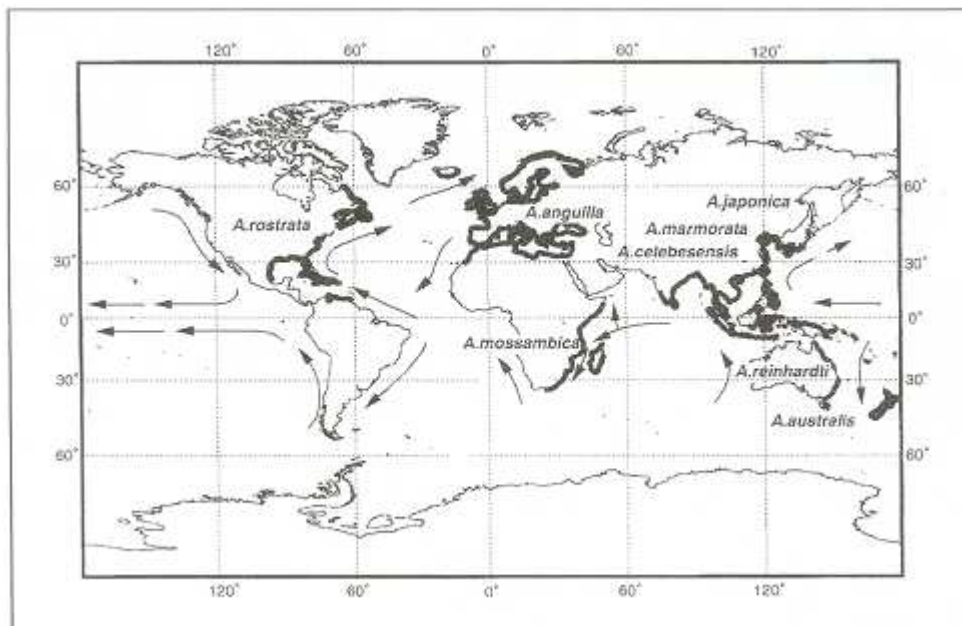
Το *A. anguilla* εξαπλώνεται κατά μήκος των ατλαντικών ακτών, από τη Σκανδιναβία έως τη βόρεια Αφρική και από τις Αζόρες έως την ανατολική Μεσόγειο (Εικ. 1.1). Το *A. rostrata* εξαπλώνεται κατά μήκος των ατλαντικών ακτών του Καναδά και των ΗΠΑ έως τον Παναμά. Το *A. japonica* απαντάται στις ακτές του Ειρηνικού Ωκεανού, στο Βιετνάμ, στις Φιλιππίνες, στην Ταϊβάν, στην Κίνα και στην Κορέα. Το *A. marmorata* παρουσιάζει τη μεγαλύτερη γεωγραφική εξάπλωση στον κόσμο και απαντάται από τις ανατολικές ακτές της Αφρικής, την Ινδονησία και τις Φιλιππίνες, τον Β. και Ν. Ειρηνικό έως την Πολυνησία (Εικόνα 2.1). Τα υπόλοιπα είδη εξαπλώνονται στον Ειρηνικό και Ινδικό Ωκεανό (Tesch, 2003).



Εικόνα 2.1: Γεωγραφική εξάπλωση του ευρωπαϊκού χελιού *Anguilla anguilla* (Dekker, 2002).

Η γεωγραφική εξάπλωση των χελιών φαίνεται να σχετίζεται με την υποτροπική κυκλοφορία των ωκεανών, με μεγαλύτερες αφθονίες να απαντούν στη δυτική πλευρά του Ατλαντικού, Ειρηνικού και Ινδικού Ωκεανού (Εικόνα 2.2). Τα ζεστά ρεύματα του ισημερινού ρέουν δυτικά και κινούνται κατά μήκος των ανατολικών ακτών της κάθε

ηπείρου, ενώ κατά μήκος των δυτικών ακτών κινούνται κρύα ρεύματα τα οποία δημιουργούνται σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη. Αυτή η συσχέτιση με τις υδρολογικές συνθήκες, ίσως εξηγεί γιατί τα χέλια απαντώνται στις ανατολικές ακτές της Ευρασίας, Αυστραλίας, Αφρικής και Β. Αμερικής, αλλά δεν απαντώνται στις δυτικές ακτές της Β. και Ν. Αμερικής, της Αυστραλίας και της Αφρικής. Αν και το ευρωπαϊκό χέλι *A. anguilla* απαντάται στην Ευρώπη και στη Μεσόγειο, εξαιτίας του ζεστού Ρεύματος του Κόλπου (*Gulf Stream*) και του Ρεύματος του Β. Ατλαντικού (*North Atlantic Drift*), δεν είναι γνωστό γιατί δεν υπάρχουν χέλια κατά μήκος των ακτών της Ν. Αμερικής, παρά την ύπαρξη του θερμού Ρεύματος της Βραζιλίας (*Brazil Current*) (Aoyama & Tsukamoto, 1997).



Εικόνα 2.2: Γεωγραφική εξάπλωση των διαφόρων ειδών του γένους *Anguilla* (Aoyama & Tsukamoto, 1997).

2.2.2. Μορφολογία

Το σώμα του ευρωπαϊκού χελιού (*Anguilla anguilla*) είναι επίμηκες και κυλινδρικό (Εικόνα 2.3.), αποτελείται από 115 (μέση τιμή) σπονδύλους, καλύπτεται από μικρά κυκλοειδή λέπια και έχει πολύ βλέννα. Τα κοιλιακά πτερύγια απουσιάζουν, ενώ το εδρικό και το ραχιαίο πτερύγιο ενώνονται σχηματίζοντας το

ουραίο. Η πλευρική γραμμή είναι έντονη. Το στόμα είναι τελικό, η κάτω γνάθος είναι λίγο μεγαλύτερη από την άνω και τα δόντια είναι μικρά και διατεταγμένα σε αρκετές σειρές στις γνάθους και στην υπερώα.



Εικόνα 2.3: Ευρωπαϊκό χέλι (*Anguilla anguilla*). Τα θωρακικά πτερύγια είναι μικρά, ενώ τα κοιλιακά απουσιάζουν. Το εδρικό και το ραχιαίο πτερυγίο ενώνονται σχηματίζοντας το ουραίο.

Η διάκριση ανάμεσα στα διάφορα είδη του γένους *Anguilla* είναι δύσκολη και κυρίως ανάμεσα στις ιχθυονύμφες, αφού αλλάζουν συνεχώς σχήμα σώματος και χρωματισμό (*pigmentation*) με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά των διαφόρων οντογενετικών σταδίων να μη συγκρίνονται. Σε γενικές γραμμές, τα είδη διαφέρουν κυρίως στον αριθμό των σπονδύλων (μέση τιμή: 115 ευρωπαϊκό, 108 αμερικάνικο) και των μυομερών (εύρος: 112-119 ευρωπαϊκό, 103-111 αμερικάνικο), στη μορφολογία των δοντιών και στο μήκος των ραχιαίων και εδρικών πτερυγίων (Tesch, 2003, McCleave, 2003).

Τα χέλια είναι άκρως ευρύαλα είδη που απαντώνται σε μεγάλο εύρος βιοτόπων: σε γλυκά, μεταβατικά ή θαλασσινά νερά, σε βαθιά ή σε ρηχά νερά, σε ανοιχτές ή κλειστές περιοχές, ενώ, μπορεί να μείνουν έξω από το νερό αρκετές ώρες. Παρουσιάζουν συνήθως νυκτόβια δραστηριότητα και μπορεί να βρεθούν σε σχισμές βράχων ή να σκάβουν λαγούμια σε μαλακά υποστρώματα. Στα περισσότερα παράκτια οικοσυστήματα, αποτελούν σημαντικό ποσοστό της ιχθυοβιομάζας και τροφή για πολλούς θηρευτές όπως είναι οι βίδρες, οι κορμοράνοι, οι ερωδιοί κ.τ.λ. Αποτελούν, έτσι, ένα βασικό κρίκο στη τροφική αλυσίδα, ενώ ως μεταναστευτικά είδη συμμετέχουν στη ροή οργανικού υλικού μεταξύ θαλασσινών και εσωτερικών νερών.



Εικόνα 2.3: Ευρωπαϊκό χέλι (*Anguilla anguilla*).

Το ευρωπαϊκό χέλι θεωρείται ότι γεννά στη Θάλασσα των Σαργασσών (δυτικός Ατλαντικός Ωκεανός), επειδή εκεί βρέθηκαν οι μικρότερες ιχθυονύμφες (Schmidt, 1922) (Εικόνα 2.4). Ωστόσο, αυτή η υπόθεση δεν έχει ποτέ επιβεβαιωθεί, αφού μέχρι σήμερα, δεν έχουν βρεθεί ούτε γεννητικά ώριμα άτομα αλλά ούτε και αβγά. Στην ίδια περιοχή πιστεύεται ότι αναπαράγεται και το αμερικάνικο χέλι *A. rostrata* (Schmidt, 1922). Το ιαπωνικό χέλι *A. japonica* αναπαράγεται στον δυτικό Ειρηνικό Ωκεανό, κοντά στο Ρεύμα του Βόρειου Ισημερινού (*North Equatorial Current*) (Tsukamoto, 1992, Tsukamoto *et al.*, 2003). Τα άλλα 12 είδη του γένους *Anguilla* δεν είναι γνωστό που αναπαράγονται.

2.3. Χημική Σύσταση Ιχθύων

2.3.1. Πρωτεΐνες

Ο μυϊκός ιστός των ιχθύων περιέχει μεγάλη περιεκτικότητα πρωτεϊνών καθώς και άλλα μόρια που περιέχουν άζωτο που προσδιορίζονται μέσω του μη πρωτεϊνικού αζώτου (Non Protein Nitrogen, NPN). Οι πρωτεΐνες της σάρκας των ιχθύων είναι υψηλής βιολογικής αξίας και περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα σε ισορροπημένη αναλογία, ενώ εξάλλου παρουσιάζουν εξαιρετική ευπεπτότητα. Η περιεκτικότητα σε πρωτεϊνικό άζωτο του μυϊκού ιστού των ιχθύων κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3% (Belitz *et al.*, 2006). Οι μυϊκές πρωτεΐνες διακρίνονται σε τρεις βασικές ομάδες: τις σαρκοπλασμικές (20-30% του συνόλου των πρωτεϊνών: σφαρίνες όπως για παράδειγμα η μυοσφαρίνη, ένζυμα, νουκλεοπρωτεΐνες, μικροαλβουμίνες), τις μυοϊνικές ή συστολικές (70-80%: ακτίνη, μυοσίνη, τροπομυοσίνη, τροπονίνες, ακτινίνες κ.α.) και τις πρωτεΐνες του στρώματος ή του συνδετικού ιστού (κολλαγόνο και ελαστίνη). Συγκριτικά με τα εδάσματα μυοσυστήματα χερσαίων ζώων, οι μύες των

τελεόστεων ιχθύων περιέχουν μικρότερο ποσοστό πρωτεϊνών συνδετικού ιστού (2-3% έναντι του ποσοστού 16-28%) (Haard, 1995).

2.3.2. Άλλες αζωτούχες ενώσεις

Η περιεκτικότητα των ιχθύων σε μη πρωτεϊνικό άζωτο είναι 9-18% της ολικής περιεκτικότητας σε άζωτο στα τελεόστερα και 33-38% στα ελασμοβράγχια (Belitz *et al.*, 2006). Οι πτητικές αζωτούχες βάσεις αντιπροσωπεύονται κυρίως από την αμμωνία (NH₃), τη διμεθυλαμίνη (dimethylamine, DMA) και την τριμεθυλαμίνη (trimethylamine, TMA). Η διμεθυλαμίνη και η τριμεθυλαμίνη αποτελούν προϊόντα διάσπασης του οξειδίου της τριμεθυλαμίνης (trimethylamine oxide, TMAO), ενός βασικού συστατικού των ιχθύων με ωσμωρυθμιστική δράση. Η διμεθυλαμίνη παράγεται κυρίως από ενδογενή ένζυμα και η τριμεθυλαμίνη από βακτηριακά ένζυμα. Οι θαλασσινοί ιχθύες περιέχουν 40-120 mg/kg TMAO, ενώ η περιεκτικότητα στους ιχθύες του γλυκού νερού δεν ξεπερνά τα 5 mg/kg (Belitz *et al.*, 2006). Στις πτητικές αζωτούχες βάσεις αποδίδεται η χαρακτηριστική οσμή και γεύση των ιχθύων οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποιότητάς τους. Οι συνολικές πτητικές αζωτούχες βάσεις (total volatile bases, TVB) και το άζωτο που περιέχεται σε αυτές (total volatile basic nitrogen, TVB-N) αντιπροσωπεύουν το περιεχόμενο σε αμμωνία, διμεθυλαμίνη, τριμεθυλαμίνη, οξύδιο της τριμεθυλαμίνης και άλλα βασικά αζωτούχα συστατικά, όπως την ουρία, την κρεατίνη, τις βεταΐνες, την αμμωνία και τα ελεύθερα αμινοξέα (Pérez-Villarreal, 2008). Η ιστιδίνη είναι το κυρίαρχο ελεύθερο αμινοξύ σε ιχθύες της οικογένειας των σκομβροειδών, όπως ο τόνος και το σκουμπρί. Η περιεκτικότητα της σάρκας σε ιστιδίνη είναι 0,6-1,3% σε υγρή βάση και μπορεί να υπερβεί και το 2%. Η βακτηριακή αλλοίωση της σάρκας ιχθύων όπως τα σκομβροειδή οδηγεί στην μετατροπή της ιστιδίνης σε ισταμίνη, λόγω της μεταβολικής δραστηριότητας μικροοργανισμών όπως *Photobacterium phosphoreum*, *Morganella morganii* κ.ά. (Emborg *et al.*, 2005).

2.3.3. Υδατάνθρακες

Οι ιχθύες έχουν πολύ μικρή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες (0,04-1,69%), δεδομένου ότι ο οργανισμός τους επενδύει ενεργειακά κυρίως στα λίπη και κατά δεύτερο λόγο στις πρωτεΐνες. Η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες ποικίλει ανάλογα

με τη διατροφή, την ηλικία και το είδος του ιχθύος. Ο κυριότερος υδατάνθρακας που απαντάται στους ιχθύες είναι το γλυκογόνο (Παπαναστασίου, 1990).

2.3.4. Λίπη

Η περιεκτικότητα των ιχθύων σε λίπη παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις, ανάλογα με το είδος και την εποχή του έτους. Οι λιπαρές ουσίες στη σάρκα των θαλάσσιων τελεόστεων ιχθύων ανέρχονται σε ποσοστό 0,1-25%. Τα λίπη των ιχθύων αποτελούνται από εστέρες λιπαρών οξέων (γλυκερίδια), εστέρες της στερόλης και από ένα ασαπωνοποίητο τμήμα, αποτελούμενο από ανώτερες αλκοόλες, στερόλες, αιθέρες και υδρογονάνθρακες. Στη σύνθεση των λιπών των ιχθύων, απαντάται ένας μεγάλος αριθμός λιπαρών οξέων (Παπαναστασίου, 1990). Οι ιχθύες αποτελούν σημαντική πηγή ω-3-πολυενικών οξέων. Η κατανάλωσή τους έχει συσχετισθεί με τον μειωμένο κίνδυνο καρδιαγγειακών ασθενειών. Αρχικές έρευνες διαπίστωσαν τα ευεργετικά αποτελέσματα στο καρδιαγγειακό σύστημα των Εσκιμών Ινουί στη Γροιλανδία, που τα ψάρια, όπως μουρούνες και μπακαλιάρη, αποτελούν την κύρια τροφή τους (Bang and Dyerberg, 1980). Παρά την υψηλή περιεκτικότητα σε ακόρεστα λιπαρά οξέα, το επίπεδο των ενεργών τοκοφερολών είναι σχετικά χαμηλό. Η οξείδωση των λιπών των ιχθύων κατά την αποθήκευσή τους συντελεί στην αλλοίωσή τους (Belitz *et al.*, 2006).

Ειδικά για τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, από την 1^η Ιουλίου 2007 έχει θεσπιστεί Κανονισμός της ΕΕ (1924/2006) σχετικά με ισχυρισμούς υγείας και διατροφής που γίνονται στα τρόφιμα, ο οποίος καθορίζει τα κριτήρια που θα πρέπει να πληροί ένα προϊόν προκειμένου να φέρει έναν ισχυρισμό υγείας ή διατροφής. Ο εν λόγω κανονισμός υπέστη τροποποίηση την 9^η Φεβρουαρίου 2010 (116/2010) που ορίζει αναλυτικά τα ακόλουθα:

«Στη γνώμη της που εκδόθηκε στις 6 Ιουλίου 2005, η Αρχή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι τα ω-3 λιπαρά οξέα, τα μονοακόρεστα λιπαρά, τα πολυακόρεστα λιπαρά και τα ακόρεστα λιπαρά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή. Ορισμένα ακόρεστα λιπαρά, όπως τα ω-3 λιπαρά οξέα, ορισμένες φορές καταναλώνονται σε επίπεδο χαμηλότερο από το συνιστώμενο. Συνεπώς, οι

ισχυρισμοί διατροφής που προσδιορίζουν τα τρόφιμα τα οποία είναι πηγή των εν λόγω θρεπτικών ουσιών ή τα οποία είναι πλούσια στις εν λόγω θρεπτικές ουσίες μπορούν να βοηθήσουν τους καταναλωτές να κάνουν πιο υγιεινές επιλογές. Ωστόσο, αυτοί οι ισχυρισμοί διατροφής δεν συμπεριλήφθηκαν στον κατάλογο που υπάρχει στο παράρτημα του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1924/2006, όπως εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο, καθώς οι όροι χρήσης τους δεν μπορούσαν ακόμη να καθοριστούν σαφώς. Δεδομένου ότι αυτοί οι όροι χρήσης έχουν αποσαφηνιστεί, λαμβανομένης επίσης υπόψη μιας γνωμοδότησης την οποία εξέδωσε η Αρχή στις 30 Ιουνίου 2009 σχετικά με την αναγραφή των προσλαμβανόμενων ποσοτήτων αναφοράς για τα ω-3 λιπαρά οξέα και τα ω-6 λιπαρά οξέα, συνιστάται, κατά συνέπεια, να συμπεριληφθούν οι σχετικοί ισχυρισμοί στον κατάλογο. Όσον αφορά τους ισχυρισμούς «Πηγή ω-3 λιπαρών οξέων» και «Υψηλή περιεκτικότητα σε ω-3 λιπαρά οξέα», οι όροι χρήσης πρέπει να κάνουν τη διάκριση μεταξύ των δύο ειδών ω-3 λιπαρών οξέων, τα οποία έχουν διαφορετικούς φυσιολογικούς ρόλους και για τα οποία συνιστώνται διαφορετικά επίπεδα κατανάλωσης. Περαιτέρω, οι εν λόγω όροι χρήσης πρέπει να ορίζουν την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα ανά 100 g και 100 kcal προϊόντος, ώστε να εξασφαλιστεί ότι μόνον τρόφιμα που παρέχουν σημαντική ποσότητα ω-3 λιπαρών οξέων στο επίπεδο κατανάλωσής τους μπορούν να φέρουν τους ισχυρισμούς αυτούς. Όσον αφορά τους ισχυρισμούς «Υψηλή περιεκτικότητα σε μονοακόρεστα λιπαρά», «Υψηλή περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά» και «Υψηλή περιεκτικότητα σε ακόρεστα λιπαρά», οι όροι χρήσης πρέπει να απαιτούν μια ελάχιστη περιεκτικότητα ακόρεστων λιπαρών στα τρόφιμα και, συνεπώς, να εξασφαλίζουν ότι η αναφερόμενη ποσότητα ανταποκρίνεται πάντα σε σημαντική ποσότητα στο επίπεδο κατανάλωσής τους που μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας ισορροπημένης διατροφής».

2.3.5. Ανόργανα συστατικά

Η κατανάλωση ιχθύων προμηθεύει τον ανθρώπινο οργανισμό με ουσιώδη μικροστοιχεία. Η σάρκα τους, σε σύγκριση με εκείνη των χερσαίων ζώων, περιέχει εκατοντάπλασια ποσότητα ιωδίου, πενταπλάσια έως δεκαπλάσια ποσότητα φθορίου, πολύ μεγαλύτερη ποσότητα σεληνίου, αντίστοιχη ποσότητα χαλκού και μικρότερη σιδήρου. Επιπλέον, περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα ασβεστίου σε σύγκριση με το

κρέας των θηλαστικών και αρκετή ποσότητα φωσφόρου (Lall, 1995). Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε ανόργανα στοιχεία του βρώσιμου τμήματος των ιχθύων.

2.3.6. Βιταμίνες

Οι ιχθύες περιέχουν αρκετές ποσότητες βιταμινών, κυρίως λιποδιαλυτών. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε βιταμίνες του βρώσιμου τμήματος των ιχθύων. Το λίπος των ιχθύων αποτελεί σημαντική πηγή των λιποδιαλυτών βιταμινών Α και D. Σε σημαντικές περιεκτικότητες απαντώνται εξάλλου και οι βιταμίνες Ε (τοκοφερόλη) και Κ καθώς επίσης και οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες (Belitz *et al.*, 2006).

Πίνακας 2.1. Περιεκτικότητα σε ανόργανα στοιχεία του βρώσιμου* τμήματος των ιχθύων

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

* Ως βρώσιμο τμήμα των ιχθύων νοείται το ελεύθερο δέρματος και οστών κρέας⁽¹⁾ για ιχθύες με μέση ή υψηλή λιποπεριεκτικότητα.

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι συνήθεις τιμές που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία για τα σύσταση του ωμού χελιού.

Πίνακας 2.2: Συνήθεις βιβλιογραφικές τιμές για τη σύσταση του ωμού χελιού (USDA, 1997).

Eel, Mixed species, raw
Anguilla spp.

Nutrients and units	Amount in 100 grams, edible portion			Amount in edible portion of common measures of food		Amount in edible portion of 1 pound of food as purchased
	Mean	Standard error	Number of samples	Approximate measure and weight: 3 oz = 85 g 1 fillet ¹ = 204 g		Refuse: 0
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
Proximate:						
Water..... g	68.26		12	58.02	139.25	309.62
Food energy..... { kcal	184			156	375	834
..... { kJ	770			654	1,570	3,491
Protein (N X6.25)..... g	18.44		12	15.68	37.63	83.66
Total lipid (fat)..... g	11.66	0.885	14	9.91	23.79	52.90
Carbohydrate, total..... g	0.00			0.00	0.00	0.00
Crude fiber..... g	0.00			0.00	0.00	0.00
Ash..... g	1.41		11	1.20	2.87	6.38
Minerals:						
Calcium..... mg	20		1	17	41	91
Iron..... mg	0.50		1	0.43	1.02	2.27
Magnesium..... mg						
Phosphorus..... mg	216		2	183	440	979
Potassium..... mg	272		5	232	556	1,236
Sodium..... mg	51		4	43	104	231
Zinc..... mg	1.62	0.076	40	1.38	3.30	7.34
Copper..... mg	0.023	0.002	30	0.020	0.047	0.104
Manganese..... mg	0.035			0.030	0.071	0.159
Vitamins:						
Ascorbic acid..... mg						
Thiamin..... mg	0.150	0.016	4	0.128	0.306	0.680
Riboflavin..... mg	0.040		1	0.034	0.082	0.181
Niacin..... mg	3.500		1	2.975	7.140	15.876
Pantothenic acid..... mg	0.240		1	0.204	0.490	1.089
Vitamin B ₆ mg	0.067	0.026	10	0.057	0.137	0.304
Folic acid..... mcg						
Vitamin B ₁₂ mcg	3.000		1	2.550	6.120	13.608
Vitamin A..... { RE	1,043			886	2,127	4,729
..... { IU	3,475	1,525.000	2	2,954	7,089	15,763
Lipids:						
Fatty acids:						
Saturated, total..... g	2.358			2.004	4.810	10.696
4:0..... g						
6:0..... g						
8:0..... g						
10:0..... g						
12:0..... g						
14:0..... g	0.580		2	0.493	1.183	2.631
16:0..... g	1.585		2	1.347	3.233	7.190
18:0..... g	0.191		2	0.162	0.390	0.866
Monounsaturated, total..... g	7.190			6.112	14.668	32.614
16:1..... g	1.255		2	1.067	2.560	5.693
18:1..... g	2.772		2	2.356	5.655	12.574
20:1..... g	3.000		1	2.550	6.120	13.608
22:1..... g						
Polyunsaturated, total..... g	0.947			0.805	1.932	4.296
18:2..... g	0.196		2	0.167	0.400	0.889
18:3..... g	0.432		1	0.367	0.881	1.960
18:4..... g						
20:4..... g	0.095		2	0.081	0.194	0.431
20:5..... g	0.084		1	0.071	0.171	0.381
22:5..... g	0.074		1	0.063	0.151	0.336
22:6..... g	0.063		2	0.054	0.129	0.286
Cholesterol..... mg	126		2	107	257	571
Phytosterols..... mg						
Amino acids:						
Tryptophan..... g	0.207			0.176	0.422	0.939
Threonine..... g	0.809			0.688	1.650	3.670
Isoleucine..... g	0.850			0.723	1.734	3.856
Leucine..... g	1.499			1.274	3.058	6.799
Lysine..... g	1.694			1.440	3.456	7.684
Methionine..... g	0.546			0.464	1.114	2.477
Cystine..... g	0.198			0.168	0.404	0.898
Phenylalanine..... g	0.720			0.612	1.469	3.266
Tyrosine..... g	0.623			0.530	1.271	2.826
Valine..... g	0.950			0.808	1.938	4.309
Arginine..... g	1.104			0.938	2.252	5.008
Histidine..... g	0.543			0.462	1.108	2.463
Alanine..... g	1.115			0.948	2.275	5.058
Aspartic acid..... g	1.889			1.606	3.854	8.569
Glutamic acid..... g	2.753			2.340	5.616	12.488
Glycine..... g	0.885			0.752	1.805	4.014
Proline..... g	0.652			0.554	1.330	2.957
Serine..... g	0.753			0.640	1.536	3.416

¹Yield from 2 lb whole fish.

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι συνήθειες βιβλιογραφικές τιμές για τη σύσταση του μαγειρεμένου χελιού.

Πίνακας 2.3: Συνήθειες βιβλιογραφικές τιμές για τη σύσταση του ωμού χελιού (USDA, 1997).

Nutrients and units	Amount in 100 grams, edible portion			Amount in edible portion of common measures of food		Amount in edible portion of 1 pound of food as purchased
	Mean	Standard error	Number of samples	Approximate measure and weight:		Refuse: 0
				3 oz = 85 g	1 fillet ¹ = 159 g	
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
Proximate:						
Water.....	g	59.31		50.41	94.30	269.01
Food energy.....	{ kcal kJ	236 987		200 839	375 1,569	1,070 4,476
Protein (N X6.25).....	g	23.65		20.10	37.60	107.26
Total lipid (fat).....	g	14.95		12.71	23.78	67.83
Carbohydrate, total.....	g	0.00		0.00	0.00	0.00
Crude fiber.....	g	0.00		0.00	0.00	0.00
Ash.....	g	1.80		1.53	2.87	8.18
Minerals:						
Calcium.....	mg	26		22	41	116
Iron.....	mg	0.64		0.54	1.02	2.91
Magnesium.....	mg					
Phosphorus.....	mg	277		235	440	1,255
Potassium.....	mg	349		297	555	1,584
Sodium.....	mg	65		55	104	296
Zinc.....	mg	2.08		1.76	3.30	9.42
Copper.....	mg	0.029		0.025	0.046	0.132
Manganese.....	mg					
Vitamins:						
Ascorbic acid.....	mg					
Thiamin.....	mg	0.183		0.156	0.291	0.830
Riboflavin.....	mg	0.051		0.043	0.081	0.231
Niacin.....	mg	4.487		3.814	7.134	20.353
Pantothenic acid.....	mg					
Vitamin B ₆	mg	0.077		0.065	0.122	0.349
Folic acid.....	mcg					
Vitamin B ₁₂	mcg	2.885		2.452	4.587	13.086
Vitamin A.....	{ RE IU	1,136 3,787		966 3,219	1,806 6,021	5,153 17,177
Lipids:						
Fatty acids:						
Saturated, total.....	g	3.023		2.570	4.807	13.712
4:0.....	g					
6:0.....	g					
8:0.....	g					
10:0.....	g					
12:0.....	g					
14:0.....	g	0.740		0.629	1.177	3.357
16:0.....	g	2.032		1.727	3.231	9.217
18:0.....	g	0.245		0.208	0.390	1.111
Monounsaturated, total.....	g	9.218		7.835	14.657	41.813
16:1.....	g	1.609		1.368	2.558	7.298
18:1.....	g	3.554		3.021	5.651	16.121
20:1.....	g	3.846		3.269	6.115	17.445
22:1.....	g					
Polyunsaturated, total.....	g	1.214		1.032	1.930	5.507
18:2.....	g	0.251		0.213	0.399	1.139
18:3.....	g	0.554		0.471	0.881	2.513
18:4.....	g					
20:4.....	g	0.122		0.104	0.194	0.553
20:5.....	g	0.108		0.092	0.172	0.490
22:5.....	g	0.095		0.081	0.151	0.431
22:6.....	g	0.081		0.069	0.129	0.367
Cholesterol.....	mg	161		137	257	732
Phytosterols.....	mg					
Amino acids:						
Tryptophan.....	g	0.265		0.225	0.421	1.202
Threonine.....	g	1.037		0.881	1.649	4.704
Isoleucine.....	g	1.090		0.927	1.733	4.944
Leucine.....	g	1.922		1.634	3.056	8.718
Lysine.....	g	2.171		1.845	3.452	9.848
Methionine.....	g	0.700		0.595	1.113	3.175
Cystine.....	g	0.253		0.215	0.402	1.148
Phenylalanine.....	g	0.923		0.785	1.468	4.187
Tyrosine.....	g	0.798		0.678	1.269	3.620
Valine.....	g	1.218		1.035	1.937	5.525
Arginine.....	g	1.415		1.203	2.250	6.418
Histidine.....	g	0.696		0.592	1.107	3.157
Alanine.....	g	1.430		1.216	2.274	6.486
Aspartic acid.....	g	2.421		2.058	3.849	10.982
Glutamic acid.....	g	3.530		3.001	5.613	16.012
Glycine.....	g	1.135		0.965	1.805	5.148
Proline.....	g	0.836		0.711	1.329	3.792
Serine.....	g	0.965		0.820	1.534	4.377

¹ Yield from raw fillet.

2.4. Μεταθανάτιες αλλαγές των ιχθύων

Μετά τη θανάτωση του ιχθύος, συνέπεια της παύσης λειτουργίας της καρδιάς και του ελέγχου του σώματος από τον εγκέφαλο, η τροφοδοσία των ιστών με οξυγόνο καθίσταται προβληματική. Ως αποτέλεσμα αυτού είναι η γλυκόλυση μέσα στους μυϊκούς ιστούς και η πτώση της τιμής του pH τους. Όταν η συγκέντρωση της ATP μειωθεί κατά 50%, η ακτινομυοσίνη (βασική πρωτεΐνη των μυϊκών ινών), αρχίζει να χάνει την ελαστικότητά της και συστέλλεται, ενώ ταυτόχρονα χάνει και ένα μέρος από το περιεχόμενο νερό της. Η διάρκεια και η έκταση της νεκρικής ακαμψίας εξαρτάται από τον τύπο και τη φυσιολογική κατάσταση του ιχθύος. Η διάρκεια αυτή είναι κανονικά μικρότερη στους χονδριχθύες και μεγαλύτερη στους τελεόστερους ιχθύες. Η νεκρική ακαμψία εξάλλου εμφανίζεται ταχύτερα στους ιχθύες με σκουρόχρωμη σάρκα (σκουμπρί, τόνος, σαρδέλα κλπ.) από ότι στους ιχθύες με ανοιχτόχρωμη σάρκα. Ο τρόπος μεταχείρισης των ιχθύων, στα οποία δεν έχει ακόμα εκδηλωθεί η νεκρική ακαμψία (pro-rigor) δεν επηρεάζει το χρόνο έναρξης του φαινομένου αυτού. Η θερμοκρασία αντιπροσωπεύει το βασικότερο παράγοντα που επιδρά στη νεκρική ακαμψία, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να οδηγούν σε ταχύτερη εξέλιξη του φαινομένου. Η νεκρική ακαμψία έχει μεγάλη σημασία για την τεχνολογία και τον ποιοτικό έλεγχο των αλιευμάτων. Διακρίνονται δύο βασικά στάδια, από τη στιγμή της σύλληψης (θανάτωση) του αλιεύματος, μέχρι το τέλος της νεκρικής ακαμψίας. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη θανάτωση του αλιεύματος μέχρι την έναρξη της νεκρικής ακαμψίας. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την έναρξη της νεκρικής ακαμψίας μέχρι το τέλος της. Τόσο κατά το πρώτο όσο και κατά το δεύτερο στάδιο, η ανάπτυξη των μικροοργανισμών επιβραδύνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα τα αλιεύματα να διατηρούν τα χαρακτηριστικά της απόλυτης φρεσκότητας. Είναι συνεπώς συμφέρον να επιμηκύνεται όσο το δυνατό η διάρκεια των δύο αυτών σταδίων. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων αλίευσης, ώστε να περιορίζεται στο μέγιστο δυνατό η μυϊκή δραστηριότητα, η ασφυξία και η αγωνία του αλιεύματος πριν από τη θανάτωσή του, φθάνοντας στη θανάτωση με υψηλά αποθέματα γλυκογόνου και ATP, αλλά και η άμεση ψύξη του αλιεύματος πάνω στα αλιευτικά σκάφη (Παπαναστασίου, 1990).

2.5. Αλλοιώσεις ιχθύων

Προκειμένου να επεκταθεί ο χρόνος ζωής των προϊόντων ιχθύων είναι σημαντικό να εκτιμήσει κανείς τις αιτίες των αλλοιώσεων που οδηγούν στην οργανοληπτική απόρριψή τους. Οι αλλοιώσεις των ιχθύων πραγματοποιούνται κυρίως λόγω της μικροβιολογικής ανάπτυξης. Οι νωποί ιχθύες είναι εξαιρετικά ευαλλοίωτα προϊόντα σε σύγκριση με άλλα προϊόντα τροφίμων. Ανάλογα με το είδος, το χρόνο και τρόπο συντήρησης παρατηρούνται παράλληλα και χημικές αλλοιώσεις που επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των ιχθύων (Gram *et al.*, 1996).

2.5.1. Μικροβιακή αλλοίωση ιχθύων

Οι νωποί ιχθύες περιέχουν πολύ υψηλό μικροβιακό φορτίο, που αποδίδεται στην αλλοίωσή τους και έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής. Η φυσική μικροχλωρίδα των νωπών τροφίμων αποτελείται από ποικιλία μικροοργανισμών. Ωστόσο, μόνο ένα μέρος από τους μικροοργανισμούς αυτούς μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλους πληθυσμούς ικανούς να συμβάλλουν στην αλλοίωση. Ο όρος «ειδικοί αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί» (specific spoilage organisms-SSO) χαρακτηρίζει το είδος της συνολικής μικροχλωρίδας που είναι υπεύθυνο για την αλλοίωση του κάθε είδους.

Έχει τεκμηριωθεί ότι οι *Pseudomonas* sp. έχουν σημαντικό ρόλο ως ειδικοί αλλοιογόνοι οργανισμοί για την περίπτωση της Μεσογειακής γόπας (*Boops boops*) και της τσιπούρας (*Sparus aurata*) συντηρημένων σε αέρα (Koutsoumanis *et al.*, 1999b, 2000). Το *Shewanella putrefaciens* έχει αναφερθεί επίσης ότι συνεισφέρει σημαντικά στην αλλοίωση νωπών ιχθυηρών συντηρημένων σε αέρα, ενώ επίσης έχει διαπιστωθεί ότι ανάγει το οξείδιο της τριμεθυλαμίνης (TMAO) παράγοντας τριμεθυλαμίνη που οδηγεί σε οργανοληπτική απόρριψη του προϊόντος (Gram *et al.*, 1996). Ωστόσο έχει διαπιστωθεί ότι πληθυσμοί του *Shewanella putrefaciens* μικρότεροι από 10^8 /g δεν είναι ικανοί να προκαλέσουν αλλοίωση. Το *Photobacterium phosphoreum* παράγει σημαντική ποσότητα τριμεθυλαμίνης (10-100 φορές περισσότερο ανά κύτταρο από το *Shewanella putrefaciens*) συνεισφέροντας στην αλλοίωση του μπακαλιάρου συντηρημένου σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Dalgaard

et al., 1993). Ωστόσο, κατά τη μεταβολική δραστηριότητα του μικροοργανισμού αυτού δεν προκύπτουν δύσοσμα συστατικά όπως από τη δράση του *Shewanella putrefaciens*, δεν παράγονται πτητικές θειούχες ουσίες, ενώ δεν έχει συσχετιστεί με την αλλοίωση ιχθυηρών της Μεσογείου, όπως η τσιπούρα, γεγονός που αποδίδεται στα πολύ χαμηλά επίπεδα της τριμεθυλαμίνης κατά τη συντήρηση των προϊόντων αυτών (Drosinos *et al.*, 1997).

Κατά τη συντήρηση ιχθυηρών σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες, η σύσταση της χλωρίδας μεταβάλλεται σημαντικά. Η ανάπτυξη των *Pseudomonas* sp. παρεμποδίζεται και η κυρίαρχη αλλοιογόνος μικροχλωρίδα στο τέλος της διάρκειας ζωής αποτελείται κυρίως από Gram θετικά βακτήρια, όπως γαλακτικά βακτήρια και *Brochothrix thermosphacta*. Η ανάπτυξη των βακτηρίων αυτών σε διάφορα είδη ιχθυηρών συσκευασμένα σε ατμόσφαιρα CO₂ ή υπό κενό έχει διαπιστωθεί ότι συσχετίζεται άμεσα με την αλλοίωσή τους (Koutsoumanis *et al.*, 1997, Tsironi *et al.*, 2008).

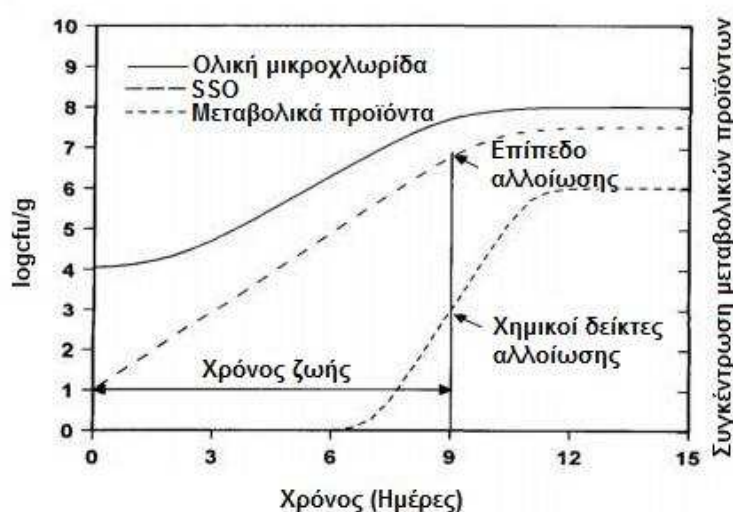
Η αναγνώριση των ειδικών αλλοιογόνων μικροοργανισμών επιτρέπει τη χρήση αντικειμενικών μεθόδων για τον προσδιορισμό της ποιότητας και την εκτίμηση του χρόνου ζωής των προϊόντων. Ο ακριβής μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο μία ομάδα μικροοργανισμών κυριαρχεί έναντι άλλων δεν είναι ακόμα απόλυτα διασαφηνισμένος. Εξάλλου, είναι πλέον αποδεκτό ότι ακόμα και μικρές μεταβολές στην επεξεργασία και τη συσκευασία των προϊόντων ιχθύων μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές της αλλοιογόνου μικροχλωρίδας. Η αλλοίωση μπορεί να εξελιχθεί διαφορετικά, ακόμα και σε προϊόντα ίδιου τύπου, ανάλογα με τη γεωγραφική προέλευσή τους και άλλες μη προσδιορίσιμες παραμέτρους που επιδρούν στη μικροβιακή ανάπτυξη.

Κάθε προϊόν είναι γνωστό ότι παρουσιάζει ιδιαιτερότητες ως προς τη μικροβιακή ανάπτυξη. Συγκεκριμένα για τα προϊόντα ιχθύων, τυχόν διαφοροποιήσεις οφείλονται στην επιμόλυνση του οργανισμού από το περιβάλλον ή κατά την επεξεργασία του και στις συνθήκες ανάπτυξης των μικροοργανισμών, είτε ενδογενείς ή εξωτερικές (θερμοκρασία, a_w , pH, μικροβιολογικές αλληλεπιδράσεις κλπ.). Όσον αφορά τις συνθήκες ειδικότερα, τόσο η υψηλή υγρασία όσο και το υψηλό σχετικά pH της σάρκας και η παρουσία μεγάλης ποσότητας μη πρωτεϊνικού αζώτου και οξειδίου της

τριμεθυλαμίνης, ευνοούν την ταχύτατη μικροβιολογική ανάπτυξη και συνεπώς την αλλοίωση των ιχθύων. Η ανάπτυξη και η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών στα ιχθυηρά γίνεται εύκολα αντιληπτή μέσω των μεταβολών των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών, όπως περιγράφονται στον Πίνακα 2.4. Στο Σχήμα 2.1 παριστάνεται γραφικά η διαδικασία αλλοίωσης των ιχθύων.

Πίνακας 2.4: Μικροβιολογική αλλοίωση ιχθύων (Gram *et al.*, 1996).

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



Σχήμα 2.1: Γενική περιγραφή της αλλοίωσης των ιχθυηρών.

Η ποικιλόθερμη φύση των ιχθύων επιτρέπει την ανάπτυξη ενός μεγάλου εύρους μικροοργανισμών. Η ενδογενής χλωρίδα των ιχθυηρών στα εύκρατα κλίματα αποτελείται κυρίως από Gram-αρνητικούς βακίλους, που ανήκουν κατά κύριο λόγο στα γένη *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Shewanella putrefaciens*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Vibrio* και *Aeromonas*. Ωστόσο Gram-θετικοί οργανισμοί όπως οι *Bacillus*, *Micrococcus*, *Clostridium*, *Lactobacillus* και

Corynebacterium μπορούν να ανιχνευθούν σε διάφορες αναλογίες (Gram *et al.*, 1996). Η μικροχλωρίδα στους ιχθύες τροπικών υδάτων εμφανίζει συχνά μεγαλύτερο αριθμό Gram-θετικών οργανισμών και εντεροβακτηρίων, αλλά σε γενικές γραμμές είναι όμοια με την αντίστοιχη των ιχθύων που αναπτύσσονται σε εύκρατα κλίματα (Liston, 1980). Στον Πίνακα 2.5 συνοψίζονται οι ειδικοί αλλοιογόνοι οργανισμοί που έχουν συσχετιστεί με την αλλοίωση των ιχθυηρών κατά τη συντήρηση παρουσία αέρα, υπό κενό και σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

Πίνακας 2.5: Ειδικοί αλλοιογόνοι οργανισμοί νωπών ιχθυηρών κατά τη συντήρηση σε θερμοκρασίες ψύξης.

Ατμόσφαιρα	Εύκρατη ζώνη	Τροπική ζώνη
Αέρας	<i>Shewanella putrefaciens</i> ¹	<i>Shewanella putrefaciens</i> ¹⁰
	<i>Pseudomonas sp.</i> ²	<i>Pseudomonas sp.</i> ^{10,11}
Κενό	<i>Shewanella putrefaciens</i> ³	Γαλακτικά βακτήρια ¹²
	<i>Photobacterium phosphoreum</i> ⁴ Γαλακτικά βακτήρια ^{5,6} <i>Brochothrix thermosphacta</i> ^{5,7} Άλλοι Gram-θετικοί ⁸	Άλλοι Gram-θετικοί ¹²
CO ₂	<i>Photobacterium phosphoreum</i> ⁹	Γαλακτικά βακτήρια ¹³
	Γαλακτικά βακτήρια ⁵	Άλλοι Gram-θετικοί
	<i>Brochothrix thermosphacta</i> ⁵	TMAO-ανάγοντα βακτήρια ¹⁴

¹ Levin (1968), Herbert *et al.* (1971), Jorgensen *et al.* (1989), ² Koutsoumanis *et al.* (1999a,b, 2000), ³ Dalgaard *et al.* (1993), Jorgensen *et al.* (1988), ⁴ Dalgaard *et al.* (1993), ⁵ Koutsoumanis *et al.* (1998), ⁶ Tsironi *et al.* (2008), ⁷ Drosinos *et al.*, 1996, ⁸ Hussain *et al.* (1976), ⁹ Dalgaard *et al.* (1993, 1995), ¹⁰ Gillespie *et al.* (1975), Gram (1992), ¹¹ Gram *et al.* (1990), ¹² Pedersen *et al.* (1995), ¹³ Banks *et al.* (1980), ¹⁴ Reddy *et al.* (1995).

2.5.2. Χημικοί δείκτες μικροβιακής αλλοίωσης ιχθύων. Προϊόντα μικροβιακού μεταβολισμού

Ο προσδιορισμός των ειδικών αλλοιογόνων μικροοργανισμών σε ένα προϊόν ιχθύος είναι ιδιαίτερα δύσκολος και περιλαμβάνει εκτεταμένους οργανοληπτικούς, μικροβιολογικούς και χημικούς ελέγχους. Γενικά, η ποιοτική υποβάθμιση των ιχθύων προσδιορίζεται από την απώλεια της φρεσκότητας στη γεύση. Μετά από ένα χρονικό διάστημα όπου η οσμή και η γεύση περιγράφεται ως ουδέτερη, παρατηρούνται οι

πρώτες ενδείξεις αλλοιωμένης οσμής και γεύσης, η αυξανόμενη ένταση των οποίων οδηγεί στην οργανοληπτική απόρριψη του προϊόντος. Τα μεταβολικά προϊόντα των μικροοργανισμών μπορεί να αποτελέσουν τους χημικούς δείκτες αλλοίωσης των προϊόντων ιχθύων (Shewan, 1962).

Το οξειδίο της τριμεθυλαμίνης (TMAO) περιέχεται στα περισσότερα θαλασσινά είδη. Μετά το θάνατο του ιχθύος, τα βακτήρια χρησιμοποιούν το οξειδίο της τριμεθυλαμίνης για την παραγωγή τριμεθυλαμίνης, που είναι πτητική ένωση με πολύ χαμηλό όριο οσμής. Η τριμεθυλαμίνη σχετίζεται με τη χαρακτηριστική οσμή της αλλοίωσης του ιχθύος, έτσι ενώ οι φρέσκοι ιχθύες περιέχουν πολύ χαμηλά επίπεδα τριμεθυλαμίνης (< 1 mg/100g), η τιμή αυτή αυξάνει προοδευτικά κατά την εξέλιξη της αλλοίωσης. Στα προϊόντα ιχθύων που συντηρούνται σε αέρα όπου οι *Pseudomonas spp.* είναι οι υπεύθυνοι για την αλλοίωση μικροοργανισμοί, παράγεται μικρή ή αμελητέα ποσότητα τριμεθυλαμίνης (Gram *et al.*, 1996). Η συγκέντρωση της τριμεθυλαμίνης στη σάρκα του ιχθύος υπολογίζεται μέσω της προσδιοριζόμενης περιεκτικότητας του αζώτου της τριμεθυλαμίνης (TMA-N). Το τέλος της διάρκειας ζωής των ιχθύων συμπίπτει με τιμές TMA-N της τάξης των 5 mg/100g, ανάλογα με το είδος του ιχθύος και τη μέθοδο διατήρησής του (Gram *et al.*, 1996). Ωστόσο θεωρείται ότι η περιεκτικότητα τριμεθυλαμίνης δεν αποτελεί βασική παράμετρο που οδηγεί στην οργανοληπτική υποβάθμιση των ιχθύων, όσο η παρουσία αυτή σε συνδυασμό με την ύπαρξη άλλων, μη προσδιορισίμων χημικών ουσιών (Gram *et al.*, 1996). Επίσης καθώς η αλλοίωση των ιχθυηρών εξαρτάται εκτός των άλλων παραγόντων και από τη γεωγραφική τους προέλευση, έχει παρατηρηθεί ότι η ουσία αυτή δε διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στα προϊόντα αλιείας από την περιοχή της Μεσογείου (Kyraia *et al.*, 1997, Koutsoumanis *et al.*, 1999a, b, 2000). Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε στο χαμηλό πληθυσμό του *Shewanella putrefaciens* που το καθιστά μη ικανό να συναγωνιστεί τους μεγάλους πληθυσμούς των ανταγωνιστικών *Pseudomonas spp.* και την απουσία του *Photobacterium phosphoreum*, είτε στην απουσία οξειδίου της τριμεθυλαμίνης (Koutsoumanis *et al.*, 1999a, b, 2000). Εξάλλου, αμελητέα παραγωγή τριμεθυλαμίνης παρατηρείται σε επίπεδα O₂ επαρκή για την αερόβια ανάπτυξη του *Shewanella putrefaciens* (>10%) (Boskou *et al.*, 1998).

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ολικών πτητικών αζωτούχων βάσεων (total volatile basic nitrogen, TVB-N) που παράγονται κατά την αλλοίωση καθορίζει την ποιότητα των ιχθύων κατά τα τελικά στάδια της αλλοίωσής τους. Η περιεκτικότητα των TVB-N σε φρέσκους ιχθύες κυμαίνεται μεταξύ 5 και 20 mg/100g (Koutsoumanis *et al.*, 2000) και αυξάνει έως τιμές της τάξης των 50-100 mg/100g στο τέλος της συντήρησής τους (Grigorakis *et al.*, 2003).

Οι Özogul *et al.*, (2005) μελετώντας χέλι (*Anguilla anguilla*) έθεσαν ως όριο τα 10 mg N/100 g, ενώ το όριο των 30 – 35 mg N/100 g ψαριού συντηρημένου σε πάγο, θεωρείται αποδεκτό σε άλλες μελέτες (Huss, 1988, Connel, 1995).

Οι διαφορές μεταξύ των ορίων αποδοχής για την παραγωγή TVB-N στις διάφορες μελέτες μπορούν να αποδοθούν σε παράγοντες όπως είναι το είδος του ψαριού, η ηλικία, αλλά και η τοποθεσία και η μέθοδος καλλιέργειας που μπορούν να επηρεάσουν το περιεχόμενο των μη πρωτεϊνικών αζωτούχων ενώσεων στους μύες των ιχθυηρών και αυτό, κατ' επέκταση, να επηρεάσει τα επίπεδα του TVB-N (Kyraia *et al.*, 1997).

Πολλοί ιχθύες ευρέως καταναλισκόμενοι, μεταξύ των οποίων ο τόνος και το σκουμπρί, περιέχουν υψηλές ποσότητες ελεύθερης ιστιδίνης στο κρέας τους. Κατά την αλλοίωσή τους παρατηρείται ιδιαίτερα η ανάπτυξη βακτηρίων, όπως οι *Proteus morgani* και προκαλείται μετατροπή της ιστιδίνης σε ισταμίνη. Στην περίπτωση αυτή, η ποσότητα της ισταμίνης είναι ένας δείκτης της μικροβιακής αλλοίωσης των ιχθύων (Bonnell, 1994).

Σημαντικός αριθμός βακτηρίων που σχετίζονται με τις αλλοιώσεις των ιχθύων παράγουν θειούχες ενώσεις. Το *Shewanella putrefaciens* και μερικοί *Vibrios* παράγουν H₂S από το θείο της L-κυστεΐνης (Gram *et al.*, 1987, Stenström *et al.*, 1990). Αντίθετα, ούτε οι ψευδομονάδες ούτε και το *Photobacterium Phosphoreum* έχει αποδειχθεί ότι παράγουν σημαντικές ποσότητες H₂S.

Επίσης σε κάποια είδη ιχθύων παράγεται υποξανθίνη. Η υποξανθίνη, η οποία προκαλεί μία πικρή γεύση, μπορεί να σχηματιστεί είτε από αυτολυτική αποικοδόμηση των νουκλεοτιδίων ή από ανάπτυξη βακτηρίων και μάλιστα ο ρυθμός παραγωγής της είναι υψηλότερος στη δεύτερη περίπτωση (Gram *et al.*, 1996).

2.5.3. Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης της αλλοίωσης ιχθύων

Η κινητική μελέτη και η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων που περιγράφουν ικανοποιητικά την ανάπτυξη των ειδικών αλλοιογόνων μικροοργανισμών συναρτήσει των συνθηκών συντήρησης, αποτελεί σημαντικό μέσο για την πρόβλεψη της διατηρησιμότητας των τροφίμων. Προκειμένου να αναπτυχθεί ένα μοντέλο για τη μικροβιακή ανάπτυξη και την αλλοίωση των προϊόντων ιχθύων, είναι απαραίτητη η γνώση και ο προσδιορισμός των ειδικών αλλοιογόνων μικροοργανισμών και του αρχικού φορτίου αυτών, καθώς και τα κριτήρια της αλλοίωσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το όριο των 10^7 cfu/g για τον ειδικό αλλοιογόνο μικροοργανισμό χρησιμοποιείται ως κριτήριο για το πέρας του χρόνου ζωής των ιχθυηρών (Dalgaard *et al.*, 1997, Koutsoumanis *et al.*, 2000).

Στα πλαίσια της προρρητικής μικροβιολογίας των τροφίμων αναπτύσσονται συνήθως διαδικασίες δύο βημάτων με πρωτογενή μοντέλα που περιγράφουν τις μεταβολές στις συγκεντρώσεις των κυττάρων συναρτήσει του χρόνου, καθώς και δευτερογενή μοντέλα που περιγράφουν την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στις κινητικές παραμέτρους, όπως ο χρόνος υστέρησης και η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης μ_{max} (Buchanan, 1993, McClure *et al.*, 1994). Τα τριτογενή μοντέλα συνδυάζουν πρωτογενή και δευτερογενή μοντέλα με φιλικά προς το χρήστη πακέτα λογισμικών, μετατρέποντας τη μικροβιολογία πρόρρησης σε ένα προσιτό και χρήσιμο εργαλείο για τη βιομηχανία τροφίμων. Στον Πίνακα 2.7 παρουσιάζονται τα κυριότερα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη τροφίμων.

Πίνακας 2.7: Βασικά μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης που χρησιμοποιούνται για τη μικροβιολογία πρόρρησης στην επιστήμη τροφίμων (Τροποποίηση McDonald *et al.*, 1999).

Πρωτογενή μοντέλα	Δευτερογενή μοντέλα	Τριτογενή μοντέλα
Μοντέλο Gompertz ¹	Μοντέλο Belehradek ⁹	USDA Pathogen Modelling Program ¹⁵
Τροποποιημένο μοντέλο	Μοντέλο Ratkowsky ¹⁰	Food Micromodel ¹⁶

Gompertz ²		
Λογιστικό μοντέλο ³	Μοντέλο Arrhenius ¹¹	<i>Pseudomonas</i> Predictor ¹⁷
Μοντέλο Richards ⁴	Μοντέλο Schoolfield ¹²	Expert Systems ^{18,19}
Μοντέλο Baranyi ⁵	Μοντέλο Davey ¹³	Seafood Spoilage and Safety Predictor (SSSP) ²⁰
1 ^η ς τάξης μοντέλο Monod ⁶	Μοντέλα πιθανοτήτων ¹⁴	Food Spoilage Predictor (FSP) ²¹
Τροποποιημένο μοντέλο Monod ⁷		Safety Monitoring and Assurance System (SMAS) ²²
Γραμμικό μοντέλο 3 φάσεων ⁸		

¹Gibson *et al.* (1987), ²Zwietering *et al.* (1990), ³Jason (1983), ⁴Pruit *et al.* (1979), ⁵Baranyi *et al.* (1993), ⁶Monod (1949), ⁷Houtsma *et al.* (1996), ⁸Buchanan *et al.* (1997), ⁹Belehradek (1930), ¹⁰Ratkowsky *et al.* (1982), ¹¹Arrhenius (1889), ¹²Schoolfield *et al.* (1981), ¹³Davey (1989, 1993), ¹⁴Hauschild (1982), ¹⁵Buchanan (1991), ¹⁶McClure *et al.* (1994), ¹⁷Neumeyer *et al.* (1997a), ¹⁸Zwietering *et al.* (1992), ¹⁹Voyer *et al.* (1993), ²⁰Dalgaard *et al.* (2003), ²¹Neumeyer *et al.* (1997b), ²²Koutsoumanis *et al.* (2003).

Τα μοντέλα μικροβιακής ανάπτυξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να καθοριστούν οι τιμές των κινητικών παραμέτρων, όπως ο χρόνος υστέρησης, η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης μ_{\max} και ο μέγιστος αριθμός των κυττάρων (N_{\max}), από πειραματικά δεδομένα, ενώ όταν οι τιμές των κινητικών παραμέτρων είναι γνωστές, χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη του απαιτούμενου χρόνου για μία καθορισμένη τιμή N_t που σχετίζεται με την αλλοίωση του τροφίμου. Ένα απλό εκθετικό μοντέλο μικροβιακής ανάπτυξης προτάθηκε από τον Dalgaard (2002), το οποίο αφορά τις περιπτώσεις όπου η τιμή μ_{\max} εμπορεί να προσδιοριστεί. Η απλοποιημένη έκφραση του εκθετικού μοντέλου δεν αποτελεί μία ρεαλιστική περιγραφή της μικροβιακής ανάπτυξης, περιγράφεται δε από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\frac{dN}{dt} = N \times \mu_{\max}$$

$$N_t = N_0 \times \exp(\mu_{\max} \times t)$$

$$\log N_t = \log(N_0) + \mu_{\max} \times t$$

$$\mu_{\max} = \frac{(\log(N_{t_2}) - \log(N_{t_1})) \times \ln(10)}{t_2 - t_1}$$

Ένα άλλο μοντέλο περιγράφει τις καμπύλες ανάπτυξης των μικροοργανισμών με χρήση σιγμοειδών συναρτήσεων (λογιστικό μοντέλο). Πρόκειται για μία επέκταση του εκθετικού μοντέλου, όπου η ανάπτυξη μετριάζεται όταν η τιμή N προσεγγίσει την τιμή N_{\max} . Το μοντέλο είναι αυτόνομο, όταν η μικροβιακή ανάπτυξη εξαρτάται μόνο από τη συγκέντρωση των κυττάρων και περιγράφεται από τις εξής εξισώσεις:

$$\frac{dN}{dt} = N \times \mu_{\max} \left(1 - \frac{N}{N_{\max}}\right)$$

$$N_t = \frac{N_{\max}}{1 + \left[\frac{N_{\max}}{N_0} - 1\right] \times \exp(-\mu_{\max} \times t)} = \frac{N_{\max}}{1 + \exp[-\mu_{\max} (t - t_i)]}$$

όπου η τιμή t_i αναφέρεται στη στιγμή όπου $N_t = N_{\max}/2$.

Έχουν διατυπωθεί, επίσης, περισσότερο ευέλικτα μοντέλα, όπως το μοντέλο Richards, που περιλαμβάνει την παράμετρο m για τον έλεγχο του βαθμού της ανάπτυξης, όταν η τιμή N προσεγγίσει την τιμή N_{\max} , και περιγράφεται από τις εξής εξισώσεις (Turner *et al.*, 1976, Pruitt *et al.*, 1979):

$$\frac{dN}{dt} = N \times \mu_{\max} \times \left(1 - \frac{N^m}{N_{\max}^m}\right)$$

Όπως μπορεί κανείς να διαπιστώσει, το λογιστικό μοντέλο αποτελεί ειδική περίπτωση του μοντέλου Richards, όταν $m=1$:

$$N_t = \frac{N_{\max}}{[1 + \exp(-\mu_{\max} \times m \times (t - t_i))]^{1/m}} = \frac{N_{\max}}{\left[1 + \left(\left(\frac{N_{\max}}{N_0}\right)^m - 1\right) \times \exp(-\mu_{\max} \times m \times t)\right]^{1/m}}$$

Έχουν διατυπωθεί ευέλικτα και μη αυτόνομα μοντέλα, όπου η τιμή μ_{\max} εξαρτάται τόσο από το χρόνο (t) όσο και από τη συγκέντρωση των κυττάρων (N) (Baranyi *et al.*, 1993). Το μοντέλο ανάπτυξης Baranyi είναι ιδιαίτερα δημοφιλές. Περιλαμβάνει το μοντέλο Richards και μία εξίσωση για τη φάση υστέρησης. Το μοντέλο εφαρμόζεται από το πρόγραμμα “MicroFit” και το Dmfit αποτελεί το

πρόγραμμα εφαρμογής του για την προσαρμογή στις καμπύλες. Όταν το μοντέλο Baranyi προσαρμόζεται σε καμπύλες ανάπτυξης μικροοργανισμών σε προϊόντα ιχθύων, οδηγεί σε πρόβλεψη της μικροβιακής ανάπτυξης σε δυναμικές θερμοκρασιακές συνθήκες (Dalgaard, 2002). Το μοντέλο Baranyi (Baranyi *et al.*, 1993) αποσκοπεί να δώσει μία πιο μηχανιστική περιγραφή για τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης, η οποία αποτελεί μία διαδικασία προσαρμογής σε ένα νέο περιβάλλον.

Αρχικό σημείο της θεωρίας είναι η υπόθεση ότι ένα σταθερό περιβάλλον καθορίζει με σαφήνεια μία καμπύλη ανάπτυξης εξαρτώμενη από το χρόνο, $x(t)$, που περιγράφεται από την αυτόνομη διαφορική εξίσωση πρώτης τάξης:

$$N' = \mu(N) \cdot N$$

με αρχική τιμή $N(0) = N_0$ ($0 < N_0 < N_{\max}$)

όπου N η συγκέντρωση κυττάρων, τα οποία θεωρείται ότι είναι ομοιογενώς καταναμημένα στο χώρο ανάπτυξής τους και $\mu(N)$ ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης.

Αν $f(t)$ είναι η λύση του παραπάνω προβλήματος αρχικών τιμών, η $g(t)$ εκφράζει την πραγματική καμπύλη ανάπτυξης και η $A(t)$ εκφράζει έναν παράγοντα καθυστέρησης για τη λανθάνουσα φάση, τότε προκύπτει: $g(t) = f(A(t))$, για το οποίο ισχύει:

$$A(t) = \int_0^t \alpha(t) dt$$

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος αρχικών τιμών χρησιμοποιείται μια συνάρτηση προσαρμογής της μορφής:

$$\alpha_n = \frac{t^n}{\lambda^n + t^n}$$

όπου η παράμετρος λ ονομάζεται παράμετρος λανθάνουσας φάσης (lag parameter). Υποτίθεται ότι η ανάπτυξη ελέγχεται από ένα κρίσιμο υπόστρωμα ή προϊόν, έστω P , το οποίο έχει μεγάλη σημασία για τη διασφάλιση της ανάπτυξης στο νέο περιβάλλον,

και επίσης ότι η εξάρτηση της ανάπτυξης από αυτό το προϊόν ακολουθεί το νόμο των Michaelis-Menten:

$$N' = \frac{P(t)}{K_p + P(t)} \mu(N)N$$

όπου K_p είναι η σταθερά Michaelis-Menten.

Η $a_n(t)$ απλοποιεί τον υπολογισμό της $A_n(t)$, αν χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση:

$$A_n(t) = \int_0^t \frac{s^n}{\lambda^n + s^n} ds = \lambda \left[\frac{t}{\lambda} - B_n \left(\frac{t}{\lambda} \right) \right]$$

όπου

$$B_n(t) = \int_0^t \frac{1}{1+s^n} ds$$

Για βακτηριολογικά δεδομένα που αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο εύρος συνθηκών ανάπτυξης για μία ποικιλία μικροοργανισμών, έχει αποδειχθεί ότι μία συνάρτηση προσαρμογής τέταρτης τάξης είναι ικανοποιητική για το χαρακτηρισμό της μεταφοράς από τη λανθάνουσα στην εκθετική φάση. Στην περίπτωση αυτή η έκφραση για την $B_4(t)$ είναι:

$$B_4(t) = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1}{2} \ln \frac{t^2 + \sqrt{2t} + 1}{t^2 - \sqrt{2t} + 1} \right) + \gamma(t)$$

όπου $\gamma(t) = \arctan \frac{\sqrt{2t}}{1-t^2}$ για $t < 1$, $\pi/2$ για $t=1$ και $\arctan \frac{\sqrt{2t}}{1-t^2} + \pi$ για $t > 1$.

Το μοντέλο αυτό περιγράφει μόνο τη λανθάνουσα και την εκθετική φάση. Για τον υπολογισμό του μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης και για τη λανθάνουσα φάση, δεν είναι

απαραίτητη η συλλογή δεδομένων για τη φάση στασιμότητας των μικροοργανισμών. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα συγκριτικά με τη χρήση μίας σιγμοειδούς συνάρτησης, η οποία σαφώς εξαρτάται από δεδομένα ανώτερης ασύμπτωτης γραμμής της καμπύλης σιγμοειδούς (Baranyi *et al.*, 1993).

2.5.4. Οξείδωση των λιπών στους ιχθύες

Μία σημαντική παράμετρος της αλλοίωσης που παρατηρείται στους ιχθύες είναι η οξείδωση των περιεχόμενων σε αυτά λιπών. Το πρόβλημα, όπως είναι φυσικό, είναι πιο έντονο στους ιχθύες με υψηλή λιποπεριεκτικότητα και έχει ως αποτέλεσμα ανεπιθύμητη γεύση και ακατάλληλη οσμή στα προϊόντα. Η οξείδωση των λιπών αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο θέμα στην περίπτωση των προϊόντων ιχθύων και επηρεάζεται από τη συγκέντρωση ακόρεστων λιπαρών οξέων και φωσφολιπιδίων, την παρουσία ουσιών που επιταχύνουν ή αναστέλουν την οξείδωση, αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία, η παρουσία οξυγόνου και η έκθεση του προϊόντος στο φως (Botta, 1995). Η οξείδωση των λιπών ξεκινά αμέσως μετά την αλίευση και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε χαμηλές θερμοκρασίες συντήρησης (χαμηλότερες από 0°C), όπου αποτελεί παράγοντα ταχύτερης υποβάθμισης της ποιότητας σε σχέση με τη μικροβιακή ανάπτυξη (Ólafsdóttir *et al.*, 1997).

Για τον προσδιορισμό της οξείδωσης των λιπών χρησιμοποιούνται δείκτες όπως ο αριθμός ανισιδίνης (anisidine value, AnV), ο αριθμός υπεροξειδίων (peroxide value, PV) και η τιμή θειοβαρβιτουρικού οξέος (thiobarbituric acid, TBA). Ο αριθμός PV προσδιορίζει υπεροξειδία τα οποία παράγονται κατά τα αρχικά στάδια της οξείδωσης των λιπών. Η TBA αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο μέτρησης της μηλονικής αλδεϋδης (MDA) στα τρόφιμα και βασίζεται στον ποσοτικό προσδιορισμό του συμπλόκου που σχηματίζεται μετά από αντίδραση της MDA με το TBA (Botta, 1995). Η μέθοδος TBA έχει παρουσιάσει σημαντική συσχέτιση με την υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών προϊόντων ιχθύων (Richards *et al.*, 2002 και 2002). Σε προϊόντα ιχθύων άριστης ποιότητας παρατηρούνται τιμές TBA < 3 mg MDA/kg, και σε καλής ποιότητας προϊόντα < 5 mg MDA/kg, αντίστοιχα, ενώ για προϊόντα κατάλληλα προς κατανάλωση τα όρια κυμαίνονται μεταξύ 7-8 mg MDA/kg (Cadun *et al.*, 2005). Οι Özogul *et al.*, (2005) αναφέρουν τιμές από 4 έως 27 mg

MDA/kg για καλής και κακής ποιότητας χέλι αντίστοιχα. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχει αναφερθεί σημαντική αύξηση στην τιμή TBA κατά τη συντήρηση ιχθύων υπό κατάψυξη, η οποία αποδίδεται σε υδρόλυση πρωτεϊνών έναντι της οξείδωσης των λιπών (Botta, 1995). Οι Robles-Martinez *et al.* (1982) πρότειναν το όριο TBA των 18 μmol/kg ως γενικό δείκτη οξείδωσης σε κατεψυγμένους ιχθύες. Η ελάττωση των τιμών TBA μετά από κάποιο χρόνο διατήρησης οφείλεται στη μετατροπή της μηλονικής αλδεύδης σε προϊόντα τριγενούς οξείδωσης (Özden *et al.*, 2007).

2.5.5. Φυσικά χαρακτηριστικά ποιότητας των ιχθύων

Μεταξύ των φυσικών παραμέτρων ποιότητας των προϊόντων ιχθύων, είναι πολύ σημαντικές η εμφάνιση, το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα και η ομοιομορφία τους. Οι παράμετροι αυτές έχουν μεγάλη σημασία καθώς αποτελούν σημαντικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων και επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αποδεκτότητα του καταναλωτή. Η μέτρηση του χρώματος γίνεται ενόργανα με χρήση των παραμέτρων χρώματος CIE (Commission International de l'Éclairage) Lab.

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων υφής περιλαμβάνει τη μέτρηση χαρακτηριστικών όπως η προσκολλησιμότητα, η μασητικότητα, η συνεκτικότητα, η σκληρότητα και η ελαστικότητα. Τα χαρακτηριστικά της υφής των ιχθύων αποτελούν σημαντικές οργανοληπτικές παραμέτρους, των οποίων η αντικειμενική ενόργανη μέτρηση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι βασικές μέθοδοι προσδιορισμού των παραμέτρων υφής της σάρκας των ιχθύων ταξινομούνται σε μεθόδους διάτρησης, συμπίεσης, κοπής και εφελκυσμού. Διάφορα όργανα για μέτρηση των παραμέτρων υφής με κοπή είναι διαθέσιμα, με πιο γνωστή τη μέθοδο Warner-Bratzler και τα κελιά κοπής Kramer. Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου Kramer είναι το ότι απαιτεί δείγμα μεγάλου μεγέθους και γι' αυτό μία μη καταστρεπτική μέθοδος θα ήταν πιο επιθυμητή (Sigurgisladottir *et al.*, 1999). Η διπλή συμπίεση οδηγεί στην ανάλυση κατατομής της δομής (texture profile analysis, TPA), παρέχοντας διαγράμματα δύναμης-χρόνου (Bourne, 1978). Ο προσδιορισμός των παραμέτρων υφής συχνά ακολουθείται από συσχέτιση των φυσικών παραμέτρων με τα

οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (Breene, 1975, Borderias *et al*, 1983, Botta, 1991).

2.5.6. Οργανοληπτική αξιολόγηση ιχθύων

Η οργανοληπτική εξέταση των προϊόντων ιχθύων είναι ευρέως διαδεδομένη στην παραγωγή των αλιευμάτων. Ο έλεγχος αυτός αφορά στην αξιολόγηση της εμφάνισης και της οσμής των νωπών ή/και μαγειρεμένων ιχθύων και πραγματοποιείται είτε από τα μέλη εταιριών παραγωγής προϊόντων ιχθύων, με σκοπό να επιβεβαιωθεί ότι τα προϊόντα ικανοποιούν τις απαιτήσεις των καταναλωτών, είτε από εξειδικευμένους ελεγκτές για την έμμεση διαπίστευση της ποιότητας και της ασφάλειας του προϊόντος (Botta, 1995).

Οι πρώτες μεταβολές, που παρατηρούνται στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κατά τη συντήρηση των προϊόντων ιχθύων, αφορούν την εμφάνιση και την υφή τους. Στον Πίνακα 2.8 αναφέρονται τα τυπικά χαρακτηριστικά της αλλοίωσης των προϊόντων ιχθύων κατά την αποθήκευσή τους σε πάγο. Η μέθοδος της δοκιμής που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από το είδος των δοκιμαστών που θα πραγματοποιήσουν τη δοκιμή (εκπαιδευμένοι ή καταναλωτές) και συνεπώς από το σκοπό πραγματοποίησης της δοκιμής (Nielsen, 1997).

Πίνακας 2.8: Μεταβολές των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των ιχθύων κατά τη συντήρηση υπό ψύξη (Botta, 1995).

Ημέρες συντήρησης σε πάγο	Μεταβολές στην ποιότητα
0-2	Πολύ φρέσκο, λεπτή γεύση φυκιών, ελαφρώς μεταλλική γεύση. Μεγιστοποίηση γλυκιάς γεύσης μετά από 2-4 ημέρες στον μπακαλιάρο. Εμφανής νεκρική ακαμψία.
3-7	Απώλεια χαρακτηριστικών οσμής και γεύσης. Σάρκα ουδέτερη γευστικά. Ελαστική υφή.
8-16	Παραγωγή διαφόρων ανεπιθύμητων, πτητικών, οσμηρών ουσιών. Γεύση ξινή, πικρή, αμμωνίας και τάγγισμα. Υφή σκληρή και υδαρής ή σκληρή και ξηρή.
>16	Εμφανείς αλλοιώσεις.

Ωστόσο, η αναγκαιότητα συμμόρφωσης με πρότυπα για τον καθορισμό της ποιότητας των ιχθύων καθιστά απαραίτητη την τυποποίηση της οργανοληπτικής εξέτασης. Η Quality Index Method (QIM) είναι ένα σύστημα εφαρμογής οργανοληπτικού ελέγχου στα προϊόντα ιχθύων. Πρόκειται για τον καθορισμό των αλλαγών που πραγματοποιούνται σε νωπούς ιχθύες ως προς την εμφάνιση (μάτια, δέρμα, βράγχια) και τη βαθμολόγηση με χρήση κλίμακας 0-3 (0: εξαιρετικά φρέσκο, 3: εμφανείς αλλοιώσεις). Στον Πίνακα 2.9 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου.

Η βαθμολογία που δίνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του εναπομένου χρόνου ζωής του προϊόντος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η οργανοληπτική εξέταση των ιχθύων πραγματοποιείται είτε σε ολόκληρο τον ιχθύ, είτε σε νωπά φιλέτα. Η σύγχρονη τάση είναι να ορίζεται μία ομάδα δοκιμαστών των προϊόντων ιχθύων, για τη διεξαγωγή δοκιμών σε καθημερινή βάση, ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής. Η μέθοδος QIM θεωρείται ως μία ιδιαίτερα αξιόπιστη μέθοδος για τον προσδιορισμό της ποιότητας και της φρεσκότητας των προϊόντων ιχθύων και οδηγεί σε αξιόπιστα συμπεράσματα (Luten et al., 1997).

Πίνακας 2.9: Μέθοδος QIM για την οργανοληπτική εξέταση μπακαλιάρου (Luten *et al.*, 1997)

Παράμετρος ποιότητας		Περιγραφή	Βαθμός
Εμφάνιση	Δέρμα	Λαμπερό, ιριδίζων χρωματισμός	0
		Ελαφρώς θαμπό, αρχή αποχρωματισμού	1
		Θαμπό	2
	Ακαμψία	Νεκρική ακαμψία	0
		Σταθερό, ελαστικό	1
		Μαλακό	2
		Πολύ μαλακό	3
Μάτια	Κερατοειδής	Καθαρός	0
		Ιριδίζων	1
		Γαλακτώδης	2
	Σχήμα	Κυρτό	0
		Επίπεδο, ελαφρά βυθισμένο	1
		Βυθισμένο, κοίλο	2
	Χρώμα κόρης	Μαύρο	0
		Αδιαφανές	1

Παράμετρος ποιότητας		Περιγραφή	Βαθμός
		Γκρι	2
Βράγχια	Χρώμα	Φωτεινό	0
		Λιγότερο χρωματισμένο	1
		Αποχρωματισμένο, καφέ κηλίδες	2
		Καφέ	3
	Οσμή	Φρέσκια, φυκιών, μεταλλική	0
		Ουδέτερη, μπαγιάτικη	1
		Ζύμη, ψωμί, μπύρα	2
		Οξικό οξύ, θειικό, πολύ όξινο	3
	Βλέννα	Καθαρή	0
		Γαλακτώδης	1
Γαλακτώδης, σκοτεινή, αδιαφανής		2	
Φιλέτα	Χρώμα	Διαφανές, γαλαζωπό	0
		Κηρώδες, γαλακτώδες	1
		Αδιαφανές, κίτρινο, καφέ κηλίδες	2
Αίμα	Χρώμα	Κόκκινο	0
		Σκούρο κόκκινο	1
		Καφέ	2

Ένα σύμφωνο με τον κανονισμό της ΕΕ σύστημα οργανοληπτικής αξιολόγησης ιχθύων που κάνει χρήση τριών έως έξι διαφορετικών κριτηρίων, όπως η εμφάνιση των ματιών, των βραγχίων, του δέρματος και τα χαρακτηριστικά οσμής, παρουσιάζεται στη συνέχεια. Κάθε κριτήριο είτε ορίζεται ως αποδεκτό ή ως μη αποδεκτό, είτε βαθμολογείται με Α, Β ή C, είτε με Α, Β, C ή D, ανάλογα με τις ανάγκες της δοκιμής.

Στη συνέχεια δίνεται ένας συνολικός βαθμός, αντίστοιχα, που αφορά τη συνολική εντύπωση των δοκιμαστών για το προϊόν.

Η οργανοληπτική εξέταση των φιλέτων απαιτεί την αξιολόγηση ως προς διαφορετικές παραμέτρους από ότι στην περίπτωση των ολόκληρων ιχθύων. Τέτοιες παράμετροι είναι το χρώμα και η ομοιογένεια της σάρκας και η παρουσία παρασίτων. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από το αν το φιλέτο περιλαμβάνει ή όχι το δέρμα, αν είναι κατεψυγμένο και αν έχει προηγηθεί ή όχι απόψυξη κ.α. Στον Πίνακα 2.10 παρουσιάζεται ένα υπόδειγμα του συστήματος οργανοληπτικής αξιολόγησης νωπών φιλέτων ιχθύων (Botta, 1995).

Πίνακας 2.10: Πίνακας αξιολόγησης νωπών φιλέτων ιχθύων (Botta, 1995)

Εξεταζόμενος παράγοντας	Διαβάθμιση χαρακτηριστικό	Βαθμολογία
Χρώμα	Ιριδίζον	0
	Ελαφρώς αποχρωματισμένο	1
	Ελαφρώς αδιαφανές	2
	Αδιαφανές	3
Κηλίδες αίματος	Απουσία	0
	Ανιχνεύσιμες	1
	Μέτριες	2
	Εκτεταμένες	3
Θρόμβωση	Απουσία	0
	Ελαφρά παρουσία	1
	Μέτρια	2
	Εκτεταμένη	3
Χρώμα δέρματος	Πολύ φωτεινό	0
	Φωτεινό	1
	Ελαφρώς θαμπό	2
	Θαμπό	3
Υφή	Συνεκτική	0
	Ελαφρώς μαλακή	1
	Μαλακή	2
Κακώσεις	Απουσία	0
	Λίγες	1
	Πολλές	2
Αποχρωματισμός	Απουσία	0
	Μέτριος	1
	Αρκετός	2
Παράσιτα	Απουσία	0
	Λίγα	1
	Αρκετά	2
Άλλοι αποχρωματισμοί και μολύνσεις	Απουσία	0
	Παρουσία	1
Υγρασία	Φυσιολογική	0
	Ελαφρώς νωπό	1
	Μετρίως νωπό	2
	Έντονα νωπό	3

Κεφάλαιο 3°: Τεχνολογία Παραγωγής και Ποιοτική Αξιολόγηση Καπνιστών Ιχθύων

3.1.Πρόλογος

Η κάπνιση των τροφίμων αποτελεί μια από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησής τους. Στην Κρακοβία βρέθηκε ένα καπνιστήριο που οι αρχαιολόγοι το τοποθετούν στη Λίθινη εποχή (Tilgner, 1958). Στην Ιστορική περίοδο, ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά καπνιστά προϊόντα υπήρξε η «κόκκινη ρέγγα», τρόφιμο ιδιαίτερα διαδεδομένο στο Μεσαίωνα (Möhler, 1978). Το προϊόν αυτό χαρακτηριζόταν από σύσταση ξηρή, σκληρή και πισσώδη. Με μια τέτοια έντονη επεξεργασία, οι ιχθύες μπορούσαν να διατηρηθούν για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα χαρακτηριστικά αυτά απέχουν πολύ από εκείνα των καπνιστών προϊόντων που καταναλώνονται σήμερα. Στη σύγχρονη εποχή, η κάπνιση έχει ως κύριο σκοπό την παραγωγή εκλεκτών προϊόντων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως είναι το άρωμα, η γεύση και το χρώμα και δευτερευόντως τη μακρόχρονη συντήρησή τους. Τα κυριότερα προϊόντα καπνιστών ιχθύων, ολόκληρων ή σε φιλέτα που διακινούνται στον κόσμο είναι: σολομός, πέστροφα, τόνος, ρέγγες, χέλι, μουγκρί, σκουμπρί, σαρδέλα κέφαλος, μπακαλιάρος κ.α. (Παπαναστασίου, 1976, Burt, 1988, Motohiro, 1988, Χατζηδημητριάδης, 1995).

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή καπνιστών ιχθύων ποικίλλει στις διάφορες χώρες, ακόμα και στην ίδια χώρα, εξαρτώμενη από το είδος της πρώτης ύλης και τον τύπο του επιθυμητού προϊόντος. Απαραίτητη προϋπόθεση για την παραγωγή καπνιστών προϊόντων υψηλής ποιότητας είναι η άριστη ποιότητα της πρώτης ύλης. Τα στάδια προετοιμασίας των ιχθύων πριν την κάπνιση είναι: το επιμελές πλύσιμό τους σε τρεχούμενο πόσιμο νερό, η αφαίρεση των βραγχίων και ο εκσπλαχνισμός τους, που πρέπει να γίνεται το συντομότερο δυνατόν και με μεγάλη προσοχή για την αποφυγή μόλυνση της σάρκας, σε ορισμένες περιπτώσεις η αποκοπή της κεφαλής, η αποδερμάτωση και ο τεμαχισμός τους σε φιλέτα ή εγκάρσια τεμάχια (φέτες), η αλάτιση και η μερική αφυδάτωσή τους. Σε ορισμένες χώρες οι ιχθύες βράζονται πριν καπνισθούν (Burt, 1988, Orstvedt, 1988). Οι χειρισμοί των

ιχθύων πρέπει να γίνονται με ιδιαίτερη προσοχή για να αποφεύγονται λύσεις συνεχείας του δέρματος ή της σάρκας.



Εικόνα 3.1: Κάπνιση χελιών (ολόκληρων).

3.2. Αλάτιση

Η αλάτιση των ιχθύων πριν την κάπνισή τους συμβάλει στη μείωση της ενεργότητας του νερού (a_w), συνεπώς στην καλύτερη ικανότητα συντήρησης του προϊόντος. Οι μέθοδοι αλάτισης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή καπνιστών ιχθύων είναι:

α. Η υγρή αλάτιση:

Η συγκέντρωση του NaCl και ο χρόνος αλάτισης εξαρτώνται από το μέγεθος και τη λιποπεριεκτικότητα των ιχθύων, την παρουσία δέρματος και τον επιθυμητό βαθμό αλμυρότητας και συνεκτικότητας της σάρκας τους.

Στην άλμη μπορούν να προστεθούν ουσίες όπως νιτρώδη άλατα (λόγω της αντιμικροβιακής τους δράσης), όταν η νομοθεσία της χώρας το επιτρέπει, χρωστικές ουσίες για την ενίσχυση του χρώματος που προσδίδει ο καπνός στο τελικό προϊόν (σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία κάθε χώρας), αντιοξειδωτικές ουσίες, ζάχαρη, καρυκεύματα (μαύρο πιπέρι, φύλλα δάφνης κ.α.). Η άλμη θα πρέπει να διατηρείται καθαρή κατά τη διάρκεια της αλάτισης και να ανανεώνεται σε κάθε παρτίδα. Το αλάτι που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ξένες προσμίξεις και βακτήρια. Επίσης, αυτό δεν πρέπει να περιέχει θειικά άλατα ή χλωριούχο μαγνήσιο σε ποσοστό >1% και αυτό γιατί οι ουσίες αυτές του προσδίδουν πικρή γεύση, η οποία επηρεάζει τις οργανοληπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Χρησιμοποιούνται δύο, κυρίως, τεχνικές:

- **Η ελαφριά αλάτιση (*brining*):** Η άλμη που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι ασθενής (συγκέντρωση NaCl < 16%) ή μέσης περιεκτικότητας σε αλάτι (16 – 20%). Οι ιχθύες εμβαπτίζονται σ' αυτήν για λίγα λεπτά της ώρας έως λίγες ώρες, ανάλογα με το μέγεθος και τη λιποπεριεκτικότητά τους, για να απορροφήσουν μικρή ποσότητα αλατιού που συμβάλλει κυρίως στη γεύση και στο άρωμα του τελικού προϊόντος.
- **Η εμβάπτιση των ιχθύων σε ισχυρή άλμη:** Η άλμη είναι συγκέντρωσης NaCl > 20% ή ακόμα και εμβάπτισμα σε διάλυμα κορεσμένης άλμης, ενώ η εμβάπτιση πραγματοποιείται συνήθως για 24 – 50 h. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή καπνιστών ιχθύων με μεγάλη λιποπεριεκτικότητα που πρόκειται να συντηρηθούν για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα (Burt, 1988, Horner 1992, Βαρελτζής, 1999).

β. Η ξηρή αλάτιση (*kench curing*):

Χρησιμοποιείται για την παραγωγή καπνιστών χελιών, αλλά και καπνιστών προϊόντων σολομού, σκουμπριού, σαρδέλας, ρέγγας και ορισμένων λευκόσαρκων ιχθύων σε διάφορες χώρες του κόσμου (Παπαναστασίου, 1976, Burt, 1988). Οι ιχθύες τεμαχίζονται σε φιλέτα τύπου πεταλούδας (*butterfly type*) και τοποθετούνται κατά στρώματα που διαχωρίζονται από στρώσεις αλατιού. Η διάρκεια της αλάτισης κυμαίνεται από λίγες ημέρες έως και λίγες εβδομάδες. Η άλμη που σχηματίζεται από

τον οπό που εξέρχεται από τη σάρκα των ιχθύων απομακρύνεται μέσα από οπές που υπάρχουν στον πυθμένα των δοχείων. Παραλλαγή της αποτελεί η μέθοδος κατά την οποία, ο οπό που εξέρχεται κατά της διάρκεια της αλάτισης δεν απομακρύνεται, αλλά παραμένει στο δοχείο της αλάτισης, με αποτέλεσμα οι ιχθύες να υποβάλλονται ταυτόχρονα σε ξηρή και υγρή αλάτιση, συνήθως για 2 – 3 ημέρες (Burt, 1988, Horner 1992, Βαρελτζής, 1999).

3.3. Αφυδάτωση των Ιχθύων

Μετά την αλάτιση οι ιχθύες ξεπλένονται, αναρτώνται σε κατάλληλα μεταλλικά άγκιστρα και αποξηραίνονται. Η αφυδάτωση στη βιομηχανία γίνεται συνήθως με τις εξής μεθόδους (Horner 1992, Βαρελτζής, 1999):

α. Αφυδάτωση στο καπνιστήριο με διοχέτευση θερμού αέρα ή και χωρίς, σε θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 30 – 120°C. Η θερμοκρασία αφυδάτωσης και ο χρόνος παραμονής των ιχθύων στο καπνιστήριο εξαρτάται από το είδος τους, τον επιθυμητό βαθμό αποξηράνσης και τη μέθοδο κάπνισης.

β. Αφυδάτωση σε σήραγγες όπου κυκλοφορεί αέρας, συνήθως θερμοκρασίας 24 – 60°C και σχετικής υγρασίας που δεν υπερβαίνει το 60%.

γ. Αφυδάτωση με υπέρυθρη ακτινοβολία: Οι υπέρυθρες ακτίνες διαπερνούν τη σάρκα των ιχθύων σε βάθος περίπου 2 mm, η παραγόμενη δε θερμότητα απορροφάται από ολόκληρη την επιφάνειά τους. Η ακτινοβολήση των ιχθύων πρέπει να γίνεται και από τις δύο πλευρές τους, η δε απόστασή τους από την πηγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 8 cm.

Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η μείωση του χρόνου αφυδάτωσης που κυμαίνεται μεταξύ του 1/2 – 1/3 του αντίστοιχου χρόνου αφυδάτωσης με θερμό αέρα (Βαρελτζής, 1999).

Κατά την αφυδάτωση των ιχθύων, το κολλώδες επίστρωμα -που σχηματίζεται από τις υδρολυμένες στην άλμη πρωτεΐνες της σάρκας τους- ξηραίνεται, δίνοντας στην επιφάνειά τους τη χαρακτηριστική στιλπνή και φωτεινή εμφάνιση που ενισχύεται κατά την κάπνιση με τη συμβολή προϊόντων ρητινώδους μορφής (Horner, 1992).

Η αφυδάτωση δημιουργεί ένα φυσικό φραγμό στη δίοδο των μικροοργανισμών στη σάρκα και συντελεί στη μείωση της ενεργότητας του νερού (a_w).

3.4. Κάπνιση

3.4.1. Παραγωγή καπνού: Πρώτες ύλες και μέθοδοι

Η χημική σύσταση του καπνού επηρεάζεται από το είδος του ξύλου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του και επηρεάζει τις οργανοληπτικές ιδιότητες του παραγόμενου προϊόντος. Τα κύρια συστατικά του ξύλου είναι (Maga, 1988, Beltrán Garcia – Echaniz, 1989, Βαρελτζής, 1997):

- Η **κυτταρίνη** (40 – 60%) που είναι η βασική δομική μονάδα των κυττάρων του ξύλου. Πρόκειται για ένα μη σακχαρώδη πολυσακχαρίτη (ομογλυκάνη) υψηλού μοριακού βάρους που αποτελείται από επαναλαμβανόμενες μονάδες β-D-γλυκοπυρανοσουλίου (β-D-glycopyranosyl) (Bemiller και Whistler, 1996).
- Η **ημικυτταρίνη** (20 – 35%) ή πιο συγκεκριμένα μίγμα μη σακχαροειδών πολυσακχαριτών, των ημικυτταρινών (ετερογλυκάνες: π.χ. ξυλάνες, μαννάνες, γαλακτάνες). Τα μόριά τους συντίθενται κυρίως από πεντόζες (π.χ. ξυλόζη, αραβινόζη) και εξόζες (π.χ. γλυκόζη, μαννόζη, γαλακτόζη) και αποτελούν το σκελετό πάνω στον οποίο οικοδομείται η κυτταρίνη.
- Η **λιγνίνη** (18 – 38%) που αποτελεί το μέσο σύνδεσης των κυττάρων του ξύλου. Το μόριό της αποτελεί ένα πολυφαινολικό σύμπλεγμα με υψηλό μοριακό βάρος.

Το ξύλο περιέχει επίσης -σε μικρότερο όμως ποσοστό που ποικίλλει ανάμεσα στα διάφορα είδη: **πτητικά ή αιθέρια έλαια** που συμβάλλουν σημαντικά στο άρωμα του καπνού, **τερπένια και παράγωγά τους** που αποτελούν τα κύρια συστατικά των ρητινών και κόμμεων που ανευρίσκονται κυρίως στα μαλακά ξύλα (π.χ. έλατου, πεύκου), διάφορα **οξέα** (αλειφατικά, κορεσμένα π.χ. οξικό και παλμιτικό οξύ και **ακόρεστα** π.χ. ελαϊκό και λινολενικό οξύ, αρωματικά π.χ. βενζοϊκό οξύ), **αζωτούχες ενώσεις** (πρωτεΐνες, αλκαλοειδή), **φαινολικές ενώσεις** που συνεισφέρουν σημαντικά στο άρωμα του καπνού και ορισμένες στις συντηρητικές του ιδιότητες (φαινόλη, κρεσόλες, αρωματικές αλκοόλες, διϋδροξυφαινόλες και παράγωγά τους,

φαινολαλδεΐδες, λιγνάνες, στιλβένια, ταννίνες και φλαβονοειδή) και **ανόργανα άλατα**, κυρίως ασβεστίου, φωσφόρου και μαγνησίου.

Για την παραγωγή του καπνού χρησιμοποιούνται ξύλα από δρυ, οξυά, σφένδαμο, σημύδα, λεύκη, φιλύρα, καστανιά κ.ά., συνήθως σε μορφή πριονιδιών. Ως αρωματικά μέσα χρησιμοποιούνται φύλλα δάφνης, δενδρολίβανο, θυμάρι κ.ά. Ξύλα από κωνοφόρα συνήθως δε χρησιμοποιούνται για την κάπνιση των τροφίμων, επειδή περιέχουν ρητίνες που δίνουν στο προϊόν μη αποδεκτή γεύση (Πανέτσος, 1978). Η χρησιμοποίηση ξύλων από έλατο και κόκκινο κέδρο για την παραγωγή καπνιστής ρέγγας έχει ως αποτέλεσμα τη μη αποδεκτή γεύση των τελικών προϊόντων, όμως θαλάσσιοι ιχθύες του είδους *Sprattus sprattus* (παπαλίνα) που καπνίσθηκαν με ξύλο πεύκου είχαν καλύτερη γεύση από εκείνους που για την κάπνισή τους χρησιμοποιήθηκε ξύλο από οξιά (Maga, 1988). Με τη χρήση μιγμάτων διαφόρων ειδών ξύλων είναι δυνατόν να επιτευχθούν οι επιθυμητές οργανοληπτικές ιδιότητες των καπνιστών προϊόντων.

Η θερμική διάσπαση του ξύλου επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος του ξύλου, τη θερμοκρασία, την ποσότητα του διαθέσιμου οξυγόνου και των υδρατμών κατά τη διάρκεια της καύσης. Γενικά, χαμηλές θερμοκρασίες καύσης των ξύλων και παρουσία μικρής ποσότητας οξυγόνου δίνουν καπνό με περισσότερες αρωματικές και συντηρητικές ουσίες, ενώ υψηλές θερμοκρασίες και μεγαλύτερες ποσότητες οξυγόνου προκαλούν την οξειδωση των ουσιών αυτών με τελικά προϊόντα διοξειδίου του άνθρακα και νερό. Από τα κύρια συστατικά του ξύλου, η ημικυτταρίνη είναι το πρώτο που υπόκειται σε θερμική διάσπαση, στη θερμοκρασία των 200 – 260°C και αποδομείται γρήγορα αποδίδοντας φουράνιο και παράγωγά του, όπως επίσης και μια σειρά αλειφατικών καρβοξυλικών οξέων. Ακολουθεί η θερμική διάσπαση της κυτταρίνης στους 260 – 310°C. Το μόριό της διασπάται αρχικά με υδρόλυση στα επί μέρους μόρια της γλυκόζης και στη συνέχεια παράγονται άνυδρα σάκχαρα και πτητικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους, οξικό οξύ, κ.ά. Τα προϊόντα που προκύπτουν από τις αντιδράσεις συμπύκνωσης των προϊόντων αποδόμησης της κυτταρίνης περιλαμβάνουν φαινολικές ενώσεις, αλειφατικούς και κυκλικούς υδρογονάνθρακες, αλκοόλες αλδεΐδες, κετόνες, φουράνια, κ.ά.. Οι κύριες διαδικασίες αποδόμησης της λιγνίνης συμβαίνουν μεταξύ 310°C και 480°C και έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή κυρίως φαινολικών ενώσεων όπως η γουαϊκόλη (2-

μεθοξυφαινόλη) και η συρινγκόλη (2,6-διμεθοξυφαινόλη), με τα παράγωγά τους, όπως π.χ. η φαινόλη και οι κρεσόλες που προέρχονται από την αποδόμηση της γουαϊκόλης (Toth, 1982, Maga, 1988, Beltrán Garcia – Echaniz, 1989).

Τα ξύλα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την κάπνιση των ιχθύων πρέπει να είναι ξηρά και απαλλαγμένα από συντηρητικές ουσίες. Υγρά ξύλα ή πριονίδια περιέχουν μύκητες που μπορεί να προσδώσουν δυσάρεστη οσμή στα τελικά προϊόντα, ενώ οι συντηρητικές ουσίες μπορεί να καταστήσουν τα καπνιστά προϊόντα επικίνδυνα για κατανάλωση (Horner, 1992).

Στις σύγχρονες μονάδες παραγωγής καπνιστών τροφίμων, η παραγωγή του καπνού γίνεται σε ειδικές γεννήτριες καπνού, Η απαραίτητη για την καύση του πριονιδιού παραγωγή θερμότητας και η ανάμιξη του καπνού με αέρα ελέγχονται φωτοηλεκτρονικά. Οι μέθοδοι παραγωγής καπνού που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι:

α) Ατελής καύση (*smoldering*): Η καύση του ξύλου με τη μορφή πριονιδιού γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρικής αντίστασης ή φλόγας αερίου. Ο καπνός παράγεται με ρυθμιζόμενη παροχή οξυγόνου, σταθερή παροχή πριονιδιού και ήπια ανάδευσή του. Η θερμοκρασία παραγωγής του κυμαίνεται γύρω στους 400°C.

β) Παραγωγή καπνού με τριβή (*friction*): Τεμάχιο ξύλου πιέζεται σε μεταλλικό τροχό που περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα. Η θερμότητα που παράγεται προκαλεί την καύση του. Η θερμοκρασία παραγωγής του καπνού επηρεάζεται από τη δύναμη τριβής, την ταχύτητα περιστροφής και το σχήμα των επιφανειών του μεταλλικού τροχού, καθώς και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος (συνεχόμενη ή μη). Με τη συνεχόμενη λειτουργία του η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει τους 300 – 500°C.

γ) Υγρή Καύση (*wet smoke*) ή Μέθοδος παραγωγής συμπυκνωμένου καπνού: Η καύση των πριονιδιών επιτυγχάνεται με την ανάμιξή τους με υπέρθερμο ατμό. Η θερμοκρασία παραγωγής καπνού φθάνει τους 300 – 400°C, ενώ εκείνη του παραγόμενου καπνού τους 80°C, σε αντίθεση με όλες τις υπόλοιπες μεθόδους, στις οποίες η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 20-30°C. Πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν η συντομία της διαδικασίας παραγωγής καπνού, η μεγάλη απόδοση σε καπνό και η επίτευξη καλύτερου χρωματισμού των τελικών προϊόντων.

δ) Ρευστοποίηση (*fluidization*): Κατά τη μέθοδο αυτή, αέρας που θερμαίνεται με ηλεκτρική πηγή σε θερμοκρασία μεταξύ 300 – 400°C αναμιγνύεται με μεγάλη ταχύτητα με πριονίδια ξύλου. Αυτά σχηματίζουν «εναιώρημα» στη μάζα του θερμού αέρα και λόγω της θερμοκρασίας του, η καύση τους πραγματοποιείται στους 350°C μέσα σε 10 περίπου sec. Για το διαχωρισμό του καπνού και των απανθρακωμένων πριονιδιών χρησιμοποιείται ένας κυκλωνικός διαχωριστής.

ε) Μέθοδος δύο φάσεων (*two stage*): Αποτελεί βελτίωση της μεθόδου ρευστοποίησης. Στην πρώτη φάση, το πριονίδι καίγεται ατελώς στους 300 – 400°C με τη βοήθεια αζώτου ή διοξειδίου του άνθρακα. Στη δεύτερη φάση, τα παραγόμενα προϊόντα της αρχικής καύσης αναμιγνύονται με οξυγόνο ή αέρα, θερμοκρασίας 200°C. Στη φάση αυτή ενισχύονται η οξειδωση, η συμπύκνωση και οι αντιδράσεις πολυμερισμού, με αποτέλεσμα την παραγωγή καπνού που περιλαμβάνει ένα πιο σύνθετο μίγμα δυνητικά αρωματικών ουσιών.

στ) Ανθράκωση (*carbonization*): Τα πριονίδια πιέζονται σε ευθύγραμμο σωλήνα που καταλήγει σε στενότερη δίοδο, με τη βοήθεια ενός κωνοειδούς κοχλία. Έτσι, ελαχιστοποιείται η παρουσία αέρα. Στο κάτω άκρο του συστήματος αυτού υπάρχει ηλεκτρική θερμαντική πηγή, η οποία, λόγω της έλλειψης αέρα στα πιεζόμενα πριονίδια, προκαλεί την παραγωγή καπνού κατά τη διάρκεια της ανθράκωσής τους (Maga, 1988, Βαρελτζής, 1999).

3.4.2. Ιδιότητες του καπνού

Ο καπνός αποτελείται από δύο φάσεις, την αέρια και εκείνη των έμμορφων συστατικών. Η δεύτερη αποτελείται από υγρά σωματίδια κολλοειδών ουσιών διαμέτρου 0.196 – 0.396 μm, χωρίς σταθερό πυρήνα, όπως πίσσας, ρητινών, φαινολών υψηλού και χαμηλού σημείου βρασμού, ομοιόμορφα κατανεμημένων στην αέρια φάση που εκτελεί το ρόλο μεταφορέα τους (Maga, 1988). Η φάση των έμμορφων συστατικών μπορεί επίσης να περιέχει και διάφορα άλλα σωματίδια, μεγαλύτερου μεγέθους, που προέρχονται από την τέφρα. Ουσιαστικά, ο καπνός είναι ένα εναιώρημα από σταγονίδια σε μια συνεχή αέρια φάση και ατμούς (πτητικές ουσίες) που σταθεροποιούνται στα σταγονίδια με ηλεκτροστατικά φορτία. Οι πτητικές αυτές ουσίες είναι οι πιο σημαντικές για τη δημιουργία της γεύσης, του αρώματος και του χρώματος των καπνιστών προϊόντων, καθώς και του

βακτηριοστατικού ή βακτηριοκτόνου αποτελέσματος κατά την κάπνιση (Horner, 1992).

Τα χαρακτηριστικά του καπνού είναι η θερμοκρασία του, βάσει της οποίας διαχωρίζονται και οι μέθοδοι κάπνισης (ψυχρή και θερμή), η σκιερότητά του που είναι μεγαλύτερη όσο ατελέστερη είναι η καύση των ξύλων, η υγρασία και η ταχύτητα κίνησής του που επηρεάζει το χρόνο κάπνισης και την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Γεωργάκης, 2000).

Κατά την κάπνιση, τα διάφορα συστατικά του καπνού απορροφούνται από τα κενά που σχηματίζονται μεταξύ των κυττάρων των επιφανειακών στιβάδων των ιχθύων στο στάδιο της αποξήρανσής τους. Μερικά συστατικά εισχωρούν και διαχέονται στο εσωτερικό της σάρκας.

α) Αντιοξειδωτικές ιδιότητες του καπνού:

Ο καπνός περιέχει ουσίες που έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες, με κύριους εκπροσώπους τις φαινόλες. Μεταξύ αυτών, οι πιο σημαντικές είναι εκείνες με υψηλό σημείο βρασμού, όπως π.χ. η συρινγκόλη (2,6-διμεθοξυφαινόλη) και παράγωγά της (2,6-διμεθοξυ-4-αιθυλοφαινόλη). Το αντιοξειδωτικό αποτέλεσμα του καπνού σχετίζεται κυρίως με τη φάση των έμμορφων συστατικών του. Η αέρια φάση έχει μικρή ή καθόλου αντιοξειδωτική δράση (Daun, 1979, Maga, 1988, Horner, 1992). Ο καπνός που προέρχεται από την καύση των ξύλων παρουσιάζει μεγαλύτερη αντιοξειδωτική δραστηριότητα από ό,τι ο υγρός καπνός (Cuppet *et al.*, 1989, Flick *et al.*, 1992).

β) Συντηρητική δράση του καπνού επί των τροφίμων:

Διάφοροι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες, ζύμες) είναι ενδεχόμενο να θανατωθούν από τη δράση του καπνού ή να αναστείλουν την ανάπτυξή τους, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο λόγο στη δράση *καρβονυλικών ενώσεων*, όπως η φορμαλδεΰδη και η μεθυλογλυοξάλη, *οξέων*, όπως το οξικό και μυρμηκικό οξύ και *φαινολικών ενώσεων*, όπως π.χ. οι κρεσόλες (Γεωργάκης, 1986, Sikorski *et al.*, 1995).

Η φορμαλδεΰδη ενδιαφέρει ιδιαίτερα λόγω της βακτηριοστατικής ή βακτηριοκτόνου ιδιότητάς της. Η συγκέντρωσή της στον καπνό εξαρτάται από το

είδος του ξύλου (1 kg ξύλου έλατου και οξυάς αποδίδουν αντίστοιχα 320 mg και 480 mg φορμαλδεΰδης) και τη θερμοκρασία καύσης του (αυξάνει όσο ατελέστερη γίνεται η καύση).

Το οξικό και μυρμηκικό οξύ συνεισφέρουν στη βακτηριοστατική δράση του καπνού, ενώ το βενζοϊκό οξύ έχει μια εξειδικευμένη δράση εναντίον των σπόρων αερόβιων βακτηρίων του *Bacillus* spp. (Beltran, 1989). Οι βλαστικές μορφές βακτηρίων είναι περισσότερο ευαίσθητες στην επίδραση καπνού, ενώ σπόροι και μύκητες είναι πιο ανθεκτικοί (Sikorski *et al.*, 1995). Η συντηρητική δράση του καπνού αφορά κυρίως τα επιφανειακά στρώματα της σάρκας των υπό κάπνιση ιχθύων.

γ) Επίδραση του καπνού στο άρωμα και τη γεύση των καπνιστών τροφίμων:

Πρωταρχικό ρόλο στο άρωμα του καπνού και στην ανάπτυξη του αρώματος, αλλά και της γεύσης των καπνιστών προϊόντων, έχουν οι φαινολικές ενώσεις, κυρίως εκείνες που περιέχονται στην αέρια φάση του καπνού (Daun, 1979). Η σπουδαιότερη από αυτές είναι η 4-μεθυλογουαϊκόλη, φαινολική ένωση με χαμηλό σημείο βρασμού (60-90°C). Σε μελέτες που έγιναν σχετικά με τις οργανοληπτικές ιδιότητες διαφόρων φαινολικών ενώσεων, το άρωμα της χαρακτηρίστηκε ως γλυκό, όμοιο με εκείνο της βανίλιας, φρουτώδες, κανέλας, χαρακτηριστικό άρωμα καπνού, ενώ η γεύση της περιγράφηκε ως γλυκιά, βανίλιας, καραμέλας, ευχάριστη γεύση καπνιστού. Από το σύνολο των φαινολικών ενώσεων εκείνες που δίνουν αμιγή και χαρακτηριστική γεύση καπνιστού είναι οι ενώσεις μέσης πτητικότητας (Maga, 1988).

Τα φουράνια και τα παράγωγά τους, καθώς και οι καρβονυλικές ενώσεις επίσης θεωρείται ότι συνεισφέρουν στη δημιουργία του αρώματος και της γεύσης των καπνιστών τροφίμων. Τα πρώτα αποδίδουν άρωμα που χαρακτηρίζεται γλυκό, φρουτώδες, ευωδιαστό άρωμα ανθέων και φρέσκου χορταριού και τείνει να απαλύνει το έντονο άρωμα καπνού που προκύπτει από τη δράση των φαινολικών ενώσεων (Horner, 1992). Από τις δεύτερες, κάποιες αποδίδουν άρωμα καραμέλας ή καμένης ζάχαρης, άλλες άρωμα χορταριού και κάποιες καρβονυλικές ενώσεις αποδίδουν μοναδικές και έντονες αρωματικές νότες καμένων μήλων (Maga, 1988).

Ο τελικός χαρακτήρας του αρώματος και της γεύσης των καπνιστών ιχθύων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι το

είδος του ξύλου, η θερμοκρασία παραγωγής καπνού, η θερμοκρασία, υγρασία, πυκνότητα και ταχύτητα κυκλοφορίας του καπνού στο θάλαμο κάπνισης και η υγρασία της επιφάνειας του προϊόντος.

δ) Επίδραση του καπνού στο χρώμα των καπνιστών ιχθύων:

Το χρώμα αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αποδοχή των καπνιστών προϊόντων από τους καταναλωτές. Ο σχηματισμός του οφείλεται στα έμμορφα σωματίδια του καπνού που επικάθονται στην επιφάνεια των καπνιζόμενων προϊόντων και στις αντιδράσεις ουσιών που περιέχονται στην αέρια φάση του καπνού με ορισμένα συστατικά της σάρκας. Καρβονυλικές ενώσεις όπως η μεθυλογλυοξάλη και η γλυκολική αλδεϋδη κυρίως, και σε μικρότερο βαθμό πολυφαινολικές ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους, όπως η κονιφερυλαλδεϋδη και η σιναπαλδεϋδη που βρίσκονται στην αέρια φάση του καπνού, έχουν ικανότητα χρωματισμού και είναι υπεύθυνες για το σχηματισμό των χαρακτηριστικών χρωματισμών (Εικόνα 3.2) των καπνιστών ιχθύων: χρυσοκίτρινος, χρυσοκάστανος ή καστανός, πορτοκαλοκάστανος, κοκκινοκάστανος (Ruiter, 1979, Daun, 1979, Toth, 1982, Maga, 1988, Papaveriou, 1990). Οι ενώσεις αυτές αλληλεπιδρούν με διάφορες ελεύθερες αμινικές ομάδες των πρωτεϊνών στα επιφανειακά στρώματα της σάρκας των ιχθύων. Πρόκειται για μια σειρά μη ενζυματικών αντιδράσεων τύπου Maillard (Homer, 1992). Αλειφατικές ή αρωματικές αλδεϋδες αντιδρούν με την τρυπτοφάνη, λυσίνη, ιστιδίνη κλπ., σχηματίζοντας τις λεγόμενες Schiff bases που αποδίδουν κιτρινωπό χρωματισμό (Papaveriou και Clifford, 1986, Olley, 1988). Προϊόντα πολυμερισμού, υψηλού μοριακού βάρους, που βρίσκονται στην πίσσα (π.χ. αρωματικές πεντοζάνες) παίζουν επίσης ρόλο στο σχηματισμό του χρώματος των καπνιστών προϊόντων ενισχύοντας τον καστανό τόνο (Papaveriou, 1990). Οι απλές φαινόλες δε σχηματίζουν προϊόντα που να επιδρούν στο σχηματισμό του χρώματος γιατί απορροφούνται από τα λιπίδια και δεν αντιδρούν με αμινικές ομάδες (Βαρελτζής, 1999).



Εικόνα 3.2: Χαρακτηριστικό χρώμα καπνιστού χελιού.

Οι χαρακτηριστικοί χρωματισμοί των ιχθύων που οφείλονται στην επίδραση του καπνού μπορούν να γίνουν πιο έντονοι με τη χρήση χρωστικών ουσιών που προστίθενται στην άλμη, φυσικών όπως ο κρόκος (*Crocus sativus L.*) ή τεχνητών όπως π.χ. η Ταρτραζίνη (*Tartrazine: E-102*) και το *Sunset yellow FCF (E-110)* που προσδίδουν αντίστοιχα χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα και πορτοκαλοκίτρινο, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό (von Elbe και Schwartz, 1996). Οι φυσικές χρωστικές ουσίες δεν έχουν την ένταση και τη σταθερότητα των τεχνητών, των οποίων όμως μειονέκτημα είναι οι πιθανές αλλεργικές αντιδράσεις σε ευαισθητοποιημένες ανθρώπινες ομάδες ή η πιθανή καρκινογενετική τους δράση (Edlefsen και Brewer, 1996). Τα ανώτατα όρια ημερήσιας πρόσληψης των προαναφερόμενων τεχνητών χρωστικών, χωρίς κίνδυνο εφ' όρου ζωής, για τον άνθρωπο είναι αντίστοιχα 7.5 και 5 mg/kg σωματικού βάρους (FDA – von Elbe και Schwartz, 1996). Σύμφωνα με τον Κ.Τ & Π.(άρθρο 35, Παράρτημα V, ΜΕΡΟΣ 2) οι προαναφερόμενες χρωστικές επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό για τον χρωματισμό των καπνιστών ιχθύων και ως μέγιστο επίπεδο συγκέντρωσής τους (συνολικά) καθορίζεται εκείνο των 100 mg/kg.

3.4.3. Μέθοδοι και συστήματα κάπνισης των ιχθύων

Την αφυδάτωση των ιχθύων ακολουθεί η κάπνισή τους. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στη βιομηχανία είναι:

α. Ψυχρή κάπνιση: Στην περίπτωση αυτή, η αφυδάτωση γίνεται σε θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 37°C. Στη φάση της κύριας κάπνισης παράγεται άφθονος και πυκνός καπνός. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θαλάμου κάπνισης κυμαίνεται, ανάλογα με την περίπτωση, από 18 - 33°C. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις,

όπως π.χ. κάπνιση ισχνών ή ημιλιπαρών ιχθύων η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει τους 40°C. Η διάρκεια της συνολικής διαδικασίας (αφυδάτωση – κάπνιση) κυμαίνεται από λίγες ώρες έως και εβδομάδες, εξαρτώμενη από το είδος του ιχθύος. Στις εκσυγχρονισμένες εγκαταστάσεις ελέγχονται, την κάθε στιγμή, η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα κυκλοφορίας και η ανανέωση του αέρα, καθώς και η απαιτούμενη ποσότητα του καπνού (Βαρελτζής, 1999).

β. Θερμή κάπνιση: Ακολουθούνται διάφορα σχήματα που εξαρτώνται από το είδος των ιχθύων και το βαθμό κάπνισης που απαιτεί το τελικό προϊόν. Η θερμή κάπνιση γίνεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 30 – 120°C και διακρίνεται σε *ήπια* (30 - 50°C) και *έντονη* (>50°C) (Motohiro, 1988). Στην κλασσική μέθοδο της θερμής κάπνισης, η αφυδάτωση γίνεται σε θερμοκρασία από 30 - 55°C και κατά τη διάρκειά της οι ιχθύες ψήνονται ελαφρά. Η κύρια κάπνιση γίνεται σε θερμοκρασία από 80 έως 115°C. Ο χρόνος της κύριας κάπνισης ποικίλλει από λίγα λεπτά της ώρας έως και 1 ώρα, ενώ ο συνολικός χρόνος κάπνισης (αφυδάτωση – κάπνιση) μπορεί να ξεπεράσει τις 3 ώρες. Κατά τη μέθοδο αυτή, δεν είναι απαραίτητη η εφύγραση του καπνού, γιατί οι υδρατμοί που σχηματίζονται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, προερχόμενοι από τους υπό κάπνιση ιχθύς, είναι ικανοί να διατηρήσουν τη σχετική υγρασία του αέρα στα αναγκαία επίπεδα. Μετά το τέλος της κάπνισης, το προϊόν στο κέντρο της μάζας του πρέπει να έχει θερμοκρασία 70 – 80°C. Πριν από τη συσκευασία, το προϊόν θα πρέπει απαραίτητα να ψυχθεί το συντομότερο δυνατό (Davis, 2000). Η μέθοδος της θερμής κάπνισης είναι τουλάχιστον επτά φορές ταχύτερη από εκείνη της ψυχρής κάπνισης (Βαρελτζής, 1999). Με τη συγκεκριμένη μέθοδο οι ιχθύες υπόκεινται ως ένα βαθμό σε έψηση και παρατηρείται μεγαλύτερη απορρόφηση των συστατικών του καπνού και μεγαλύτερος βαθμός αντίδρασης αυτών με τα συστατικά της σάρκας (Maga, 1988). Συνήθως, πριν την κάπνιση ή πριν τη συσκευασία, η εξωτερική επιφάνεια των ιχθύων επαλείφεται με σπορέλαιο που συμβάλλει στην ελκυστικότερη εμφάνιση των καπνιστών ιχθύων και αποτελεί ένα λεπτό προστατευτικό επικάλυμμα (Βαρελτζής, 2000).



Εικόνα 3.3: Καπνιστήριο χελιού.

γ. Ηλεκτροστατική κάπνιση: Αποτελεί μέθοδο θερμής κάπνισης. Ο καπνός που παράγεται σε εστίες διέρχεται σήραγγα μέσω ηθμών, όπου υφίσταται ηλεκτρικό πεδίο με υψηλό δυναμικό (20 – 60 KV). Τα σωματίδια του καπνού φορτίζονται θετικά και προσανατολίζονται, ώστε να επικαθίσουν στην αρνητικά φορτισμένη σάρκα των ιχθύων (Χατζηδημητριάδης, 1995). Η αποξήρανση των ιχθύων στη συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται με υπέρυθη ακτινοβολία. Ο ηλεκτροστατικά φιλτραρισμένος καπνός περιέχει μικρότερες συγκεντρώσεις οξέων, φαινολών και καρβονυλίων (Maga, 1988). Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η μείωση του χρόνου κάπνισης στο 1/8 – 1/10 του χρόνου που απαιτείται στις άλλες μεθόδους (Βαρελτζής, 2000).

Άλλες τεχνολογικές εφαρμογές κάπνισης με καπνό από ξύλα είναι (Maga, 1988):

- Η χρησιμοποίηση μόνο της αέριας φάσης του καπνού που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του χαρακτηριστικού αρώματος, αλλά λιγότερο έντονο χρωματισμό.

- Η έμμεση κάπνιση που περιλαμβάνει την ανεξάρτητη κάπνιση βοτάνων ή/ και καρυκευμάτων και την ενσωμάτωσή τους στα τρόφιμα, τα οποία στη συνέχεια υπόκεινται σε θέρμανση. Η έμμεση κάπνιση έχει ως αποτέλεσμα τη μικρότερη ένταση της γεύσης του καπνιστού που, όπως είναι φυσικό, περιορίζεται μόνο στα τμήματα του τρφήμου όπου προστίθενται τα βότανα ή/ και τα καρυκεύματα.

δ. Υγρή κάπνιση: Είναι σχετικά νέα μέθοδος που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στη Γαλλία. Ο υγρός καπνός αποτελεί προϊόν συμπύκνωσης και κλασματικής απόσταξης του καπνού που προέρχεται από την ατελή καύση των ξύλων. Πρόκειται δηλαδή για διάλυμα συμπυκνωμένου καπνού σε νερό ή λάδι, ή εκχύλισμα καπνού σε οργανικούς διαλύτες. Κατά τη συγκεκριμένη μέθοδο κάπνισης οι ιχθύες ψεκάζονται με διαλύματα υγρού καπνού ή εμβυθίζονται σε διαλύματα αυτού ορισμένης πυκνότητας. Η σύνθεση του υγρού καπνού διαφέρει ανάλογα με τη μέθοδο παρασκευής του. Σημαντικό παράγοντα για την ποιότητα του τελικού προϊόντος αποτελεί η ολική οξύτητα του συμπυκνώματος που προκύπτει, η οποία επηρεάζει τη διαλυτότητα των φαινολών. Αν η ολική οξύτητα δεν είναι αρκετά υψηλή, ορισμένες φαινολικές ενώσεις καθιζάνουν κατά τη διάρκεια συντήρησης του υγρού καπνού. Στο εμπόριο κυκλοφορούν και διάφορα συμπυκνώματα καπνού σε στερεή μορφή (π.χ. σε σκόνη), δεδομένου ότι ο υγρός καπνός μπορεί να προσροφηθεί από καρυκεύματα, σάκχαρα, διάφορους τύπους αμύλου, κ.ά.. Η χρησιμοποίηση του υγρού καπνού παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των προαναφερόμενων μεθόδων κάπνισης, όπως:

- Εύκολος και ακριβής προσδιορισμός των αρωματικών ουσιών του καπνού, καθώς και έλεγχος της ποσότητας αυτών που προσλαμβάνει το προϊόν κατά την κάπνιση.
- Εύκολος διαχωρισμός από τον υγρό καπνό των κλασμάτων των ουσιών που είναι επικίνδυνα για τον καταναλωτή (π.χ. πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες: PAH).
- Λειτουργικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους κάπνισης (μείωση προβλημάτων παραγωγής καπνού, μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος, μείωση χρόνου κάπνισης).
- Μικρότερο κόστος παραγωγής καπνιστών προϊόντων.

▪ Μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους κάπνισης. Από πειραματικά δεδομένα έχει αποδειχθεί ότι οι ιχθύες που καπνίζονται με τη μέθοδο της υγρής κάπνισης, σε σύγκριση με εκείνους που καπνίζονται με τις κλασσικές μεθόδους, είναι λιγότερο αρωματικοί και γευστικοί και συντηρούνται για μικρότερο χρονικό διάστημα (Maga 1988, Βαρελτζής 1999).

Τα **συστήματα κάπνισης** των ιχθύων που εφαρμόζονται στη βιομηχανία είναι:

α. Ανοικτό σύστημα κάπνισης (παραδοσιακό): είσοδος και έξοδος του καπνού.

β. Κλειστό σύστημα κάπνισης που αναπτύχθηκε με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και στηρίζεται στην ανακύκλωση του καπνού, ο οποίος διοχετεύεται από το θάλαμο κάπνισης στην εγκατάσταση παραγωγής καπνού, αντικαθιστώντας μέρος του παρεχόμενου αέρα κατά την καύση των ξύλων. Έτσι, επιτυγχάνονται αφενός η ελαχιστοποίηση της ποσότητας του καπνού που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα και αφετέρου η μείωση του σχηματισμού πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, γιατί ο ανακυκλούμενος καπνός έχει μικρότερες συγκεντρώσεις σε οξυγόνο από τον κανονικό αέρα, με συνέπεια τη μείωση της θερμοκρασίας στην οποία γίνεται η καύση των ξύλων.

γ. Ημίκλειστο σύστημα κάπνισης: Είσοδος και έξοδος του καπνού με ανακύκλωσή του σε ποσοστό 10 – 30%.

3.5. Χημικές και βιοχημικές μεταβολές στη σάρκα των καπνιστών ιχθύων – Θρεπτική αξία αυτής

Η διαδικασία κάπνισης των ιχθύων μεταβάλλει τη χημική σύσταση της σάρκας τους, ως αποτέλεσμα της απώλειας υγρασίας και της αλάτισής τους. Η περιεκτικότητα του τελικού προϊόντος σε υγρασία μπορεί να κυμαίνεται από 10 έως 60%, εξαρτώμενη από την ένταση της αφυδάτωσής του (Opstvedt, 1988). Η συγκέντρωση του χλωριούχου νατρίου στο τελικό προϊόν κυμαίνεται σε ποσοστό μεταξύ 1% - 10% (Burt, 1988). Εάν το καπνιστό προϊόν προορίζεται για κύριο πιάτο, αρκεί η περιεκτικότητα της σάρκας του σε αλάτι να είναι 2 – 3% (Horner, 1992).

Οι χαρακτηριστικές οργανοληπτικές ιδιότητες των καπνιστών ιχθύων (γεύση, άρωμα, χρώμα) είναι αποτέλεσμα της συνολικής διαδικασίας κάπνισης και των

αντιδράσεων συστατικών της σάρκας τους με τα συστατικά του καπνού. Έχουν ήδη αναφερθεί οι πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξη του αρώματος, της γεύσης και του χρώματος των καπνιστών ιχθύων. Η επίδραση της διαδικασίας κάπνισης στην υφή των τελικών προϊόντων εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται ο τρόπος και ο χρόνος αλάτισης, ο βαθμός αποξήρανσης, η θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα κίνησης του καπνού και των δομικών ουσιών της σάρκας των ιχθύων (πρωτεΐνες, λίπη, κ.α.) (Horner, 1992, Βαρελτζής, 1999). Η θέρμανση των ιχθύων κατά την κάπνιση προκαλεί διαφόρου βαθμού μετουσίωση (πήξη) των πρωτεϊνών της σάρκας τους, που, ως ένα σημείο, είναι επιθυμητή, γιατί, σε κανονικές συνθήκες, αυξάνει την ευπεπτότητά τους (Damodaran, 1996).



Εικόνα 3.4: Φιλέτο καπνιστού χελιού.

Η διαδικασία της κάπνισης επηρεάζει τη θρεπτική αξία των ιχθύων κυρίως με τη σχετική μείωση της βιολογικής διαθεσιμότητας των **πρωτεϊνών**. Κατά την αλάτιση παρατηρούνται κάποιες μικρές απώλειες πρωτεϊνών (π.χ. μυοσίνη), εξαιτίας της διαλυτότητάς τους στην άλμη (Bhuiyan *et al.*, 1986a, Motohiro, 1988). Η αποξήρανση πριν την κάπνιση προκαλεί αμελητέα υποβάθμιση των πρωτεϊνών, όταν γίνεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 70°C (Opstvedt, 1988). Η μείωση της βιολογικής διαθεσιμότητας των πρωτεϊνών της σάρκας των ιχθύων κατά το στάδιο της κάπνισης εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το χρόνο κάπνισης. Όπως προαναφέρθηκε, πολλά συστατικά του καπνού αντιδρούν με αμινοξέα και πρωτεΐνες

των επιφανειακών στρωμάτων της σάρκας των ιχθύων. Ειδικά τα καρβονύλια και οι φαινόλες αντιδρούν με τη λυσίνη, την αργινίνη, τη μεθειονίνη, την τρυπτοφάνη (Bhuiyan *et al.*, 1986a, Horner, 1992). Η μείωση της θρεπτικής αξίας των πρωτεϊνών των ολόκληρων καπνιστών ιχθύων δεν είναι σημαντική (Horner, 1992, Sikorski *et al.*, 1995).

Η σταθερότητα των **λιπιδίων** κατά την κάπνιση, εξαρτάται από τη συγκέντρωση του χλωριούχου νατρίου, τη μείωση του ΣΕΥ, την παρουσία νιτρωδών αλάτων, τον τύπο του καπνού (ξύλου ή υγρός), το είδος και την ένταση της κάπνισης (Cuppett *et al.*, 1989, Flick *et al.*, 1992). Μικρές συγκεντρώσεις του χλωριούχου νατρίου στη σάρκα των ιχθύων λειτουργούν προοξειδωτικά, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις αυτού αναχαιτίζουν την οξείδωση των λιπιδίων (Nambudiry, 1980, Bligh *et al.*, 1988, Cuppett *et al.*, 1989). Η εμβάπτιση των ιχθύων σε άλμη, λόγω της απουσίας οξυγόνου, καθυστερεί πάρα πολύ τις οξειδωτικές διεργασίες των λιπιδίων. Ένας μικρός βαθμός τάγγισης της σάρκας που παρατηρείται στην περίπτωση αυτή είναι επιθυμητός, γιατί αναπτύσσεται λεπτό και ιδιαίτερα αποδεκτό άρωμα μετά την κάπνιση (Horner, 1992). Οι υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν την οξείδωση των λιπιδίων της σάρκας των ιχθύων (Flick *et al.*, 1992), αν και κάποιες έρευνες σχετικά με την επίδραση της θερμής κάπνισης στα λιπαρά οξέα των λιπιδίων της σάρκας λιπαρών ιχθύων απέδειξαν ότι αυτή δεν είναι σημαντική (Bhuiyan *et al.*, 1986c). Η οξείδωση των λιπιδίων μπορεί να μειωθεί με τη χρήση αντιοξειδωτικών ουσιών (μεμονωμένα ή σε συνδυασμό). Η προσθήκη νιτρωδών αλάτων στην άλμη μειώνει σημαντικά το επίπεδο οξείδωσης (Cuppett *et al.*, 1989, Flick *et al.*, 1992). Τα νιτρώδη άλατα σχηματίζουν ένα ισχυρό σύμπλοκο με τις χρωστικές του αίματος, εμποδίζοντας την απελευθέρωση του σιδήρου που αυτές περιέχουν και, κατά συνέπεια, την καταλυτική του δράση στην οξείδωση των λιπιδίων. Το μεγαλύτερο αντιοξειδωτικό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με τη χρήση καπνού από ξύλο και την προσθήκη νιτρώδους νατρίου στην άλμη (Cuppett *et al.*, 1989, Foegeding *et al.*, 1996).

Η υδρολυτική διάσπαση των λιπιδίων σε καπνιστούς με θερμή κάπνιση ιχθύες αποδεικνύεται, από σχετικές μελέτες, πολύ μικρής έκτασης (αύξηση των FFA έως 0.1%) (Bhuiyan *et al.*, 1986c).

Οι λιποδιαλυτές βιταμίνες παρουσιάζονται γενικά πιο σταθερές από τις υδατοδιαλυτές κατά τη διαδικασία της κάπνισης (Steiner – Asiedu *et al.*, 1991), αν και έχουν την τάση να οξειδώνονται σε υψηλές θερμοκρασίες παρουσία οξυγόνου. Αναφορικά με τις βιταμίνες A και D, σε καπνιστούς με θερμή κάπνιση λιπαρούς ιχθύς όπως σολομό, ρέγγα, σκουμπρί δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες απώλειες αυτών (Bhuiyan *et al.*, 1993, Lall και Parazzo, 1995). Οι συγκεντρώσεις της ατοκοφερόλης δεν επηρεάζονται από τη διαδικασία κάπνισης των ιχθύων (Bhuiyan *et al.*, 1993, Waagbø *et al.*, 1993). Όσον αφορά στις απώλειες των περιεχόμενων βιταμινών της ομάδας B κατά τη διαδικασία κάπνισης, αυτές εξαρτώνται από την ένταση της επεξεργασίας των ιχθύων (αλάτιση, αποξήρανση, κάπνιση). Γενικά, είναι πολύ μικρές για τις ριβοφλαβίνη και νιασίνη, ενώ η συγκέντρωση της βιταμίνης B₁₂ δεν επηρεάζεται καθόλου (Burt, 1988, Bhuiyan *et al.*, 1993). Η αλάτιση και η κάπνιση των ιχθύων έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης της θειαμίνης στη σάρκα τους που εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που αποβάλλεται (Lall και Parazzo, 1995). Κάποιες απώλειες παρατηρούνται και στην περιεχόμενη πυριδοξίνη (Steiner – Asiedu *et al.*, 1991).

3.6. Προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την κάπνιση και τη συντήρηση των καπνιστών ιχθύων

Η παραγωγή καπνιστών ιχθύων υψηλής και σταθερής ποιότητας εξαρτάται από την άριστη ποιότητα της πρώτης ύλης, τη διατήρηση συγκεκριμένων επιπέδων υγρασίας, λίπους, χλωριούχου νατρίου και, κατά περίπτωση, χρωστικών στη σάρκα τους, όπως επίσης και από το βαθμό αποξήρανσης και της εναπόθεσης του καπνού.

Μερικά από τα προβλήματα που συνδέονται με τη διαδικασία παραγωγής καπνιστών ιχθύων είναι:

- Η μικρή μείωση της ενεργότητας του νερού (a_w) της σάρκας των ιχθύων, όταν αυτοί αλατίζονται ολόκληροι, δηλαδή με το δέρμα και τα λέπια που είναι οι σημαντικότεροι φραγμοί για τη διείσδυση του αλατιού στη σάρκα τους ή όταν περιέχουν μεγάλο ποσοστό λίπους κάτω από το δέρμα που περιορίζει την έξοδο νερού από τους ιστούς και τη διείσδυση του αλατιού σε αυτούς (Horner, 1992).

- Η ύπαρξη, σε ορισμένες περιπτώσεις, ανεπιθύμητου λεπτού στρώματος αλατιού στην επιφάνεια των ιχθύων μετά την αποξήρανση και κάπνισή τους, ως αποτέλεσμα της χρησιμοποίησης κορεσμένης άλμης για την αλάτισή τους (Horner, 1992).
- Η ύπαρξη έντονης πρωτεϊνικής «κρούστας» στην επιφάνεια των καπνιζόμενων ιχθύων που εμποδίζει τη διείσδυση του καπνού στα εσωτερικά στρώματα της σάρκας τους, με αποτέλεσμα την ατελή διάχυση του αρώματος του καπνού στο τελικό προϊόν (Βαρελτζής, 1999). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη χαμηλή σχετική υγρασία του χώρου αποξήρανσης και κάπνισης με αποτέλεσμα την ταχύτερη αφυδάτωση και σκλήρυνση των επιφανειακών στρωμάτων των ιχθύων.
- Η επίτευξη σταθερού χρωματισμού των τελικών προϊόντων.
- Τα καπνιστά προϊόντα ιχθύων έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους νωπούς ιχθύς από τους οποίους προέρχονται, κυρίως λόγω της συνεργικής δράσης της αλάτισης και της αφυδάτωσης που έχουν ως συνέπεια τη μείωση της τιμής της ενεργότητας του νερού, του καπνού και, ενδεχόμενα, της συσκευασίας τους, όταν γίνεται σε συνθήκες μειωμένου οξυγόνου (Reduced Oxygen Packaging: ROP). Η **συσκευασία σε συνθήκες μειωμένου οξυγόνου** περιλαμβάνει μια πλειάδα εφαρμογών (σε κενό, σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες – MAP: Modified Atmosphere Packaging, σε ελεγχόμενες ατμόσφαιρες – CAP: Controlled Atmosphere Packaging κ.ά.) και συνεισφέρει στη μακρόχρονη συντήρηση των καπνιστών ιχθύων, δεδομένου ότι:
- δημιουργεί αναερόβιο περιβάλλον που αναχαιτίζει την ανάπτυξη των αερόβιων σηψιγόνων οργανισμών, όπως είναι τα Gram⁻ βακτήρια (π.χ. *Pseudomonas*) και των αερόβιων ζυμών και μυκήτων, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη δυσάρεστων οσμών, γλοιώδους επιστρώματος και αλλαγών στην υφή – σύσταση των προϊόντων,
- περιορίζει σημαντικά τις οξειδωτικές διαδικασίες των λιπιδίων (Davis, 2000)
- αποτρέπει την απώλεια υγρασίας που έχει ως αποτέλεσμα τη συρρίκνωση του προϊόντος.

Ο χρόνος συντήρησης των καπνιστών ιχθύων εξαρτάται από το είδος των ιχθύων και την ποιότητά τους, τη μορφή επεξεργασίας τους (π.χ. ολόκληροι ή σε φιλέτα), την ένταση της επεξεργασίας τους κατά την αλάτιση και την αποξήρανση, το είδος της κάπνισης που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τους (ψυχρή ή θερμή) και τις συνθήκες συσκευασίας και συντήρησής τους. Καπνιστά προϊόντα που παρασκευάζονται από λευκόσαρκους ιχθύς συντηρούνται γενικά καλύτερα από εκείνα που παρασκευάζονται από ιχθύς με υψηλή λιποπεριεκτικότητα, λόγω του μικρότερου βαθμού των οξειδωτικών διεργασιών των λιπιδίων που συμβαίνουν στη σάρκα τους. Επίσης, ιχθύες που έχουν υποστεί έντονη επεξεργασία κατά τη διάρκεια της κάπνισής τους (ισχυρή αλάτιση, έντονη αποξήρανση και κάπνιση) διατηρούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η έντονη μείωση της ενεργότητας του νερού οδηγεί σε επιτάχυνση της οξείδωσης των λιπών της σάρκας των καπνιστών ιχθύων. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται πιθανόν στην αύξηση της συγκέντρωσης μεταλλικών στοιχείων που δρουν ως καταλύτες (Burt, 1988, Olley *et al.*, 1988). Η συσκευασία υπό κενό δρα αποτελεσματικότερα στην πρόληψη της οξείδωσης σε σύγκριση με τη χρήση αντιοξειδωτικών παραγόντων (Flick *et al.*, 1992).

Κατά τη θερμή κάπνιση η υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε όλη τη μάζα του προϊόντος συνεισφέρει στην ασφάλειά του, γιατί επιτυγχάνεται κάποιος βαθμός θερμικής εξυγίανσης (Sikorski *et al.*, 1995, Davis, 2000). Η υγειονομική ποιότητα του προϊόντος στη συνέχεια διασφαλίζεται ακόμη περισσότερο με την όσο δυνατόν ταχύτερη ψύξη του, την κατάλληλη και σε άριστες υγειονομικές συνθήκες συσκευασία του και τη ρύθμιση σταθερής θερμοκρασίας συντήρησής του υπό ψύξη ή κατάψυξη (Bell *et al.*, 1995, Davis, 2000). Συνιστάται ιδιαίτερη προσοχή στους χειρισμούς και την τήρηση των απαραίτητων συνθηκών υγιεινής κατά την παραγωγή των καπνιστών ιχθύων, γιατί η διάρκεια συντήρησής του επηρεάζεται από το είδος και τον πληθυσμό της χλωρίδας επιμόλυνσης. Υψηλή επιμόλυνση με ψυχότροφα είδη βακτηρίων, ζυμών και μυκήτων περιορίζει το χρόνο συντήρησης.

Η αντιμικροβιακή δράση της κάπνισης σε συνδυασμό με τη συσκευασία σε συνθήκες μειωμένου οξυγόνου και ιδιαίτερα σε κενό έχει ως αποτέλεσμα την επιλεκτική ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των οξυγαλακτικών βακτηρίων (Beltrán *et al.*, 1989, Paleari *et al.*, 1990, Bell *et al.*, 1995), με συνέπεια την πτώση

του pH της σάρκας των καπνιστών ιχθύων, μέχρις ότου η πρωτεόλυση συνεισφέρει στην εκ νέου αύξησή του (Civera *et al.*, 1995).

Η πορεία υποβάθμισης των καπνιστών ιχθύων σε θερμοκρασίες ψύξης είναι σχεδόν όμοια με εκείνη των νωπών ιχθύων, ακολουθώντας περίπου τα ίδια πρότυπα μεταβολών της οσμής και της γεύσης των προϊόντων. Ο τελικός χαρακτήρας της οσμής των καπνιστών ιχθύων που έχουν αλλοιωθεί είναι ίδιος με εκείνο των νωπών ιχθύων: οσμή αμμωνιακή, κοπρανώδης και θειωδών. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης των καπνιστών ιχθύων, το άρωμα του καπνού γίνεται ασθενέστερο, πιο ήπιο ή παίρνει μη αποδεκτό πισσώδη χαρακτήρα (Connell, 1990).

Με το Π.Δ. 412/94 (Παράρτημα Β', Κεφάλαιο VIII, σημείο 1, 3^η παράγραφος) το όριο ελάχιστης διατηρησιμότητας των διαφόρων ειδών μεταποιημένων ιχθύων καθορίζεται με ευθύνη του παρασκευαστή. Επίσης, η προβλεπόμενη επισήμανση του τροφίμου, σύμφωνα με το άρθρο 11 του Κ.Τ. και Π., περιλαμβάνει και τις οδηγίες συντήρησης των προϊόντων. Με την πάροδο του ορίου συντήρησης, αυτά κρίνονται ακατάλληλα προς κατανάλωση, ως «μη πληρούντα τις διατάξεις της ισχύουσας νομοθεσίας».

3.7. Κίνδυνοι που εγκυμονούνται στους καπνιστούς ιχθύες

Οι κίνδυνοι που μπορεί να εγκυμονούνται στους καπνιστούς ιχθύς οφείλονται σε χημικούς και βιολογικούς παράγοντες.

Επικίνδυνες χημικές ουσίες για την υγεία του ανθρώπου που μπορεί να περιέχονται στα καπνιστά τρόφιμα, πέρα από εκείνες που ενδεχόμενα μπορεί να ανευρεθούν και στους νωπούς ιχθύς, λόγω περιβαλλοντικές υποβάθμισης των βιοτόπων τους (dioxine-like PCBs, DDT, κ.ά.) είναι οι **Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAH)** που μπορεί να περιέχονται στον καπνό και οι **Νιτροζαμίνες**. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι PAH ανευρίσκονται και στη φύση ως αποτέλεσμα της χημικής ρύπανσης του περιβάλλοντος και ότι μπορεί να περιέχονται σε διάφορα τρόφιμα στην πρωτογενή τους μορφή (φυτικής προέλευσης, όπως τα σιτηρά ή ζωϊκής προέλευσης, όπως είναι τα οστρακοειδή). Σε τελεόστεους ιχθύες δεν έχουν ανιχνευθεί, ακόμη και σε δείγματα που προέρχονταν από περιοχές με σχετική

χημική ρύπανση, πιθανόν λόγω της ικανότητάς του να μεταβολίζουν τους PAH και να τους αποβάλλουν ως διαλυτά παράγωγα στο νερό (Sikorski, 1988).

Τα καπνιστά τρόφιμα θεωρείται ότι μπορεί να είναι επιβαρυσμένα με PAH που σχηματίζονται κατά τη θερμική διάσπαση της λιγνίνης και της κυτταρίνης σε υψηλές θερμοκρασίες. Πολλές από αυτές τις ενώσεις είναι καρκινογόνες. Το βενζο[α]πυρένιο (3,4-βενζοπυρένιο) χρησιμοποιείται ως δείκτης της ικανότητας καρκινογένεσης των καπνιστών τροφίμων (Sikorski *et al.*, 1995). Η περιεκτικότητα του καπνού σε PAH εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία καύσης των ξύλων. Η συγκέντρωση του βενζο[α]πυρενίου στον καπνό αυξάνεται γραμμικά από τους 400 έως τους 1000°C (Maga, 1988). Για την πρόληψη του σχηματισμού του, διάφοροι ερευνητές προτείνουν την τήρηση της θερμοκρασίας αποδόμησης των συστατικών του ξύλου κάτω από τους 400°C. Είναι δυνατόν, με την επιλογή του κατάλληλου είδους ξύλου και την εφαρμογή ειδικών συνθηκών λειτουργίας του συστήματος παραγωγής καπνού (έλεγχος της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα), να επιτευχθεί καπνός που να περιέχει αυξημένες ποσότητες φαινολών και καρβονυλικών ενώσεων και αμελητέες ή μηδαμινές συγκεντρώσεις PAH. Άλλοι παράγοντες που συντελούν στη μείωση της συγκέντρωσης των PAH στον καπνό παρατίθενται στον Πίνακα 4.

Οι συγκεντρώσεις των PAH στα εδώδιμα τμήματα των καπνιστών ιχθύων είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης αυτών στον καπνό. Οι συγκεντρώσεις του βενζο[α]πυρενίου είναι υψηλότερες στους ιχθύς που καπνίζονται σε παραδοσιακά καπνιστήρια, απ' ό,τι σε εκείνους που καπνίζονται σε σύγχρονες μονάδες. Η συγκέντρωσή του σε όλα τα εδώδιμα τμήματα των καπνιστών ιχθύων κυμαίνεται μεταξύ 0.5 έως 3.5 μg/kg, εξαρτώμενη από τον τύπο του προϊόντος (ολόκληροι ιχθύες ή φιλέτα), το μέγεθος των ιχθύων όταν πρόκειται για ολόκληρους ιχθύς, την ύπαρξη δέρματος ή όχι και τις συνθήκες κάπνισης (Sikorski *et al.*, 1995).

Πίνακας 4: Παράγοντες που συντελούν στη μείωση των επιπέδων των PAH στον καπνό και ποσοστό μείωσης που επιτυγχάνεται.

Παράγοντες που συντελούν στη μείωση της συγκέντρωσης των PAH στον καπνό	Ποσοστό μείωσης των επιπέδων των PAH που επιτυγχάνεται (Maga, 1988)
Η μείωση της θερμοκρασίας κατά την παραγωγή του καπνού (cooling) (Maga, 1988)	25 %
Η διαβροχή του καπνού με νερό (washing) (Maga, 1988)	20 – 30 %
Η αύξηση της απόστασης της εγκατάστασης παραγωγής καπνού από το θάλαμο κάπνισης (Maga, 1988, Horner, 1992)	40 %
Η τοποθέτηση ηθμών (μεταλλικοί ή από fiberglass) μεταξύ της εγκατάστασης παραγωγής καπνού και του θαλάμου κάπνισης για την απομάκρυνση της φάσης των έμμορφων σωματιδίων (Maga, 1988, Horner, 1992)	90 %

Κατά τη διάρκεια συντήρησης των καπνιστών ιχθύων, οι συγκεντρώσεις των PAH μειώνονται σημαντικά (Simko, 1991). Η βιταμίνη Α και διάφοροι άλλοι αντιοξειδωτικοί παράγοντες (π.χ. BHT) παρεμποδίζουν, εν μέρει, την καρκινογενετική ικανότητα των PAH (Cangolli, 1986). Σύμφωνα με τον Gangolli (1986) «λαμβάνοντας υπόψη τη σχετικά μικρή συνεισφορά των PAHs που προέρχονται από καπνιστά τρόφιμα στην εκτιμώμενη ημερήσια πρόσληψή τους με την τροφή από τον καταναλωτή στην Αγγλία, καθώς και δεδομένα βιολογικών δοκιμών σε πειραματόζωα και συνεκτιμώντας την προστατευτική δράση διαφόρων συστατικών που περιλαμβάνονται στην ανθρώπινη διατροφή, οδηγούμεθα στο συμπέρασμα ότι οι PAH στα καπνιστά τρόφιμα είναι απίθανο να παρουσιάσουν μείζονα καρκινογενετικό κίνδυνο στον άνθρωπο».

Οι νιτροζαμίνες είναι καρκινογόνες ενώσεις που σχηματίζονται από την αντίδραση οξειδίων του αζώτου κυρίως με δευτεροταγείς και λιγότερο με τριτοταγείς αμίνες της σάρκας των ιχθύων, όπως είναι η διμεθυλαμίνη και τριμεθυλαμίνη αντίστοιχα. Οι συνθήκες της κάπνισης μπορεί να ευνοήσουν το σχηματισμό διαφόρων N-νιτροζο-ενώσεων (-NOx) στον καπνό (Daun, 1979, Maga, 1988,

Sikorski, 1988). Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία καύσης των ξύλων για την παραγωγή καπνού, τόσο μεγαλύτερα είναι τα επίπεδα των συγκεκριμένων οξειδίων του αζώτου στον καπνό (Maga, 1988). Επίσης, τα νιτρώδη άλατα που προστίθενται στην άλμη μπορεί να εμπλακούν στο σχηματισμό χαμηλών συγκεντρώσεων νιτροζαμινών (Lindsay, 1996). Η περιεκτικότητα της σάρκας των ιχθύων σε τριμεθυλαμίνη και διμεθυλαμίνη εξαρτάται από τη συγκέντρωση και το βαθμό διάσπασης του TMAO και, κατά συνέπεια, από την προέλευσή τους (θαλάσσιοι ή γλυκών νερών), το είδος και το βαθμό νοπότητάς τους. Η διμεθυλαμίνη σχηματίζει εύκολα N-νιτροζοδιμεθυλαμίνη (NDMA), ενώ η τριμεθυλαμίνη σχηματίζει ίχνη νιτροζαμίνης (Sikorski, 1988). Οι αντιοξειδωτικοί παράγοντες που υπάρχουν φυσιολογικά στη σάρκα των ιχθύων (π.χ. τοκοφερόλη) ή σχηματίζονται κατά την κάπνιση μειώνουν τη δυνατότητα σχηματισμού των νιτροζαμινών από τα νιτρώδη άλατα (Foegeding *et al.*, 1996). Γενικά, η περιεκτικότητα των νιτροζαμινών στα εδώδιμα τμήματα των καπνιστών ιχθύων είναι μικρότερη από εκείνη των καπνιστών κρεάτων (Sikorski *et al.*, 1995).

Οι **βιολογικοί κίνδυνοι** που σχετίζονται με την κατανάλωση ιχθύων γενικά, αφορούν κυρίως βακτήρια και παράσιτα που μπορούν, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να προκαλέσουν προβλήματα στους καταναλωτές. Ορισμένα παθογόνα βακτήρια αποτελούν μέρος της φυσιολογικής μικροβιακής χλωρίδας των θαλάσσιων νωπών ιχθύων (π.χ. βακτήρια των γενών *Vibrio* και *Clostridium*), ενώ άλλοι προέρχονται είτε από μολυσμένο υδάτινο περιβάλλον, είτε από επιμόλυνση των ιχθύων κατά τη διακίνηση, προετοιμασία, επεξεργασία και συντήρησή τους (π.χ. *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Shigella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*). Τα είδη των παθογόνων βακτηρίων που μπορεί να υπάρχουν στους καπνιστούς ιχθύς και να αναπτυχθούν κατά τη συντήρησή τους εξαρτώνται επίσης από την τεχνολογία παραγωγής τους (συγκέντρωση του χλωριούχου νατρίου στο τελικό προϊόν, βαθμός αφυδάτωσης, εφαρμογή ψυχρής ή θερμής κάπνισης), τον τρόπο συσκευασίας και τις συνθήκες συντήρησής τους. Οι σημαντικότεροι μικροβιολογικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τους καπνιστούς ιχθύς, τους συσκευασμένους σε συνθήκες μειωμένου οξυγόνου που συντηρούνται υπό ψύξη και οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν τροφικές δηλητηριάσεις είναι:

- Το *Cl. Botulinum* τύπου E κυρίως, αλλά και τα μη πρωτελυτικά στελέχη B και F που μπορούν να αναπτυχθούν σε θερμοκρασία ψύξης $>3.3^{\circ}\text{C}$ (Sikorski *et al.*, 1995, FDA, 1998, Davis, 2000). Η συνήθης έψηση των ιχθύων καταστρέφει τις βλαστικές μορφές, οι σπόροι όμως επιβιώνουν στις θερμοκρασίες αυτές. Η τροφική δηλητηρίαση οφείλεται σε μια σειρά νευροτοξινών (7) που θεωρούνται οι πιο επικίνδυνες γνωστές αιτίες οξείας δηλητηρίασης. Οι νευροτοξίνες αυτές καταστρέφονται με τη συνήθη θέρμανση των τροφίμων για την προετοιμασία γεύματος (Gibson, 1995, Pariza, 1996, FDA, 2001). Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την ανάπτυξη του συγκεκριμένου βακτηρίου και την παραγωγή τοξίνης είναι η θερμοκρασία συντήρησης του προϊόντος και η συγκέντρωση του NaCl. Με συγκέντρωση του NaCl στην υδάτινη φάση 3.5% και συντήρηση των καπνιστών ιχθύων σε θερμοκρασία 3°C πρακτικά εξαλείφεται ο κίνδυνος που προέρχεται από το *Cl. Botulinum* (Gibson, 1995, Sikorski *et al.*, 1995). Άλλα εμπόδια (hurdles) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή σε συνδυασμούς μεταξύ τους για την επιβράδυνση της μικροβιακής ανάπτυξης είναι η θέρμανση των ιχθύων στους 90°C και πάνω για 10 λεπτά τουλάχιστον (Gibson, 1995), ή τιμή του ΣΕΥ (a_w) < 0.97 ή τιμή του pH του προϊόντος < 5 (Gibson, 1995, FDA, 1998, 2001).
- Η *Listeria monocytogenes*: Είναι θερμοευαίσθητη και καταστρέφεται με θέρμανση στους 70°C για 2 min ή ισοδύναμου αποτελέσματος (Gibson, 1995). Η επικινδυνότητά της εντοπίζεται στους ιχθύς που υποβλήθηκαν σε ψυχρή κάπνιση. Κατά τη συντήρησή τους, μπορεί να αναπτυχθεί σε θερμοκρασίες ψύξης μικρότερες από εκείνες που ισχύουν για το *Cl. Botulinum*, όμως η συσκευασία σε κενό ή σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες αναχαιτίζει την ανάπτυξή της (Davis, 2000).
- Ο *Staphylococcus aureus*: Πέρα από τον κίνδυνο μόλυνσης του καταναλωτή που εγκυμονεί η παρουσία του στους ιχθύς, ορισμένα στελέχη του παράγουν θερμοανθεκτικές εντεροτοξίνες (Pariza, 1996). Το συγκεκριμένο βακτήριο αναπτύσσεται σε θερμοκρασίες $7 - 45^{\circ}\text{C}$ και η παραγωγή τοξινών συμβαίνει σε θερμοκρασίες $> 15^{\circ}\text{C}$ (Ahmed, 1991, Gibson, 1995).

Σε έρευνες που έχουν γίνει κατά καιρούς ανά τον κόσμο σε εμπορικά προϊόντα διαφόρων ειδών καπνιστών ιχθύων, σπάνια ανιχνεύθηκαν δυνητικά παθογόνα ψυχρόφιλα ή μεσόφιλα βακτήρια όπως *Cl. Botulinum*, *L. monocytogenes*, *Aeromonas*

Hydrophila, *Yersinia enterocolytica*, *Bacillus cereus*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* και *E.coli*, ή σπόροι των σπορογόνων παθογόνων βακτηρίων όπως του *Cl.Botulinum* (Previdi *et al.*, 1991, Dodds *et al.*, 1992, Bell *et al.*, 1995, Civera *et al.*, 1995, Heinitz και Johnson, 1998).

Η παρουσία παρασίτων στους καπνιστούς ιχθύς (π.χ. νηματώδη του γένους *Anisakis*, κεστώδη του γένους *Diphyllobothrium*) είναι απόρροια της ύπαρξής τους στην πρώτη ύλη και της μη κατάλληλης θερμικής επεξεργασίας τους. Πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει η επιβίωση παρασίτων σε ιχθύς που καπνίσθηκαν με ψυχρή κάπνιση (Sikorski *et al.*, 1995). Η θερμική επεξεργασία των ιχθύων εξαλείφει ουσιαστικά κάθε παρασιτικό κίνδυνο (Ahmed, 1991).

3.8. Ποιοτική αξιολόγηση των καπνιστών ιχθύων

Στην εποχή μας, η ποιότητα αντιπροσωπεύει ίσως τη σημαντικότερη παράμετρο του σχεδιασμού, της παραγωγής και της κατανάλωσης ενός τροφίμου. Ο καταναλωτής είναι ο πιο σημαντικός κριτής της ποιότητάς του, δεδομένου ότι καθορίζει την εμπορική επιτυχία και τη μελλοντική πορεία του προϊόντος. Οι καπνιστοί ιχθύες θεωρούνται ως ιδιαίτερο έδεσμα που προορίζεται για κατανάλωση σε ειδικές περιπτώσεις, μπορούν όμως να αποτελέσουν και κύριο πιάτο, ως εναλλακτική λύση στην κατανάλωση νωπών ιχθύων όταν η περιεκτικότητά τους σε χλωριούχο νάτριο είναι 2 – 3% (Horner, 1992). Η αποδοχή των καπνιστών ιχθύων εκ μέρους των καταναλωτών εξαρτάται από:

α. Τη διατροφική αξία του προϊόντος: Θρεπτική αξία, οργανοληπτική ή ηδονιστική ποιότητα.

β. Τη σταθερή ποιότητα και την ασφάλειά του.

γ. Ψυχολογικούς – κοινωνικούς παράγοντες σε σχέση με τη χώρα, την εποχή, το κοινωνικό περιβάλλον, το ίδιο το άτομο όπως:

- Έκφραση κοινωνικού ή οικονομικού επιπέδου: π.χ. κατανάλωση προϊόντων πολυτελείας,

- Διατροφικές συνήθειες – γαστρονομική παράδοση: π.χ. επιθυμία για «φυσικά» τρόφιμα, χωρίς συντηρητικά, για παραδοσιακά προϊόντα, αποφυγή προϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο, κ.τ.λ.,
- Συνθήκες εργασίας, διαθέσιμος χρόνος για την προετοιμασία γευμάτων, διακοπές.

δ. Τις συνθήκες χρήσης του προϊόντος:

- Την ικανότητα συντήρησής του, που μεταφράζεται στη διάρκεια ζωής του προϊόντος μετά την αγορά του και μετά την αποσυσκευασία του,
- Την ευκολία χρήσης του: ευκολία αποθήκευσης (ψυγείο, κατάψυξη), ανθεκτικότητα και ευκολία διάνοιξης της συσκευασίας, ευκολία στην προετοιμασία του για κατανάλωση.

ε. Την τιμή του προϊόντος και ιδιαίτερα τη σχέση τιμής – ποιότητας.

στ. Τη διαθεσιμότητά του στην αγορά και την παρουσιάσή του στο καταναλωτικό κοινό: Ευκολία ανεύρεσης του προϊόντος στην περιοχή διαμονής του καταναλωτή, διαφήμιση, κλπ.

ζ. Την επισήμανσή του που πρέπει να είναι ενημερωτική αλλά όχι παραπλανητική, στην οποία πρέπει να αναφέρονται, μεταξύ άλλων, η επωνυμία της εταιρίας παραγωγής, ο αριθμός της άδειας λειτουργίας της εγκατάστασης παραγωγής και, εάν πρόκειται για εγκατάσταση παραγωγής της Ε.Ε., ο κωδικός αριθμός Κτηνιατρικής Έγκρισης της Ε.Ε. αυτής, το καθαρό βάρος του προϊόντος και οι ενδείξεις διατηρησιμότητας ή κατανάλωσής του.

Η ποιοτική αξιολόγηση των καπνιστών ιχθύων περιλαμβάνει όλες τις γενικές κατηγορίες μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την ποιοτική εκτίμηση των νωπών ιχθύων.



Εικόνα 3.5: Τεμαχισμένο φιλέτο καπνιστού χελιού.

3.8.1. Οργανοληπτικός έλεγχος των καπνιστών ιχθύων

Οι εξετάσεις με τις αισθήσεις αποτελούν τη σημαντικότερη μέθοδο για την εκτίμηση της ποιότητας των καπνιστών ιχθύων (Botta, 1995, Βαρελτζής, 1999). Αυτή στηρίζεται στην εκτίμηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους, όπως: χρώμα, αλμυρότητα, ένταση καπνού, υφή – σύσταση (χυμώδες), άρωμα – γεύση, ολική αποδεκτικότητα. Η αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων γίνεται από ομάδα ειδικά εκπαιδευμένων δοκιμαστών.

3.8.2. Μηχανικές και φυσικές μέθοδοι

Οι πιο σημαντικές μέθοδοι της κατηγορίας αυτής είναι:

α. Η μέτρηση του χρώματος

Η ένταση του χρώματος των καπνιστών ιχθύων μπορεί να εκτιμηθεί από τους δοκιμαστές, αλλά αντικειμενικές μετρήσεις του μπορούν να επιτευχθούν μόνο με ειδικές συσκευές που χρησιμοποιούν φίλτρα ή μαθηματικά μοντέλα για να μιμηθούν την ανταπόκριση του ματιού: **χρωματόμετρα** που χρησιμοποιούν συνήθως τις μαθηματικές σταθερές χρώματος του Hunter ή **σπεκτροφωτόμετρα**, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στις αρχές της μέτρησης του χρώματος που έχει καθορίσει η CIE (Commission Internationale de l' Eclairage) (Francis και Clydesdale, 1975, Ling *et al.*, 1996, Clydesdale, 1998).

β. Η μέτρηση της συνεκτικότητας της σάρκας των καπνιστών ιχθύων (Botta, 1995, Βαρελτζής, 1999).

Αυτή επιτυγχάνεται κυρίως με τη Δοκιμή διείσδυσης ή διάτρησης (Puncture Test) που χρησιμοποιείται ευρύτατα, καθώς και με τη Δοκιμή διάτμησης (Kramer Shear Force Method) και δίνει πληροφορίες για τις μεταβολές της δομαιοσθησίας της σάρκας των καπνιστών ιχθύων κατά τη διάρκεια συντήρησής τους. Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα, όπως το *διατρητόμετρο (Penetrometer)* ή η *μονάδα διάτμησης του Kramer (Kramer Shear Cell)* που συνήθως είναι ενσωματωμένα σε ειδικά *δυναμόμετρα* (π.χ. Ottawa Texture Measuring System, Instron Universal Testing Machine). Τα φυσικά μεγέθη που μετρούνται και μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τη συνεκτικότητα της σάρκας των καπνιστών ιχθύων είναι η σκληρότητα, η ελαστικότητα, η αντοχή ρήξης, η δύναμη διάτμησης, κ.ά.. Τα ειδικά δυναμόμετρα όπως π.χ. το «Instron 2000» έχουν τη δυνατότητα να αναλύουν και να υπολογίζουν με βάση μαθηματικές εξισώσεις τις τιμές των προαναφερόμενων μηχανικών ιδιοτήτων των προς εξέταση δειγμάτων.

3.8.3. Φυσικοχημικές εξετάσεις

Μέτρηση του pH και της ενεργότητας του νερού (a_w) της σάρκας των καπνιστών ιχθύων.

3.8.4. Χημικές αναλύσεις με τις οποίες προσδιορίζεται η χημική σύσταση των καπνιστών ιχθύων

Οι εξετάσεις αυτές αφορούν στον προσδιορισμό της υγρασίας, της τέφρας, των πρωτεϊνών, των ολικών λιπαρών ουσιών, του χλωριούχου νατρίου και του νιτρώδους νατρίου στο καπνιστό προϊόν.

3.8.5. Βιοχημικές αναλύσεις

Οι αναλύσεις αυτές στηρίζονται στο γεγονός ότι οι αλλοιώσεις της σάρκας των καπνιστών ιχθύων που προκύπτουν από τη δράση ορισμένων βακτηρίων και ενζύμων, έχουν ως αποτέλεσμα την προοδευτική αύξηση της συγκέντρωσης κάποιων ουσιών που επιδρούν στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους. Ο προσδιορισμός αυτών των ουσιών δίνει μια ένδειξη για το βαθμό της ποιοτικής τους υποβάθμισης

κατά το χρόνο συντήρησής τους. Όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους νωπούς ιχθύς, καμία από αυτές τις μεθόδους δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα σύμφωνα με τα οποία να προσδιορίζεται επακριβώς η ποιότητα των καπνιστών ιχθύων, γι' αυτό γίνεται πάντα ένας συνδυασμός των αποτελεσμάτων των συγκεκριμένων αναλύσεων με εκείνα που προκύπτουν από τις εξετάσεις με τις αισθήσεις. Οι αναλύσεις που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι οι ακόλουθες:

α. Προσδιορισμός του Ολικού Πτητικού Βασικού Αζώτου (TVB-N)

Κατά τη διάρκεια της συντήρησης των καπνιστών ιχθύων η δράση των μικροβίων κυρίως προκαλεί, όπως και στους νωπούς ιχθύς, την αύξηση της συγκέντρωσης του ΟΠΒΑ. Η συγκέντρωσή του στη σάρκα των καπνιστών ιχθύων δεν πρέπει να ξεπερνά τα 100 – 200 mg/100 g σάρκας (Connell, 1990). Οι Civera *et al.*, (1995) θεωρούν ότι η συγκέντρωση του σε καπνιστό σολομό δεν πρέπει να ξεπερνά τα 40 mg/100 g σάρκας.

β. Προσδιορισμός του αζώτου της τριμεθυλαμίνης (TMA-N)

Η βακτηριακή δραστηριότητα στη σάρκα των καπνιστών ιχθύων κατά τη διάρκεια της συντήρησής τους έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπαση του ΤΜΑΟ σε τριμεθυλαμίνη (TMA). Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν ενέχει κινδύνους, σύμφωνα με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν για τους νωπούς ιχθύς. Επιπλέον, η συγκέντρωσή της επηρεάζεται από τη θερμική επεξεργασία των ιχθύων και την προσθήκη συντηρητικών ουσιών, δεδομένου ότι έτσι αναχαιτίζεται η ανάπτυξη και ο πολλαπλασιασμός των υπεύθυνων για την παραγωγή της μικροοργανισμών, όπως π.χ. η *Pseudomonas putrefaciens* (Botta, 1995).

γ. Προσδιορισμός της οξείδωσης των λιπών στο καπνιστούς ιχθύες

γ.1. Προσδιορισμός του αριθμού του θειοβαρβιτουρικού οξέος (TBA)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο αριθμός του θειοβαρβιτουρικού οξέος εκφράζει τα μg ή mg μαλοναλδεϋδης / kg σάρκας. Οι Özogul *et al.*, (2005) αναφέρουν τιμές από 4 έως 27 mg MDA/kg για καλής και κακής ποιότητας ψάρι αντίστοιχα.

γ.2. Προσδιορισμός υπεροξειδίων (PV)

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τον προσδιορισμό τους εγκυμονεί κινδύνους όπως και στους νωπούς ιχθύς, επειδή οι ενώσεις αυτές έχουν την τάση να αντιδρούν ταχύτατα με άλλες.

γ.3. Προσδιορισμός της οξύτητας (Ελεύθερα Λιπαρά Οξέα: FFA ή ΕΛΟ)

Εάν, κατά τη διαδικασία της κάπνισης των ιχθύων, δεν επιτευχθεί τέλεια αδρανοποίηση των λιπολυτικών ενζύμων, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των ελεύθερων λιπαρών οξέων στη σάρκα τους, με αποτέλεσμα την αύξηση της ολικής οξύτητάς της. Η θερμή κάπνιση αδρανοποιεί τα υπεύθυνα για την υδρόλυση των λιπιδίων ένζυμα (Beltrán και Moral, 1989).

3.8.6. Μικροβιακοί δείκτες

Η ολική μικροβιακή χλωρίδα και τα οξυγαλακτικά βακτήρια χρησιμοποιούνται ως μικροβιακοί δείκτες από τους περισσότερους ερευνητές (Palaeari *et al.*, 1990, Civera *et al.*, 1995, Santoro *et al.*, 1996). Άλλοι μικροβιακοί δείκτες που προτείνονται για τον ποιοτικό έλεγχο των καπνιστών ιχθύων είναι τα ψυχρότροφα βακτήρια ορίζονται μεταξύ άλλων ως «ειδικοί οργανισμοί που προκαλούν αλλοιώσεις» (Specific Spoilage Organisms – SSO), καθώς επίσης και τα βακτήρια *E. coli*, *Salmonella* spp., *St. aureus.*, *Clostridia* που μεταβολίζουν το θείο, *V. Parahaemolyticus* (Beltrán *et al.*, 1989, Civera *et al.*, 1995, Santoro *et al.*, 1996, Βαρελτζής, 1999). Τα φαινόμενα μικροβιολογικής αλλοίωσης των ιχθύων αναλύονται λεπτομερέστερα στην Παράγραφο 2.5 της διπλωματικής εργασίας.

3.9. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στη βιβλιογραφία βρίσκουμε διάφορες μελέτες που αφορούν στην ποιοτική αξιολόγηση και στη διατηρησιμότητα του ευρωπαϊκού χελιού.

Οι Özogul *et al.*, (2005) μελετώντας χέλι (*Anguilla anguilla*) αποθηκευμένο σε κουτιά με πάγο και χωρίς πάγο, σε θερμοκρασία $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$ το αξιολόγησαν με βάση τη μικροβιακή ανάπτυξη, τις χημικές δράσεις και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Στην εν λόγω μελέτη, τα αποδεκτά όρια της οργανοληπτικής δοκιμής σχετίζονταν καλά με τα όρια που προέκυπταν από τη μελέτη της μικροβιακής ανάπτυξης. Η αποδεκτότητα μειωνόταν όσο αυξάνονταν οι τιμές των TVB-N, FFA (Free Fatty

Acids), PV (Peroxide Value) και TVC (Total Viable Counts). Για χέλι αποθηκευμένο σε πάγο, ο χρόνος ζωής βάσει της οργανοληπτικής δοκιμής υπολογίστηκε στις 12–14 ημέρες, ενώ τα όρια αποδεκτότητας βάσει των TVB-N βρέθηκαν να είναι ≥ 10 mg TVB-N/100 g σάρκας. Αντίστοιχα, ο χρόνος ζωής για χέλι συντηρημένο σε θερμοκρασία $3 \pm 1^\circ\text{C}$ υπολογίστηκε στις 5 – 7 ημέρες, ενώ οι μεταβολές του pH δε βρέθηκαν να είναι στατιστικά σημαντικές ($P > 0.05$) και στις δύο περιπτώσεις.

Οι Arkoudelos *et al.*, (2006) μελέτησαν φρέσκο χέλι (*Anguilla anguilla*) συντηρημένο σε διάφορες συσκευασίες. Για χέλι αποθηκευμένο σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και για χέλι συντηρημένο σε συσκευασία υπό κενό ο χρόνος ζωής βρέθηκε να είναι 11 ± 1 ημέρες και για χέλι αποθηκευμένο σε συνθήκες τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) υπολογίστηκε στις 18 ± 1 ημέρες. Αντίστοιχα, οι χρόνοι ζωής που προέκυψαν από μελέτη της μικροβιακής ανάπτυξης ήταν 18, 28 και 34 ημέρες. Ο κύριος αλλοιογόνος μικροοργανισμός ήταν τα γαλακτικά βακτήρια, ακολουθούμενα από *Shewanella* spp., ψευδομονάδες, εντεροβακτήρια και ζύμες. Όσον αφορά στις χημικές δράσεις, το pH, η αμμωνία και η γλυκόζη δε βρέθηκαν να είναι χρήσιμοι για την ποιοτική αξιολόγηση του χελιού.

Όσον αφορά στο καπνιστό χέλι, οι W. Vishwanath *et al.*, (1997) μελέτησαν φρέσκο και καπνιστό χέλι (*Monopterus albus*). Οι τιμές του pH βρέθηκαν να είναι χαμηλότερες στο καπνιστό χέλι απ'ότι στο φρέσκο (6.90 αντί 7.25). Στο καπνιστό χέλι οι τιμές PER (Protein Efficiency Ratio) ήταν σημαντικά μικρότερες ($P < 0.05$). Η ολική μικροβιακή χλωρίδα (TPC) και οι μύκητες (TFC) ήταν $10^6 - 10^7/\text{g}^{-1}$ και $10^2/\text{g}^{-1}$ στο φρέσκο χέλι, ενώ στο καπνιστό ήταν $10^9 - 10^{10}/\text{g}^{-1}$ και $10^5/\text{g}^{-1}$. Στα δείγματα που εξετάστηκαν δεν παρατηρήθηκαν μικροβιακοί πληθυσμοί των *E. Coli* και *Salmonella*. Αντίθετα, εντοπίστηκε παρουσία *Staphylococcus aureus* και *Streptococci* και στα δύο. Στο φρέσκο χέλι, ο κυρίαρχος σε πληθυσμό μήκυτας ήταν ο *Fusarium* sp., ενώ για το καπνιστό χέλι ήταν ο *Penicillium*. Στη διεθνή βιβλιογραφία δε βρέθηκαν άλλες αναφορές σχετικά με το καπνιστό χέλι.

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των δεικτών διατηρησιμότητας καπνιστού χελιού. Η μελέτη συγκεντρώνει αποτελέσματα από πειραματικές μετρήσεις που διεξάχθηκαν σε δείγματα καπνιστού χελιού (*Anguilla anguilla*) συσκευασμένων υπό κενό και συντηρημένων σε ψύξη $0 - 15^\circ\text{C}$. Το χέλι έχει προηγουμένως υποστεί επεξεργασία (καθαρισμό, αλάτιση, κάπνιση για 35 λεπτά

σε θερμοκρασία 90-95°C σε ξύλο ελιάς και οξιάς, φιλετοποίηση). Τα δείγματα αξιολογήθηκαν με βάση τη μικροβιακή αλλοίωση, την ποσότητα των ολικών πτητικών αζωτούχων βάσεων (TVB-N), την οξείδωση των λιπών (TBARS) και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, άρωμα, γεύση, υφή).

Κεφάλαιο 4°: Πειραματικός Σχεδιασμός -

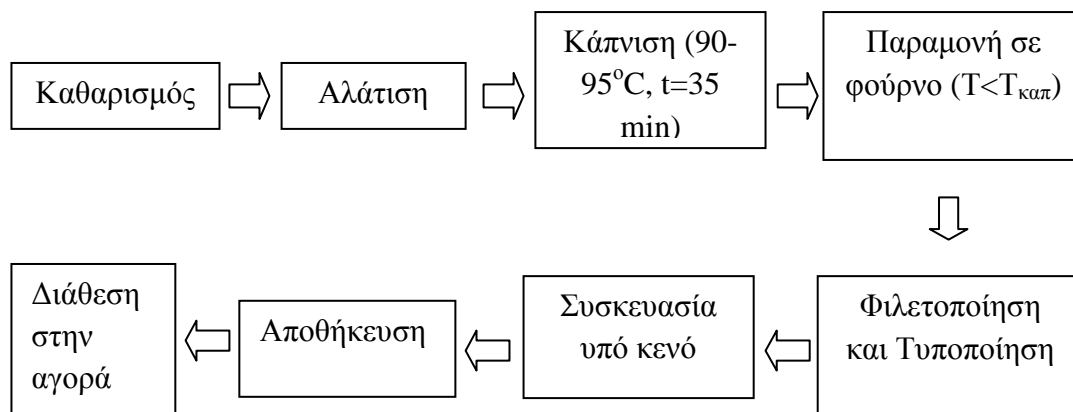
Υλικά και Μέθοδοι

4.1. Πρόλογος

Το χέλι είναι ένα είδος με μεγάλη οικονομική σημασία για την Ελλάδα, επειδή αποτελεί ένα εξαγωγίμο προϊόν υψηλής εμπορικής αξίας. Στην αγορά διατίθεται ολόκληρο, φιλετοποιημένο ή σε κομμένο σε εγκάρσια τεμάχια (φέτες), γεγονός που καθιστά ευνοϊκότερες συνθήκες για την αλλοίωσή τους. Είναι επομένως αναγκαία ή ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών επεξεργασίας για την επέκταση του χρόνου ζωής του.

4.1.1. Πειραματικός σχεδιασμός

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η διατηρησιμότητα καπνιστού χελιού, συσκευασμένου υπό κενό και συντηρημένου σε ψύξη 0 – 15°C. Το χέλι έχει προηγουμένως υποστεί επεξεργασία (καθαρισμό, αλάτιση, κάπνιση για 35 λεπτά σε θερμοκρασία 90-95°C σε ξύλο ελιάς και οξιάς, φιλετοποίηση). Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί εικονίζεται η διαδικασία μεταποίησης του χελιού.



Διάγραμμα ροής 4.1: Παρουσίαση της διαδικασίας μεταποίησης χελιού.



Εικόνα 4.1: Ακολουθία διαδικασίας παραγωγής καπνιστού χελιού.

Η μεταφορά των δειγμάτων στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του Ε.Μ.Π. πραγματοποιήθηκε μέσα σε κιβώτια από μονωτικό υλικό με τοποθέτηση παγοκυστών, ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία κοντά στους 0°C.

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις με σκοπό τον προσδιορισμό της σύστασης των προϊόντων. Μετρήθηκαν η αλατότητα (% NaCl), η περιεχόμενη υγρασία, η τέφρα, τα περιεχόμενα λίπη, οι συνολικές πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες.

Στη συνέχεια τα δείγματα αποθηκεύθηκαν σε ψυγεία με ισοθερμοκρασιακές συνθήκες στους 0, 5, 10 και 15°C. Μετρήθηκαν το μικροβιακό φορτίο, η μεταβολή του pH, η ποσότητα των ολικών πτητικών αζωτούχων βάσεων (TVB-N), προσδιορίστηκε η οξείδωση των λιπών και πραγματοποιήθηκε σειρά οργανοληπτικών δοκιμών με εξέταση των δειγμάτων ως προς το χρώμα, το άρωμα, τη γεύση, την υφή, τη μετάγευση και τη συνολική εντύπωση.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε και διεξαγωγή πειράματος σε δυναμικές συνθήκες με δραστική θερμοκρασία 7,5°C, σύμφωνα με το εξής θερμοκρασιακό σενάριο: 8 ώρες στους 3°C, 8 ώρες στους 10°C και 8 ώρες στους 6°C.

4.2. Μελετούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά – Μέθοδοι

4.2.1. Μέτρηση μικροβιακού φορτίου

Για τον υπολογισμό του μικροβιακού φορτίου στα δείγματα εφαρμόστηκε η μέθοδος της επιφανειακής ανάπτυξης σε τρυβλία. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο ότι από ένα μικροβιακό κύτταρο αναπτύσσεται μία και μόνο αποικία. Με αυτόν τον

τρόπο, η μέτρηση αποικιών δίνει τον αριθμό των μικροοργανισμών από όπου προήλθαν.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, 10 g ψαριού φέρονται σε αποστειρωμένη σακούλα και προστίθενται σε αυτό 90 g αποστειρωμένου όρου Ringer. Το μίγμα ομογενοποιείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με τη χρήση Stomacher (Bagmixer interscience, France). Σε αποστειρωμένους δοκιμαστικούς σωλήνες των 10 mL φέρονται 9 mL ορού Ringer. Από το ομογενοποιημένο δείγμα λαμβάνεται 1 mL που τοποθετείται σε ένα σωλήνα και το μίγμα αναδεύεται. Από αυτόν λαμβάνεται 1 mL και φέρεται στον επόμενο σωλήνα. Κάθε αραιώση είναι υποδεκαπλάσια της προηγούμενης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθούν οι επιθυμητές αραιώσεις. Σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μικροοργανισμών στο δείγμα, τόσο περισσότερες αραιώσεις απαιτούνται.

Οι μικροοργανισμοί που μετρήθηκαν ήταν η **ολική μικροβιακή χλωρίδα**, οι **ψευδομονάδες** (*Pseudomonas* spp.), το βακτήριο *Brochothrix thermosphacta* και τα **γαλακτικά βακτήρια** (*Lactobacilli*).

Για τη μέτρηση της **ολικής μικροβιακής χλωρίδας**, χρησιμοποιήθηκε το μη επιλεκτικό υπόστρωμα **Plate Count Agar (PCA)** της Merck. Το θρεπτικό υλικό διανέμεται σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri και αφήνεται να στερεοποιηθεί. Αρκετή θεωρείται η ποσότητα που αρκεί για να καλύψει τον πυθμένα του κάθε τρυβλίου. Λαμβάνεται 0.1 mL δείγματος και φέρεται στην επιφάνεια του υποστρώματος και ακολουθεί επάλειψη με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις αραιώσεις και πραγματοποιούνται διπλά δείγματα για κάθε αραιώση. Τα τρυβλία αφήνονται να επώασουν για 3 ημέρες στους 25°C.

Για τη μέτρηση των **ψευδομονάδων** χρησιμοποιήθηκε το επιλεκτικό υπόστρωμα **Cetrimide Agar (CFC)** της Merck. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι αντίστοιχη με αυτή που αφορά τον υπολογισμό της ολικής μικροβιακής χλωρίδας. Στην περίπτωση αυτή, η επώαση απαιτεί 2 ημέρες στους 25°C.

Για τη μέτρηση του *Brochothrix thermosphacta* χρησιμοποιήθηκε το επιλεκτικό υπόστρωμα **Streptomycin – Thallous Acetate - Actidione (STAA)** της Merck. Η διαδικασία είναι αντίστοιχη με αυτήν που αφορά τον υπολογισμό της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και η επώαση απαιτεί 2 ημέρες στους 25°C.

Τέλος, για τη μέτρηση των **γαλακτικών βακτηρίων** χρησιμοποιήθηκε το επιλεκτικό υπόστρωμα **de Mann Rogosa and Sharpe's (MRS)** της Merck. Τα γαλακτικά βακτήρια είναι προαιρετικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί. Από το κάθε δείγμα λαμβάνεται 1 mL και τοποθετείται σε άδειο αποστειρωμένο τρυβλίο Petri. Για το κάθε δείγμα πραγματοποιούνται διπλά τρυβλία. Το υπόστρωμα διανέμεται στα τρυβλία ώσπου να καλυφθεί η επιφάνεια του τρυβλίου, αλλά η στρώση θα πρέπει να είναι λεπτή. Τα δείγματα ανακινούνται προσεκτικά και το υπόστρωμα αφήνεται να στερεοποιηθεί. Ακολουθεί μια δεύτερη στρώση υποστρώματος τόσης ποσότητας, ώστε να καλύψει την επιφάνεια και παράλληλα η στρώση να είναι λεπτή. Η διαδικασία της δεύτερης επίστρωσης εξασφαλίζει αναερόβιες συνθήκες. Η επώαση απαιτεί 5 ημέρες στους 25°C..

Μετά την επώαση των τρυβλίων, καταμετρούνται οι αναπτυσσόμενες αποικίες. Η μέτρηση των αποικιών πραγματοποιείται σε μια αραιώση, τέτοια ώστε να υπάρχουν 50 – 200 αποικίες ανά τρυβλίο. Λαμβάνοντας υπόψη την αραιώση του δείγματος, υπολογίζεται ο αριθμός των μικροοργανισμών που περιλαμβάνει 1 g δείγματος, πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των αποικιών με το αντίστροφο της αραιώσης (Koutsoumanis *et al.*, 2002)



Εικόνα 4.2: Μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας χελιού.



Εικόνα 4.3: Συσκευασία φιλέτου καπνιστού χελιού.



Εικόνα 4.4: Διατροφική ετικέτα συσκευασίας καπνιστού φιλέτου χελιού.

4.2.2. Μέτρηση pH

Για τη μέτρηση του pH χρησιμοποιήθηκε η συσκευή WTW 522 (Wissenschaftlich Technische Werstätten, Germany, pH: 0-14.00, ±0.01). Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στο αναμεμειγμένο με ορό Ringer δείγμα, μετά την ομογενοποίηση.

4.2.3. Προσδιορισμός αλατότητας (Μέθοδος Mohr)

Για τον προσδιορισμό της αλατότητας με τη μέθοδο Mohr απαιτούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια:

1. K_2CrO_4 (δείκτης) (5 g K_2CrO_4 σε 100 mL απιονισμένο νερό)
2. $AgNO_3$ 0.1N (16.99 g $AgNO_3$ σε 1000 mL απιονισμένο νερό)

5 g ψαριού ομογενοποιούνται με 20 mL απιονισμένο νερό. 1 mL του δείγματος φέρεται σε κωνική φιάλη και προστίθενται 25 mL απιονισμένου νερού ώστε να αυξηθεί ο όγκος του διαλύματος και να είναι πιο εύκολη η ανάδευση και ανάγνωση του τελικού σημείου. Προστίθενται 0.5 g $CaCO_3$, αν πρόκειται για όξινο διάλυμα (δε χρειάζεται να ζυγίσουμε). Τέλος, προστίθενται 4 – 5 σταγόνες δείκτη K_2CrO_4 και ακολουθεί τιτλοδότηση με $AgNO_3$ 0.1 N.

Η αλατότητα υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$S = \frac{T \cdot N \cdot 0.05845 \cdot 100}{V} \cdot 5$$

όπου: S, η αλατότητα, T, τα mL $AgNO_3$ που καταναλώθηκαν, N, η κανονικότητα του διαλύματος $AgNO_3$, V, τα mL του δείγματος, 0.05845, ο παράγοντας μετατροπής σε NaCl που αντιδρά με 1 mL κανονικού $AgNO_3$ και 100, ο παράγοντας μετατροπής των αποτελεσμάτων σε % κατά βάρος ή όγκο (AOAC, 1990).

4.2.4. Χημικές μέθοδοι προσδιορισμού της αλλοίωσης

α) Προσδιορισμός Πτητικών Αζωτούχων Ενώσεων (TVB-N)

Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία έγινε προσδιορισμός της ολικής ποσότητας των πτητικών αζωτούχων ενώσεων (Total Volatile Basic Nitrogen - TVBN) που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό όλων των πτητικών αμινών που παράγονται κατά την αλλοίωση.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, λαμβάνονται 30 g τεμαχισμένου δείγματος τα οποία ομογενοποιούνται με 60 mL TCA 6% μέχρι να γίνει πάστα. Το κάθε δείγμα μοιράζεται σε δυο φιαλίδια τα οποία υπόκεινται σε φυγοκέντρηση (3500 στροφές για

6 min). Το υπερκείμενο υγρό φιλτράρεται και ακολούθως σημειώνεται ο ακριβής όγκος του διηθήματος ($V_{\text{extraction}}$). Το διήθημα χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του TVBN (V_{TVBN}).

Σε φιάλη Kjeldahl (Εικόνα 4.1) φέρονται η αντίστοιχη ποσότητα διηθήματος (V_{TVBN}), γυάλινα σφαιρίδια βρασμού και 10 mL υδατικού διαλύματος NaOH 10%. Επίσης σε μια κωνική φιάλη, όπου θα συλλεχθεί το άζωτο, φέρονται 50 mL υδατικού διαλύματος βορικού οξέος 2% και δείκτης methyl red. Ακολουθεί τιτλοδότηση με υδατικό διάλυμα H_2SO_4 0,1 N και εφαρμόζεται η σχέση:

$$TVBN_{(mgN / 100g \text{ αρχικού προϊόντος})} = \frac{1.4 \cdot (V_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{ δείγμα}} - V_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{ τυρό}}) \cdot 100 \cdot V_{\text{Extraction}}}{30 \cdot V_{\text{TVBN}}}$$



Εικόνα 4.1: Συσκευή Kjeldahl

β) Προσδιορισμός οξείδωσης των λιπών (TBARs)

Αρχικά, παρασκευάζεται το διάλυμα TBA: Διαλύονται 15 g TCA, 0.375 g TBA και 1.76 mL HCl 12 N (1 mL και 760 μL) σε 82.9 mL H_2O . 5 g δείγματος ομογενοποιούνται με 15 mL απιονισμένο νερό, λαμβάνεται 1 mL ομογενοποιημένου δείγματος και φέρεται σε δοκιμαστικό σωλήνα. Στη συνέχεια, προστίθενται 2 mL διαλύματος TBA και ακολουθεί ανάδευση. Ο σωλήνας τοποθετείται σε λουτρό νερού 100°C για 15 min και στη συνέχεια ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με νερό

βρύσης. Ακολουθεί φυγοκέντρηση στις 2000 στροφές για 15 min και μετράται η απορρόφηση στα 532 nm (Pivarnik *et al.*, 2001).

4.2.5. Προσδιορισμός πρωτεϊνών

Η μέτρηση των πρωτεϊνών πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μέθοδο AOAC 84.13 (AOAC, 1990) με χρήση συσκευής προσδιορισμού αζώτου Kjeldhal Büchi 321 Distillation unit, Flawwil, Switzerland). Λαμβάνεται ορισμένη ποσότητα δείγματος (η οποία να αντιστοιχεί με 1-2 g ξηρού προϊόντος) και υποβάλλεται σε θέρμανση με μίγμα θειικού καλίου και θειικού οξέος παρουσία καταλύτη θειικού χαλκού (II), προκειμένου να μετατραπεί το οργανικό άζωτο σε αμμωνιακό άζωτο. Η σχηματιζόμενη αμμωνία αποστάζεται με τη βοήθεια υδρατμών σε έντονα αλκαλικό περιβάλλον, δεσμεύεται από διάλυμα θειικού οξέος ενώ το υπόλοιπο τιτλοδοτείται με διάλυμα καυστικού νατρίου. Η περιεκτικότητα σε άζωτο πολλαπλασιάζεται επί 6,25 για να υπολογιστεί η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες επί του υγρού ή ξηρού βάρους δείγματος.

4.2.6. Προσδιορισμός των ολικών λιπών

Η λιποπεριεκτικότητα των καπνιστών φιλέτων χελιού προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τον Smedes (1999). Αντιπροσωπευτική ποσότητα ιχθύος πολτοποιείται και προζυγισμένο δείγμα (περίπου 5 g) αναμειγνύεται με 20 mL ισοπροπανόλης και 10 mL κυκλοεξανίου. Προστίθενται 18 mL νερό και ακολουθεί ανάδευση. Το μίγμα φυγοκεντρείται για 10 min και απομακρύνεται η φάση του κυκλοεξανίου. Το υπόλειμμα επαναδιαλύεται με 20 mL 10% ισοπροπανόλης σε κυκλοεξάνιο. Ακολουθεί φυγοκέντρηση και λαμβάνεται η φάση του κυκλοεξανίου. Τα κυκλοεξανικά κλάσματα εξατμίζονται σε περιστροφικό εξατμιστήρα, στη συνέχεια ξηραίνονται στους 104°C για 1 ώρα και ζυγίζονται. Η περιεκτικότητα σε λίπος εκφράζεται σε % ποσοστό επί του υγρού ή ξηρού βάρους του δείγματος.

4.2.7. Προσδιορισμός τέφρας (ανόργανων συστατικών)

Η τέφρα προσδιορίζεται με πύρωση ($\approx 550^{\circ}\text{C}$) προζυγισμένου δείγματος ιχθύος για 12 ώρες. Η περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά εκφράζεται σε % ποσοστό επί του συνολικού ή ξηρού βάρους δείγματος.

4.2.8. Προσδιορισμός περιεχόμενου νερού

Το περιεχόμενο νερό (υγρασία) προσδιορίζονται με ξήρανση σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 110°C (WTB BINDER 7200, Type E53, Tuttlingen, Germany) για 24 ώρες.

4.2.9. Οργανοληπτική εξέταση

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά αποτελούν βασικό κριτήριο ποιότητας, γιατί καθορίζουν και το βαθμό αρεσκείας και αποδοχής των τροφίμων από τους καταναλωτές. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τα οποία αξιολογούνται με τις αισθήσεις είναι τα ακόλουθα:

- Η εμφάνιση των προϊόντων τροφίμων που χαρακτηρίζεται από παράγοντες όπως το χρώμα, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, το μέγεθος, το σχήμα και η παρουσία ή μη ελαττωμάτων.
- Η υφή, που αποτελεί το άθροισμα των ιδιοτήτων οι οποίες προκύπτουν από τα δομικά στοιχεία (μοριακά, μικροσκοπικά, μακροσκοπικά) και με τον τρόπο τον οποίο αυτά επιδρούν στα αισθητήρια όργανα.
- Η γεύση και το άρωμα, που είναι χαρακτηριστικά τα οποία αξιολογεί ο καταναλωτής με τα αισθητήρια γεύσης και οσμής, καθώς και με τις άλλες αισθήσεις, όπως η αφή (κρύο - ζεστό).

Η οργανοληπτική εξέταση των δειγμάτων πραγματοποιείται για τη βαθμολόγηση των οργανοληπτικών παραμέτρων και τον καθορισμό της αποδοχής του προϊόντος. Μία ομάδα εκπαιδευμένων δοκιμαστών (6 άτομα) εξετάζει τα δείγματα ως προς την αποδεκτότητά τους και τα βαθμολογεί ως προς την εμφάνιση, τη γεύση, το άρωμα, την υφή και τη γενική εντύπωση. Για τη βαθμολόγηση χρησιμοποιείται κλίμακα από το 1 έως το 9, με 9 την υψηλότερη ποιότητα και 1 τη χαμηλότερη (9: εξαιρετικής ποιότητας, 1: εμφανείς αλλοιώσεις). Όλες οι ερωτήσεις αφορούν την αρέσκεια των δοκιμαστών ως προς κάθε παράμετρο. Ως όριο αποδοχής ορίζεται ο βαθμός 6. Στη συνέχεια δίνεται το έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε για το σκοπό αυτό.

4.2.10. Στατιστική Επεξεργασία

Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης στις ποιοτικές παραμέτρους του τροφίμου, πραγματοποιείται ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) με χρήση πολλών παραμέτρων, ώστε να εκτιμηθεί η σημαντικότητα των διαφόρων παραμέτρων της συντήρησης. Επιπλέον εφαρμόζεται ο έλεγχος Duncan ($\alpha=0,05$) για να αποτιμηθούν, για κάθε παράγοντα χωριστά, οι σημαντικές διαφορές των μετρούμενων παραμέτρων. Για τη στατιστική ανάλυση ταυτόχρονα όλων των μετρούμενων μεταβλητών και για τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν κατά τις οργανοληπτικές και αντικειμενικές μετρήσεις πραγματοποιείται ανάλυση κύριων συνιστωσών PCA (Principal Component Analysis). Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιείται με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου του STATISTICA®7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, USA).

ΕΝΤΥΠΟ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΦΙΛΕΤΩΝ ΑΠΟ ΚΑΠΝΙΣΤΟ ΧΕΛΙ

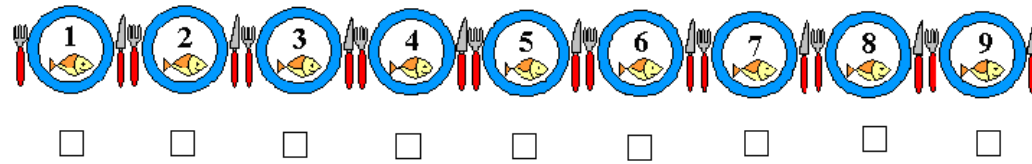
Ημερομηνία:/...../.....

Όνοματεπώνυμο:

.....

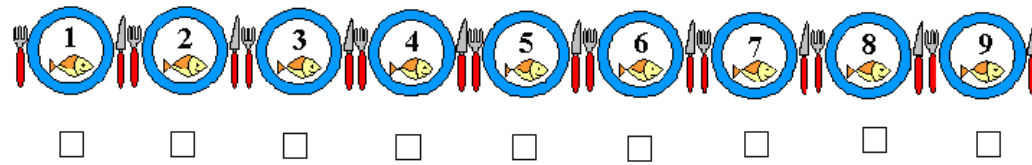
Δείγμα 1:

Χρώμα :



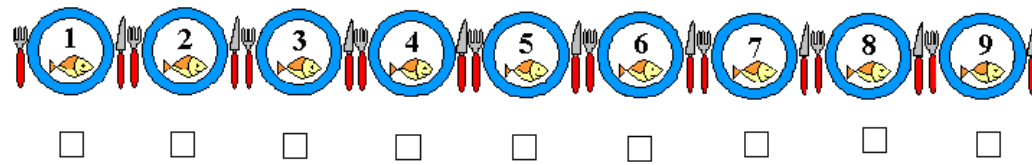
Παρατηρήσεις:.....

Άρωμα :



Παρατηρήσεις:.....

Υφή :



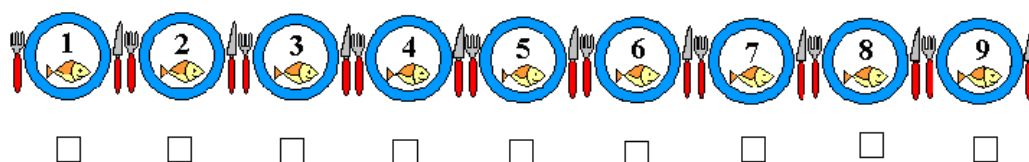
Παρατηρήσεις:.....

Γεύση :



Παρατηρήσεις:.....

Μετάγευση :



Παρατηρήσεις:.....

Συνολική εντύπωση προϊόντος :



Παρατηρήσεις:.....

Κεφάλαιο 5°: Παρουσίαση – Συζήτηση Αποτελεσμάτων

5.1. Πρόλογος

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4, συνοδευόμενα από ερμηνεία και σχολιασμό. Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την εξασφάλιση της ποιότητας των ιχθυηρών έχει κατευθύνει την προσοχή πολλών ερευνητών στην μικροβιολογία πρόρρησης, με σκοπό την ποσοτικοποίηση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς των μικροοργανισμών. Για το λόγο αυτό, η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων πρόρρησης της μεταβολής της συνολικής ποιότητας των ιχθύων αποτελεί επίσης στόχο του παρόντος κεφαλαίου, με εκτεταμένες αναλύσεις κατά τις οποίες μελετώνται οι μικροβιολογικές, οργανοληπτικές και χημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά τη συντήρηση των δειγμάτων.

5.2. Χημική σύσταση καπνιστών φιλέτων χελιού

Κατά την παραλαβή των δειγμάτων στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του ΕΜΠ, προσδιορίζεται η αρχική σύστασή τους. Η άμεση χημική ανάλυση των φιλέτων τσιπούρας περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των ολικών πρωτεϊνών, των λιπών, της αλατότητας, της υγρασίας και των ανόργανων συστατικών (τέφρας). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δίνονται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2.1: Μέση διατροφική αξία ανά 100 g καπνιστού φιλέτου.

Πρωτεΐνες	21,4 g
Υδατάνθρακες	0 g
Λίπη	23,9 g
Κορεσμένα	6,4 g
Ω3 λιπαρά οξέα	4,1 g
20:5 Ω3/Omega3 EPA	1441 mg
22:6 Ω3/Omega3 DHA	1404 mg
Νάτριο	0,9 g
Ενέργεια	1258kj/301kcal

Στους Πίνακες 5.2.2 και 5.2.3 παρουσιάζεται η ανάλυση των λιπών των δειγμάτων.

Πίνακας 5.2.2: Ανάλυση λιπαρής ύλης δειγμάτων καπνιστού χελιού.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΟΡΙΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ	ΟΡΙΑ ΑΝΩΤΑΤΑ
Σύσταση λιπαρών οξέων	* AOAC 996,06		-	-	-
C 4:0 Βουτυρικό	* >>	% λιπαρής ύλης	Μη ανιχνεύσιμο	LOD=0.003	-
C 6:0 Καπροϊκό	* >>	% λιπαρής ύλης	Μη ανιχνεύσιμο	LOD=0.003	-
C 8:0 Καπρυλικό	* >>	% λιπαρής ύλης	Μη ανιχνεύσιμο	LOD=0.003	-
C 10:0 Καπρινικό	* >>	% λιπαρής ύλης	Μη ανιχνεύσιμο	LOD=0.003	-
C 11:0	* >>	% λιπαρής ύλης	Μη ανιχνεύσιμο	LOD=0.003	-
C 12:0 Λαυρικό	* >>	% λιπαρής ύλης	0.06	-	-
C 13:0	* >>	% λιπαρής ύλης	0.02	-	-
C 14:0 Μυριστικό	* >>	% λιπαρής ύλης	5.13	-	-
C 14:1 Μυριστελαϊκό	* >>	% λιπαρής ύλης	0.06	-	-
C 15:0	* >>	% λιπαρής ύλης	0.33	-	-
C 15:1	* >>	% λιπαρής ύλης	Μη ανιχνεύσιμο	LOD=0.003	-
C 16:0 Παλμτικό	* >>	% λιπαρής ύλης	16.38	-	-
C 16:1 Παλμιτελαϊκό	* >>	% λιπαρής ύλης	5.99	-	-
C 17:0 Δεκαεπτανικό	* >>	% λιπαρής ύλης	0.08	-	-
C 17:1 Δεκαεπτενικό	* >>	% λιπαρής ύλης	0.22	-	-
C 18:0 Στεατικό	* >>	% λιπαρής ύλης	4.57	-	-
C 18:1 Ελαϊκό	* >>	% λιπαρής ύλης	22.49	-	-
C 18:1 ω7	* >>	% λιπαρής ύλης	2.92	-	-
C 18:2 ω6 Λινελαϊκό	* >>	% λιπαρής ύλης	11.72	-	-
C 18:3 ω3 Λινολενικό	* >>	% λιπαρής ύλης	1.27	-	-
C 18:3 ω6	* >>	% λιπαρής ύλης	0.13	-	-
C 20:0 Αραχιδικό	* >>	% λιπαρής ύλης	0.13	-	-

Πίνακας 5.2.3: Ανάλυση λιπαρής ύλης δειγμάτων καπνιστού χελιού.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΟΡΙΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ	ΟΡΙΑ ΑΝΩΤΑΤΑ
C 20:1 ω9 Γκαδελαιϊκό	* >>	% λιπαρής ύλης	1.08	-	-
C 20:2 ω6	* >>	% λιπαρής ύλης	0.49	-	-
C 20:3 ω3	* >>	% λιπαρής ύλης	0.70	-	-
C 20:3 ω6	* >>	% λιπαρής ύλης	0.36	-	-
C 20:4 ω6	* >>	% λιπαρής ύλης	0.11	-	-
C 20:5 ω3 (EPA)	* >>	% λιπαρής ύλης	6.45	-	-
C 21:0	* >>	% λιπαρής ύλης	0.01	-	-
C 22:0 Βεχενικό	* >>	% λιπαρής ύλης	0.04	-	-
C 22:1 Ερουκικό	* >>	% λιπαρής ύλης	0.09	-	-
C 22:2 ω6	* >>	% λιπαρής ύλης	0.03	-	-
C 22:5 ω3	* >>	% λιπαρής ύλης	3.67	-	-
C 22:6 ω3 (DHA)	* >>	% λιπαρής ύλης	5.89	-	-
C 23:0	* >>	% λιπαρής ύλης	0.02	-	-
C 24:0 Λιγνοκερικό	* >>	% λιπαρής ύλης	0.03	-	-
C 24:1	* >>	% λιπαρής ύλης	0.11	-	-
Λοιπά μη ταυτοποιηθέντα	* >>	% λιπαρής ύλης	9.35	-	-
Κορεσμένα λιπαρά	* >>	% λιπαρής ύλης	26.78	-	-
Ακόρεστα λιπαρά	* >>	% λιπαρής ύλης	63.87	-	-
Μονοακόρεστα λιπαρά	* >>	% λιπαρής ύλης	33.58	-	-
Πολυακόρεστα λιπαρά	* >>	% λιπαρής ύλης	30.29	-	-
Trans λιπαρά	* >>	% λιπαρής ύλης	0.50	-	-

Στον Πίνακα 5.2.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού που αφορούν στην περιεκτικότητα σε Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (PAH), benzo[a]pyrene, κάδμιο, υδράργυρο και μόλυβδο.

Πίνακας 5.2.4: Αποτελέσματα των αναλύσεων δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού που αφορούν στην περιεκτικότητα σε Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (PAH), benzo[a]pyrene, κάδμιο, υδράργυρο και μόλυβδο.

Προσδιορισμός	Μέθοδος	Μονάδες	Αποτέλεσμα	Όρια ενδεικτικά	Ανώτατα Όρια
PAH	HRGC-LRMS	μg/kg	-	-	-
Benzo[a]pyrene	HRGC-LRMS	μg/kg	Μη ανιχν.	LOD=0,1	max 5.0
Κάδμιο	GF-AAS	mg/kg	0,010		max 0.10
Υδράργυρος	Hydride-AAS	mg/kg	0,008		max 1.0
Μόλυβδος	GF-AAS	mg/kg	Μη ανιχν.	LOD=0,003	max 3.0

Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζονται συσκευασίες καπνιστού χελιού μετά από διατήρηση 9 εβδομάδων στους 0°C (αριστερά) και 10°C (δεξιά).



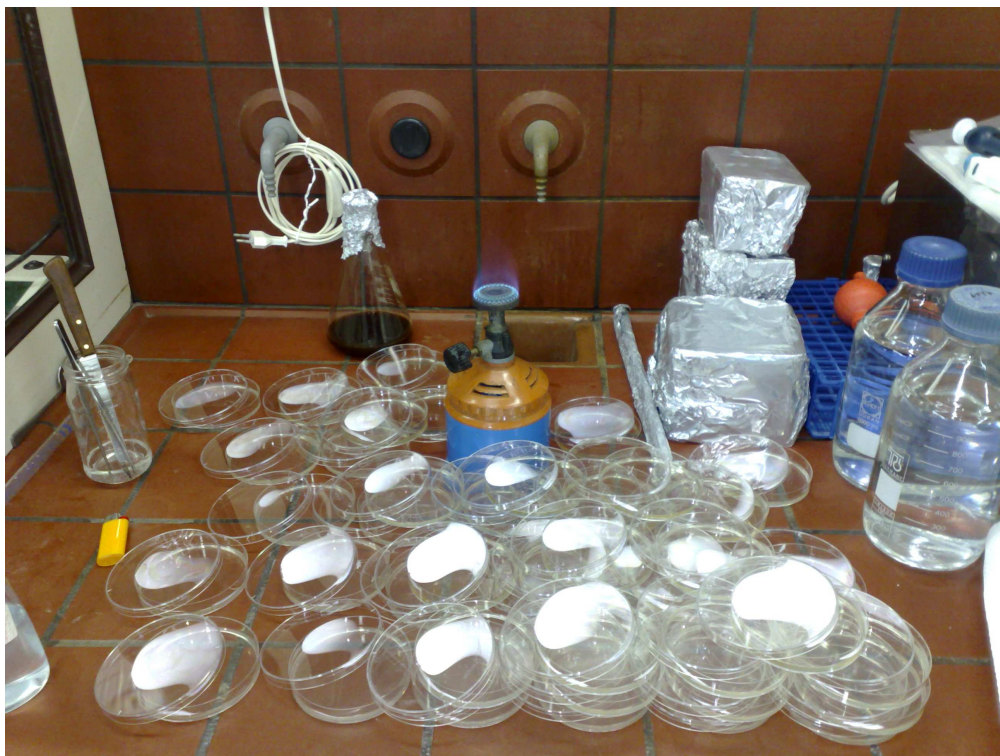
Εικόνα 5.1: Δείγματα καπνιστού χελιού μετά από διατήρηση 9 εβδομάδων στους 0°C (αριστερά) και 10°C (δεξιά).

5.3. Μέτρηση μικροβιακού φορτίου σε καπνιστά φιλέτα γελιού συντηρημένων σε συσκευασίες υπό κενό

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μετρήθηκε το μικροβιακό φορτίο των δειγμάτων καπνιστών φιλέτων γελιού, συντηρημένων σε συσκευασίες υπό κενό. Μετρήθηκαν η ολική μικροβιακή χλωρίδα, ο πληθυσμός των ψευδομονάδων, του βακτηρίου *Brochothrix thermosphacta*, καθώς και των γαλακτικών βακτηρίων.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε, πως ειδικά για τις ψευδομονάδες καθώς και το βακτήριο *Brochothrix thermosphacta*, το φορτίο που μετρήθηκε καθ'όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, ήταν μη ανιχνεύσιμο ($< 2 \log_{cfu}/g$).

Τα διαγράμματα της καμπύλης ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και των γαλακτικών βακτηρίων δίνονται στη συνέχεια.

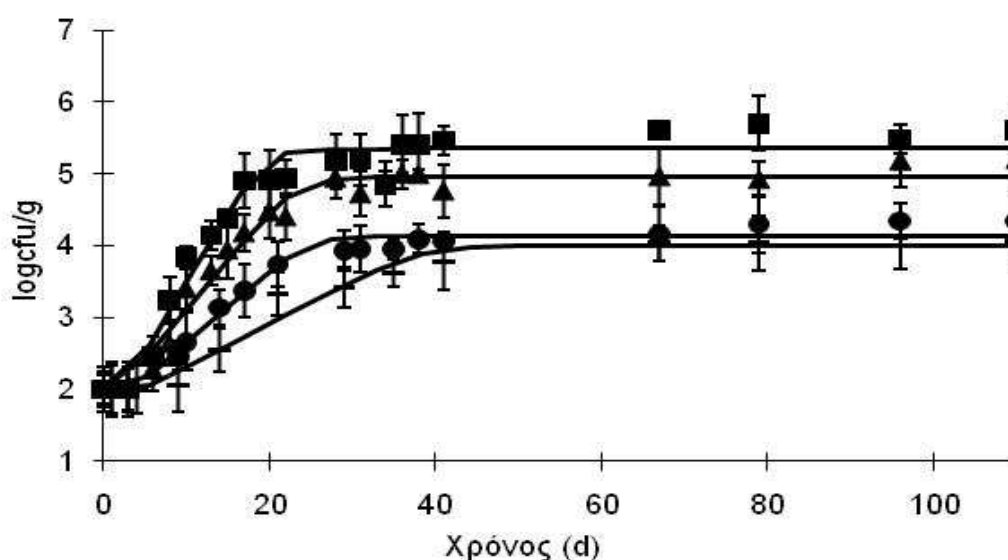


Εικόνα 5.2: Μικροβιολογική ανάλυση καπνιστών φιλέτων γελιού.

5.3.1. Μέτρηση της ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένων σε συσκευασίες υπό κενό

Οι καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας για τα δείγματα που αποθηκεύτηκαν σε συσκευασίες υπό κενό δίνονται στο Διάγραμμα 5.2.1.

Από αυτό προκύπτει η επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης, καθώς και του χρόνου αποθήκευσης των δειγμάτων στο μικροβιακό φορτίο των καπνιστών φιλέτων χελιού. Πραγματοποιήθηκε προσαρμογή των μετρήσεων στο μοντέλο Baranyi, το οποίο αναφέρεται στην παράγραφο 2.5.3, από όπου προέκυψαν οι εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης των μικροοργανισμών.



Διάγραμμα 5.3.1.1: Καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε καπνιστά φιλέτα χελιού συσκευασμένα υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C. Οι πειραματικές μετρήσεις παριστάνονται από σημεία και οι συνεχείς καμπύλες προκύπτουν από την προσαρμογή στο μοντέλο Baranyi.

Μπορεί εύκολα κανείς να παρατηρήσει ότι η υψηλότερη θερμοκρασία οδήγησε και σε ταχύτερη ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Από την προσομοίωση των μετρήσεων στο μοντέλο Baranyi προέκυψαν οι εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στα δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιών συντηρημένων σε συσκευασίες υπό κενό και σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C. Τα

αποτελέσματα των υπολογισμών των ρυθμών ανάπτυξης παρατίθενται στον Πίνακα 5.3.1.1.

Πίνακας 5.3.1.1: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιών συντηρημένων σε συσκευασίες υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

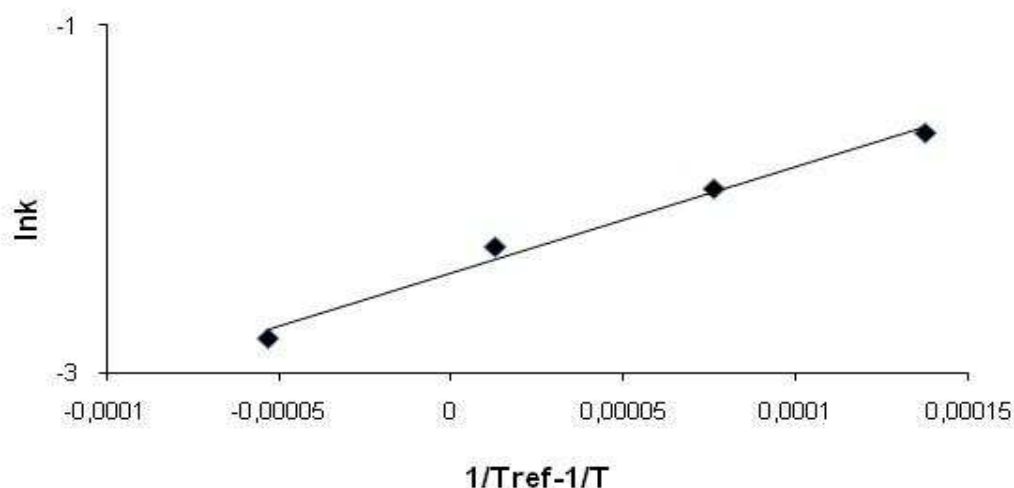
Θερμοκρασία συντήρησης	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C
Ρυθμός ανάπτυξης (d ⁻¹)	0,0604	0,1024	0,1432	0,1976

Τα παραπάνω αποτελέσματα προσαρμόστηκαν στην εξίσωση Arrhenius με σκοπό τον υπολογισμό της ενέργειας ενεργοποίησης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η γραμμικοποιημένη εκδοχή της εξίσωσης Arrhenius,

$$\ln k_c = \ln k_{ref} + \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right)$$

όπου: k η σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας, k_{ref}, η αντίστοιχη σταθερά στη θερμοκρασία αναφοράς, E_a, η ενέργεια ενεργοποίησης, R, η παγκόσμια σταθερά των αερίων (8.314 J / mole · K) και T, η απόλυτη θερμοκρασία (K). Ως θερμοκρασία αναφοράς τέθηκε η τιμή 4°C.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στα δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό, δίνονται στο Διάγραμμα 5.2.1.2.



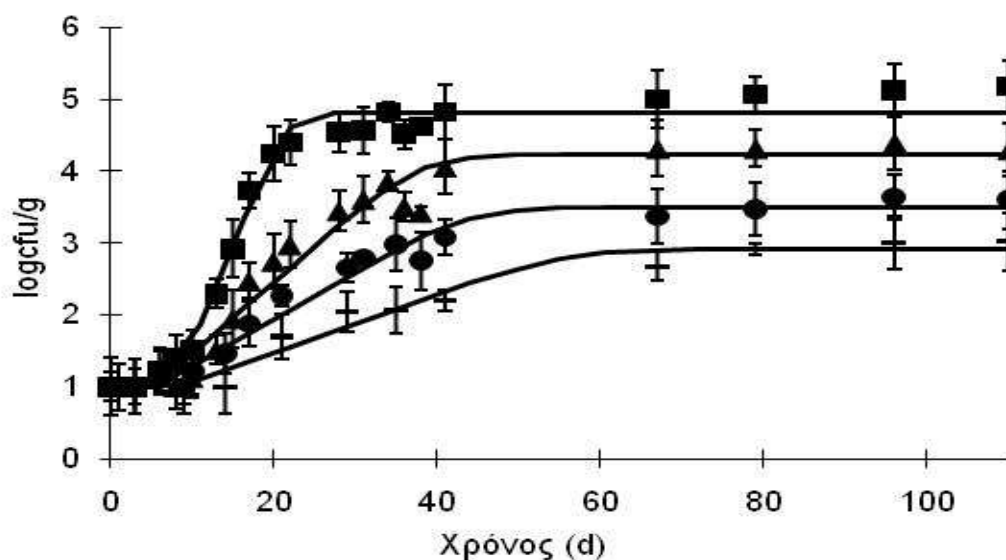
Διάγραμμα 5.3.1.2: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης της ολική μικροβιακής χλωρίδας σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Από την παραπάνω μελέτη προέκυψε η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης για τα καπνιστά φιλέτα χελιού συσκευασμένων υπό κενό, για τους ρυθμούς ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας. Η τιμή που υπολογίστηκε ήταν 51 kJ/mol και ο ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς υπολογίστηκε ίσος με 0,0880 d⁻¹.

Κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο (Παράγραφος 5.5) αλλά και από τα αποτελέσματα των μικροβιακών αναλύσεων, προέκυψε πως δεν υπήρξαν ενδείξεις μικροβιακής αλλοίωσης, πράγμα που σημαίνει πως το προϊόν ήταν ιδιαίτερα σταθερό μικροβιακά. Για το λόγο αυτό, δε γίνεται υπολογισμός του χρόνου ζωής βάσει της μικροβιακής αλλοίωσης.

5.3.2. Μέτρηση των γαλακτικών βακτηρίων σε καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένων σε συσκευασίες υπό κενό

Οι καμπύλες ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων για τα δείγματα που αποθηκεύτηκαν σε συσκευασίες υπό κενό δίνονται στο Διάγραμμα 5.3.2.1.



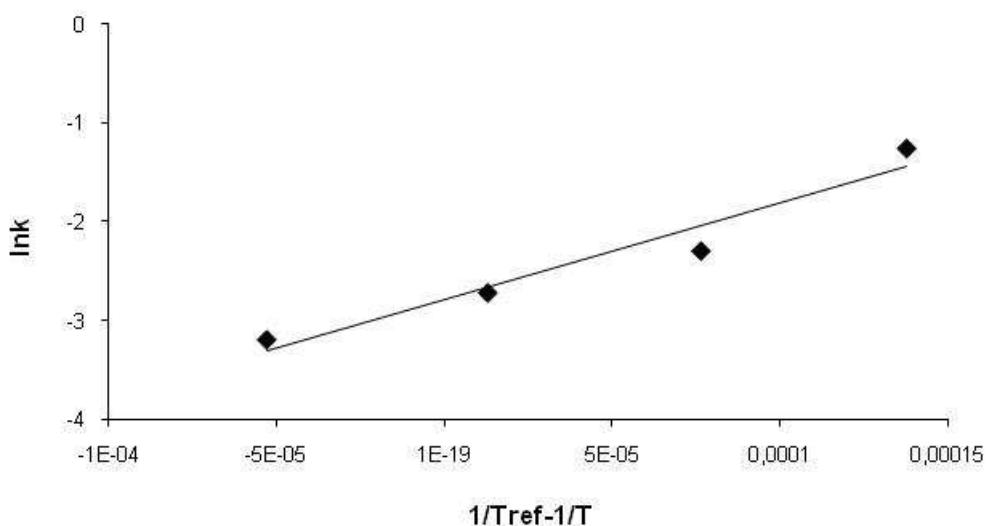
Διάγραμμα 5.3.2.1: Καμπύλες ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων σε καπνιστά φιλέτα χελιού συσκευασμένα υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C. Οι πειραματικές μετρήσεις παριστάνονται από σημεία και οι συνεχείς καμπύλες προκύπτουν από την προσαρμογή στο μοντέλο Baranyi.

Όπως και στην περίπτωση της ολικής μικροβιακής χλωρίδας, παρατηρείται ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης προκαλείται αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων. Αυτό καθίσταται εμφανές αν παρατηρήσει κανείς και τους ρυθμούς ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων, όπως αυτοί προέκυψαν από την προσομοίωση των μετρήσεων στο μοντέλο Baranyi. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται στον Πίνακα 5.3.2.1.

Πίνακας 5.3.2.1: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης γαλακτικών βακτηρίων σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Θερμοκρασία συντήρησης	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C
Ρυθμός ανάπτυξης (d ⁻¹)	0,0411	0,0660	0,0976	0,9667

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων στα δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.3.2.2.

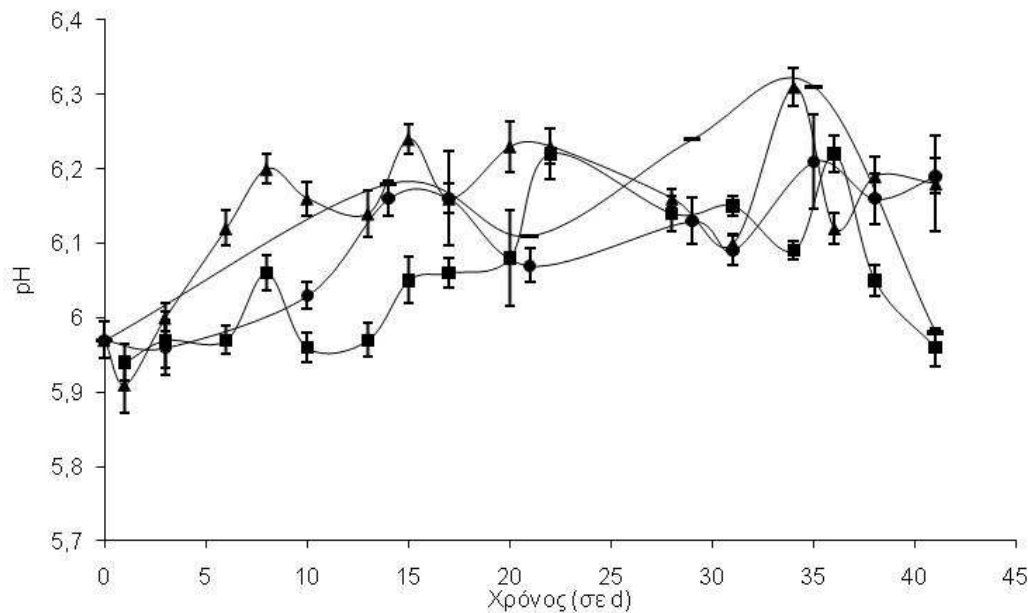


Διάγραμμα 5.3.2.2: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Η ενέργεια ενεργοποίησης για τους ρυθμούς ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων που προέκυψε για τα δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασίες υπό κενό είναι 81,2 kJ/mol και ο ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς υπολογίστηκε ίσος με 0,0613 d^{-1} .

5.4. Μέτρηση pH σε καπνιστά φιλέτα χελιού

Στο Διάγραμμα 5.4 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού, συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C, συναρτήσει του χρόνου. Το pH συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, λόγω των μεταβολικών ουσιών που παράγονται κατά την ανάπτυξή τους.



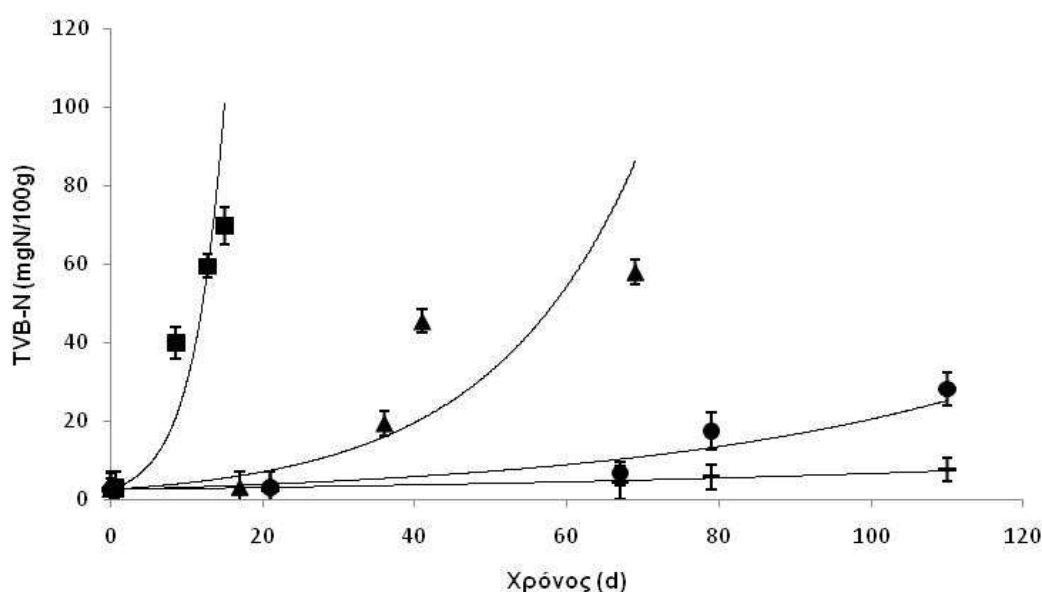
Διάγραμμα 5.4: Μεταβολή του pH συναρτήσει του χρόνου σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C.

Είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς ότι η μεταβολή του pH σε συνάρτηση με το χρόνο δεν είναι στατιστικά σημαντική, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφία (Özogul et al., 2005). Η μικρή ανοδική τάση που παρουσιάζεται μπορεί να αποδοθεί σε φυσικοχημικές δράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη συντήρηση των δειγμάτων.

Το pH του χελιού πριν την κάπνιση κυμαίνεται μεταξύ 6,0 και 7,1 (Özogul et al., 2005), ενώ μετά την κάπνιση ήταν 6,1. Η αύξηση του pH αποδίδεται στην εναπόθεση στη σάρκα των ιχθύων φαινολικών ενώσεων και άλλων αρωματικών συστατικών του καπνού. Το pH του καπνιστού προϊόντος εξαρτάται και από το είδος του ξύλου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή καπνού. Έχει αποδειχθεί ότι τα σκληρά ξύλα δίνουν προϊόντα με χαμηλότερο pH (Papavergou and Clifford, 1986).

5.5. Προσδιορισμός της Ολικής Ποσότητας των Πτητικών Αζωτούχων Ενώσεων (TVB-N)

Μετρώντας την ολική ποσότητα των πτητικών αζωτούχων ενώσεων είναι δυνατός ο προσδιορισμός όλων των πτητικών αμινών που παράγονται κατά την αλλοίωση των δειγμάτων και, κατ' επέκταση, της έκτασης της τελευταίας. Στο Διάγραμμα 5.5.1 παρουσιάζεται η μεταβολή της ποσότητας των πτητικών αζωτούχων ενώσεων σε συνάρτηση με το χρόνο, δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού, συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.



Διάγραμμα 5.5.1: Μεταβολή TVB-N συναρτήσει του χρόνου σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C.

Είναι εμφανές πως η μεταβολή των πτητικών αζωτούχων ενώσεων αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συντήρησης.

Η αύξηση των πτητικών αζωτούχων ενώσεων σε συνάρτηση με το χρόνο περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωσης 1^{ης} τάξης:

$$\frac{C_{TVB-N}}{C_{TVB-No}} = \exp(k_{TVB-N} \cdot t)$$

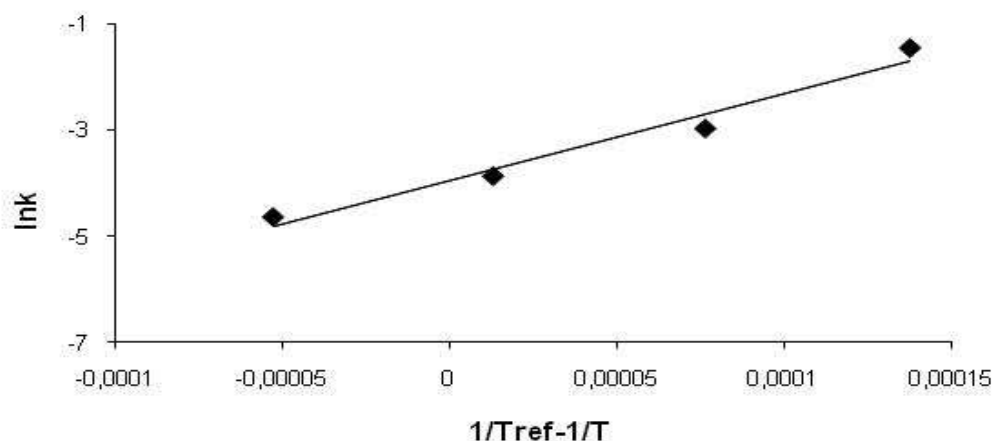
όπου $k_{\text{TVB-N}}$ είναι ο ρυθμός παραγωγής TVB-N, ενώ $C_{\text{TVB-No}}$ είναι η αρχική συγκέντρωση των πτητικών αζωτούχων ενώσεων.

Η αύξηση των TVB-N κατά τη διάρκεια της συντήρησης του καπνιστού φιλέτου χελιού αξιολογείται ως σημαντική στις θερμοκρασίες συντήρησης των 10 και 15°C. Οι Beltrán και Moral (1990) σημείωσαν αύξηση των TVB-N σε καπνιστά φιλέτα σαρδέλας μέχρι τελικής τιμής 46,8 mgN/100g μετά από 120 ημέρες σε θερμοκρασία 1°C.

Πίνακας 5.5.1: Ρυθμοί παραγωγής TVB-N σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Θερμοκρασία συντήρησης	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C
Ρυθμός παραγωγής TVB-N (d^{-1})	0,0096	0,0208	0,0509	0,2317

Στο διάγραμμα 5.5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς παραγωγής των πτητικών αζωτούχων ενώσεων (TVB-N) που δίνονται στον πίνακα 5.5.1 για καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένα σε συσκευασίες υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15 °C.



Διάγραμμα 5.5.2: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς παραγωγής TVB-N σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Στον Πίνακα 5.5.2 παρατίθενται η ενέργεια ενεργοποίησης και ο ρυθμός παραγωγής TVB-N σε θερμοκρασία αναφοράς 4°C για τα καπνιστά φιλέτα χελιού, υπολογισμένα βάσει της εξίσωσης Arrhenius (Διάγραμμα 6.3.2).

Πίνακας 5.5.2: Παράμετροι εξίσωσης Arrhenius για την παραγωγή TVB-N σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

E_a (kJ/mol)	k_{ref} (d⁻¹)	R²
136,34	0,0192	0,9681

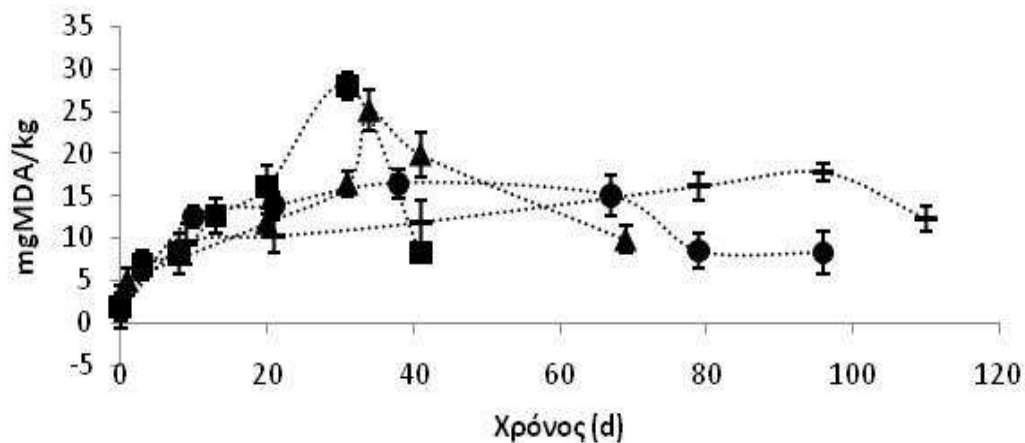
Συσχετίζοντας την οργανοληπτική υποβάθμιση (Παράγραφος 5.7) με την παραγωγή TVB-N προκύπτει ως όριο αποδοχής τα 10 mg N / 100 g. Σε παρόμοιες τιμές έχουν καταλήξει και άλλες μελέτες: οι *Özogul et al.*, (2005) μελετώντας χέλι (*Anguilla anguilla*) έθεσαν ως όριο τα 10 mg N/100 g, ενώ το όριο των 30 – 35 mg N/100 g ψαριού συντηρημένου σε πάγο, θεωρείται αποδεκτό σε άλλες μελέτες (Huss, 1988, Connel, 1995). Οι διαφορές μεταξύ των ορίων αποδοχής για την παραγωγή TVB-N στις διάφορες μελέτες μπορούν να αποδοθούν σε παράγοντες όπως είναι το είδος του ψαριού, η ηλικία, αλλά και η τοποθεσία και η μέθοδος καλλιέργειας που μπορούν να επηρεάσουν το περιεχόμενο των μη πρωτεϊνικών αζωτούχων ενώσεων στους μύες των ιχθυηρών και αυτό, κατ' επέκταση, να επηρεάσει τα επίπεδα του TVB-N (Kyraia *et al.*, 1997). Με βάση αυτό το όριο προκύπτουν οι παρακάτω χρόνοι ζωής για κάθε περίπτωση:

Πίνακας 5.5.3: Χρόνοι ζωής καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C με βάση την παραγωγή TVB-N (όριο 15 mg N / 100 g).

Θερμοκρασία συντήρησης	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C
Χρόνος ζωής (σε ημέρες)	141 ημέρες	65 ημέρες	26 ημέρες	5 ημέρες

5.6. Προσδιορισμός της Οξείδωσης των Λιπών (TBARs)

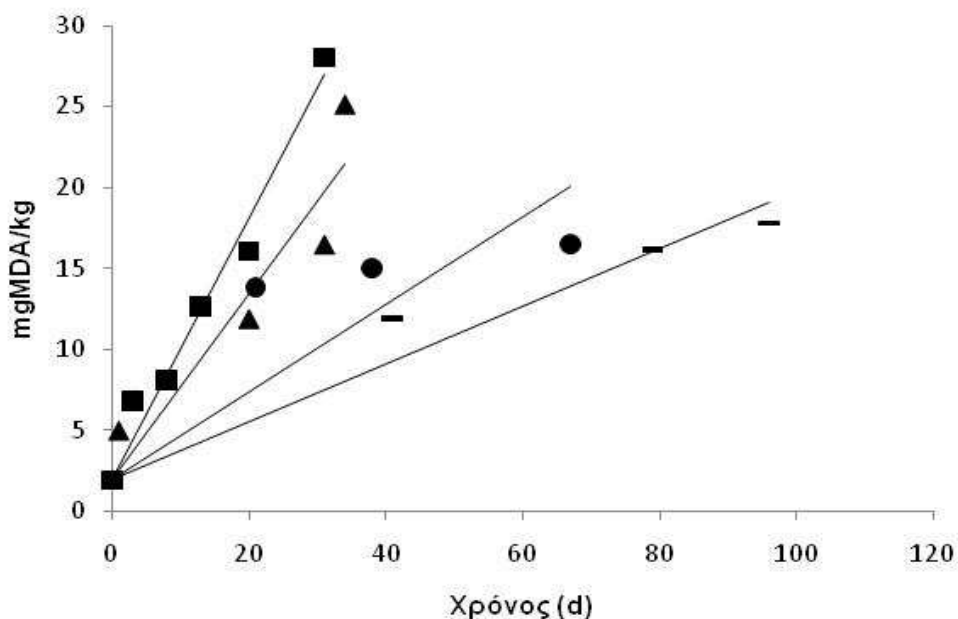
Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 5.6.1 παρουσιάζεται η πορεία της οξείδωσης των λιπών συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.



Διάγραμμα 5.6.1: Μεταβολή οξείδωσης των λιπών συναρτήσει του χρόνου σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, τα δείγματα που συντηρήθηκαν σε χαμηλές θερμοκρασίες παρουσίασαν πιο αργή μεταβολή της οξείδωσης των λιπών τους σε σχέση με αυτά που συντηρήθηκαν σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Εντούτοις, επειδή η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε μετρά την ποσότητα των δευτερογενών προϊόντων της οξείδωσης, τα οποία μετά από κάποιο χρονικό διάστημα διασπώνται σε άλλα προϊόντα (Botta, 1995), οι καμπύλες που παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5.6.1 παρουσιάζουν πτωτική τάση μετά την πάροδο ορισμένου χρονικού διαστήματος, ειδικά στις υψηλότερες θερμοκρασίες των 10 και 15°C. Για το λόγο αυτό, η μαθηματική προσέγγιση της οξείδωσης των λιπών βασίστηκε στο αρχικό ευθύγραμμο τμήμα της κάθε καμπύλης και παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



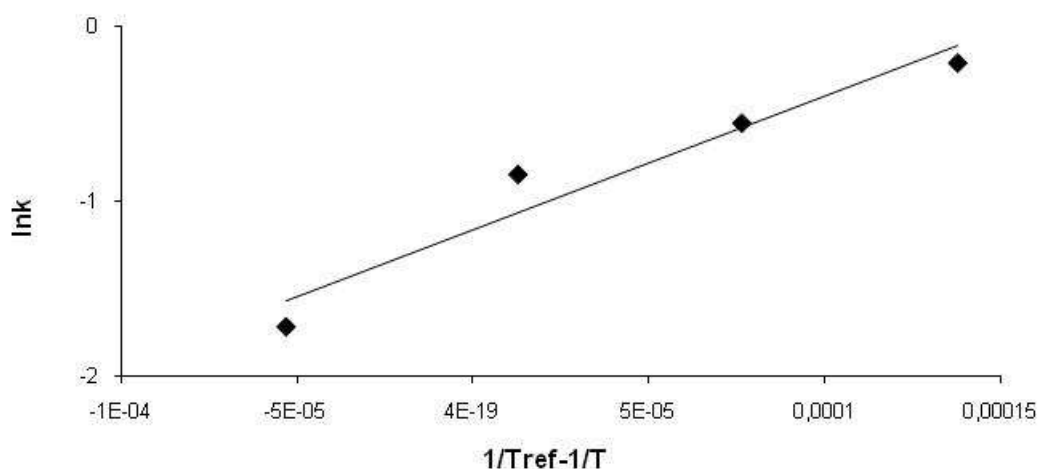
Διάγραμμα 5.6.2: Μοντελοποίηση της πορείας της οξείδωσης των λιπών συναρτήσει του χρόνου σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C.

Από τη μαθηματικοποίηση της πορείας της οξείδωσης προέκυψαν οι ρυθμοί παραγωγής MDA που παρατίθενται στον Πίνακα 5.6.1.

Πίνακας 5.6.1: Ρυθμοί παραγωγής MDA σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Θερμοκρασία συντήρησης	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C
Ρυθμός παραγωγής MDA	0,1786	0,4275	0,5735	0,8095

Στο διάγραμμα 5.6.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς παραγωγής MDA που δίνονται στον Πίνακα 5.6.1 για καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15 °C.



Διάγραμμα 5.6.3: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς παραγωγής MDA σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Στον Πίνακα 5.6.2 παρατίθενται η ενέργεια ενεργοποίησης και ο ρυθμός παραγωγής MDA σε θερμοκρασία αναφοράς 4°C για τα καπνιστά φιλέτα χελιού, υπολογισμένα βάσει της εξίσωσης Arrhenius (Διάγραμμα 5.6.3).

Πίνακας 5.6.2: Παράμετροι εξίσωσης Arrhenius για την παραγωγή MDA σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Ea (kJ/mol)	k_{ref} (d⁻¹)	R²
63,4	0,3112	0,9357

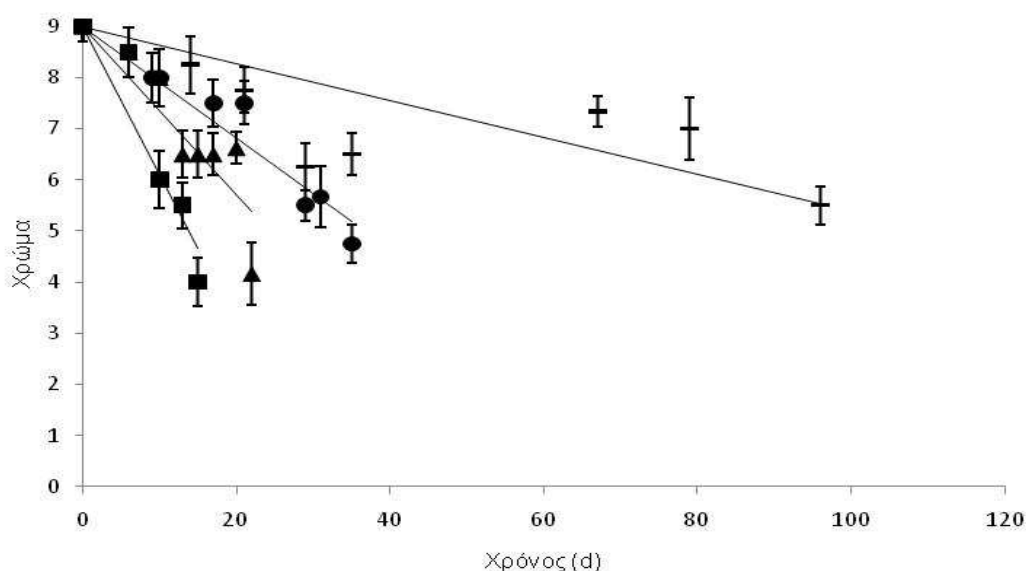
Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι δυνατή η συσχέτιση της πορείας της οξειδωσης των λιπών στα δείγματα των καπνιστών φιλέτων χελιού με την οργανοληπτική αποδοχή. Μέσω αυτής, ως όριο αποδοχής για δείγματα ως προς την πορεία της οξειδωσης τίθεται η τιμή των 15 mg MDA/kg. Οι *Özogul et al.*, (2005) αναφέρουν τιμές από 4 έως 27 mg MDA/kg για καλής και κακής ποιότητας ψάρι αντίστοιχα.

Πίνακας 5.6.3: Χρόνοι ζωής καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C με βάση την παραγωγή MDA (όριο 15 mg / kg).

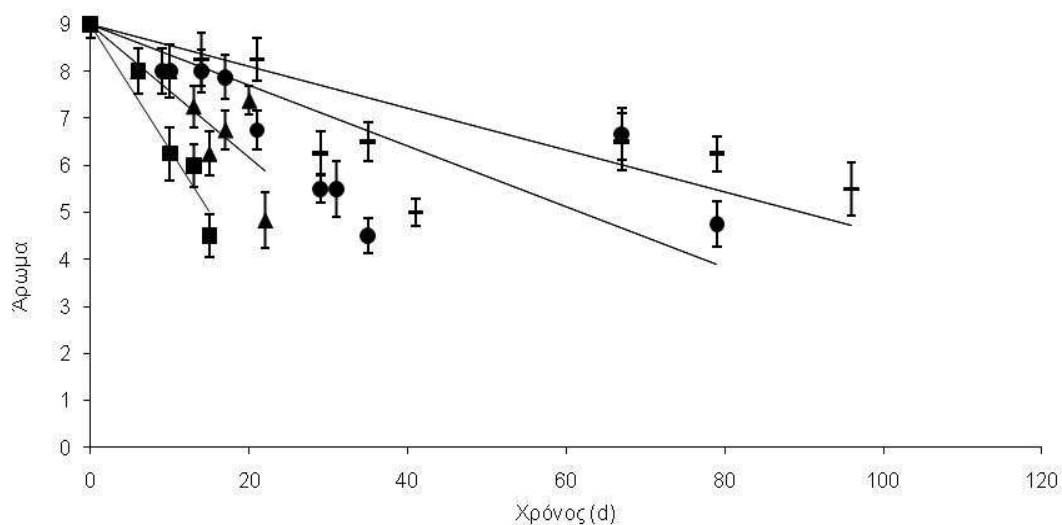
Θερμοκρασία συντήρησης	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C
Χρόνος ζωής (σε ημέρες)	73 ημέρες	54 ημέρες	22 ημέρες	16 ημέρες

5.7. Οργανοληπτική Εξέταση

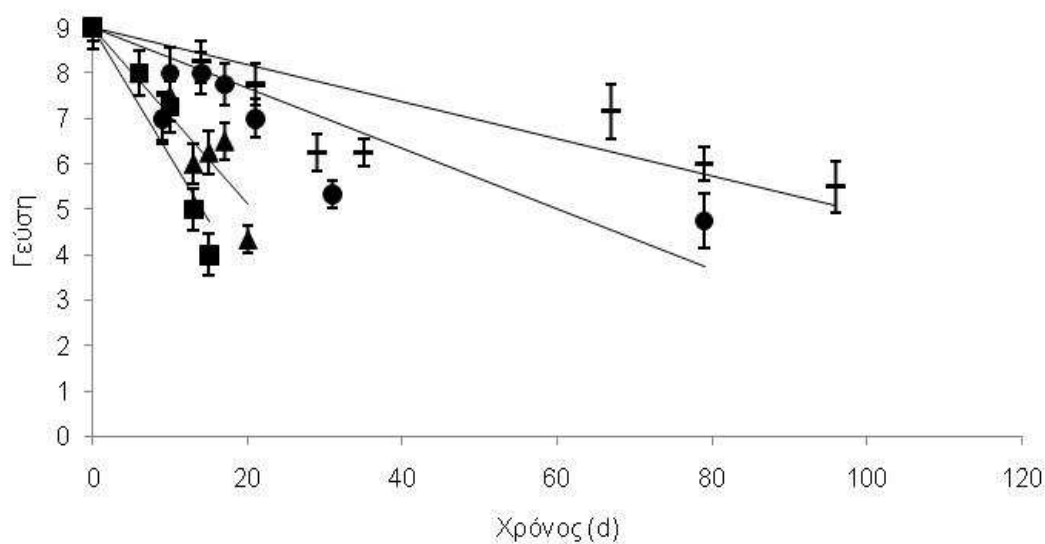
Τα επιμέρους οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού μελετήθηκαν με εφαρμογή οργανοληπτικών δοκιμών, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα δείγματα εξετάστηκαν ως προς το χρώμα, το άρωμα, τη γεύση, την υφή, τη μετάγευση και τη συνολική εντύπωση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Σημειώνεται ότι ως όριο αποδοχής τέθηκε η τιμή 5 για τη βαθμολόγηση της συνολικής οργανοληπτικής εντύπωσης.



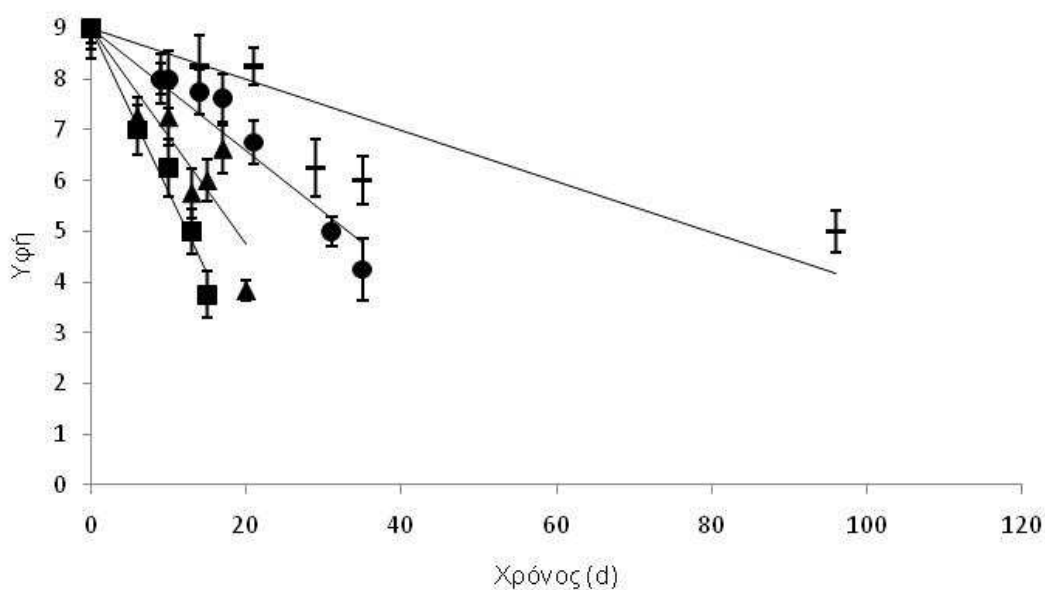
Διάγραμμα 5.7.1: Αποτελέσματα οργανοληπτικής εξέτασης δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C ως προς το χρώμα.



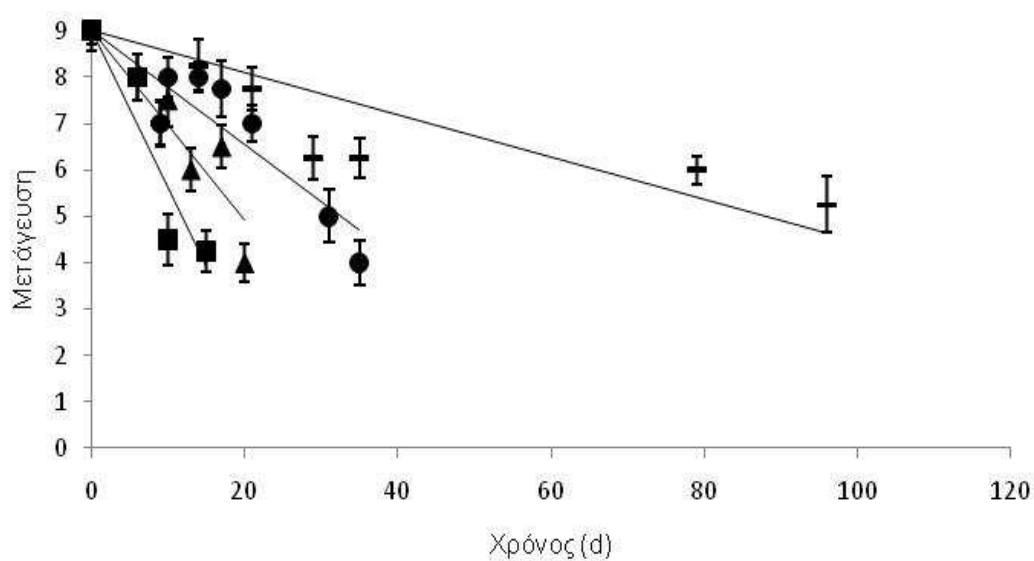
Διάγραμμα 5.7.2: Αποτελέσματα οργανοληπτικής εξέτασης δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C ως προς το άρωμα.



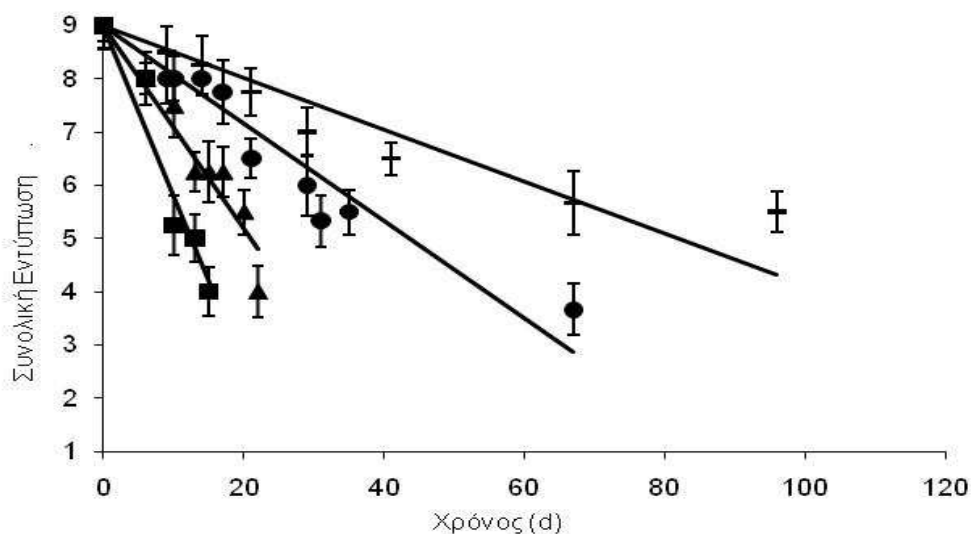
Διάγραμμα 5.7.3: Αποτελέσματα οργανοληπτικής εξέτασης δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C ως προς τη γεύση.



Διάγραμμα 5.7.4: Αποτελέσματα οργανοληπτικής εξέτασης δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C ως προς την υφή.



Διάγραμμα 5.7.5: Αποτελέσματα οργανοληπτικής εξέτασης δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C ως προς τη μετάγνευση.



Διάγραμμα 5.7.6: Αποτελέσματα οργανοληπτικής εξέτασης δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες — 0, ● 5, ▲ 10 και ■ 15°C ως προς τη συνολική εντύπωση.

Με την πάροδο του χρόνου, παρατηρείται σημαντική υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού. Οι υψηλές βαθμολογίες των δοκιμαστών διατηρήθηκαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στην περίπτωση των χαμηλών θερμοκρασιών των 0 και 5 °C. Η υφή, η μετάγευση και το άρωμα ήταν τα χαρακτηριστικά εκείνα στα οποία παρατηρήθηκε η γρηγορότερη υποβάθμιση στις χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ στις υψηλότερες θερμοκρασίες οι δοκιμαστές διαπιστώνουν ταχύτερη υποβάθμιση όλων των χαρακτηριστικών.

Η υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, όπως αυτή εκφράζεται από τη βαθμολογία των δοκιμαστών στην οργανοληπτική εξέταση των δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού ως προς τη συνολική εντύπωση συναρτήσει του χρόνου, περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση 0^{ης} τάξης:

$$SC_{\text{overall}} = SC_{\text{overall-0}} + k_{\text{sens.}} \cdot t$$

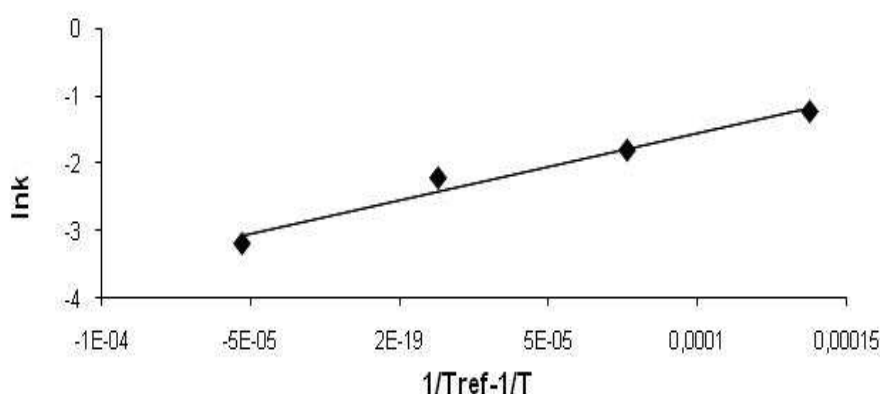
όπου $k_{\text{sens.}}$ είναι ο ρυθμός υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, ενώ $SC_{\text{overall-0}}$ είναι η αρχική βαθμολογία των δειγμάτων στην οργανοληπτική εξέταση.

Στον Πίνακα 5.7.1 παρουσιάζονται οι ρυθμοί της οργανοληπτικής υποβάθμισης των δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

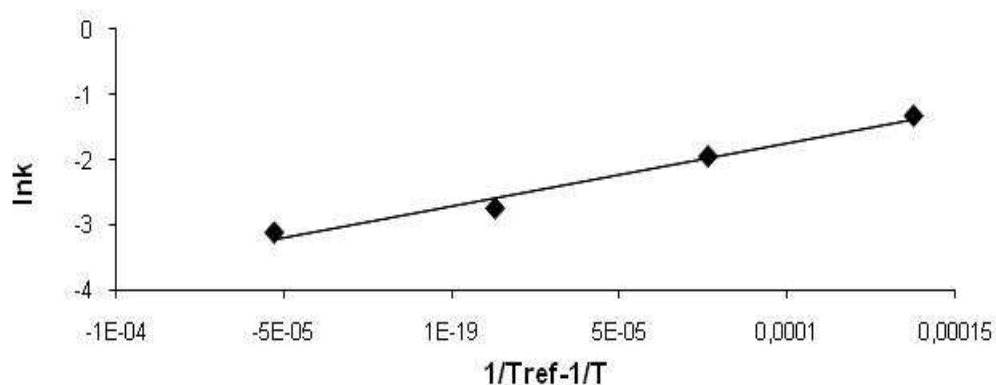
Πίνακας 5.7.1: Ρυθμοί της οργανοληπτικής υποβάθμισης των δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

Θερμοκρασία συντήρησης	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C
Χρώμα	0,0415	0,1091	0,1640	0,2896
Άρωμα	0,0445	0,0645	0,1423	0,2642
Γεύση	0,0408	0,0668	0,1945	0,2840
Υφή	0,0503	0,1207	0,2124	0,3212
Μετάγευση	0,0454	0,1228	0,2037	0,3386
Συνολική εντύπωση	0,0486	0,0638	0,1907	0,3217

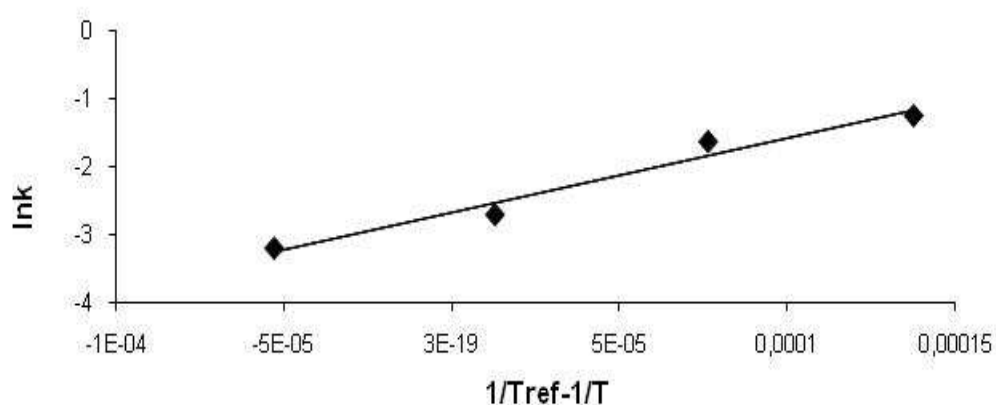
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς οργανοληπτικής υποβάθμισης που δίνονται στον Πίνακα 5.7.1 για καπνιστά φιλέτα χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.



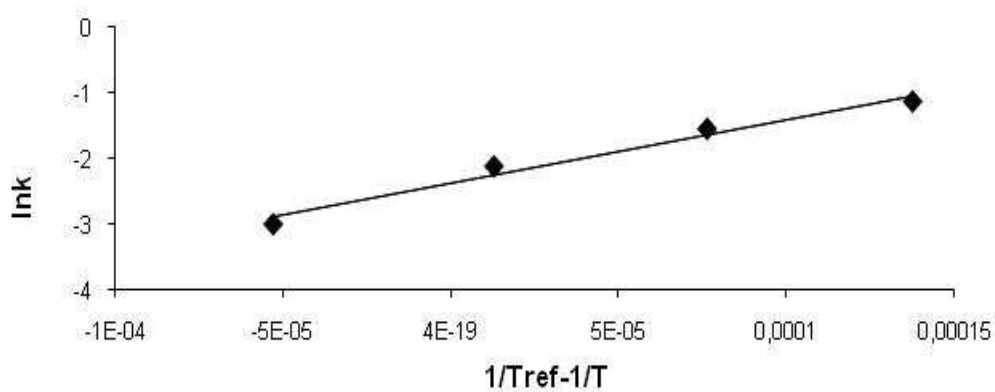
Διάγραμμα 5.7.7: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς οργανοληπτικής υποβάθμισης σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C με βάση το χρώμα.



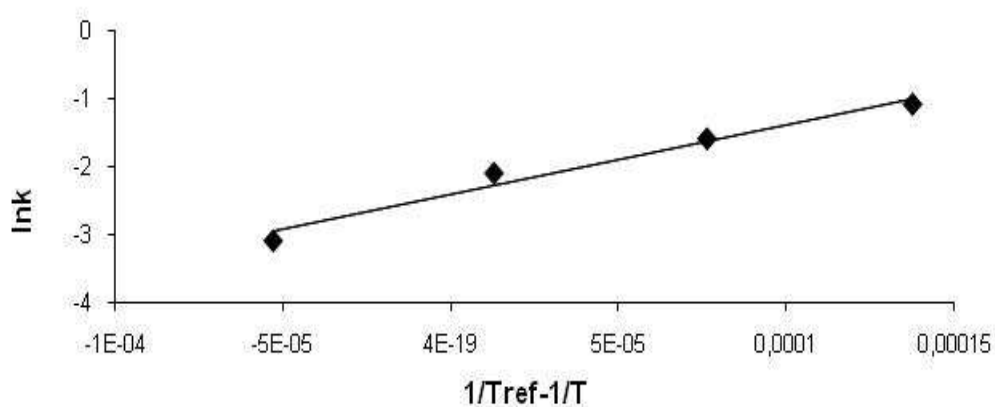
Διάγραμμα 5.7.8: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς οργανοληπτικής υποβάθμισης σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C με βάση το άρωμα.



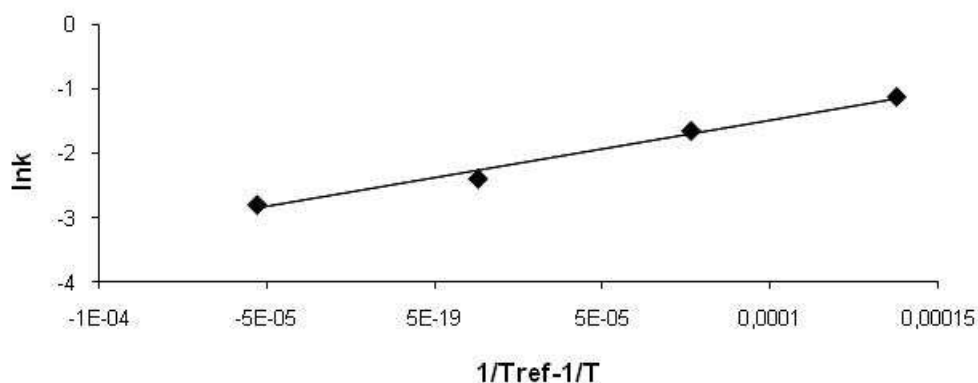
Διάγραμμα 5.7.9: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς οργανοληπτικής υποβάθμισης σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C με βάση τη γεύση.



Διάγραμμα 5.6.10: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς οργανοληπτικής υποβάθμισης σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C με βάση την υφή.



Διάγραμμα 5.7.11: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς οργανοληπτικής υποβάθμισης σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C με βάση τη μετάγευση.



Διάγραμμα 5.7.12: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς οργανοληπτικής υποβάθμισης σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C με βάση τη συνολική εντύπωση.

Στον Πίνακα 5.7.2. παρατίθενται η ενέργεια ενεργοποίησης και ο ρυθμός της οργανοληπτικής υποβάθμισης σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C των καπνιστών φιλέτων χελιού με βάση την προσαρμογή στην εξίσωση Arrhenius (διαγράμματα 5.7.7 – 5.7.12).

Πίνακα 5.7.2: Παράμετροι εξίσωσης Arrhenius για την οργανοληπτική υποβάθμιση σε δείγματα καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C.

	Ea (kJ/mol)	k_{ref} (d⁻¹)	R²
Χρώμα	81,8	0,0789	0,9716
Άρωμα	80,2	0,0670	0,9797
Γεύση	90,2	0,0690	0,9669
Υφή	80,4	0,0936	0,9767
Μετάγευση	85,7	0,0893	0,9726
Συνολική εντύπωση	74,7	0,0920	0,9868

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι διατήρησης των δειγμάτων, όπως αυτοί προέκυψαν με βάση την οργανοληπτική εξέταση:

Πίνακας 5.7.3: Χρόνοι ζωής καπνιστών φιλέτων χελιού συσκευασμένων υπό κενό με βάση τη συνολική εντύπωση κατά την οργανοληπτική εξέταση (όριο=5 για τη συνολική εντύπωση)

Θερμοκρασία συντήρησης	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C
Χρόνος ζωής (σε ημέρες)	82 ημέρες	63 ημέρες	20 ημέρες	12 ημέρες

5.8. Προσδιορισμός χρόνου ζωής

Με βάση τα δεδομένα που επεξεργαστήκαμε στις προηγούμενες παραγράφους, προέκυψε ο ακόλουθος συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 5.8.1) των χρόνων ζωής από χημικής και οργανοληπτικής σκοπιάς. Ο χρόνος ζωής υπολογίστηκε βάσει ολικών πτητικών αζωτούχων ενώσεων TVB-N (TVB-N < 10 mg N/100g), οξείδωσης των λιπών (TBARs < 15 mg/kg) και συνολικής εντύπωσης βάσει οργανοληπτικής δοκιμής (συνολική εντύπωση > 5).

Πίνακας 5.8.1: Χρόνος ζωής σε ημέρες καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε θερμοκρασίες των 0, 5, 10 και 15°C βάσει TVB-N (TVB-N < 10 mg N/100g), οξείδωσης των λιπών (TBARs < 15 mg/kg) και συνολικής εντύπωσης βάσει οργανοληπτικής δοκιμής (συνολική εντύπωση > 5).

	0°C	5°C	10°C	15°C
TVB-N	141 ημέρες	65 ημέρες	26 ημέρες	5 ημέρες
TBARs	73 ημέρες	63 ημέρες	22 ημέρες	16 ημέρες
Συνολική εντύπωση	82 ημέρες	54 ημέρες	20 ημέρες	12 ημέρες

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι χρόνοι ζωής φθίνουν από τις χαμηλότερες προς τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Ειδικά για τις θερμοκρασίες των 10 και 15°C, παρατηρούνται πολύ μικρές διαφορές στις τιμές των χρόνων ζωής που προκύπτουν από κάθε μέτρηση, γεγονός που δηλώνει σημαντική υποβάθμιση και αλλοίωση των δειγμάτων. Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ των χρόνων ζωής που προέκυψαν από τη μέτρηση της οξείδωσης των λιπών (TBARs) και της συνολικής εντύπωσης της οργανοληπτικής δοκιμής, ενώ οι χρόνοι ζωής που υπολογίστηκαν από τη μέτρηση της ποσότητας των ολικών πτητικών ενώσεων (TVB-

N), αλλά και της ολικής μικροβιακής χλωρίδας είναι μεγαλύτεροι. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι επρόκειτο για ένα λιπαρό ψάρι με αποτέλεσμα η αλλοίωση των δειγμάτων να προέρχεται, κατά κύριο λόγο, από την οξείδωση των λιπών. Αντίστοιχα, η ποσότητα των ολικών πτητικών ενώσεων, δεν ήταν τόσο καλός δείκτης της αλλοίωσης του προϊόντος, εφόσον δίνει τιμές χρόνων ζωής πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της συνολικής εντύπωσης της οργανοληπτικής δοκιμής. Η μικροβιακή αλλοίωση δεν έδωσε αποτελέσματα για τον υπολογισμό του χρόνου ζωής, αφού η μικροβιακή ανάπτυξη ήταν αργή και το μετρούμενο μικροβιακό φορτίο χαμηλό. Η κάπνιση οδήγησε στη δημιουργία ενός προϊόντος ιδιαίτερα σταθερού μικροβιακά, με αποτέλεσμα η μικροβιακή αλλοίωση να μην είναι καλός δείκτης της διατηρησιμότητάς του.

5.9. Επαλήθευση μοντέλου πρόβλεψης σε δυναμικές συνθήκες

Προκείμενου να αξιολογηθεί η εφαρμοσιμότητα του μοντέλου Arrhenius στην ψυκτική αλυσίδα, κρίθηκε σκόπιμη η διεξαγωγή πειραμάτων σε δυναμικές συνθήκες με δραστική θερμοκρασία 7,5°C, σύμφωνα με το εξής θερμοκρασιακό σενάριο: 8 ώρες στους 3°C, 8 ώρες στους 10°C και 8 ώρες στους 6°C.

Προσδιορίζεται η ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας, των γαλακτικών βακτηρίων, της ποσότητας των ολικών πτητικών αζωτούχων ενώσεων (TVB-N) καθώς και η οξείδωση των λιπών (TBAR) και η συνολική εντύπωση της οργανοληπτικής δοκιμής στις παραπάνω συνθήκες και οι τιμές των σταθερών ρυθμών ανάπτυξης συγκρίνονται με τις αντίστοιχες που υπολογίζονται βάσει του εξαγόμενου μοντέλου. Τα αποτελέσματα της παραπάνω σύγκρισης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.9.1.

Πίνακας 5.9.1: Σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης υπολογισμένες από το εξαγόμενο μοντέλο και προσδιορισμένων κατά μη ισοθερμοκρασιακά πειράματα ($T_{\text{eff}}=7,5^{\circ}\text{C}$) για ολική μικροβιακή χλωρίδα, γαλακτικά βακτήρια, ολικές πτητικές αζωτούχες ενώσεις, οξείδωση των λιπών και συνολική εντύπωση οργανοληπτικής δοκιμής καπνιστών φιλέτων χελιού.

	$k_{\text{προβλ.}} (\text{d}^{-1})$	$k_{\text{πειρ}} (\text{d}^{-1})$	% σφάλμα
Ολική μικροβιακή χλωρίδα	0,1161	0,1304	10,96
Γαλακτικά βακτήρια	0,0953	0,1087	12,33
TVB-N	0,0401	0,0356	-12,64
TBAR	0,3112	0,3814	18,41
Συνολική εντύπωση οργανοληπτικής δοκιμής	0,1378	0,1156	-19,20

Από τα πειράματα σε δυναμικές συνθήκες προκύπτει ότι το % σφάλμα πρόβλεψης, που υπολογίζεται από τη σχέση $\% \text{σφάλμα} = 100 \cdot [(\text{πειραματική τιμή}) - (\text{τιμή πρόβλεψης})] / (\text{πειραματική τιμή})$, είναι για όλες τις περιπτώσεις χαμηλότερο από το όριο του 20% που χρησιμοποιείται συχνά στη βιβλιογραφία ως κριτήριο εφαρμογής (Dalgaard *et al.*, 1997a, Gougouli *et al.*, 2008). Το γεγονός αυτό, αποδεικνύει την ικανότητα του μοντέλου να προβλέψει την εξέλιξη, συναρτήσει του χρόνου, των μελετούμενων χαρακτηριστικών σε δεδομένη θερμοκρασία διατήρησης στις δυναμικές συνθήκες της ψυκτικής αλυσίδας.

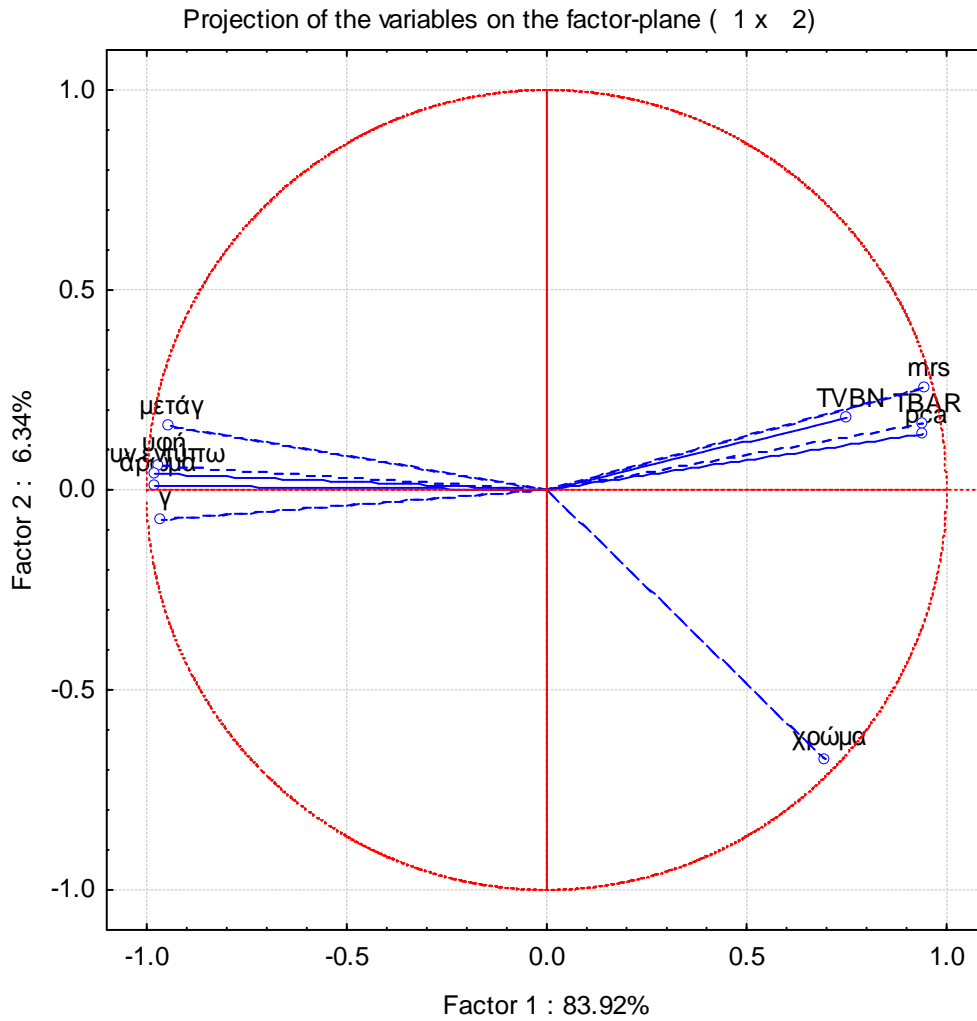
5.10. Παραγοντική ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA: Principal Components Analysis) - Συσχέτιση οργανοληπτικών δοκιμών και αντικειμενικών μετρήσεων

Στα πλαίσια της στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων των πειραμάτων, πραγματοποιείται παραγοντική ανάλυση των μεταβλητών (χρόνος συντήρησης και

θερμοκρασία συντήρησης δειγμάτων καπνιστών φιλέτων χελιού) για τους μελετώμενους παράγοντες (μικροβιακή ανάπτυξη, παραγωγή TVB-N, οξείδωση των λιπών TBARs και βαθμολόγηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και συνολικής οργανοληπτικής εντύπωσης κατά την οργανοληπτική εξέταση). Τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης κύριων συνιστωσών για τις μετρήσεις που προέκυψαν από τη διεξαγωγή του πειράματος παριστάνονται στο Σχήμα 5.10.1.

Από το διάγραμμα ανάλυσης κύριων συνιστωσών κατά τη στατιστική ανάλυση των δειγμάτων προκύπτει ότι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της γεύσης, του αρώματος, της υφής και της μετάγευσης συσχετίζονται σχεδόν απόλυτα με τη συνολική οργανοληπτική εντύπωση, ενώ αντίθετα το χρώμα δεν παρουσιάζει συσχέτιση με τη συνολική οργανοληπτική εντύπωση, κάτι που μπορεί να αιτιολογηθεί από το γεγονός ότι ήταν ένας δείκτης που δεν επηρεαζόταν έντονα συναρτήσει του χρόνου. Αντίστοιχα, ισχυρή αρνητική σχέση παρουσιάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και η συνολική οργανοληπτική εντύπωση με την οξείδωση των λιπών (TBARs), που ήταν και ο κυριότερος παράγοντας αλλοίωσης των δειγμάτων. Έντονη αρνητική συσχέτιση παρουσιάζεται και με την παραγωγή των ολικών πτητικών αζωτούχων ενώσεων (TVB-N), καθώς και με τη μικροβιακή ανάπτυξη στα αρχικά της στάδια.

Επίσης προκύπτει ότι η θερμοκρασία συντήρησης είναι η βασική παράμετρος για τη μεταβολή της ποιότητας του καπνιστού χελιού (83,92% έναντι 6,34%).



Σχήμα 5.10.1: Απεικόνιση της ανάλυσης κύριων συνιστωσών κατά τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Άξονας x: Θερμοκρασία συντήρησης δειγμάτων, Άξονας y: χρόνος συντήρησης στους 0, 5, 10 και 15°C.

Κεφάλαιο 6°: Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, προκειμένου να δοθεί συγκεντρωτικά η συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων του πειράματος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη της διατηρησιμότητας καπνιστών φιλέτων χελιού (*Anguilla anguilla*) συντηρημένων σε συσκευασία υπό κενό σε θερμοκρασίες 0, 5, 10 και 15°C. Στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι χρόνοι ζωής των δειγμάτων των καπνιστών φιλέτων χελιού, όπως προέκυψαν βάσει των χημικών αναλύσεων και της οργανοληπτικής δοκιμής.

Πίνακας 6.1: Χρόνος ζωής (σε ημέρες) καπνιστών φιλέτων χελιού συντηρημένων σε θερμοκρασίες των 0, 5, 10 και 15°C βάσει TVB-N (TVB-N < 10 mg N/100g), οξείδωσης των λιπών (TBARs < 15 mg/kg) και συνολικής εντύπωσης βάσει οργανοληπτικής δοκιμής (συνολική εντύπωση > 5).

	0°C	5°C	10°C	15°C
TVB-N	141 ημέρες	65 ημέρες	26 ημέρες	5 ημέρες
TBARs	73 ημέρες	63 ημέρες	22 ημέρες	16 ημέρες
Συνολική εντύπωση	82 ημέρες	54 ημέρες	20 ημέρες	12 ημέρες

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως ο υπολογισμός του χρόνου ζωής βάσει οργανοληπτικής δοκιμής (συνολική εντύπωση > 5) σχετίζεται καλύτερα με τον υπολογισμό βάσει της οξείδωσης των λιπών (TBARs < 15 mg/kg). Τα καπνιστά φιλέτα χελιού έδωσαν μεγάλες τιμές στην ανάλυση της οξείδωσης των λιπών TBARs (παράγραφος 5.5 της διπλωματικής εργασίας), γεγονός που καθιστά την οξείδωση ως τον κυριότερο παράγοντα αλλοίωσης για το μελετώμενο προϊόν. Η διαπίστωση αυτή προέκυψε και από τη στατιστική επεξεργασία κατά την ανάλυση κύριων συνιστωσών. Συνολικά προκύπτει ότι για τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες συντήρησης οι χρόνοι ζωής ελαττώνονται.

Αντίθετα, ο προσδιορισμός του χρόνου ζωής βάσει των ολικών πτητικών αζωτούχων βάσεων TVB-N ($\text{TVB-N} < 10 \text{ mg N}/100\text{g}$) δεν είχε ικανοποιητική συσχέτιση με εκείνον της συνολικής εντύπωσης της οργανοληπτικής δοκιμής. Ως χρόνος ζωής στους 0°C υπολογίστηκαν οι 141 ημέρες, χρόνος μεγαλύτερος από τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ο υπολογισμός έγινε με τη μέθοδο της γραμμικής προεκβολής και όχι βάσει πειραματικών μετρήσεων.

Όσον αφορά στη μικροβιακή αλλοίωση, λόγω της κάπνισης, το μελετώμενο προϊόν βρέθηκε να είναι μικροβιακά σταθερό, καθότι το μετρούμενο μικροβιακό φορτίο ήταν χαμηλό ($\log\text{cfu}_{\text{ολ.μικροβ.γλωρίδας}}/\text{g} \leq 4$, παράγραφος 5.2 της διπλωματικής εργασίας) και η μικροβιακή ανάπτυξη αργή. Έτσι, η μικροβιακή αλλοίωση δεν ήταν καλός δείκτης της διατηρησιμότητας του προϊόντος.

Το pH διατηρήθηκε πρακτικά σταθερό κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων, με μικρή ανοδική τάση που μπορεί να αποδοθεί σε φυσικοχημικές δράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη συντήρηση των δειγμάτων.

Για την αξιολόγηση της εφαρμοσιμότητας του μοντέλου Arrhenius στην ψυκτική αλυσίδα, διεξήχθησαν πειράματα σε δυναμικές συνθήκες ($T_{\text{eff}}=7,5^\circ\text{C}$). Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης υπολογισμένες από το εξαγόμενο μοντέλο και προσδιορισμένες κατά μη ισοθερμοκρασιακά πειράματα. Από τα πειράματα σε δυναμικές συνθήκες προκύπτει ότι το % σφάλμα πρόβλεψης είναι για όλες τις περιπτώσεις χαμηλότερο από το όριο του 20% που χρησιμοποιείται συχνά στη βιβλιογραφία ως κριτήριο εφαρμογής (Dalgaard *et al.*, 1997a, Gougouli *et al.*, 2008). Το γεγονός αυτό, αποδεικνύει την ικανότητα του μοντέλου να προβλέψει την εξέλιξη, συναρτήσει του χρόνου, των μελετούμενων χαρακτηριστικών σε δεδομένη θερμοκρασία διατήρησης στις δυναμικές συνθήκες της ψυκτικής αλυσίδας.

Συμπερασματικά, η κάπνιση, ως διαδικασία που συνδυάζει σε μία παραγωγική διαδικασία τα αποτελέσματα της αλάτισης, της αφυδάτωσης και της θέρμανσης με τις αντιμικροβιακές και τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες του καπνού, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός τελικού προϊόντος χελιού μικροβιακά σταθερού και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με το αντίστοιχο ανεπεξέργαστο. Επιπλέον, η

συσκευασία του προϊόντος σε κενό διασφαλίζει τις απαραίτητες συνθήκες υγιεινής για τη συντήρηση του προϊόντος καθώς και τη διατηρησιμότητά του. Θεωρείται σκόπιμο να επεκταθούν οι έρευνες που αφορούν στην επίδραση της κάπνισης στη συντήρηση των προϊόντων ιχθυηρών, εφόσον ο αριθμός των σχετικών διαθέσιμων αναφορών είναι περιορισμένος. Για ένα προϊόν όπως το χέλι, ψάρι υψηλής λιποπεριεκτικότητας του οποίου η διατηρησιμότητα συνδέεται με τους μηχανισμούς οξείδωσης των περιεχόμενων λιπών, κρίνεται σκόπιμη η μελέτη μεθόδων επιβράδυνσης των φαινομένων οξείδωσης, τόσο με χρήση εναλλακτικών συσκευασιών όσο και με προσθήκη αντιοξειδωτικών μέσων σε κάποιο στάδιο της παραγωγής (για παράδειγμα στο διάλυμα εμβάπτισης κατά την άλμιση).

Πίνακας 6.2: Σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης υπολογισμένες από το εξαγόμενο μοντέλο και προσδιορισμένων κατά μη ισοθερμοκρασιακά πειράματα ($T_{\text{eff}}=7,5^{\circ}\text{C}$) για ολική μικροβιακή χλωρίδα, γαλακτικά βακτήρια, ολικές πτητικές αζωτούχες ενώσεις, οξείδωση των λιπών και συνολική εντύπωση οργανοληπτικής δοκιμής καπνιστών φιλέτων χελιού.

	$k_{\text{προβλ.}} (\text{d}^{-1})$	$k_{\text{πειρ}} (\text{d}^{-1})$	% σφάλμα
Ολική μικροβιακή χλωρίδα	0,1161	0,1304	10,96
Γαλακτικά βακτήρια	0,0953	0,1087	12,33
TVB-N	0,0401	0,0356	-12,64
TBAR	0,3112	0,3814	18,41
Συνολική οργανοληπτική εντύπωση	0,1378	0,1156	-19,20

Βιβλιογραφία

- Ahmed, F. E. 1991. Seafood Safety. Committee on Evaluation of the safety of fishery products, Food and Nutrition Board Institute of Medicine, National Academy Press, Washington, D.C.
- Alvarez J.A., Pozo R., Pastoriza L. 1996. Effect of a cryoprotectant agent (sodium tripolyphosphate) on hake slices preserved in modified atmosphere packing. *Food Science Technology International* 2, 177-181.
- AOAC 984.13. 1990. Protein (Crude) in animal feed. Copper catalyst Kjeldahl method. In: Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (984.13), 15th Edition, AOAC, Arlington, Virginia, p. 74.
- Arkoudelos J., Stamatis N., Samaras F. 2007. Quality attributes of farmed eel (*Anguilla anguilla*) stored under air, vacuum and modified atmosphere packaging at 0°C. *Food Microbiology* 24, 728-735.
- Arrhenius S. 1889. Uber die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Sauren. *Zeitschrift für Physikalische Chemie* 4, 226–248.
- Banks H., Nickelson R., Finne G. 1980. Shelf-life studies on carbon dioxide packaged finfish from the Gulf of Mexico. *Journal of Food Science* 45(2), 157-162.
- Baranyi J., Roberts T.A., McClure P. 1993. A non-autonomous Differential Equation to Model Bacterial Growth, *Food Microbiology*, 10, 43-59.
- Belehradek J. 1930. Temperature coefficients in biology. *Biological Reviews* 5(1), 30–58.
- Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P. 2006. Χημεία τροφίμων, 3^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Beltrán A., Moral A. 1990. Keeping quality of Vacuum-packaged Smoked Sardine Fillets: Biochemical and Organoleptic Aspects. *Lebensm. –Wiss. U. –Technol.*, 23, 255-259.

- Beltrán A., Peláez, C., A. Moral (1989). Keeping quality of vacuum-packed smoked sardine fillets: microbiological aspects, *Z Lebensm Unters Forsch*, 188, 232-236.
- Beltrán Gargia – Echaniz, A. 1989. Tecnologia del Ahumado: Origen y Composition del Humo. *Alimentaria*, Junio, 45-49.
- Bemiller, N. J., Whistler R.L. 1996. Carbohydrates. In O. R. Fennema (Ed), *Food Chemistry* (3rd ed), Marcel Deccer Inc., New York, Hong Kong, 157-223.
- Bhuiyan A. K. M. A., Ratnayake W. M. N., Ackman R. G. 1986a. Effect of smoking on the proximate composition of Atlantic Mackerel. *Journal of Food Science*. 51, 327-329.
- Bhuiyan A. K. M. A., Ratnayake W. M. N., R. G. Ackman. 1986c. Nutritional composition of raw and smoked Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*): Oil- and Water-soluble Vitamins. *Journal of Food Composition and Analysis*, 6, 172-184.
- Bhuiyan A. K. M. A., Ratnayake W. M. N., R. G. Ackman. 1986c. Stability of lipids and Polyunsaturated Fatty Acids During Smoking of Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus* L). *Journal of American Oil Chemist's Society*, 63 (3), 324-328.
- Bonnell A.D. 1994. *Quality Assurance in Seafood Processing-A Practical Guide*, Chapman & Hall (Eds.), USA.
- Borderias A.J., Lamua M., Tejada M. 1983. Texture analysis of fish fillets and minced fish by both sensory and instrumental methods. *Journal of Food Technology* 18, 85-95.
- Boskou G., Debevere J. 1998. In vitro study of TMAO reduction by *Shewanella putrefaciens* isolated from cod fillets packed in modified atmosphere. *Food Additives and Contaminants* 15, 229-236.
- Botta J.R. 1991. Instrument for nondestructive texture measurement of raw Atlantic cod (*Gadus morhua*) fillets. *Journal of Food Science* 56, 962-968.
- Botta J.R. 1995. *Evaluation of Seafood Freshness Quality*, Library of Congress, USA.
- Botta, J. R. (1995). *Evaluation of seafood freshness quality*. VCH Publishers Inc., New York, USA.
- Bourne M.C. 1978. Texture profile analysis. *Food Technology* 32, 62-72.

- Breene W.M. 1975. Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation. *Journal of Texture Studies* 6, 53-82.
- Buchanan R.I. 1993. Predictive Food Microbiology, *Trends in Food Science and Technology*, 41, 6-11.
- Buchanan R.L., Whiting R.C., Damert W.C. 1997. When is simple good enough: a comparison of the Gompertz, Baranyi, and three phase linear models for fitting bacterial growth curves. *Food Microbiology* 14, 313–326.
- Buchanan, R.L. 1991. Using spreadsheet software for predictive microbiology applications. *Journal of Food Safety* 11, 123–134.
- Burt, J. R. 1988. Dried and smoked fishery products. In *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying in nutritional properties of fish*, Elsevier Applied Science, London and New York, 121-159.
- Burt, J. R. 1988. *Fish smoking and drying*, Elsevier Applied Science, London and New York.
- Cadun A., Cakli S., Kislak D. 2005. A study of marination of deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*, Lucas, 1846) and its shelf life. *Food Chemistry* 90, 53-59.
- Chouliara I., Savva I.N., Panagiotakis N., Kontominas M.G. 2004. Preservation of salted, vacuum-packaged, refrigerated sea bream (*Sparus aurata*) fillets by irradiation: microbiological, chemical and sensory attributes. *Food Microbiology* 21, 351-359.
- Civera, T., Parisi, E., Amerio, G. P., Giaccone V. 1995. Shelf life of vacuum-packed smoked salmon: microbiological and chemical changes during storage. *Archiv fur Lebensmittelhygiene*, 46 (1-24), 13-17.
- Clydesdale, M.F. 1998. Color: origin, stability, measurement and quality. In Irwin A.T. and R. P. Singh (ed.), *Food Storage Stability*. CRC Press, Boca Raton, Boston, London. N.Y., Washington D.C., 175-190).
- Connell, J. J. 1990. *Control of Fish Quality* (3rd ed.). Fishing news books Ltd., Surrey, England.

- Cuppett, S. L., Gray, J. L. Booren, A. M., Price, J. F., Stachiw M. A. 1989. Effect of processing variables on lipid stability in smoked great lakes Whitefish, *Journal of Food Science*, 54 (1), 52-54.
- Dalgaard P. 1995. Qualitative and quantitative characterization of spoilage bacteria from packed fish. *International Journal of Food Microbiology* 26, 319-333.
- Dalgaard P. 2002. Modelling and predicting the shelf-life of seafood, in: Bremner H.A. (Ed.) *Safety and Quality Issues in Fish Processing*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, pp. 191-219.
- Dalgaard P., Cowan B.J., Heilmann J., Silberg S. 2003. The Seafood Spoilage and Safety Predictor (SSSP). In: Van Impe J.F.M., Geeraerd A.H., Leguérinel I., Mafart P. (Eds.), *Katholieke Universiteit Leuven/BioTec, Belgium*, pp. 256–258.
- Dalgaard P., Gram L., Huss H.H. 1993. Spoilage and Shelf Life of Cod Fillets Packed in Vacuum of Modified Atmospheres, *International Journal of Food Microbiology*, 19, 283-294.
- Dalgaard P., Mejlholm O., Huss H.H. 1997. Application of an Iterative Approach for Development of a Microbial Model Predicting the Shelf Life of Packed Fish, *International Journal of Food Microbiology*, 38, 169-179.
- Damodaran, S. 1996. Amino Acids, Peptides and proteins. In O. R. Fennema (Ed), *FOOD CHEMISTRY* 3rd ed. NY: Marcel Dekker Inc., 321-429.
- Daun, H. 1979. Interaction of wood smoke components and foods, *Food Technology*, May, 66-71, 83.
- Davey K.R. 1989. A predictive model for combined temperature and water activity on microbial growth during the growth phase. *Journal of Applied Bacteriology* 67, 483–488.
- Davey K.R. 1993. Linear-Arrhenius models for bacterial growth and death and vitamin denaturations. *Journal of Industrial Microbiology* 12, 172-179.
- Davis 2000. Ch.8: Vacuum and Modified Atmosphere packaged fish and fishery products, <http://www-seafood.ucdavis.edu/haccp/compendium/chapter08.htm>, update: 9/21/2000.

- Dekker, W., 2000a. The fractal geometry of the European eel stock. *ICES Journal of Marine Science* 57, 109–121.
- Dekker, W., 2000b. A Procrustean assessment of the European eel stock. *ICES Journal of Marine Science* 57, 938–947.
- Dekker, W., 2003a. On the distribution of the European eel (*Anguilla anguilla*) and its fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60, 787–799.
- Dekker, W., 2003c. Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla* *Fisheries Management and Ecology* 10, 365–376.
- Dodds, K. I., Brodsky, M. H., Warburton D. W. 1992. A retail survey of smoked ready-to-eat fish to determine their microbiological quality, *Journal of Food protection*, 55, 3, 208-210.
- Drosinos E.H., Lambropoulou K., Mitre E., Nychas G.J.E. 1997. Attributes of fresh gilthead seabream (*Sparus aurata*) fillets treated with potassium sorbate, sodium gluconate and stored under modified atmosphere at 0±1°C. *Journal of Applied Microbiology* 83, 569-575.
- Drosinos E.H., Nychas G.J.E. 1996. *Brochothrix thermosphacta* a dominant organism in Mediterranean fresh fish (*Sparus aurata*) stored under modified atmosphere. *Italian Journal of Food Science* 4, 323-330.
- Eldefsen, M., Brewer M. S. .1996. Food Coloring, The National Food Safety Database, <http://foodsafety.ifas.ufl.edu/il/i1097.htm>.
- Emborg J., Laursen B.G., Dalgaard P. 2005. Significant histamine formation in tuna (*Thunnus albacares*) at 2 degrees C--effect of vacuum- and modified atmosphere-packaging on psychrotolerant bacteria. *International Journal of Food Microbiology* 101(3), 263-279.
- Fagan J.D., Gormley T.R., Uí Mhuircheartaigh M.M. 2004. Effect of modified atmosphere packaging with freeze-chilling on some quality parameters of raw whiting, mackerel and salmon portions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5, 205-214.

- FAO, 2007a. The state of world fisheries and aquaculture 2006. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and Aquaculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, 2007b. Future prospects for fish and fishery products. 4. Fish consumption in the European Union in 2015 and 2030. Part 1. European overview, FAO Fisheries Circular No. 972/4, Part 1, Food and Aquaculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FDA. 1998. FDA (US Food and Drug Administration) / CFSAN (Center for Food Safety and Applied Nutrition): Fish and Fisheries Products Hazards and Controls Guide (2nd ed.): APPENDIX 4: Bacterial Pathogen Growth A-1: Limiting Conditions for pathogen growth: <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/haccp-2w.html>.
- FDA. 2001 –FDA (US Food and Drug Administration) / CFSAN (Center for Food Safety and Applied Nutrition): Processing Parameters Needed to Control Pathogens in cold smoked fish – potentials hazards in cold smoked fish: *Clostridium botulinum* type E: <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/haccp4x5.html>.
- Fennema R.O. 1996. Food Chemistry (3rd ed.) Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Fey M.S., Regenstein J.M. 1982. Extending shelf-life of fresh wet red hake and salmon using CO₂-O₂ modified atmosphere and potassium sorbate ice at 1°C. Journal of Food Science 47, 1048-1054.
- Flick, J. G., Hong, G.P., Knobl G. M. 1992. Lipid oxidation of seafood during storage. In A. J. St Angelo (Ed), *Lipid Oxidation in Food*, Marcel-Dekker Inc., NY, Basel, Hong Kong, 879-942.
- Francis, F. J., Clydesdale F. M. 1995. Food Colorimetry: Theory and Applications. The Avi Publishing Company Inc., Westport, Connecticut.
- Gangolli, S. D. 1986. The toxicology of smoked foods, IFST Proc. 19 (2): 68-78.
- Gibson A.M., Bratchell N., Roberts T.A. 1987. The effect of sodium chloride and temperature on the rate and extent of growth of *Clostridium botulinum* type A in pasteurised pork slurry. Journal of Applied Bacteriology 62, 479–490.

- Gibson, D. M. 1995. Hygiene and safety of seafood. In A. Ruiter (Ed.), Fish and fishery products, composition, nutritive properties and stability, Cab International, Wallingford, UK, (243-260).
- Gillespie N.C., MacRae, I.C. 1975. The bacterial flora on some Queensland fish and its ability to cause spoilage. *Journal of Applied Microbiology* 39, 91-100.
- Gougouli M., Angelidis A.S., Koutsoumanis K. 2008. A study on the kinetic behavior of *Listeria monocytogenes* in ice cream stored under static and dynamic chilling and freezing conditions. *Journal of Dairy Science* 97, 523-530.
- Goulas A. E., Kontominas M. G. 2007. Combined effect of light salting, modified atmosphere packaging and oregano essential oil on the shelf-life of sea bream (*Sparus aurata*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chemistry* 100(1), 287–296.
- Gram L. 1992. Spoilage of three Senegalese fish species stored in ice at ambient temperature., in: E.H. Bligh (Ed.), *Seafood Science and Technology*. Fishing News Books, Blackwell, Oxford, pp. 225-233.
- Gram L., Huss H.H. 1996. Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology* 33, 121-137.
- Gram L., Wedell-Neergaard C., Huss H.H. 1990. The bacteriology of fresh and spoiling Lake Victorian Nile perch (*Lutes niloticus*). *International Journal of Food Microbiology* 10, 303-316.
- Grigorakis K., Taylor K.D.A., Alexis M.N. 2003. Seasonal patterns of spoilage of ice-stored cultured gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Food Chemistry* 81, 263-268.
- Haard N.F. 1995. Composition and nutritive value of fish proteins and other nitrogen compounds, in: A. Ruiter (Ed.), Fish and fishery products, Composition, nutritive properties and stability. CAB International, pp. 77-116.
- Haard, N. F. 1995. Composition and Nutritive Value of fish Proteins and other Nitrogen compounds. In A. Ruiter (Ed.), Fish and fishery products, composition, nutritive properties and stability, Cab International, Wallingford, UK, (243-260).

- Hanson G.D., Rauniyar G.P., Hermann R.O. 1994. Using consumer profiles to increase the U.S. market for seafood: implications for aquaculture. *Aquaculture* 127, 303-316.
- Hauschild, A.H.W. 1982. Assessment of botulism hazards from cured meat products. *Food Technology* 36, 95–104.
- Heinitz, M. L., Johnson J. M. 1998. The incidence of *Listeria* spp, *Salmonella* spp., *Clostridium botulinum* in smoked fish and shellfish, *Journal of Food Protection*, 61 (3), 318-323.
- Herbert R.A., Hendrie M.S., Gibson D.M., Shewan J.M. 1971. Bacteria active in the spoilage of certain seafoods. *Journal of Applied Bacteriology* 34, 41-50.
- Horner, W. F. A. 1992. Preservation of fish by curing (drying, salting and smoking). In G. M. Hall (Ed.) *Fish processing technology* (1st ed.), Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, NY, Tokyo, Melbourne, Madras, 31-71.
- Houtsma P.C., Kant-Muermans M.L., Rombouts F.M., Zwietering M.H. 1996. Model for the combined effects of temperature, pH, and sodium lactate on growth rates of *Listeria innocua* in broth and bologna-type sausages. *Applied and Environmental Microbiology* 62, 1616–1622.
- Huss H. 1998. Fresh fish quality and quality changes. In: Huss H. and Technological Laboratory Ministry of Agriculture and Fisheries (Eds.). *FAO Collection: Fisheries No. 29*. FAO.
- Hussain A.M., Ehlerman D., Diehl J.F. 1976. Effect of radurization on microbial flora of vacuum-packaged trout (*Salmo gairdneri*). *Arch. Lebensmittelhyg.* 27(6), 223-225.
- Icekson I., Pasteur R., Drabkin V., Lapidot M., Eizenberg E., Klinger I., Gelman, A. 1996. Prolonging shelf-life of carp by combined ionizing radiation and refrigeration. *Journal of Science and Food Agriculture* 72, 353-358.
- ICES, 2005. Report of the International Council for the Exploration of the Sea/ European Inland Fisheries Advisory Commission Working Group on Eels. *ICES CM 2005/I:01*, 184 pp.

- Jason A.C. 1983. A deterministic model for monophasic growth of batch cultures of bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek* 49, 513–536.
- Jørgensen B.R., Gibson D.M., Huss H.H. 1988. Microbiological quality and shelf life prediction of chilled fish. *International Journal of Food Microbiology* 6, 295-307.
- Jørgensen B.R., Huss H.H. 1989. Growth and activity of *Shewanella putrefaciens* isolated from spoiling fish. *International Journal of Food Microbiology* 9, 51-62.
- Katselis, G., Koukou, K., Dimitriou, E., Koutsikopoulos, C., 2007. Short-term seaward fish migration in the Messolonghi-Etoliko Lagoons (western Greek coast) in relation to climatic variables and the lunar cycle. *Estuarine, Coastal and Shelf*
- Koutsoumanis K, Nychas G.J.E. 2000. Application of a Systematic Experimental Procedure to Develop Microbial Model for Rapid Fish Shelf Life Predictions, *International Journal of Food Microbiology*, 60, 171-184.
- Koutsoumanis K., Giannakourou M.C., Taoukis P.S., Nychas G.J.E. 2002. Application of shelf life decision system (SLDS) to marine cultured fish quality. *International Journal of Food Microbiology* 73, 375-382.
- Koutsoumanis K., Lambropoulou K., Nychas G.J.E. 1999a. Biogenic and Sensory Changes Associated with the Microbial Flora of Mediterranean Gilthead Seabream (*Sparus aurata*) Stored Aerobically at 0, 8 and 15°C, *Journal of Food Protection*, 62, 398-402.
- Koutsoumanis K., Nychas G.J.E. 1999b. Chemical and Sensory Changes Associated with Microbial Flora of Boque (*Boops boops*) Stored Aerobically at 0, 3, 7 and 10°C, *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 698-706.
- Koutsoumanis K., Taoukis P., Drosinos E.S., Nychas G.J.E. 1998. Lactic acid bacteria and *Brochothrix thermosphacta* – the dominant spoilage microflora of Mediterranean fresh fish stored under modified atmosphere conditions, In: *International Institute of Refrigeration, France*, 158-165.
- Koutsoumanis K., Taoukis P.S., Nychas G.-J.E. 2003. Development of a Safety Monitoring and Assurance System (SMAS) for Chilled Food Products. In: Van Impe, J.F.M., Geeraerd, A.H., Leguérinel, I., Mafart, P. (Eds.), *Katholieke Universiteit Leuven/BioTec, Belgium*, pp. 244–246.

- Koutsoumanis K.P., Taoukis P.S., Drosinos E.H., Nychas G.J.E. 2000. Applicability of an Arrhenius model for the combined effect of temperature and CO₂ packaging on the spoilage microflora of fish. *Applied and Environmental Microbiology* 66(8), 3528-3534.
- Kyrana V. R., Lougovois V. P., Valsamis D. S. 1997. Assessment of shelf-life of maricultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*) stored in ice. *International Journal of Food Science and Technology* 32, 339–347.
- Lall S.P. 1995. Macro and trace elements in fish and shellfish. In: A. Ruiter (Ed.), *Fish and Fishery Products, Composition, Nutritive Properties and Stability*. Cab International, Wallingford, UK, 187-213.
- Lall, S. P., Parazzo, M., P. 1995. Vitamins in fish and shellfish, In A. Ruiter (Ed.), *Fish and fishery products, composition, nutritive properties and stability*, Cab International, Wallingford, UK, 157-186.
- Lall, S. P. 1995. Macro and trace elements in fish and shellfish, In A. Ruiter (Ed.), *Fish and fishery products, composition, nutritive properties and stability*, Cab International, Wallingford, UK, 157-186.
- Leistner L., Gorris L.G.M. 1995. Food preservation by hurdle technology. *Trends in Food Science & Technology* 6, 41-46.
- Leistner L., Gould G.W. 2005. Update on hurdle technology approaches to food preservation. In: *Antimicrobials in Food* (3rd edition), Davidson P.M., Sofos J.N., Branen A.L. (Eds.), CRC Press, Boca Raton, FL.
- Leroi F., Jofftaud J.J. Arboleya J.C., Amarita F., Cruz Z., Izurieta E., Lasagabaster A., Martínez de Marañón I., Miranda I., Nuin M., Olabarrieta I., Lauzon H.L., Lorentzen G., Bjørkevoll I., Olsen R., Pilet M.F., Prévost H., Dousset X., Matamoros S. 2008. Hurdle technology to ensure the safety of seafood products. In: T.Børresen (Ed.), *Improving seafood products for the consumer*. Woodhead Publishing Ltd., pp. 399-425.
- Levin R.E. 1968. Detection and incidence of specific species of spoilage bacteria on fish. I. Methodology. *Applied and Environmental Microbiology* 16(11), 1734-1737.

- Licciardello J.J., Ravesi E.M., Tuhkunen B.E., Racicot L.D. 1984. Effect of some potentially synergistic treatments in combination with 100 Krad irradiation on the iced shelf life of cod fillets. *Journal of Food Science* 49, 1341-1346, 1375.
- Lindsay, R. C. 1996. Flavors. In O. R. Fennema (Ed), *Food Chemistry* (3rd ed.) Marcel Dekker Inc., NY, Basel, Hong Kong, 723-765.
- Ling, P. P., Ruzhitsky, V. N., Kapanidis, A. N. & Tung-Ching L. 1996. Measuring the color of food, *Chemtech*, March, 46-53.
- Luten J.B., Martinsdottir E. 1997. QIM: A European Tool for Fish Freshness Evaluation in the Fishery Chain, In: *International Institute of Refrigeration*, France, 287-296.
- Maga, A. J. 1988. *Smoke in food processing*, CRS Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA.
- Martin R.E., Flick G.J. 1990. *The Seafood Industry*, Van Nostrand Reinhold (Ed.), NY, USA..
- Masniyom P., Benjakul S., Visessanguan W. 2005. Combination effect of phosphate and modified atmosphere on quality and shelf-life extension of refrigerated seabass slices. *LWT* 38, 745-756.
- McCleave, J.D., Kleckner, R.C., 1982. Selective tidal stream transport in the estuarine
- McClure P.J., Blackburn C.D., Cole M.B., Curtis P.S., Jones J.E., Legan J.D., Peck M.W. 1994. Modelling the Growth, Survival and Death of Microorganisms in Foods: the UK Food Micromodel Approach, *International Journal of Food Microbiology* 23, (3-4), 265-275.
- McDonald K., Sun D.W. 1999. Predictive food microbiology for the meat industry: a review. *International Journal of Food Microbiology* 52, 1-27.
- migration of glass eels of the American eel (*Anguilla rostrata*). *Journal du Conseil-Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 40 (3), 262-271.
- Möhler, K. 1978. "Das Räuchern". In *Fleischforschung und Praxis*, Schriftenreihe Heft 7. Verlag der Rheinhessischen Druckwerkstätten, Alzey.

- Monod J. 1949. The growth of bacterial cultures. *Annual Review of Microbiology* 3, 371–394.
- Moriarty, C., Dekker, W., 1997. Management of the European eel. *Fisheries Bulletin* (Dublin) 15, 1–110.
- Nambudiy, D. D. 1980. Lipid oxidation in fatty fish: the effect of salt content in the meat, *Journal of Food Science and Technology*, 17, 176-178.
- Neumeyer K., Ross T., McMeekin T.A. 1997a. Development of a predictive model to describe the effects of temperature and water activity on the growth of spoilage *Pseudomonads*. *International Journal of Food Microbiology* 38, 45–54.
- Neumeyer K., Ross T., McMeekin T.A. 1997b. Development of *Pseudomonas* predictor. *Australian Journal of Dairy Technology* 52, 120–122.
- Nielsen J. 1997. Sensory Analysis of Fish, Proceedings of the Final Meeting of the Concerted Action “Evaluation of Fish Freshness” AIR3CT94 2283, In: International Institute of Refrigeration, France, 279-286.
- Ólafsdóttir G., Martinsdóttir E., Oehlenschläger J., Dalgaard P., Jensen B., Undeland I., Mackie I.M., Henehan G., Nielsen J., Nielsen H. 1997. Methods to evaluate fish freshness in research and industry. *Trends in Food Science and Technology* 8, 258-265.
- Olley, J., Doe, P. E., Heruwati E. S. 1988. The influence of drying and smoking on the nutritional properties of fish: an introductory overview. In J. R. Burt (Ed.), *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*, Elsevier Applied Science, London and New York.
- Opstvedt, J. 1988. Influence of drying and smoking on protein quality. In J. R. Burt (Ed.), *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*, Elsevier Applied Science, London and New York.
- Özden Ö., Inuğur M., Erkan N. 2007. Effect of different dose gamma radiation and refrigeration on the chemical and sensory properties and microbiological status of aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Radiation Physics and Chemistry* 76(7), 1169-1178.

- Özogul Y., Gulsum Ö., Özogul F, Kuley E., Polat A., 2005. Freshness Assessment of European eel (*Anguilla Anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods, *Food Chemistry* 92, 745-751.
- Paleari, M. A., Soncini, G., Beretta G. 1986. Smoked tuna, sliced and vacuum packed, a relatively new product, *Z. Lebnsn Unters Forsch*, 190, 118-120.
- Papavergou, J. E., Clifford M. N. 1986. Possible chemical interactions between woodsmoke constituents and foods. IFST South Eastern Branch –minisymposium: smoked foods, London.
- Papavergou, J. E. 1990. Tetrahydro β - carboxylic acids in smoked foods. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, University of Surrey, Dpt. Of Biochemistry, Division of Nutrition and Food Science, Guilford, Surrey.
- Pariza, W. M. 1996. Toxiz substances. In O. R. Fennema (Ed), *Food Chemistry* (3rd ed.) Marcel Dekker Inc., NY, Basel, Hong Kong, 825-840.
- Pedersen L., Snabe L. 1995. Isolation of Bacteriocin-producing Lactic Acid Bacteria from Chilled, Vacuum-packaged Temperate and Tropical Fish Products. M.Sc. Thesis. Danish Institute for Fisheries Research, Lyngby, and The Royal Veterinary and Agricultural University of Copenhagen, Denmark.
- Pérez-Villarreal B. 2008. Validation of traceability in the seafood production chain, in: T.Børresen (Ed.), *Improving seafood products for the consumer*. Woodhead Publishing Ltd., pp. 539-566.
- Pivarnik L., Ellis P., Wang X., Reilly T. 2001. Standardization of the Ammonia electrode method for evaluating seafood quality by correlation to sensory analysis. *Journal of Food Science* 66(7), 945-952.
- Previdi, M. P., Ambroggi, F., Gola S. 1991. Comportamento di *Listeria monocytogenes* in Salmoone affumicato. Ricerca di *Aeromonas hydrophilia*, *Listeria monocytogenes* e *Yersinia enterocolitica* in pesce affumicato. *Industria Conserve*, 66, 109-110.
- Pruit K.M., DeMuth R.E., Turner M.E. 1979. Practical application of generic growth theory and significance of the growth curve parameters. *Growth* 43, 19-35.

- Przybylski L.A., Finerty R.M., Grodner R.M., Gerdes D.L. 1989. Extension of shelf-life of iced fresh channel catfish fillets using modified atmospheric packaging and low-dose irradiation. *Journal of Food Science* 54, 269-273.
- Ratkowsky D.A., Olley J., McMeekin T.A., Ball A. 1982. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *Journal of Bacteriology* 149, 1–5.
- Reddy N.R., Armstrong D.J., Rhodehamel E.J., Kauter D.A. 1992. Shelf-life extension and safety concerns about fresh fishery products packaged under modified atmospheres: a review. *Journal of Food Safety* 12, 87-118.
- Regenstein J.M., Regenstein C.E. 1991. *Introduction to Fish Technology*, Van Nostand Reinhold (Ed.), NY, USA.
- Richards M.P., Modra A.M., Li R. 2002. Role of deoxyhemoglobin in lipid oxidation of washed cod muscle mediated by trout, poultry and beef hemoglobins. *Meat Science* 62(2), 157-163.
- Robles-Martinez C., Cervantes E., Ke P.J. 1982. Recommended method for testing the objective rancidity development in fish based on TBARS formation. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 1089.
- Rosnes J.T., Sivertsvik M., Skara T. 2003. Combining MAP with other preservation techniques. In: Ahvenainen, R. (Ed.), *Novel Food Packaging Techniques*. Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 288–290.
- Ruiter, A. 1979. Color of smoked foods, *Food Technology*, May, 55-63.
- Santoro, A., Sarli, T. a., Murru, N., Pepe, T., Miranda, E., Cortesi M. L. 1996. Controlli su tre lotti di salmon affumicato confezionato sottovuoto nel corso dello stoccaggio a +2 e +12°C, *IL PESCE*, 1/96:77-83.
- Savvaïdis I.N., Skandamis P., Riganakos K., Panagiotakis N., Kontominas M.G. 2002. Control of natural microbial flora and *Listeria monocytogenes* in vacuum-packaged trout at 4 and 10°C using irradiation. *Journal of Food Protection* 65, 515-522.

- Schoolfield R.M., Sharpe P.J.H., Magnuson C.E. 1981. Non linear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction rate theory. *Journal of Theoretical Biology* 88, 719–731.
- Shewan J.M. 1962. The Bacteriology of Fresh and Spoiling Fish and some related Chemical Changes, in: Hawthorn J., J.Muil Leitch (Eds.), *Recent Advances in Food Science*, 1, 167-193.
- Sigurgisladottir S., Hafsteinsson H., Jonsson A., Lie Ø., Nortvedt R., Thomassen M., Torrissen O. 1999. Textural properties of raw salmon fillets as related to sampling method. *Journal of Food Science* 64(1), 99-104.
- Sikorski Z. E. 1988. Smoking of fish and carcinogens. In J. R. Burt (Ed.), *Fish smoking and drying, the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*, Elsevier Applied Science, London and New York.
- Sikorski Z. E., Gilberg A., Ruiter A. 1995. Fish Products. In A. Ruiter (Ed.), *Fish and fishery products, Composition, nutritive properties and stability*. CAB International, Wallingford, UK.
- Simko, P. 1991. Changes in benzo[a]pyrene contents in smoked fish during storage. *Food Chemistry* 40, 293-300.
- Smedes F. 1999. Determination of total lipid using non-chlorinated solvents. *Analyst* 124, 1711-1718.
- Steiner-Asiedu, M., Julshamn, K., Øyvind L. 1991. Effect of Local Processing Methods (cooking, drying and smoking) on Three Fish Species from Ghana: Part I, Proximate Composition, Fatty Acids, Minerals, Trace Elements and Vitamins. *Food Chemistry*, 40, 309-321.
- Stenström I.M., Molin G. 1990. Classification of the Spoilage Flora of Fish, with Special Reference to *Shewanella putrefaciens*, *Journal of Applied Bacteriology*, 68, 601-618.
- Tesch, F.W., 2003. In: Thorpe, J.E. (Ed.), *The Eel*, third ed. Blackwell Publishing, London, 336 pp.

- Tilgner D. J. 1958. "Herstellung und Anwendung des Räucherrauches", *Fleischwirtschaft* 10, 751.
- Tóth, L. 1982. *Chemie der Räucherung*, Verlag Chemie, Weinheim, Germany, 38-79.
- Tsironi T., Gogou E., Velliou E., Taoukis P.S. 2008. Application and validation of the TTI based chill chain management system SMAS (Safety Monitoring and Assurance System) on shelf life optimization of vacuum packed chilled tuna. *International Journal of Food Microbiology* 128(1), 108-115.
- Turner M.E., Bradley Jr.E.L., Kirk K.A., Pruitt K.M. 1976. A Theory of Growth, *Math Bioscience*, 29, 367-373.
- USDA. 1997. United States Department of Agriculture, Revised September 1997: *Composition of Foods, Finfish and Shellfish Products, Raw, Processed, Prepared*, Human Nutrition Information Service, Agriculture Handbook Number 8-15, Nutrition Monitoring Division, Principal Investigator Jacob Exler.
- Von Elbe, J. H., Schwartz S. J. 1996. Colorants. In O. R. Fennema (Ed), *Food Chemistry* (3rd ed), Marcel Dekker Inc., NY, Basel, Hong Kong, 651-722.
- Voyer R., McKellar R.C. 1993. MKES tools: a microbial kinetics expert system for developing and assessing food production systems. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 12, 256-262.
- Waagbø, R., Sandnes, K., Torissen, O. J., Sandvin, A., Øyvind L. 1993. Chemical and sensory evaluation of fillets from Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed three levels of n-3 polyunsaturated fatty acids at two levels of Vitamin E., *Food Chemistry*, 46, 361-366.
- Weber, M., 1986. Fishing method and seasonal occurrence of glass eels (*Anguilla anguilla* L.) in the Rio Minho, west coast of the Iberian Peninsula. *Vie Milieu* 36, 243-250.
- Wilde, J.W., Kamstra, A. 1995. Fish production, in: A. Ruiter (Ed.), *Fish and fishery products, Composition, nutritive properties and stability*. CAB International, pp. 1-29.

- Zwietering M.H., Jongenburger I., Rombouts F.M., Van't Riet, K. 1990. Modelling of the bacterial growth curve. *Applied and Environmental Microbiology* 56, 1875–1881.
- Zwietering M.H., Wijtzes T., De Wit J.C., Van't Riet K., 1992. A decision support system for prediction of the microbial spoilage in foods. *Journal of Food Protection* 55, 973–979.
- Βαρελτζής, Κ. 1999. Ποιοτικός έλεγχος και τεχνολογία αλιευμάτων. Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΙΔΕΙΑ, Θεσσαλονίκη.
- Βαρελτζής, Κ. 2000. Τεχνολογία αλιευμάτων. Τεχνολογία Τροφίμων Ζωϊκής Προέλευσης (Εκτός του γάλακτος και των προϊόντων του). Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΙΔΕΙΑ, Θεσσαλονίκη, σελ.513-570.
- Βαρελτζής, Κ., Βασιλειάδου, Σ. Σούλτος Ν. 1998. Ποιοτική αξιολόγηση της νοπή τσιπούρας (*Sparus aurata*). *Ανάτυπο, Δελτίον της Ελληνικής Κτηνιατρικής Εταιρείας*, 49 (4), 281-286.
- Βασιλειάδου, Σ. 2002. Ποιοτική αξιολόγηση και μεταποίηση της σάρκας της τσιπούρας (*Sparus aurata*, L.), Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, Τμήμα Κτηνιατρικής, Τομέας Υγιεινής και Τεχνολογίας Τροφίμων Ζωϊκής Προέλευσης, Εργαστήριο Τεχνολογίας Τροφίμων Ζωϊκής Προέλευσης.
- Γεωργάκης, Α. Σ. 1986. Ποιοτικός έλεγχος Τροφίμων. Έκδοση Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Γεωργάκης, Α.Σ., Βαρελτζής, Π.Κ., Αμβροσιάδης Ι.Α. 2000. Τεχνολογία Τροφίμων Ζωϊκής Προέλευσης (Εκτός του γάλακτος και των προϊόντων του). Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΙΔΕΙΑ, Θεσσαλονίκη.
- Ζόμπολα, Σ. 2008. Δυναμική της μετανάστευσης των νεαρών σταδίων του χελιού (*Anguilla anguilla*, L. 1758) στα εσωτερικά νερά της δυτικής Ελλάδας και η αλιευτική του εκμετάλλευση, Διδακτορική Διατριβή, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ, ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΖΩΩΝ, Πάτρα, Νοέμβριος 2008.
- Παπαναστασίου Δ.Π. 1990. Τεχνολογία και Ποιοτικός Έλεγχος Αλιευμάτων, Τόμος Α, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

- Παπαναστασίου Π. Δ. 1976. Τεχνολογία και Ποιοτικός Έλεγχος Αλιευμάτων Α' τόμος σελ. 206, 245, 337, 260-265 και Β' τόμος σελ. 478, 486-488, 492. Εκδόσεις «ΙΩΝ», Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε., Αθήνα.
- Τζιά Κ., Ταούκης Π., Ωραιοπούλου Β. 2007. Επιστήμη και μηχανική τροφίμων: Συστατικά – Ιδιότητες – Ρεολογία – Μικροβιολογία – Ποιότητα – Συσκευασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2007.
- Τσιρώνη Ν. Θ. 2010. Μελέτη μη θερμικών προκατεργασιών για τη βελτίωση της διατηρησιμότητας ιχθυρών, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών Τομέας Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών (IV), Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων.
- Χατζηδημητριάδης Γ. 1995. Οικονομοτεχνική μελέτη μονάδας παραγωγής καπνιστής πέστροφας. Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ. Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Τομέας Τεχνολογιών, Τεχνολογία Αγροτικών Βιομηχανιών και Βιομηχανιών Τροφίμων, Θεσσαλονίκη, σελ. 3-23.
- Χώτος, Γ., Ρογδάκης, Ι. 1992. Υδατοκαλλιέργειες ευρύαλων ψαριών – Λαβράκι και Τσιπούρα (Τεχνικές της Αναπαραγωγής και Πάχυνσης), Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.