

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΖΩΙΚΗΣ
ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



«Επίδραση της Λυοφιλίωσης στα Διατροφικά, Βιοχημικά και
Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά Αυγών Καβουριού, Αχινού και
Χαβιαριού για την Ανάπτυξη Νέων Προϊόντων»

Αντωνία Άγγου

ΒΟΛΟΣ, 2025

UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC
ENVIRONMENT
DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND NUTRITION

INTERDEPARTMENTAL POSTGRADUATE PROGRAMME
“TECHNOLOGY, QUALITY AND SAFETY OF ANIMAL ORIGIN
FOODS”

POSTGRADUATE MASTER’S THESIS



“Effect of Freeze-drying on the Nutritional, Biochemical, and Sensory
Characteristics of Crab Eggs, Sea Urchin, and Caviar for the
Development of New Products”

Antonia Angou

VOLOS, 2025

**«Επίδραση της Λυοφιλίωσης στα Διατροφικά, Βιοχημικά και Οργανοληπτικά
Χαρακτηριστικά Αυγών Καβουριού, Αχινού και Χαβιαριού για την Ανάπτυξη Νέων
Προϊόντων»**

Στην πολύτιμη οικογένειά μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Μποζιάρη Ιωάννη για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κ. Αργυρίου Αναγνώστη και την κα. Φωτεινή Παρλαπάνη για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αργυρίου Αναγνώστη για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του, όσον αφορά στην προμήθεια εργαστηριακού υλικού, χώρου και εξοπλισμού, καθώς επίσης και τον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Δίδο Σπύρο και την εξωτερική συνεργάτη κ. Τσοτσούλη Κωνσταντίνα για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1) Μποζιάρης Σ. Ιωάννης, Καθηγητής, Ιχθυολογία - Υδροβιολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**,

2) Αργυρίου Αναγνώστης, Καθηγητής, Διαχείριση Καινοτομίας στα Τρόφιμα, Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, **Μέλος**,

3) Παρλαπάνη Φ. Φωτεινή, Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λυοφιλίωση αποτελεί μια καινοτόμο μέθοδο αφυδάτωσης που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων, καθώς επιτρέπει τη διατήρηση των θρεπτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων, παρατείνοντας παράλληλα τη διάρκεια ζωής τους. Ιδιαίτερα στον τομέα των ιχθυηρών, η τεχνική αυτή προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η σταθεροποίηση ευαίσθητων βιοδραστικών συστατικών, η ενίσχυση της αντιοξειδωτικής δράσης και η διατήρηση της ποιότητας, καθιστώντας την πολύτιμο εργαλείο για την ανάπτυξη νέων, υψηλής διατροφικής αξίας προϊόντων.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, διερευνήθηκε η επίδραση της λυοφιλίωσης στα διατροφικά, βιοχημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αυγών καβουριού του είδους (*Callinectes sapidus*), του αχινού (*Evechinus chloroticus*) και του χαβιαριού (*Beluga Huso Huso*). Αναλύθηκαν η σταθερότητα των προϊόντων μέσω της ενεργότητας του νερού, η συγκέντρωση πολυφαινολών και η αντιοξειδωτική τους δράση, καθώς και η περιεκτικότητά τους σε καρροτενοειδή και λιπαρά οξέα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λυοφιλίωση μείωσε σημαντικά την ενεργότητα του νερού, ενισχύοντας τη σταθερότητα και τη διατηρησιμότητα των προϊόντων. Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας, με τον αχινό και τα αυγά καβουριού να εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές, ενώ το χαβιάρι Beluga παρουσίασε μικρότερη αλλά αξιοσημείωτη βελτίωση. Η λυοφιλίωση συνέβαλε επίσης στη διατήρηση και σταθεροποίηση των καρροτενοειδών, ενώ η ανάλυση των λιπαρών οξέων έδειξε ότι ο αχινός ήταν ιδιαίτερα πλούσιος σε ω-3 και DHA, το καβούρι παρουσίαζε ισορροπία μεταξύ PUFA και MUFA, και το χαβιάρι Beluga κυριαρχούνταν από MUFA, προσφέροντας υψηλό δείκτη DFA.

Από την οργανοληπτική αξιολόγηση προέκυψε ότι η λυοφιλίωση διατήρησε και ανέδειξε τις αισθητηριακές ιδιότητες των προϊόντων, με τον αχινό να ξεχωρίζει για την έντονη θαλάσσια γεύση και το άρωμά του, το καβούρι για την κοκκώδη υφή και την ισορροπημένη γεύση του, ενώ το χαβιάρι παρουσίασε ήπιες, εκλεπτυσμένες αισθητηριακές ιδιότητες, με έμφαση στην τραγανότητα, την κολλώδη υφή και το γήινο άρωμα. Οι δοκιμαστές κατέταξαν τον λυοφιλιωμένο αχινό ως το προτιμητέο προϊόν, ακολουθούμενο από το χαβιάρι και το καβούρι.

Συνολικά, η μελέτη ανέδειξε τη λυοφιλίωση ως μια δυνητικά τεχνολογία που προσδίδει υψηλή προστιθέμενη αξία, που βελτιώνει όχι μόνο τη σταθερότητα και τα βιοδραστικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, αλλά επηρεάζει και τις οργανοληπτικές τους ιδιότητες, δίνοντας δυνατότητα ανάπτυξης καινοτόμων προϊόντων θαλασσινής προέλευσης υψηλής διατροφικής αξίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Ξήρανση	10
1.2 Λυοφιλίωση.....	14
1.3 Ιχθυηρά και Εχινόδερμα: Ταξινόμηση και Διατροφική Ανάλυση	20
1.3.1 Ιχθυηρά.....	20
1.3.2 Εχινόδερμα.....	27
2. ΣΚΟΠΟΣ	33
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	34
3.1 Προϊόντα και Α' ύλες	34
3.2 Συνθήκες λυοφιλίωσης	34
3.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	35
3.3.1 Μέτρηση pH.....	35
3.3.2 Προσδιορισμός ενεργότητα ύδατος, a_w	36
3.4 Εκχύλιση βιοενεργών συστατικών	36
3.4.1 Προσδιορισμός ολικής περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες	37
3.4.2 Εκτίμηση αντιοξειδωτικής δράσης.....	38
3.5 Εκχύλιση και ποσοτικοποίηση ολικών καροτενοειδών.....	41
3.6 Προσδιορισμός Σύνθεσης Λιπαρών Οξέων (FAMES)	41
3.7 Οργανοληπτική Αξιολόγηση.....	43
3.8 Στατιστική Ανάλυση	47
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	48
4.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	48
4.3 Προσδιορισμός ολικής περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες	49
4.4 Εκτίμηση αντιοξειδωτικής δράσης	52
4.5 Ποσοτικοποίηση ολικών καροτενοειδών.....	59
4.6 Σύνθεση Λιπαρών Οξέων (FAMES)	62
4.7 Οργανοληπτική Αξιολόγηση.....	68
5. Συμπεράσματα	73
6. Βιβλιογραφία	75
7. ABSTRACT	83

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ξήρανση

Η ξήρανση ορίζεται ως η διεργασία κατά την οποία ένα υγρό, στερεό ή ημιστερεό υλικό μετατρέπεται σε στερεό προϊόν με μειωμένη υγρασία. Αποτελεί ουσιαστικά μια μέθοδο συντήρησης που στηρίζεται στην απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους ή σχεδόν όλου του νερού, το οποίο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοίωση στα τρόφιμα (Sablani et al., 2007). Στις περισσότερες περιπτώσεις η αφυδάτωση περιλαμβάνει την χρήση θερμικής ενέργειας, η οποία προκαλεί την εξάτμιση του νερού. Από την άλλη, η αφυδάτωση με κρυοξήρανση διαφοροποιείται καθώς η απομάκρυνση του νερού πραγματοποιείται κατευθείαν μέσω της εξάχνωσης του πάγου (Mujumdar, 2014). Η διεργασία της ξήρανσης εφαρμόζεται σε μεγάλο βαθμό στα τρόφιμα από τις βιομηχανίες τροφίμων ως μέθοδος συντήρησης η οποία βασίζεται στην απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους ή σχεδόν όλου του νερού που είναι αναγκαίο για την ανάπτυξη των αλλοιογόνων, για τα τρόφιμα, μικροοργανισμών (Kiosseoglou & Blekas, 2013; Ratti, 2001).

Η ξήρανση εφαρμόζεται τόσο σε φρέσκα τρόφιμα (όπως λαχανικά, φρούτα, γάλα και προϊόντα αλιείας) όσο και σε επεξεργασμένα (όπως στιγμιαίος καφές). Μέσω της ξήρανσης, τα τρόφιμα μπορούν να συντηρηθούν για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα σε θερμοκρασία δωματίου, αρκεί να έχουν συσκευαστεί κατάλληλα ώστε να αποτρέπεται η απορρόφηση υγρασίας.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ξήρανσης περιλαμβάνουν:

- Μακροχρόνια συντήρηση των τροφίμων σε συνθήκες περιβάλλοντος, ιδιαίτερα με την κατάλληλη συσκευασία.

- Μείωση βάρους και όγκου, κάτι που συμβάλλει στη μείωση του κόστους μεταφοράς και των αναγκών σε αποθηκευτικό χώρο.
- Παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας, διατηρώντας τη θρεπτική αξία και τη γεύση τους.
- Ευκολία κατανάλωσης για τα τελικά προϊόντα, καθώς πολλά από αυτά μπορούν να ανασυσταθούν απλώς με προσθήκη νερού, όπως ο στιγμιαίος καφές, οι ζωμοί κρέατος και οι σούπες λαχανικών.

Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν την αφυδάτωση ιδιαίτερα χρήσιμη για την παραγωγή και τη διανομή τροφίμων με εκτεταμένη διάρκεια ζωής και ευκολία στη χρήση.

Η ξήρανση, αν και αποδοτική ως μέθοδος συντήρησης τροφίμων, παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα:

- Απώλεια αρωματικών συστατικών: Κατά την ξήρανση, ορισμένες πτητικές ενώσεις, όπως αλκοόλες, αλδεΐδες και κετόνες, απομακρύνονται, με αποτέλεσμα την απώλεια αρωμάτων και τη μείωση της γεύσης του προϊόντος.
- Επιπτώσεις από υψηλές θερμοκρασίες: Η εφαρμογή θερμότητας μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση της γεύσης και των αρωμάτων λόγω αντιδράσεων μεταξύ των συστατικών του τροφίμου. Επιπλέον, η θερμική επεξεργασία μπορεί να προκαλέσει μετουσίωση πρωτεϊνών, αύξηση του ιξώδους και μερική απώλεια θρεπτικών στοιχείων.
- Δομική αλλοίωση του προϊόντος: Σε ορισμένα τρόφιμα, η ξήρανση προκαλεί αλλαγές στη δομή, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την υφή και την ικανότητά τους να επανυδατωθούν σωστά με την προσθήκη νερού.

- Απαίτηση προσεκτικής συσκευασίας: Τα αφυδατωμένα προϊόντα χρειάζονται προσεγμένη συσκευασία ώστε να προστατεύονται από την υγρασία και να περιορίζονται οι αντιδράσεις οξείδωσης, που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.

Αυτά τα μειονεκτήματα καθιστούν την αφυδάτωση λιγότερο κατάλληλη για προϊόντα που απαιτούν υψηλή ποιότητα αρώματος και υφής, παρά την πρακτικότητα της μακροχρόνιας αποθήκευσης.

Η έκταση των αλλαγών που παρατηρούνται στα αφυδατωμένα προϊόντα εξαρτάται σημαντικά από τη μέθοδο ξήρανσης που επιλέγεται, όπως και από τις συγκεκριμένες συνθήκες ξήρανσης και αποθήκευσης που εφαρμόζονται (Goldblith et al., 1975). Ως εκ τούτου, οι αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα των αφυδατωμένων προϊόντων μπορούν να μειωθούν με την κατάλληλη επιλογή μεθόδου ξήρανσης και την ορθή διατήρηση των συνθηκών αποθήκευσης, ώστε να διατηρηθούν τα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ξήρανσης για ένα τρόφιμο βασίζεται σε μια σειρά από παράγοντες που εξασφαλίζουν τη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος και την αποτελεσματικότητα της διεργασίας. Οι κύριοι παράγοντες είναι οι εξής:

1. Η φύση του προϊόντος: Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του τροφίμου (όπως η υφή, το σχήμα και η σύσταση) παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή της μεθόδου, καθώς διαφορετικά προϊόντα απαιτούν διαφορετικές συνθήκες ξήρανσης για να αποφευχθούν ποιοτικές αλλοιώσεις.
2. Η θερμική ευαισθησία των συστατικών: Η αντίσταση των συστατικών του προϊόντος σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζει την επιλογή μεθόδου. Για

παράδειγμα, προϊόντα με συστατικά ευαίσθητα στη θερμότητα μπορεί να απαιτούν ήπιες μεθόδους, όπως η λυοφιλίωση, για να αποτραπεί η υποβάθμιση της θρεπτικής αξίας και των οργανοληπτικών ιδιοτήτων.

3. Το είδος της προκατεργασίας: Η προκατεργασία, όπως η κοπή, η κατάψυξη ή η προσθήκη συντηρητικών, διαφέρει ανάλογα με το προϊόν και τη μέθοδο ξήρανσης που θα εφαρμοστεί. Στόχος είναι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας ξήρανσης και η διατήρηση της ποιότητας του τελικού προϊόντος.
4. Κόστος εξοπλισμού και διεργασίας: Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των μηχανημάτων ξήρανσης επηρεάζει σημαντικά την επιλογή. Μερικές μέθοδοι είναι πιο οικονομικές, αλλά μπορεί να μην είναι κατάλληλες για ευαίσθητα προϊόντα, ενώ άλλες, όπως η λυοφιλίωση, είναι πιο δαπανηρές αλλά προσφέρουν υψηλή ποιότητα στο τελικό προϊόν.

Η ανάλυση των παραπάνω παραγόντων βοηθά στη διασφάλιση ότι η επιλεγμένη μέθοδος θα καλύπτει τις ανάγκες του προϊόντος και της αγοράς με αποτελεσματικό τρόπο.

Οι μέθοδοι ξήρανσης τροφίμων μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, ανάλογα με την τεχνική και τις απαιτήσεις της διεργασίας:

1. Ξήρανση με θερμό αέρα: Περιλαμβάνει τη χρήση θερμού αέρα σε θαλάμους ή σήραγγες ξήρανσης, όπου το τρόφιμο μετακινείται μέσω μεταφορικής ταινίας ή αμαξιδίων, ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη ξήρανση. Άλλες παραλλαγές περιλαμβάνουν ξηραντήρια ρευστοποιημένης κλίνης και περιστροφικά ξηραντήρια, όπου τα τρόφιμα παραμένουν σε συνεχή κίνηση, βελτιώνοντας την απόδοση και μειώνοντας το χρόνο ξήρανσης με άμεση επαφή.

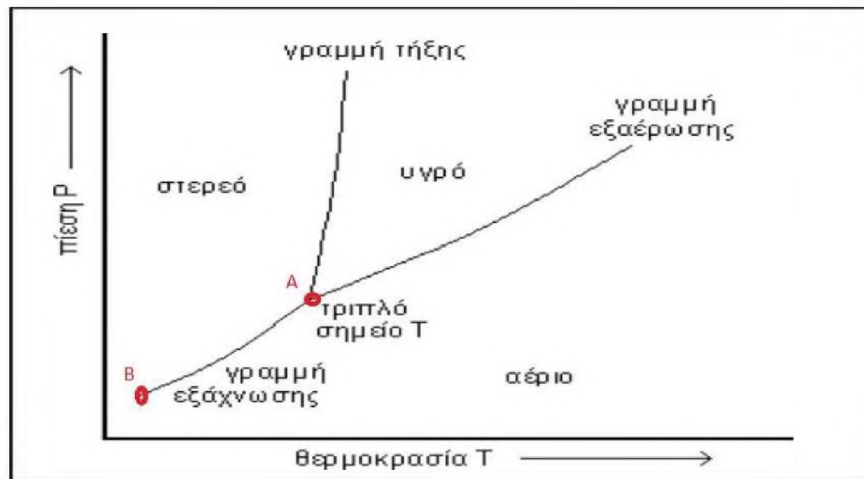
2. Λυοφιλίωση/Κρυοξήρανση: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τρόφιμα που απαιτούν ιδιαίτερη φροντίδα, όπως ευαίσθητα φρούτα, λαχανικά και προϊόντα αλιείας. Κατά τη λυοφιλίωση, το τρόφιμο καταψύχεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και το νερό απομακρύνεται μέσω εξάχνωσης. Η μέθοδος διατηρεί τα θρεπτικά συστατικά και τα αρώματα του προϊόντος, καθιστώντας την ιδανική για τρόφιμα υψηλής αξίας .
3. Ξήρανση που βασίζεται στην θέρμανση μέσω της έκθεσης σε ακτινοβολία. Στην τεχνική αυτή, χρησιμοποιούνται μικροκύματα ή υπέρυθρες ακτίνες για τη θέρμανση και την απομάκρυνση της υγρασίας. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει ταχεία ξήρανση και είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε τρόφιμα με χαμηλή θερμοκρασία κατεργασίας, καθώς αποτρέπει την καταστροφή των θρεπτικών συστατικών.

1.2 Λυοφιλίωση

Η λυοφιλίωση ή αλλιώς λυοφιλοποίηση είναι μια διαδικασία ξήρανσης στην οποία ο διαλύτης του προς ξήρανση υλικού, που συνήθως είναι το νερό, μετατρέπεται αρχικά σε πάγο σε χαμηλές θερμοκρασίες και στη συνέχεια απομακρύνεται από το υλικό με εξάχνωση, δηλαδή με την άμεση μετάβαση του νερού από τη στερεά κατάσταση (παγοκρύσταλλοι) στην αέρια (υδρατμοί) με κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (Bloukas, 2004; Day & Stacey, 2007; Kiosseoglou & Blekas, 2013).

Το νερό απαντάτε σε τρεις φάσεις: τη στερεά, την υγρή και την αέρια φάση. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, σε θερμοκρασία 0°C και πίεση 4,7 mm Hg συνυπάρχουν σε ισορροπία και οι τρεις φάσεις του νερού (τριπλό σημείο). Αν η πίεση μειωθεί περαιτέρω, ο πάγος μετατρέπεται απευθείας σε ατμό (εξάχνωση) όταν προσλάβει ενέργεια ίση με τη λανθάνουσα θερμότητα εξάχνωσης, δηλαδή όταν η πίεση και η

θερμοκρασία που επικρατούν στο περιβάλλον του τροφίμου βρίσκεται στο κάτω μέρος της περιοχής που ορίζεται από την καμπύλη AB.



Εικόνα 1. Διάγραμμα φάσεων του καθαρού νερού. Το σημείο A αποτελεί το τριπλό σημείο, δηλαδή την σε ισορροπία συνύπαρξη των τριών φάσεων του νερού (Kiosseoglou & Blekas, 2013)

Η όλη διαδικασία της ξήρανσης με λυοφιλίωση περιλαμβάνει τα εξής στάδια: α) την κατάψυξη, β) την εξάχνωση (πρώτο στάδιο ξήρανσης), γ) το στάδιο της εκρόφησης (δεύτερο στάδιο ξήρανσης) και δ) την αποθήκευση (Ezhilarasi et al., 2013).

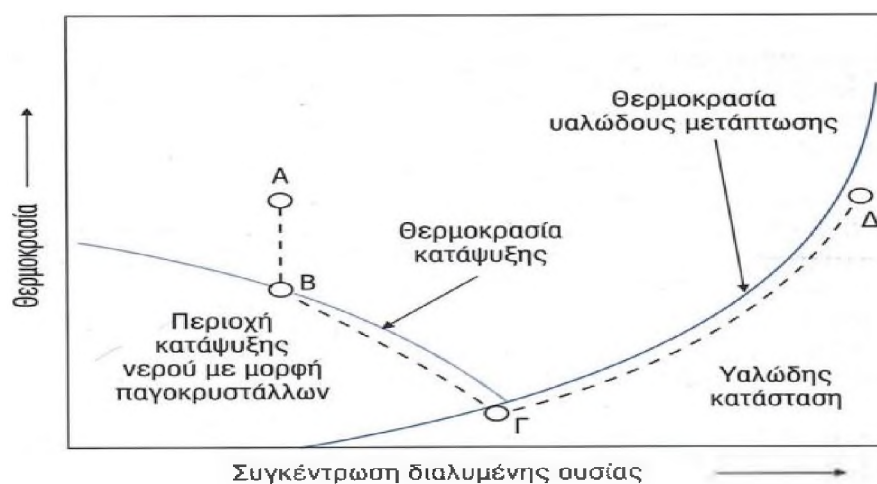
Το πρώτο στάδιο στη διαδικασία λυοφιλοποίησης είναι η κατάψυξη του προϊόντος, κατά την οποία σχεδόν όλο το νερό του προϊόντος μετατρέπεται σε πάγο. Η κατάψυξη πραγματοποιείται πριν από την τοποθέτηση του προϊόντος στον λυοφιλοποιητή (freeze -dryer). Στη φάση αυτή, η θερμοκρασία του υλικού μειώνεται σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή μετατροπή του νερού σε παγοκρυστάλλους. Αν η κατάψυξη δεν ολοκληρωθεί πλήρως, το μη παγωμένο νερό δεν μπορεί να απομακρυνθεί με τη διαδικασία της εξάχνωσης.

Μετά την ολοκλήρωση της κατάψυξης, το δείγμα εισάγεται στον λυοφιλοποιητή. Τα βασικά τμήματα του ξηραντήρα περιλαμβάνουν: α) τον θάλαμο

κενού, ο οποίος διαθέτει κατάλληλο σύστημα δημιουργίας κενού, β) το σύστημα θέρμανσης και γ) το σύστημα συμπύκνωσης των υδρατμών. Η αντλία κενού δημιουργεί συνθήκες πολύ χαμηλής πίεσης, κάτω από 1 mm Hg, στον θάλαμο κενού. Για την επιτυχία της διαδικασίας, απαιτείται η σταθερή διατήρηση της πίεσης σε αυτό το επίπεδο καθ' όλη τη διάρκεια της λυοφιλίωσης. Επιπλέον, το κενό πρέπει να εφαρμοστεί αμέσως μόλις τοποθετηθεί το υλικό στον ξηραντήρα, ώστε να αποφευχθεί η μερική τήξη του πάγου και η δημιουργία υγρού νερού (Bloukas, 2004).

Ακολουθεί η εξάχνωση του πάγου, με την οποία δημιουργούνται υδρατμοί που απομακρύνονται έγκαιρα από τον λυοφιλοποιητή. Η απομάκρυνση των υδρατμών επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος συμπύκνωσης.

Μετά την ολοκλήρωση της εξάχνωσης, στο δείγμα παραμένει μια μικρή ποσότητα ισχυρά δεσμευμένου νερού, το οποίο απομακρύνεται με εξάτμιση στον ίδιο τον λυοφιλοποιητή. Αυτό επιτυγχάνεται με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας των πλακών και μείωση της πίεσης. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται εκρόφηση.



Εικόνα 2. Η εξέλιξη της θερμοκρασίας στο διάγραμμα φάσεων του νερού κατά την λυοφιλίωση. Α= αρχική θερμοκρασία προϊόντος, Β= σημείο πήξης, Γ= σημείο στο οποίο γίνεται εξάχνωση των παγοκρυστάλλων, ΓΔ= μεταβολή της θερμοκρασίας κατά την τελική αφυδάτωση (Nowak & Jakubczyk, 2020).

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της εξάχνωσης, καθώς και στη φάση της εκρόφησης που ακολουθεί, η θέρμανση πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά ώστε το προϊόν να διατηρείται σε κατάσταση «υάλου». Η υαλώδης κατάσταση χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι το νερό, κατά την κατάψυξη, δεν σχηματίζει παγοκρυστάλλους αλλά παραμένει ως μια ενιαία υαλώδης μάζα (Bloukas, 2004). Αν η θερμοκρασία υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο, χαρακτηριστικό για κάθε προϊόν και γνωστό ως θερμοκρασία κατάρρευσης της δομής, μπορεί να προκληθεί κατάρρευση της δομής του αφυδατωμένου υλικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το προϊόν να γίνεται πιο συνεκτικό, με μειωμένο πορώδες και αυξημένη πυκνότητα, γεγονός που δυσχεραίνει την ανασύστασή του με την προσθήκη νερού. Επίσης, μπορεί να υπάρξουν σημαντικές απώλειες πτητικών συστατικών με οσμή, καθώς αυτά συγκρατούνται λιγότερο αποτελεσματικά όταν, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, η κατάσταση «υάλου» μετατρέπεται σε πλαστική κατάσταση (Kiosseoglou & Blekas, 2013).

Ο βασικός στόχος της λυοφιλίωσης είναι η παραγωγή μιας ουσίας με υψηλή σταθερότητα, η οποία παραμένει αμετάβλητη μετά την ανασύστασή της με προσθήκη νερού. Η επιτυχία αυτού του στόχου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συσκευασία και τις συνθήκες αποθήκευσης του τελικού προϊόντος (Goldblith et al., 1975).

Η αφυδάτωση μέσω λυοφιλίωσης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

- Η ξήρανση πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός που μειώνει την υποβάθμιση των θερμοευαίσθητων προϊόντων
- Κατά τη διάρκεια της διεργασίας είναι δυνατός ο έλεγχος της υγρασίας στο τελικό προϊόν
- Το προϊόν δεν παρουσιάζει συρρίκνωση, ενώ δεν παρατηρείται μετακίνηση διαλυτών στερεών στην επιφάνειά του

- Δημιουργείται μια πορώδης και εύθρυπτη δομή
- Η ανασύσταση του προϊόντος με νερό είναι εύκολη και άμεση, με γρήγορη προσρόφηση νερού

Από την άλλη, τα βασικότερα μειονεκτήματα της λυοφιλίωσης είναι:

- Το υψηλό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του αναγκαίου εξοπλισμού
- Η υψηλή κατανάλωση ενέργειας
- Η χρήση της απαιτεί έμπειρα άτομα λόγω της πολυπλοκότητας της διεργασίας και του εξοπλισμού

Η λυοφιλίωση βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε προϊόντα υψηλής εμπορικής αξίας, για τα οποία άλλες μέθοδοι ξήρανσης δεν δίνουν επιτυχή αποτελέσματα. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται για την λυοφιλίωση προϊόντων όπως ο καφές, το τσάι, και θαλασσινά προϊόντα (Kiosseoglou & Blekas, 2013). Παράλληλα έχει εφαρμοστεί και στην αφυδάτωση φρούτων, λαχανικών, καθώς και των προϊόντων που παράγονται από αυτά, όπως οι χυμοί (Caparino et al., 2013; Kramer et al., 1988). Ιδιαίτερα στα θαλασσινά, η λυοφιλίωση εφαρμόζεται ευρέως για τη διατήρηση προϊόντων όπως οι γαρίδες, τα καβούρια, οι αχινοί και το χαβιάρι, συμβάλλοντας στη διατήρηση της θρεπτικής τους αξίας και της αρχικής τους γεύσης.

Σύμφωνα με τους Ozyalcin et al. (2024), η λυοφιλίωση διάφορων θαλασσινών οδήγησε σε σημαντική μείωση της υγρασίας, συμβάλλοντας στη διατήρηση των διατροφικών και αισθητηριακών χαρακτηριστικών των προϊόντων. Επιπλέον, η εφαρμογή υπερηχητικής προεπεξεργασίας βελτίωσε τη διαδικασία αφυδάτωσης,

μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο ξήρανσης και βελτιώνοντας τη συνολική ποιότητα των προϊόντων.

Η λυοφιλίωση έχει επίσης αξιοποιηθεί στην επεξεργασία παραπροϊόντων ιχθυηρών. Η μελέτη των Cánovas et al. (2024) ανέδειξε τη δυνατότητα μετατροπής των αυγών του κοινού ling (*Molva molva*) σε καρύκευμα τροφίμων μέσω διαφόρων μεθόδων ξήρανσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λυοφιλίωση προσέφερε την καλύτερη διατήρηση των οργανοληπτικών και θρεπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος, καθιστώντας το κατάλληλο για γαστρονομική χρήση.

Παράλληλα, οι Toruz et al. (2020) διερεύνησαν τον σχηματισμό βιογενών αμινών σε αυγά ψαριών υπό την επίδραση διαφορετικών μεθόδων ξήρανσης και υλικών επικάλυψης. Τα ευρήματα της μελέτης υπογράμμισαν ότι η λυοφιλίωση, σε συνδυασμό με τις κατάλληλες επικαλύψεις, μείωσε σημαντικά τη δημιουργία ανεπιθύμητων ενώσεων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ασφάλειας και της ποιότητας των προϊόντων.

Επιπλέον, η λυοφιλίωση έχει εφαρμοστεί στην παραγωγή κύβων σολομού, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σνακ, προσθήκες σε σαλάτες ή συστατικά για έτοιμες σούπες. Σύμφωνα με έρευνα των Crapo et al. (2010) η εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνικών λυοφιλίωσης επέτρεψε τη διατήρηση της φυσικής υφής και της γεύσης του σολομού, προσφέροντας νέες δυνατότητες στην επεξεργασία ψαριών.

Αυτές οι μελέτες δείχνουν ότι, παρά τις αρχικές προκλήσεις, η λυοφιλίωση αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο για τη διατήρηση θαλασσινών, συμβάλλοντας στη μείωση της αλλοίωσης και στη δημιουργία προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας.

1.3 Ιχθυηρά και Εχινόδερμα: Ταξινόμηση και Διατροφική Ανάλυση

1.3.1 Ιχθυηρά

Ιχθυηρά, σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών, είναι μία ευρεία κατηγορία τροφίμων που περιλαμβάνει τα ψάρια και άλλα θαλάσσια ή υδάτινα είδη, προερχόμενα από αλμυρά, λιμναία ή ποταμίσια νερά και τα οποία καταναλώνονται από τον άνθρωπο. Τα ιχθυηρά αποτελούν βασικό μέρος της ανθρώπινης διατροφής σε πολλές περιοχές του κόσμου καθώς είναι υψηλής θρεπτικής αξίας τρόφιμα.

Τα ιχθυηρά μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το είδος τους:

1. Ψάρια: Θαλάσσια και γλυκού νερού, όπως ο σολομός, ο τόνος, η σαρδέλα, η γλώσσα και οξύρρυγχος.
2. Οστρακοειδή: Περιλαμβάνουν είδη όπως τα μύδια, τα στρείδια και τα κυδώνια.
3. Καρκινοειδή: Όπως οι γαρίδες, οι καραβίδες, οι αστακοί και τα καβούρια.
4. Μαλάκια: Όπως το καλαμάρι, το χταπόδι και η σουπιά.

1.3.1.1 Οξύρρυγχος (*Beluga Huso Huso*)

Μεταξύ των ψαριών που ανήκουν στην κατηγορία των ιχθυηρών, ο οξύρρυγχος αποτελεί ένα από τα πιο ιδιαίτερα και αναγνωρίσιμα είδη. Πρόκειται για ένα ψάρι από τα μεγαλύτερα του γλυκού νερού (1-2 μέτρα), που μπορεί να επιβιώσει σε γλυκά, υφάλμυρα και αλμυρά νερά, ενώ ξεχωρίζει για την αρχαία καταγωγή του και τη χαρακτηριστική του μορφολογία. Ο οξύρρυγχος ανήκει στην οικογένεια *Acipenseridae* και περιλαμβάνει διάφορα είδη, με ένα από τα πιο γνωστά το Beluga sturgeon (*Huso huso*), τα οποία μπορούν να φτάσουν σε πολύ μεγάλα μεγέθη. Επιπλέον, έχει

χαρακτηριστεί ως "ζωντανό απολίθωμα", καθώς είναι ένα από τα παλαιότερα είδη ψαριών που εξακολουθούν να υπάρχουν.



Εικόνα 3. Οξύρρυγχος Beluga *Huso huso*

Τα ψάρια της οικογένειας αυτής εντοπίζονται κυρίως στο Βόρειο Ημισφαίριο, καταλαμβάνοντας γεωγραφικές περιοχές όπως η Μαύρη Θάλασσα, οι εκβολές ποταμών στην Ευρώπη, την Ασία και τη Βόρεια Αμερική, καθώς και τμήματα της Μεσογείου και του Βόρειου Αιγαίου Πελάγους. Στην Ελλάδα, στο παρελθόν καταγράφηκαν τέσσερα είδη οξύρρυγχου, τα οποία όμως έχουν πλέον εξαφανιστεί εξαιτίας παραγόντων όπως η μόλυνση και η καταστροφή των υδάτινων οικοσυστημάτων, η κατασκευή φραγμάτων και η υπεραλίευση.

Η υπεραλίευση, η ρύπανση, η λαθροθηρία και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν προκαλέσει δραματική μείωση των γηγενών πληθυσμών οξύρρυγχου παγκοσμίως, με αποτέλεσμα ορισμένα είδη να βρίσκονται σε κρίσιμο κίνδυνο εξαφάνισης. Πολλές χώρες έχουν στραφεί στη συστηματική τεχνητή εκτροφή του οξύρρυγχου. Σε αυτό το πλαίσιο, η Κίνα έχει αναδειχθεί ως ο μεγαλύτερος παραγωγός χαβιαριού, καλύπτοντας το 78% της παγκόσμιας παραγωγής, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία της υδατοκαλλιέργειας για τη διατήρηση του είδους και την ικανοποίηση της αυξανόμενης ζήτησης των προϊόντων του (Bronzi et al., 2019).

Η καλλιέργεια οξύρρυγχων έχει επίσης αναπτυχθεί στη Γαλλία και την Ιταλία από τη δεκαετία του 1980, επεκτεινόμενη σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Τα πιο κοινά καλλιεργούμενα είδη περιλαμβάνουν τον Ρωσικό οξύρρυγχο (*A. guldenstaedtii*), τον Σιβηριανό οξύρρυγχο (*A. baerii*), τον Λευκό οξύρρυγχο (*A. transmontanus*), τον

Ιαπωνικό οξύρρυγχο (*A. schrenckii*) και τον Αδριατικό οξύρρυγχο (*A. naccarii*) (Heudeetal., 2016).

Η κατανάλωση του οξύρρυγχου είναι ιδιαίτερα δημοφιλής, καθώς συνδυάζει δύο σημαντικά χαρακτηριστικά: το χαβιάρι του, που θεωρείται ένα από τα πιο πολυτελή και υψηλής εμπορικής αξίας προϊόντα παγκοσμίως, και το κρέας του, το οποίο ξεχωρίζει για την υψηλή θρεπτική του αξία. Το χαβιάρι, πλούσιο σε πρωτεΐνες, απαραίτητα λιπαρά οξέα και βιταμίνες, αποτελεί σύμβολο γαστρονομικής πολυτέλειας, ενώ το κρέας του οξύρρυγχου παρέχει πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας και ευεργετικά θρεπτικά συστατικά που το καθιστούν ιδανική επιλογή για μια ισορροπημένη και υγιεινή διατροφή (Altug & Bayrak, 2003). Έτσι, ο συνδυασμός της γαστρονομικής και της θρεπτικής του αξίας καθιστούν τον οξύρρυγχο έναν μοναδικό διατροφικό πόρο, ενώ η αυξανόμενη ζήτησή του στις διεθνείς αγορές υπογραμμίζει τη σημασία της βιώσιμης εκτροφής και διαχείρισής του.

1.3.1.2 Το χαβιάρι του οξύρρυγχου

Ο οξύρρυγχος, όπως προαναφέρθηκε, δεν ξεχωρίζει μόνο για τη μοναδική του μορφολογία και την αρχαία καταγωγή του, αλλά και για ένα από τα πιο πολύτιμα προϊόντα που παράγονται από αυτόν: το χαβιάρι. Το χαβιάρι είναι άγωνα αυγά ή αυγοτάραχο των ψαριών του γένους οξύρρυγχος, τα οποία υποβάλλονται σε επεξεργασία με αλάτι για τη συντήρησή τους. Σύμφωνα με τον Codex Alimentarius, μόνο το προϊόν που προέρχεται από την επεξεργασία αυγοτάραχου ψαριών της οικογένειας *Acipenseridae* μπορεί να χαρακτηριστεί ως "χαβιάρι". Αντίθετα, τα αυγοτάραχα που προέρχονται από άλλα είδη ψαριών εκτός του οξύρρυγχου, ορίζονται ως υποκατάστατα χαβιαριού. Το χαβιάρι θεωρείται ένα από τα πιο σπάνια και

εκλεπτυσμένα τρόφιμα, συνδεδεμένο ιστορικά με τη βασιλική οικογένεια και τα εκλεκτά γεύματα. Η ιστορική σημασία του χαβιαριού είναι εξίσου εντυπωσιακή, καθώς καταγράφεται ότι οι αρχαίοι Αιγύπτιοι και Φοίνικες προετοίμαζαν αυγά οξύρρυγχου με αλάτι και ξύδι ήδη από το 2400 π.Χ., ενώ οι αρχαίοι Έλληνες το χρησιμοποιούσαν ως λιχουδιά (Shadrina, 2007).

Το χαβιάρι έχει ιδιαίτερα υψηλή θρεπτική αξία, καθώς σύμφωνα με έρευνες, είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες υψηλής ποιότητας, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) και βιταμίνες όπως οι A, B, C, D και E (Altug & Bayrak, 2003). Η μοναδική του σύσταση το καθιστά μια λειτουργική τροφή, με οφέλη που περιλαμβάνουν τη βελτίωση της καρδιαγγειακής υγείας, την πρόληψη φλεγμονών και τη στήριξη του ανοσοποιητικού συστήματος. Επιπλέον, συμβάλλει στη γνωστική υγεία και τη μείωση του κινδύνου χρόνιων παθήσεων, όπως ο καρκίνος του παχέος εντέρου.

Η επεξεργασία του χαβιαριού περιλαμβάνει τεχνικές όπως:

- 1) Αλάτισμα για τη συντήρηση και την ενίσχυση της γεύσης (Altug & Bayrak, 2003)
- 2) Παστερίωση και ψυχρή αποθήκευση για την αποφυγή αλλοίωσης, αν και οι θερμικές μέθοδοι επηρεάζουν τις αισθητηριακές ιδιότητες του προϊόντος (Salemi et al., 2012)
- 3) Επεξεργασία ραδιοσυχνοτήτων, που συμβάλλει στην παράταση της διάρκειας ζωής του χαβιαριού χωρίς σημαντική αλλοίωση της ποιότητάς του (Bhaskar et al., 2022)

Το χαβιάρι του οξύρρυγχου, με την πλούσια πολιτισμική κληρονομιά και την εξαιρετική θρεπτική του αξία, αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της γαστρονομικής

πολυτέλειας στη σύγχρονη εποχή. Η ζήτησή του στις διεθνείς αγορές παραμένει σταθερά υψηλή, ενώ οι εξελίξεις στην τεχνολογία επεξεργασίας και διατήρησής του διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητά του χωρίς να θυσιάζεται η ποιότητα. Σημαντική είναι η εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών στη βιομηχανία τροφίμων, όπως η λυοφιλίωση, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων χαβιαριού με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Η διαδικασία αυτή, μέσω της εξάχνωσης του νερού, διατηρεί την υφή, τη γεύση και τη θρεπτική αξία του χαβιαριού, προσφέροντας λύση για τη διατήρηση της ποιότητας και την εξυπηρέτηση των απαιτήσεων της σύγχρονης αγοράς (Bhaskar et al., 2022). Επιπλέον, η στροφή προς βιώσιμες πρακτικές, όπως η υδατοκαλλιέργεια οξύρρυγχου, συμβάλλει στην προστασία των φυσικών πληθυσμών του είδους, ενώ ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ευαισθητοποίηση του καταναλωτικού κοινού για περιβαλλοντικά ζητήματα (Bronzi et al., 2019). Έτσι, το χαβιάρι διατηρεί την αναγνωσιμότητά του ως σύμβολο ποιότητας και παράδοσης, συνδυάζοντας την ιστορία με τη σύγχρονη καινοτομία στη βιομηχανία τροφίμων.

1.3.1.3 Μπλε Καβούρι (*Callinectes sapidus*)

Το μπλε καβούρι, με επιστημονική ονομασία *Callinectes sapidus*, ανήκει στην οικογένεια *Portunidae* και προέρχεται από τον δυτικό Ατλαντικό Ωκεανό. Αυτό το είδος καβουριού έχει πρόσφατα εξαπλωθεί στη Μεσόγειο Θάλασσα, όπου κατατάσσεται ως ένα από τα 100 πιο επιβλαβή ξενικά είδη. Η επιτυχία της εξάπλωσής του οφείλεται στη μεγάλη προσαρμοστικότητά του σε διαφορετικές θερμοκρασίες και συνθήκες αλατότητας, καθιστώντας το εξαιρετικά ανθεκτικό και ευέλικτο σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα (Kevrekidis et al., 2024; Marchessaux et al., 2023).



Εικόνα 4. Μπλε καβούρι (Blue Crab), *Callinectes sapidus*

Το μπλε καβούρι κατοικεί σε υφάλμυρα και θαλάσσια νερά, συμπεριλαμβανομένων εκβολών ποταμών και λιμνοθαλασσών. Η κατανομή του εξαρτάται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα και το διαλυμένο οξυγόνο. Η ανοχή του σε θερμοκρασίες από 0°C έως 39°C του επιτρέπει να ευδοκίμει σε διάφορα περιβάλλοντα (Marchessaux et al., 2023). Στη Μεσόγειο, εισήχθη κατά λάθος στις αρχές του 20ού αιώνα μέσω θαλάσσιων μεταφορών και έκτοτε έχει επεκταθεί στις ακτές της Ευρώπης και της Μαύρης Θάλασσας (Öztürk et al., 2020). Στην Ελλάδα, έχει εντοπιστεί στον Θερμαϊκό Κόλπο και σε λιμνοθάλασσες, όπου η παρουσία του έχει επηρεάσει τη βιοποικιλότητα και τις τοπικές αλιευτικές δραστηριότητες (Kevrekidis et al., 2024).

Αν και η καλλιέργεια των μπλε καβουριών δεν είναι διαδεδομένη, η αλίευση των φυσικών πληθυσμών αποτελεί μια λύση για την αντιμετώπιση της εισβολής τους. Σε περιοχές όπως η Σικελία, έχουν ήδη αρχίσει να αναπτύσσονται τοπικές πρωτοβουλίες για την εμπορική αξιοποίησή τους, μέσω προϊόντων όπως σάλτσες καβουριού και καβούρι-μπέργκερ (Azzurro et al., 2024).

Το κρέας του μπλε καβουριού θεωρείται υψηλής θρεπτικής αξίας, πλούσιο σε πρωτεΐνες (14%–30%), πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, όπως EPA (εικοσαπεντανοϊκό οξύ)

και DHA (εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ), καθώς και σε βιταμίνες και ανόργανα συστατικά (Kuley et al., 2008).

Εκτός από το κρέας του μπλε καβουριού, τα αυγά του αποτελούν επίσης μια σημαντική διατροφική πηγή, με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και απαραίτητα λιπαρά οξέα, ιδιαίτερα ωμέγα-3, όπως EPA και DHA. Η υψηλής ποιότητας πρωτεΐνη και τα λιπαρά οξέα είναι γνωστά για τα ευεργετικά τους αποτελέσματα στη λειτουργία του εγκεφάλου, τη βελτίωση της καρδιαγγειακής υγείας, την ενίσχυση της αντιφλεγμονώδους δράσης στο ανθρώπινο σώμα και την ανάπτυξη και την ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος (Arena et al., 2024; Kuley et al., 2008).

Η βιομηχανία τροφίμων έχει αρχίσει να αξιοποιεί αυτή τη θρεπτική αξία, ειδικά στη δημιουργία εμπλουτισμένων τροφών και συμπληρωμάτων διατροφής που απευθύνονται σε ομάδες υψηλών διατροφικών απαιτήσεων (Arena et al., 2024).

Με τη χρήση τεχνολογιών όπως η λυοφιλίωση επιτυγχάνεται η διατήρηση της θρεπτικής αξίας και της γεύσης των αυγών, ενώ αυξάνεται η διάρκεια ζωής τους. Αυτή η μέθοδος επεξεργασίας τα καθιστά κατάλληλα για εμπορική χρήση, διασφαλίζοντας παράλληλα την ποιότητα του προϊόντος. Παράλληλα, η παραγωγή και η επεξεργασία αυγών μπλε καβουριού συμβάλλει στη βιώσιμη εκμετάλλευση του είδους, προσφέροντας οικονομικές ευκαιρίες σε περιοχές όπου το μπλε καβούρι θεωρείται εισβολέας (Arena et al., 2024; Kevrekidis et al., 2024).

Η βιώσιμη διαχείριση των αυγών του μπλε καβουριού, τόσο για διατροφική όσο και για εμπορική χρήση, αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για την ενίσχυση της βιοποικιλότητας, τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την προώθηση ενός κυκλικού οικονομικού μοντέλου. Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογιών για την αξιοποίηση των αυγών μπλε καβουριού είναι ζωτικής σημασίας για τη

μεγιστοποίηση της διατροφικής και οικονομικής αξίας αυτού του μοναδικού φυσικού πόρου.

1.3.2 Εχινόδερμα (*Echinodermata*)

Τα εχινόδερμα (*Echinodermata*) αποτελούν μία από τις σημαντικότερες ομάδες θαλάσσιων ασπόνδυλων, περιλαμβάνοντας περίπου 7.000 είδη, όπως οι αστερίες, οι αχινοί και οι ολοθούριοι. Ζουν αποκλειστικά σε θαλάσσια περιβάλλοντα, από παράκτιες περιοχές έως βάθη που φτάνουν τα 4.000 μέτρα, ενώ κινούνται με αργό ρυθμό, χωρίς κανένα είδος τους να είναι παρασιτικό (Mah, 2013).

Τα εχινόδερμα χαρακτηρίζονται από μια μοναδική δευτερογενή ακτινωτή συμμετρία, η οποία συνήθως είναι πενταμερής στους ενήλικες οργανισμούς. Το σώμα τους διακρίνεται σε πέντε ή πολλαπλάσια του πέντε τμήματα, που συνήθως σχηματίζουν βραχίονες ή ακτίνες (Mooi & David, 2000). Το σώμα τους διαθέτει ενδοσκελετό από ασβεστολιθικές πλάκες, που συχνά φέρουν αγκάθια, ενώ ορισμένα είδη έχουν εξωτερικό σκελετό, γνωστό ως κάψα (Willows & Corning, 1975).

Τα εχινόδερμα συναντώνται τόσο σε παράκτιες ζώνες όσο και στον βυθό της θάλασσας, ενώ ορισμένα είδη είναι πελαγικά, κολυμπώντας ελεύθερα στο ανοιχτό πέλαγος. Πολλά από αυτά προσκολλώνται σε στέρεες επιφάνειες, όπως βράχια ή ύφαλα πλοίων, ενώ άλλα σχηματίζουν αποικίες (Mah, 2013). Παρότι τα περισσότερα εχινόδερμα δεν καταναλώνονται ως τρόφιμα, ορισμένα είδη, όπως οι αχινοί, έχουν σημαντική διατροφική και εμπορική αξία. Επιπλέον, τα αυγά τους χρησιμοποιούνται ευρέως σε πειραματικές έρευνες, καθώς η μοναδική βιολογία τους παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη μελέτη των βιολογικών διαδικασιών (Mooi & David, 2000).



Εικόνα 5. Εχινόδερμα (*Echinodermata*), αστερίας και αχινός

Μεταξύ των εχινόδερμων, οι αχινοί ξεχωρίζουν για τη μοναδική τους μορφολογία, την οικολογική σημασία και την ιδιαίτερη θρεπτική τους αξία. Αυτοί οι σφαιρικοί οργανισμοί, με το χαρακτηριστικό αγκαθωτό εξωτερικό περίβλημα, απαντώνται σε ποικίλα θαλάσσια περιβάλλοντα, από παράκτιες περιοχές έως μεγάλα ωκεάνια βάθη. Αν και η εμπορική αξιοποίησή τους είναι περιορισμένη σε σύγκριση με άλλα θαλάσσια είδη, οι αχινοί παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη διατροφή, κυρίως λόγω των αυγών τους, τα οποία θεωρούνται εκλεκτό έδεσμα λόγω της υψηλής θρεπτικής αξίας τους.

1.3.2.1 Αχινός (*Evechinus chloroticus*)

Οι αχινοί (*Sea urchins*), που ανήκουν στην τάξη *Echinoidea* του φύλου *Echinodermata*, αποτελούν σημαντικούς οργανισμούς για τα θαλάσσια οικοσυστήματα, αλλά και για την ανθρώπινη διατροφή και οικονομία. Εμφανίζονται σε ποικίλα θαλάσσια περιβάλλοντα, από παράκτιες περιοχές έως μεγάλα βάθη. Στη Μεσόγειο και ιδιαίτερα στην Ελλάδα, το είδος *Paracentrotus lividus* είναι ευρέως διαδεδομένο και παρουσιάζει εμπορικό ενδιαφέρον λόγω της υψηλής του θρεπτικής αξίας και της ιδιαίτερης γεύσης του (Matveeva et al., 2021; Wulandari & Warsito, 2022).

Οι αχινοί έχουν χρησιμοποιηθεί ως τρόφιμο για αιώνες και συνεχίζουν να αποτελούν μια ιδιαίτερα εκλεκτή επιλογή σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο. Στην Ιαπωνία, τα αυγά των αχινών, γνωστά ως "Uni", θεωρούνται μια από τις πιο

εκλεπτυσμένες γεύσεις και αποτελούν βασικό στοιχείο της παραδοσιακής ιαπωνικής κουζίνας. Παρόμοια, στη Χιλή, τη Νέα Ζηλανδία και τις Ηνωμένες Πολιτείες, οι αχινοί καταναλώνονται ευρέως και έχουν σημαντική θέση στη διατροφή και την τοπική γαστρονομία (Karnila et al., 2022).

Στην Ελλάδα, οι αχινοί συλλέγονται κυρίως από παράκτιες περιοχές, όπου οι φυσικοί πληθυσμοί τους αποτελούν πηγή υψηλής ποιότητας πρώτης ύλης. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον για την εξαγωγή τους, ενισχύοντας την εμπορική τους σημασία. Ωστόσο, η καλλιέργεια αχινών δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό στη χώρα. Αντίθετα, σε χώρες όπως η Ιαπωνία και η Χιλή, η συστηματική καλλιέργειά τους έχει εξελιχθεί σημαντικά, με κύριο στόχο την προστασία των φυσικών πληθυσμών, αλλά και την ικανοποίηση της αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης (Karnila et al., 2022).

Η ανάγκη για βιώσιμες πρακτικές στη συλλογή και διαχείριση των αχινών είναι επιτακτική, ώστε να διατηρηθεί η οικολογική ισορροπία και να εξασφαλιστεί η μακροχρόνια διαθεσιμότητα αυτού του πολύτιμου θαλάσσιου πόρου (Wulandari & Warsito, 2022).

Οι αχινοί και ιδιαίτερα τα αυγά τους, αποτελούν μία από τις πιο θρεπτικές και πολύτιμες πηγές θαλάσσιων τροφών, πλούσιες σε βιοενεργά συστατικά που προάγουν την ανθρώπινη υγεία. Η διατροφική τους αξία έχει αναγνωριστεί από επιστήμονες και καταναλωτές, καθιστώντας τους αχινοί μία εξαιρετική επιλογή για ισορροπημένη διατροφή, καθώς και βασικό υλικό στη βιομηχανία τροφίμων (Matveeva et al., 2021; Sibiyi et al., 2021).

Τα αυγά των αχινών είναι πλούσια σε πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας, οι οποίες περιέχουν τα απαραίτητα αμινοξέα που δεν μπορεί να συνθέσει το ανθρώπινο

σώμα. Η περιεκτικότητα τους σε πρωτεΐνες κυμαίνεται μεταξύ 12% και 14%, καθιστώντας τα μία από τις κορυφαίες επιλογές θαλάσσιων τροφών από άποψη πρωτεϊνικού περιεχομένου. Επίσης, περιέχουν υψηλά επίπεδα πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, όπως το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και το εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (DHA), τα οποία είναι απαραίτητα για την καλή λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος και του εγκεφάλου (Archana & Babu, 2016; Djafar et al., 2023).

Η βιταμίνες Α και Ε είναι οι κυριότερες βιταμίνες που περιέχονται στο κρέας των αχινών καθώς και των αυγών τους. Όσο αναφορά την βιταμίνη Α, υποστηρίζει την υγεία των ματιών, την ανάπτυξη και το ανοσοποιητικό σύστημα, ενώ η βιταμίνη Ε παρέχει ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, προστατεύοντας τα κύτταρα από το οξειδωτικό στρες. Παράλληλα, είναι εξαιρετική πηγή ανόργανων στοιχείων όπως το ασβέστιο και ο φώσφορος, που συμβάλλουν στη διατήρηση της υγείας των οστών και των δοντιών. Επιπλέον, τα αυγά των αχινών περιέχουν καροτενοειδή, που τους δίνουν το χαρακτηριστικό πορτοκαλί χρώμα και προσφέρουν ισχυρές αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Archana & Babu, 2016; Djafar et al., 2023). Αυτές οι ενώσεις έχουν συσχετιστεί με τη μείωση του κινδύνου χρόνιων ασθενειών, όπως καρδιαγγειακές παθήσεις και καρκίνος. Η παρουσία βιοενεργών ουσιών ενισχύει τη δυνατότητα των αυγών των αχινών να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά λειτουργικών τροφίμων.

Παρότι είναι εξαιρετικά θρεπτικά, τα αυγά των αχινών έχουν σχετικά χαμηλή θερμιδική αξία, γεγονός που τα καθιστά ιδανική επιλογή για όσους επιθυμούν να διατηρήσουν ισορροπημένη διατροφή και υγιεινή διατροφή (Karnila et al., 2022).

Η βιομηχανική αξιοποίηση των αχινών, και ειδικότερα των αυγών τους, έχει κερδίσει σημαντική θέση στις διεθνείς αγορές, κυρίως λόγω της μοναδικής τους γεύσης και της υψηλής θρεπτικής τους αξίας. Τα αυγά αχινών, γνωστά για την ιδιαίτερη υφή

και γεύση τους, αποτελούν βασικό υλικό στη δημιουργία γαστρονομικών προϊόντων πολυτελείας, ενώ οι ευεργετικές τους ιδιότητες τα καθιστούν ιδανική πρώτη ύλη για τη βιομηχανία τροφίμων (Wulandari & Warsito, 2022).

Η λυοφιλίωση, αποτελεί μια από τις πιο καινοτόμες μεθόδους επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της ποιότητας των αυγών αχινών. Η διαδικασία αφαιρεί την υγρασία μέσω εξάχνωσης, με αποτέλεσμα να διατηρούνται ανέπαφα η γεύση, η θρεπτική αξία, η υφή και το φυσικό τους χρώμα. Τα προϊόντα που προκύπτουν από τη λυοφιλίωση διατηρούν την ποιότητά τους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, καθιστώντας τα κατάλληλα για αποθήκευση και εξαγωγή, ενώ ικανοποιούν τις απαιτήσεις μιας διεθνούς αγοράς που αναζητά προϊόντα υψηλής αξίας.

Επιπλέον, τα αυγά αχινών, πλούσια σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, αντιοξειδωτικά και βιταμίνες, αποτελούν ιδανική επιλογή για την ανάπτυξη λειτουργικών τροφίμων. Η προσθήκη τους σε προϊόντα διατροφής ενισχύει τη διατροφική αξία και ικανοποιεί την αυξανόμενη ζήτηση για τρόφιμα με ευεργετικές ιδιότητες για την υγεία. Η λυοφιλίωση διευκολύνει αυτή τη χρήση, διατηρώντας τα πολύτιμα συστατικά τους και ενισχύοντας τη δυνατότητα ενσωμάτωσής τους σε διάφορες γαστρονομικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

Η τεχνολογία της λυοφιλίωσης δεν περιορίζεται μόνο στη διατήρηση της θρεπτικής αξίας των αυγών αλλά επεκτείνεται και στη διατήρηση του γενετικού υλικού των αχινών. Μέσω αυτής της μεθόδου, εξασφαλίζεται η μακροχρόνια αποθήκευση και η προστασία της γενετικής ποικιλότητας, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα των πληθυσμών αχινών και στην προστασία των οικοσυστημάτων που εξαρτώνται από αυτούς (Karnila et al., 2022).

Η εφαρμογή της λυοφιλίωσης στους αχινούς προσφέρει νέες δυνατότητες για την επεξεργασία και την εμπορική αξιοποίησή τους, συνδυάζοντας τη διατήρηση της ποιότητας με την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων. Αυτή η τεχνολογία ανοίγει νέους δρόμους για τη βιομηχανία τροφίμων, διασφαλίζοντας παράλληλα τη βιώσιμη διαχείριση αυτού του πολύτιμου φυσικού πόρου (Wulandari & Warsito, 2022).

2. ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της λυοφιλίωσης στα διατροφικά, βιοχημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αυγών καβουριού, του αχινού και του χαβιαριού Beluga, με στόχο την ανάπτυξη νέων προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας για τη βιομηχανία τροφίμων. Μέσω αυτής της μελέτης, διερευνάται η δυνατότητα βελτίωσης της σταθερότητας, της αντιοξειδωτικής ικανότητας και της θρεπτικής αξίας των υπό εξέταση προϊόντων, συμβάλλοντας στην περαιτέρω αξιοποίησή τους στη γαστρονομία και τη βιομηχανία τροφίμων. Παράλληλα, η οργανοληπτική αξιολόγηση, η οποία περιλάμβανε την ανάλυση κρίσιμων χαρακτηριστικών όπως η γεύση, η υφή, το άρωμα και η εμφάνιση, είχε ως στόχο να προσδιορίσει την επίδραση της λυοφιλίωσης στις αισθητηριακές ιδιότητες των προϊόντων, καθώς και την αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Συνολικά, η εργασία αναδεικνύει τη συμβολή της λυοφιλίωσης ως τεχνολογίας που διατηρεί τα οργανοληπτικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, ενώ παράλληλα παρέχει πολύτιμα δεδομένα για την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας.

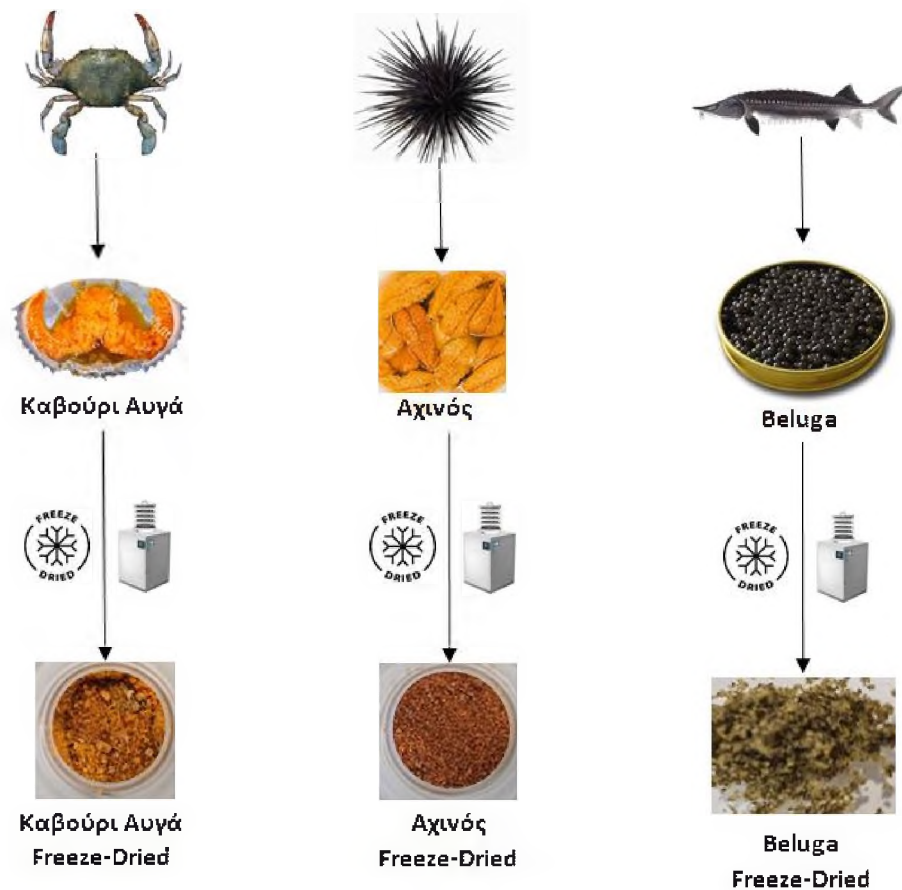
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Προϊόντα και Α' ύλες

Τα νωπά αυγά μπλε καβουριού (*Callinectes sapidus*) και αχινού (*Evechinus chloroticus*) παραχωρήθηκαν ευγενικά από την εταιρεία Forkys Food, με έδρα τη Θεσσαλονίκη, ενώ το χαβιάρι οξύρρυγχου (*Beluga Huso Huso*) παραχωρήθηκε από την εταιρεία Οξύρρυγχος Ελλάδος ΑΕ, με έδρα τη Δράμα, για τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Όλα τα δείγματα αποθηκεύτηκαν στους -20°C μέχρι την περαιτέρω ανάλυσή τους. Στα πλαίσια της μελέτης, τα συγκεκριμένα προϊόντα υποβλήθηκαν σε διαδικασία λυοφιλίωσης, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση της μεθόδου αυτής στη διατροφική, βιοχημική και οργανοληπτική τους σύσταση.

3.2 Συνθήκες λυοφιλίωσης

Για την παραγωγή των λυοφιλωμένων προϊόντων τα νωπά αυγά μπλε καβουριού, ο αχινός και το χαβιάρι οξύρρυγχου τοποθετήθηκαν στους -20°C για 24 ώρες με στόχο την πλήρη μετατροπή του νερού σε πάγο. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον λυοφιλοποιητή (Telstar Lyoquest) σε συνθήκες -55°C και 0,1 mbar μέχρι την πλήρη εξάχνωση του πάγου και τη δημιουργία ξηρών προϊόντων (εικόνα 6). Τα αφυδατωμένα δείγματα κονιοποιήθηκαν με τη χρήση μπλέντερ μέχρι να φτάσουν σε σκόνη με λεπτό μέγεθος σωματιδίων που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των τελικών προϊόντων.



Εικόνα 6. Διάγραμμα πειραματικής διαδικασίας λυοφιλίωσης αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga

3.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

3.3.1 Μέτρηση pH

Το pH όλων των προϊόντων προσδιορίστηκε σε υδατικό διάλυμα 5%, χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό μέτρησης pH (Consort C5010), εξασφαλίζοντας ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις.

3.3.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού, a_w

Η ενεργότητα ύδατος (a_w) των προϊόντων, προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο μετρητή ενεργότητας νερού (Aqualab Pawkit, MeterGroup) με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή.

3.4 Εκχύλιση βιοενεργών συστατικών

Η εκχύλιση των βιοενεργών συστατικών πραγματοποιήθηκε βάσει της μεθόδου των (Miraglia et al., 2020) με ορισμένες τροποποιήσεις. Ειδικότερα, 1 gr από κάθε δείγμα ζυγίστηκε με ακρίβεια και μεταφέρθηκε σε σωλήνες τύπου Falcon των 15 mL. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 5 mL διαλύματος μεθανόλης 80% (v/v) παρασκευασμένου με απιονισμένο νερό. Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε έντονη ανάδευση με χρήση αναδευτήρα τύπου vortex και τοποθετήθηκαν σε λουτρό υπερήχων (Branson 2510) για 10 λεπτά. Ακολούθησε μηχανική ανάδευση για 1 ώρα στους 400 rpm, σε θερμοκρασία 25°C. Μετά την ολοκλήρωση της ανάδευσης, τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν (Eppendorf Centrifugator 5702R) για 10 λεπτά στις 4000 rpm. Το υπερκείμενο υγρό συλλέχθηκε προσεκτικά, και η διαδικασία εκχύλισης επαναλήφθηκε μία ακόμη φορά. Τα υπερκείμενα υγρά από τις δύο διαδοχικές εκχυλίσεις συνδυάστηκαν και εξατμίστηκαν υπό συνθήκες κενού μέχρι πλήρους εξάτμισης, χρησιμοποιώντας συσκευή τύπου SpeedVac (Eppendorf Concentrator 5501).

Στα εξατμισμένα δείγματα προστέθηκαν 5 mL μεθανόλης 100% για την επαναδιαλυτοποίησή τους. Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε έντονη ανάδευση με χρήση αναδευτήρα τύπου vortex και τοποθετήθηκαν σε λουτρό υπερήχων μέχρι την πλήρη διάλυση του υπολείμματος. Ακολούθως, φυγοκεντρήθηκαν για 10 λεπτά στις 4000 rpm. Το υπερκείμενο υγρό συλλέχθηκε προσεκτικά και διήλθε μέσω φίλτρου PVDF με

διάμετρο πόρων 0,45 μm . Τα εκχυλίσματα που προέκυψαν αξιοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ολικών πολυφαινόλων καθώς και της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας.

3.4.1 Προσδιορισμός ολικής περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες

Ο προσδιορισμός των συνολικών φαινολικών συστατικών των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu σύμφωνα με τους (Ha et al., 2022) με μικρές τροποποιήσεις. Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στην αναγωγή (οξείδωση φαινολικών συστατικών δείγματος) διαλύματος φωσφορομολυβδενικού οξέως Folin-Ciocalteu (Sigma Aldrich, USA) και το σχηματισμό μπλε χρώματος. Για τη διαδικασία, προετοιμάστηκαν πρότυπα διαλύματα γαλλικού οξέος σε συγκεντρώσεις 20, 40, 80, 100, 200, και 500 ppm, καθώς και διάλυμα ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) 20% (w/v). Σε σωλήνα φυγοκέντρωσης των 2 ml προστέθηκαν 50 μl από το διάλυμα του κάθε δείγματος, 600 μl απιονισμένο νερό, 50 μl αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu και 300 μl του διαλύματος Na_2CO_3 . Έπειτα παρέμειναν σε σκοτεινό σημείο σε θερμοκρασία δωματίου για 1 ώρα και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκαν για 10 λεπτά στα 3000 g. Μεταφέρθηκαν σε πλάκα μικροτιτλοποίησης 96 θέσεων χωρητικότητας 0.2 ml και η μέτρηση της απορρόφησης έγινε στα 725 nm στο φασματοφωτόμετρο Tecan SPARK. Η πρότυπη καμπύλη αναφοράς κατασκευάστηκε με τη χρήση των πρότυπων διαλυμάτων και η ολική περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες προσδιορίστηκε με χρήση της καμπύλης αναφοράς και εκφράστηκε σε mg γαλλικού οξέος/100g δείγματος.

3.4.2 Εκτίμηση αντιοξειδωτικής δράσης

3.4.2.1 Δοκιμή 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

Η δοκιμή DPPH βασίζεται στην αρχή ότι η ελεύθερη ρίζα του 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•) ανάγεται παρουσία αντιοξειδωτικών ουσιών, με αποτέλεσμα τη μείωση του χαρακτηριστικού πορφυρού χρώματος. Η δοκιμή έγινε σύμφωνα με τους Duan et al. (2007) και Ha et al. (2022) με μικρές τροποποιήσεις. Αρχικά, παρασκευάστηκε το διάλυμα 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma, USA) 0.1mM σε μεθανόλη. Έπειτα, 25 μl από κάθε δείγμα τοποθετήθηκαν σε σωλήνα φυγοκέντρωσης των 2ml και προστέθηκαν 975μl του διαλύματος DPPH. Τα δείγματα αναμείχθηκαν πλήρως με αναδευτήρα vortex και επώαστηκαν για 30 λεπτά σε σκοτεινό σημείο, σε θερμοκρασία δωματίου. Μεταφέρθηκαν σε πλάκα μικροτιτλοποίησης 96 θέσεων χωρητικότητας 0.2 ml και η απορρόφηση μετρήθηκε σε μήκος κύματος 515 nm, χρησιμοποιώντας το φασματοφωτόμετρο Tecan SPARK. Η αντιοξειδωτική ικανότητα υπολογίζεται από την Εξίσωση 1:

$$\text{Ικανότητα παρεμπόδισης της ελεύθερης ρίζας (\%)} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%, \text{ Εξ. (1)}$$

όπου A₀: η απορρόφηση του τυφλού και

A: η απορρόφηση του δείγματος

3.4.2.2 Δοκιμή 2,2'-Azinobis-(3-Ethylbenzothiazoline-6-sulfonic Acid (ABTS)

Η δοκιμή ABTS βασίζεται στην αρχή σύμφωνα με την οποία το ABTS²⁻ οξειδώνεται προς ριζικό κατιόν ABTS⁺ και ακολουθεί εξασθένιση του χρώματος που έχει (σκούρο κυανοπράσινο) λόγω της αναγωγής από τις αντιοξειδωτικές ουσίες. Η δοκιμή εκτελέστηκε σύμφωνα με τους Loganayaki et al. (2013). Αναλυτικότερα, προετοιμάστηκε το διάλυμα του 2,2'-Azinobis-(3-Ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid

(Glenthams Life Sciences, United Kingdom) 7mM και το διάλυμα $K_2S_2O_8$ 2.5 mM και αναμείχθηκαν σε αναλογία 1:1. Το τελικό διάλυμα που προέκυψε αφέθηκε για 16-18 ώρες στο σκοτάδι. Στη συνέχεια, 50 μ l από το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε σωλήνα φυγοκέντρωσης των 1.5ml και προστέθηκαν 950 μ l του διαλύματος ABTS. Τα δείγματα αναμείχθηκαν με τη χρήση αναδευτήρα vortex και παρέμειναν για 30 λεπτά σε σκοτεινό σημείο σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι να μεταφερθούν σε πλάκα μικροτιτλοποίησης 96 θέσεων χωρητικότητας 0.2 ml. Η μέτρηση της απορρόφησης έγινε με φασματοφωτόμετρο Tecan SPARK σε μήκος κύματος 734 nm. Η αντιοξειδωτική ικανότητα υπολογίζεται από την Εξίσωση 1.

3.4.2.3 Δοκιμή Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

Η δοκιμή FRAP βασίζεται στην αρχή σύμφωνα με την οποία το σύμπλοκο Fe^{+3} -τριπυρίδυλο-τριαζίνη (Fe^{+3} -TPTZ) ανάγεται, λόγω των αντιοξειδωτικών ουσιών, σε δισθενή μορφή κάτω από όξινες συνθήκες και σχηματίζεται έντονο μπλε χρώμα. Η δοκιμή έγινε σύμφωνα με τους Powell et al. (2014) με μικρές τροποποιήσεις. Αρχικά, παρασκευάστηκε το διάλυμα FRAP με ανάμιξη των ακόλουθων αντιδραστηρίων, σε αναλογία 10:1:1: α) 0,02 M τριχλωριούχου σιδήρου ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), β) 0,01 M 2,4,6-Tris-(2-pyridyl)-1,3,5-triazine (TPTZ) (Sigma Aldrich, HΠΑ) διαλυμένο σε 0,04 M υδροχλωρικό οξύ (HCl) και γ) 0,3 M ρυθμιστικού διαλύματος οξικών (CH_3COOH/CH_3COONa) με pH 3,6. Ακολούθως, προετοιμάστηκαν πρότυπα διαλύματα Trolox, με συγκεντρώσεις 10, 25, 50, 100, 200, 500, 800 και 1000 μ M. Στη συνέχεια, 50 μ l από το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε σωλήνα φυγοκέντρωσης των 2 ml, προστέθηκαν 1.45ml του διαλύματος FRAP και ακολούθησε ανάμιξη με αναδευτήρα vortex. Τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 37°C για 10 λεπτά και κατόπιν ψύχθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου. Μεταφέρθηκαν σε πλάκα μικροτιτλοποίησης 96 θέσεων

χωρητικότητα 0.2 ml και μέτρηση της απορρόφησης έγινε στα 593 nm στο φασματοφωτόμετρο Tecan SPARK. Η πρότυπη καμπύλη αναφοράς κατασκευάστηκε με τη χρήση των πρότυπων διαλυμάτων και η συνολική συγκέντρωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας προσδιορίστηκε με χρήση της καμπύλης αναφοράς και εκφράστηκε σε $\mu\text{MTrolox}/100 \text{ g}$.

3.4.2.4 Δοκιμή CUPRAC

Η δοκιμή CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity) βασίστηκε στη δυνατότητα των αντιοξειδωτικών ουσιών να ανάγουν το σύμπλοκο Cu(II) –νεοκουπροΐνης σε Cu(I) –νεοκουπροΐνη, οδηγώντας στον σχηματισμό χαρακτηριστικού έγχρωμου συμπλόκου (Apak et al., 2004). Αρχικά, σε σωληνίσκους τύπου Eppendorf τοποθετήθηκαν 100 μl από κάθε δείγμα. Στη συνέχεια, προστέθηκαν διαδοχικά 200 μl από τρία αντιδραστήρια: διάλυμα 10 mM CuCl_2 , διάλυμα 7,5 mM νεοκουπροΐνης σε αιθανόλη και διάλυμα 1 M οξικού αμμωνίου (NH_4Ac). Το περιεχόμενο αναμειχθηκε πλήρως με vortex και επώαστηκε για 30 λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά το πέρας του χρόνου επώασης, η απορρόφηση μετρήθηκε σε μήκος κύματος 450 nm στο φασματοφωτόμετρο Tecan SPARK. Για τον προσδιορισμό του λευκού δείγματος (blank), ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, ωστόσο αφαιρέθηκε το διάλυμα CuCl_2 . Η πρότυπη καμπύλη αναφοράς κατασκευάστηκε με τη χρήση των πρότυπων διαλυμάτων Trolox, με συγκεντρώσεις 10, 25, 50, 100, 200, 500, 800 και 1000 μM και η συνολική συγκέντρωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας προσδιορίστηκε με χρήση της καμπύλης αναφοράς και εκφράστηκε σε $\mu\text{MTrolox}/100 \text{ g}$.

3.5 Εκχύλιση και ποσοτικοποίηση ολικών καροτενοειδών

Η εκχύλιση των καροτενοειδών πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο των (Hooshmand et al., 2017). Συγκεκριμένα, τόσο τα λυοφιλοποιημένα όσο και τα νωπά, ομογενοποιημένα δείγματα (1 g) υποβλήθηκαν σε επαναλαμβανόμενη εκχύλιση με ακετόνη (5 ml), μέχρι το εκχύλισμα να καταστεί άχρωμο. Στη συνέχεια, το ακετονικό εκχύλισμα διηθήθηκε μέσω φίλτρου 0,22 μm (Millipore) και αφυδατώθηκε με θειικό νάτριο (Na_2SO_4).

Δεδομένου ότι το επικρατέστερο καροτενοειδές στα προϊόντα είναι η ασταξανθίνη και, παράλληλα, η προκαταρκτική φασματοφωτομετρική ανάλυση (U-2900, Hitachi, Τόκιο, Ιαπωνία) των ακετονικών εκχυλισμάτων κατέδειξε μέγιστη απορρόφηση στα 478 nm (μήκος κύματος που συνάδει με την ασταξανθίνη), οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 478 nm.

Οι συνολικές συγκεντρώσεις των καροτενοειδών υπολογίστηκαν βάση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\text{συγκέντρωση ολικών καροτενοειδών (mg / Kg)} = (A_{478\text{nm}} \times V) / (0.22 \times W)$$

όπου $A_{478\text{nm}}$ η απορρόφηση του δείγματος στα 478 nm, V ο όγκος του εκχυλίσματος, 0,22 η απορρόφηση πρότυπου διαλύματος ασταξανθίνης (1mg/L) σε ακετόνη σε κυβέτα 1 cm στα 478 nm και W το βάρος του δείγματος σε g.

3.6 Προσδιορισμός Σύνθεσης Λιπαρών Οξέων (FAMES)

Η απομόνωση των λιπαρών οξέων πραγματοποιήθηκε με την απευθείας σύνθεση των λιπαρών οξέων, σύμφωνα με τη μέθοδο των (O'Fallon et al., 2007). Αρχικά, ζυγίστηκε 1 g δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα χωρητικότητας 15 ml με βιδωτό πώμα. Προστέθηκαν 0,7 ml υδατικού διαλύματος KOH 10 N και 5,3 ml διαλύματος μεθανόλης που περιείχε 0,01% BHT. Το μίγμα αναμειχθηκε έντονα με

vortex και οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 55°C για 90 λεπτά. Ανά 20 λεπτά, το περιεχόμενο αναμειγνυόταν έντονα για 5 δευτερόλεπτα με τη χρήση vortex. Μετά την ολοκλήρωση των 90 λεπτών, οι δοκιμαστικοί σωλήνες αφαιρέθηκαν από το υδατόλουτρο και ψύχθηκαν κάτω από τρεχούμενο νερό. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 0,58 ml διαλύματος H_2SO_4 24 N και έγινε ανάμειξη του περιεχομένου με αναστροφή του σωλήνα. Ακολούθησε δεύτερη επώαση σε υδατόλουτρο στους 55°C για 90 λεπτά, με περιοδική έντονη ανάμειξη (κάθε 20 λεπτά, 5 δευτερόλεπτα vortex). Έπειτα, οι δοκιμαστικοί σωλήνες αφαιρέθηκαν από το υδατόλουτρο, ψύχθηκαν και προστέθηκαν 3 ml εξανίου. Το μίγμα υποβλήθηκε εκ νέου σε έντονη ανάδευση με vortex για 5 λεπτά και φυγοκεντρήθηκε σε ψυχόμενη φυγόκεντρο (4°C, 5 λεπτά, 2500 rpm). Τέλος, η ανώτερη φάση του εξανίου συλλέχθηκε με τη βοήθεια πιπέτας Pasteur σε φιαλίδιο GC και αποθηκεύτηκε στους -20°C.

Η σύσταση των λιπαρών οξέων προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας φασματογράφο μάζας GCMS-QP2010 UltraGas (Shimadzu Europe, GmbH), ο οποίος ήταν εφοδιασμένος με τριχοειδή στήλη SP-2340 (60 m × 0,25 mm, 0,20 μm) (Supelco, Bellefonte, PA, ΗΠΑ). Η θερμοκρασία έγχυσης και του ανιχνευτή ιονισμού φλόγας ρυθμίστηκε στους 250°C. Η θερμοκρασία του φούρνου ξεκίνησε από τους 100°C, όπου διατηρήθηκε για 5 λεπτά, και στη συνέχεια αυξήθηκε σταδιακά έως τους 240 °C με ρυθμό 4°C/λεπτό, διατηρούμενη σε αυτήν τη θερμοκρασία για 30 λεπτά. Ως αέριο φορέας χρησιμοποιήθηκε το ήλιο, με ρυθμό ροής 20 cm/λεπτό. Για την ταυτοποίηση και τη βαθμονόμηση των λιπαρών οξέων χρησιμοποιήθηκε το Supelco 37 Component FAME Mix (Sigma-Aldrich). Η σύσταση των λιπαρών οξέων εκφράστηκε σε σχετικό ποσοστό κάθε λιπαρού οξέος, υπολογιζόμενο μέσω εσωτερικής ομαλοποίησης της επιφάνειας των χρωματογραφικών κορυφών.

3.7 Οργανοληπτική Αξιολόγηση

Η ανάλυση των αισθητηριακών χαρακτηριστικών των λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga αποσκοπούσε στον καθορισμό της έντασης χαρακτηριστικών που θα μπορούσαν να επηρεαστούν από τη διαδικασία ξήρανσης. Για την οργανοληπτική αξιολόγηση, επιλέχθηκαν 23 δοκιμαστές, από τους οποίους οι 8 ήταν εκπαιδευμένοι καθώς εκπαιδεύτηκαν από το Εργαστήριο Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής, του Ινστιτούτο Εφαρμοσμένων Βιοεπιστημών, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8586 (2012). Χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα πρωτόκολλα για την προστασία των δικαιωμάτων και της ιδιωτικότητας όλων των συμμετεχόντων κατά την εκτέλεση της έρευνας. Δεν υπήρξε εξαναγκασμός προς τους αξιολογητές, ενώ οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τις απαιτήσεις της μελέτης και τους σχετικούς κινδύνους. Ελήφθη γραπτή συγκατάθεση από τους συμμετέχοντες και δεν αποκαλύφθηκαν προσωπικά δεδομένα χωρίς τη γνώση τους. Επιπλέον, οι αξιολογητές είχαν τη δυνατότητα να αποχωρήσουν από τη μελέτη ανά πάσα στιγμή.

Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο ISO 4121 (2003), με τη χρήση ποσοτικής περιγραφικής ανάλυσης σε μη δομημένη κλίμακα 5 σημείων (1 = καθόλου αντιληπτό ή εξαιρετικά κακό, 5 = εξαιρετικά αντιληπτό ή εξαιρετικά καλό). Οι δοκιμαστές εξέτασαν την εμφάνιση, την οσμή, τη γεύση, το άρωμα, την υφή/αίσθηση στο στόμα και την επίγευση των προϊόντων χρησιμοποιώντας 25 προκαθορισμένους περιγραφικούς όρους σύμφωνα με τους (Phillips et al., 2010) όπως περιγράφονται στον πίνακα 1. Στο τέλος αξιολογήθηκε και η συνολική εντύπωση για κάθε προϊόν αλλά και η κατάταξη προτίμησης μεταξύ όλων των δειγμάτων.

Πίνακας 1. Προκαθορισμένοι περιγραφικοί όροι για εξέταση της εμφάνισης, της οσμής, της γεύσης, του αρώματος, της υφής/αίσθησης στο στόμα και της επίγευσης των προϊόντων.

Κατηγορία	Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Εμφάνιση		
Χρώμα	Το κυρίαρχο χρώμα του προϊόντος	Pale olive green, olive grey, Muted sage, Dark olive, Pale ochre, Sandy, Yellow orange, Golden yellow, Orange brown, Clay, Burnt
Υφή	Πως φαίνεται η υφή (οπτικά)	Εξαιρετικά κακή – Εξαιρετικά καλή
Άρωμα		
Ένταση αρώματος	Πόσο έντονο είναι το άρωμα	Καθόλου - Εξαιρετικά
Ποιότητα αρώματος	Πόσο ευχάριστο είναι το άρωμα	Καθόλου - Εξαιρετικά
Οσμή γαλακτοκομικού	Η οσμή που είναι χαρακτηριστική των γαλακτοκομικών προϊόντων	Γλυκό, Κρεμώδες
Οσμή θάλασσας	Η οσμή που είναι χαρακτηριστική της θάλασσας	Θαλάσσια φύκη, Φρέσκο, Kelp
Οσμή Θαλασσινών	Η οσμή που είναι χαρακτηριστική των θαλασσινών	Αλμυρό, Ψαρώδες, Οσμή από ιχθυέλαιο, Οσμή θαλασσινών)
Γήινη οσμή	Η οσμή που είναι χαρακτηριστική της γήινης αίσθησης	Λασπώδες, Ξυλώδες, Κρεατώδες, Μανιταρένιο, Γήινο
Γεύση		

Ένταση γεύσης	Πόσο έντονη είναι η γεύση	Καθόλου - Εξαιρετικά
Αλμυρό	Η γεύση που είναι χαρακτηριστική του αλμυρού	Αλμυρό, όχι αλμυρό, άλμη
Γλυκό	Η γεύση που είναι χαρακτηριστική του γλυκού	Γλυκό, γλυκύτητα, ήπια γλυκύτητα, αρκετά γλυκό, όχι γλυκό
Umami	Η γεύση που είναι χαρακτηριστική του Umami	Εύγευστο, μαγιά, ζωμός
Αίσθηση γεύσης		
Γήινη γεύση	Η αίσθηση γεύσης που είναι χαρακτηριστική του γήινου	Λασπώδες, Ξυλώδες, Γήινο, Μανιταρένιο
Γεύση βοτάνων	Η αίσθηση γεύσης που είναι χαρακτηριστική των βοτάνων	Γεύση χόρτου, βοτάνων
Γεύση γαλακτοκομικού	Η αίσθηση γεύσης που είναι χαρακτηριστική των γαλακτοκομικού	Βούτυρο, Κρεμώδες, Τυρένιο, Γεύση Edam
Γεύση θαλασσινών	Η αίσθηση γεύσης που είναι χαρακτηριστική των θαλασσινών	Σρειδιού, Καραβίδας, Καβουριού, Ψαριού, Θαλάσσια γεύση
Μεταλλική γεύση	Η αίσθηση γεύσης που είναι χαρακτηριστική του μεταλλικού	Ωμό συκώτι, Σαφής μεταλλική γεύση, Πικρή μεταλλική γεύση, Ιωδιούχος γεύση, Γεύση αίματος
Συνολική ποιότητα γεύσης	Πόσο ευχάριστη είναι συνολικά η γεύση	Καθόλου - Εξαιρετικά

Υφή		
Τραγανότητα	Πόσο τραγανό είναι το προϊόν	Καθόλου - Εξαιρετικά
Κοκκώδες	Πόσο κοκκώδες είναι το προϊόν στο στόμα	Καθόλου - Εξαιρετικά
Κολλώδες	Είναι το δείγμα κολλώδες στο στόμα	Καθόλου - Εξαιρετικά
Επίγευση		
Ένταση	Πόσο έντονη είναι η επίγευση	Καθόλου - Εξαιρετικά
Ποιότητα	Πόσο ευχάριστη είναι η επίγευση	Καθόλου - Εξαιρετικά
Συνολική Εντύπωση	Πόσο ελκυστικό είναι συνολικά το προϊόν	Καθόλου - Εξαιρετικά

Δύο γραμμάρια από κάθε δείγμα παρουσιάστηκαν στους δοκιμαστές λαμβάνοντας υπόψη τη σειρά και τις επιδράσεις carry-over (Macfie et al., 1989) με τυχαία επιλεγμένο 3ψήφιο κωδικό (Εικόνα 6). Ψωμί χωρίς αλάτι και χωρίς ζάχαρη και νερό παρέχονταν στους αξιολογητές για να καθαρίζουν τον ουρανίσκο τους και να απομακρύνουν τα υπολειπόμενα γεύσης στην αρχή της δοκιμής και μεταξύ των δειγμάτων.



Εικόνα 6. Οργανοληπτική αξιολόγηση των λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga.

3.8 Στατιστική Ανάλυση

Για κάθε ανάλυση, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις εις τριπλούν και τα δεδομένα εκφράστηκαν ως μέση τιμή $\pm$ τυπικό σφάλμα ($n=3$). Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού Microsoft Office Excel 2018. Η στατιστική ανάλυση ολοκληρώθηκε χρησιμοποιώντας μη συσχετισμένο έλεγχο t-test (Graph Pad, San Diego, CA,USA), ενώ το επίπεδο σημαντικότητας για την p-τιμή ήταν 0,05 ($p \leq 0,05$).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τιμών pH και της ενεργότητας νερού (a_w) των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga.

Πίνακας 2. pH και a_w των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga

Δείγματα	pH	a_w
Καβούρι Αυγά	$6,92 \pm 0,01$	$0.95 \pm 0,01$
Καβούρι Αυγά Freeze-dried	$6,48 \pm 0,01$	$0.33 \pm 0,01$
Αχινός	$6,40 \pm 0,01$	$0.97 \pm 0,01$
Αχινός Freeze-dried	$6,29 \pm 0,01$	$0.34 \pm 0,00$
Χαβιάρι Beluga	$7,14 \pm 0,01$	$0.98 \pm 0,06$
Χαβιάρι Beluga Freeze-dried	$7,10 \pm 0,01$	$0.27 \pm 0,01$

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2, τα νωπά αυγά του καβουριού εμφάνισαν τιμή pH $6,92 \pm 0,01$, ενώ τα αντίστοιχα λυοφιλιωμένα αυγά παρουσίασαν τιμή pH $6,48 \pm 0,01$. Επιπλέον, το pH του νωπού και λυοφιλιωμένου αχινού ήταν $6,40 \pm 0,01$ και $6,29 \pm 0,01$ αντίστοιχα, ενώ του χαβιαριού Beluga ήταν $7,14 \pm 0,01$ (νωπό) και $7,10 \pm 0,01$ (λυοφιλιωμένο). Από τα παραπάνω, λοιπόν, αποδεικνύεται ότι η λυοφιλοποίηση δεν επηρέασε σε μεγάλο βαθμό την οξύτητα ή αλκαλικότητα των δειγμάτων.

Αντιθέτως, η ενεργότητα νερού (a_w) εμφάνισε σημαντική μείωση μετά τη λυοφιλοποίηση. Για παράδειγμα, τα αυγά καβουριού παρουσίασαν a_w 0,95 πριν από τη λυοφιλοποίηση και 0,33 μετά. Αντίστοιχα, στον αχινό η ενεργότητα νερού μειώθηκε από 0,97 σε 0,34 και στο χαβιάρι Beluga από 0,98 σε 0,27. Η ραγδαία αυτή μείωση της ενεργότητας νερού μετά τη λυοφιλοποίηση ήταν αναμενόμενη, καθώς αποτελεί ένδειξη της αποτελεσματικότητας της μεθόδου στην απομάκρυνση του διαθέσιμου νερού.

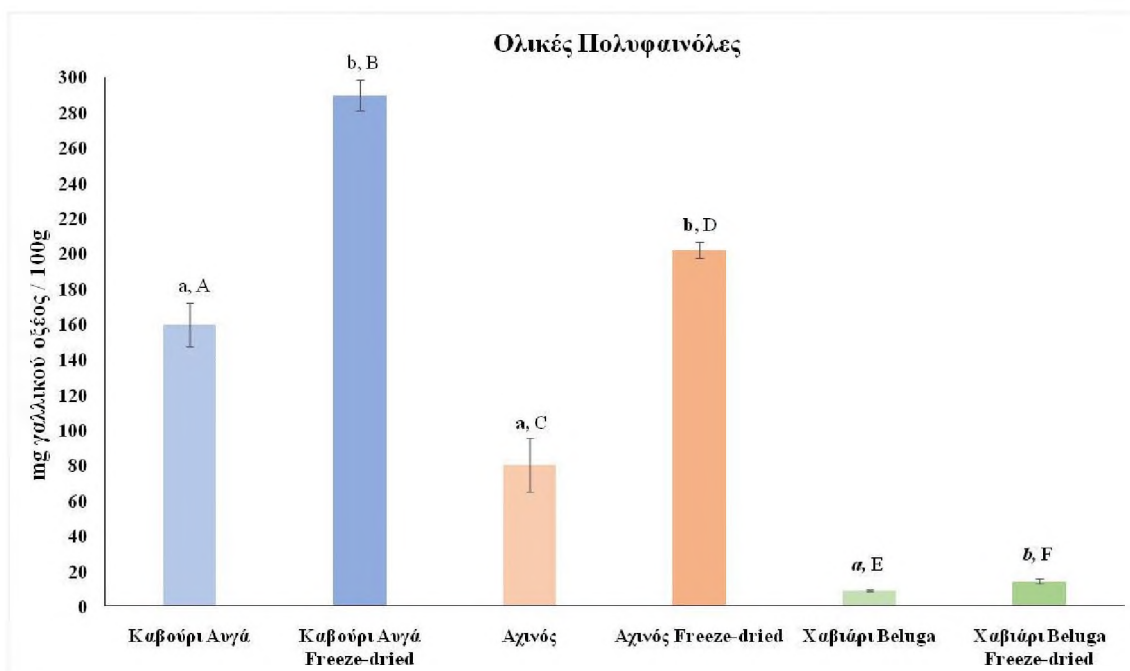
4.3 Προσδιορισμός ολικής περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες

Το **διάγραμμα 1** απεικονίζει τη συγκέντρωση των ολικών πολυφαινολών (mg ισοδύναμου γαλλικού οξέος/100 g) των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga. Διαπιστώνεται ότι σε κάθε περίπτωση η λυοφιλοποίηση αύξησε σημαντικά την περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες, πιθανώς λόγω της απομάκρυνσης του νερού και της συνακόλουθης συμπύκνωσης των στερεών συστατικών. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση ολικών πολυφαινολών στα νωπά αυγά καβουριού ήταν $159,60 \pm 12,18$ mg γαλλικού οξέος/100 g ενώ μετά τη λυοφιλοποίηση παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης περίπου κατά 81% ($289,82 \pm 8,69$ mg γαλλικού οξέος/100g). Σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας σε ολικές πολυφαινόλες υπήρξε και στην περίπτωση του αχινού όπου το νωπό προϊόν παρουσίασε $80,30 \pm 15,08$ mg γαλλικού οξέος/100g ενώ το λυοφιλιωμένο $201,70 \pm 4,48$ mg γαλλικού οξέος/100g. Τέλος, μικρή αλλά στατιστικώς σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε και στην περίπτωση του λυοφιλιωμένου χαβιαριού όπου η συγκέντρωση των πολυφαινολών ήταν $14,31 \pm 1,28$ mg γαλλικού οξέος/100g σε σύγκριση με το νωπό χαβιάρι που ήταν $8,89 \pm 0,52$ mg γαλλικού οξέος/100g.

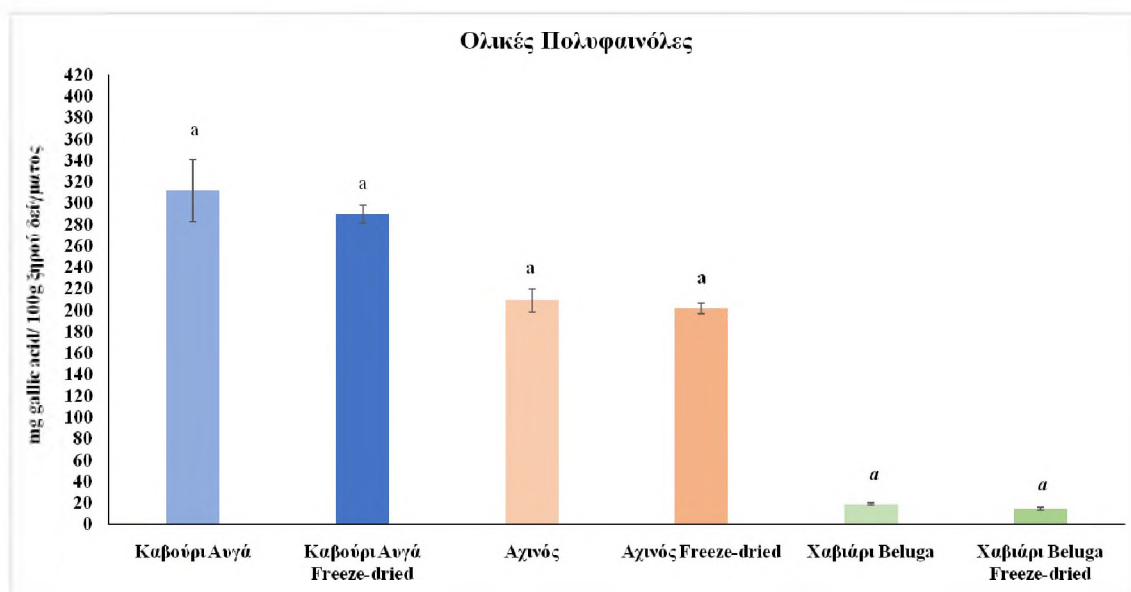
Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση ανάμεσα σε όλα τα προϊόντα γεγονός που αναδεικνύει ότι τα λυοφιλιωμένα αυγά καβουριού και ο λυοφιλιωμένος αχινός παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές σε πολυφαινόλες, ενώ το χαβιάρι Beluga - τόσο στη νωπή όσο και στη λυοφιλοποιημένη μορφή του - εμφάνισε σαφώς χαμηλότερα επίπεδα.

Υπολογίζοντας τη συγκέντρωση των ολικών πολυφαινολών στα νωπά δείγματα με βάση την υγρασία τους, εκφράζοντάς την σε ξηρό βάρος δείγματος (διάγραμμα 2), διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση των πολυφαινολών δεν διαφέρει στατιστικά πριν και μετά τη λυοφιλίωση, γεγονός που υποδηλώνει ότι η παρατηρούμενη αύξηση οφείλεται

κυρίως στην απομάκρυνση του νερού και όχι σε πραγματική ενίσχυση της περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες.



Διάγραμμα 1. Συγκέντρωση ολικών πολυφαινολών (mg γαλλικού οξέος/100g) των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga. Οι στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικές σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$).



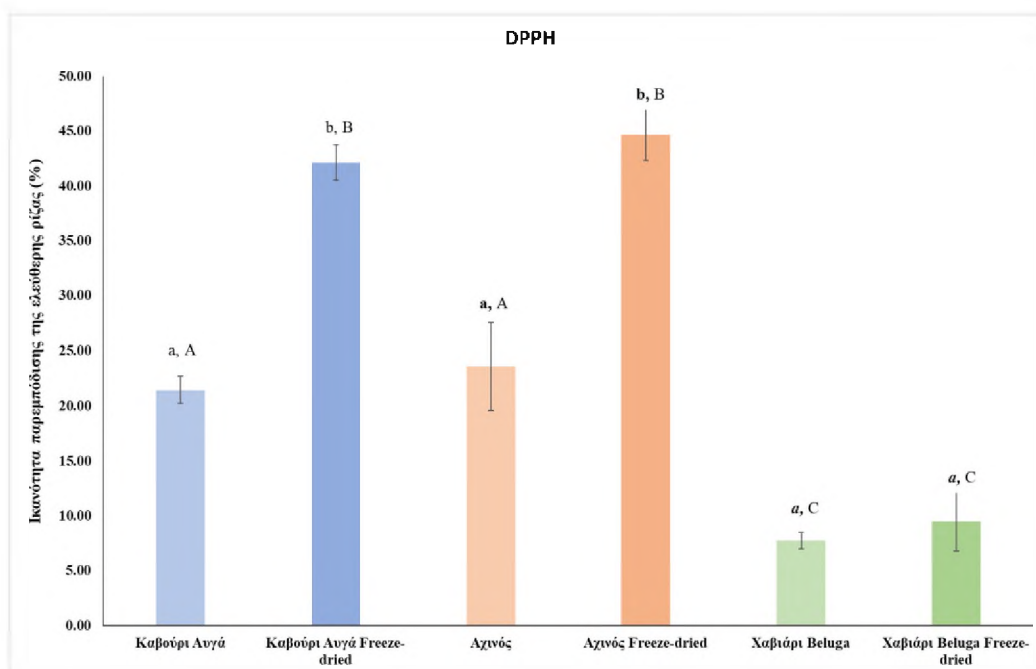
Διάγραμμα 2. Συγκέντρωση ολικών πολυφαινολών (mg γαλλικού οξέος/100g ξηρού δείγματος) των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga. Οι στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$).

Υπάρχουν πολλές μελέτες που έχουν παρατηρήσει ότι η λυοφιλίωση μπορεί να αυξήσει τη συγκέντρωση πολυφαινολών σε διάφορα τρόφιμα. Για παράδειγμα, μελέτη των (Kwok et al., 2004) έδειξε ότι η τεχνική της λυοφιλίωσης αύξησε την περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες σε φρούτα όπως τα μύρτιλα και οι φράουλες. Επιπλέον, η συγκεκριμένη τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση και ενίσχυση της συγκέντρωσης πολυφαινολών σε φυτικά εκχυλίσματα, όπως αναφέρεται από τους (Michiels et al., 2012).

4.4 Εκτίμηση αντιοξειδωτικής δράσης

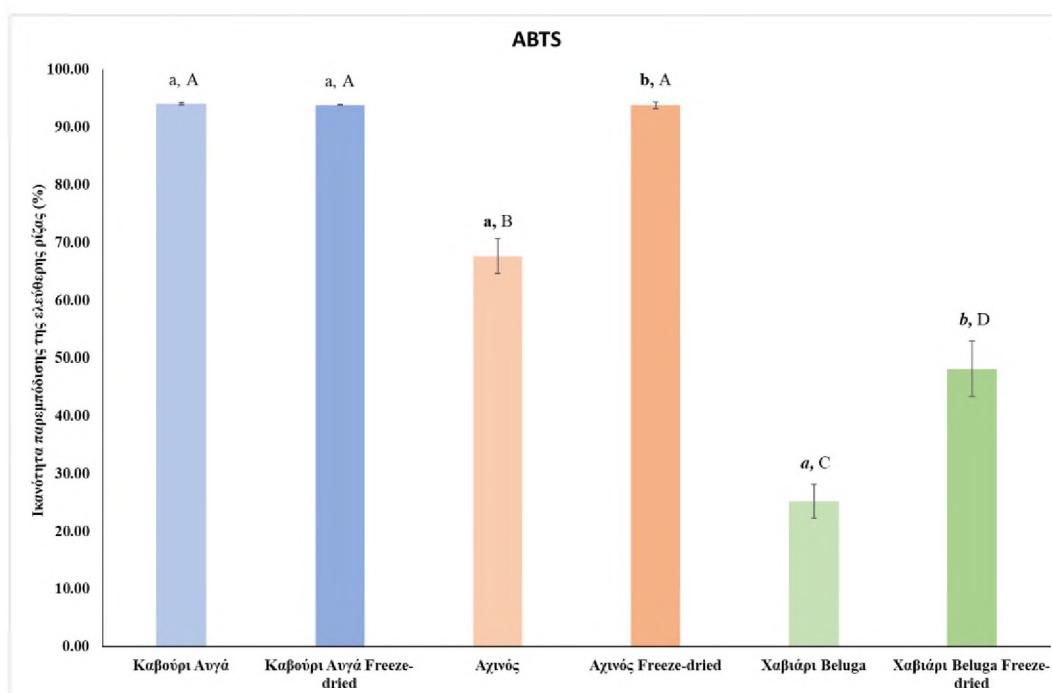
Για την εκτίμηση της αντιοξειδωτικής δράσης των εκχυλισμάτων των προϊόντων προσδιορίστηκε η ικανότητα (%) παρεμπόδισης της ελεύθερης ρίζας DPPH και ABTS καθώς και της ικανότητας αναγωγής συμπλόκων Fe^{+3} και Cu^{+2} . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα 2-5.

Στο διάγραμμα 3 απεικονίζεται η ικανότητα παρεμπόδισης της ελεύθερης ρίζας DPPH (%) των νωπών και λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga. Ενδεικτικά, τα λυοφιλωμένα αυγά καβουριού και ο λυοφιλωμένος αχινός εμφάνισαν υψηλότερα ποσοστά εξουδετέρωσης του DPPH, $42,14\% \pm 1,62$ και $44,65\% \pm 2,33$ αντίστοιχα, σε σχέση με τις αντίστοιχες νωπές μορφές τους, $21,49\% \pm 1,24$ και $23,58\% \pm 3,98$ αντίστοιχα. Αντίθετα, το Χαβιάρι Beluga παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές τόσο πριν ($7,76\% \pm 0,73$) όσο και μετά τη λυοφιλοποίηση ($9,51\% \pm 1,24$).



Διάγραμμα 3. Ικανότητα παρεμπόδισης της ελεύθερης ρίζας DPPH (%) των νωπών και λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga. Οι στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$).

Στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 4) απεικονίζεται η ικανότητα παρεμπόδισης της ελεύθερης ρίζας ABTS (%) όλων των προϊόντων πριν και μετά τη λυοφιλοποίηση. Όπως παρατηρείται, τα αυγά καβουριού A(νωπά και λυοφιλοποιημένα) εμφάνισαν ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα εξουδετέρωσης της ρίζας ABTS, ξεπερνώντας το 90%. Από την άλλη, ο αχινός, αν και παρουσίασε χαμηλότερη τιμή στο νωπό δείγμα (περίπου 70%), εμφάνισε σημαντική αύξηση μετά τη λυοφιλοποίηση, ξεπερνώντας το 90%. Αντίθετα, το χαβιάρι Beluga κατέγραψε χαμηλές τιμές σε νωπή μορφή (περίπου 30%), όμως με τη λυοφιλοποίηση βελτιώθηκε, φτάνοντας κοντά στο 50%.

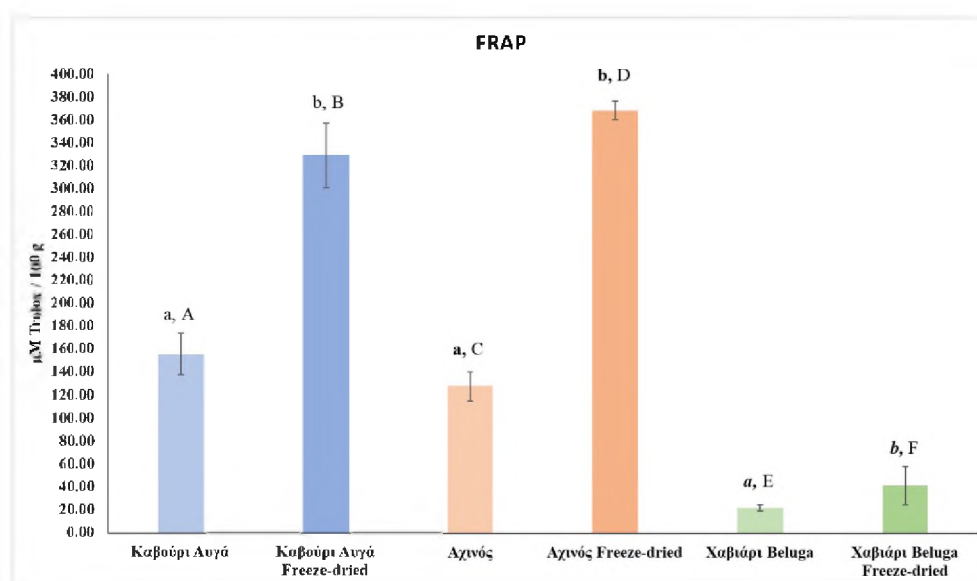


Διάγραμμα 4. Ικανότητα παρεμπόδισης της ελεύθερης ρίζας ABTS (%) των νωπών και λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga. Οι στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικές σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$).

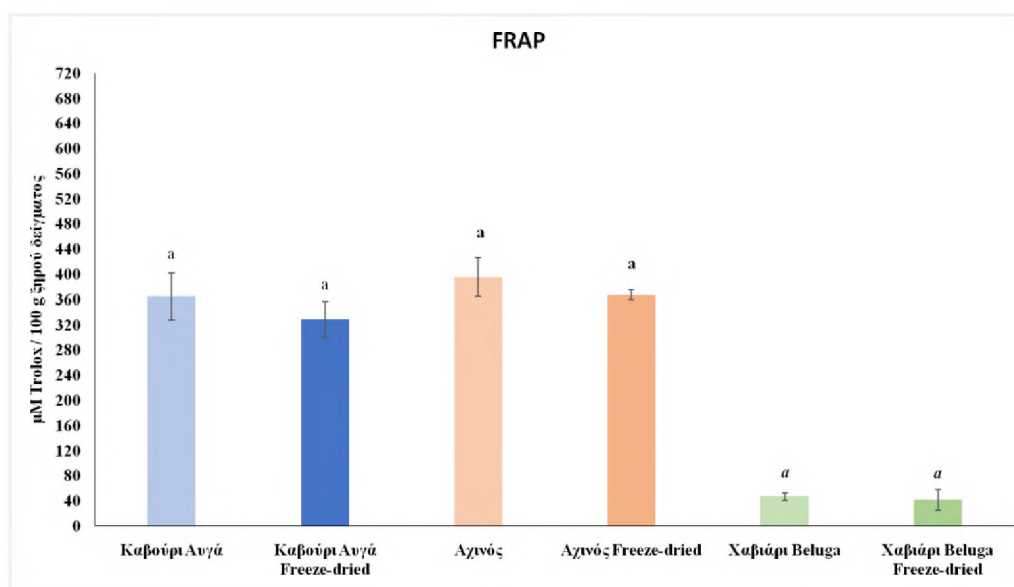
Παράλληλα η σύγκριση όλων των δειγμάτων (νωπών και λυοφιλοποιημένων) επιβεβαιώνει ότι τα αυγά καβουριού εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές ικανότητας παρεμπόδισης της ελεύθερης ρίζας ABTS, ανεξαρτήτως μορφής, με τα ποσοστά να

υπερβαίνουν το 90%. Ο αχινός, αν και παρουσίασε σαφώς χαμηλότερο ποσοστό εξουδετέρωσης στη νωπή του μορφή (περίπου 70%), μετά τη λυοφιλοποίηση προσεγγίζει επίσης ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα, συγκρίσιμα με αυτά των αυγών καβουριού. Αντίθετα, το χαβιάρι Beluga εμφάνισε τις χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα προϊόντα, καθώς στη νωπή μορφή του η εξουδετέρωση κυμάνθηκε γύρω στο 30%, ενώ μετά τη λυοφιλοποίηση παρουσίασε βελτίωση, πλησιάζοντας το 50%.

Σύμφωνα με το διάγραμμα 5, παρουσιάζονται οι τιμές της αναγωγικής ικανότητας (FRAP) για όλα τα δείγματα, τόσο πριν όσο και μετά τη λυοφιλοποίηση, εκφρασμένες ως $\mu\text{M Trolox ανά } 100\text{g}$. Παρατηρείται ότι η λυοφιλοποίηση οδήγησε σε σαφή αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας σε όλα τα προϊόντα, με τα λυοφιλοποιημένα αυγά καβουριού ($328,78 \pm 28,16 \mu\text{M Trolox}/100\text{g}$) και τον λυοφιλοποιημένο αχινό ($367,39 \pm 7,99 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$) να καταγράφουν τις υψηλότερες τιμές, ξεπερνώντας σημαντικά τις αντίστοιχες νωπές τους μορφές. Ενδεικτικά, ο αχινός παρουσίασε σχετικά χαμηλή ικανότητα αναγωγής στην αρχική του κατάσταση ($128,18 \pm 12,33 \mu\text{M Trolox}/100\text{g}$), ωστόσο μετά τη λυοφιλοποίηση προσεγγίζει ή και υπερβαίνει τα επίπεδα των αυγών καβουριού. Αντίθετα, το χαβιάρι Beluga κατέγραψε τις χαμηλότερες τιμές και στις δύο μορφές του, παρότι η διαδικασία λυοφιλίωσης συνέβαλε σε κάποια βελτίωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας συγκριτικά με τη νωπή μορφή.



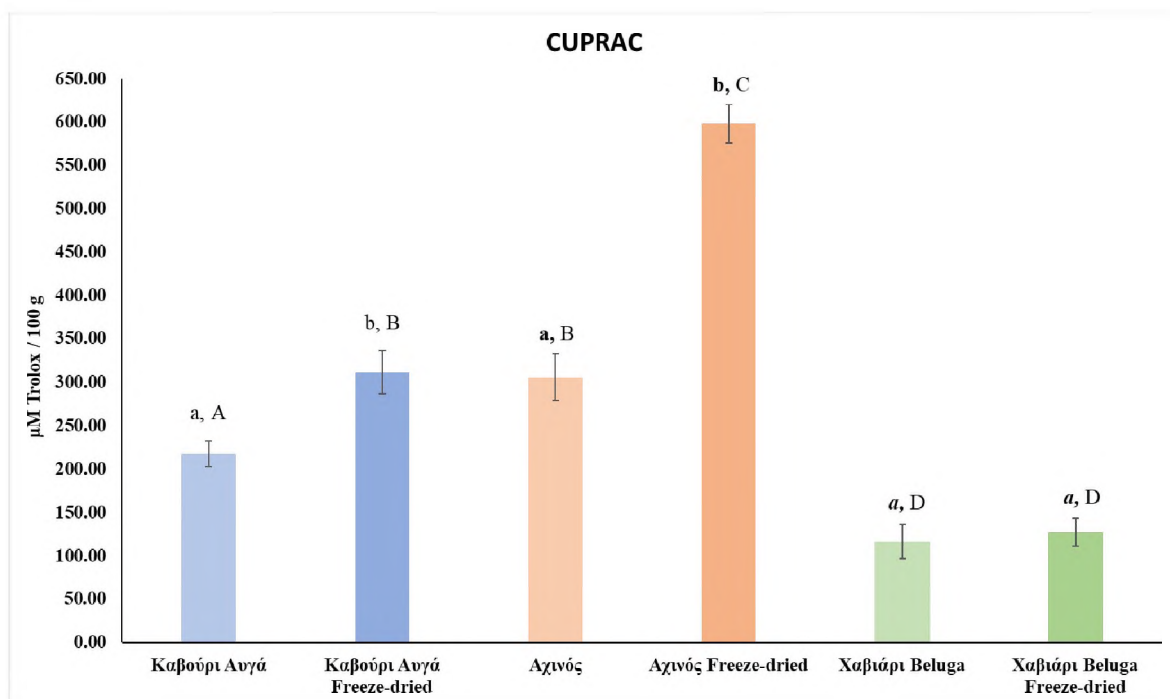
Διάγραμμα 5. Ικανότητα αναγωγής του συμπλόκου Fe^{+3} -TPTZ εκφρασμένη σε μM ισοδύναμου TROLOX/100g δείγματος των νωπών και λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga με τη δοκιμή FRAP. Οι στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$).



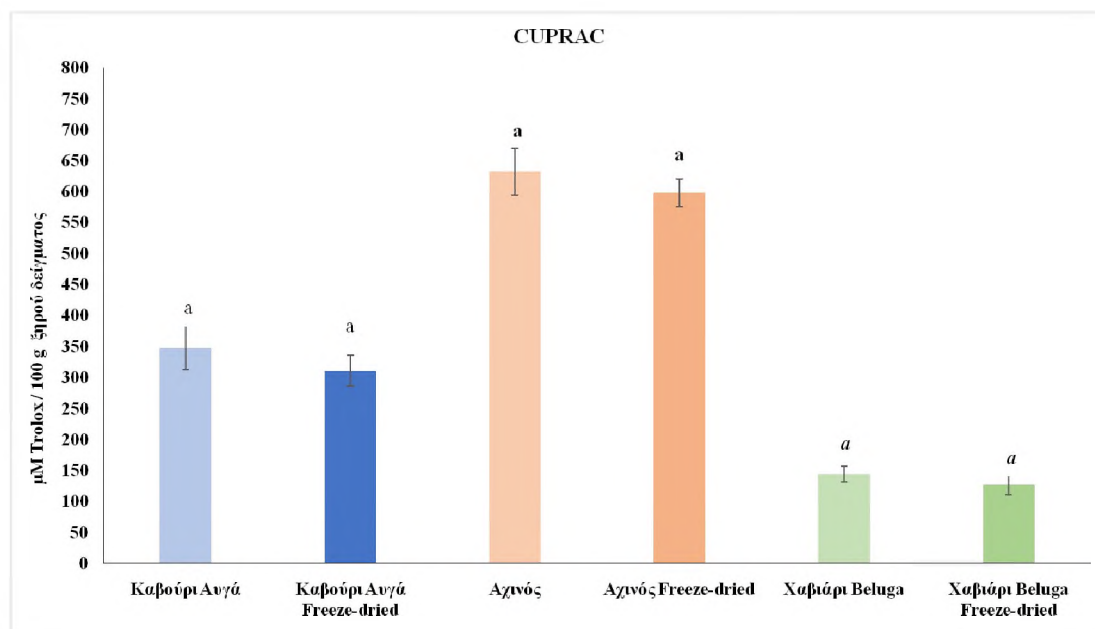
Διάγραμμα 6. Ικανότητα αναγωγής του συμπλόκου Fe^{+3} -TPTZ εκφρασμένη σε μM ισοδύναμου TROLOX/100g ξηρού δείγματος των νωπών και λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga με τη δοκιμή FRAP. Οι στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$).

Η εκτίμηση της αντιοξειδωτικής δράση με τη δοκιμή CUPRAC παρουσιάζεται τόσο για τα νωπά όσο και για τα λυοφιλοποιημένα δείγματα σε μM ισοδύναμου Trolox ανά 100 g (διάγραμμα 7). Αρχικά, φαίνεται ότι η λυοφιλοποίηση οδήγησε σε σημαντική αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας σε όλα τα είδη. Τα αυγά καβουριού, για παράδειγμα, παρουσίασε μεταβολή από $217,65 \pm 14,94 \mu\text{M Trolox}/100\text{g}$ στη νωπή μορφή σε πάνω από $300 \mu\text{M Trolox}/100\text{g}$ μετά τη λυοφιλοποίηση (δηλαδή αύξηση άνω του 50%). Από την άλλη, ο αχινός εμφάνισε ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση, ξεκινώντας από $305,88 \pm 26,67 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$ στη νωπή μορφή και αγγίζοντας τα $597,88 \pm 22,47 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g}$ στη λυοφιλοποιημένη, γεγονός που υποδηλώνει αύξηση της τάξης του 95%. Αντιθέτως, το Χαβιάρι Beluga διατηρεί τις χαμηλότερες τιμές, αν και η λυοφιλοποίηση οδήγησε σε αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας κατά 40–50% σε σχέση με τη νωπή μορφή του. Συνολικά, η σύγκριση ανάμεσα σε όλα τα δείγματα υποδηλώνει ότι ο αχινός και τα αυγά καβουριού εμφάνισαν υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση έναντι του συμπλόκου Cu(II) –νεοκουπροΐνης, ενώ το χαβιάρι Beluga παρέμεινε σε χαμηλότερο επίπεδο, παρά τη βελτίωση που παρατηρήθηκε μετά την απομάκρυνση του νερού.

Λαμβάνοντας υπόψη την υγρασία των νωπών δειγμάτων, η αντιοξειδωτική ικανότητα, σύμφωνα με τις δοκιμές FRAP και CUPRAC, εκφρασμένη ανά 100 g ξηρού δείγματος (διαγράμματα 6 και 8), παραμένει σταθερή πριν και μετά τη λυοφιλοποίηση. Αυτό υποδηλώνει ότι η φαινομενική αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας οφείλεται κυρίως στη συμπύκνωση των στερεών συστατικών λόγω της απομάκρυνσης του νερού και όχι σε πραγματική ενίσχυση της αντιοξειδωτικής δράσης των δειγμάτων.



Διάγραμμα 7. Ικανότητα αναγωγής του συμπλόκου Cu(II)–νεοκουπροΐνης εκφρασμένη σε μM ισοδύναμου TROLOX/100g δείγματος των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga με τη δοκιμή FRAP. Οι στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$).



Διάγραμμα 7. Ικανότητα αναγωγής του συμπλόκου Cu(II)–νεοκουπροΐνης εκφρασμένη σε μM ισοδύναμου TROLOX/100g ξηρού δείγματος των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών

καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga με τη δοκιμή FRAP. Οι στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$).

Συνολικά, οι τέσσερις διαφορετικές δοκιμές εκτίμησης της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας (DPPH, ABTS, FRAP και CUPRAC) παρέχουν μια ολοκληρωμένη εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των εξεταζόμενων προϊόντων, καλύπτοντας τόσο τη δυνατότητα εξουδετέρωσης ελεύθερων ριζών (DPPH, ABTS) όσο και τη συνολική αναγωγική ικανότητα ιόντων μετάλλων (FRAP, CUPRAC). Σε όλες τις περιπτώσεις, η λυοφιλίωση οδήγησε σε σημαντική αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης, γεγονός που συνδέεται άμεσα με τη συμπύκνωση των βιοδραστικών συστατικών μετά την απομάκρυνση του νερού. Τα αυγά καβουριού και ο αχινός εμφάνισαν διαχρονικά την υψηλότερη αντιοξειδωτική απόδοση, ενώ το χαβιάρι Beluga, παρά τις χαμηλότερες τιμές του στις νωπές μορφές, ωφελήθηκε επίσης από τη λυοφιλίωση με μία αξιοσημείωτη —έστω και μικρότερη— βελτίωση. Συνεπώς, τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν ότι η λυοφιλίωση μπορεί να λειτουργήσει ως αποτελεσματική τεχνική ενίσχυσης της αντιοξειδωτικής δράσης στα προϊόντα αυτά.

Η σύγκριση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη συγκέντρωση των ολικών πολυφαινολών καταδεικνύει ότι τα δείγματα με τις υψηλότερες τιμές πολυφαινολών, όπως τα λυοφιλωμένα αυγά καβουριού και ο λυοφιλωμένος αχινός, παρουσίασαν παράλληλα ενισχυμένη ικανότητα εξουδετέρωσης ελεύθερων ριζών και υψηλότερη αναγωγική ικανότητα (Fe^{3+} και Cu^{2+}). Από την άλλη, το χαβιάρι Beluga, παρότι εμφανίζει στατιστικά σημαντική αύξηση των πολυφαινολών μετά τη λυοφιλίωση, διατηρεί συγκριτικά χαμηλότερες τιμές αντιοξειδωτικής ικανότητας. Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι η λυοφιλίωση, μέσω της απομάκρυνσης του νερού και της συνακόλουθης συμπύκνωσης των βιοδραστικών συστατικών, βελτιώνει τόσο τις τιμές

πολυφαινολών όσο και τις αντίστοιχες αντιοξειδωτικές παραμέτρους (Garcia-Salas et al., 2010; González et al., 2023). Ωστόσο, η περαιτέρω σύγκριση μεταξύ όλων των δειγμάτων αποκαλύπτει ότι, παρόλο που ο λυοφιλωμένος αχινός εμφάνισε ελαφρώς χαμηλότερη συγκέντρωση πολυφαινολών από τα λυοφιλωμένα αυγά καβουριού, παρουσίασε υψηλότερη αντιοξειδωτική δραστηριότητα στις δοκιμές DPPH και ABTS, καθώς και στις δοκιμές FRAP και CUPRAC. Αυτό πιθανώς να οφείλεται σε περαιτέρω βιοδραστικές ενώσεις, εκτός από τις πολυφαινόλες, ή σε διαφορετική σύσταση πολυφαινολικών ενώσεων που ενισχύονται με τη λυοφιλίωση (Kittibunchakul et al., 2023; Shahidi & Wanasundara, 1992). Από την άλλη πλευρά, το χαβιάρι Beluga, παρά τη βελτίωση που επιτυγχάνεται μετά τη λυοφιλίωση, εξακολουθεί να εμφανίζει αισθητά χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης πολυφαινολών και αντιοξειδωτικής ικανότητας σε σύγκριση με τον αχινό και τα αυγά καβουριού. Συνολικά, τα δεδομένα αυτά επιβεβαιώνουν τη σημασία της λυοφιλίωσης στην ενίσχυση των βιοδραστικών ιδιοτήτων - ιδίως στα αυγά καβουριού και στον αχινό - αναδεικνύοντας παράλληλα την πολυπλοκότητα των μηχανισμών που ρυθμίζουν την αντιοξειδωτική δράση, πέρα από την απλή ποσοτικοποίηση των ολικών πολυφαινολών.

4.5 Ποσοτικοποίηση ολικών καροτενοειδών

Σύμφωνα με τον πίνακα 2, που αφορά τη συγκέντρωση των ολικών καροτενοειδών στα διάφορα δείγματα (νωπά και λυοφιλοποιημένα), παρατηρείται ότι σε όλα τα προϊόντα η λυοφιλίωση οδήγησε σε σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση καροτενοειδών σε σύγκριση με τη νωπή μορφή τους, γεγονός που αποδίδεται στη συμπύκνωση των συστατικών μετά την απομάκρυνση του νερού. Ενδεικτικά, ο αχινός εμφανίστηκε στατιστικά υψηλότερες τιμές ολικών καροτενοειδών, τόσο στη νωπή ($50,23 \pm 0,23$ mg/kg) όσο και στη λυοφιλοποιημένη του μορφή ($121,29 \pm 0,13$ mg/kg). Η

λυοφιλίωση αυγών καβουριού επίσης αύξησε περίπου κατά 51% την περιεκτικότητα σε καροτενοειδή, από $33,56 \pm 0,13$ mg/kg σε $68,48 \pm 0,13$ mg/kg. Αντίθετα, το χαβιάρι Beluga παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα προϊόντα, με τη διαδικασία λυοφιλίωσης να βελτιώνει μεν τη συγκέντρωση των καροτενοειδών, χωρίς ωστόσο να επιτυγχάνει τα επίπεδα των άλλων δειγμάτων.

Λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε υγρασία των νωπών δειγμάτων, η συνολική συγκέντρωση καροτενοειδών ανά 100 g ξηρού δείγματος (πίνακας 2) παραμένει αμετάβλητη πριν και μετά τη λυοφιλίωση. Αυτό δείχνει ότι η φαινομενική αύξηση της συγκέντρωσης καροτενοειδών οφείλεται κυρίως στη μείωση της υγρασίας, η οποία οδηγεί σε συμπύκνωση των στερεών συστατικών, και όχι σε πραγματική αύξηση της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε καροτενοειδή.

Πίνακας 2. Συγκέντρωση ολικών καροτενοειδών των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga

Δείγματα	Ολικά Καροτενοειδή (mg/Kg δείγματος)	Ολικά Καροτενοειδή (mg/Kg ξηρού δείγματος)
Καβούρι Αυγά	$33,56 \pm 0,13^{a,A}$	$74,13 \pm 0,23^{a,A}$
Καβούρι Αυγά Freeze-dried	$68,48 \pm 0,13^{b,B}$	$68,48 \pm 0,26^{b,B}$
Αχινός	$50,23 \pm 0,23^{a,C}$	$148,36 \pm 0,13^{a,C}$
Αχινός Freeze-dried	$121,29 \pm 0,13^{b,D}$	$121,29 \pm 0,13^{b,D}$
Χαβιάρι Beluga	$3,03 \pm 0,26^{a,E}$	$6,02 \pm 0,13^{a,E}$
Χαβιάρι Beluga Freeze-dried	$5,38 \pm 0,13^{b,F}$	$5,38 \pm 0,23^{b,F}$

Η σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών καροτενοειδών μετά τη λυοφιλίωση σε όλα τα δοκιμασμένα προϊόντα θαλάσσιας προέλευσης συμφωνεί με ευρήματα της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Η λυοφιλίωση, μία διαδικασία που απομακρύνει το νερό διατηρώντας τη δομική ακεραιότητα των βιομορίων, επιτυγχάνει τη συγκέντρωση βιοδραστικών ενώσεων, όπως τα καροτενοειδή. Ο Λίκαι οι συνεργάτες

του (2024) έδειξαν ότι η λυοφιλίωση μπορεί να ενισχύσει την περιεκτικότητα καροτενοειδών σε διάφορα τρόφιμα, περιλαμβανομένων των θαλάσσιων προϊόντων, μέσω της απομάκρυνσης του νερού και της αύξησης της σχετικής συγκέντρωσης αυτών των ενώσεων.

Τα δείγματα αχινών στην παρούσα μελέτη εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές ολικών καροτενοειδών τόσο στη νωπή όσο και στη λυοφιλοποιημένη μορφή τους, εύρημα που συνάδει με τη μελέτη των (Nekvapil et al., 2019), οι οποίοι τόνισαν ότι οι αχινοί αποτελούν πλούσιες πηγές καροτενοειδών, όπως η ασταξανθίνη, υπεύθυνη για τα χαρακτηριστικά ζωηρά τους χρώματα. Επιπλέον, η λυοφιλίωση δεν αύξησε μόνο τη συγκέντρωση, αλλά συνέβαλε και στη σταθεροποίηση των καροτενοειδών, καθιστώντας τα προϊόντα αχινών πιο ελκυστικά για εμπορική χρήση.

Παρομοίως, τα αυγά καβουριού παρουσίασαν σημαντική αύξηση στη συγκέντρωση καροτενοειδών μετά τη λυοφιλίωση, αύξηση που ανέρχεται σε 51%. Οι Sharma et al. (2020) σημείωσαν παρόμοια αύξηση στα επίπεδα καροτενοειδών μετά από λυοφιλίωση σε άλλα τρόφιμα, επισημαίνοντας τις δυνατότητες της διαδικασίας για τη διατήρηση και ενίσχυση της θρεπτικής αξίας των προϊόντων.

Αντίθετα, το χαβιάρι Beluga εμφάνισε τις χαμηλότερες τιμές καροτενοειδών μεταξύ των αναλυθέντων δειγμάτων. Αυτό συμφωνεί με τα ευρήματα των Zadorozhny et al. (2008), οι οποίοι απέδωσαν τη διακύμανση των επιπέδων καροτενοειδών σε διαφοροποιήσεις ανά είδος, λόγω των διατροφικών συνηθειών, των μεταβολικών οδών και της βιοσυνθετικής ικανότητας. Οι διαφοροποιήσεις αυτές τονίζουν την επίδραση βιολογικών και οικολογικών παραγόντων στη συσσώρευση καροτενοειδών, όπως αναφέρουν επίσης οι Caramujo και Vieira (2017).

Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν τη σημασία της λυοφιλοποίησης ως μέσου ενίσχυσης και σταθεροποίησης των καροτενοειδών, ενώ παράλληλα αναδεικνύουν τη φυσική ποικιλία στη συγκέντρωση αυτών των συστατικών ανά είδος. Η ποικιλομορφία αυτή καθιστά αναγκαία την περαιτέρω έρευνα, τόσο για τη βελτιστοποίηση των συνθηκών λυοφιλοποίησης σε διαφορετικά θαλάσσια είδη, όσο και για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ βιοδιαθεσιμότητας των καροτενοειδών και των δομικών μεταβολών που επέρχονται κατά τις μεθόδους επεξεργασίας. Η κατανόηση αυτών των παραμέτρων μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη μεγιστοποίηση της διατροφικής και εμπορικής αξίας των προϊόντων θαλάσσιας προέλευσης.

4.6 Σύνθεση Λιπαρών Οξέων (FAMES)

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει το προφίλ λιπαρών οξέων (FAMES) (%) των νωπών και λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga. Η σύνθεση των λιπαρών οξέων αναλύθηκε για την αξιολόγηση της κατανομής των κορεσμένων λιπαρών οξέων (SFAs), των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (MUFAs), των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFAs) και των αντίστοιχων δεικτών τους.

Πίνακας 3. Σύνθεση Λιπαρών Οξέων (FAMES) (%) των νωπών και λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga

Λιπαρό Οξύ (%)	Καβούρι Αυγά	Καβούρι Αυγά Freeze-dried	Αχινός	Αχινός Freeze-dried	Χαβιάρι Beluga	Χαβιάρι Beluga Freeze-dried
C10:0	0.37 ± 0.04 ^a	0.08 ± 0.04 ^b	1.24 ± 0.07 ^a	0.38 ± 0.04 ^b	0.24 ± 0.06 ^a	0.17 ± 0.00 ^b
C12:0	0.25 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.01 ^b	ND	0.29 ± 0.12	ND	ND
C14:0	4.16 ± 0.17 ^a	4.02 ± 0.24 ^a	7.33 ± 0.51 ^a	5.87 ± 0.22 ^b	0.8 ± 0.03 ^a	0.78 ± 0.03 ^a
C14:1	0.48 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.04 ^b	0.91 ± 0.09 ^a	0.59 ± 0.12 ^b	0.09 ± 0.01	ND
C15:0	0.76 ± 0.01 ^a	0.87 ± 0.02 ^b	1.49 ± 0.01 ^a	1.05 ± 0.05 ^b	0.2 ± 0.04 ^a	0.2 ± 0.01 ^a
C15:1	0.2 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.07 ^b	ND	ND	ND	ND
C16:0	21.32 ± 0.22 ^a	23.5 ± 1.45 ^b	20.16 ± 0.43 ^a	23.72 ± 0.32 ^b	19.39 ± 1.19 ^a	20.27 ± 0.19 ^a
C16:1	23.82 ± 0.08 ^a	20.95 ± 0.81 ^b	7.96 ± 0.39 ^a	14.42 ± 0.66 ^b	4.15 ± 0.18 ^a	4.00 ± 0.13 ^a
C17:0	2.5 ± 0.1 ^a	2.21 ± 1.03 ^a	1.83 ± 0.94 ^a	2.61 ± 0.11 ^a	0.35 ± 0.05 ^a	0.32 ± 0.04 ^a
C17:1	1.44 ± 0.14 ^a	1.3 ± 0.12 ^a	1.62 ± 0.3 ^a	1.00 ± 0.14 ^b	0.39 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.01 ^b
C18:0	4.85 ± 0.1 ^a	5.86 ± 0.07 ^b	3.51 ± 0.14 ^a	5.04 ± 0.09 ^b	2.12 ± 0.1 ^a	2.44 ± 0.11 ^b
C18:1n9t	1.36 ± 0.06 ^a	1.39 ± 0.08 ^a	1.59 ± 0.35 ^a	1.4 ± 0.16 ^a	0.26 ± 0.06 ^a	0.28 ± 0.04 ^a
C18:1n9c	11.09 ± 0.07 ^a	12.25 ± 0.55 ^b	2.64 ± 0.63 ^a	7.93 ± 0.1 ^b	40.96 ± 1.49 ^a	43.1 ± 0.28 ^b
C18:2n6t	0.41 ± 0.02 ^a	0.36 ± 0.27 ^a	0.87 ± 0.33 ^a	0.48 ± 0.04 ^a	ND	ND
C18:2n6c	2.36 ± 0.08 ^a	2.08 ± 0.24 ^a	3.36 ± 0.4 ^a	2.61 ± 0.02 ^b	10.92 ± 0.32 ^a	10.74 ± 0.34 ^a
C20:0	0.47 ± 0.07 ^a	0.38 ± 0.21 ^a	0.47 ± 0.17 ^a	0.54 ± 0.09 ^a	ND	0.38 ± 0.02
C18:3n6	0.31 ± 0.01 ^a	0.29 ± 0.1 ^a	1.57 ± 0.18 ^a	0.9 ± 0.14 ^b	2.19 ± 0.25 ^a	1.75 ± 0.06 ^b
C20:1n9	0.73 ± 0.02 ^a	4.05 ± 0.01 ^b	3.67 ± 0.04 ^a	3.65 ± 0.01 ^a	1.01 ± 0.14 ^a	1.12 ± 0.05 ^a
C18:3n3	1.77 ± 0.09 ^a	1.71 ± 0.06 ^a	2.26 ± 0.13 ^a	2.18 ± 0.36 ^a	1.87 ± 0.2 ^a	1.59 ± 0.07 ^b
C21:0	ND	ND	ND	0.86 ± 0.81	ND	ND
C20:2	0.43 ± 0.00 ^a	0.66 ± 0.09 ^b	3.1 ± 0.29 ^a	1.62 ± 0.08 ^b	0.63 ± 0.22 ^a	0.59 ± 0.03 ^a
C22:0	0.23 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.11 ^a	0.73 ± 0.14 ^a	0.19 ± 0.07 ^b	0.45 ± 0.25 ^a	0.31 ± 0.05 ^a
C20:3n6	0.21 ± 0.02 ^a	0.35 ± 0.17 ^a	0.69 ± 0.05 ^a	0.35 ± 0.00 ^b	0.67 ± 0.17 ^a	0.5 ± 0.01 ^a
C22:1n9	ND	0.29 ± 0.05	1.11 ± 0.12 ^a	0.57 ± 0.00 ^b	0.28 ± 0.16 ^a	0.16 ± 0.03 ^a
C20:3n3	0.54 ± 0.02 ^a	1.79 ± 0.15 ^b	1.06 ± 0.28 ^a	0.74 ± 0.15 ^a	0.35 ± 0.25 ^a	0.18 ± 0.00 ^a
C20:4n6	2.94 ± 0.12 ^a	2.5 ± 0.07 ^b	4.86 ± 0.00 ^a	0.44 ± 0.44 ^b	2.63 ± 0.18 ^a	2.24 ± 0.08 ^b
C22:2	0.43 ± 0.02 ^a	0.49 ± 0.19 ^a	0.96 ± 0.28 ^a	0.10 ± 0.10 ^a	0.54 ± 0.28 ^a	0.32 ± 0.01 ^a
C20:5n3	8.77 ± 0.07 ^a	6.06 ± 0.04 ^b	12.9 ± 0.19 ^a	0.11 ± 0.11 ^a	1.97 ± 0.3 ^a	1.61 ± 0.01 ^a
C24:1n9	0.41 ± 0.03 ^a	0.4 ± 0.18 ^a	ND	0.03 ± 0.03	ND	ND
C22:6n3	7.41 ± 0.36 ^a	5.02 ± 0.11 ^b	12.12 ± 0.38 ^a	0.12 ± 0.02 ^a	7.54 ± 0.63 ^a	6.62 ± 0.09 ^a
ω-3	18.48	14.57	28.34	3.16	11.72	10.01
ω-6	7.07	6.73	15.43	6.50	17.58	16.13
ω-9	36.67	35.27	13.30	24.36	45.65	47.54
ω-6/ω-3	0.38	0.46	0.54	2.06	1.50	1.61
MCFA¹	5.55	5.13	10.05	7.60	1.23	1.15
MUFA²	39.52	41.28	19.49	29.60	47.15	48.99
PUFA³	25.55	21.31	43.76	9.66	29.31	26.13
DFA⁴	69.92	68.44	66.76	44.30	78.57	77.57
AI⁵	0.59	0.63	0.78	1.21	0.30	0.31
TI⁶	0.37	0.48	0.30	1.24	0.33	0.37

¹MCFA = Medium Chain Fatty Acids

²MUFA = Mono Unasaturated Fatty Acids

³PUFA = Poly Unasaturated Fatty Acids

⁴DFA = Desirable Fatty Acids

⁵AI = Atherogenic Index

⁶TI = Thrombogenic Index

Μεταξύ των κορεσμένων λιπαρών οξέων (SFAs), το παλμιτικό οξύ (C16:0) ήταν το κυρίαρχο λιπαρό οξύ σε όλα τα δείγματα. Για παράδειγμα, στα νωπά αυγά καβουριού, το C16:0 αντιστοιχούσε στο $21.32\% \pm 0.22$, ενώ στα λυοφιλωμένα αυγά αυξήθηκε στο $23.5\% \pm 1.45$. Παρομοίως, ο λυοφιλωμένος αχινός παρουσίασε ελαφρώς υψηλότερη αναλογία C16:0 ($23.72\% \pm 0.32$) σε σύγκριση με τον φρέσκο αχινό ($20.16\% \pm 0.43$). Παρόμοια τάση παρατηρήθηκε στα δείγματα του χαβιαριού Beluga, όπου η λυοφιλωμένη μορφή έδειξε ελαφρά αύξηση ($20.27\% \pm 0.19$) σε σχέση με την ωπή ($19.39\% \pm 1.19$). Το μυριστικό οξύ (C14:0) και το στεατικό οξύ (C18:0) συνέβαλαν επίσης σημαντικά στο προφίλ των SFAs, αν και σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις από το C16:0.

Το πιο άφθονο MUFA ήταν το ελαϊκό οξύ (C18:1n7), το οποίο εμφάνισε διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων. Για παράδειγμα, στα αυγά καβουριού, τα φρέσκα δείγματα περιείχαν $23.82\% \pm 0.08$ ελαϊκό οξύ, ενώ τα λυοφιλοποιημένα δείγματα είχαν ελαφρώς χαμηλότερο ποσοστό ($20.95\% \pm 0.81$). Τα αυγά αχινού ακολούθησαν παρόμοιο πρότυπο, με υψηλότερες συγκεντρώσεις ελαϊκού οξέος στα φρέσκα δείγματα ($24.34\% \pm 0.66$) σε σύγκριση με τα λυοφιλοποιημένα ($21.42\% \pm 0.56$). Ωστόσο, τα δείγματα χαβιαριού Beluga παρουσίασαν διαφορετική τάση, με τα λυοφιλοποιημένο δείγμα ($29.31\% \pm 2.86$) να περιέχουν σημαντικά υψηλότερη αναλογία ελαϊκού οξέος σε σχέση με τα φρέσκα δείγματα ($24.3\% \pm 1.55$).

Τα PUFAs εκπροσωπήθηκαν κυρίως από το cis-5,8,11,14,17-εικοσιπεντανοϊκό οξύ (EPA, C20:5n3) και το δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA, C22:6n3), που είναι απαραίτητα λιπαρά οξέα της σειράς ω-3. Τα λυοφιλοποιημένα αυγά καβουριού περιείχαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε EPA ($2.06\% \pm 0.36$) σε σύγκριση με τα φρέσκα δείγματα ($1.77\% \pm 0.09$), ενώ τα επίπεδα DHA παρουσίασαν μικρή μείωση στα

λαιοφιλοποιημένα αυγά καβουριού ($5.02\% \pm 0.11$) σε σχέση με τα φρέσκα δείγματα ($7.41\% \pm 0.36$). Στα αυγά αχινού, οι συγκεντρώσεις τόσο του EPA όσο και του DHA ήταν υψηλότερες στα φρέσκα δείγματα ($2.26\% \pm 0.18$ και $12.12\% \pm 0.38$ αντίστοιχα) από ό,τι στα λαιοφιλωμένα. Παρομοίως, το λαιοφιλωμένο χαβιάρι Beluga εμφάνισε ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα DHA ($6.62\% \pm 0.09$) από το νωπό ($7.54\% \pm 0.63$).

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει επίσης βασικούς δείκτες, όπως το σύνολο των ω -3, ω -6 λιπαρών οξέων καθώς και την αναλογία ω -6/ ω -3. Αναλυτικότερα, τα φρέσκα αυγά καβουριού εμφάνισαν υψηλή περιεκτικότητα σε ω -3 (18.48%), ενώ στα λαιοφιλοποιημένα αυγά καβουριού η περιεκτικότητα σε ω -3 ήταν ελαφρώς χαμηλότερη (14.57%). Η αναλογία ω -6/ ω -3 ήταν σημαντικά υψηλότερη στα δείγματα χαβιαριού Beluga, με τη λαιοφιλωμένη μορφή να φτάνει την τιμή 4.54 σε σύγκριση με 3.02 στα φρέσκα δείγματα, υποδεικνύοντας μετατόπιση προς υψηλότερη αναλογία ω -6 λιπαρών οξέων μετά τη λαιοφιλίωση.

Ο δείκτης επιθυμητών λιπαρών οξέων (DFA) ήταν υψηλότερος στα δείγματα χαβιαριού Beluga, με τη νωπή και λαιοφιλωμένη μορφή να εμφανίζουν ποσοστό $80.87\% \pm 4.30$ και $77.57\% \pm 0.77$, αντίστοιχα. Ο αθηρωματικός δείκτης (AI) και ο δείκτης θρομβοφιλίας (TI) ήταν γενικά χαμηλοί σε όλα τα δείγματα, αντικατοπτρίζοντας ένα ευνοϊκό λιπιδαιμικό προφίλ. Για παράδειγμα, οι τιμές του AI κυμάνθηκαν από 0.63 στα φρέσκα αυγά καβουριού έως 0.30 στα λαιοφιλοποιημένο χαβιάρι Beluga, ενώ οι τιμές του TI κυμάνθηκαν από 0.30 έως 0.37 σε όλα τα δείγματα.

Η σύνθεση των λιπαρών οξέων των αναλυθέντων δειγμάτων υποδεικνύει διαφοροποιήσεις στο περιεχόμενο των SFAs, MUFAs και PUFAs ανάλογα με τον τύπο αυγού και τη μέθοδο επεξεργασίας. Η λαιοφιλοποίηση γενικά διατήρησε το συνολικό προφίλ λιπαρών οξέων, αν και παρατηρήθηκαν μικρές μειώσεις στις συγκεντρώσεις

PUFA. Τα δεδομένα δείχνουν ότι τα αυγά αυτά αποτελούν πολύτιμη πηγή απαραίτητων λιπαρών οξέων, ιδιαίτερα των ω -3, και παρουσιάζουν ευνοϊκούς λιπιδικούς δείκτες, καθιστώντας τα κατάλληλα για κατανάλωση και πιθανά οφέλη για την υγεία.

Ο αχινός, το καβούρι και το χαβιάρι Beluga παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στο προφίλ λιπαρών οξέων τους, αναδεικνύοντας τη μοναδικότητα του κάθε είδους ως πηγή θρεπτικών συστατικών. Ο αχινός ξεχώρισε για την υψηλή περιεκτικότητά του σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA), με κυρίαρχο το DHA (C22:6n3), το οποίο έφτασε το $12.12\% \pm 0.38$ στα φρέσκα δείγματα, ενώ παράλληλα διέθετε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα ω -3 λιπαρών οξέων (28.34%) σε σύγκριση με το καβούρι (18.48%). Αντίθετα, το καβούρι υπερέχει σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA), κυρίως λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε ελαϊκό οξύ (C18:1n9, $23.82\% \pm 0.08$).

Συγκριτικά, το χαβιάρι Beluga παρουσίασε το υψηλότερο ποσοστό MUFA, με το ελαϊκό οξύ να φτάνει το $24.3 \pm 1.55\%$. Παράλληλα, το ω -6/ ω -3 δείχνει δυσμενέστερη ισορροπία (3.02) σε σχέση με τον αχινό (0.54), ο οποίος διατηρεί πιο ευνοϊκή σύνθεση λιπαρών οξέων. Το καβούρι κατέγραψε υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα σε PUFA (25.55%) σε σχέση με το χαβιάρι Beluga (21.31%), ενώ το χαβιάρι εμφάνισε καλύτερο δείκτη DFA (80.87% έναντι 69.92% του καβουριού), υποδεικνύοντας βελτιωμένο προφίλ λιπαρών οξέων.

Συμπερασματικά, ο αχινός διακρίνεται για την υψηλή περιεκτικότητά του σε ω -3 και DHA, καθιστώντας τον ιδανική επιλογή για την ενίσχυση της πρόσληψης απαραίτητων λιπαρών οξέων. Το καβούρι προσφέρει ισορροπημένο προφίλ μεταξύ PUFA και MUFA, ενώ το χαβιάρι Beluga, με την κυριαρχία του σε MUFA και υψηλό δείκτη DFA, αποτελεί μια διαφορετική αλλά εξίσου θρεπτική επιλογή. Κάθε προϊόν

παρέχει μοναδικά διατροφικά οφέλη και μπορεί να αξιοποιηθεί ανάλογα με τις διατροφικές ανάγκες.

Η σύσταση των λιπαρών οξέων των θαλάσσιων προϊόντων, όπως ο αχινός, τα αυγά καβουριού και το χαβιάρι, αντικατοπτρίζει την υψηλή διατροφική τους αξία, με το προφίλ τους να επηρεάζονται από το είδος και τις μεθόδους επεξεργασίας. Το παλμιτικό οξύ (C16:0) αποτελεί σταθερά το κυρίαρχο κορεσμένο λιπαρό οξύ (SFA), όπως παρατηρήθηκε στους αχινούς (Zhou et al., 2018) και στα μπλε καβούρια (Kuley et al., 2008), υποδεικνύοντας την επικράτησή του στα θαλάσσια λιπίδια. Τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA), ιδιαίτερα το ελαϊκό οξύ (C18:1n9), εμφανίζονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε θαλάσσια είδη. Οι Caprino et al. (2008) ανέφεραν υψηλά επίπεδα ελαϊκού οξέος στο χαβιάρι οξύρρυγχου, τάση που παρατηρείται επίσης σε άλλα θαλάσσια προϊόντα, υπογραμμίζοντας τη διατροφική σημασία και τη σταθερότητά του κατά την επεξεργασία.

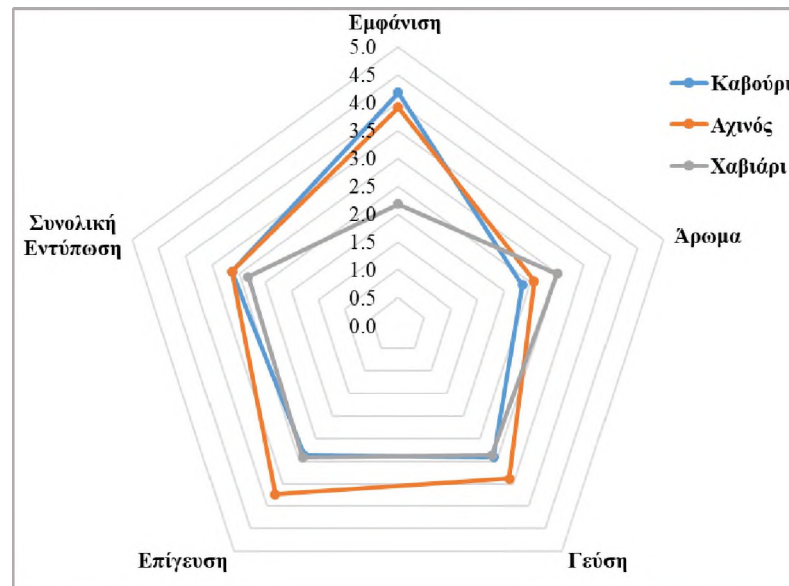
Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA), ιδιαίτερα τα ω-3, όπως το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA, C20:5n3) και το δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA, C22:6n3), είναι άφθονα στα θαλάσσια λιπίδια και κρίσιμα για τα οφέλη τους στην υγεία. Οι Zhou et al. (2018) επισήμαναν την υψηλή περιεκτικότητα EPA και DHA στους αχινούς, ενώ οι Bandarra et al. (1997) κατέγραψαν τη σταθερότητά τους στα αυγά σαρδέλας κατά τις εποχιακές αλλαγές. Ο λόγος ω-6/ω-3, ένας βασικός δείκτης ποιότητας των λιπιδίων, διαφέρει ανάμεσα στα είδη, με χαμηλές τιμές σε αχινούς (Zhou et al., 2018) και μπλε καβούρια (Kuley et al., 2008), υποδεικνύοντας ευνοϊκά διατροφικά προφίλ. Ωστόσο, το χαβιάρι ενδέχεται να εμφανίζει ελαφρώς υψηλότερους λόγους, όπως ανέφεραν οι Caprino et al. (2008), λόγω της σχετικής σταθερότητας των ω-6 λιπαρών οξέων.

Οι δείκτες υγείας, όπως ο αθηρωματικός δείκτης (AI) και ο δείκτης θρομβογένεσης (TI), είναι χαμηλοί στα θαλάσσια λιπίδια, αντικατοπτρίζοντας την ικανότητά τους να μειώνουν τους καρδιαγγειακούς κινδύνους. Αυτή η τάση συμφωνεί με μελέτες στα μπλε καβούρια (Kuley et al., 2008) και στο χαβιάρι (Caprino et al., 2008), υπογραμμίζοντας τις ευεργετικές ιδιότητες των θαλάσσιων προϊόντων για την υγεία. Ο δείκτης επιθυμητών λιπαρών οξέων (DFA) υπογραμμίζει περαιτέρω τον πλούτο των θαλάσσιων λιπιδίων σε ευεργετικά MUFA και PUFA.

Συνοψίζοντας, τα προφίλ λιπαρών οξέων των θαλάσσιων ειδών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, όπως οι αχινοί, τα μπλε καβούρια και το χαβιάρι οξύρρυγχου, επιβεβαιώνουν την υψηλή διατροφική τους αξία, τη σταθερότητά τους κατά την επεξεργασία και τα πιθανά οφέλη τους για την υγεία.

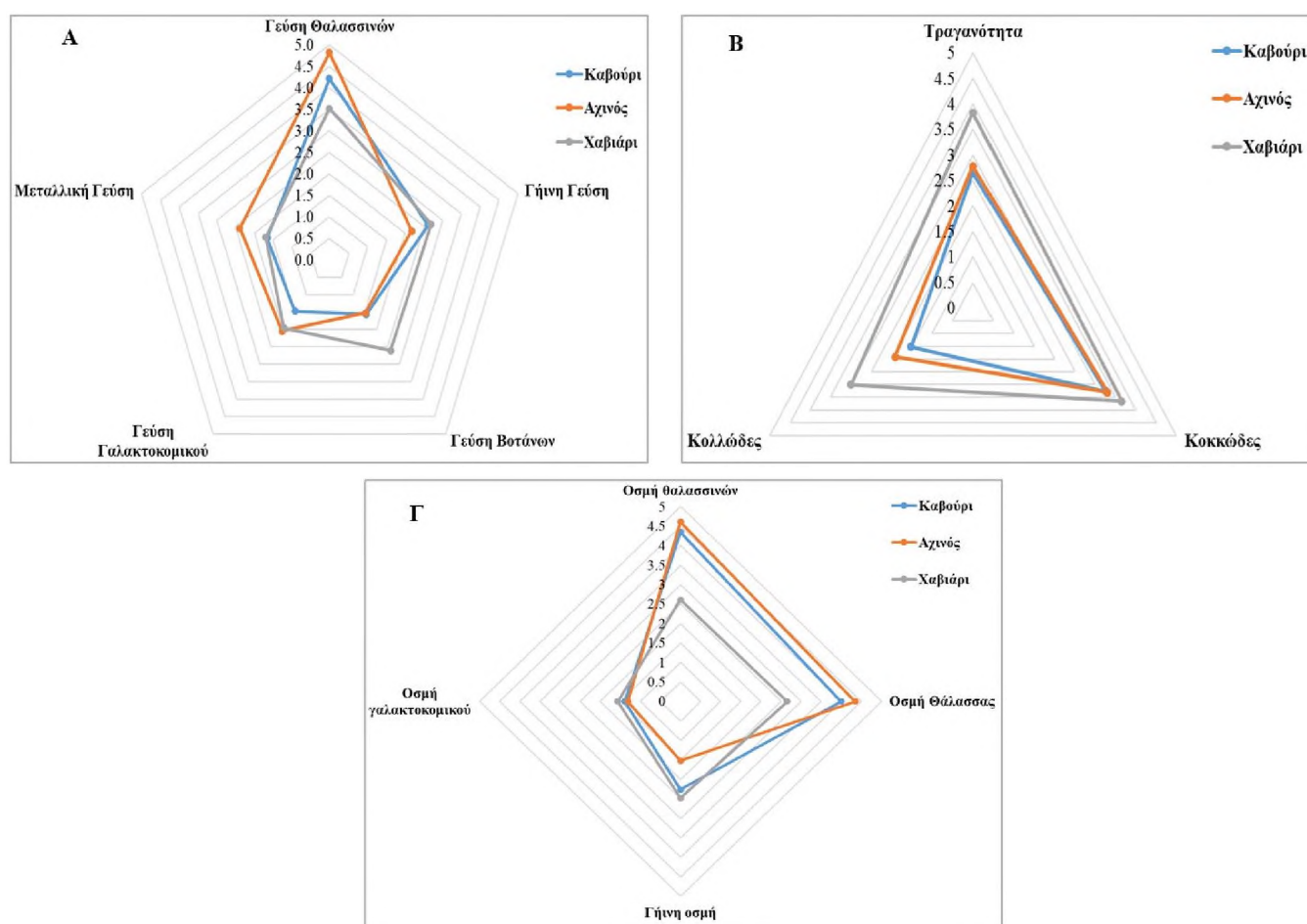
4.7 Οργανοληπτική Αξιολόγηση

Το διάγραμμα ραντάρ (διάγραμμα 6) παρουσιάζει την οργανοληπτική αξιολόγηση των τριών λυοφιλιωμένων προϊόντων (καβούρι, αχινός και χαβιάρι) αξιολογημένα βάσει πέντε αισθητηριακών χαρακτηριστικών: εμφάνιση, άρωμα, γεύση, επίγευση και συνολική εντύπωση.



Διάγραμμα 6. Αισθητηριακή ανάλυση των λυοφιλωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga με βάση πέντε χαρακτηριστικά: εμφάνιση, άρωμα, γεύση, επίγευση και συνολική εντύπωση.

Το καβούρι σημείωσε την υψηλότερη βαθμολογία στην εμφάνιση, γεγονός που υποδήλωσε ισχυρή οπτική απήχηση, ενώ παρουσίασε μέτριες βαθμολογίες στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά. Ο αχινός κατέγραψε σχετικά υψηλές βαθμολογίες στην εμφάνιση, στη γεύση και στην επίγευση, αλλά χαμηλότερες στο άρωμα. Αντίθετα, το χαβιάρι έλαβε τη χαμηλότερη βαθμολογία στην εμφάνιση, ενώ πέτυχε ελαφρώς καλύτερες επιδόσεις στη γεύση, την επίγευση και τη συνολική εντύπωση, γεγονός που υπέδειξε μεγαλύτερη αποδοχή στις χαρακτηριστικές γεύσεις του. Επιπλέον, το χαβιάρι εμφάνισε την υψηλότερη βαθμολογία στο άρωμα, ξεχωρίζοντας σε αυτόν τον τομέα. Συνολικά, το καβούρι διακρίθηκε κυρίως για την οπτική του απήχηση, ο αχινός για τις γεύσεις και την εμφάνισή του, ενώ το χαβιάρι παρουσίασε μεικτές επιδόσεις, με έντονο άρωμα αλλά ηπιότερη γεύση. Σε ό,τι αφορά τη συνολική αποδοχή, ο αχινός και το καβούρι ξεχώρισαν, ενώ το χαβιάρι βρέθηκε σε χαμηλότερη θέση.



Διάγραμμα 7. Αισθητηριακή ανάλυση των λυοφιλιωμένων αυγών καβουριού, αχινού και χαβιαριού Beluga με βάση πέντε χαρακτηριστικά: εμφάνιση, άρωμα, γεύση, επίγευση και συνολική εντύπωση.

Τα τρία διαγράμματα ραντάρ (διάγραμμα 7) παρουσιάζουν την οργανοληπτική αξιολόγηση των προϊόντων σε ό,τι αφορά τη γεύση, την υφή και το άρωμα. Κάθε διάγραμμα αναδεικνύει βασικές διαφορές στα αισθητηριακά χαρακτηριστικά, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των ξεχωριστών προφίλ των προϊόντων.

Το διάγραμμα 7Α (επάνω αριστερά) επικεντρώθηκε στη γεύση, αξιολογώντας πέντε χαρακτηριστικά: γεύση θαλασσινών, μεταλλική γεύση, γεύση γαλακτοκομικού, γεύση βοτάνων και γήινη γεύση. Ο αχινός πέτυχε την υψηλότερη βαθμολογία στη γεύση θαλασσινών, κάτι που ανέδειξε τη χαρακτηριστική θαλάσσια γεύση του. Το

καβούρι παρουσίασε πιο ισορροπημένο προφίλ γεύσης, με μέτριες βαθμολογίες σε όλα τα χαρακτηριστικά, ενώ η γεύση θαλασσινών και η γήινη γεύση διακρίθηκαν ελαφρώς περισσότερο. Αντίθετα, το χαβιάρι σημείωσε τις χαμηλότερες βαθμολογίες συνολικά, ιδιαίτερα στη γεύση θαλασσινών και στη μεταλλική γεύση, ενώ παρουσίασε καλύτερες επιδόσεις στη γεύση βοτάνων και στη γήινη γεύση, υποδεικνύοντας ένα πιο ήπιο και λεπτό προφίλ γεύσης. Αυτές οι διαφορές ανέδειξαν τα μοναδικά χαρακτηριστικά γεύσης κάθε προϊόντος, με τον αχινό να ξεχωρίζει για τη θαλάσσια γεύση του, το καβούρι να προσφέρει ισορροπία και το χαβιάρι να προβάλλει πιο ήπιες, λεπτές γευστικές νότες.

Το διάγραμμα 7B (επάνω δεξιά) αξιολογεί την υφή, εστιάζοντας σε τρία χαρακτηριστικά: τραγανότητα, κολλώδη και κοκκώδη υφή. Ο αχινός και το καβούρι παρουσίασαν μέτριες βαθμολογίες και στα τρία χαρακτηριστικά, αντανακλώνοντας ένα ισορροπημένο προφίλ υφής, με το χαρακτηριστικό της κοκκώδους υφής να υπερισχύει ελάχιστα περισσότερο. Από την άλλη, το χαβιάρι κατέγραψε τις υψηλότερες βαθμολογίες σε όλα τα χαρακτηριστικά, με το προϊόν να χαρακτηρίζεται περισσότερο τραγανό, αλλά και κολλώδες ταυτόχρονα. Αυτή η ανάλυση ανέδειξε τις σημαντικές διαφορές στην υφή, με το καβούρι και τον αχινό να παρουσιάζουν ποικιλία, ενώ το χαβιάρι εστιάζει στη τραγανή και κολλώδη αίσθηση.

Το διάγραμμα 7Γ (κάτω) ανέλυσε το άρωμα, αξιολογώντας τέσσερα χαρακτηριστικά: οσμή θάλασσας, οσμή θαλασσινών, γήινη οσμή και οσμή γαλακτοκομικού. Ο αχινός σημείωσε την υψηλότερη απόδοση στην οσμή θάλασσας και στην οσμή θαλασσινών, κάτι που ανέδειξε την έντονη θαλάσσια αίσθηση του αρώματός του. Το καβούρι ακολούθησε με ελαφρώς χαμηλότερη αίσθηση θαλασσινού αρώματος, αλλά υψηλότερη παρουσία γήινης οσμής, παρουσιάζοντας ένα πιο ισορροπημένο και ήπιο αρωματικό προφίλ. Το χαβιάρι, αντιθέτως, κατέγραψε μέτριες βαθμολογίες

συνολικά, με την καλύτερη επίδοσή του να είναι στην γήινη οσμή, κάτι που υποδηλώνει ένα πιο ήπιο και λείο άρωμα σε σχέση με τα άλλα δύο προϊόντα. Αυτά τα αποτελέσματα ανέδειξαν τη διαφορετικότητα των αρωματικών προφίλ, με τον αχινό να παρουσιάζει την πιο έντονη θαλάσσια αίσθηση, το καβούρι να προσφέρει ισορροπία και το χαβιάρι να εστιάζει σε ένα πιο ήπιο και γήινο άρωμα.

Συνολικά, η αισθητηριακή αξιολόγηση των γεύσεων, της υφής και του αρώματος ανέδειξε τα διακριτά χαρακτηριστικά του κάθε προϊόντος. Ο αχινός ξεχώρισε για την έντονη γεύση και το άρωμα θαλασσινών, το καβούρι διακρίθηκε για την κοκκώδη υφή και την ισορροπία του, ενώ το χαβιάρι παρουσίασε ήπιες, λεπτές αισθητηριακές ιδιότητες, με έμφαση στην κολλώδη και τραγανή υφή και στο γήινο άρωμα.

Τέλος, οι δοκιμαστές κλήθηκαν να κατατάξουν τα τρία λυοφιλωμένα προϊόντα σύμφωνα με την προτίμησή τους, από το πιο αγαπητό έως το λιγότερο προτιμητέο. Από την αξιολόγηση προέκυψε ότι ο λυοφιλωμένος αχινός αποτέλεσε την πρώτη επιλογή των δοκιμαστών, με το χαβιάρι να ακολουθεί στη δεύτερη θέση και το καβούρι να κατατάσσεται τελευταίο.

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε τη σημαντική επίδραση της λυοφιλίωσης στα διατροφικά, βιοχημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αυγών καβουριού, του αχινού και του χαβιαριού *Beluga*. Η διαδικασία βελτίωσε τη σταθερότητα των προϊόντων, ενίσχυσε την αντιοξειδωτική τους ικανότητα και επηρέασε τις αισθητηριακές τους ιδιότητες, προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για την ανάπτυξη καινοτόμων τροφίμων υψηλής διατροφικής αξίας. Αναλυτικότερα:

- η λυοφιλίωση οδήγησε σε σημαντική μείωση της ενεργότητας του νερού, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητά της στην απομάκρυνση της υγρασίας και τη σταθεροποίηση των προϊόντων.
- παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης πολυφαινολών και ενίσχυση της αντιοξειδωτικής δράσης, με τον αχινό και τα αυγά καβουριού να εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές, ενώ το χαβιάρι *Beluga* παρουσίασε μικρότερη, αλλά αξιοσημείωτη βελτίωση.
- η λυοφιλίωση ενίσχυσε και σταθεροποίησε τη συγκέντρωση των καροτενοειδών, αυξάνοντας τη θρεπτική και εμπορική αξία των προϊόντων. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των ειδών ανέδειξαν την επίδραση βιολογικών και οικολογικών παραγόντων, επιβεβαιώνοντας την ανάγκη περαιτέρω έρευνας για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας και τη βιοδιαθεσιμότητα των καροτενοειδών.
- η ανάλυση των λιπαρών οξέων έδειξε ότι ο αχινός είναι πλούσιος σε ω-3 και DHA, το καβούρι διαθέτει ισορροπία μεταξύ PUFA και MUFA, ενώ το χαβιάρι *Beluga* κυριαρχεί σε MUFA, προσφέροντας υψηλό δείκτη DFA.
- γενικότερα, η φαινομενική αύξηση της συγκέντρωσης των βιοενεργών συστατικών μετά τη λυοφιλοποίηση οφείλεται κυρίως στη μείωση της υγρασίας

και την επακόλουθη συμπύκνωση των στερεών συστατικών, παρά σε πραγματική μεταβολή της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε αυτά

- η οργανοληπτική αξιολόγηση ανέδειξε τις διακριτές αισθητηριακές ιδιότητες των προϊόντων: ο αχινός ξεχώρισε για την έντονη θαλάσσια γεύση και άρωμα, το καβούρι διακρίθηκε για την κοκκώδη υφή και την ισορροπία του, ενώ το χαβιάρι παρουσίασε πιο ήπιες, λεπτές αισθητηριακές ιδιότητες, με έμφαση στην τραγανότητα, την κολλώδη υφή και το γήινο άρωμα.
- οι δοκιμαστές κατέταξαν τον λυοφιλιωμένο αχινό ως το πιο προτιμητέο προϊόν, ακολουθούμενο από το χαβιάρι και το καβούρι.

Συνολικά, τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη σημασία της λυοφιλίωσης ως τεχνολογίας που όχι μόνο βελτιώνει τη σταθερότητα και τα βιοδραστικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, αλλά και επηρεάζει τις οργανοληπτικές τους ιδιότητες, καθιστώντας την πολύτιμη για την ανάπτυξη νέων προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας.

6. Βιβλιογραφία

- Altug, G., & Bayrak, Y. (2003). Microbiological analysis of caviar from Russia and Iran. *Food Microbiology*, 20(1), 83–86.
- Apak, R., Güçlü, K., Ozyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970–7981.
- Archana, A., & Babu, K. R. (2016). Nutrient composition and antioxidant activity of gonads of sea urchin *Stomopneustes variolaris*. *Food Chemistry*, 197(Pt A), 597–602.
- Arena, R., Renda, G., Ottaviani Aalmo, G., Debeaufort, F., Messina, C. M., & Santulli, A. (2024). Valorization of the Invasive Blue Crabs (*Callinectes sapidus*) in the Mediterranean: Nutritional Value, Bioactive Compounds and Sustainable By-Products Utilization. *Marine Drugs*, 22(9).
- Azzurro, E., Bonanomi, S., Chiappi, M., De Marco, R., Luna, G. M., Cella, M., Guicciardi, S., Tiralongo, F., Bonifazi, A., & Strafella, P. (2024). Uncovering unmet demand and key insights for the invasive blue crab (*Callinectes sapidus*) market before and after the Italian outbreak: Implications for policymakers and industry stakeholders. *Marine Policy*, 167, 106295.
- BANDARRA, N. M., BATISTA, I., NUNES, M. L., EMPIS, J. M., & CHRISTIE, W. W. (1997). Seasonal Changes in Lipid Composition of Sardine (*Sardina pilchardus*). *Journal of Food Science*, 62(1), 40–42.
- Bhaskar, S., Kavle, R. R., Bekhit, A., & Agyei, D. (2022). *Prospects for processing of fish roe and caviar using novel techniques* (pp. 383–400).

- Bloukas I. (2004). *Food processing and preservation*. A.S. Stamouli.
- Bronzi, P., Chebanov, M., Michaels, J. T., Wei, Q., Rosenthal, H., & Gessner, J. (2019). Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. *Journal of Applied Ichthyology*, 35(1), 257–266.
- Cánovas, B., Garrido, M. D., & Peñaranda, I. (2024). Valorization of common ling (*Molva-molva*) roe by-products for the elaboration of a food seasoning: Effect of drying method. *LWT*, 208, 116705.
- Caparino, O. A., Sablani, S. S., Tang, J., Syamaladevi, R. M., & Nindo, C. I. (2013). Water Sorption, Glass Transition, and Microstructures of Refractance Window– and Freeze-Dried Mango (Philippine “Carabao” Var.) Powder. *Drying Technology*, 31(16), 1969–1978.
- Caprino, F., Moretti, V. M., Bellagamba, F., Turchini, G. M., Busetto, M. L., Giani, I., Paleari, M. A., & Pazzaglia, M. (2008). Fatty acid composition and volatile compounds of caviar from farmed white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Analytica Chimica Acta*, 617(1–2), 139–147.
- Crapo, C., Oliveira, A., Nguyen, D., Bechtel, P., & Fong, Q. (2010). Development of a Method to Produce Freeze-Dried Cubes from 3 Pacific Salmon Species. *Journal of Food Science*, 75, E269–75.
- Day, J., & Stacey, G. (2007). *Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols* (Vol. 368).
- de Carvalho, C. C. C. R., & Caramujo, M. J. (2017). Carotenoids in Aquatic Ecosystems and Aquaculture: A Colorful Business with Implications for Human Health. *Frontiers in Marine Science*, 4.

- Djafar, M., Solang, M., Hamidun, M., Abdul, A., Kumaji, S., & Nane, L. (2023). Chemical Analysis of Sea urchin *Diademasetosum* Gonads. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 15, 204–211.
- Duan, X., Jiang, Y., Su, X., Zhang, Z., & Shi, J. (2007). Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning. *Food Chemistry*, 101(4), 1365–1371.
- Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., Jena, B. S., & Anandharamakrishnan, C. (2013). Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. *SI: Extraction and Encapsulation*, 117(4), 513–520.
- Garcia-Salas, P., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2010). Phenolic-compound-extraction systems for fruit and vegetable samples. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 15(12), 8813–8826.
- Goldblith, S. A., Rey, L., & Rothmayr, W. W. (1975). *Freeze Drying and Advanced Food Technology*. Academic Press.
- González, G. C., Rugolo, M., Finimundy, T. C., Ohaco, E., Pildain, M. B., & Barroetaveña, C. (2023). Impact of Air- and Freeze-Drying Methods on Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of *Fistulina antarctica* and *Ramariapatagonica* Fructification. *Applied Sciences*, 13(15).
- Ha, L., Tran, H., Nguyen, V. L., & Phuong, H. (2022). Phenolic Extracts from *Myrtaceae* Leaves Improve the Quality and Shelf-life of Pacific Whiteleg Shrimp. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, 5, 1645–1659.
- Heude, C., Elbayed, K., Jezequel, T., Fanuel, M., Lugan, R., Heintz, D., Benoit, P., & Piotto, M. (2016). Metabolic Characterization of Caviar Specimens by 1H

- NMR Spectroscopy: Towards Caviar Authenticity and Integrity. *Food Analytical Methods*, 9(12), 3428–3438.
- Hooshmand, H., Shabanpour, B., Moosavi-Nasab, M., & Golmakani, M. T. (2017). Optimization of carotenoids extraction from blue crab (*Portunus pelagicus*) and shrimp (*Penaeus semisulcatus*) wastes using organic solvents and vegetable oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13171.
- Karnila, R., Iriani, D., Shaarani, S. M., Yunus, A. A., & Salma, R. (2022). Nutritional characteristics of sea urchin (*Diademasetosum*) in Bungus, West Sumatera Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1118(1), 012037.
- Kevrekidis, K., Kevrekidis, T., Chitinoglou, C. C., Avramoglou, K., Keisaris, S., Fryganiotis, K., Apostologamvrou, C., Roditi, K., Voulgaris, K., Varkoulis, A., Dalmira, I., Charitonidou, K., Malea, P., & Vafidis, D. (2024). Reproductive Biology of the Invasive Blue Crab *Callinectes sapidus* in the Thermaikos Gulf (Northwest Aegean Sea, Eastern Mediterranean): Identifying Key Information for an Effective Population Management Policy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(11).
- Kiosseoglou, V., & Blekas, G. (2013). *Principles of food technology*. A.S. Gartaganis.
- Kittibunchakul, S., Temviriyankul, P., Chaikham, P., & Kemsawasd, V. (2023). Effects of freeze drying and convective hot-air drying on predominant bioactive compounds, antioxidant potential and safe consumption of maoberry fruits. *LWT*, 184, 114992.

- Kramer, G. N., De Angelis, L., Pauwels, J., Ooghe, W., & Belliardo, J. J. (1988). The freeze-drying of orange juice for the preparation of reference materials. *Fresenius' Zeitschrift Für Analytische Chemie*, 332(6), 694–697.
- Kuley, E., Ozoğul, F., Ozogul, Y., & Olgunoglu, A. I. (2008). Comparison of fatty acid and proximate compositions of the body and claw of male and female blue crabs (*Callinectes sapidus*) from different regions of the Mediterranean coast. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 59(7–8), 573–580.
- KWOK, B. H. L., HU, C., DURANCE, T., & KITTS, D. D. (2004). Dehydration Techniques Affect Phytochemical Contents and Free Radical Scavenging Activities of Saskatoon berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt.). *Journal of Food Science*, 69(3), SNQ122–SNQ126.
- Li, Y., Zhao, Y., Zhang, H., Ding, Z., & Han, J. (2024). The Application of Natural Carotenoids in Multiple Fields and Their Encapsulation Technology: A Review. *Molecules*, 29(5).
- Loganayaki, N., Siddhuraju, P., & Krishnan, S. (2013). Antioxidant activity and free radical scavenging capacity of phenolic extracts from *Helicteresisora L.* and *Ceiba pentandra L.* *Journal of Food Science and Technology-Mysore - J FOOD SCI TECHNOL-MYSORE*, 50, 1–9.
- Mah, C. (2013). Starfish: Biology & Ecology of the Asteroidea. J. Lawrence, editor. *Integrative and Comparative Biology*, 53(5), 871–873.
- Marchessaux, G., Mangano, M. C., Bizzarri, S., M'Rabet, C., Principato, E., Lago, N., Veyssiere, D., Garrido, M., Scyphers, S. B., & Sarà, G. (2023). Invasive blue crabs and small-scale fisheries in the Mediterranean Sea: Local ecological knowledge, impacts and future management. *Marine Policy*, 148, 105461.

- Matveeva, V. A., Shulgina, L. V., Prikhodko, Y. V., Shulgin, Y. P., Madej, K., & Piekoszewski, W. (2021). Nutritional Value of Sea Urchin Roe (*Strongylocentrotidae*)—Study of Composition and Storage Conditions. *Separations*, 8(10).
- Michiels, J. A., Kevers, C., Pincemail, J., Defraigne, J. O., & Dommes, J. (2012). Extraction conditions can greatly influence antioxidant capacity assays in plant food matrices. *Food Chemistry*, 130(4), 986–993.
- Miraglia, D., Castrica, M., Menchetti, L., Esposto, S., Branciari, R., Ranucci, D., Urbani, S., Sordini, B., Veneziani, G., & Servili, M. (2020). Effect of an Olive Vegetation Water Phenolic Extract on the Physico-Chemical, Microbiological and Sensory Traits of Shrimp (*Parapenaeus longirostris*) during the Shelf-Life. *Foods*, 9(11).
- Mooi, R., & David, B. (2000). What a New Model of Skeletal Homologies Tells Us About Asteroid Evolution¹. *American Zoologist*, 40(3), 326–339.
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of Industrial Drying* (4th ed.). CRC Press.
- Nekvapil, F., Brezeştean, I., Tomšić, S., Müller, C., Chiş, V., & Cîntă Pinzaru, S. (2019). Microsphere packages of carotenoids: Intact Sea urchin eggs tracked by Raman spectroscopy tools. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 18(8), 1933–1944.
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. *Foods*, 9(10).
- O’Fallon, J. V., Busboom, J. R., Nelson, M. L., & Gaskins, C. T. (2007). A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *Journal of Animal Science*, 85(6), 1511–1521.

- Öztürk, R. Ç., Terzi, Y., Feyzioğlu, A. M., Şahin, A., & Aydın, M. (2020). Genetic characterization of the invasive Blue crab, *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896), in the Black Sea. *Regional Studies in Marine Science*, 39, 101412.
- Ozyalcin, Z., Güles, E., Uygunoz, D., Bozkurt, F., Sagdic, O., Doymaz, I., Tugrul, N., Derun, E., & Kıpçak, A. S. (2024). Determination of Drying Characteristics of Various Seafood by Freeze-drying Method and Investigation of the Effect of Ultrasonic Pretreatment. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 25.
- Phillips, K., Niimi, J., Hamid, N., Silcock, P., Delahunty, C., Barker, M., Sewell, M., & Bremer, P. (2010). Sensory and volatile analysis of sea urchin roe from different geographical regions in New Zealand. *LWT - Food Science and Technology*, 43(2), 202–213.
- Powell, C., Hughes, A. D., Kelly, M. S., Conner, S., & McDougall, G. J. (2014). Extraction and identification of antioxidant polyhydroxynaphthoquinone pigments from the sea urchin, *Psammechinus miliaris*. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 455–460.
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319.
- Sablani, S. S., Rahman, M. S., Al-Kuseibi, M. K., Al-Habsi, N. A., Al-Belushi, R. H., Al-Marhubi, I., & Al-Amri, I. S. (2007). Influence of shelf temperature on pore formation in garlic during freeze-drying. *Journal of Food Engineering*, 80(1), 68–79.
- Salemi, N., Hamdami, B., & Nasirpour, A. (2012). The effect of pasteurization temperature on texture and sensory properties of Persian sturgeon caviar. *Mdrsjrns*, 9(37), 57–65.

- Shadrina, E. (2007). The Great Caspian Caviar Game. *Security Index: A Russian Journal on International Security*, 13(1), 55–78.
- Shahidi, F., & Wanasundara, P. K. (1992). Phenolic antioxidants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32(1), 67–103.
- Sharma, A., Dhiman, A., & Attri, S. (2020). Encapsulation of extracted carotenoids of *Cucurbita maxima* through lyophilization. *Pigment & Resin Technology*, ahead-of-print.
- Sibiya, A., Jeyavani, J., Sivakamavalli, J., Ravi, C., Divya, M., & Vaseeharan, B. (2021). Bioactive compounds from various types of sea urchin and their therapeutic effects—A review. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101760.
- Topuz, O., Yatmaz, H., Alp, A., Kaya, A., & Yerlikaya, P. (2020). Biogenic amine formation in fish roe in under the effect of drying methods and coating materials. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45.
- Willows, A. O. D., & Corning, W. C. (1975). The Echinoderms. In W. C. Corning, J. A. Dyal, & A. O. D. Willows (Eds.), *Invertebrate Learning: Volume 3 Cephalopods and Echinoderms* (pp. 103–135). Springer US.
- Wulandari, D. A., & Warsito, M. F. (2022). Review: Nutritional Value and Health Benefit of Sea Urchin. *Special Issue The 4th KRIPIK-SciFiMaS 2022*.
- Zadorozhny, P. A., Borisovets, E. E., Yakush, E. V., & Davidyuk, T. S. (2008). Change of carotenoid composition in crabs during embryogenesis. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 44(4), 450–461.
- Zhou, X., Zhou, D.-Y., Lu, T., Liu, Z.-Y., Zhao, Q., Liu, Y.-X., Hu, X.-P., Zhang, J.-H., & Shahidi, F. (2018). Characterization of lipids in three species of sea urchin. *Food Chemistry*, 241, 97–103.

7. ABSTRACT

Freeze drying is an innovative dehydration method widely used in the food industry, as it preserves the nutritional and sensory characteristics of products while extending their shelf life. Particularly in the seafood sector, this technique offers significant advantages, such as the stabilization of sensitive bioactive compounds, enhancement of antioxidant activity, and preservation of quality, making it a valuable tool for developing new, high-value products.

In the present study, the effect of freeze drying on the nutritional, biochemical, and sensory characteristics of crab roe, sea urchin, and Beluga caviar was investigated. Product stability was analyzed through water activity, polyphenol concentration, and antioxidant activity, as well as their carotenoid and fatty acid content. The results showed that freeze drying significantly reduced water activity, enhancing product stability and shelf life. Additionally, an increase in antioxidant capacity was observed, with sea urchin and crab roe exhibiting the highest values, while Beluga caviar showed a smaller but notable improvement. Freeze drying also contributed to the preservation and stabilization of carotenoids, while fatty acid analysis indicated that sea urchin was particularly rich in omega-3 and DHA, crab roe displayed a balance between PUFA and MUFA, and Beluga caviar was dominated by MUFA, offering a high DFA index.

Sensory evaluation revealed that freeze drying maintained and enhanced the sensory properties of the products, with sea urchin standing out for its intense marine flavor and aroma, crab roe for its granular texture and balanced taste, while caviar exhibited mild, refined sensory attributes, emphasizing crispness, sticky texture, and an earthy aroma. Testers ranked lyophilized sea urchin as the most preferred product, followed by caviar and crab roe.

Overall, the study highlighted sensory as a high-value-added technology that not only improves the stability and bioactive characteristics of seafood products but also affects their sensory properties, providing valuable insights for developing innovative, nutritionally rich marine-based products.