

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Χρησιμοποίηση του εμπορικού ελαίου μικροφυκών «Veramaris oil»
για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου στο σιτηρέσιο του λαβρακιού
(*Dicentrarchus labrax*)**

Αδαμαντία Καραγιάννη

Βόλος 2024

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

- 1) Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης,** Αναπληρωτής καθηγητής, Διατροφή Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων,*
- 2) Ελένη Γκολομάζου,** Αναπληρώτρια καθηγήτρια, Προστασία-Ευζωία Ιχθύων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- 3) Παναγιώτα Παναγιωτάκη,** Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Ιωάννη Καραπαναγιωτίδη 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

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους υποψήφιους διδάκτορες Ελίνα Γκαλογιάννη, Πιερ Ψωφάκη και Μαντώ Ασημάκη για την άμεση και ανιδιοτελή προσφορά τους, καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου και στους δικούς μου ανθρώπους για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υδατοκαλλιέργεια είναι απαραίτητο να βασίζεται σε βιώσιμες ιχθυοτροφές, προκειμένου να καλύψει την μεγάλη ζήτηση που προβλέπεται μελλοντικά σε θαλάσσια προϊόντα (Santigosa et al., 2021). Τα μικροφύκη συγκαταλέγονται στις υποψήφιες πρώτες ύλες ιχθυοτροφών που αποτελούν εναλλακτικές λύσεις για την μείωση της εξάρτησης από το ιχθυάλευρο και ιχθυέλαιο στις ιχθυοτροφές, καθώς έχουν προσελκύσει δυνατό ερευνητικό και επιχειρηματικό ενδιαφέρον (Karapanagiotidis et al., 2022).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας χρησιμοποίησης ενός ελαίου μικροφυκών πλούσιο σε DHA και συγκεκριμένα του εμπορικού ελαίου, Veramaris oil το οποίο προέρχεται από το γένος *Schizochytrium*, για την αντικατάσταση του διαιτητικού ιχθυελαίου στην διατροφή του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*). Για αυτό το σκοπό, ιχθύδια λαβρακιού με αρχικό μέσο βάρος $14,5 \pm 0,93\text{g}$ μεταφέρθηκαν σε πειραματικούς πλωτούς κλωβούς στην μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας ΩΚΕΑΝΙΣ στην Βόρεια Εύβοια. Η θερμοκρασία και το διαλυμένο οξυγόνο καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος δεν ήταν σταθερά, καθώς κυμάνθηκαν από 21 έως 27 °C, και 6 -9 mg/l αντίστοιχα, και η αλατότητα ήταν 36 ‰. Τα ιχθύδια χωρίστηκαν σε 3 διατροφικές ομάδες (205 άτομα/κλωβό, 3 επαναλήψεις/διατροφική ομάδα), στις οποίες χορηγήθηκαν 3 διαφορετικά σιτηρέσια, 2 φορές καθημερινά με το χέρι μέχρι κορεσμού για 73 ημέρες. Στην τροφή του μάρτυρα, η κύρια πηγή λίπους ήταν το ιχθυέλαιο και το σογιέλαιο. Στα υπόλοιπα δύο, πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση του επιπέδου του ιχθυελαίου της τροφής του μάρτυρα με το εμπορικό έλαιο, Veramaris oil, σε ποσοστό 50% και 100%, αντίστοιχα. Τα σιτηρέσια ήταν είναι ισοενεργειακά (21,45 MJ/Kg), ισοπρωτεϊνικά (47,28 % της τροφής) και ισολιπιδιακά (16,09 % της τροφής). Η αντικατάσταση του ιχθυελαίου από τα μικροφύκη με τα

διάφορα ποσοστά ένταξης δεν επηρέασε αρνητικά την ανάπτυξη του λαβρακιού, καθώς τα ψάρια που διατράφηκαν με τα σιτηρέσια που περιείχαν μικροφύκη ανεξάρτητα από το ποσοστό, παρουσίασαν παρόμοιο ρυθμό ανάπτυξης σε σχέση με αυτά του μάρτυρα. Επίσης, ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) των σιτηρεσίων που περιείχαν μικροφύκη σε διάφορα επίπεδα χορήγησης ήταν παρόμοιος με εκείνον των του μάρτυρα. Επίσης, τα ψάρια που διατράφηκαν με το Veramaris oil παρουσίασαν παρόμοια θρεπτική σύσταση του ολικού σώματος με τα ψάρια του μάρτυρα, γεγονός που υποδεικνύει ότι το έλαιο veramaris μεταβολίζεται και απορροφάται στον ίδιο βαθμό με το ιχθυέλαιο που χρησιμοποιήθηκε στην τροφή του μάρτυρα. Αναφορικά με τα ω -3 PUFA, όταν το έλαιο veramaris αντικατέστησε πλήρως το ιχθυέλαιο οδήγησε σε υψηλότερα ($P<0,05$) επίπεδα του DHA και των ολικών ω -3 PUFA σε σχέση με τα ψάρια που διατράφηκαν με ιχθυέλαιο. Το EPA ήταν παρόμοιο σε όλες τις ομάδες.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν την αποτελεσματικότητα του ελαίου veramaris ως πηγή των διατροφικά απαραίτητων EPA και DHA για την ανάπτυξη του λαβρακιού και ότι είναι κατάλληλο για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου.

Λέξεις-κλειδιά: λαβράκι, *Dicentrarchus labrax*, αντικατάσταση ιχθυελαίου, μικροφύκη, Veramaris oil, *Schizochytrium*, DHA, EPA.

Πίνακας περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	Εκτροφή και διατροφικές απαιτήσεις του λαβρακιού	1
1.2	Τα ιχθυέλαια στις ιχθυοτροφές και η αντικατάσταση αυτών με άλλες πηγές λίπους	6
1.3	Μικροφύκη	11
1.3.1	Μικροφύκη του γένους <i>Schizochytrium</i>	16
1.3.2	Έλαιο Veramaris	18
1.4	Σκοπός έρευνας.....	20
2	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	22
2.1	Πειραματικός σχεδιασμός.....	22
2.2	Σιτηρέσια – Σίτιση	24
2.3	Δειγματοληψίες.....	28
2.4	Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής.....	28
2.4.1	Αύξηση ολικού βάρους ψαριών.....	28
2.4.2	Ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους	28
2.4.3	Συνολική κατανάλωση τροφής.....	28
2.4.4	Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης.....	29
2.4.5	Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής	29
2.4.6	Κατακράτηση πρωτεΐνης	29
2.4.7	Κατακράτηση λίπους.....	29
2.5	Χημικές αναλύσεις.....	29

2.5.1	Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών.....	29
2.5.2	Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ουσιών	31
2.5.3	Προσδιορισμός τέφρας.....	32
2.5.4	Προσδιορισμός υγρασίας/ξηρής ουσίας.....	33
2.6	Προσδιορισμός λιπαρών οξέων	33
2.7	Στατιστική ανάλυση.....	37
3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	38
3.1	Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής.....	38
3.1.1	Κατά την έναρξη του πειράματος.....	38
3.1.2	Αύξηση σωματικού βάρους την 45 ^η ημέρα πειράματος.....	38
3.1.3	Αύξηση σωματικού βάρους την 73 ^η ημέρα (ολοκλήρωση του πειράματος) 40	
3.2	Θρεπτική σύσταση ολικού σώματος.....	43
3.3	Σύνθεση λιπαρών οξέων του μυϊκού ιστού.....	46
4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	50
4.1	Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής.....	50
4.2	Θρεπτική σύσταση	52
4.3	Σύνθεση λιπαρών οξέων μυϊκού ιστού	53
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εκτροφή και διατροφικές απαιτήσεις του λαβρακιού

Στην Ευρώπη η ζήτηση για λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) έχει αυξηθεί τα τελευταία 15 χρόνια λόγω της θρεπτικής αξίας και της οργανοληπτικής ποιότητάς του (Fuentes et al., 2010). Το λαβράκι είναι ένα από τα κύρια καλλιεργούμενα είδη ιχθύων στην Ευρώπη (Kyraia & Lougonois, 2002), καθώς είναι ευρύθερμο (2-30 °C) και ευρύαλο είδος (0-40 psu) (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Έτσι μπορεί να ζήσει σε παράκτια ύδατα και εμφανίζεται σε εκβολές ποταμών και λιμνοθάλασσες υφάλμυρου νερού (FAO, 2024). Υπάρχει μόνο μία αναπαραγωγική περίοδος ετησίως, η οποία λαμβάνει χώρα το χειμώνα στον πληθυσμό της Μεσογείου (Δεκέμβριο έως Μάρτιο) και έως τον Ιούνιο στους πληθυσμούς του Ατλαντικού Ωκεανού. Το λαβράκι γεννά μικρά (1,02-1,39 mm) πελαγικά αυγά σε νερό με αλατότητα μικρότερη από 35‰, κοντά σε εκβολές ποταμών ή σε παραθαλάσσιες περιοχές όπου η αλατότητα είναι υψηλή ($\geq 30\%$). Η γεννητική ωρίμανση επέρχεται για τα αρσενικά στην ηλικία των 2 ετών, έχοντας αποκτήσει μήκος 17-22cm περίπου, ενώ για τα θηλυκά στην ηλικία των 4 ετών όταν έχουν φτάσει το μήκος των 23-32cm (Νεοφύτου 2015).

Το λαβράκι είναι ένας κορυφαίος θηρευτής, πολύ προσαρμόσιμος και ευκαιριακός, καθώς είναι σαρκοφάγο είδος (FAO, 2024). Η διατροφική του συμπεριφορά και οι διατροφικές του προτιμήσεις συνδέονται με το μέγεθος των ατόμων. Τα νεαρά ιχθύδια τρέφονται με βενθικούς οργανισμούς, όπως κωπήποδα, αμφίποδα, ισόποδα, δεκάποδα και μικρά ψάρια. Στην διατροφή των ενήλικων ιχθύων συμπεριλαμβάνονται κυρίως καβούρια, γαρίδες, μαλάκια, και ιχθύες (Vasquez & Muñoz-Cueto 2014).

Τα λαβράκια καλλιεργούνταν ιστορικά σε παράκτιες λιμνοθάλασσες και παλιρροϊκές δεξαμενές πριν ξεκινήσει η ανάπτυξη της μαζικής παραγωγής νεαρών ιχθυδίων στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, η Γαλλία και η Ιταλία ανταγωνίστηκαν για την ανάπτυξη αξιόπιστων τεχνικών μαζικής παραγωγής νεαρών ιχθυδίων λαβρακιού και, μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970, αυτές οι τεχνικές είχαν αναπτυχθεί αρκετά καλά στις περισσότερες μεσογειακές χώρες, ώστε να παρέχουν εκατοντάδες χιλιάδες ιχθύδια. Το ευρωπαϊκό λαβράκι ήταν το πρώτο θαλάσσιο μη σαλμονικό είδος που καλλιεργήθηκε εμπορικά στην Ευρώπη και επί του παρόντος είναι το σημαντικότερο εμπορικό ψάρι που καλλιεργείται ευρέως στις μεσογειακές περιοχές. Η Ελλάδα, η Τουρκία, η Ιταλία, η Ισπανία, η Κροατία και η Αίγυπτος είναι οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή (FAO, 2024).

Αν και τα λαβράκια εκτρέφονται σε λίμνες και λιμνοθάλασσες με θαλασσινό νερό, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής τους προέρχεται από την καλλιέργεια σε θαλάσσια κλουβιά (FAO, 2024). Το λαβράκι αποτελεί ένα είδος αγαπημένο για την επαγγελματική και ερασιτεχνική αλιεία (Vanderputte et al., 2019). Οι περιοχές όπου αλιεύεται είναι ο βορειοανατολικός Ατλαντικός Ωκεανός, ιδιαίτερα η Μάγχη, η Θάλασσα της Ιρλανδίας και ο Βискаϊκός Κόλπος (Pickett & Pawson 1994), καθώς και η Μεσόγειος. Ο αριθμός των συλλήψεων των αλιευμάτων είναι συγκρίσιμος ανάμεσα στις δύο περιοχές, αν και τα τελευταία χρόνια τα αλιεύματα είναι υψηλότερα στον Ατλαντικό Ωκεανό. Η ερασιτεχνική αλιεία έχει σημαντικό μερίδιο στη συνολική αλιεία, καθώς μπορεί να αντιπροσωπεύει το 30% έως 50% των συνολικών αλιευμάτων στον Ατλαντικό (ICES, 2018). Ωστόσο, από οικονομική άποψη, το λαβράκι είναι πλέον ξεκάθαρο είδος υδατοκαλλιέργειας. Η υδατοκαλλιέργεια παράγει περισσότερα άτομα λαβρακιού από την αλιεία από το 1992 και αντιπροσωπεύει το 96% της συνολικής παραγωγής το 2016 (υδατοκαλλιέργεια 165.915 τόνοι έναντι αλιείας 6919 τόνοι το

2016) (FAO 2018). Η παραγωγή στην υδατοκαλλιέργεια γίνεται σε δύο φάσεις (Vandeputte et al., 2019). Η πρώτη φάση είναι το εκκολαπτήριο και η προπάχυνση, η οποία παράγει γόνο από 1 έως 20 g σε τρεις έως οκτώ μήνες και, στη συνέχεια, η δεύτερη φάση είναι η πάχυνση στα θαλάσσια κλουβιά, όπου οι ιχθύες αναπτύσσονται μέχρι τα 250-450 g σε 12 έως 20 μήνες. Τα εκκολαπτήρια βρίσκονται συνήθως στην ενδοχώρα, σε συστήματα ελεγχόμενης θερμοκρασίας, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της πάχυνσης βρίσκεται σε θαλάσσια κλουβιά σε φυσικά νερά. Το κύριο προϊόν της αγοράς είναι λαβράκι σε μέγεθος 250–400 g, αλλά υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την παραγωγή μεγαλύτερων ατόμων λαβρακιού (800 g έως 1 kg) προς πώληση, ολόκληρα ή ως επεξεργασμένα φιλέτα (EUMOFA 2018).

Από τις διάφορες σχετικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα όσον αφορά τη θρεπτική σύσταση της τροφής, τα λιπαρά οξέα και τα απαραίτητα αμινοξέα που απαιτούνται για την διατροφή του λαβρακιού, συνοψίζονται στους Πίνακα 1.1, Πίνακα 1.2 και Πίνακα 1.3 αντίστοιχα. Επίσης στην εικόνα 1.2 απεικονίζονται οι ανάγκες του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) σε EPA και DHA κατά τον κύκλο παραγωγής του, καθώς και οι αναλογίες EPA:DHA και ω-3:ω-6.

Πίνακας 1.1: Θρεπτική σύσταση που απαιτείται στη διατροφή του λαβρακιού

Θρεπτική σύσταση (%)	
Πρωτεΐνη	43-50
Λίπος	12-24
Υδατάνθρακες	15-18
Ενέργεια (KJ/g)	21
Πρωτεΐνη/Ενέργεια (mg/Kj)	19-30
Φώσφορος	0,65

Πηγή: FAO, 2024

Πίνακας 1.2: Απαραίτητα λιπαρά οξέα που απαιτούνται στη διατροφή του λαβρακιού, ανάλογα με την ηλικία.

(%)	1-10 gr	10-100 gr	100-400 gr	400-1000 gr
Ενδεικτικό λιπιδικό περιεχόμενο (g/kg)	100-120	120-180	160-220	200-240
ARA	1	1	1	1
EPA	12-14	6-10	4-6	3-4
DHA	8-10	6-10	4-6	3-5
EPA+DHA	20-24	12-20	8-12	6-9
ω3:ω6	TD	TD	TD	TD
EPA:DHA	1.5:1	1:1	1:1	1:1

Πηγή : (Veramaris, 2022)

Πίνακας 1.3: Απαραίτητα αμινοξέα που απαιτούνται στη διατροφή του λαβρακιού.

Αμινοξέα (%)	
Αργινίνη	4,6
Ιστιδίνη	1,6
Ισολευκίνη	2,6
Λευκίνη	4,3
Λυσίνη	4,8
Μεθειονίνη	2,3
Φαινυλαλανίνη	2,6
Θρεονίνη	2,7
Τρυπτοφάνη	0,6
Βαλίνη	2,9

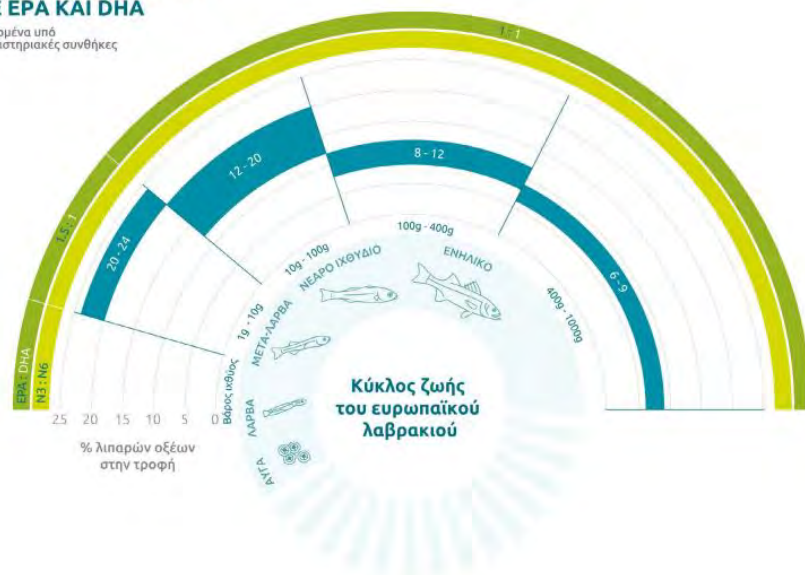
Πηγή : FAO, 2024

ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΜΕ ΩΜΕΓΑ Λ.Ο ΓΙΑ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΛΑΒΡΑΚΙ

Η μελέτη της Veramaris πραγματοποιήθηκε με την υποστήριξη του Καθ. Brett Gleason's βάσει των τελευταίων επιστημονικών δεδομένων

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΕΡΑ ΚΑΙ ΔΗΑ

Δεδομένα υπό
εργαστηριακές συνθήκες



ΒΕΛΤΙΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΜΕ ΩΜΕΓΑ Λ.Ο

Με την υποστήριξη του φυσικού ελαίου θαλασσιών αλγών της Veramaris πλούσιο σε ΕΡΑ, ΔΗΑ και ΑΡΑ απαραίτητα λιπαρά οξέα

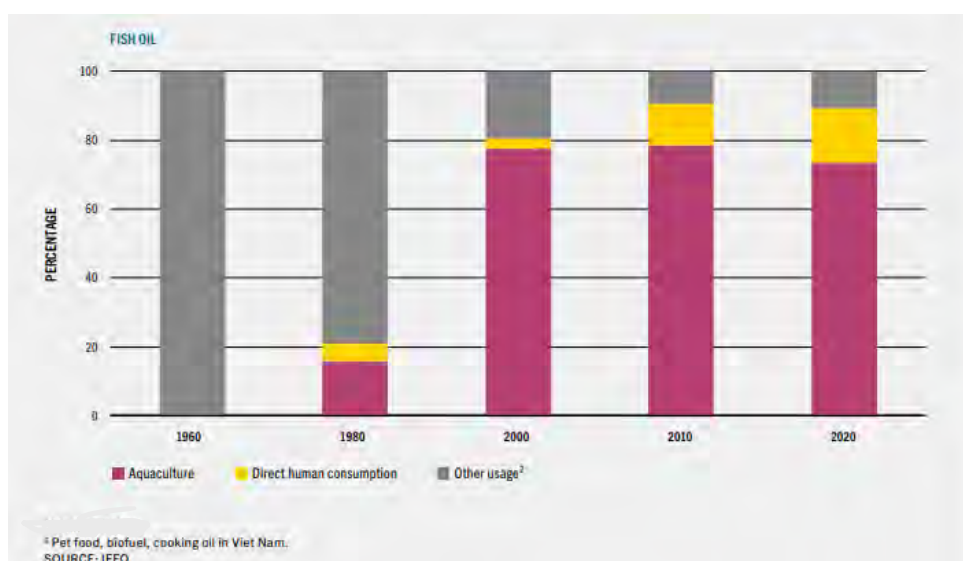
Εικόνα 1.1. Εκτίμηση των ειδικών σχετικά με τις ανάγκες του ευρωπαϊκού λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) σε ΕΡΑ και ΔΗΑ ωμέγα-3 κατά τον κύκλο παραγωγής του, καθώς και των αναλογιών ΕΡΑ:ΔΗΑ και n-3:n-6. (Πηγή: <https://www.veramaris.com>)

1.2 Τα ιχθυέλαια στις ιχθυοτροφές και η αντικατάσταση αυτών με άλλες πηγές λίπους

Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί τον ταχύτερο αναπτυσσόμενο κλάδο παραγωγής τροφίμων στον κόσμο (Hodar et al., 2020). Ο ρόλος της υδατοκαλλιέργειας στην παροχή ιχθυηρών και θαλασσινών στην ανθρώπινη διατροφή έχει γίνει ολοένα και πιο σημαντικός τα τελευταία 60 χρόνια (Pinstrup- Andersen et al., 2014), και είναι ευρέως γνωστό ότι οι αυξανόμενες ανάγκες για ιχθυηρά θα ικανοποιηθεί από την υδατοκαλλιέργεια. Η Διεθνής Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) έχει προβλέψει, ότι μέχρι το 2030, το 53 % των θαλασσινών που καταναλώνονται

παγκοσμίως θα παράγονται από την υδατοκαλλιέργεια (FAO, 2020). Παρ' όλα αυτά, η παραγωγή εκτρεφόμενων ιχθύων απαιτεί την χρήση άγριων ιχθυοαποθεμάτων για να παρασκευαστούν ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια που ενσωματώνονται στις ιχθυοτροφές (FAO, 2018).

Το ιχθυάλευρο και το ιχθυέλαιο αποτελούν τις κύριες πηγές πρωτεϊνών και λιπιδίων, αντίστοιχα, στις ιχθυοτροφές (Hodar et al., 2020). Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του International Fishmeal and Fish Oil Organization (IFFO), το 2020 περίπου το 73 % του ιχθυελαίου προορίστηκε για την υδατοκαλλιέργεια, το 16 % για ανθρώπινη κατανάλωση και το 11 % για άλλες χρήσεις (συμπεριλαμβανομένων των τροφών για κατοικίδια και των βιοκαυσίμων) (FAO, 2020) (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2. Η χρήση των ιχθυαλεύρων και των ιχθυελαίων. Πηγή : IFFO

Τα ιχθυέλαια μπορούν να παραχθούν από ολόκληρους ιχθύες, τμήματα ιχθύων ή από επεξεργασμένα υποπροϊόντα ιχθύων. Οι συνηθέστεροι ιχθύες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους είναι κυρίως είδη αλιείας, όπως ο περουβιανός γαύρος (με την μεγαλύτερη αναλογία), προσφυγάκι, σαρδέλα, σκουμπρί, ρέγγα, και καπελάνος (FAO,2020). Το ιχθυέλαιο αποτελεί μια εξαιρετική πηγή

λιπιδίων, και συγκεκριμένα υψηλών ακόρεστων λιπαρών οξέων (HUFAs) και ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFAs), όπως είναι το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και το εικοσιδυοεξανοϊκό οξύ (DHA) (Sáez-Royuela et al., 2022). Τα λιπίδια αναγνωρίζονται ως ζωτικά συστατικά στην διατροφή των ιχθύων, καθώς λειτουργούν ως χημικοί αγγελιοφόροι, ως πηγή ενέργειας και βασικών λιπαρών οξέων (Essential Fatty Acids) (Glencross, 2009). Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα είναι πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) που δεν μπορούν να συντεθούν ή συντίθενται ανεπαρκώς από τους θαλάσσιους ιχθύες και επομένως πρέπει να λαμβάνονται μέσω της διατροφής (Veramaris, 2022). Αυτά τα λιπαρά οξέα ταξινομούνται σε δύο κύριες οικογένειες, τα ω-3 και τα ω-6. Τα ω-3 περιλαμβάνουν το α-λινολενικό οξύ (LNA; 18:3ω-3), το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA; 20:5ω-3), και το εικοσιδυαεξανοϊκό οξύ (DHA; 22:6ω-3), ενώ τα ω-6 περιλαμβάνουν το λινολεϊκό οξύ (LA; 18:2ω-6) και το αραχιδονικό οξύ (ARA, 20:4ω-6). Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα είναι φυσιολογικά απαραίτητα για την ανάπτυξη των ζώων, την αναπαραγωγή, την ανοσία, και την ποιότητα του τελικού προϊόντος, και πρέπει να παρέχονται στη διατροφή σε κατάλληλες συγκεντρώσεις.

Οι απαιτήσεις των ιχθύων θαλασσινού νερού για 20:5ω-3 (EPA) και 22:6ω-3 (DHA) καθιστούν τα ιχθυέλαια τη μόνη εμπορικά διαθέσιμη πηγή αυτών των λιπαρών οξέων. Πολλοί ιχθύες γλυκού νερού μπορούν να μετατρέπουν το 18:3ω-3 (LNA) σε 20:5ω-3 (EPA) και 22:6ω-3 (DHA) και συνεπώς, μπορούν να διατρέφονται με μείγματα διατροφής που περιέχουν, αρχικά τουλάχιστον, το 18:3ω-3 ως κύριο λιπαρό οξύ. Το ιχθυέλαιο έχει υψηλή πεπτικότητα, και είναι πλούσιο σε τριακυλογλυκερόλες (TAGs), οι οποίες αποτελούν το κύριο συστατικό των αποθηκευμένων λιπών. Η διατροφική σύνθεση των ιχθυελαίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την σύνθεσή τους σε λιπαρά οξέα, και αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στις δίαιτες της υδατοκαλλιέργειας (Hodar et al., 2020).

Η εκθετική ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας αντιμετωπίζει επί του παρόντος μεγάλα οικονομικά και οικολογικά ζητήματα, καθώς η προσφορά των ιχθυάλευρων και των ιχθυελαίων για τη σύνθεση των ιχθυοτροφών μειώνεται συνεχώς (Tacon et al., 2011). Η παραγωγή ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων, η οποία εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη ιχθυοαποθεμάτων, έχει παρουσιάσει κάποιες διακυμάνσεις, ιδίως του Περουβιανού γαύρου, λόγω του φαινομένου El Nino. Επίσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η υιοθέτηση των καλών πρακτικών διαχείρισης των συστημάτων πιστοποίησης έχει μειώσει τους όγκους των μη βιώσιμων αλιευμάτων που περιέχουν είδη που προορίζονται για ιχθυάλευρο. Αυτή η προοδευτική μείωση της προσφοράς έχει συνδυαστεί με μια αυξανόμενη ζήτηση λόγω της ταχέως αναπτυσσόμενης βιομηχανίας της υδατοκαλλιέργειας. Συνεπώς, η αυξανόμενη ζήτηση για τα ιχθυάλευρα και το ιχθυέλαιο οδήγησε σε αύξηση της τιμής τους (FAO, 2020) , με άμεση επίδραση στην οικονομική κερδοφορία της ιχθυοκαλλιέργειας (FAO, 2016). Δεδομένου ότι η προσφορά είναι χαμηλότερη από την ζήτηση σε συνδυασμό με την κερδοφορία του κλάδου, έχει δημιουργηθεί η ανάγκη για εξεύρεση πρόσθετων ή εναλλακτικών πηγών (FAO, 2020). Συνεπώς, κρίνεται σημαντική η μείωση εξάρτησης των ιχθυοτροφών από το ιχθυέλαιο και η εύρεση εναλλακτικών πηγών ιχθυελαίων, οι οποίες θα είναι οικονομικά αποδοτικές και ευρέως διαθέσιμες, προκειμένου η υδατοκαλλιέργεια να ικανοποιήσει την αυξανόμενη ζήτηση για εκτρεφόμενους ιχθύες (Karapanagiotidis et al., 2019).

Είναι ευρέως γνωστό, ότι τα φυτικά έλαια και φυτικά άλευρα αποτελούν τα πιο οικονομικά και βιώσιμα εναλλακτικά συστατικά για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές (Tacon & Metian, 2015). Ωστόσο, υπάρχουν κάποιοι ανεπιθύμητοι παράγοντες στις φυτικής προέλευσης πρώτες ύλες που μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη και τη ευημερία των ιχθύων (Montero & Izquierdo , 2010). Για παράδειγμα,

υπάρχει έλλειψη των απαραίτητων λιπαρών οξέων στα φυτικά έλαια, ειδικά των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας (LC-PUFA). Αντίστοιχα, υπάρχουν μειωμένα επίπεδα των απαραίτητων αμινοξέων, όπως είναι η λυσίνη, η μεθειονίνη και η θρεονίνη (Montero & Izquierdo , 2010) στα φυτικά άλευρα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι, έχουν βρεθεί ανισορροπίες μεταξύ των απαραίτητων αμινοξέων, καθώς και στην αναλογία $\omega 3/\omega 6$ πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Επίσης έχει παρατηρηθεί ελάχιστη βιοδιαθεσιμότητα μετάλλων, όπως του φωσφόρου, του ασβεστίου και του σεληνίου, καθώς υπάρχουν άφθονοι και διαφοροποιημένοι αντιδιατροφικοί παράγοντες (ANF) στα φυτικά συστατικά. Η παρουσία αντιδιατροφικών παραγόντων αντιπροσωπεύει ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να αντιμετωπιστούν (Francis et al., 2001). Οι αντιδιατροφικοί παράγοντες είναι κυρίως αλκαλοειδή που επηρεάζουν την γευστικότητα και μπορούν να αφαιρεθούν με νερό ή μέσω της εξώθησης (Caruso, 2015). Άλλοι αντιδιατροφικοί παράγοντες είναι οι ολισακχαρίτες, το φυτικό οξύ, οι σαπωνίνες και οι αναστολείς της πρωτεάσης (Rajeev and Bavitha, 2015). Έχουν περιοριστική επίδραση στην ανάπτυξη των ιχθύων ,και επιπλέον μπορεί να προκαλέσουν παθομορφολογικές αλλαγές στο εντερικό επιθήλιο τους (Krogdahl et al., 2003). Εντερικές φλεγμονώδεις διεργασίες που προκαλούνται από τους αντιδιατροφικούς παράγοντες έχουν τεκμηριωθεί για την ιριδίζουσα πέστροφα που τρέφεται με σόγια (Ostaszewska et al., 2005) και για τον σολομό του Ατλαντικού (Krogdahl et al., 2003). Αυτά τα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά των φυτικών ζωοτροφών καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή τους στις ιχθυοτροφές ειδικά για τα θαλάσσια σαρκοφάγα είδη ιχθύων. Ωστόσο, έχει αποδειχτεί ότι, εάν οι απαιτήσεις στα απαραίτητα λιπαρά οξέα και μια ισορροπημένη αναλογία $\omega 3/\omega 6$ πολυακόρεστων λιπαρών οξέων παρέχονται στις ιχθυοτροφές, το ιχθυέλαιο θα μπορούσε να

αντικατασταθεί μέχρι και σε ποσοστό 70% από μικτά φυτικά έλαια σε θαλάσσια σαρκοφάγα είδη ιχθύων (Oliva-Teles et al., 2015).

1.3 Μικροφύκη

Τα μικροφύκη είναι από τους παλαιότερους οργανισμούς που εμφανίστηκαν στη γη (Ansari et al., 2021). Τα τελευταία 50 χρόνια, τα μικροφύκη έχουν διερευνηθεί αρκετά για την παραγωγή ελαίων, πρωτεϊνών, υδατανθράκων, χρωστικών και άλλων προϊόντων προστιθέμενης αξίας για διάφορους σκοπούς. Είναι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούν το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και την ενέργεια του ηλιακού φωτός για να παράγουν μια ποικιλία από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, μέταλλα, βιταμίνες, πολυφαινόλες, φλαβονοειδή και καροτενοειδή (Ahmad et al., 2022). Τα μικροφύκη είναι ο πρωταρχικός παραγωγός στο θαλάσσιο οικοσύστημα και αποτελεί τον κύριο παραγωγό μακράς αλυσίδας πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (Seong et al., 2019). Έχουν την υψηλότερη παραγωγή βιομάζας σε σύγκριση με οποιοδήποτε φυτό ή ζώο (Rizwan et al., 2018). Σε αντίθεση με τα χερσαία φυτά, δεν χρειάζονται γόνιμο έδαφος για να αναπτυχθούν (Ahmad et al., 2022), καθώς μπορούν να αναπτυχθούν στο θαλασσινό νερό ή και στα λύματα (Li et al., 2019). Επιπρόσθετα, σε αντίθεση με τα έντομα και τα βακτήρια, τα μικροφύκη έχουν ελάχιστες διατροφικές απαιτήσεις (Ahmad et al., 2022). Τα κυριότερα στελέχη που καλλιεργούνται ανήκουν στα γένη *Chlorella*, *Dunaliella*, *Arthrospira*, *Nannochloropsis*, *Isochrysis*, *Haematococcus* και *Schizochytrium* (Brennan & Owende, 2010). Τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται ήδη ως τροφές για *Rotifers* και *Artemia* ως πλούσια πηγή ω-3 και ω-6 λιπαρών οξέων (Yamasaki et al., 2007). Είδη μικροφυκών, συμπεριλαμβανομένων των *Spirulina sp.*, *Dunaliella sp.*, *Isochrysis sp.*, *Pavlova sp.*, και άλλων, χρησιμοποιούνται επίσης ως τροφή για προνύμφες στα εκκολαπτήρια, αν και συνήθως δεν καλλιεργούνται σε μεγάλη κλίμακα (Ahmad et al., 2022). Ως εκ

τούτου, ως υποκατάστατα των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στην υδατοκαλλιέργεια, έχουν πολλά πλεονεκτήματα και έχουν προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα και τις βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας (Osmond et al., 2021).

Ένα πλεονέκτημα των μικροφυκών είναι ότι η σύνθεση τους σε πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες και χρωστικές, είναι ιδανική για την ανάπτυξη και την υγεία των ιχθύων (Ahmad et al., 2022). Στον Πίνακα 1.4 εμφανίζεται μια πιο λεπτομερής ανάλυση της θρεπτικής σύστασης ορισμένων μικροφυκών σημαντικής σημασίας στην παραγωγή ιχθυοτροφών. Τα μικροφύκη μπορούν να περιέχουν μέχρι και 60% πρωτεΐνη, 60% υδατάνθρακες ή 70% λίπος, ανάλογα με το είδος των μικροφυκών και τις συνθήκες ανάπτυξής τους (Ahmad et al., 2022). Επίσης, σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι, οι δευτερογενείς μεταβολίτες που παράγονται από τα μικροφύκη έχουν εγγενείς αντιοξειδωτικές, αντιβακτηριακές, αντιφλεγμονώδεις και ανοσοδιεγερτικές ιδιότητες που ωφελούν τόσο τα θαλάσσια όσο και τα είδη του γλυκού νερού (Ahmad et al., 2022).

Πίνακας 1.4. Θρεπτική σύσταση μικροφυκών που χρησιμοποιούνται σε ιχθυοτροφές.

% dwt	<i>Spirulina</i>	<i>Chlorella</i>	<i>Scenedesmus</i>	<i>Isochrysis</i>	<i>Nannochloropsis</i>	<i>Schizochytrium</i>	<i>Dunaliellas sp.</i>
Πρωτεΐνες	55,8	51-58	50-56	41,00	33,5	12,5	40,46
Υδατάνθρακες	22,2	15,84	25,39	14,46	36,2	38,9	20,44
Λιπίδια	14,2	14-22	16,02	17,72	23,6	40,2	15,51
DHA	0,30	2,6	---	2,49	1,1	7,60	0,36
EPA	0,25	0,40	0,41	0,22	3,47	0,08	0,6

Πηγή: Nagappan et al. (2021), Dineshbabu et al. (2019).

Τα μικροφύκη έχουν επίσης ένα καλά ισορροπημένο προφίλ αμινοξέων, αποφεύγοντας την ανάγκη για υψηλού κόστους συμπληρώματα αμινοξέων στη διατροφή των ιχθύων (Nagappan et al., 2021). Για παράδειγμα, τα μικροφύκη όπως τα *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Porphyridium*, *Isochrysis* και *Nannochloropsis* έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε μεθειονίνη, η οποία δεν συναντάται συχνά στα φυτικά προϊόντα (Wan et al., 2019). Ο τύπος των υδατανθράκων είναι μια σημαντική ιδιότητα των ιχθυοτροφών. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε άμυλο – ένας εύκολα αφομοιώσιμος υδατάνθρακας στα είδη μικροφυκών κυμαίνεται από 7% έως 45% (Dragone et al., 2011). Είδη συμπεριλαμβανομένων των *Tetraselmis subcordiformis*, *Chlamydomonas reinhardtii* και *Chlorella vulgaris* έχουν συγκριτικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε άμυλο (30-49%) από άλλα μικροφύκη (Dragone et al., 2011). Η περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες – ένας σύνθετος υδατάνθρακας στα μικροφύκη κυμαίνεται από 5% έως 18% (Matos et al., 2016). Σε αντίθεση με τα φυτά, οι ίνες μικροφυκών στερούνται λιγνίνης και περιέχουν χαμηλή ημικυτταρίνη, γεγονός που

υποδηλώνει καλύτερη πεπτικότητα (Niccolai et al., 2019). Είδη μικροφυκών συμπεριλαμβανομένου του *Spirulina sp.* και *Chlorella vulgaris* έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ίνες 8,5% και 5,6% αντίστοιχα ενώ τα είδη του γένους *Nannochloropsis*, *Tetraselmis*, *Trisochrysis* και *Phaeodactylum* έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε ίνες (Niccolai et al., 2019).

Σε σύγκριση με άλλα συστατικά των χερσαίων φυτών (για παράδειγμα η σόγια), κάποια είδη μικροφυκών είναι πλούσια σε απαραίτητα λιπαρά οξέα, συμπεριλαμβανομένου του εικοσαπεντανοϊκού οξέος (EPA) και του εικοσιδυαεξανοϊκού οξέος (DHA), τα οποία δεν μπορούν να συντεθούν από τα ζώα *de novo*. Τα ω-3 λιπαρά οξέα μπορούν να βρεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις σε επιλεγμένους θαλάσσιους ιχθύες οι οποίοι διατρέφονται με μικροφύκη. Σε μια μελέτη που περιλάμβανε διάφορες εναλλακτικές τροφές, τα πλούσια σε ω-3 λιπαρά οξέα μικροφύκη βρέθηκαν να είναι ένα κατάλληλο υποκατάστατο για τα λιπίδια στις ιχθυοτροφές, καθώς και για το ιχθυέλαιο (Cottrell et al., 2020). Επίσης, μπορούν να παράγουν συγκεντρώσεις των απαραίτητων λιπαρών οξέων που κυμαίνονται από 7 έως 34% των λιπαρών οξέων (Ahmad et al., 2022). Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs), όπως το EPA (20:5 ω-3) και το DHA (22:6 ω-3) είναι τα σημαντικότερα συστατικά των λιπιδίων των μικροφυκών. Τα είδη μικροφυκών, όπως τα *S. limacinum*, *P. tricornutum* και *Nannochloropsis sp.*, αποτελούν το 30-40% των ω-3 λιπαρών οξέων στη συνολική τους περιεκτικότητα (Adarme-Vega et al., 2012). Το *Cryptothecodinium* και το *Schizochytrium* περιέχουν DHA, τα *Phaeodactylum*, *Nitzschia*, *Isochrysis* και *Diacronema* περιέχουν EPA και τα *Cryptothecodinium* και *Schizochytrium* περιέχουν ARA (Ahmad et al., 2022).

Έτσι, πολλοί τύποι μικροφυκών έχουν αποδειχθεί χρήσιμα συστατικά της διατροφής των ιχθύων για την αύξηση της ανάπτυξης, τη βελτίωση της φυσιολογικής

δραστηριότητας, την αντοχή σε ασθένειες, την αντίδραση στο στρες, όπως και την υφή του φιλέτου (Ayala et al., 2020). Επίσης οι χρωστικές μικροφυκών, όπως η ασταξανθίνη, θα μπορούσε να δώσει ελκυστικό χρώμα στους ιχθείς γεγονός το οποίο μπορεί να βοηθήσει την εμπορευσιμότητα τους (Posten and Schaub, 2009). Επιπλέον, τα μικροφύκη έχουν την δυνατότητα να διεγείρουν τη σύνθεση ενδογενών ενζύμων και να παρέχουν εξωγενή ένζυμα που ωφελούν την πέψη (Mélo et al., 2016).

Το επίπεδο ένταξης των μικροφυκών στις ιχθυοτροφές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα είδη των μικροφυκών και τα είδη των ιχθύων (Ansari et al., 2021). Αρκετά είδη μικροφυκών, τα οποία παράγονται είτε αυτότροφα ή ετερότροφα έχουν δοκιμαστεί σε δίαιτες θαλάσσιων ιχθύων για την υψηλή περιεκτικότητά τους σε EPA και/ή DHA, συμπεριλαμβανομένων αυτά από το γένος *Crypthecodinium* (Eryalçin et al., 2015), *Nannochloropsis* (Eryalçin et al., 2015), *Phaeodactylum* (Sørensen et al., 2016) και *Schizochytrium* (Metsoviti et al., 2018). Η περιεκτικότητά τους σε λιπίδια και τα προφίλ των λιπαρών οξέων εξαρτώνται από το είδος και το στάδιο ανάπτυξης, αλλά και από τις διαφορετικά χαρακτηριστικά της παραγωγής και της τεχνολογίας επεξεργασίας που χρησιμοποιείται (Carvalho et al., 2020). Επομένως, τα διατροφικά προφίλ των λιπαρών οξέων και οι συνδυασμοί τους μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν με τα απαραίτητα λιπαρά οξέα στις απαιτήσεις των διαφόρων ειδών ιχθύων και καρκινοειδών καθώς και στα στάδια ανάπτυξής τους. Για παράδειγμα, προϊόντα που προέρχονται από το γένος *Crypthecodinium*, το *Thraustochytrium* ή το *Schizochytrium* έχουν πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε DHA (Qiu et al., 2001), ενώ εκείνα που προέρχονται από το *Phaeodactylum* ή το *Nannochloropsis* είναι πλούσια σε EPA (Eryalçin et al., 2015). Έτσι, η πλήρης αντικατάσταση του ιχθυελαίου από ένα *Crypthecodinium* προϊόν σε δίαιτες πρώιμου απογαλακτισμού της τσιπούρας (*Sparus aurata*) μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις DHA αυτού του είδους (Eryalçin et al., 2015).

Ωστόσο, οι απαιτήσεις της τσιπούρας για EPA δεν καλύπτονταν από αυτό το είδος μικροφυκών. Έτσι, έπρεπε να συμπληρωθούν πηγές EPA από άλλο είδος μικροφυκών όπως το *Nannochloropsis gaditana*, για να επιτευχθεί η μέγιστη ανάπτυξη.

Ένα είδος μικροφυκών, το *Schizochytrium sp.*, έδειξε ότι έχει υψηλό περιεχόμενο λιπιδίων με σχετικά υψηλό επίπεδο DHA. Πρόσφατα, επιτεύχθηκε χωρίς σημαντική καθυστέρηση ανάπτυξης, η ολική αντικατάσταση του ιχθυελαίου και του ιχθυαλεύρου από ένα μείγμα φυτικών αλεύρων και άλευρο από *Schizochytrium sp.* σε δίαιτα για φαγγρί (*Pagrus major*) (Seong et al., 2019). Επιπλέον, σύμφωνα με τα αποτελέσματα μιας έρευνας, τα μικροφύκη του είδους *Nannochloropsis* μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποσοστό 10% στη δίαιτα των ιχθύων χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση ανάπτυξης και στην υγεία του σολομού (*Salmo salar*) (Sørensen et al., 2017). Επίσης, υπήρξαν αρκετές μελέτες για τη χρήση μικροφυκών *Chlorella* σε ιχθυοτροφές ειδών ιχθύων, όπως ο σταυροειδής κυπρίνος (*Carassius auratus*) (Shi et al., 2017), το αφρικανικό γατόψαρο (*Clarias gariepinus*) (Enyidi, 2017) και η τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) (Badwy et al., 2008). Μέσω αυτών των μελετών, οι δίαιτες που περιείχαν αλεύρι μικροφυκών του είδους *Chlorella*, έδειξαν μια ικανοποιητική απόδοση ανάπτυξης και χρήση σε τροφές.

1.3.1 Μικροφύκη του γένους *Schizochytrium*

Το *Schizochytrium sp.* (SC), είναι ένα ταχέως αναπτυσσόμενο είδος μικροφυκών το οποίο ανήκει στην οικογένεια *Thraustochytrid* (Lee et al., 2022). Μεταξύ των διαφόρων ειδών μικροφυκών, το *Schizochytrium limacinum* παράγεται μέσω ετερότροφης αναπαραγωγής και θεωρείται ένας μικροοργανισμός με μεγάλες δυνατότητες για τη βιομηχανική παραγωγή DHA (Osmond et al., 2021; Sarker et al.,

2016). Έχει αποδειχθεί, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ότι έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε DHA μεταξύ των διάφορων ειδών μικροφυκών και μπορεί να βελτιστοποιήσει τις συνθήκες ανάπτυξης παρέχοντας υψηλότερο DHA (έως και 60 % εμπλουτισμό) (Lee et al., 2022). Επομένως, το *Schizochytrium* έχει επιβεβαιωθεί ότι είναι αποτελεσματικό σε διάφορες μορφές, όπως ένα πιθανό υποκατάστατο του ιχθυάλευρου στη σύνθεση τροφής του γατόψαρου του καναλιού (Li et al., 2009), της τσιπούρας (Ganuza et al., 2008), του σολομού του Ατλαντικού (Miller et al., 2007) και των λευκών γαριδών (Allen et al., 2019). Σε αυτές τις μελέτες, το *Schizochytrium* αποδείχθηκε ότι είναι μια διακεκριμένη πηγή πολυακόρεστων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας (LC-PUFA), όπως το DHA. Ωστόσο, λίγη προσοχή έχει δοθεί στην αξιολόγηση των δυνατοτήτων του ως υποκατάστατο του ιχθυελαίου, ιδιαίτερα σε είδη όπως η ιριδίζουσα πέστροφα *Oncorhynchus mykiss* που απαιτεί υψηλά διαιτητικά λιπίδια (Lee et al., 2022).

Έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά ότι η αντικατάσταση του ιχθυελαίου σε λευκές γαρίδες Ειρηνικού (*Litopenaeus vannamei*) με το *Schizochytrium* βελτίωσε σημαντικά τις αντιοξειδωτικές δραστηριότητες και δεν προκάλεσε αρνητική επίδραση στην υπεροξειδωση των λιπιδίων των μυών (Allen et al., 2019). Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει, επίσης, ότι η μερική ή πλήρης αντικατάσταση του ιχθυελαίου με έλαιο από *Schizochytrium sp.* δεν είχε αρνητικές επιπτώσεις στην πεπτικότητα των διατροφικών θρεπτικών συστατικών σε νεαρά άτομα σολομού του Ατλαντικού (Tibbettsa et al., 2020). Ακόμη, η σίτιση με άλευρο από *Schizochytrium* βρέθηκε ότι βελτιώνει την απόδοση ανάπτυξης και τα ολικά πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας στην λίτσα (*Trachinotus ovatus*) και στη γιγάντια σφυρίδα *Epinephelus lanceolatus* (Xie et al., 2019; García-Ortega et al., 2016).

1.3.2 Έλαιο Veramaris

Το Veramaris oil είναι ένα εμπορικό έλαιο το οποίο περιέχει τα δύο απαραίτητα ω-3 λιπαρά οξέα EPA και DHA από φυσικά θαλάσσια μικροφύκη για τη διατροφή των ζώων (Veramaris, 2022). Οι εγκαταστάσεις της εταιρίας βρίσκονται στο Μπλερ της Νεμπράσκα – ακριβώς στη μέση των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Συγκεκριμένα, το έλαιο αυτό παράγεται από ένα στέλεχος μικροφυκών, το *Schizochytrium sp* το οποίο παράγει φυσικά τα ω-3 λιπαρά οξέα EPA και DHA. Το Veramaris είναι μια βιώσιμη και σταθερή εναλλακτική πηγή EPA, DHA και ARA με προφίλ που είναι καλύτερο από άλλες πηγές ω-3 ακόμη και από το ιχθυέλαιο, καθώς ενισχύει αποτελεσματικά την παραγωγή του σολομού του Ατλαντικού. Ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε ω3 και ω6 λιπαρά οξέα διατηρώντας παράλληλα κατάλληλες τις αναλογίες τους για την βελτιωμένη υγεία και ευημερία του σολομού σε όλη την διάρκεια της παραγωγής. Τα οφέλη του Veramaris oil αναφέρονται στην Εικόνα 1.3 και τα συστατικά του στον πίνακα 1.4 (Veramaris, 2022).



Εικόνα 1.3. Οφέλη του Veramaris oil. (Πηγή: <https://www.veramaris.com>)

Πίνακας 1.5. Συστατικά του Veramaris oil.

Μέτρηση	Μονάδα μέτρησης	Αποτέλεσμα
ω-3	% area under the curve	67-71%
EPA+DHA	% area under the curve	63-65%
EPA	% area under the curve	14-16%
DHA	% area under the curve	47-49%
DPA	% area under the curve	2-3%
ARA	% area under the curve	2-3%
Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα	% area under the curve	71-75%
Κορεσμένα λιπαρά οξέα	% area under the curve	23-27%
ω-6	% area under the curve	7-8%
Χοληστερόλη	Wt %	0,04-0,1%
Ιξώδες	mPas	35-45 mPas @ 25°C 20-30 mPas @ 60 °C
Πυκνότητα	g/mL	0,94-0,95 @ 25°C 0,91 – 0,92 @ 60°C
Ενέργεια	MJ/kg	39 MJ/kg
Ξηρά ουσία	Wt %	>99,25 %
Υγρασία	Wt %	<0,75 %
Ακατέργαστο Λίπος	Wt %	98,8-99,2%
Τέφρα	Wt %	0,4%

Πηγή : <https://www.veramaris.com>

1.4 Σκοπός έρευνας

Το ιχθυέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως ως πηγή των απαραίτητων n-3 λιπαρών οξέων, και συγκεκριμένα των EPA και DHA. Ωστόσο, λόγω της στάσιμης διαθεσιμότητας, της αυξανόμενης τιμής και των περιβαλλοντικών ανησυχιών, υπάρχει ανάγκη να αντικατασταθεί περαιτέρω το διαιτητικό ιχθυέλαιο στη διατροφή των ψαριών προς μια πιο βιώσιμη παραγωγή υδατοκαλλιέργειας. Τα φυτικά έλαια έχουν αντικαταστήσει το ιχθυέλαιο εδώ και δεκαετίες, αλλά αυτές οι ζωοτροφές στερούνται EPA και DHA. Από την άλλη πλευρά, τα έλαια μικροφυκών είναι πλούσια σε EPA και DHA, αλλά η διαθεσιμότητα και οι υψηλές τιμές τους περιορίζουν τη χρήση τους στις τρέχουσες ιχθυοτροφές. Το έλαιο Veramaris είναι ένα εμπορικό προϊόν μικροφυκών, από τα ελάχιστα που υπάρχουν σήμερα στην αγορά, που περιέχει περίπου το 60% EPA+DHA σε σύγκριση με τα συμβατικά ιχθυέλαια που περιέχουν 20% EPA+DHA. Ως εκ τούτου, στόχος της παρούσας έρευνας ήταν η αξιολόγηση της μερικής (κατά 50%) και πλήρους (100%) αντικατάστασης του ιχθυελαίου της τροφής από το έλαιο Veramaris στην αναπτυξιακή απόδοση, τη θρεπτική σύσταση και τη σύσταση των λιπαρών οξέων του ευρωπαϊκού λαβρακιού (*D. labrax*).

Για τον σκοπό αυτό διεξήχθη διατροφικό πείραμα με το λαβράκι, διάρκειας 73 ημερών, όπου τρεις διαφορετικές ομάδες ιχθύων διατράφηκαν με διαφορετικό σιτηρέσιο η κάθε μία. Η ομάδα του μάρτυρα (FO-100) διατράφηκε με σιτηρέσιο που περιείχε 6% ιχθυέλαιο ως πηγή EPA και DHA. Η ομάδα FO-50 διατράφηκε με σιτηρέσιο που περιείχε 3% ιχθυέλαιο (50% υποκατάσταση του ιχθυελαίου της τροφής του μάρτυρα) και 0,92% εμπορικού ελαίου Veramaris, ενώ η ομάδα FO-0 διατράφηκε με σιτηρέσιο που δεν περιείχε ιχθυέλαιο (100% υποκατάσταση του ιχθυελαίου της τροφής του μάρτυρα) και 1,84% εμπορικού ελαίου Veramaris. Όλα τα σιτηρέσια ήταν ισοπρωτεϊνικά (45,7%), ισοενεργειακά (21,5 MJ/Kg), ισολιπιδικά (16%) και

καταρτίστηκαν ώστε να περιέχουν παρόμοια επίπεδα EPA+DHA. Το διατροφικό πείραμα διεξήχθη σε μια μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας στην Βόρεια Εύβοια, της εταιρείας Philosophish A.E.

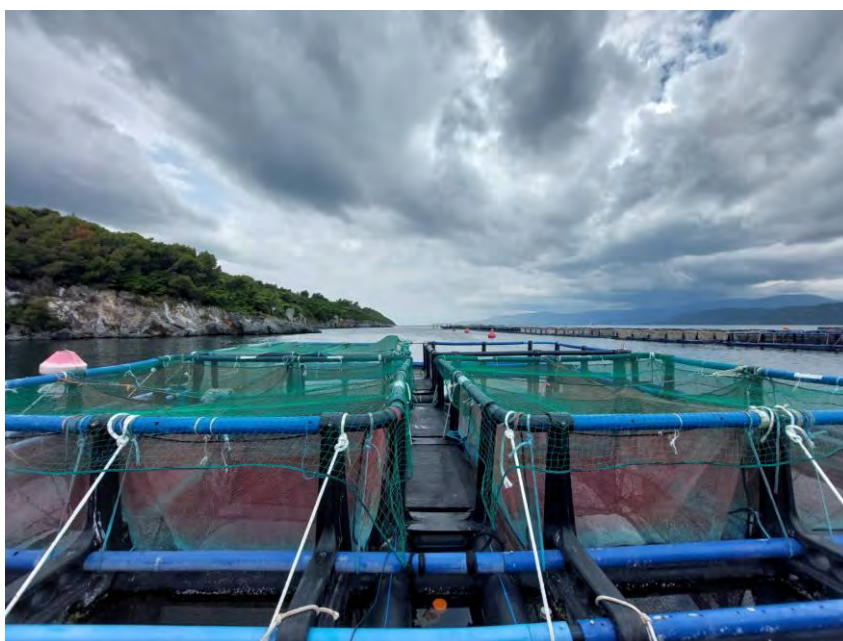
Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας προσδιορίστηκαν διάφορες παράμετροι ανάπτυξης των ιχθύων και αξιοποίησης της τροφής από αυτούς (τελικό βάρος, SGR, FCR, PER κ.λπ.), καθώς και η μακροθρεπτική σύσταση του σώματος και η σύσταση του μυϊκού ιστού σε λιπαρά οξέα.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

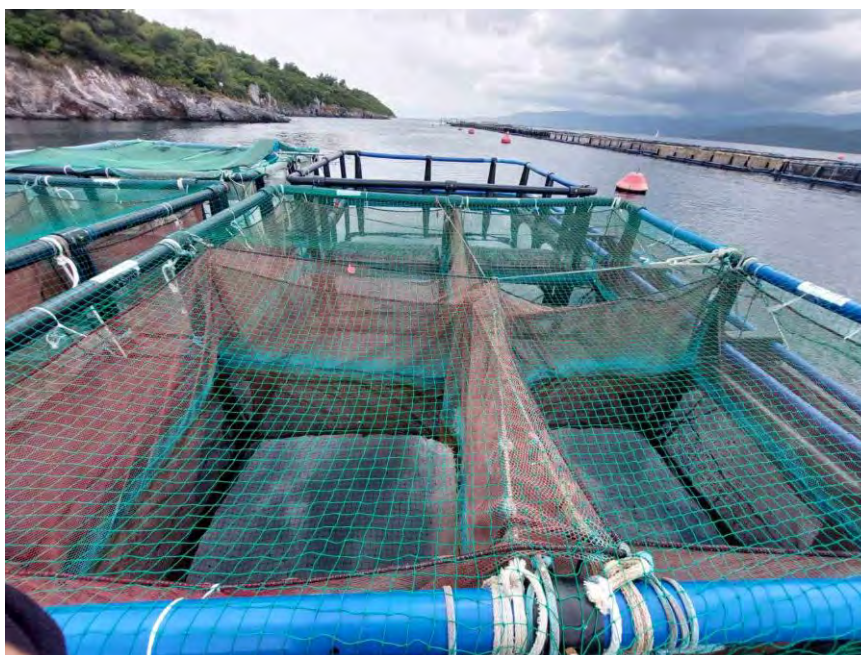
2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Για την διεξαγωγή του πειράματος, ιχθύδια λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) με αρχικό μέσο βάρος $14,5 \pm 0,93\text{g}$, μεταφέρθηκαν σε πειραματικούς πλωτούς κλωβούς, στην μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας ΩΚΕΑΝΙΣ στην Βόρεια Εύβοια, η οποία ανήκει στην εταιρία PHILOSOFISH A.E. Από τον αρχικό πληθυσμό ιχθυδίων, τα 1845 ισο-κατανεμήθηκαν σε 9 πειραματικούς κλωβούς και το πείραμα διήρκησε συνολικά 73 ημέρες (Ιούνιος – Αύγουστος 2023).

Οι διαστάσεις των κλωβών ήταν 2 m x 2 m x 2 m (μήκος x πλάτος x βάθος), και χρησιμοποιήθηκαν δίχτυα από νάυλον με antifouling με άνοιγμα ματιού 8 mm. Το βάθος του αγκυροβολίου, όπου είναι τοποθετημένοι οι πειραματικοί κλωβοί είναι 10 m. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης και αντιαρπαχτικά δίχτυα για την προστασία των ιχθυδίων από τα θαλάσσια πτηνά. Η θέση εγκατάστασης της μονάδας έχει καλή ποιότητα και κυκλοφορία του θαλασσινού νερού με αλατότητα 36 ‰. Η διάταξη των κλωβών απεικονίζεται στις Εικόνες 2.1. και 2.2.



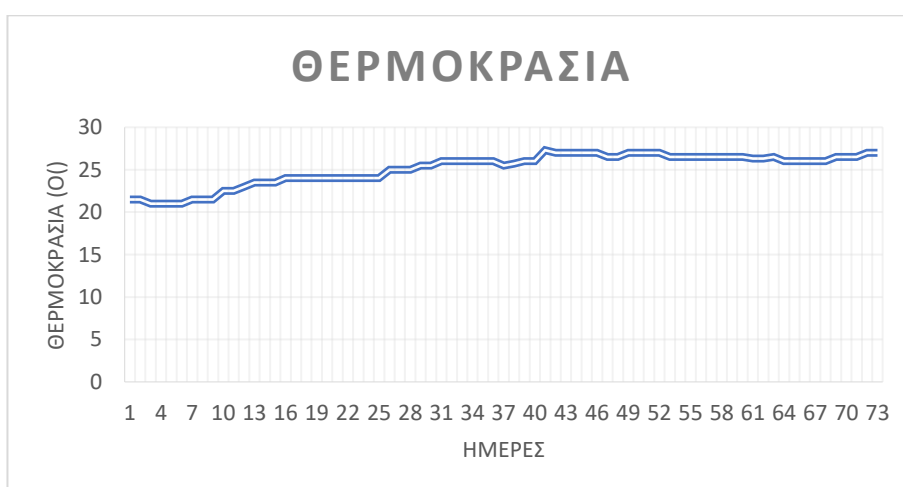
Εικόνα 2.1. Διάταξη πειραματικών κλωβών.



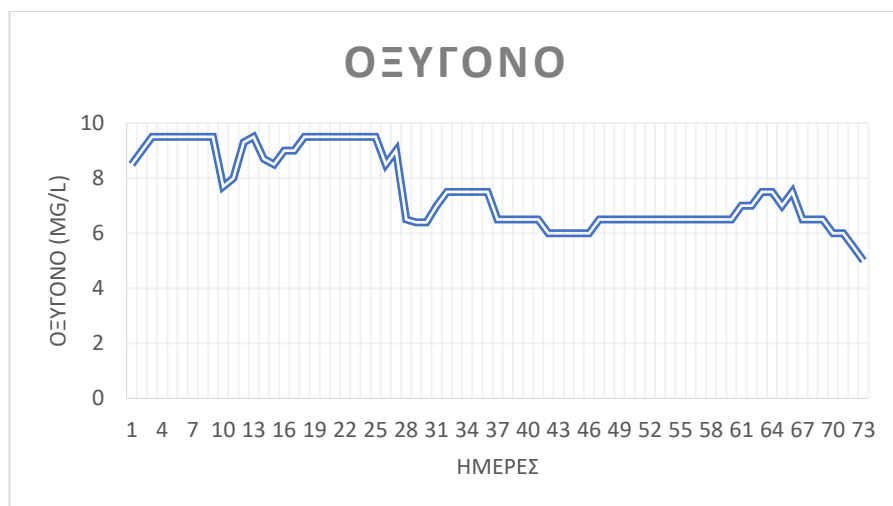
Εικόνα 2.2. Διάταξη πειραματικών κλωβών.

Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος γινόταν καθημερινή καταγραφή των μετρήσεων για τη θερμοκρασία του νερού, και το διαλυμένο οξυγόνο με τη χρήση αισθητήρων θερμοκρασίας και οξυγόνου (Εικ 2.1 και 2.2.)

Τα ιχθύδια διαχωρίστηκαν σε 3 διατροφικές ομάδες, όπου η κάθε μία λάμβανε και διαφορετικό σιτηρέσιο. Η κάθε διατροφική ομάδα αποτελούνταν από 615 ιχθύδια, τα οποία κατανεμήθηκαν σε υποομάδες των 205 ατόμων σε 3 κλωβούς (205 ιχθύδια ανά κλωβό, 3 κλωβοί – επαναλήψεις ανά μεταχείριση, 3 διατροφικές μεταχειρίσεις).



Εικόνα 2.3. Διάγραμμα θερμοκρασίας σε όλη την διάρκεια του πειράματος.



Εικόνα 2.4. Διάγραμμα οξυγόνου σε όλη την διάρκεια του πειράματος.

2.2 Σιτηρέσια – Σίτιση

Τα σιτηρέσια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του συγκεκριμένου πειράματος παρασκευάστηκαν στις εγκαταστάσεις του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου περιβάλλοντος (Θεσσαλία, Βόλος) με την μέθοδο της κοινής πελλετοποίησης. Το σιτηρέσιο ήταν στην μορφή βυθιζόμενου σύμπηκτου με διάμετρο αρχικά 1,5 mm και εν συνεχεία 2,5 mm. Η πελλετομηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του σιτηρεσίου ήταν τύπου California Pellet Mill. (Εικ. 2.5)



Εικόνα 2.5. Πελλετομηχανή τύπου California Pellet Mill

Τα τρία σιτηρέσια καταρτίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ισοενεργειακά (21,45 MJ/Kg) και ισοπρωτεϊνικά (47,28 % της τροφής) και ισολιπιδιακά (16,09 % της τροφής) (Πιν. 2.1). Ως βασική πρωτεϊνική πηγή ζωικής προέλευσης και για τα τρία σιτηρέσια χρησιμοποιήθηκε υψηλής ποιότητας ιχθυάλευρο. Η τροφή μάρτυρας (FO-0) περιείχε αποκλειστικά ιχθυέλαιο ως πηγή λίπους και ω-3 και ω-6 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Για την υποκατάσταση του ιχθυελαίου στις λοιπές πειραματικές τροφές FO-50 και FO-100 χρησιμοποιήθηκε το εμπορικό έλαιο Veramaris το οποίο αποτελείται από έλαιο του είδους *Schizochytrium* sp. σε ποσοστό αντικατάστασης 50% και 100%, αντίστοιχα. Στα σιτηρέσια, επίσης χρησιμοποιήθηκε γλουτένη καλαμποκιού, σογιάλευρο, ηλιάλευρο, κραμβάλευρο και γλουτένη σιταριού ως πρωτεϊνικές πηγές χερσαίας φυτικής προέλευσης και πηγές υδατανθράκων, σύμφωνα με τα μέσα επίπεδα χορήγησης φυτικών πρωτεϊνών σε εμπορικές τροφές του λαβρακιού σήμερα. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε άλευρο σίτου ως ενεργειακή πηγή και ως ενεργειακό αντιστάθμισμα των τριών ισοενεργειακών σιτηρεσίων. Στον Πίνακα 2.2 απεικονίζεται η σύνθεση των λιπαρών οξέων (% των ολικών λιπαρών οξέων) των πειραματικών τροφών με τις οποίες διατράφηκε το λαβράκι (*D.labrax*).

Για τον εμπλουτισμό των τροφών χρησιμοποιήθηκαν μικροσυστατικά τα οποία διατηρήθηκαν σε σταθερές ποσότητες και στα τρία διαφορετικά σιτηρέσια και ήταν ένα εμπορικό πρόμιγμα βιταμινών και ανόργανων στοιχείων (για τσιπούρα και λαβράκι) με συμμετοχή 1%, καθώς και οι βιταμίνες E και C σε ποσοστό 0,10% η καθεμία. Σε ολόκληρη την πειραματική περίοδο των 73 ημερών, η χορήγηση της τροφής γινόταν καθημερινά με το χέρι. Η σίτιση γινόταν μέχρι κορεσμού (*ad libitum*) και λάμβανε χώρα δύο φορές την ημέρα, στις 8:30 π.μ. και στις 14:30 μ.μ.

Πίνακας 2.1. Συστατικά και ποσοστά συμμετοχής τους στα πειραματικά σιτηρέσια και θρεπτική σύσταση σύσταση (% επί της νωπής ουσίας) των πειραματικών σιτηρεσίων.

Συστατικά (%)	FO-100	FO-50	FO-0
Ιχθυάλευρο	20,00	20,00	20,00
Σιτάρι, άλευρο	10,00	10,00	10,00
Γλουτένη καλαμποκιού	9,00	9,00	9,00
Σογιάλευρο	26,00	26,00	26,00
Ηλιάλευρο	8,10	8,10	8,10
Γλουτένη σιταριού	5,00	5,00	5,00
Ελαιοκράμβη, άλευρο	6,00	6,00	6,00
Ιχθυέλαιο	6,00	3,00	0,00
Σογιέλαιο	7,00	9,08	11,16
Βιταμίνες & ανόργανα στοιχεία	1,00	1,00	1,00
MCP	1,00	1,00	1,00
Βιταμίνη C	0,10	0,10	0,10
Βιταμίνη E	0,10	0,10	0,10
Μεθειονίνη	0,57	0,57	0,57
Veramaris oil	0,00	0,92	1.84
Θρεπτική σύσταση (%)			
Υγρασία	7,28	7,28	7,28
Ξηρά ουσία	92,72	92,72	92,72
Ολικές αζωτούχες ουσίες	47,28	47,28	47,28
Ολικές λιπαρές ουσίες	16,08	16,08	16,08
Υδατάνθρακες ¹	23,18	23,18	23,18
Τέφρα	6,46	6,46	6,47
Ενέργεια (KJ/g)	21,46	21,45	21,44
EPA	0,81	0,64	0,47
DHA	0,76	0,93	1,11
DHA + EPA	1,57	1,57	1,57
DHA/EPA	0,93	1,46	2,38

Πίνακας 2.2 Σύνθεση λιπαρών οξέων (% των ολικών λιπαρών οξέων) των πειραματικών τροφών με τις οποίες διατράφηκε το λαβράκι (*D.labrax*).

	FO-100	FO-50	FO-50
12:0	0,05±0,02	0,02±0,00	0,02±0,00
14:0	4,05±0,06	2,20±0,06	2,20±0,06
15:0	0,12±0,08	0,05±0,01	0,05±0,01
16:0	16,06±1,01	14,51±0,27	14,51±0,27
18:0	3,77±0,09	4,13±0,05	4,13±0,05
20:0	0,30±0,00	0,36±0,03	0,36±0,03
22:0	0,23±0,08	0,35±0,03	0,35±0,03
SFA	24,58±1,07	21,63±0,11	21,63±0,11
16:1ω-9	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
16:1ω-7	3,20±0,15	1,95±0,05	1,95±0,05
18:1ω-9	19,42±0,40	20,45±0,28	20,45±0,28
18:1ω-7	1,88±0,10	1,51±0,16	1,51±0,16
20:1ω-9/ω-11	3,08±0,15	1,95±0,07	1,95±0,07
22:1ω-9/ω-11	3,54±0,67	0,14±0,01	0,14±0,01
24:1ω-9	0,30±0,03	0,25±0,00	0,25±0,00
MUFA	31,42±0,16	26,25±0,41	26,25±0,41
18:2ω-6	29,76±0,13	36,70±0,42	36,70±0,42
18:3ω-6	0,07±0,00	0,05±0,00	0,05±0,00
20:2ω-6	0,11±0,00	0,08±0,00	0,08±0,00
20:3ω-6	0,09±0,05	0,04±0,00	0,04±0,00
20:4ω-6	0,22±0,01	0,31±0,02	0,31±0,02
22:4ω-6	0,25±0,21	0,10±0,05	0,10±0,05
22:5ω-6	0,07±0,02	0,20±0,02	0,20±0,02
ω-6 PUFA	30,57±0,10	37,48±0,42	37,48±0,42
18:3ω-3	3,98±0,24	4,71±0,08	4,71±0,08
18:4ω-3	1,45±0,07	0,83±0,01	0,83±0,01
20:3ω-3	0,05±0,00	0,04±0,00	0,04±0,00
20:4ω-3	0,31±0,02	0,22±0,01	0,22±0,01
20:5ω-3	3,88±0,43	3,64±0,25	3,64±0,25
22:5ω-3	0,43±0,07	0,55±0,07	0,55±0,07
22:6ω-3	3,34±0,53	4,65±0,55	4,65±0,55
ω-3 PUFA	13,43±1,32	14,64±0,95	14,64±0,95
ω-3/ω-6	0,44±0,04	0,39±0,03	0,39±0,03

Σημ.: Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπική απόκλιση (n=3 κλωβούς). Σε κάθε παράμετρο, οι τιμές μεταξύ των διατροφικών ομάδων που δεν φέρουν κοινό εκθέτη είναι σημαντικά διαφορετικές (P<0,05).

2.3 Δειγματοληψίες

Κατά τη διάρκεια της εκτροφής των ιχθυδίων πραγματοποιήθηκαν 3 δειγματοληψίες για μετρήσεις βάρους: στην έναρξη του πειράματος, την 45^η και μία τελική την 73^η ημέρα. Πριν την έναρξη κάθε δειγματοληψίας πραγματοποιούνταν ασιτία διάρκειας 24 ωρών. Για την αναισθητοποίηση των ψαριών χρησιμοποιήθηκε φαινοξυαιθανόλη σε συγκέντρωση 0,10 ml/l. Στη συνέχεια, ζυγίζονταν ανά 25 ιχθύδια σε ζυγό ακριβείας. Στην τελική μέτρηση (73^η ημέρα) τα ψάρια θανατώθηκαν παρατείνοντας την παραμονή τους στο αναισθητικό αυξανόμενης δοσολογίας και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν άμεσα σε πάγο.

2.4 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

2.4.1 Αύξηση ολικού βάρους ψαριών

Η αύξηση του ολικού βάρους είναι το καθαρό βάρος του σώματος των ψαριών που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Αύξηση ολικού βάρους (g)} = W_t (\text{τελικό βάρος}) - W_a (\text{αρχικό βάρος})$$

2.4.2 Ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους

Το ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους αντιπροσωπεύει την εκατοστιαία (%) αύξηση του βάρους σώματος και υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Ποσοστό αύξησης βάρους (\%)} = [(W_{\text{τελικό}} - W_{\text{αρχικό}}) / W_{\text{αρχικό}}] \times 100$$

2.4.3 Συνολική κατανάλωση τροφής

Η συνολική κατανάλωση τροφής εκφράζει τη μέση κατανάλωση της τροφής ανά ψάρι κάθε διατροφικής ομάδας και υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Συν. Κατανάλωση} = \text{ολική κατανάλωση τροφής} / \text{αριθμός ψαριών (κάθε μεταχείρισης)}$$

2.4.4 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (specific growth rate, SGR) εκφράζει την ημερήσια ποσοστιαία αύξηση του ολικού βάρους του ψαριού στο χρονικό διάστημα που σιτίστηκε και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{SGR (\% / ημέρα)} = \{100 \times [\text{Ln} (W_2) - \text{Ln} (W_1)] / \text{ημέρες σίτισης}\}$$

Όπου,

$\text{Ln} (W_2)$ = ο φυσικός λογάριθμος του τελικού ολικού βάρους

$\text{Ln} (W_1)$ = ο φυσικός λογάριθμος του αρχικού ολικού βάρους

2.4.5 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (food conversion ratio, FCR) εκφράζει το βαθμό αξιοποίησης της τροφής από τα ψάρια και δίνεται από τον λόγο της ποσότητας της τροφής που χορηγήθηκε προς την αύξηση του ολικού βάρους τους. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{FCR} = \text{τροφή που χορηγήθηκε (g)} / \text{αύξηση βιομάζας των ζωντανών ιχθύων (g)}.$$

2.4.6 Κατακράτηση πρωτεΐνης

Η κατακράτηση της πρωτεΐνης δίνεται από τον εξής λόγο:

$$\text{Κατακράτηση πρωτεΐνης (\%)} = 100 \times \frac{\text{πρωτεΐνη που αποκτήθηκε στο σώμα (g)}}{\text{καταναλωθείσα πρωτεΐνη (g)}}$$

2.4.7 Κατακράτηση λίπους

Η κατακράτηση του λίπους δίνεται από τον εξής λόγο:

$$\text{Κατακράτηση λίπους (\%)} = 100 \times \frac{\text{λίπους που αποκτήθηκε στο σώμα (g)}}{\text{καταναλωθέν λίπος (g)}}$$

2.5 Χημικές αναλύσεις

2.5.1 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών

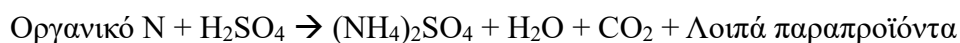
Ο προσδιορισμός των ολικών λιπαρών ουσιών στα συστατικά των ιχθυοτροφών και στις ιχθυοτροφές που παρασκευάστηκαν στην συνέχεια έγινε με την μέθοδο

εκχύλισης Soxhlet (AOAC 1995). Συγκεκριμένα σε ειδικά γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν 3-4 πέτρες βρασμού οι οποίες χρησίμευαν για τον ομαλό βρασμό του δείγματος και καταγράφηκε το βάρος τους σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στη συνέχεια προστέθηκαν σε κάθε γυάλινο δοχείο ένας μεταλλικός υποδοχέας μαζί με ένα χάρτινο ηθμό. Ζυγίστηκε ποσότητα δείγματος περίπου 2g η οποία και μεταφέρθηκε σε κάθε ηθμό. Το δείγμα μας έπρεπε να είναι αποξηραμένο και αλεσμένο. Η ξήρανση των δειγμάτων έγινε σε φούρνο στους 105°C για περίπου 24 ώρες μέχρι το βάρος του δείγματος να σταθεροποιηθεί. Σε κάθε γυάλινο δοχείο προστέθηκαν 140 ml πετρελαϊκού και έπειτα εμβαπτίστηκαν οι ηθμοί με το δείγμα μας. Όλα τα δοχεία μας μεταφέρθηκαν και τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης και απόσταξης του λίπους (Soxhlet). Η διαδικασία της εκχύλισης και απόσταξης του λίπους αποτελείται από 3 στάδια. Κατά το αρχικό στάδιο το δείγμα υπόκειται σε βρασμό με πετρελαϊκό αιθέρα για τουλάχιστον 25 λεπτά. Σε αυτό το στάδιο εκχυλίζεται μια ποσότητα λίπους, εντούτοις υπάρχει και ποσότητα που δεν εκχυλίζεται μόνο με βρασμό. Στο δεύτερο στάδιο το δείγμα υφίσταται εκχύλιση για 1 ½ ώρα. Πιο αναλυτικά ο πετρελαϊκός αιθέρας περνά από τον ηθμό που περιέχει το δείγμα εκχυλίζοντας μια ποσότητα λίπους, οδηγείται στην φιάλη όπου εξατμίζεται, συμπυκνώνεται, υγροποιείται και διέρχεται ξανά από τον ηθμό εκχυλίζοντας εκ-νέου ποσότητα λίπους επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η εκχύλιση όλων των λιπαρών ουσιών του δείγματος. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο ο διαλύτης εξατμίζεται και η φιάλη με το εκχυλισμένο λίπος εισέρχεται σε πυραντήριο στους 105 °C για 10-15 λεπτά και ψύχεται σε ξηραντήριο. Τέλος ζυγίζεται και η διαφορά βάρους μεταξύ της άδειας αρχικά φιάλης και της φιάλης με το λίπος δίνει την ποσότητα του λίπους στο δείγμα. Ο υπολογισμός του καθαρού βάρους των λιπαρών ουσιών δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Ολικά λιπίδια \%} = (W(g)_{\text{τελικό δοχείο εκχύλισης}} - W(g)_{\text{αρχικό δοχείο εκχύλισης}}) \times 100$$

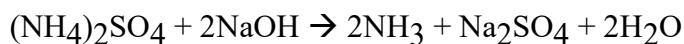
2.5.2 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ουσιών

Απαραίτητη διαδικασία για την εκπόνηση του πειράματος ήταν και ο υπολογισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών. Ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl (AOAC 1995). Όπως και στον προσδιορισμό των ολικών λιπαρών ουσιών τα δείγματα προέρχονται από τα συστατικά των ιχθυοτροφών και τις ιχθυοτροφές που παρασκευάστηκαν. Η διαδικασία ξεκινάει με το ζύγισμα σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων, ποσότητας αλεσμένου δείγματος 0,2g και 3 επαναλήψεις για κάθε δείγμα και καταγραφή του βάρους τους. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στους δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης. Σε κάθε σωλήνα με δείγμα προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs (5g Potassium Sulphate K_2SO_4 και 5g copper (II) Sulphate $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) για να επιτευχθεί η αντίδραση της πέψης και 15ml πυκνού θεικού οξέως (H_2SO_4). Οι φιάλες τοποθετήθηκαν με την βάση τους στην συσκευή πέψης Kjeltec 2000 στη θέση βρασμού. Πάνω από τη βάση με τις φιάλες τοποθετείτε το ειδικό καπάκι με τις υποδοχές αναρρόφησης των αερίων. Η διαδικασία της πέψης πραγματοποιείτε στους 105 °C για 85 λεπτά. Κατά τη διάρκεια της πέψης γίνεται βρασμός των δειγμάτων όπου με τη βοήθεια πυκνού θεικού οξέως γίνεται διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων. Στο στάδιο της πέψης το αδέσμευτο άζωτο δεσμεύεται με τη μορφή θεικού αμμωνίου με βάση την παρακάτω αντίδραση:

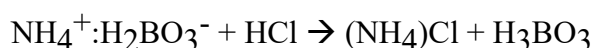


Μετά την ολοκλήρωση της πέψης ακολουθεί το στάδιο της απόσταξης. Τα δείγματα αφήνονται να κρυώσουν για 15 περίπου λεπτά πριν να μεταφερθούν στην συσκευή απόσταξης. Στη συσκευή απόσταξης προστέθηκαν 100ml αποσταγμένου νερού, 80ml NaOH και 50ml H_3BO_3 . Το θεικό αμμώνιο που παράχθηκε κατά την διαδικασία της πέψης αντιδρά με το υδροξείδιο του νατρίου και γίνεται αποδέσμευση της αμμωνίας (αέρια μορφή) και θεικού νατρίου. Εν συνεχεία η αμμωνία αντιδρά με

το βορικό οξύ ενώ το άζωτο του δείγματος δεσμεύεται με τη μορφή του βορικού αμμωνίου. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά της διάρκεια της απόσταξης είναι οι εξής:



Το βορικό αμμώνιο συγκεντρώνεται σε κωνική φιάλη που περιείχε 2 σταγόνες ερυθρού του μεθυλενίου (δείκτη pH). Το τελικό στάδιο της διαδικασίας αποτελεί η τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέως (0,1N) υπό καθεστώς συνεχής κίνησης σύμφωνα με την αντίδραση:



Η συγκέντρωση (σε moles) των ιόντων υδρογόνου που απαιτούνται για να καταλύσουν την αντίδραση έως το τελικό σημείο, ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα. Η αλλαγή του χρώματος του δείκτη, από κίτρινο σε φούξια, καταδεικνύει το τελικό σημείο της αντίδρασης. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N %) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\text{N \%} = [(\text{ml HCl} - \text{ml τυφλού}) \times 0,8754] / W_{\text{δείγ/τος}}$$

2.5.3 Προσδιορισμός τέφρας

Ο προσδιορισμός την τέφρας πραγματοποιείται με την εύρεση της περιεκτικότητας ενός δείγματος σε ακατέργαστη τέφρα, η οποία αντιπροσωπεύει τη συνολική ανόργανη ουσία του δείγματος. Σε πυρίμαχα δοχεία ζυγίστηκε δείγμα βάρους 1-3g, σε ζυγαριά ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στην συνέχεια, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον αποτεφρωτήρα, η διαδικασία πραγματοποιήθηκε στους 600 °C για 3 ώρες (AOAC 1990). Μετά το πέρας του τρώρου τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα μέχρι να κρυσώσουν. Στην συνέχεια πάρθηκαν μετρήσεις βάρους των

δειγμάτων. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε τέφρα (%) υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

$$\text{Τέφρα (\%)} = (W \text{ τέφρας (g)} \times 100) / W \text{ δείγματος (g)}$$

2.5.4 Προσδιορισμός υγρασίας/ξηρής ουσίας

Για να γίνει ο προσδιορισμός της υγρασίας και της ξηρής ουσίας, το δείγμα τοποθετείται σε αεριζόμενο ισοθερμικό κλίβανο αποξήρανσης στους 105 °C για περίπου 24 ώρες. Στην συνέχεια, αφού περάσει ο χρόνος ξήρανσης, τα δείγματα τοποθετούνται σε θερμοκρασία δωματίου για 5 λεπτά ώστε να ψυχθούν. Το μηχανικά παγιδευμένο νερό έχει εξατμιστεί και το δείγμα περιέχει πλέον μόνο το χημικά δεσμευμένο νερό. Η απώλεια του βάρους εκφράζει την περιεκτικότητα σε υγρασία ενώ το αποκτηθέν βάρος εκφράζει την ξηρή ουσία. Το ποσοστό της υγρασίας/ξηρής ουσίας υπολογίζεται ως εξής:

$$W_{\text{ξηρής ουσίας}} = W_{\text{δει/τος μετά την ξήρανση μαζί με το δισκίο}} - W_{\text{δισκίου}}$$

$$\text{Ξηρή ουσία \%} = (W_{\text{ξηρής ουσίας}} \times 100) / W_{\text{δει/τος}}$$

$$W_{\text{υγρασία}} = W_{\text{δει/τος}} - (W_{\text{δει/τος μετά την ξήρανση}} - W_{\text{δισκίου}})$$

$$\text{Υγρασία \%} = (W_{\text{υγρασία}} \times 100) / W_{\text{δει/τος}}$$

2.6 Προσδιορισμός λιπαρών οξέων

Ο προσδιορισμός των λιπαρών οξέων έγινε το ολικό λίπος του μυϊκού ιστού των ιχθύων. Για την εκχύλιση του ολικού λίπους χρησιμοποιήθηκε η υγρή μέθοδος Folch et al. (1957) προκειμένου τα δείγματα μετέπειτα να προετοιμαστούν για μεθυλεστεροποίηση και προσδιορισμό του προφίλ των λιπαρών τους οξέων.

Συγκεκριμένα, δείγμα 0,5 - 2 g τοποθετείται σε falcon 50 ml και προσθέτονται 24 ml διαλύτη χλωροφορμίου:μεθανόλης C:M (2:1 v/v). Τα δείγματα αφέθηκαν 2 ώρες σε πάγο για να διασφαλιστεί ότι η εκχύλιση είναι ολοκληρωτική. Κατόπιν σε κάθε δείγμα προστέθηκαν 6 ml διαλύματος χλωριούχου καλίου 0,88% (w/v) σε αποσταγμένο

νερό, ώστε ο τελικός όγκος διαλύματος να είναι C:M:υδατικό διάλυμα 8:4:3 v/v/v. Τα δείγματα ανακινήθηκαν σε vortex και αφέθηκαν για 5 λεπτά σε πάγο. Κατόπιν, δημιουργείται μία υποκείμενη λιποδιαλυτή φάση πλούσια σε χλωροφόρμιο που περιέχει το λίπος και μία υπερκείμενη υδατική φάση πλούσια σε μεθανόλη που περιέχει όλα τα υδατοδιαλυτά συστατικά. Τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν για 10 λεπτά στις 2000 rpm. Η χαμηλότερη οργανική φάση (λίπος) καταλαμβάνει περίπου το 60% του συνολικού όγκου, ενώ η ανώτερη υδατική φάση απομακρύνθηκε προσεκτικά με μία μικροπιπέτα Pasteur και σε κάθε σωλήνα απέμεινε η λιποδιαλυτή φάση.

Η λιποδιαλυτή φάση φιλτράρεται σε προζυγισμένο γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα μέσω φίλτρων Whatman No.1 (τα οποία προηγουμένως έχουν ξεπλυθεί με C:M 2:1). Τα φίλτρα όπως και τα falcon ξεπλένονται εκ νέου και το διάλυμα προστίθεται και αυτό στο γυάλινο σωλήνα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ότι όλο το λίπος έχει παρθεί και δεν έχει προσκολλήσει στα τοιχώματα ή τουλάχιστον ελαχιστοποιούνται οι απώλειες. Έπειτα, ο διαλύτης εξατμίζεται κάτω από ελεύθερου-οξυγόνου αζώτου στον απαγωγό. Τα ολικά λίπη του δείγματος προσδιορίζονται βαρομετρικά από την επαναζύγιση των δοκιμαστικών σωλήνων.

Ο προσδιορισμός των λιπαρών οξέων στο παραγόμενο λίπος έγινε μέσω αέριας χρωματογραφίας (Gas Chromatography, GC). Απαραίτητη προϋπόθεση για τον προσδιορισμό των λιπαρών οξέων μέσω αέριου χρωματογράφου, είναι η μεθυλεστεροποίηση μέσω όξινης καταλυόμενης μετεστεροποίησης. Πιο συγκεκριμένα, 1 mg ολικού λίπους που αποθηκεύτηκε στους -80 °C τοποθετήθηκε σε γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα με καπάκι. Στη συνέχεια προστέθηκε 0,1 mg καθαρό επταδεκανοϊκό οξύ ως εσωτερικός δείκτης και ομογενοποιήθηκε στη συσκευή vortex. Το διάλυμα εξατμίστηκε κάτω από ελεύθερο οξυγόνου άζωτο ώστε να απομακρυνθεί ο διαλύτης. Μετά την ολοκλήρωση της εξάτμισης του διαλύτη, προστέθηκαν 2 ml

αντιδραστηρίου μεθυλεστερεοποίησης μεθανόλης – θειικού οξέος (1% θειικό οξύ σε μεθανόλη (v/v)) και 1 ml τολουένης για να επέλθει η διάλυση των ουδέτερων λιπαρών ομάδων. Κατόπιν ακολουθήσε ομογενοποίηση και έγχυση ελεύθερο - οξυγόνου άζωτο και σφράγισμα των δοκιμαστικών σωλήνων ώστε να τοποθετηθούν σε θερμαινόμενη πλάκα για 16 ώρες στους 50 °C. Στη συνέχεια ο δοκιμαστικός σωλήνας αφαιρέθηκε από τη θερμαινόμενη πλάκα, αφέθηκε σε θερμοκρασία δωματίου για να ψυχθεί και προστέθηκαν 2 ml από 2% (w/v) KHCO_3 , 1 ml ισοεξανίο : διαιθυλεστέρας σε αναλογία 1:1 (v/v) που περιέχει 0,01% (w/v) BHT και 4 ml ισοεξανίο : διαιθυλεστέρας σε αναλογία 1:1 (v/v). Ακολούθησε ομογενοποίηση στη συσκευή vortex και φυγοκέντριση στις 1500 rpm για 2 λεπτά. Το υπερκείμενο οργανικό τμήμα μεταφέρθηκε σε καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα. Στον αρχικό σωλήνα προστέθηκαν 5 ml ισοεξανίο : διαιθυλεστέρας σε αναλογία 1:1 (v/v), ακολούθησε έντονη ανάδευση στη συσκευή vortex και εκ νέου φυγοκέντριση. Το υπερκείμενο οργανικό τμήμα μεταφέρθηκε στο νέο σωλήνα όπως και πριν και ο διαλύτης εξατμίστηκε κάτω από ελεύθερο οξυγόνου άζωτο. Το ξηρό εκχύλισμα του σωλήνα αποτελεί τους μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων του δείγματος του ολικού λίπους (FAME ή Fatty acid methyl esters). Τέλος τα FAME διαλύθηκαν σε 1 ml ισοεξανίο, ομογενοποιήθηκαν στη συσκευή vortex, μεταφέρθηκαν σε γυάλινα φιαλίδια και πριν σφραγιστούν έγινε έγχυση ελεύθερο οξυγόνου αζώτου, ώστε να αποθηκευτούν στους -80 °C για περαιτέρω ανάλυση.

Ο καθαρισμός των FAME πραγματοποιήθηκε με χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (TLC ή Thin Layer Chromatography) σε πλακίδια 20*20 εκ. με επίστρωση silica gel G (Merck silica gel 60). Μια οριζόντια γραμμή σημειώθηκε 1.8 cm από το κάτω άκρο του πλακιδίου απαλά με μολύβι ώστε να τοποθετηθούν 100μL δείγματος των μεθυλεστερών με σύριγγα Hamilton. Σε κάθε πλακίδιο τοποθετήθηκαν 4 δείγματα

μεθυλεστέρων. Στη συνέχεια μέσα σε σφραγισμένο γυάλινο δοχείο προστέθηκαν 100 ml μίγματος ισοεξάνιο : διεθυλαιθέρας : οξικό οξύ σε αναλογία (90:10:1 v/v/v), όπου τοποθετήθηκε το πλακίδιο μέχρι ο διαλύτης να φτάσει 1 cm κάτω από το άνω άκρο. Στη συνέχεια το πλακίδιο αφαιρέθηκε από το γυάλινο δοχείο και τοποθετήθηκε σε απαγωγό ώστε να εξατμιστεί ο διαλύτης. Η οπτικοποίηση των μεθυλεστέρων στο πλακίδιο πραγματοποιήθηκε με ψεκασμό 1% ιωδίου διαλυμένο σε χλωρομεθάνιο (w/v). Με τον τρόπο αυτό, σχηματίστηκαν δύο στοιβάδες: η άνω η οποία περιέχει τα κορεσμένα και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα και η κάτω στιβάδα, η οποία περιείχε τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA). Αφού σημάνθηκε με μολύβι η στοιβάδα που περιείχε τα FAME αφαιρέθηκε με ξυράφι και τοποθετήθηκε σε δοκιμαστικό σωλήνα όπου προστέθηκε 5 ml διαλύτη ισοεξάνιο : διαιθυλεστέρα σε αναλογία 1:1 (v/v) και 1 ml ισοεξάνιο : διαιθυλεστέρα σε αναλογία 1:1 (v/v) που περιείχε 0,01% (w/v) BHT. Στη συνέχεια ακολούθησε φυγοκέντριση, ο διαλύτης αφαιρέθηκε προσεκτικά χωρίς να ταρακουνηθεί η υποκείμενη μάζα silica gel και έγινε διήθηση μέσω προβρεγμένου φίλτρου whatmann No1 σε καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα. Ο διαλύτης εξατμίστηκε κάτω από ελεύθερο οξυγόνου άζωτο. Τέλος, προστέθηκε 1 ml ισοεξάνιο που περιείχε 0,01% (w/v) BHT, ακολούθησε έντονη ανάδευση και μεταφορά σε γυάλινο φιαλίδιο, στο οποίο έγινε έγχυση ελευθέρου - οξυγόνου αζώτου πριν σφραγιστεί και αποθηκευτεί στους -80 °C για περαιτέρω ανάλυση.

Ο διαχωρισμός και η ποσοτικοποίηση των FAME πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας (Mass Spectrometer Clarus SQ 8T- Gas Chromatograph Clarus 680, Perkin Elmer, Εικ. 1.1). Η στήλη διαχωρισμού ήταν τύπου τριχοειδούς συντετηγμένου πυριτίου (30 mm x 0.32 id) επιχρισμένη με κερί στατικής φάσης CP wax 52 (Crompak Ltd London, UK). Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε το υδρογόνο με ρυθμό ροής 2,5 ml /min. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 100 μl

δείγματος FAME τα οποία εισήχθησαν απευθείας στη στήλη διαχωρισμού ώστε να μη διακοπεί η ροή του φέροντος αερίου. Η θερμοκρασία του φούρνου ρυθμίστηκε ώστε να αυξηθεί με βήμα 40 °C/λεπτό από τους 50 °C (θερμοκρασία έγχυσης) στους 150 °C και 2 °C /λεπτό από τους 150 °C στους 225 °C, με την τελευταία να διατηρείται για 5 λεπτά. Αναγνώριση των επιμέρους FAME πραγματοποιήθηκε με τη χρήση γνωστών προτύπων, ενώ το εμβαδόν των κορυφών των λιπαρών οξέων ποσοτικοποιήθηκε, έχοντας ως σημείο αναφοράς το εμβαδόν κορυφής 17:0 (Heptadecanoic acid, Sigma).

2.7 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SPSS. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της Ανάλυσης της Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (one-way ANOVA) και οι διαφορές κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές για τιμές $P < 0,05$. Για τον έλεγχο της κανονικής κατανομής, τα δεδομένα της θνησιμότητας, των παραμέτρων ανάπτυξης των ψαριών και αξιοποίησης της τροφής υποβλήθηκαν στη δοκιμή Shapiro-Wilk, ενώ για τον έλεγχο της ομοιογένειας της παραλακτικότητας χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή Levene.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

3.1.1 Κατά την έναρξη του πειράματος

Το αρχικό μέσο βάρος των ιχθυδίων όλων των διατροφικών ομάδων, FO-100, FO-50 και FO-0 κατά την έναρξη του διατροφικού πειράματος ήταν $14,03 \pm 1,18$, $15,30 \pm 0,36$ και $14,33 \pm 0,81$, αντίστοιχα (Πιν. 3.1). Δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο αρχικό βάρος των ατόμων ($P > 0,05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Πίνακας 3.1. Αρχικό μέσο βάρος (g) των ιχθύων κατά την έναρξη του πειράματος. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους $\pm$ τυπική απόκλιση.

	Σιτηρέσια		
	FO-100	FO-50	FO-0
Αρχικό Βάρος (g)	$14,03 \pm 1,18$	$15,30 \pm 0,36$	$14,33 \pm 0,81$

Σημ.: Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διατροφικών ομάδων, στο αρχικό βάρος των ψαριών ($P > 0,05$).

3.1.2 Αύξηση σωματικού βάρους την 45^η ημέρα πειράματος

Το μέσο βάρος των ψαριών κατά την 45^η ημέρα του διατροφικού πειράματος (Πιν. 3.2) ήταν $26,67 \pm 0,92$ g για τα άτομα που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FO-100, $27,63 \pm 1,60$ g για τα άτομα που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FO-50, ενώ για αυτά που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FO-0 το μέσο βάρος τους ήταν $26,67 \pm 1,21$ g. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε, ότι δεν υπήρχαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μέσων βαρών των ψαριών στα τρία διαφορετικά σιτηρέσια ($P > 0,05$).

Η μέση αύξηση του σωματικού βάρους για την 45^η ημέρα του πειράματος ήταν $12,63 \pm 2,11$ g για τα άτομα της FO-100 μεταχείρισης, $12,33 \pm 1,55$ για τα άτομα της FO-50 μεταχείρισης, ενώ για τα άτομα της FO-0 μεταχείρισης η μέση αύξηση βάρους ήταν $12,33 \pm 0,40$ g. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας δεν έδειξαν την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων ($P < 0,05$).

Η συνολική πρόσληψη τροφής της κάθε διατροφικής ομάδας και η πρόσληψη τροφής ανά ψάρι υπολογίστηκαν ως $3261,5 \pm 67,3$ g και $16,16 \pm 0,23$ g, αντίστοιχα για τα άτομα της FO-100 μεταχείρισης, $3435,1 \pm 167,1$ g και $17,08 \pm 0,88$ g για τα άτομα της FO-50 μεταχείρισης και τέλος $3260,81 \pm 181,44$ g και $16,22 \pm 1,03$ g για την ομάδα με το σιτηρέσιο FO-0. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι τόσο η συνολική πρόσληψη τροφής όσο και η πρόσληψη τροφής ανά ψάρι δεν είχαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων. Μια ελαφρώς αυξημένη τιμή στη συνολική πρόσληψη τροφής και στην κατανάλωση τροφής ανά ψάρι παρατηρήθηκε στην διατροφική ομάδα FO-50.

Ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης της τροφής για την FO-100 διατροφική ομάδα είναι $1,76 \pm 0,03$, για την FO-50 $1,77 \pm 0,03$, και για την FO-0 $1,77 \pm 0,06$. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των ομάδων ($P < 0,05$).

Πίνακας 3.2. Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής του λαβρακιού (*D.labrax*) διατρεφόμενο για 45 ημέρες με τις πειραματικές ιχθυοτροφές.

	FO-100	FO-50	FO-0
Αρχικό βάρος (g/άτομο)	14,03 ± 1,18	15,30 ± 0,36	14,33 ± 0,81
Τελικό βάρος (g/άτομο)	26,67 ± 0,92	27,63 ± 1,60	26,67 ± 1,21
Αύξηση βάρους (g/άτομο)	12,63 ± 2,11	12,33 ± 1,55	12,33 ± 0,40
Ολική κατανάλωση τροφής (g)	3261,5 ± 67,3	3435,1 ± 167,1	3260,81 ± 181,44
Κατανάλωση τροφής ανά άτομο (g)	16,16 ± 0,23	17,08 ± 0,88	16,22 ± 1,03
Ρυθμός κατανάλωσης τροφής (% ΣΒ/ημέρα)	1,76 ± 0,03	1,77 ± 0,03	1,77 ± 0,06
SGR (%/ημέρα)	1,43 ± 0,26	1,31 ± 0,13	1,38 ± 0,03
FCR	1,30 ± 0,23	1,39 ± 0,11	1,31 ± 0,04
PER	1,44 ± 0,21	1,35 ± 0,10	1,42 ± 0,07

Σημ.: Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπική απόκλιση (n=3 κλωβούς). Σε καμία από τις εξεταζόμενες παραμέτρους δεν ανιχνεύθηκαν ($P>0,05$) σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

Οι δείκτες SGR και FCR υπολογίστηκαν σε $1,43 \pm 0,26$ %/ημέρα και $1,30 \pm 0,23$, αντίστοιχα για την ομάδα FO-100, $1,31 \pm 0,13$ %/ημέρα και $1,39 \pm 0,11$ για την ομάδα FO-50 και τέλος $1,38 \pm 0,03$ %/ημέρα και $1,31 \pm 0,04$ για την ομάδα FO-0. Ο δείκτης PER τροφής για την FO-100 διατροφική ομάδα ήταν $1,44 \pm 0,21$, για την FO-50 είναι $1,35 \pm 0,10$, και για την FO-0 είναι $1,42 \pm 0,07$. Σε κανέναν από τους τρεις δείκτες δεν παρατηρήθηκαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P<0,05$). Παρατηρήθηκαν, όμως, υψηλότερες τιμές στο SGR και στο PER και χαμηλότερες στο FCR στις FO-100 και FO-0 διατροφικές ομάδες σε σχέση με την FO-50.

3.1.3 Αύξηση σωματικού βάρους την 73^η ημέρα (ολοκλήρωση του πειράματος)

Κατά την 73^η ημέρα και τέλος του πειράματος, το μέσο βάρος των ψαριών (Πιν. 3.3) ήταν $45,01 \pm 0,50$ g για τα άτομα που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FO-100, $46,12$

$\pm 1,89\text{g}$ για τα άτομα που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FO-50, ενώ για αυτά που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FO-0 το μέσο βάρος τους ήταν $45,66 \pm 1,09\text{g}$. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε, ότι δεν υπήρχαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μέσων βαρών των ψαριών στα τρία διαφορετικά σιτηρέσια ($P < 0,05$).

Η μέση αύξηση του σωματικού βάρους για την 73^η ημέρα του πειράματος ήταν $30,98 \pm 1,16$ για τα άτομα της FO-100 μεταχείρισης, $30,82 \pm 1,88$ για τα άτομα της FO-50 μεταχείρισης, ενώ για τα άτομα της FO-0 μεταχείρισης η μέση αύξηση βάρους ήταν $31,33 \pm 1,06\text{g}$. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας δεν έδειξαν την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων ($P < 0,05$).

Η συνολική πρόσληψη τροφής των ψαριών στο τέλος του πειράματος, ήταν $6613 \pm 1205,0$ για τα άτομα της FO-100 διατροφικής ομάδας, $7358,6 \pm 367,6\text{g}$ για αυτά της FO-50 διατροφικής ομάδας και τέλος $6247,3 \pm 992,8\text{g}$ για αυτά της FO-0 διατροφικής ομάδας. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας δεν έδειξαν την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων ($P < 0,05$).

Η μέση πρόσληψη τροφής ανά ψάρι υπολογίστηκε ως $35,85 \pm 1,65\text{g}$ για τα άτομα της FO-100 μεταχείρισης, $36,68 \pm 1,94\text{g}$ για τα άτομα της FO-50 μεταχείρισης και τέλος $35,80 \pm 1,13\text{g}$ για την ομάδα με το σιτηρέσιο FO-0. Η στατιστική επεξεργασία δεν έδειξε σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

Ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης της τροφής για την FO-100 διατροφική ομάδα ήταν $1,69 \pm 0,01$, για την FO-50 διατροφική ομάδα ήταν $1,66 \pm 0,05$, και για την FO-0 διατροφική ομάδα ήταν $1,66 \pm 0,01$. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των ομάδων.

Η μέση τιμή του ειδικού ρυθμού ανάπτυξης (SGR) ήταν $1,62 \pm 0,11\%$ /ημέρα για τα ψάρια της FO-100 διατροφικής ομάδας, $1,53 \pm 0,06\%$ /ημέρα για τα ψάρια της FO-50 διατροφικής ομάδας, και τέλος για τα ψάρια της FO-0 διατροφικής ομάδας η μέση τιμή ήταν $1,61 \pm 0,07\%$ /ημέρα. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας δεν έδειξαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων. Η μεταχείριση FO-50 φαίνεται να έχει χαμηλότερη τιμή.

Η μέση τιμή για τον συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) εκτιμήθηκε στο $1,16 \pm 0,10$ για τα άτομα της διατροφικής ομάδας FO-100, $1,19 \pm 0,01$ για τα άτομα της διατροφικής ομάδας FO-50 και $1,14 \pm 0,05$ για τα άτομα της FO-0 διατροφικής ομάδας. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές των τιμών του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) για τα ψάρια όλων των διατροφικών ομάδων ($P > 0,05$). Η μεταχείριση FO-0 φαίνεται να έχει ελαφρώς την χαμηλότερη τιμή.

Ο δείκτης PER για τα άτομα της διατροφικής ομάδας FO-100 εκτιμήθηκε στο $1,63 \pm 0,13$, $1,60 \pm 0,02$ για τα άτομα της διατροφικής ομάδας FO-50, και $1,66 \pm 0,07$ για τα άτομα της ομάδας FO-0. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας δεν έδειξαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

Οι τιμές για την κατακράτηση της πρωτεΐνης (%) για την διατροφική ομάδα FO-100 ήταν $66,91 \pm 1,65$, για την διατροφική ομάδα FO-50 ήταν $67,98 \pm 0,70$, και για την διατροφική ομάδα FO-0 ήταν $65,47 \pm 2,89$. Μεταξύ των διατροφικών ομάδων, δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, αλλά παρατηρήθηκε μια μεγαλύτερη τιμή στην ομάδα FO-50.

Οι τιμές για την κατακράτηση του λίπους των ψαριών της διατροφικής ομάδας FO-100, ήταν $132,2 \pm 2,50$, για την διατροφική ομάδα FO-50 ήταν $137,91 \pm 1,81$, και

για την διατροφική ομάδα FO-0 ήταν $147,95 \pm 6,81$. Ωστόσο, η ομάδα FO-0 επέδειξε σημαντικά υψηλότερη κατακράτηση λίπους στο σώμα σε σχέση με την ομάδα FO-100.

Πίνακας 3.3 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής του λαβρακιού (*D.labrax*) διατρεφόμενο για 73 ημέρες με τις πειραματικές ιχθυοτροφές.

	FO-100	FO-50	FO-0
Αρχικό βάρος (g/άτομο)	$14,03 \pm 1,18$	$15,30 \pm 0,36$	$14,33 \pm 0,81$
Τελικό βάρος (g/άτομο)	$45,01 \pm 0,50$	$46,12 \pm 1,89$	$45,66 \pm 1,09$
Αύξηση βάρους (g/άτομο)	$30,98 \pm 1,16$	$30,82 \pm 1,88$	$31,33 \pm 1,06$
Ολική κατανάλωση τροφής (g)	$6613 \pm 1205,0$	$7358,6 \pm 367,6$	$6247,3 \pm 992,8$
Κατανάλωση τροφής ανά άτομο (g)	$35,85 \pm 1,65$	$36,68 \pm 1,94$	$35,80 \pm 1,13$
Ρυθμός κατανάλωσης τροφής (% ΣΒ/ημέρα)	$1,69 \pm 0,01$	$1,66 \pm 0,05$	$1,66 \pm 0,01$
SGR (%/ημέρα)	$1,62 \pm 0,11$	$1,53 \pm 0,06$	$1,61 \pm 0,07$
FCR	$1,16 \pm 0,10$	$1,19 \pm 0,01$	$1,14 \pm 0,05$
PER	$1,63 \pm 0,13$	$1,60 \pm 0,02$	$1,66 \pm 0,07$
Κατακράτηση πρωτεΐνης (%)	$66,91 \pm 1,65$	$67,98 \pm 0,70$	$65,47 \pm 2,89$
Κατακράτηση λίπους (%)	$132,2 \pm 2,50^b$	$137,91 \pm 1,81^{ab}$	$147,95 \pm 6,81^a$

Σημ.: Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους $\pm$ τυπική απόκλιση (n=3 κλωβούς. Σε κάθε παράμετρο, οι τιμές μεταξύ των διατροφικών ομάδων που δεν φέρουν εκθέτη είναι παρόμοιες ($P>0,05$), ενώ όταν δεν φέρουν κοινό εκθέτη είναι σημαντικά διαφορετικές ($P<0,05$).

3.2 Θρεπτική σύσταση ολικού σώματος

Πίνακας 3.4. Θρεπτική σύσταση (% ξηρού βάρους) του ολικού σώματος του λαβρακιού (*D.labrax*) που διατράφηκε με τις πειραματικές ιχθυοτροφές.

	Αρχικός πληθυσμός	FO-100	FO-50	FO-0
Υγρασία (% επί νωπού)	67,93 ± 1,39	67,32 ± 0,68	67,46 ± 1,80	66,21 ± 1,23
Ολικές πρωτεΐνες (%)	57,80 ± 0,94 ^b	61,21 ± 0,93 ^a	61,38 ± 2,47 ^a	59,49 ± 1,42 ^{ab}
Ολικά λίπη (%)	37,44 ± 0,41 ^a	34,91 ± 1,10 ^{ab}	34,20 ± 2,79 ^b	36,52 ± 1,46 ^{ab}
Τέφρα (%)	11,29 ± 0,57 ^b	12,15 ± 0,41 ^{ab}	12,27 ± 0,72 ^a	11,76 ± 0,46 ^{ab}

Σημ.: Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπική απόκλιση (n=9 άτομα). Σε κάθε παράμετρο, οι τιμές μεταξύ των διατροφικών ομάδων που δεν φέρουν κοινό εκθέτη είναι σημαντικά διαφορετικές (P<0,05).

Η μέση τιμή της περιεκτικότητας σε υγρασίας του ολικού σώματος των ιχθύων του αρχικού πληθυσμού εκτιμήθηκε στο 67,93±1,39, ενώ για τους ιχθύες των διατροφικών ομάδων FO-100, FO-50 και FO-0, εκτιμήθηκε στο 67,32 ± 0,68, 67,46 ± 1,80 και 66,21 ± 1,23, αντίστοιχα (Πιν. 3.4). Επίσης όσον αφορά, την μέση τιμή της περιεκτικότητας σε ολικές πρωτεΐνες για τον αρχικό πληθυσμό εκτιμήθηκε στο 57,80 ± 0,94, ενώ για τις διατροφικές ομάδες FO-100, FO-50 και FO-0, εκτιμήθηκε στο 61,21 ± 0,93, 61,38 ± 2,47 και 59,49 ± 1,42 αντίστοιχα. Η μέση τιμή της περιεκτικότητας σε ολικά λίπη για τον αρχικό πληθυσμό υπολογίστηκε ότι ήταν 37,44 ± 0,41, ενώ για τις διατροφικές ομάδες FO-100, FO-50 και FO-0, υπολογίστηκε ότι ήταν 34,91 ± 1,10, 34,20 ± 2,79 και 36,52 ± 1,46, αντίστοιχα. Και τέλος, η μέση τιμή της περιεκτικότητας σε τέφρα για τον αρχικό πληθυσμό, ήταν 11,29 ± 0,57, ενώ για τις διατροφικές ομάδες FO-100, FO-50 και FO-0, υπολογίστηκε ότι ήταν 12,15 ± 0,41, 12,27 ± 0,77 και 11,76 ± 0,46 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τρεις πειραματικές τροφές

οδήγησαν σε παρόμοια ($P>0,05$) θρεπτική σύσταση ολόκληρου του σώματος του λαβρακιού, και συγκεκριμένα σε παρόμοιες περιεκτικότητες σε υγρασία, ολικές πρωτεΐνες, ολικά λίπη και τέφρα. Συγκριτικά με τον αρχικό πληθυσμό, η σίτιση των ιχθύων με τις πειραματικές τροφές οδήγησε σε ελαφρώς αυξημένη περιεκτικότητα ολικών πρωτεϊνών και τέφρας, καθώς και μειωμένη περιεκτικότητα σε ολικά λίπη στο σώμα των ιχθύων, αλλά αυτές οι τάσεις ήταν σημαντικές ($P<0,05$) μόνο στην περίπτωση της ομάδας FO-50.

3.3 Σύνθεση λιπαρών οξέων του μυϊκού ιστού

Πίνακας 3.5. Σύνθεση λιπαρών οξέων (% των ολικών λιπαρών οξέων) του

μυϊκού ιστού λαβρακιού (*D.labrax*) που διατράφηκε με τις πειραματικές τροφές.

	FO-100	FO-50	FO-0
12:0	0,03 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,03 ± 0,00
14:0	1,09 ± 0,24	1,53 ± 0,20	1,44 ± 0,09
15:0	0,08 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,07 ± 0,02
16:0	20,60 ± 0,43	21,64 ± 2,00	20,10 ± 1,33
18:0	5,14 ± 0,35	5,66 ± 0,62	5,13 ± 0,34
20:0	0,16 ± 0,00	0,17 ± 0,03	0,17 ± 0,03
22:0	0,13 ± 0,00	0,09 ± 0,02	0,12 ± 0,01
SFA	26,64 ± 0,64	28,10 ± 1,64	27,06 ± 1,67
16:1ω-9	0,38 ± 0,00	0,41 ± 0,01	0,33 ± 0,03
16:1ω-7	3,24 ± 0,11 ^a	2,94 ± 0,42 ^{ab}	2,14 ± 0,18 ^b
18:1ω-9	21,31 ± 0,65	20,94 ± 1,05	19,71 ± 0,84
18:1ω-7	2,25 ± 0,18 ^a	2,01 ± 0,04 ^b	1,72 ± 0,16 ^c
20:1ω-9/n-11	2,60 ± 0,36 ^a	1,87 ± 0,10 ^b	1,36 ± 0,24 ^c
22:1ω-9/n-11	1,66 ± 0,11 ^a	0,62 ± 0,12 ^b	0,28 ± 0,26 ^b
24:1ω-9	2,17 ± 0,15 ^a	0,32 ± 0,20 ^b	0,48 ± 0,28 ^b
MUFA	32,09 ± 2,00 ^a	28,02 ± 1,31 ^b	25,91 ± 1,14 ^c
18:2ω-6	20,00 ± 0,75 ^b	23,44 ± 1,38 ^a	26,25 ± 1,35 ^a
18:3ω-6	0,36 ± 0,09	0,47 ± 0,02	0,49 ± 0,03
20:2ω-6	0,59 ± 0,06	0,58 ± 0,10	0,66 ± 0,01
20:3ω-6	0,52 ± 0,37 ^a	0,19 ± 0,02 ^b	0,17 ± 0,13 ^b
20:4ω-6	0,60 ± 0,06 ^b	0,74 ± 0,14 ^{ab}	0,94 ± 0,14 ^a
22:4ω-6	2,76 ± 0,60 ^a	0,44 ± 0,08 ^b	0,16 ± 0,05 ^b
22:5ω-6	0,52 ± 0,35	0,25 ± 0,20	0,34 ± 0,23
ω-6 PUFA	24,12 ± 1,98 ^a	26,00 ± 1,64 ^{ab}	28,96 ± 1,41 ^b
18:3ω-3	2,13 ± 0,38	2,56 ± 0,15	2,94 ± 0,38
18:4ω-3	0,86 ± 0,00	0,58 ± 0,05	0,40 ± 0,09
20:3ω-3	0,05 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,04 ± 0,01
20:4ω-3	0,47 ± 0,12 ^b	0,20 ± 0,05 ^a	0,15 ± 0,02 ^a
20:5ω-3	4,54 ± 0,83	4,22 ± 0,22	4,64 ± 0,54
22:5ω-3	0,66 ± 0,10	0,60 ± 0,06	0,73 ± 0,09
22:6ω-3	8,26 ± 0,81 ^b	8,30 ± 0,86 ^b	10,94 ± 0,98 ^a
ω-3 PUFA	16,21 ± 2,02 ^b	16,46 ± 0,93 ^b	19,78 ± 1,70 ^a
EPA+DHA	12,81 ± 1,60 ^b	12,52 ± 0,95 ^b	15,58 ± 1,44 ^a
ω3/ω-6	0,67 ± 0,10	0,63 ± 0,04	0,67 ± 0,04

Σημ.: Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους $\pm$ τυπική απόκλιση ($n=3$ κλωβούς). Σε κάθε παράμετρο, οι τιμές μεταξύ των διατροφικών ομάδων που δεν φέρουν κοινό εκθέτη είναι σημαντικά διαφορετικές ($P<0,05$).

Αναφορικά με το προφίλ λιπαρών οξέων του μυϊκού ιστού των ιχθύων (Πιν 3.5), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτό επηρεάστηκε σημαντικά αναλόγως την τροφή τους. Οι τιμές για τα 12:0, 14:0, 15:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0 και των ολικών κορεσμένων λιπαρών οξέων για την διατροφική ομάδα FO-100 είναι $0,03 \pm 0,00$, $1,09 \pm 0,24$, $0,08 \pm 0,01$, $20,60 \pm 0,43$, $5,14 \pm 0,35$, $0,16 \pm 0,00$, $0,13 \pm 0,00$ και $26,64 \pm 0,64$, αντίστοιχα. Οι τιμές για τα 12:0, 14:0, 15:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0 και των ολικών κορεσμένων λιπαρών οξέων για την διατροφική ομάδα FO-50 είναι $0,05 \pm 0,00$, $1,53 \pm 0,20$, $0,10 \pm 0,02$, $21,64 \pm 2,00$, $5,66 \pm 0,62$, $0,17 \pm 0,03$, $0,09 \pm 0,02$ και $28,10 \pm 1,64$, αντίστοιχα. Οι τιμές για τα 12:0, 14:0, 15:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0 και των ολικών κορεσμένων λιπαρών οξέων για την διατροφική ομάδα FO-0 είναι $0,03 \pm 0,00$, $1,44 \pm 0,09$, $0,07 \pm 0,02$, $20,10 \pm 1,33$, $5,13 \pm 0,34$, $0,17 \pm 0,03$, $0,12 \pm 0,01$ και $27,06 \pm 1,67$, αντίστοιχα. Η στατιστική ανάλυση για τα επίπεδα όλων των επιμέρους, αλλά και των ολικών κορεσμένων λιπαρών οξέων έδειξε ότι, ήταν παρόμοια ($P>0,05$) μεταξύ των ομάδων.

Όσον αφορά τις τιμές των λιπαρών οξέων 16:1ω-9, 16:1ω-7, 18:1ω-9, 18:1ω-7, 20:1ω-9/ω-11, 22:1ω-9/ω-11, 24:1ω-9 και το σύνολο τους, για την διατροφική ομάδα FO-100 είναι $0,38 \pm 0,00$, $3,24 \pm 0,11$, $21,31 \pm 0,65$, $2,25 \pm 0,18$, $2,60 \pm 0,36$, $1,66 \pm 0,11$, $2,17 \pm 0,15$ και $32,09 \pm 2,00$, αντίστοιχα. Οι τιμές των λιπαρών οξέων 16:1ω-9, 16:1ω-7, 18:1ω-9, 18:1ω-7, 20:1ω-9/ω-11, 22:1ω-9/ω-11, 24:1ω-9 και το σύνολο τους, για την διατροφική ομάδα FO-50 είναι $0,41 \pm 0,01$, $2,94 \pm 0,42$, $20,94 \pm 1,05$, $2,01 \pm 0,04$, $1,87 \pm 0,10$, $0,62 \pm 0,12$, $0,32 \pm 0,20$ και $28,02 \pm 1,31$, αντίστοιχα. Και τέλος οι τιμές των λιπαρών οξέων 16:1ω-9, 16:1ω-7, 18:1ω-9, 18:1ω-7, 20:1ω-9/ω-11, 22:1ω-9/ω-11, 24:1ω-9 και το σύνολο τους, για την διατροφική ομάδα FO-0 είναι $0,33 \pm 0,03$, $2,14 \pm 0,18$, $19,71 \pm 0,84$, $1,72 \pm 0,16$, $1,36 \pm 0,24$, $0,28 \pm 0,26$, $0,48 \pm 0,28$ και $25,91$

$\pm 1,14$, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης έδειξαν ότι, τα ψάρια των ομάδων που διατράφηκαν με έλαιο *veramaris* (FO-0 και FO-50) περιείχαν σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα των 16:1 ω -7, 18:1 ω -7, 20:1, 22:1, 20:1 ω -9 και ολικών MUFA συγκριτικά με τα ψάρια του μάρτυρα (FO-100). Η τάση αυτή μείωσης των MUFA στον ιστό των ψαριών ήταν υψηλότερη στα ψάρια της ομάδας FO-0.

Επιπρόσθετα, οι τιμές των λιπαρών οξέων 18:2 ω -6, 18:3 ω -6, 20:2 ω -6, 20:3 ω -6, 20:4 ω -6, 22:4 ω -6, 22:5 ω -6 και των ολικών ω -6 PUFA για την διατροφική ομάδα FO-100 είναι, $20,00 \pm 0,75$, $0,36 \pm 0,09$, $0,59 \pm 0,06$, $0,52 \pm 0,37$, $0,60 \pm 0,06$, $2,76 \pm 0,60$, $0,52 \pm 0,35$ και $24,12 \pm 1,98$, αντίστοιχα. Οι τιμές των λιπαρών οξέων 18:2 ω -6, 18:3 ω -6, 20:2 ω -6, 20:3 ω -6, 20:4 ω -6, 22:4 ω -6, 22:5 ω -6 και των ολικών ω -6 PUFA για την διατροφική ομάδα FO-50 είναι $23,44 \pm 1,38$, $0,47 \pm 0,02$, $0,58 \pm 0,10$, $0,19 \pm 0,02$, $0,74 \pm 0,14$, $0,44 \pm 0,08$, $0,25 \pm 0,20$ και $26,00 \pm 1,64$, αντίστοιχα. Και τέλος οι τιμές των λιπαρών οξέων 18:2 ω -6, 18:3 ω -6, 20:2 ω -6, 20:3 ω -6, 20:4 ω -6, 22:4 ω -6, 22:5 ω -6 και των ολικών ω -6 PUFA για την διατροφική ομάδα FO-0 είναι $26,25 \pm 1,35$, $0,49 \pm 0,03$, $0,66 \pm 0,01$, $0,17 \pm 0,13$, $0,94 \pm 0,14$, $0,16 \pm 0,05$, $0,34 \pm 0,23$ και $28,96 \pm 1,41$, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης έδειξαν ότι, τα ψάρια των ομάδων FO-50 και FO-0 είχαν σημαντικά υψηλότερα επίπεδα των 18:2 ω -6, 20:4 ω -6 και ολικών ω -6 PUFA, αλλά χαμηλότερα επίπεδα των 22:4 ω -6 και 20:3 ω -6, σε σχέση με τα ψάρια της FO-100.

Ολοκληρώνοντας τις αναλύσεις των λιπαρών οξέων, οι τιμές για τα λιπαρά οξέα 18:3 ω -3, 18:4 ω -3, 20:3 ω -3, 20:4 ω -3, 20:5 ω -3, 22:5 ω -3, 22:6 ω -3 και για το σύνολο τους για την διατροφική ομάδα FO-100 είναι $2,13 \pm 0,38$, $0,86 \pm 0,00$, $0,05 \pm 0,00$, $0,47 \pm 0,12$, $4,54 \pm 0,83$, $0,66 \pm 0,10$, $8,26 \pm 0,81$ και $16,21 \pm 2,02$, αντίστοιχα. Επίσης, οι τιμές για τα λιπαρά οξέα 18:3 ω -3, 18:4 ω -3, 20:3 ω -3, 20:4 ω -3, 20:5 ω -3, 22:5 ω -3, 22:6 ω -3 και για το σύνολο τους για την διατροφική ομάδα FO-50, είναι $2,56 \pm 0,15$,

0,58 ± 0,05, 0,00 ± 0,00, 0,20 ± 0,05, 4,22 ± 0,22, 0,60 ± 0,06, 8,30 ± 0,86 και 16,46 ± 0,93, αντίστοιχα. Οι τιμές για τα λιπαρά οξέα 18:3ω-3, 18:4ω-3, 20:3ω-3, 20:4ω-3, 20:5ω-3, 22:5ω-3, 22:6ω-3 και για το σύνολο τους για την διατροφική ομάδα FO-50, είναι 2,94 ± 0,38, 0,40 ± 0,09, 0,04 ± 0,01, 0,15 ± 0,02, 4,64 ± 0,54, 0,73 ± 0,09, 10,94 ± 0,98 και 19,78 ± 1,70, αντίστοιχα. Ακόμη, το άθροισμα EPA+DHA για την διατροφική ομάδα FO-100, FO-50 και FO-0 είναι 12,81 ± 1,60, 12,52 ± 0,95 και 15,58 ± 1,44, αντίστοιχα. Και τέλος ο λόγος ω-3/ω-6 για την διατροφική ομάδα FO-100, FO-50 και FO-0, είναι 0,67 ± 0,10, 0,63 ± 0,04 και 0,67 ± 0,04, αντίστοιχα. Ύστερα από στατιστική ανάλυση, δεν ανιχνεύθηκαν σημαντικές διαφορές στα περισσότερα επιμέρους λιπαρά οξέα. Ωστόσο, η ομάδα FO-0 είχε τα υψηλότερα ($P < 0,05$) επίπεδα του DHA, του αθροίσματος EPA+DHA και ολικών ω-3 PUFA σε σχέση με τις άλλες δύο ομάδες ψαριών. Τα επίπεδα του EPA ήταν παρόμοια μεταξύ των τριών ομάδων. Όλες οι ομάδες ψαριών είχαν παρόμοια αναλογία ω-3/ω-6.

4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

Έπειτα από 73 ημέρες διατροφικού πειράματος, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλες οι διατροφικές ομάδες, τόσο έπειτα από 45 ημέρες όσο και 73 ημέρες σίτισης, είχαν παρόμοιο ($P>0,05$) τελικό βάρος, κατανάλωση τροφής, ρυθμός κατανάλωσης τροφής, αύξηση βάρους, SGR, FCR και PER. Στο παρόν πείραμα, ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) και των τριών σιτηρεσίων διατηρήθηκε σε αρκετά χαμηλά επίπεδα (1,14 – 1,19), παρά το γεγονός ότι τα ψάρια σιτίζονταν μέχρι κορεσμού, που θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλές τιμές του συντελεστή. Αυτό υποδηλώνει ότι η αντικατάσταση του ιχθυελαίου από το έλαιο Veramaris ακόμα και σε ποσοστό 100% στη διατροφή των ιχθυδίων λαβρακιού είναι εφικτή, καθώς είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη αξιοποίηση της τροφής, επιδρώντας θετικά στον ρυθμό ανάπτυξής τους. Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει ότι η ολική αντικατάσταση του ιχθυελαίου της τροφής από το έλαιο Veramaris δεν επηρεάζει αρνητικά τόσο τη σωματική ανάπτυξη του λαβρακιού όσο και την αποδεκτικότητα και το βαθμό αξιοποίησης της τροφής από αυτό. Αυτό με τη σειρά του υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του ελαίου Veramaris ως πηγή των διατροφικά απαραίτητων EPA και DHA.

Σε ένα πείραμα που πραγματοποιήθηκε το 2020 από τους Carvalho et al. με ολική αντικατάσταση του ιχθυελαίου με το Veramaris oil στο σιτηρέσιο ιχθυδίων τσιπούρας (*Sparus aurata*), έδειξε ότι δεν επηρεάστηκαν αρνητικά η αύξηση του σωματικού βάρους, ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR), ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR), και ο συντελεστής αποδοτικότητας των πρωτεϊνών (PER) σε σύγκριση με τα σιτηρέσια που περιείχαν ιχθυέλαιο. Επιπλέον, το έλαιο Veramaris χρησιμοποιήθηκε και σε ένα άλλο διατροφικό πείραμα με άτομα

τσιπούρας, με δίαιτες που περιλάμβαναν δύο επίπεδα ολικής αντικατάστασης του ιχθυελαίου με το έλαιο Veramaris (3,5 % και 0,7%), το οποίο ήταν η μοναδική πηγή πολυακόρεστων λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας (Santigosa et al., 2021). Όσον αφορά τα αποτελέσματα των ζωοτεχνικών παραμέτρων, δηλαδή του FCR, SGR, τελικό σωματικό βάρος και ανάπτυξη, δεν υπήρχαν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των ιχθύων που διατρέφονταν είτε με το σιτηρέσιο που περιλάμβανε ιχθυέλαιο, είτε με το έλαιο μικροφυκών μετά από 110 ημέρες σίτισης. Το έλαιο μικροφυκών πλούσιο σε ω-3 χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς χωρίς να βλάπτεται η ανάπτυξη ή η αποδοτικότητα της τροφής της τσιπούρας.

Σε ένα ακόμη πιο πρόσφατο πείραμα που έγινε πάνω στην διατροφή του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*), αξιολογήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί από εναλλακτικές εμπορικές θαλάσσιες πηγές λιπιδίων πλούσιων σε ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, συμπεριλαμβανομένου και του Veramaris oil, για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου (έλαιο από σαρδέλες) (Marques et al., 2023). Το Veramaris oil προστέθηκε σε τρεις από τις έξι πειραματικές τροφές, εκ των οποίων η πρώτη περιείχε έλαιο σολομού σε ποσοστό 9,9% και Veramaris oil σε ποσοστό 3,1%, η δεύτερη περιείχε κραμβέλαιο σε ποσοστό 8,9% και Veramaris oil σε ποσοστό 4,4% και η τρίτη περιείχε σογιέλαιο σε ποσοστό 8,6% και Veramaris oil σε ποσοστό 4,4%. Οι δίαιτες ήταν καλά αποδεκτές από το λαβράκι με παρόμοια πρόσληψη τροφής μετά από 54 ημέρες σίτισης. Επίσης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στο τελικό σωματικό βάρος των ιχθύων, στο FCR, PER και στον ημερήσιο δείκτη ανάπτυξης. Αξίζει να αναφερθεί ότι, το *Schizochytrium sp.* έχει χρησιμοποιηθεί ως μεμονωμένη πηγή λιπιδίων για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου στις δίαιτες αρκετών ειδών (Karapanagiotidis et al., 2022). Έχουν γίνει αρκετές μελέτες στις οποίες έχει επιτευχθεί η αντικατάσταση του ιχθυελαίου από το συγκεκριμένο είδος μικροφυκών, *Schizochytrium sp.*, και δεν έχει

επηρεαστεί η ανάπτυξη των ψαριών και η αποτελεσματικότητα της τροφής, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μια εξαιρετική πηγή DHA στις δίαιτες των ιχθύων. Κάποια είδη είναι ο *S. salar* (Carter et al., 2003; Miller et al., 2007; Kousoulaki et al., 2015, 2016), *O. niloticus* (Sarker et al., 2016; Brignol et al., 2019), *L. vannamei* (Wang et al., 2017a; Kumar et al., 2018; Guimaraes et al., 2019), *Ictalurus punctatus* (Li et al., 2009), *Ctenopharyngodon idellus* (Xing et al., 2020) και *Scortum barcoo* (Van Hoestenbergh et al., 2016).

4.2 Θρεπτική σύσταση

Έπειτα από 73 σίτισης με τις τρεις πειραματικές τροφές, τα αποτελέσματα της θρεπτικής σύστασης του ολικού σώματος των ιχθύων έδειξαν ότι δεν υπήρξαν διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων FO-100, FO-50 και FO-0. Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει ότι η ολική αντικατάσταση του ιχθυελαίου της τροφής από το έλαιο Veramaris δεν επηρεάζει την εναπόθεση θρεπτικών στο σώμα του λαβρακιού. Αυτό προφανώς οφείλεται στο γεγονός ότι οι ιχθύες των ομάδων που διατράφηκαν με έλαιο Veramaris (FO-0 και FO-50) είχαν παρόμοια μέση κατανάλωση και ρυθμό κατανάλωσης τροφής με τους ιχθύες του μάρτυρα (FO-100) και επομένως παρόμοια εισροή θρεπτικών και ενέργειας στο σώμα τους. Επιπρόσθετα, η παρόμοια εναπόθεση θρεπτικών στο σώμα υποδεικνύει ότι το εναλλακτικό αυτό έλαιο μικροφυκών μεταβολίζεται και απορροφάται στον ίδιο βαθμό με το ιχθυέλαιο που χρησιμοποιήθηκε στην τροφή του μάρτυρα.

Σε ένα πείραμα που πραγματοποιήθηκε το 2020 από τους Carvalho et al. με ολική αντικατάσταση του ιχθυελαίου με το Veramaris oil στο σιτηρέσιο ιχθυδίων τσιπούρας (*Sparus aurata*), έδειξε ότι η θρεπτική σύσταση του ολικού σώματος των ιχθύων δεν διέφερε μεταξύ των διάφορων διατροφικών ομάδων. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρθηκαν και σε μία άλλη μελέτη με την συμμετοχή του Veramaris

oil ως υποκατάστατο του ιχθυελαίου, όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές τόσο στην εναπόθεση των θρεπτικών συστατικών, όσο και στην κατακράτηση των θρεπτικών συστατικών, όπως η πρωτεΐνη και το λίπος, μεταξύ των διατροφικών ομάδων (Silva et al., 2023).

Σε μια έρευνα που έγινε από τους Karapanagiotidis et al., 2022, έδειξε ότι η αντικατάσταση του ιχθυελαίου από μείγμα ελαίων μικροφυκών δυο ειδών, του *Schizochytrium sp.* και *Microchloropsis sp* δεν επηρέασε την θρεπτική σύσταση του ολικού σώματος των ιχθύων, γεγονός που υποδεικνύει τον αποτελεσματικό μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών τόσο από τις πειραματικές τροφές, όσο και από την τροφή μάρτυρα που περιείχε ιχθυέλαιο.

4.3 Σύνθεση λιπαρών οξέων μυϊκού ιστού

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το προφίλ λιπαρών οξέων του μυϊκού ιστού των ιχθύων επηρεάστηκε σημαντικά αναλόγως την τροφή τους. Η σταδιακή προσθήκη ελαίου veramaris στην τροφή οδήγησε σε σταδιακή μείωση των MUFA στον μυϊκό ιστό του λαβρακιού, το οποίο οφείλεται στο ότι οι τροφές αυτές περιείχαν μειωμένα επίπεδα MUFA συγκριτικά με την τροφή του μάρτυρα και αυτό με τη σειρά του οφείλεται στο γεγονός ότι το έλαιο veramaris περιέχει χαμηλά επίπεδα μονοακόρεστων λιπαρών οξέων. Περαιτέρω, η σταδιακή προσθήκη ελαίου veramaris στην τροφή οδήγησε σε σταδιακή αύξηση των ω-6 PUFA στον μυϊκό ιστό του λαβρακιού, το οποίο οφείλεται στο ότι οι τροφές αυτές περιείχαν αυξημένα επίπεδα ω-6 PUFA.

Αυτή η τάση αυξημένων επιπέδων ω-6 PUFA δεν οφείλεται στο έλαιο veramaris αυτό καθαυτό, αν και περιέχει μια αξιοσημείωτη ποσότητα ολικών ω-6 PUFA της τάξης του 7-8% και κυρίως 20:4ω-6 της τάξης του 2-3%. Η τάση αυξημένων επιπέδων ω-6 PUFA στον μυϊκό ιστό του λαβρακιού με την προσθήκη ελαίου veramaris οφείλεται στην στρατηγική κατάρτισμού των σιτηρεσίων και συγκεκριμένα στην

αυξανόμενη συμμετοχή του σογιέλαιου στις τροφές FO-50 και FO-0, το οποίο είναι πλούσιο σε ω-6 PUFA και κυρίως 18:2ω-6, συγκριτικά με το ιχθυέλαιο. Το επίπεδο σογιέλαιου στις τροφές που περιείχαν έλαιο veramaris έβαινε αυξανόμενο προκειμένου όλες οι πειραματικές τροφές να είναι ισο-λιπιδικές και ισο-ενεργειακές, μιας και αυτό είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την σύγκριση των πειραματικών τροφών. Αυτό με τη σειρά του συνέβη διότι το έλαιο veramaris περιέχει πολύ υψηλότερα επίπεδα των EPA-DHA από ότι το ιχθυέλαιο. Η στρατηγική καταρτισμού σιτηρεσίων που υιοθετήθηκε στο παρόν πείραμα ήταν τέτοια ώστε εκτιμητικά οι τρεις πειραματικές τροφές να περιέχουν παρόμοια επίπεδα των EPA+DHA. Έτσι λοιπόν, κατά τον καταρτισμό μία ποσοστιαία μονάδα ελαίου veramaris μπορεί να υποκαταστήσει περίπου τρεις μονάδες ιχθυελαίου προκειμένου τα σιτηρέσια να ισοσταθμιστούν στα επίπεδα των EPA+DHA. Αυτό με τη σειρά του δημιουργεί την ανάγκη να προστεθεί υψηλότερο επίπεδο φυτικού ελαίου κατά την υποκατάσταση του ιχθυελαίου από έλαιο veramaris, και το οποίο αναπόφευκτα οδηγεί σε αυξημένα επίπεδα ω-6 PUFA στον μυϊκό ιστό του λαβρακιού. Σαφώς, αν μια στρατηγική επιλογή ήταν η ανάγκη αυτή της προσθήκης ελαίου να γίνει μέσω ιχθυελαίου πιθανότατα να μην παρατηρούνταν αυξημένα επίπεδα ω-6 PUFA στα ψάρια. Αυτό είναι μια στρατηγική απόφαση που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη βιομηχανία ιχθυοτροφών όταν θα επιθυμεί να υποκαταστεί το ιχθυέλαιο με έλαιο veramaris. Επίσης, τα σκευάσματα πληρούσαν τις διατροφικές απαιτήσεις για το λαβράκι και συγκεκριμένα αυτές για τα απαραίτητα λιπαρά οξέα EPA και DHA. Παρά το γεγονός ότι τα τρία διαφορετικά σιτηρέσια δεν είχαν τις ίδιες διατροφικές πηγές λιπιδίων, όλες οι δίαιτες εμφάνισαν αναλογίες DHA/EPA μεταξύ 1,82-2,36, που βρίσκονται εντός του εύρους τιμών (0,5-2,0) που απαιτείται για την κανονική ανάπτυξη των θαλάσσιων ψαριών (NRC, 2011).

Το κυριότερο ερώτημα, ωστόσο, παραμένει αν η προσθήκη του ελαίου veramaris μπορεί να αυξήσει τα επίπεδα των EPA και DHA, και εν τέλει τη λιπιδική διατροφική αξία των εκτρεφόμενων ψαριών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, όντως, η πλήρης αντικατάσταση του ιχθυελαίου από το έλαιο veramaris οδηγεί σε σημαντική αύξηση του επιπέδου DHA στον εδώδιμο μυϊκό ιστό του λαβρακιού και άρα αυξάνει τη λιπιδική διατροφική αξία τους. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι τα παρόντα αποτελέσματα είναι προκαταρκτικά μιας και δεν αναλύθηκε μεγάλος αριθμός δειγμάτων προκειμένου να υπάρξουν ασφαλή συμπεράσματα. Αυτός ίσως είναι ο λόγος που η μερική (κατά 50%) αντικατάσταση του ιχθυελαίου από έλαιο veramaris δεν οδήγησε σε παρόμοια αποτελέσματα. Περαιτέρω έρευνα είναι αναγκαία λοιπόν για τη διαλεύκανση της επίδρασης του ελαίου veramaris στη λιπιδική διατροφική αξία των εκτρεφόμενων λαβρακίων.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Marques et al. το 2023 πάνω στην διατροφή του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*), αξιολογήθηκαν διάφορες θαλάσσιες πηγές πλούσιες σε ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, συμπεριλαμβανομένου και του Veramaris oil, για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου (έλαιο από σαρδέλες). Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι ψάρια που σιτίζονταν με τροφές που ήταν πλούσιες σε DHA, εμφάνισαν ένα υψηλότερο επίπεδο DHA στο μυϊκό τους ιστό. Επίσης συγκριτικά με την τροφή μάρτυρα όλες οι δίαιτες, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που περιείχαν το έλαιο veramaris προήγαγαν υψηλότερα επίπεδα EPA+DHA. Επίσης οι Santigosa et al. 2020 ανέφεραν ότι η ιριδίζουσα πέστροφα (*Onchorhynchus mykiss*) όταν σιτιζόταν με δίαιτα με 2,5% Veramaris oil, είχε παρόμοιο περιεχόμενο EPA+DHA στο σώμα της, με αυτή που σιτιζόταν με 10% ιχθυέλαιο. Σημειώθηκε ότι το EPA+DHA του ελαίου Veramaris

εναποθετήθηκε σωστά στο φιλέτο των ψαριών, αντικατοπτρίζοντας το προφίλ των λιπαρών οξέων των τροφών.

Επιπρόσθετα, σε μια παρόμοια έρευνα που έγινε από τον ίδιο συγγραφέα στην διατροφή της τσιπούρας (*Sparus aurata*) με το Veramaris oil έδειξε ότι το προφίλ των λιπαρών οξέων των τροφών αντικατοπτρίστηκε καλά στο προφίλ λιπαρών οξέων των φιλέτων τσιπούρας με υψηλή περιεκτικότητα σε ω-3 και DHA σε φιλέτα ψαριών που τρέφονται με έλαιο Veramaris 3,5%. Άλλη μια έρευνα που έγινε πάνω στην διατροφή του σολομού του Ατλαντικού με σιτηρέσια που περιείχαν ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα από ιχθυέλαιο και βιομάζα του μικροφύκου *Schizochytrium limacinum* έδειξε ότι τα ψάρια που σιτίζονταν με έλαιο του συγκεκριμένου μικροφύκου περιείχαν υψηλότερα επίπεδα EPA+DHA στο φιλέτο τους σε σχέση με αυτά που διατρέφονταν με ιχθυέλαιο (Kousoulaki et al., 2020). Τέλος, τα αποτελέσματα του πειράματος των Silva et al. το 2023 με αντικατάσταση του ιχθυελαίου με έλαιο Veramaris στο λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) έδειξαν ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα επίπεδα EPA+DHA του μυϊκού ιστού των ψαριών μεταξύ των πειραματικών διαίτων.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτροφή του λαβρακιού με έλαιο Veramaris συνοψίζονται στα εξής:

- Τόσο η μερική (50%) όσο και η πλήρης (100%) υποκατάσταση του ιχθυελαίου της τροφής από το έλαιο veramaris δεν επηρεάζει αρνητικά τόσο τη σωματική ανάπτυξη (βάρος, SGR) του λαβρακιού όσο και την αποδεκτικότητα και το βαθμό αξιοποίησης της τροφής (feed intake, FCR, PER) από τα ψάρια.
- Αυτό με τη σειρά του υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του ελαίου veramaris ως πηγή των διατροφικά απαραίτητων EPA και DHA για την ανάπτυξη του λαβρακιού.
- Παρόμοια εναπόθεση θρεπτικών στο σώμα των ψαριών που υποδεικνύει ότι το έλαιο veramaris μεταβολίζεται και απορροφάται στον ίδιο βαθμό με το ιχθυέλαιο που χρησιμοποιήθηκε στην τροφή του μάρτυρα
- Αναφορικά με τα ω-3 PUFA, όταν το έλαιο veramaris αντικατέστησε πλήρως το ιχθυέλαιο οδήγησε σε υψηλότερα ($P<0,05$) επίπεδα του DHA και των ολικών ω-3 PUFA σε σχέση με τα ψάρια που διατράφηκαν με ιχθυέλαιο. Το EPA ήταν παρόμοιο σε όλες τις ομάδες.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Adarme-Vega TC, Lim DKY, Timmins M, et al. Microalgal biofactories: a promising approach towards sustainable omega-3 fatty acid production. *Microb Cell Fact.* 2012;11(1):1–10. DOI:10.1186/1475-2859-11-96
- Ahmad et al. (2022). An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: food security and circular economy. *BIOENGINEERED* 13:9521–9547
- Allen, K.M.; Habte-Tsion, H.M.; Thompson, K.R.; Filer, K.; Tidwell, J.H.; Kumar, V. Freshwater microalgae (*Schizochytrium* sp.) as a substitute to fish oil for shrimp feed. *Sci. Rep.* 2019, 9, 1–10.
- Ansari, F. A., Guldhe, A., Gupta, S. K., Rawat, I., & Bux, F. (2021). Improving the feasibility of aquaculture feed by using microalgae. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43234-43257.
- Ayala, M. D., Galián, C., Fernández, V., Chaves-Pozo, E., García de la Serrana, D., Sáez, M. I., ... & Arizcun, M. (2020). Influence of low dietary inclusion of the microalga *nannochloropsis gaditana* (Lubián 1982) on performance, fish morphology, and muscle growth in juvenile gilthead seabream (*sparus aurata*). *Animals*, 10(12), 2270.
- Badwy, T. M., Ibrahim, E. M., & Zeinhom, M. M. (2008, October). Partial replacement of fishmeal with dried microalga (*Chlorella* spp. and *Scenedesmus* spp.) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets. In *8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture* (Vol. 2008, pp. 801-810).
- Beal, C. M., Gerber, L. N., Thongrod, S., Phromkunthong, W., Kiron, V., Granados, J., ... & Huntley, M. E. (2018). Marine microalgae commercial production improves sustainability of global fisheries and aquaculture. *Scientific reports*, 8(1), 15064.
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology advances*, 25(2), 207-210.
- Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(2), 557-577.
- Brignol, F.D., Fernandes, V.A.G., Nobrega, R.O., Corrêa, C.F., Filler, K., Pettigrew, J., Fracalossi, D.M., 2019. *Aurantiochytrium* sp. meal as DHA source in Nile tilapia diet, part II: body fatty acid retention and muscle fatty acid profile. *Aquac. Res.* 50, 707–716. <https://doi.org/10.1111/are.13906>.
- Carter, C.G., Bransden, M.P., Lewis, T.E., Nichols, P.D., 2003. Potential of *Thraustochytrids* to partially replace fish oil in Atlantic salmon feeds. *Mar. Biotechnol.* 5, 480–492. <https://doi.org/10.1007/s10126-002-0096-8>

- Caruso G (2015) Use of Plant Products as Candidate Fish Meal Substitutes: An Emerging Issue in Aquaculture Productions. *Fish Aquac J* 6: e123. doi:10.4172/2150-3508.1000e123
- Carvalho, M., Montero, D., Rosenlund, G., Fontanillas, R., Ginés, R., & Izquierdo, M. (2020). *Effective complete replacement of fish oil by combining poultry and microalgae oils in practical diets for gilthead sea bream (Sparus aurata) fingerlings*. *Aquaculture*, 529, 735696. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735696
- Cottrell, R. S., Blanchard, J. L., Halpern, B. S., Metian, M., & Froehlich, H. E. (2020). Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. *Nature Food*, 1(5), 301-308.
- Dineshbabu, G., Goswami, G., Kumar, R., Sinha, A., & Das, D. (2019). Microalgae–nutritious, sustainable aqua-and animal feed source. *Journal of Functional Foods*, 62, 103545
- Dragone, G., Fernandes, B. D., Abreu, A. P., Vicente, A. A., & Teixeira, J. A. (2011). Nutrient limitation as a strategy for increasing starch accumulation in microalgae. *Applied energy*, 88(10), 3331-3335.
- Enyidi, U. D. (2017). *Chlorella vulgaris* as protein source in the diets of African catfish *Clarias gariepinus*. *Fishes*, 2(4), 17.
- Eryalçın, K. M., Ganuza, E., Atalah, E., & Hernández Cruz, M. C. (2015). *Nannochloropsis gaditana* and *Cryptocodinium cohnii*, two microalgae as alternative sources of essential fatty acids in early weaning for gilthead seabream. *Hidrobiológica*, 25(2), 193-202.
- EUMOFA (2018) *Case Study: Seabass in the EU*. European Commission, Brussels.
- FAO (2018) Fisheries statistics and information. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department. FAO, Rome. <http://www.fao.org/fishery/statistics/en>
- FAO 2024. *Dicentrarchus labrax*. Cultured Aquatic Species Information Programme. Text by Bagni, M. Fisheries and Aquaculture Division [online]. Rome. Updated 2005-04-06 [Cited Monday, January 15th, 2024].
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2020:244
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture; FAO: Rome, Italy, 2016; ISBN 9789252091851
- Filipa-Silva A, Marques A, Salgado MA, Abreu H, Dias J and Valente LMP (2023) Exploring alternative marine lipid sources as substitutes for fish oil in Farmed Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and their influence on organoleptic, chemical, and nutritional properties during cold storage. *Front. Sustain. Food Syst.* 7:1224370. doi: 10.3389/fsufs.2023.1224370
- Francis G, Makkar HPS, Becker K (2001) Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effect in fish. *Aquaculture* 199: 197-227.

- Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Serra, J. A., & Barat, J. M. (2010). Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality. *Food chemistry*, 119(4), 1514-1518.
- Ganuza, E.; Benítez-Santana, T.; Atalah, E.; Vega-Orellana, O.; Ganga, R.; Izquierdo, M.S. *Cryptocodinium cohnii* and *Schizochytrium* sp. as potential substitutes to fisheries-derived oils from seabream (*Sparus aurata*) microdiets. *Aquaculture* 2008, 277, 109–116.
- García-Ortega, A., Kissinger, K. R., & Trushenski, J. T. (2016). Evaluation of fish meal and fish oil replacement by soybean protein and algal meal from *Schizochytrium limacinum* in diets for giant grouper *Epinephelus lanceolatus*. *Aquaculture*, 452, 1-8.
- Gatlin III, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., ... & Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture research*, 38(6), 551-579.
- Glencross BD. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Rev Aquac.* 2009 Jun;1(2):71–124.
- Guimaraes, ~ A.M., Schleider, D.D., Nagata, M., Nobrega, ' R.O., Fracalossi, D.M., Seiffert, W. Q., Vieira, F.D.N., 2019. *Aurantiochytrium* sp. meal can replace fish oil in practical diets for the juvenile Pacific white shrimp. *Aquac. Nutr.* 25, 798–807. <https://doi.org/10.1111/anu.12897>.
- Hannon, M., Gimpel, J., Tran, M., Rasala, B., & Mayfield, S. (2010). Biofuels from algae: challenges and potential. *Biofuels*, 1(5), 763-784.
- Hodar, A. R., Vasava, R. J., Mahavadiya, D. R., & Joshi, N. H. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. *Journal of Experimental Zoology India*, 23(1).
- ICES (2018) *Report of the Benchmark Workshop on Seabass (WKBASS) 20–24 February 2017 and 21–23 February 2018*. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
- Karapanagiotidis I. T., Psoufakis P., Mente E., Malandrakis E., & Golomazou E. (2019). Effect of fishmeal replacement by poultry by-product meal on growth performance, proximate composition, digestive enzyme activity, haematological parameters and gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture nutrition*, 25(1), 3-14.
- Karapanagiotidis, I. T., Metsoviti, M. N., Gkalogianni, E. Z., Psoufakis, P., Asimaki, A., Katsoulas, N., ... & Zarkadas, I. (2022). The effects of replacing fishmeal by *Chlorella vulgaris* and fish oil by *Schizochytrium* sp. and *Microchloropsis gaditana* blend on growth performance, feed efficiency, muscle fatty acid composition and liver histology of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 561, 738709.
- Katerina, K.; Berge, G.M.; Turid, M.; Aleksei, K.; Grete, B.; Trine, Y.; Mats, C.; John, S.; Bente, R. Microalgal *Schizochytrium limacinum* Biomass Improves Growth and Filet

Quality When Used Long-Term as a Replacement for Fish Oil, in Modern Salmon Diets. *Front. Mar. Sci.* 2020, 7, 57. [CrossRef]

- Kousoulaki, K., Knutsdatter, Østbye, T., K., Krasnov, A., Torgersen, J.S., Mørkøre, T., Sweetman, J., 2015. Metabolism, health and fillet nutritional quality in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing n-3-rich microalgae. *J. Nutr. Sci.* 4, 1–13. <https://doi.org/10.1017/jns.2015.14>
- Kousoulaki, K., Mørkøre, T., Nengas, I., Berge, R.K., Sweetman, J., 2016. Microalgae and organic minerals enhance lipid retention efficiency and fillet quality in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 451, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.027>
- Krogdahl A, Bakke-McKellep AM, Baeverfjord G (2003) Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquacult Nutr* 9: 361-371.
- Kumar, V., Habte-Tsion, H.M., Allen, K.M., Bowman, B.A., Thompson, K.R., ElHaroun, E., Tidwell, J.H., 2018. Replacement of fish oil with Schizochytrium meal and its impacts on the growth and lipid metabolism of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquac. Nutr.* 24, 1769–1781. <https://doi.org/10.1111/anu.12816>
- Kyrana, V. R., & Lougovois, V. P. (2002). Sensory, chemical and microbiological assessment of farm-raised European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in melting ice. *International Journal of food science & technology*, 37(3), 319-328.
- Lee, S.; Park, C.-O.; Choi, W.; Bae, J.; Kim, J.; Choi, S.; Katya, K.; Kim, K.-W.; Bai, S.C. Partial Substitution of Fish Oil with Microalgae (*Schizochytrium* sp.) Can Improve Growth Performance, Nonspecific Immunity and Disease Resistance in Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Animals* 2022, 12, 1220. <https://doi.org/10.3390/ani12091220>
- Li K, Liu Q, Fang F, et al. Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: a review. *Bioresour Technol.* 2019;291:121934
- Li, M.H.; Robinson, E.H.; Tucker, C.S.; Manning, B.B.; Khoo, L. Effects of dried algae *Schizochytrium* sp., a rich source of docosahexaenoic acid, on growth, fatty acid composition, and sensory quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 2009, 292, 232–236.
- Lum, K. K., Kim, J., & Lei, X. G. (2013). Dual potential of microalgae as a sustainable biofuel feedstock and animal feed. *Journal of animal science and biotechnology*, 4, 1-7.
- Marques A, Canada P, Costa C, Basto A, Piloto F, Salgado MA, Abreu H, Dias J and Valente LMP (2023) Replacement of fish oil by alternative n-3 LC-PUFA rich lipid sources in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Front. Mar. Sci.* 10:1189319. doi: 10.3389/fmars.2023.1189319
- Matos, Â. P., Feller, R., Moecke, E. H. S., de Oliveira, J. V., Junior, A. F., Derner, R. B., & Sant'Anna, E. S. (2016). Chemical characterization of six microalgae with potential utility for food application. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93, 963-972.

- Mélo, R. C. S., Santos, L. P. D. S., Brito, A. P. M., Gouveia, A. D. A., Marçal, C., & Cavalli, R. O. (2016). Use of the microalga *Nannochloropsis oculata* in the rearing of newborn longsnout seahorse *Hippocampus reidi* (Syngnathidae) juveniles. *Aquaculture Research*, 47(12), 3934-3941.
- Metsoviti, M. N., Gkalogianni, E. Z., Katouni, A. M., Rougkas, G., Savvaki, E., Psafakis, P., ... & Karapanagiotidis, I. T. (2018). Effects of replacing fishmeal by *Chlorella vulgaris* and fish oil by *Nannochloropsis gaditana* and *Schizochytrium* sp. blend on growth and feed efficiency of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aqua*.
- Miller, M.R., Nichols, P.D., Carter, C.J., 2007. Replacement of fish oil with thraustochytrid *Schizochytrium* sp. L oil in Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L) diets. *Comp. Biochem. Physiol. Part A* 148, 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2007.05.018>.
- Montero, D., & Izquierdo, M. (2010). Welfare and health of fish fed vegetable oils as alternative lipid sources to fish oil. In G. Turchini, W. Ng, & D. Tocher (Eds.), *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds* (pp. 439–485). Cambridge, UK: CRC Press
- Niccolai, A., Zittelli, G. C., Rodolfi, L., Biondi, N., & Tredici, M. R. (2019). Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility. *Algal Research*, 42, 101617.
- NRC (2011). *Nutrient requirements of fish and shrimp*. 1st ed (Washington, DC, USA: The National Academy).
- Oliva-Teles, A., Enes, P., Peres, H., 2015. Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. In: *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*. Woodhead Publishing, pp. 203-233.
- Osmond, A. T., Arts, M. T., Hall, J. R., Rise, M. L., Bazinet, R. P., Armenta, R. E., & Colombo, S. M. (2021). *Schizochytrium* sp.(T18) oil as a fish oil replacement in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth performance, tissue fatty acid content, and lipid-related transcript expression. *Animals*, 11(4), 1185.
- Ostaszewska, T., Dabrowski, K., Palacios, M. E., Olejniczak, M., & Wieczorek, M. (2005). Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins. *Aquaculture*, 245(1-4), 273-286.
- Pickett G.D. & Pawson M.G. (1994) *Seabass – Biology, Exploitation and Conservation*. Chapman & Hall, London.
- Pinstrup-Andersen, P., Rahmanian, M., Allahoury, A., Guillou, M., Hendriks, S., Hewitt, J., Iwanaga, M., Kalafatic, C., Kliksberg, B., Maluf, R., Murphy, S., Oniang'o, R., Pimbert, M., Sepulveda, M., Tang, H., Béné, C., Hemre, G.-I., Isaacs, M., Modadugu, V. G., & Yang, N. (2014). Sustainable fisheries and aquaculture for food security and nutrition: A report by The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. High

Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security

- Posten, C., & Schaub, G. (2009). Microalgae and terrestrial biomass as source for fuels—a process view. *Journal of biotechnology*, 142(1), 64-69.
- Qiu, X., Hong, H., & MacKenzie, S. L. (2001). Identification of a $\Delta 4$ Fatty Acid Desaturase from *Thraustochytrium* sp. Involved in the Biosynthesis of Docosahexanoic Acid by Heterologous Expression in *Saccharomyces cerevisiae* and *Brassica juncea*. *Journal of Biological Chemistry*, 276(34), 31561-31566.
- Rajeev R and Bavitha M (2015) Lupins - An alternative protein source for aquaculture diets. *Int J Appl Res*1(3) : 04-08 17.
- Rizwan M, Mujtaba G, Memon SA, et al. Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: a review. *Renew Sust Energ Rev*. 2018;92:394–404.
- S. Nagappan, P. Das, M. AbdulQuadir, M. Thaher, S. Khan, C. Mahata, H. Al-Jabri, A.K. Vatland, G. Kumar, Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture, *J. Biotechnol.* 341 (2021) 1–20, <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.003>.
- Sáez-Royuela, M.; García, T.; Carral, J.M.; Celada, J.D. Fish Oil Replacement by a Blend of Vegetable Oils in Diets for Juvenile Tench (*Tinca tinca* Linnaeus, 1758): Effects on Growth Performance and Whole-Body Composition. *Animals* 2022, 12, 1113. <https://doi.org/10.3390/ani12091113>
- Santigosa, E., Brambilla, F., & Milanese, L. (2021). Microalgae oil as an effective alternative source of EPA and DHA for gilthead seabream (*Sparus aurata*) aquaculture. *Animals*, 11(4), 971.
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., Lanois, A. J., Livesey, E. D., Bernhard, K. P., & Coley, M. L. (2016). Towards sustainable aquafeeds: complete substitution of fish oil with marine microalga *Schizochytrium* sp. improves growth and fatty acid deposition in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PloS one*, 11(6), e0156684.
- Seong, T., Matsutani, H., Haga, Y., Kitagima, R., & Satoh, S. (2019). First step of non-fish meal, non-fish oil diet development for red seabream, (*Pagrus major*), with plant protein sources and microalgae *Schizochytrium* sp. *Aquaculture Research*, 50(9), 2460-2468.
- Shi, X., Chen, F., Chen, G. H., Pan, Y. X., Zhu, X. M., Liu, X., & Luo, Z. (2017). Fishmeal can be totally replaced by a mixture of rapeseed meal and *Chlorella* meal in diets for crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture Research*, 48(11), 5481-5489.
- Skrede, A., Mydland, L. T., Ahlstrøm, Ø., Reitan, K. I., Gislerød, H. R., & Øverland, M. (2011). Evaluation of microalgae as sources of digestible nutrients for monogastric animals. *J Anim Feed Sci*, 20(1), 131-142.

- Sørensen, M., Berge, G. M., Reitan, K. I., & Ruyter, B. (2016). Microalga *Phaeodactylum tricornutum* in feed for Atlantic salmon (*Salmo salar*)—Effect on nutrient digestibility, growth and utilization of feed. *Aquaculture*, 460, 116-123.
- Sørensen, M., Gong, Y., Bjarnason, F., Vasanth, G. K., Dahle, D., Huntley, M., & Kiron, V. (2017). Nannochloropsis oceanica-derived defatted meal as an alternative to fishmeal in Atlantic salmon feeds. *PloS one*, 12(7), e0179907.
- Sprague, M.; Walton, J.; Campbell, P.J.; Strachan, F.; Dick, J.R.; Bell, J.G. Replacement of fish oil with a DHA-rich algal meal derived from *Schizochytrium* sp. on the fatty acid and persistent organic pollutant levels in diets and flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) post-smolts. *Food Chem.* 2015, 185, 413–421.
- Tacon, A. G., & Metian, M. (2015). Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1-10.
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R., Metian, M., 2011. Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans. Trends and prospects. In: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper
- Tibbetts, S. M., Scaife, M. A., & Armenta, R. E. (2020). Apparent digestibility of proximate nutrients, energy and fatty acids in nutritionally balanced diets with partial or complete replacement of dietary fish oil with microbial oil from a novel *Schizochytrium* sp.(T18) by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 520, 735003.
- Van Hoestenbergh, S., Fransman, C.-A., Luyten, T., Vermeulen, D., Roelants, I., Buysens, S., Goddeeris, B.M., 2016. *Schizochytrium* as a replacement for fish oil in a fishmeal free diet for jade perch, *Scortum barcoo* (McCulloch & Waite). *Aquac. Res.* 47, 1747–1760. <https://doi.org/10.1111/are.12631>.
- Vandeputte, M., Gagnaire, P. A., & Allal, F. (2019). The European Sea bass: a key marine fish model in the wild and in aquaculture. *Animal genetics*, 50(3), 195-206.
- Vázquez, F. J. S., & Muñoz-Cueto, J. A. (Eds.). (2014). Biology of European sea bass. CRC press
- Vuppalladiyam, A. K., Prinsen, P., Raheem, A., Luque, R., & Zhao, M. (2018). Microalgae cultivation and metabolites production: a comprehensive review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 12(2), 304-324.
- Wan, A. H., Davies, S. J., Soler-Vila, A., Fitzgerald, R., & Johnson, M. P. (2019). Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 458-492.
- Wang, Y., Li, M., Filer, K., Xue, Y., Ai, Q., Mai, K., 2017a. Evaluation of *Schizochytrium* meal in microdiets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae. *Aquac. Res.* 48, 2328–2336. <https://doi.org/10.1111/are.13068>.
- Xie, J., Fang, H., Liao, S., Guo, T., Yin, P., Liu, Y., ... & Niu, J. (2019). Study on *Schizochytrium* sp. improving the growth performance and non-specific immunity of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) while not affecting the antioxidant capacity. *Fish & shellfish immunology*, 95, 617-623.

- Xing, J., Xiao, F., Luo, X., Sun, J., Li, H., Yuan, X., Ji, H., 2020. Effect of dietary Schizochytrium sp. oil as an n-3 long-chain polyunsaturated fatty acid source on growth performance, lipid metabolism and antioxidant status in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*): a comparative study with fish oil. *Aquac. Res.* 51, 4551–4564. <https://doi.org/10.1111/are.14800>.
- Yamasaki, T., Aki, T., Mori, Y., Yamamoto, T., Shinozaki, M., Kawamoto, S., & Ono, K. (2007). Nutritional enrichment of larval fish feed with thraustochytrid producing polyunsaturated fatty acids and xanthophylls. *Journal of bioscience and bioengineering*, 104(3), 200-206.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Κλαουδάτος, Σ., & Κλαουδάτος, Δ. (2012). Καλλιέργειες φυτικών και εκτροφές υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Εκδόσεις Προπομπός, Αθήνα, 478.
- Νεοφύτου, Χ. Ν. (2015). Βιολογία ιχθύων και θαλάσσιων θηλαστικών. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 599
- Παπουτσόγλου, Σ. Ε. (2008). Διατροφή ιχθύων. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, 976.

Ιστοσελίδες

<https://www.veramaris.com/>