

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επίδραση της μερικής υποκατάστασης του ιχθυαλεύρου από  
άλευρο *Hermetia illucens*, στη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού  
και ολόκληρου του σώματος της τσιπούρας (*Sparus aurata*)

Θεόδωρος-Γαβριήλ Πιτροπάκης

ΒΟΛΟΣ 2024

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

**BACHELOR'S THESIS**

**The effect of partial substitution of fishmeal with *Hermetia illucens*  
meal on the proximate composition of muscle tissue and whole body  
of gilthead seabream (*Sparus aurata*)**

**Theodoros-Gavriil Pitropakis**

**VOLOS 2024**

**“Επίδραση της μερικής υποκατάστασης του ιχθυαλεύρου από άλευρο *Hermetia illucens*, στη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού και ολόκληρου του σώματος της τσιπούρας (*Sparus aurata*)”**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

**1) Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης,** Αναπληρωτής Καθηγητής – Διατροφή Υδροβίων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων.***

**2) Ιωάννης Μποζιάρης,** Καθηγητής – Υγιεινή και Συντήρηση Ιχθυηρών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

**3) Φωτεινή Παρλαπάνη,** Επίκουρος Καθηγήτρια – Μοριακή Μικροβιολογία και Ποιότητα Αλιευτικών Προϊόντων – Τροφίμων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

*Στους παππούδες και στις γιαγιάδες μου*

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ.Καραπαναγιωτίδη Ιωάννη για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξη του οποιαδήποτε ώρα και μέρα, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τον κ.Μποζιάρη Ιωάννη και την κα.Παρλαπάνη Φωτεινή, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την ομάδα του εργαστηρίου, τους υποψήφιους διδάκτορες κα.Ασημάκη Αδαμαντία, κα.Γκαλογιάννη Ελίνα, τον διδάκτορα κ.Ψωφάκη Πιέρ για την καθοριστική, άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά τους. Μεγάλο ευχαριστώ επίσης στους συμφοιτητές μου με τους οποίους είχαμε μια άψογη συνεργασία, κα.Μαρή Αικατερίνη και κ.Λάμπρου Μιχαήλ.

Βεβαίως θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη και τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, η γενικευμένη αύξηση του πληθυσμού, σε συνδυασμό με την αύξηση της ζήτησης υψηλής διατροφικής αξίας τροφίμων, όπως των θαλασσινών ιχθύων και της τσιπούρας (*Sparus aurata*) και η πίεση για μετάβαση σε μια αειφορική ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας, έχουν οδηγήσει στην ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών πρώτων υλών που μπορούν να αντικαταστήσουν τα βασικά συμβατικά συστατικά όπως είναι το ιχθυάλευρο σε ένα σιτηρέσιο. Η παρούσα μελέτη και πειραματισμός αποσκοπούσε στη διερεύνηση της επίδρασης που έχει η διαιτητική υποκατάσταση της πρωτεΐνης του ιχθυαλεύρου σε ποσοστό 30% από απολιπασμένο εντομάλευρο λαρβών μαύρης στρατιωτόμυγας (*Hermetia illucens*) στη θρεπτική σύσταση (υγρασία, τέφρα, ολικές πρωτεΐνες, ολικά λιπαρά) του μυϊκού ιστού και ολόκληρου του σώματος της τσιπούρας. Τα ευρήματα έδειξαν ότι δεν υπήρξε καμία επίδραση στη σύσταση ολόκληρου του σώματος, αλλά υπήρξε σημαντική μείωση στη περιεκτικότητα των ολικών λιπαρών του μυϊκού ιστού που ενδεχομένως οφείλεται στη μικρότερη πεπτικότητα του εντομάλευρου. Απαραίτητη είναι η επιπρόσθετη διερεύνηση των επιδράσεων που έχει η υποκατάσταση αυτή και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του μυϊκού ιστού και ολόκληρου του σώματος, και στην πεπτικότητα του σιτηρεσίου, ωστόσο τα αποτελέσματα αυτά είναι ενθαρρυντικά για την συμπερίληψη μιας τέτοιας πρώτης ύλης στη βιομηχανία ιχθυοτροφών.

## Λέξεις κλειδιά

υδατοκαλλιέργεια, κυκλική οικονομία, διατροφική αξία, βιώσιμες ιχθυοτροφές, πρωτεΐνες εντόμων, ποσοτική ανάλυση

## **Abstract**

It has become a reality that quality food sourcing is facing many challenges due to the rise of global population, increase in the demand for high quality proteins -seafood and particularly species like the gilthead seabream (*Sparus aurata*) being one of them- as well as the pressure for establishing a sustainable food production chain, all pose a challenge in order to discover credible alternative protein sources to replace long-established and unsustainable ingredients of fishfeeds like fishmeal. This research project aimed at providing key information about the effects of 30% dietary fishmeal protein substitution by defatted black soldier fly prepupae (*Hermetia illucens*) meal on the muscle tissue (fillet) and whole body proximate composition (moisture, ash, crude protein, crude fat) of an important cultured mediterranean fish species, gilthead seabream - *Sparus aurata*. The results indicate that there were no significant differences on the whole body composition between the two groups, but there was a statistically significant decrease in crude fat content in the muscle tissue of fish fed with the defatted insectmeal, that was most likely attributed to a decreased digestibility that insectmeal imposes. It is concluded that additional research is needed to determine the qualitative effects on the composition of the whole body and muscle tissue as well as the exact difference in the metabolizable energy produced by the defatted insectmeal, nonetheless the results give hope that such a feedstuff can be widely used by the aquafeed industry.

## **Keywords**

aquaculture, insectmeal, circular economy, sustainable aquafeeds, alternative protein sources, proximate composition

# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>9</b>
1.1	Γενική Εισαγωγή . . . . .	9
1.2	Ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας . . . . .	10
1.3	Θρεπτική σύσταση ιχθύων: γιατί είναι σημαντική . . . . .	11
1.3.1	Παράγοντες που επιδρούν την θρεπτική σύσταση . . . . .	12
1.4	Τσιπούρα ( <i>Sparus aurata</i> L.) . . . . .	14
1.5	Το ιχθυάλευρο ως συστατικό στις ιχθυοτροφές . . . . .	15
1.6	Μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες εντόμων ως υποκατάστατο ιχθυ- άλεουρου . . . . .	17
1.7	Μαύρη Στρατιωτόμυγα ( <i>Hermetia illucens</i> L.) . . . . .	19
1.8	Σκοπός της μελέτης . . . . .	21
<b>2</b>	<b>Υλικά &amp; Μέθοδοι</b>	<b>22</b>
2.1	Πειραματική διατροφή . . . . .	22
2.2	Πειραματική εκτροφή . . . . .	24
2.3	Δειγματοληψία . . . . .	24
2.4	Αναλύσεις θρεπτική σύστασης . . . . .	25
2.5	Στατιστική ανάλυση . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Αποτελέσματα</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Συζήτηση</b>	<b>33</b>
4.1	Τα ευρήματα για τον μυϊκό ιστό & ολόκληρο το σώμα . . . . .	33
4.2	Συμπεράσματα . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Ελληνική Βιβλιογραφία</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>Ξένη Βιβλιογραφία</b>	<b>38</b>
<b>A'</b>	<b>Παράρτημα</b>	<b>44</b>

---

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενική Εισαγωγή

Ευρέως πιστεύεται ότι ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας επιβάλλεται να αναπτυχθεί με βάση την αειφορική λειτουργία του, ιδιαίτερος στην τρέχουσα εποχή όπου τα περιβαλλοντικά ζητήματα είναι πιο επίκαιρα από ποτέ, σύμφωνα και με τη διεθνή ατζέντα των δεκαεπτά (17) στόχων αειφορικής ανάπτυξης που έχει θέσει ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.), όπου οι περισσότεροι στόχοι σχετίζονται με την υδατοκαλλιέργεια (Frankic et al. 2003, Hambrey 2017). Εξ ορισμού, η αειφορία περιλαμβάνει τη διατήρηση των φυσικών πόρων για τις επόμενες γενεές και μεταξύ άλλων και την κοινωνικό-οικονομική βιωσιμότητα ενός κλάδου, δυο ζωτικής σημασίας παράγοντες για την υδατοκαλλιέργεια οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με την διατροφολογία των εκτρεφόμενων ειδών (Frankic et al. 2003). Ωστόσο, για να επιτευχθεί αειφορική ανάπτυξη, απαιτείται η εκτροφή να λύσει ορισμένα προβλήματα όπως, την εύρεση εναλλακτικών αξιόλογων και βιώσιμων πηγών θρεπτικών για τις ιχθυοτροφές, την αξιόπιστη παραγωγή ενός ποιοτικού ως προς την διατροφική αξία προϊόντος που θα είναι αποδεκτό από το καταναλωτικό κοινό ενώ παράλληλα να μειώσει το κόστος παραγωγής (Frankic et al. 2003). Έτσι, πολλαπλές ερευνητικές προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί έως τώρα ώστε να λύσουν τα παραπάνω ζητήματα, μέσω της δοκιμής αντικατάστασης ακριβών ή/και μη βιώσιμων συστατικών των ιχθυοτροφών, όπως το ιχθυάλευρο και το ιχθυέλαιο, με συστατικά όπως άλευρα και έλαια φυτικής προέλευσης, άλευρα ζωικών παραπροϊόντων κτηνοτροφίας, μικροφύκη, μικροοργανισμούς αλλά και έντομα, με ποικίλους βαθμούς επιτυχίας

## 1.2 Ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας

---

στα σαρκοφάγα μεσογειακά είδη όπως η τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Grigorakis 2007, Hartviksen 2015, Naylor et al. 2021).

Αυτό διότι τα συστατικά της τροφής ενός εκτρεφόμενου είδους επηρεάζουν άμεσα μια πληθώρα παραγόντων και πολλές φορές μέσω πολύπλοκων τρόπων, είτε κατά την διάρκεια της εκτροφής, είτε στο τελικό προϊόν. Ειδικότερα, μια από τις μεταβολές που παρατηρείται λόγω διατροφολογικής αλλαγής στο τελικό προϊόν είναι η θρεπτική του σύσταση, δηλαδή η περιεκτικότητα του σε πρωτεΐνη, λιπαρά, υδατάνθρακες, τέφρα, και ολική ενέργεια. Σημαντικά στοιχεία για την αξία του προϊόντος και για την αποδοχή του στην αγορά, λόγω των απαιτήσεων που τίθενται στα θαλασσινά προϊόντα για υψηλές περιεκτικότητες σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα ω-3, εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ DHA, εικοσιπενταενοϊκό οξύ EPA καθώς και στην υψηλή τους περιεκτικότητα σε καλής ποιότητας πρωτεΐνη λόγω της ωφελιμότητάς τους στην ανθρώπινη υγεία (Hoffman et al. 2004). Παρακάτω αναλύονται λεπτομερώς τα επιμέρους προαναφερθέντα θέματα.

## 1.2 Ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας

Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους πρωτογενείς κλάδους παγκοσμίως αλλά και στην Ευρώπη (Tran et al. 2021, FAO 2022). Μακροπρόθεσμα αναμένεται να συνεχίσει να αναπτύσσεται ραγδαία εξαιτίας όχι μόνο της αύξησης του πληθυσμού (Tran et al. 2021), αλλά και λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για ποιοτικότερη διατροφή των ανθρώπων (Nichols et al. 2010, Marchi et al. 2023) μιας και τα ιχθυηρά θεωρούνται τρόφιμα υψηλής διατροφικής αξίας. Ωστόσο, γίνεται φανερό το γεγονός πως η προμήθεια των ιχθυηρών μπορεί να αυξηθεί πε-

### 1.3 Θρεπτική σύσταση ιχθύων: γιατί είναι σημαντική

---

ραιτέρω μόνο μέσω της ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας και όχι μέσω της αύξησης της συλλεκτικής αλιείας (Albrektsen et al. 2022), η οποία είναι στάσιμη εδώ και δεκαετίες και απαιτούνται δραστικά μέτρα για τη βιώσιμη παραγωγή της (Tran et al. 2022). Συνεπώς, παράλληλα με την ανάπτυξη της ιχθυοκαλλιέργειας αυξάνονται και εφάμιλλοι κλάδοι όπως αυτός των ιχθυοτροφών, ο οποίος αποτελεί και το βασικότερο στοιχείο για την αειφορική ανάπτυξη της παραγωγής (Tran et al. 2022).

Μεγάλη σημασία για την υδατοκαλλιέργεια έχει η αποδοτική διατροφή των ειδών, με σιτηρέσια που πληρούν μια πληθώρα ζωτικών παραγόντων, δηλαδή, να υπερκαλύπτουν τις ανάγκες του εκτρεφόμενου οργανισμού σε απαραίτητα -για τη βέλτιστη ανάπτυξη του- θρεπτικά στοιχεία όπως τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα της σειράς ω-3 EPA και DHA, υψηλά επίπεδα πρωτεΐνης και απαραίτητων αμινοξέων κ.α. Επίσης, οι ιχθυοτροφές θα πρέπει να βασίζονται σε πρώτες ύλες με κατάλληλη θρεπτική σύσταση για τη διατροφή των ιχθύων και ταυτόχρονα να παράγονται με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και να έχουν μια οικονομική τιμή προμήθειας. Με άλλα λόγια, ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας αναζητεί και πρέπει να χρησιμοποιήσει «βιώσιμες ιχθυοτροφές» (Woodgate et al. 2022, Marchi et al. 2023).

### 1.3 Θρεπτική σύσταση ιχθύων: γιατί είναι σημαντική

Αδιαμφισβήτητα, από τους σημαντικότερους παράγοντες για την εμπορικότητα των ιχθύων, από πολλές οπτικές, αποτελεί αυτός της θρεπτικής σύστασης. Για τον καταναλωτή έχει σημασία το προϊόν που θα προμηθευτεί να διαθέτει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά ενός τροφίμου υψηλής διατροφικής αξίας με τα εμπειριστατώμενα οφέλη στην ανθρώπινη υγεία, συμπεριλαμβανομένου και των αναμενόμενων

### 1.3 Θρεπτική σύσταση ιχθύων: γιατί είναι σημαντική

---

οργανοληπτικών ιδιοτήτων (Rasmussen 2001, Ahmed et al. 2022). Για την αποδοτική εκτροφή του είδους έχει επίσης ιδιαίτερη σημασία η θρεπτική σύσταση, καθώς από αυτήν προκύπτει η αξιολόγηση της αποδοτικότητας της διατροφής και της εναπόθεσης των θρεπτικών στοιχείων στη σάρκα (Karapanagiotidis 2017), σύμφωνα με τα απαιτούμενα κριτήρια που θέτονται και από μετέπειτα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας (συντήρηση - μεταφορά, μεταποίηση) π.χ. κατά την αναπαραγωγική περίοδο των ιχθύων τα θρεπτικά στοιχεία από την διατροφή διανέμονται κυρίως στην ανάπτυξη των γονάδων με αποτέλεσμα να μειώνεται η ξηρή ουσία στο φιλέτο, κάτι που ενδεχομένως δεν θα τα καθιστούσε αποδεκτά για επεξεργασία σε καπνιστήριο λόγω αυξημένης φύρας (Ahmed et al. 2022). Συνεπώς, η παρακολούθηση και τροποποίηση μέσω διατροφικών χειρισμών της θρεπτικής σύστασης επηρεάζει τη συνολική αποδοτικότητα της εκτροφής (π.χ. χρήση σιτηρεσίων συγκομιδής για βελτιστοποίηση της ποιότητας λιπιδίων και εξοικονόμηση (Grigorakis 2007)) και επιβάλλεται να υπάρχει επίγνωση για τους παράγοντες που επιδρούν πάνω σε αυτή.

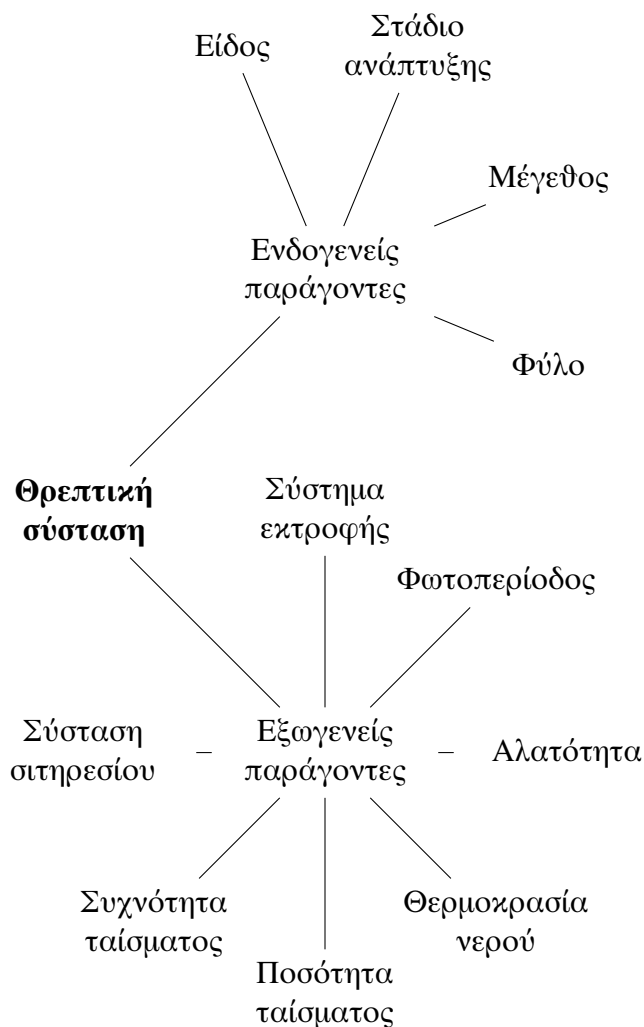
#### 1.3.1 Παράγοντες που επιδρούν την θρεπτική σύσταση

Η θρεπτική σύσταση των ιχθύων επηρεάζεται από πολλαπλούς παράγοντες, ενδογενείς και εξωγενείς, ατομικούς και μαζικούς (Σχήμα 1) (Shearer 1994, Karapanagiotidis 2017). Οι ενδογενείς αφορούν το εκτρεφόμενο είδος και τη γενική βιολογία του (άπαχο - λιπαρό), το στάδιο ανάπτυξης, μέγεθος καθώς και το φύλο, ενώ οι εξωγενείς αποτελούνται από το περιβάλλον (συνθήκες νερού/διαβίωσης) και τον σημαντικότερο για τα εκτρεφόμενα είδη, τη διατροφή (σύσταση σιτηρεσίου, παράμετροι ταΐσματος)(Shearer 1994, Rasmussen 2001, Karapanagiotidis 2017). Πιο συγκεκριμένα

### 1.3 Θρεπτική σύσταση ιχθύων: γιατί είναι σημαντική

για τον παράγοντα της διατροφής στον οποίο και εστιάζει ο παρόν πειραματισμός, έχει διαπιστωθεί πως επίδραση στη θρεπτική σύσταση επιφέρει το ποσοστό παρεχόμενης πρωτεΐνης, λιπαρών, το ποσό της διατροφικής ενέργειας, οι αναλογίες μεταξύ των τριών (αναλογία πρωτεΐνης - λιπαρών κ.λ.π.) καθώς και τα διάφορα συστατικά του σιτηρεσίου (Karapanagiotidis 2017).

**Σχήμα 1:** Σχεδιάγραμμα των παραγόντων που επιδρούν στη θρεπτική σύσταση των ιχθύων.



## 1.4 Τσιπούρα (*Sparus aurata* L.)

Στην Ευρωπαϊκή μερίδα της υδατοκαλλιέργειας κυριαρχούν ορισμένα είδη ιχθύων (FAO 2022), με ένα από τα σημαντικότερα από αυτά να είναι η τσιπούρα (*S. aurata*), αποτελώντας πάνω από το 51% της συνολικής παραγωγής ιχθύων στη Μεσόγειο (Parma et al. 2016). Το είδος αυτό ανήκει στην οικογένεια των σπαρίδων (Sparidae) και είναι πρωτοπόρο είδος για τον κλάδο καθώς αποτελεί μαζί με το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) την πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια τεχνητής εκτροφής ενός μεσογειακού θαλάσσιου ιχθύος με σημαντικό εμπορικό ενδιαφέρον σε όλες τις χώρες του δυτικού κόσμου λόγω των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του ως ένα προϊόν που πέραν της καλής του διατροφικής αξίας φέρει και χαρακτηριστικά μιας γευστικής εμπειρίας που περιλαμβάνει ιστορία και κουλτούρα (Grigorakis 2007, HAPO 2023).

Από τη φύση του, το είδος θεωρείται κυρίως σαρκοφάγο και προαιρετικά φυτοφάγο, τρεφόμενο με οστρακοειδή και μικρά μαλάκια, ενώ ενδιαιτήματα του αποτελούν τα ρηγά και πλούσια σε τροφή μεταβατικά και μη ύδατα, από τη Μεσόγειο έως και τον Ανατολικό Ατλαντικό (Pavlidis et al. 2011). Η τσιπούρα είναι ένα «καλαίσθητο» και εύκολα διαχειρίσιμο είδος, το οποίο προτιμάται από τους καταναλωτές και ολόκληρο και σε μορφή φιλέτου. Τα άγρια άτομα συνήθως έχουν μικρότερα ποσοστά λίπους, ωστόσο τα εκτρεφόμενα περιέχουν πάντα ένα μέσο ποσοστό λίπους (Grigorakis 2017). Συγκαταλέγεται στα άπαχα είδη με την κύρια αποθήκευση/παραγωγή λίπους να συμβαίνει, με σειρά μειώμενης προτεραιότητας, στο ήπαρ, στο λιπώδη περιτοναϊκό και περιεντερικό ιστό και ενδομυϊκώς (Γρηγοράκης Κ. 2011).

### 1.5 Το ιχθυάλευρο ως συστατικό στις ιχθυοτροφές

Τα σαρκοφάγα εκτρεφόμενα είδη ιχθύων, συμπεριλαμβανομένου της τσιπούρας (πχ σολομός, λαβράκι κ.α.) έχουν υψηλές ποσοτικές αλλά και ποιοτικές ανάγκες πρωτεΐνης (Hardy 2010, Glencross 2020, Woodgate et al. 2022). Ως ποιοτική πρωτεΐνη νοείται εκείνη που περιέχει υψηλά επίπεδα απαραίτητων αμινοξέων, αλλά και μια ισορροπημένη αναλογία αμινοξέων απαραίτητων και μη (Woodgate et al. 2022). Το πρωτεϊνούχο αυτό συστατικό επιπροσθέτως πρέπει να παρουσιάζει καλή πεπτικότητα και να μην περιέχει αντιδιατροφικούς παράγοντες σε σημαντικές ποσότητες (Woodgate et al. 2022). Από τις απαρχές της βιομηχανικής εκτροφής, το απόλυτο συστατικό που πληρούσε τα παραπάνω κριτήρια στις περισσότερες ιχθυοτροφές αποτελούσε το ιχθυάλευρο· μια πρώτη ύλη προερχόμενη από την επεξεργασία (άλεση, βρασμός, διαχωρισμός λίπους, αφυδάτωση) αλιευμάτων χαμηλής οικονομικής αξίας (Glencross 2020, Woodgate et al. 2022).

Γιατί το ιχθυάλευρο είναι ο «χρυσός κανόνας» των συστατικών ιχθυοτροφών; Η απλή απάντηση είναι πως αποτελεί την τροφή την οποία επιζητούν οι σαρκοφάγοι ιχθύες στο φυσικό τους περιβάλλον. Αναλύοντας περαιτέρω όμως τα επιμέρους στοιχεία που περιέχει το ιχθυάλευρο και συγκρίνοντας τα με τις γνωστές απαιτήσεις των ιχθύων προκύπτει το συμπέρασμα ότι περιέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα σε υψηλά επίπεδα και στις σωστές αναλογίες που διαφορετικά θα έπρεπε να συνδυαστούν δύο ή περισσότερα προϊόντα χερσαίας φυτικής ή ζωικής προέλευσης για να επιτευχθούν. Ιδιαίτερα, τα ιχθυάλευρα περιέχουν υψηλά επίπεδα μεθειονίνης και λυσίνης, αμινοξέα που είναι δυσεύρετα σε πρωτεΐνες χερσαίας προέλευσης (He et al. 2019). Περαιτέρω, τα ιχθυάλευρα είναι πολύ γευστικά και ελκυστικά, ταυτοχρόνως

## 1.5 Το ιχθυάλευρο ως συστατικό στις ιχθυοτροφές

---

δεν περιέχουν αντιδιατροφικά στοιχεία, άπεπτες ινώδεις ουσίες και υδατάνθρακες ενώ θεωρείται ότι περιέχουν κάποιους αδιευκρίνιστους αυξητικούς παράγοντες (πιθανότατα ένα συνδυασμό αμίνων και στεροειδών) που συμβάλουν στην γρήγορη και σωστή ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ιχθύων (Hardy 2010, Turchini et al. 2019). Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε τα ιχθυάλευρα προέρχονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από φυσικά ιχθυοαποθέματα τα οποία έχουν περιορισμένες δυνατότητες περαιτέρω εκμετάλλευσης προκειμένου να διατηρηθούν σε μια βιώσιμη και αειφορική κατάσταση. Για αυτόν τον λόγο, τα τελευταία χρόνια την θέση του ιχθυάλευρου στις ιχθυοτροφές υποκαθιστούν εναλλακτικά συστατικά τα οποία μπορούν να παραχθούν αειφορικά με μεγαλύτερη ευκολία και κλίμακα στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας και τα οποία διαθέτουν πολλά υποσχόμενες διατροφικές δυνατότητες για τους εκτρεφόμενους ιχθύες (Hardy 2010, Turchini et al. 2019, Rawski et al. 2021). Μια από τις κατηγορίες αυτών των συστατικών που εξετάζεται και στην παρούσα έρευνα είναι οι μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες μαζικώς εκτρεφόμενων εντόμων.

## **1.6 Μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες εντόμων ως υποκατάστατο ιχθυάλευρου**

Οι πιο πρόσφατες εξελίξεις στην βιομηχανία των ιχθυοτροφών δείχνουν την τάση υποκατάστασης του ιχθυάλευρου από ποικίλες πρώτες ύλες οι οποίες μέσω του ορθού συνδυασμού αποτελούν αξιόλογες πηγές πρωτεΐνης για τα εκτρεφόμενα είδη (Kusumowardani et al. 2020). Πρώτες ύλες προερχόμενες κυρίως από την χερσαία πρωτογενή παραγωγή, όπως βιομάζα και σπέρματα φυτικών ειδών γενετικά τροποποιημένων και μη (σόγια, σιτάρι, αραβόσιτος, λούπινο κ.α.), παραπροϊόντα κτηνοτροφίας (άλευρα μη μηρυκαστικών, περάλευρο κ.α.) (Olsen 2011), ενώ σε ερευνητικό, ως επί το πλείστον, επίπεδο υπάρχουν πειραματισμοί για τη χρήση βιομάζας μονοκύτταρων μικροοργανισμών, μικροφυκών, καθώς και διάφορων ειδών εντόμων των οποίων η καλλιέργεια μπορεί να αναπτυχθεί βιώσιμα σε κλίμακα, συμβάλλοντας στην επίτευξη μιας πλήρους αειφορικής εκτροφής (Naylor et al. 2021, Rawski et al. 2021). Θεσμικά η συμπερίληψη ΜΖΠ συγκεκριμένων ειδών εντόμων τα οποία έχουν καλλιεργηθεί με βάση κάποιων συγκεκριμένων πρωτοκόλλων τέθηκε σε ισχύ από τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 2017/893 (2017) και δίνει τη δυνατότητα στη βιομηχανία για περαιτέρω έρευνα πάνω στο θέμα των εντόμων λόγω των πολλά υποσχόμενων -για την εκτροφή ανώτερων ειδών- θρεπτικών και μη χαρακτηριστικών τους (Tran et al. 2021). Επιπροσθέτως, η εκτροφή εντόμων έχει τη δυνατότητα να υλοποιήσει ανεκμετάλλευτες ροές οργανικών απορριμμάτων, να χρησιμοποιεί αποδοτικά καλλιεργούμενες εκτάσεις και πολύτιμους πόρους όπως νερό και ηλεκτρική ενέργεια συμβάλλοντας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της υδατοκαλλιέργειας δεδομένου πως η παραγωγή εντομάλευρου αντικαθιστά την πα-

## 1.6 Μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες εντόμων ως υποκατάστατο ιχθυάλευρου

---

ραγωγή λιγότερο αειφόρων πρώτων υλών (Zarantoniello et al. 2020, Maiolo et al. 2021, Weththasinghe et al. 2022). Για ορισμένα είδη όπως ο οξύρρυγχος (*Acipenser sturio*) η συμπερίληψη εντομάλευρου *H. illucens* στη διατροφή φαίνεται να αυξάνει τόσο την περιβαλλοντική αλλά και την οικονομική βιωσιμότητα της εκτροφής (Rawski et al. 2021), ωστόσο δεν πρέπει να παραλείπεται το γεγονός πως η παραγωγή του εντομάλευρου σε μεγάλη κλίμακα αν και πιο βιώσιμη από άλλες, εξακολουθεί να αποτελεί μια ακόμη περιβαλλοντικά επίπονη βιομηχανική διεργασία (Maiolo et al. 2021).

Διατροφικά, τα εντομάλευρα παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα απαραίτητων αμινοξέων όπως λυσίνης και μεθειονίνης συγκριτικά με άλλα άλευρα ζωικής και φυτικής προέλευσης (Nogales-Mérida et al. 2019), ωστόσο όχι αρκετά για να καλύψουν αυτοτελώς τις ανάγκες όλων των ιχθύων. Παρομοίως με το ιχθυάλευρο, τα έντομα αποτελούν φυσική τροφή για πολλά από τα εκτρεφόμενα σαρκοφάγα είδη ιχθύων ενώ ταυτόχρονα διαθέτουν ιδιαίτερα στοιχεία που επηρεάζουν τη σύσταση της ιχθυοτροφής και τους ίδιους τους ιχθύες (θετικά ή/και αρνητικά), όπως χιτίνη, λαυρικό οξύ και βιοδραστικές ουσίες (Nogales-Mérida et al. 2019, Tran et al. 2021, Weththasinghe et al. 2022). Στα έντομα και καρκινοειδή, η χιτίνη αποτελεί δομικό συστατικό του εξωσκελέτου τους, του κυτταρικού τοιχώματος βακτηρίων και μυκήτων, εξού και η ετυμολογία της λέξης (χιτίνη = χιτών) (Elieh Ali Komi et al. 2018). Ειδικότερα, είναι ένας πολυσακχαρίτης – βιοπολυμερές με σημαντικούς βιολογικούς ρόλους (Elieh Ali Komi et al. 2018) και αποτελεί ένα από τα μη πρωτεϊνικά αζωτούχα στοιχεία στα έντομα (Tran et al. 2021). Είναι συστατικό που ανάλογα με το περιεχόμενο ποσοστό σε μια ιχθυοτροφή μπορεί να επιφέρει θετικές ή αρνητικές επιδράσεις. Σε μικρές ποσότητες έχει ανοσοδιεγερτικές ιδιότητες και τείνει να βελτιώνει την πεπτικότητα των

## 1.7 Μαύρη Στρατιωτόμυγα (*Hermetia illucens* L.)

---

πρωτεϊνών, ενώ σε μεγαλύτερες ποσότητες ανάλογα με το είδος, μειώνει σημαντικά την πεπτικότητα και τον ρυθμό αύξησης (Tran et al. 2021). Ωστόσο, η χιτίνη δεν αποτελεί την μοναδική ιδιαιτερότητα των συστατικών αυτών για τους εκτρεφόμενους ιχθύες. Περισσότερη προσοχή δίνεται στον παρόν πειραματισμό στα μακροθρεπτικά στοιχεία των εντόμων και πιο συγκεκριμένα στη σύσταση απολιπασμένων λάρβων μαύρης στρατιωτόμυγας (*Hermetia illucens*) ώστε να αποφευχθούν μεγάλα ποσοστά χιτίνης και περίσσιων ανεπιθύμητων μονακόρεστων λιπαρών οξέων.

## 1.7 Μαύρη Στρατιωτόμυγα (*Hermetia illucens* L.)

Συγκριτικά με άλλα είδη εντόμων, η μαύρη στρατιωτόμυγα (black soldier fly BSF, *Hermetia illucens*), αποτελεί ένα από τα πιο ικανά και πολύμελετημένα είδη που μπορούν να εκτραφούν για χρήση ως συστατικά σε ιχθυοτροφές, με τις λάρβες της να διαθέτουν ποσοστά πρωτεΐνης έως και 61% επί ξηρής ουσίας (Karapanagiotidis et al. 2023), προφίλ αμινοξέων που πλησιάζει αυτό του ιχθυάλευρου (Zarantoniello et al. 2020), αν και με ορισμένες ελλείψεις όπως π.χ. σε περιεχόμενο μεθειονίνης και ποσοστά λίπους 30% (Liland et al. 2017). Είναι είδος που χρειάζεται ναπα οργανικά υλικά ως θρεπτικό υπόστρωμα και ήπιες περιβαλλοντικές συνθήκες (30 με 45% υγρασία) που επιτυγχάνονται με ιδιαίτερη ευκολία ειδικά σε εύκρατες περιοχές όπως η Μεσόγειος (θερμό κλίμα – υψηλή υγρασία) (Fischer et al. 2021, Karapanagiotidis et al. 2023). Το άλευρο λαρβών BSF έχει επιτυχώς υποκαταστήσει το ιχθυάλευρο σε πολλές έρευνες που έχουν γίνει ανά τα χρόνια, σε διαφορετικά είδη όπως τον οξύρρυγχο (*Acipenser sturio*), σολομό (*Salmo salar*), ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) (Weththasinghe et al. 2022), τσιπούρα (*S. aurata*), λαβράκι (*D. labrax*) και πολλά ακόμη

είδη (Tran et al. 2022).

Η σύσταση του αλευρου των λάρβων της μαύρης στρατιωτόμυγας παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες όπως, μεγάλη περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα, ιδιαίτερα λαυρικό (C12:0), μυριστικό (C14:0) και παλμιτικό οξύ (C16:0), καθώς και μονοακόρεστα όπως ελαϊκό οξύ (C18:1 ω-9) (Nogales-Mérida et al. 2019, Ewald et al. 2020). Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα τα οποία υπάρχουν σε υψηλά επίπεδα δεν είναι ιδιαιτέρως επιθυμητά και αναγκαία στην εκτροφή τσιπούρας, ωστόσο το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί είτε με τη χρήση υποστρωμάτων πλούσιων σε επιθυμητά λιπαρά οξέα (π.χ. πλούσια σε πολυακόρεστα ω-3 μικροφύκη) για την εκτροφή των εντόμων ή την απολίπωση του εντομάλευρου και συμπλήρωση των αναγκαίων λιπαρών οξέων από άλλες πηγές κατά τον καταρτισμό του σιτηρεσίου (Liland et al. 2017, Karapanagiotidis et al. 2023). Ως βιομηχανία, η εντομοκαλλιέργεια στην Ε.Ε. και συγκεκριμένα η εκτροφή της μαύρης στρατιωτόμυγας αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία τα επόμενα χρόνια -εκτιμάται να φθάσει τους 250.000 τόνους ετησίως το 2030- κάτι που θα έχει ως συνέπεια και την μείωση του κόστους του αλευρου της και συνεπώς θα το καθιστά ως μια αξιόλογη επιλογή πρώτης ύλης ιχθυοτροφής (Rawski et al. 2021).

## 1.8 Σκοπός της μελέτης

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχει μεγάλη ανάγκη για την ανάπτυξη μιας υδατοκαλλιεργητικής παραγωγής η οποία θα βασίζεται σε βιώσιμες πρώτες ύλες για τις ιχθυοτροφές της και προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, επιβάλλεται να υπάρχει πρωτίστως το ερευνητικό υπόβαθρο πάνω στο θέμα. Σκοπός λοιπόν της παρούσας έρευνας ήταν η περαιτέρω διερεύνηση και ενίσχυση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, αναφορικά με την επίδραση που έχει η διαιτητική υποκατάσταση της πρωτεΐνης του ιχθυάλευρου από πρωτεΐνη απολιπασμένου εντομάλευρου λαρβών μαύρης στρατιωτόμυγας, στη θρεπτική σύσταση (υγρασία, ανόργανα στοιχεία, ολικές αζωτούχες ενώσεις, ολικά λιπαρά) ολόκληρου του σώματος και του φιλέτου της εκτρεφόμενης τσιπούρας. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής θα συμβάλουν μερικώς στη διαλεύκανση του ερωτήματος: Η σύσταση του τελικού προϊόντος (φιλέτο/ολόκληρο ψάρι τσιπούρας) θα διαφέρει σημαντικά εάν κατά την εκτροφή θα έχει τραφεί με ποσοστό εντομάλευρου *Hermetia illucens*;

---

## 2 Υλικά & Μέθοδοι

### 2.1 Πειραματική διατροφή

Προκειμένου να εκπληρωθεί ο ευρύτερος πειραματικός σχεδιασμός του οποίου η παρούσα μελέτη αποτέλεσε μέρος, παρασκευάστηκαν τμηματικά τέσσερις (4) ισοενεργειακές και ισοαζωτούχες διατροφές σε επαρκείς ποσότητες. Ειδικότερα, μια διατροφή μάρτυρας (FM = fishmeal) η οποία περιείχε ως κύρια πηγή πρωτεΐνης, ιχθυάλευρο (Πίνακας 1) καθώς και τρεις ξεχωριστές διατροφές οι οποίες περιείχαν ως υποκατάστατο πρωτεΐνης επί της ξ/ο του ιχθυάλευρου κατά 30% , απολιπασμένο άλευρο με τη μέθοδο εκχύλισης σε πετρελαϊκό αιθέρα: *Zophobas morio* (ZM = zophobas meal), *Bombyx mori* (SWP = silkworm) και λάρβων *Hermetia illucens* (HM = hermetia meal)(Σχήμα 6, Βλ. Παράρτημα Α). Όλες οι διατροφές περιείχαν τα απαραίτητα προμείγματα βιταμινών και ιχνοστοιχείων, φωσφορικό μονοσασβέστιο, βιταμίνη Ε, ασκορβικό οξύ και αντιμυχλικό παράγοντα. Οι ανάγκες για τα απαραίτητα πολυακόρεστα ω-3 λιπαρά οξέα καλύφθηκαν και στα τέσσερα σιτηρέσια μέσω της πρόσθετης συμπερίληψης ιχθυέλαιου. Τα εντομάλευρα προήλθαν από συμβατική καλλιέργεια φυσικών πληθυσμών του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας (ΤΓΦΠΑΠ, Π.Θ), ενώ τα υπόλοιπα συστατικά από εμπορικούς προμηθευτές ιχθυοτροφών. Αναλυτικότερα, όλα τα ξηρά συστατικά του κάθε σιτηρεσίου αλέστηκαν σε επιτραπέζιο αλευρόμυλο (Fidibus, KoMo GmbH, Φρανκφούρτη), αναμείχθηκαν σε επιτραπέζιο αναδευτήρα οικιακού τύπου με το ιχθυέλαιο και εν συνεχεία με χλιαρό νερό προτού πελλετοποιηθούν σε εργαστηριακό πελλετοποιητή (CL-2, CPM Europe B.V., Άμστερνταμ) δημιουργώντας σύμπηκτα/πελλέτες

## 2.1 Πειραματική διατροφή

διαμέτρου 2,5mm που αποξηράνθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για 24 ώρες και συντηρήθηκαν στους 4°C βαθμούς καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η κατάρτιση των σιτηρεσίων, η πελλετοποίηση, και η πραγματοποίηση της εκτροφής των ιχθύων έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Υδατοκαλλιεργειών (ΤΠΥΠ, Π.Θ) με ΚΑΚ: EL-43BIO/exp-01 .

**Πίνακας 1:** Πρώτες ύλες - συστατικά του σιτηρεσίου μάρτυρα και του πειραματικού σιτηρεσίου εντομάλευρου

Συστατικά (%)	Σιτηρέσιο FM	Σιτηρέσιο HM
Ιχθυάλευρο	24.8	17.3
Άλευρο DFBSFL	0	10.2
Άλευρο σίτου	8.4	4.7
Γλουτένη σίτου	11.9	11.9
Γλουτένη καλαμποκιού	11.9	11.9
Συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας	23.9	24.3
Ιχθυέλαιο	7.0	8.2
Σογιέλαιο	5.0	3.4
Πρόμιγμα πρόσθετων*	7.2	8.2

DFBSFL: Άλευρο απολιπασμένων λάρβων μαύρης στρατιωτόμυγας (Defatted black soldier fly larvae)

\*Το πρόμιγμα περιλαμβάνει βιταμίνες, ιχνοστοιχεία, φωσφορικό μονοασβέστιο, L- λυσίνη, L- μεθειονίνη, L- ταυρίνη καθώς και χρώμιο ως δείκτη για την έρευνα πεπτικότητας που αποτελούσε μέρος του ευρύτερου πειραματικού σχεδιασμού

### 2.2 Πειραματική εκτροφή

Παραλήφθηκαν άτομα *S.aurata* με μέσο όρο βάρους  $166\pm 20$ γρ από ιχθυοπαραγωγικό σταθμό (Πελασγία Φθιώτιδας, Philosofish) τα οποία, αφότου εγκλιματίστηκαν στις συνθήκες των εγκαταστάσεων του εργαστηρίου ταϊζόμενα με μια κοινή και πλήρη διατροφή, διαμοιράστηκαν σε οκτώ (8) κυλινδροκωνικές δεξαμενές πολυεστέρα 300 λίτρων (Σχήμα 3, Βλ. Παράρτημα Α') θαλασσινού νερού με κλειστό σύστημα επανακυκλοφορίας που περιλαμβάνει σύστημα μηχανικής διήθησης και βιολογικού φίλτρου (Σχήμα 4, Βλ. Παράρτημα Α'), όπου και παρέμειναν σε σταθερές και ελεγχόμενες συνθήκες παραμέτρων νερού και περιβάλλοντος (θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$  & φωτοπερίοδος 12:12) για 34 ημέρες, ταϊζόμενα με ποσότητα τροφής 1,2% σωματικού βάρους μια φορά ανά ημέρα.

### 2.3 Δειγματοληψία

Κατά την προγραμματισμένη ημερομηνία δειγματοληψίας του πειράματος όπου πλέον οι ιχθύς ζύγιζαν κατά μέσο όρο  $210\pm 24$ γρ (ημέρα 34η), από κάθε δεξαμενή συλλέχθηκαν ξεχωριστά, τοποθετήθηκαν σε διάλυμα αναισθητικού υψηλής δόσης. Εν συνεχεία τα δείγματα για τις αναλύσεις ολόκληρου του ψαριού (8 FM, 8 SWP, 8 HM, 8 ZM) τοποθετήθηκαν σε κατάψυξη στους  $-20^{\circ}\text{C}$  βαθμούς, ενώ εκείνα για τις αναλύσεις μυϊκού ιστού αρχικά φιλετοποιήθηκαν και εν συνεχεία τοποθετήθηκαν ομοίως στους  $-20^{\circ}\text{C}$  βαθμούς έως ότου αρχίσουν οι προγραμματισμένες εργαστηριακές αναλύσεις.

### 2.4 Αναλύσεις θρεπτική σύστασης

Αρχικά τα ιχθύδια αφυδατώθηκαν και μέσω της συγκριτικής ζύγισης πριν και μετά την αφυδάτωση για 48 ώρες στους 105°C βαθμούς σε κυκλοθερμικό φούρνο, υπολογίστηκε το περιεχόμενο υγρασίας (εξίσωση 1) και το ποσοστό ξηρής ουσίας (εξίσωση 2).

$$Moisture(\%) = \frac{W_{initial} - W_{final}}{W_{initial}} \quad (1)$$

$$Dry\ matter(\%) = 100 - Moisture(\%) \quad (2)$$

Έπειτα, ομοιογενοποιήθηκαν τα δείγματα ανά δεξαμενή σε οικιακού τύπου κο-νιορτοποιητή και ακολούθησαν οι αναλύσεις περιεκτικότητας σε ολικές αζωτούχες ενώσεις, σύμφωνα με το πρωτόκολλο Kjeldahl (AOAC 1990). Αναλυτικότερα, σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων (ALJ 250-4AM, Kern & Sohn GmbH, Μπάλινγκεν) ζυγίστηκαν τα δείγματα βάρους 0,2γρ και μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης μαζί με 2 δισκία καταλύτη (Kjeltabs)  $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ . Στην συνέχεια, προστέθηκαν στα δείγματα 15ml πυκνού θειικού οξέως ( $H_2SO_4$ ) καθαρότητας 96% με τη βοήθεια αυτόματου δοσομετρητή (Dosipet, Kartell, S.p.A. Μιλάνο) και τοποθετήθηκαν στην συσκευή πέψης (InKjel 1210, behr Labor-Technik GmbH, Ντύσσελντορφ) για θέρμανση στους 150°C βαθμούς (Σχήμα 5, Βλ. Παράρτημα Α'). Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας της πέψης, τα δείγματα αφέθηκαν να κρυώσουν για 15 λεπτά. Η διαδικασία της πέψης διασπά τις αζωτούχες ενώσεις παράγοντας στοιχειακό άζωτο (N) το οποίο κατόπιν δεσμεύεται με τη μορφή θειικού αμμωνίου

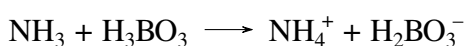
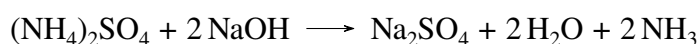
## 2.4 Αναλύσεις θρεπτική σύστασης

---

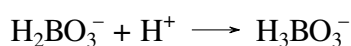
ως εξής:



Κατόπιν, οι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε συσκευή απόσταξης (VAP 200, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Γερμανία), στην οποία προστίθενται 100ml απεσταγμένου H<sub>2</sub>O 80ml NaOH 40% και 50ml H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> για 6 λεπτά. Το θειικό αμμώνιο, που παράγεται κατά την διαδικασία της πέψης, αντιδρά αρχικά με το υδροξείδιο του νατρίου όπου και αποδεσμεύεται αμμωνία σε αέρια μορφή και θειικό νάτριο. Η αμμωνία έπειτα αντιδρά με το βορικό οξύ και εν συνεχεία άζωτο του δείγματος δεσμεύεται σε μορφή βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:



Το βορικό αμμώνιο που προκύπτει ως απόσταγμα συλλέγεται σε κωνική φιάλη και ογκομετρείται με τη βοήθεια 3 σταγόνων δείκτη methyl red (ερυθρό του μεθυλίου) και διαλύματος αραιού υδροχλωρικού οξέως HCL (0,1N).



Η συγκέντρωση σε moles, των ιόντων υδρογόνου που απαιτούνται για να φτάσει η αντίδραση έως το τελικό σημείο, ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα. Η αλλαγή χρώματος του δείκτη από κίτρινο σε φούξια καταδεικνύει το τελικό σημείο της αντίδρασης. Με την ολοκλήρωση της τιτλοδότησης, οι ολικές αζωτούχες ενώσεις υπολογίστηκαν με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$Nitrogen(\%) = \frac{(ml_{HCl} - ml_{control} \times 0,8754)}{W_{initial}} \quad (3)$$

## 2.4 Αναλύσεις θρεπτική σύστασης

---

Για τον προσδιορισμό των ανόργανων στοιχείων (τέφρα), ζυγίστηκε αρχικά το βάρος των πυρίμαχων δοχείων και στη συνέχεια δείγματα βάρους 1γρ που τοποθετήθηκαν σε αποτεφρωτήρα (L9/12/C6, Nabertherm GmbH, Γερμανία) στους 600°C βαθμούς για 3 ώρες. Εν συνεχεία μεταφέρθηκαν σε απαγωγό έως ότου κρυώσουν, και ζυγίστηκε το μικτό τους βάρος στον ίδιο ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών. Το ποσοστό ανόργανων επί της ξηρής ουσίας υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση 4.

$$Ash(\%) = \frac{W_{ash} \times 100}{W_{initial}} \quad (4)$$

Για τον προσδιορισμό του ποσοστού ολικών λιπαρών ακολουθήθηκε η μέθοδος εκχύλισης Soxhlet (AOAC 1990). Γυάλινα δοχεία εκχύλισης με 3 πέτρες βρασμού (SEBMA & ST250, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Γερμανία) ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αυτά, χάρτινοι ηθμοί (SE33B & SHK2, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Γερμανία) στους οποίους προστέθηκε ποσότητα δείγματος βάρους 1γρ. Έπειτα, συμπληρώθηκαν στα δοχεία 140ml πετρελαϊκού αιθέρα 40/60 (με εύρος βρασμού 40-60°C) και μεταφέρθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (SOX 406, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Γερμανία) (Σχήμα 7, Βλ. Παράρτημα Α'). Κατά τη διαδικασία της εκχύλισης, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150°C υπό την παρουσία του πετρελαϊκού αιθέρα, όπου έλαβε χώρα το πρώτο στάδιο της εκχύλισης. Έπειτα, το μηχάνημα πραγματοποίησε κύκλους απορρόφησης και έκπλυσης για 1,5 ώρα (δεύτερο στάδιο της εκχύλισης). Κατόπιν, για 15 λεπτά αφήνεται να εξατμιστεί ο διαλύτης, με αποτέλεσμα να παραμένουν στο πυθμένα του δοχείου εκχύλισης μόνο τα ολικά λιπίδια του δείγματος. Για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων πετρελαϊκού αιθέρα ή και υγρασίας που

## 2.5 Στατιστική ανάλυση

---

μπορεί να περιείχαν τα δοχεία ακολούθησε θέρμανση για 15 λεπτά στους 105°C σε κυκλοθερμικό φούρνο. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αφυγραντήρα για 30 λεπτά έως ότου κρυώσουν και τέλος ζυγιστούν. Το ποσοστό των ολικών λιπαρών ουσιών υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση 5.

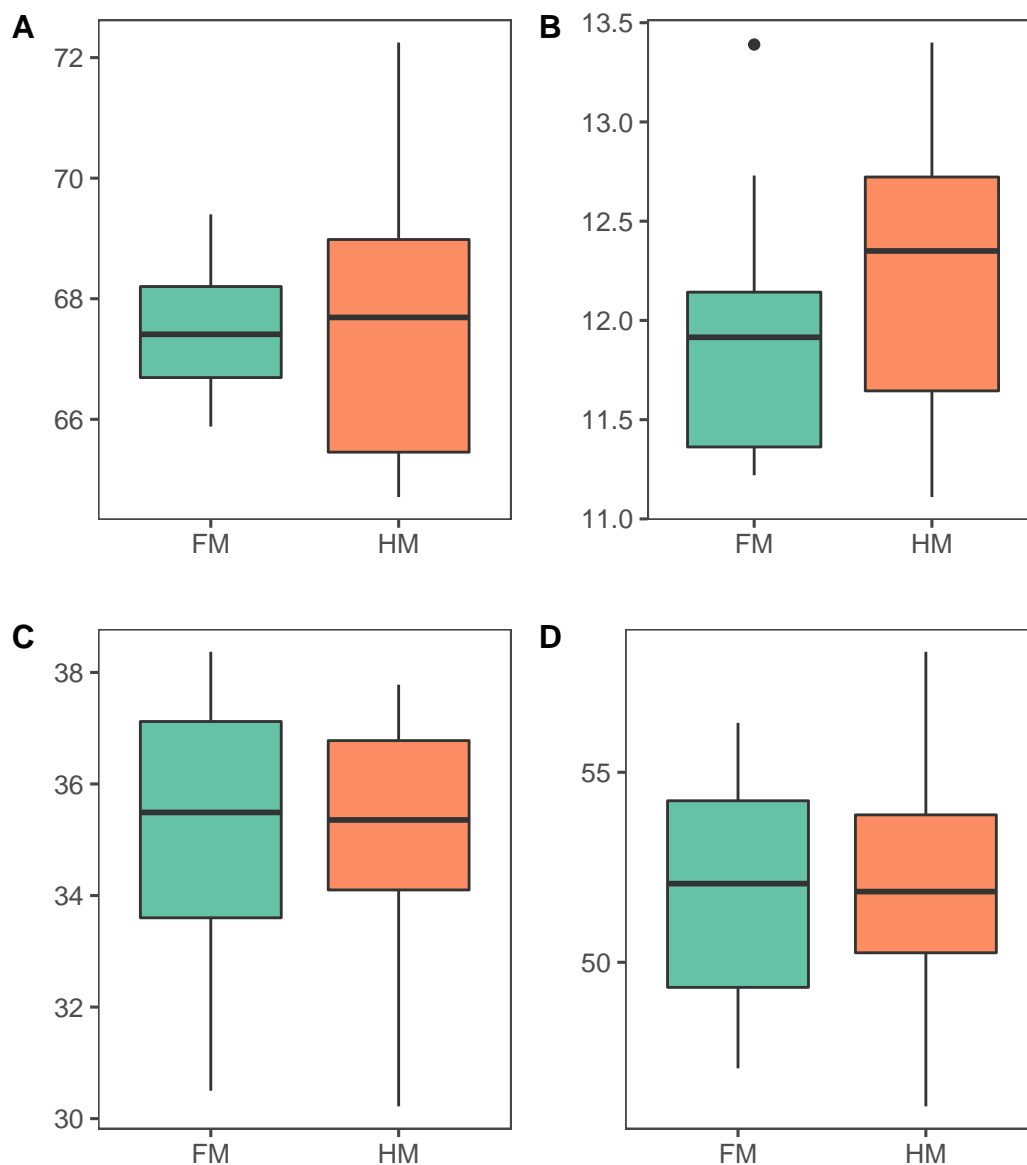
$$Lipids(\%) = (W_{final} - W_{initial}) \times 100 \quad (5)$$

## 2.5 Στατιστική ανάλυση

Κατά τη διάρκεια των αναλύσεων τα αρχικά δεδομένα επεξεργάστηκαν στο Excel (Microsoft Corp., v16.50, 2021) και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση και απόδοση των αποτελεσμάτων στο R-Studio (PBC, v1.49, 2022) με τη βοήθεια κάποιων επιπρόσθετων πακέτων (Wickham et al. 2022, Revelle 2022, Nakazawa 2022, Auguie 2019, Wilke 2020, Torchiano 2020) με χρήση της γλώσσας R (R-Core Team, v4.3.2, 2022). Έγινε έλεγχος για κανονικότητα στην κατανομή κάθε σειράς δεδομένων, με το τεστ των Shapiro-Wilk, ενώ η ομοιογένεια στη διακύμανση διακριβώθηκε με το τεστ του Levene για τα μη κανονικά δεδομένα, και του Bartlett για τα δεδομένα που παρουσίασαν κανονικότητα στην κατανομή. Οι μέσοι όροι για τις μεταβλητές που ακολούθησαν κανονικότητα στην κατανομή και ομοιογένεια στη διακύμανση συγκρίθηκαν με το T-Test του Student, ενώ για εκείνες που δεν παρουσίασαν κανονικότητα στην κατανομή με το T-test του Wilcoxon.

### 3 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις ολόκληρου του σώματος των ιχθύων τσιπούρας οι οποίοι είχαν διαφορετική διατροφική αντιμετώπιση και τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τις αναλύσεις για τον μυϊκό ιστό των ομόλογων ομάδων ιχθύων. Η ομάδα ολόκληρου σώματος που διατράφηκε με το σιτηρέσιο απολιπασμένου εντομάλευρου (HM) σε σχέση με την ομάδα μάρτυρα που διατράφηκε με σιτηρέσιο ιχθυάλευρου (FM) έχει πανομοιότυπη σύσταση με στατιστικά ασήμαντες διαφοροποιήσεις (Σχήμα 1, Πίνακας 2) με τη μεγαλύτερη διαφορά να εμφανίζεται στα ποσοστά της τέφρας. Στις αναλύσεις για τον μυϊκό ιστό διακρίνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές στο ποσοστό ολικών λιπαρών και στο ποσοστό ολικών αζωτούχων ενώσεων, με την ομάδα εντομάλευρου (HM) να φαίνεται να περιέχει ελάχιστα μικρότερο ποσοστό λιπαρών (-1,92%) εν αντιθέσει με το ελάχιστα μεγαλύτερο ποσοστό σε ολικές αζωτούχες ενώσεις (+1,63%) σχετικά με την ομάδα μάρτυρα (Σχήμα 2, Πίνακας 3).



**Σχήμα 2:** Θηκογράμματα για τη σύσταση ολόκληρου του ιχθύος. **A:** Ποσοστό υγρασίας, **B:** Ποσοστό τέφρας, **C:** Ποσοστό λιπαρών ουσιών, **D:** Ποσοστό ολικών αζωτούχων ενώσεων. **FM** = διατροφή ιχθυάλευρου (fishmeal), **HM** = διατροφή εντομάλευρου (hermetia meal).

### 3 Αποτελέσματα

**Πίνακας 2:** Θρεπτική σύσταση ολόκληρου του σώματος από ιχθύες ταϊσμένους με τις πειραματικές διατροφές ιχθυάλευρου (FM) και εντομάλευρου (HM)

(%)	Ιχθυάλευρο (FM)		Εντομάλευρο (HM)	
	M.O.	T.A.	M.O.	T.A.
Υγρασία	67.46	1.17	67.70	2.60
Τέφρα	11.91	0.59	12.27	0.73
Ο.Λιπίδια	35.11	2.45	35.15	1.94
Ο.Πρωτεΐνες	51.79	3.10	51.91	3.03

M.O., μέσος όρος

T.A., τυπική απόκλιση

<sup>α,β</sup> Τιμές του M.O. στην ίδια γραμμή με διαφορετικούς εκθέτες υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0.05$ )

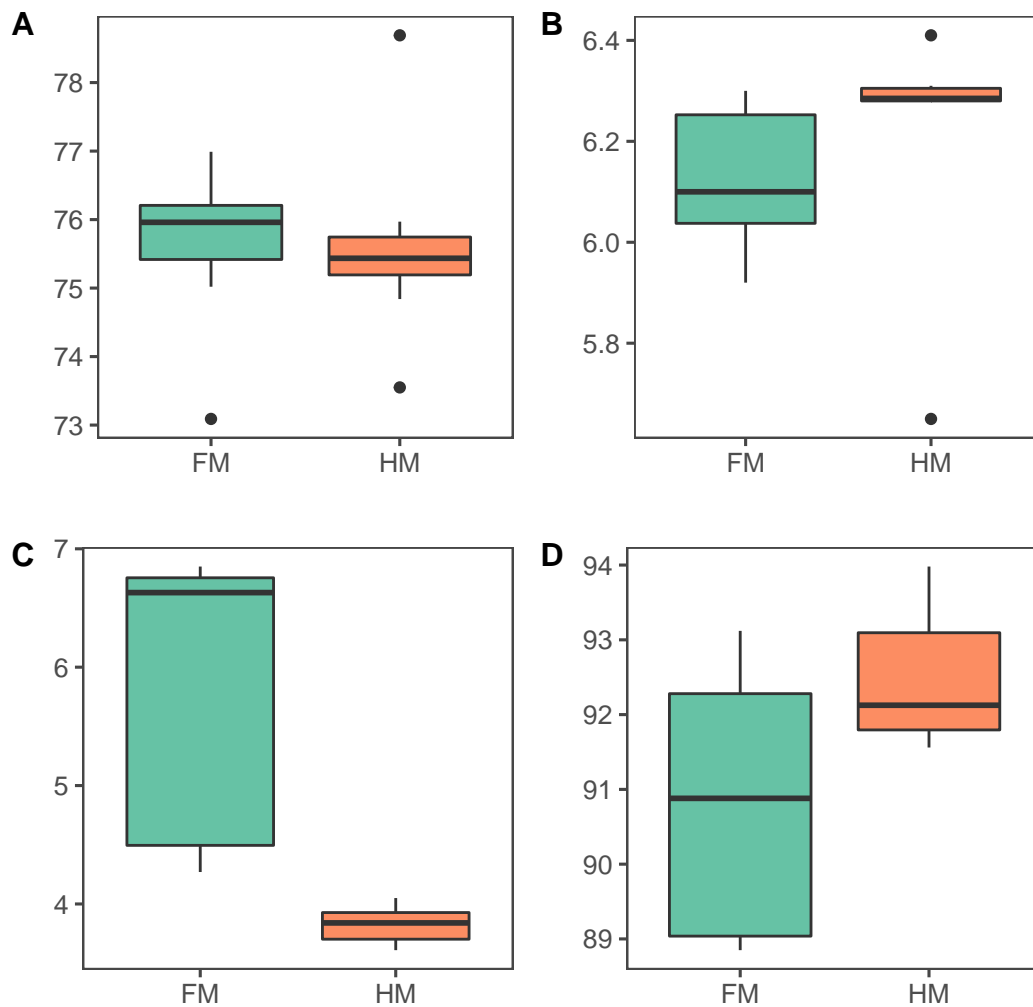
**Πίνακας 3:** Θρεπτική σύσταση μυϊκού ιστού από ιχθύες ταϊσμένους με τις πειραματικές διατροφές ιχθυάλευρου (FM) και εντομάλευρου (HM)

(%)	Ιχθυάλευρο (FM)		Εντομάλευρο (HM)	
	M.O.	T.A.	M.O.	T.A.
Υγρασία	75.63	1.18	75.61	1.44
Τέφρα	6.12	0.15	6.20	0.28
Ο.Λιπαρά	5.75 <sup>α</sup>	1.25	3.82 <sup>β</sup>	0.16
Ο.Πρωτεΐνες	90.81 <sup>β</sup>	1.73	92.45 <sup>α</sup>	0.90

M.O., μέσος όρος

T.A., τυπική απόκλιση

<sup>α,β</sup> Τιμές του M.O. στην ίδια γραμμή με διαφορετικούς εκθέτες υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0.05$ )



**Σχήμα 3:** Θηκογράμματα για τη σύσταση του μυϊκού ιστού. **A:** Ποσοστό υγρασίας, **B:** Ποσοστό τέφρας, **C:** Ποσοστό λιπαρών ουσιών, **D:** Ποσοστό ολικών αζωτούχων ενώσεων. **FM** = διατροφή ιχθυάλευρου (fishmeal), **HM** = διατροφή εντομάλευρου (hermetia meal).

---

## 4 Συζήτηση

### 4.1 Τα ευρήματα για τον μυϊκό ιστό & ολόκληρο το σώμα

Τα αποτελέσματα τα οποία καταγράφηκαν αναλύοντας το μυϊκό ιστό των δειγμάτων, υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε δύο μακροθρεπτικά στοιχεία της σύστασης των ιχθύων μεταξύ των δύο διατροφικών μεταχειρίσεων. Η πρώτη διαφορά αφορά την μικρότερη περιεκτικότητα των ιχθύων της ομάδας HM σε ολικά λιπαρά κατά 1,925%, ενώ η δεύτερη αφορά τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα αυτών σε ολικές αζωτούχες ενώσεις κατά 1,638%. Οι δύο διαφορές αυτές αν και στατιστικά σημαντικές, πρακτικά δεν διαφοροποιούν τα φιλέτα (μυϊκός ιστός) σε δύο διαφορετικά προϊόντα, ωστόσο παρουσιάζει ενδιαφέρον η απάντηση στο ερώτημα ύπαρξης αυτής της διαφοροποίησης.

Αρχικά, η διαφορά αυτή πιθανότατα εκφράζει ένα ενεργειακό έλλειμμα στην ομάδα του εντομάλευρου· λόγω ελλιπούς πρόσληψης ενέργειας από την τροφή, υπήρξε μεγαλύτερη υλοποίηση του αποθέματος λίπους ή/και μη αναπλήρωση δεδομένου πως οι τελεόστεοι ιχθύς και ειδικά η τσιπούρα τείνει να διατηρεί σταθερά τα ποσοστά πρωτεΐνης στους ιστούς της και να υλοποιεί πρωταρχικώς τα λιπίδια (Wu et al. 2021, Bar et al. 2012, Grigorakis 2017). Εφόσον η τσιπούρα είναι ένα σχετικά στεγνό είδος που δεν αποθηκεύει μεγάλο ποσοστό του λίπους ενδομυϊκά άλλα κυρίως σε περιτοναϊκό και περιεντερικό λιπώδη ιστό, ο μυϊκός ιστός της αποτελεί την τελευταία επιλογή για αποθήκευση περίσσειας μεταβολικής ενέργειας (Grigorakis et al. 2005). Η αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες απορρέει από το γεγονός της αντιστάθμισης μικρότερου ποσοστού λιπαρών, λόγω του ότι το άθροισμα των μακροθρεπτικών θα

#### 4.1 Τα ευρήματα για τον μυϊκό ιστό & ολόκληρο το σώμα

---

πρέπει να πλησιάζει το 100%. Αμφότερα οι πειραματικές ομάδες ιχθύων τράφηκαν την ίδια ποσότητα τροφής (1,2% του σωματικού βάρους) και δεν υπήρχε περίσσειμα στον πυθμένα των δεξαμενών, συνεπώς θα μπορούσε με ασφάλεια να αποκλειστεί το ενδεχόμενο πως επηρέασε η ελκυστικότητα του σιτηρεσίου την πρόσληψη τροφής από τους ιχθύες και συνεπώς την σύσταση του μυϊκού ιστού. Μια επιπρόσθετη υποθετική απόδοση του φαινομένου θα μπορούσε να αποτελέσει η ύπαρξη περιοριστικού/ων αμινοξέων στο σιτηρέσιο εντομάλευρου τα οποία αποτρέπουν τη μέγιστη μεταβολική απόδοση. Επιπλέον, η ύπαρξη αντιδιατροφικών παραγόντων στο υπό μελέτη σιτηρέσιο θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην μικρότερη απόδοση μεταβολικής ενέργειας και συνεπώς εναπόθεσης στον μυϊκό ιστό (Jobling 2011): κυρίως η ύπαρξη της χιτίνης, αν και σε μικρά ποσοστά, τείνει να μειώνει τα ορολογικά επίπεδα χοληστερόλης και να βελτιώνει την απορρόφηση πρωτεϊνών (Anedda et al. 2023, Tran et al. 2021).

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων παρόμοιων πειραματισμών οδηγούν στο συμπέρασμα πως τα ευρήματα της παρούσας έρευνας έρχονται σε αντίθεση με τα πιο συνήθη αποτελέσματα, δηλαδή την μη ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς στη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού, σε παρόμοιες έρευνες για την τσιπούρα (Busti et al. 2023) και άλλα είδη όπως: το χέλι (*Anguilla japonica*) (Kuo et al. 2022), ιριδίζουσα πέστροφα (*O. mykiss*) (Renna et al. 2017, Caimi et al. 2021, Melenchón et al. 2022), γλυνί (*Tinca tinca*) (Fabrikov et al. 2021), κυπρίνο (*Cyprinus carpio*) (Li et al. 2017). Σε κάποιες έρευνες ωστόσο έχουν αποδειχθεί διαταραχές σε δείκτες του γαστρεντερικού συστήματος λόγω της συμπερίληψης του απολιπασμένου άλευρου λάρβων μαύρης στρατιωτόμυγας. Πιο συγκεκριμένα, από συμπερίληψη 18% στο σιτηρέσιο η έρευ-

#### 4.1 Τα ευρήματα για τον μυϊκό ιστό & ολόκληρο το σώμα

---

να των Gai και συνεργατών έδειξε φλεγμονή του εντερικού ιστού (αύξηση μήκους των μικρολάχνων και αριθμού των εντεροκυττάρων) ενδεχομένως ως αντίδραση του οργανισμού στη μείωση της πεπτικότητας (Gai et al. 2023). Επιπλέον, μια σχετικά παρόμοια επίδραση με αυτή της παρούσας μελέτης, εμφανίστηκε σε έρευνα των Li και συνεργατών όπου ο πειραματισμός τους αν και περιλάμβανε σίτιση μέχρι κορεσμού (ad libitum) των ιχθύων (*C. carpio*) παρουσίασε μια μείωση των ολικών λιπαρών στο ηπατοπάγκρεας των ιχθύων που τράφηκαν με το σιτηρέσιο απολιπασμένου εντομάλευρου λάρβων μαύρης στρατιωτόμυγας, σε μεγαλύτερο ποσοστό συμπερίληψης ωστόσο (Li et al. 2017). Ομοίως και στον πειραματισμό των Καραπαναγιωτίδη και συνεργατών, όπου επίσης υπήρξε ad libitum σίτιση, με παρόμοια αποτελέσματα στη μείωση του λίπους του μυϊκού ιστού τσιπούρας (Karapanagiotidis et al. 2023). Σε κάθε περίπτωση, εφόσον υπήρχε θετικός ρυθμός αύξησης, και ικανοποιητικό ποσοστό ξηρής ουσίας, η ύπαρξη μικρότερου ποσοστού λίπους στον μυϊκό ιστό είναι κάτι θεμιτό για την αγορά και το καταναλωτικό κοινό που στοχεύει η βιομηχανία αν και η κλίμακα του πειράματος δεν αρμόζει ακριβώς σε αυτήν της βιομηχανικής εκτροφής, ωστόσο απαραίτητη κρίνεται μια συνέχεια της έρευνας για τη διερεύνηση των περίπλοκων βιοενεργητικών διεργασιών και τη διαπίστωση της πραγματικής μεταβολίσιμης ενέργειας μέσω πειραματισμού με αδρανής δείκτες στο σιτηρέσιο (όπως το χρώμο) και συλλογής των κοπράνων (Jobling 2011).

Σε αντίθεση με το μυϊκό ιστό, από τις αναλύσεις για τα δείγματα ολόκληρου του σώματος, προέκυψαν ασήμαντες έως ανύπαρκτες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο διατροφικών μεταχειρίσεων των ιχθύων ως προς τη θρεπτική σύσταση, γεγονός που συντρέχει και με παρόμοιες έρευνες σε τσιπούρα και άλλα είδη (Moutinho et al.

2021, Wang et al. 2019, Karapanagiotidis et al. 2023) με την ύπαρξη ωστόσο διαφορετικών αποτελεσμάτων όπως π.χ. τα ευρήματα των Μαστοράκη και συνεργατών όπου διαπίστωσαν μείωση των ολικών λιπαρών στη σύσταση ολόκληρου σώματος για το λαβράκι (*D.labrax*) (Mastoraki et al. 2020) αν και με μεγαλύτερη συμπερίληψη του εντομάλευρου (19,5%) σε σχέση με τον παρόν πειραματισμό (10,2%).

## 4.2 Συμπεράσματα

Έχοντας αναλύσει τις διαθέσιμες πληροφορίες έως τώρα, εκ πρώτης όψεως μας υποδεικνύεται πως σε μακροθρεπτικό επίπεδο, μια εκτρεφόμενη τσιπούρα που τράφηκε κατά την πάχυνση της με σιτηρέσιο που περιλάμβανε 30% υποκατάσταση ιχθυάλευρου από απολιπασμένο εντομάλευρο λάρβων *H.illucens* μπορεί να αποτελέσει ένα εξίσου ισοδύναμο προϊόν με μια τσιπούρα της οποίας το σιτηρέσιο πάχυνσης αποτελούνταν από 25% του συνολικού καταρτισμού, ιχθυάλευρο, με συνολική μείωση του κατά την κατάρτιση έως και 8% · ένα αριθμητικά μικρό ποσοστό που όμως σε βιομηχανική κλίμακα συνεπάγεται σε σημαντικά ποσά εξοικονόμησης. Ωστόσο όπως προαναφέρθηκε, επιβάλλεται η διενέργηση επιπρόσθετων πειραματισμών και ερευνών για τη διακρίβωση της μεταβολίσιμης ενέργειας που προσφέρει ένα τέτοιο σιτηρέσιο εντομάλευρου, καθώς πιθανότατα να χρειάζεται διαφοροποίηση στη διαδικασία σίτισης, συγκεκριμένα αύξηση στην παρεχόμενη τροφή ανά το μέσο σωματικό βάρος των ιχθύων.

Με την παραδοχή πως θα υπάρξουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε περαιτέρω πειραματισμούς και ως προς τις επιδράσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ψαριού, ως προς την απόδοση/πεπτικότητα του σιτηρεσίου σε μεγαλύτερη κλίμακα αλλά και την παραδοχή πως μελλοντικά η χρήση απολιπασμένου εντομάλευρου λάρβων *H.illucens* θα καταστεί οικονομικά βιώσιμη, τα αποτελέσματα της έρευνας μας μαρτυρούν πως η τσιπούρα «εντομάλευρου» μπορεί να σταθεί ως προϊόν που υπηρετεί την αγορά για υψηλής ποιότητας πηγή πρωτεϊνών και υγιεινών λιπαρών και ταυτοχρόνως εξυπηρετεί τους στόχους μιας αειφορικής βιομηχανίας τροφίμων βασισμένη εν μέρη και στην κυκλική οικονομία.

---

## 5 Ελληνική Βιβλιογραφία

Γρηγοράκης Κ. (2011). «Επίδραση της διατροφής στην ποιότητα ιχθύων». Στο: *Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψεως και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών*. Επιμέλεια: Μεντέ Έλενα και Νένγκας Ιωάννης. 1η έκδοση. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση Α.Ε.Β.Ε.. Κεφάλαιο 13, σελίδες 510–549. ISBN: 9789600226126

## 6 Ξένη Βιβλιογραφία

- AOAC (1990). *Official Methods of Analysis*. Επιμέλεια: Kenneth Helrich. 15η έκδοση. Arlington, Virginia: Association of Official Analytical Chemists, Inc. ISBN: 0935584420.
- Shearer, Karl D. (1994). «Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids». Στο: *Aquaculture* 119.1, σελίδες 63–88. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/0044-8486(94)90444-8.
- Rasmussen, Richard Skoøtt (2001). «Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics». Στο: *Aquaculture Research* 32.10, σελίδες 767–786. ISSN: 135557X. DOI: 10.1046/j.1365-2109.2001.00617.x.
- Frankic, Anamarija και Carl Hershner (2003). “Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture”. Στο: *Aquaculture International* 11.6, σελίδες 517–530. ISSN: 0967-6120. DOI: 10.1023/B:AQUI.0000013264.38692.91.
- Hoffman, Jay R. και Michael J. Falvo (2004). “Protein - Which is best?” Στο: *Journal of Sports Science and Medicine* 3.3, σελίδες 118–130. ISSN: 13032968.
- Grigorakis, Kriton και M.N. Alexis (2005). “Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fed different dietary regimes”. Στο: *Aquaculture Nutrition* 11.5, σελίδες 341–344. ISSN: 1353-5773. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2005.00351.x.
- Grigorakis, Kriton (2007). “Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review”. Στο: *Aquaculture* 272.1-4, σελίδες 55–75. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2007.04.062.
- Hardy, Ronald W. (2010). “Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal”. Στο: *Aquaculture Research* 41.5, σελίδες 770–776. ISSN: 135557X. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x.
- Nichols, Peter D., James Petrie, και Surinder Singh (2010). “Long-chain omega-3 oils-an update on sustainable sources”. Στο: *Nutrients* 2.6, σελίδες 572–585. ISSN: 20726643. DOI: 10.3390/nu2060572.
- Jobling, M. (2011). «Bioenergetics in Aquaculture Settings». Στο: *Encyclopedia of Fish Physiology*. Τόμος 1-3. Elsevier, σελίδες 1664–1674. ISBN: 9780123745453. DOI: 10.1016/B978-0-12-374553-8.00152-0.
- Olsen, Yngvar (2011). “Resources for fish feed in future mariculture”. Στο: *Aquaculture Environment Interactions* 1.3, σελίδες 187–200. ISSN: 1869-215X. DOI: 10.3354/aei00019.
- Pavlidis, Michail A. και Constantinos C. Mylonas (2011). *Sparidae: Biology and Aquaculture of Gilthead Sea Bream and Other Species*. Επιμέλεια: Michail A. Pavlidis και Constantinos C. Mylonas. 1η έκδοση. Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 9781444392203.

- 
- Bar, Nadav και Helene Volkoff (2012). “Adaptation of the Physiological, Endocrine, and Digestive System Functions to Prolonged Food Deprivation in Fish”. Στο: *Comparative Physiology of Fasting, Starvation, and Food Limitation*. Επιμέλεια: Marshall D. McCue. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Κεφάλαιο 6, σελίδες 69–89. ISBN: 978-3-642-29055-8. DOI: 10.1007/978-3-642-29056-5\_6.
- Hartviksen, Mali Bjerkehaug (2015). “Replacement of fishmeal with alternative proteins in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): A study on the microbiota and morphology of the intestine”. Διδακτορική διατριβή. Norges Arktiske Universitet, σελίδα 93.
- Parma, Luca, Marco Candela, Matteo Soverini, Silvia Turrone, Clarissa Consolandi, Patrizia Brigidi, Luciana Mandrioli, Rubina Sirri, Ramon Fontanillas, Pier Paolo Gatta, και Alessio Bonaldo (2016). “Next-generation sequencing characterization of the gut bacterial community of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fed low fishmeal based diets with increasing soybean meal levels”. Στο: *Animal Feed Science and Technology* 222, σελίδες 204–216. ISSN: 03778401. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.10.022.
- Grigorakis, Kriton (2017). “Fillet proximate composition, lipid quality, yields, and organoleptic quality of Mediterranean-farmed marine fish: A review with emphasis on new species”. Στο: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57.14, σελίδες 2956–2969. ISSN: 1040-8398. DOI: 10.1080/10408398.2015.1081145.
- Hambrey, John (2017). *The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: The challenge for aquaculture development and management*. Tech. rep. October. Rome: FAO Fisheries και Aquaculture Circular No. 1141.
- Karapanagiotidis, Ioannis T. (2017). «Nutrient Profiles of Tilapia». Στο: *Tilapia in Intensive Co-culture*. Επιμέλεια: Peter W. Perschbacher και Robert R. Stickney. 1η έκδοση. July. Oxford: John Wiley & Sons Ltd. Κεφάλαιο 16, σελίδες 261–305. ISBN: 9781118970669.
- Li, Senlin, Hong Ji, Binxin Zhang, Jishu Zhou, και Haibo Yu (2017). «Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure». Στο: *Aquaculture* 477.March, σελίδες 62–70. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.015.
- Liland, Nina S., Irene Biancarosa, Pedro Araujo, Daan Biemans, Christian G. Bruckner, Rune Waagbø, Bente E. Torstensen, και Erik-Jan Lock (2017). “Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media”. Στο: *PLOS ONE* 12.8. Επιμέλεια: Christian Wegener, e0183188. ISSN: 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0183188.
- Renna, M., A. Schiavone, F. Gai, S. Dabbou, C. Lussiana, V. Malfatto, M. Prearo, M. T. Capucchio, I. Biasato, E. Biasibetti, M. De Marco, A. Brugiapaglia, I. Zoccarato, και L. Gasco (2017). «Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets». Στο: *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8.1, σελίδα 57. ISSN: 2049-1891. DOI: 10.1186/s40104-017-0191-3.
- Elieh Ali Komi, Daniel, Lokesh Sharma, και Charles S. Dela Cruz (2018). “Chitin and Its Effects on Inflammatory and Immune Responses”. Στο: *Clinical Reviews in Allergy & Immunology* 54.2, σελίδες 213–223. ISSN: 1080-0549. DOI: 10.1007/s12016-017-8600-0.

- 
- Auguie, Baptiste (2019). *egg: Extensions for 'ggplot2': Custom Geom, Custom Themes, Plot Alignment, Labelled Panels, Symmetric Scales, and Fixed Panel Size*. R package version 0.4.5.
- He, Yuanfa, Shuyan Chi, Beiping Tan, Xiaohui Dong, Qihui Yang, Hongyu Liu, Shuang Zhang, Fenglu Han, και Di Liu (2019). “dl-Methionine supplementation in a low-fishmeal diet affects the TOR/S6K pathway by stimulating ASCT2 amino acid transporter and insulin-like growth factor-I in the dorsal muscle of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)”. Στο: *British Journal of Nutrition* 122.07, σελίδες 734–744. ISSN: 0007-1145. DOI: 10.1017/S0007114519001648.
- Nogales-Mérida, Silvia, Paola Gobbi, Damian Józefiak, Jan Mazurkiewicz, Krzysztof Dudek, Mateusz Rawski, Bartosz Kierończyk, και Agata Józefiak (2019). “Insect meals in fish nutrition”. Στο: *Reviews in Aquaculture* 11.4, σελίδες 1080–1103. ISSN: 1753-5123. DOI: 10.1111/raq.12281.
- Turchini, Giovanni M., Jesse T. Trushenski, και Brett D. Glencross (2019). “Thoughts for the Future of Aquaculture Nutrition: Realigning Perspectives to Reflect Contemporary Issues Related to Judicious Use of Marine Resources in Aquafeeds”. Στο: *North American Journal of Aquaculture* 81.1, σελίδες 13–39. ISSN: 1522-2055. DOI: 10.1002/naaq.10067.
- Wang, Guoxia, Kai Peng, Junru Hu, Cangjin Yi, Xiaoying Chen, Haomin Wu, και Yanhua Huang (2019). «Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets». Στο: *Aquaculture* 507.April, σελίδες 144–154. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.04.023.
- Ewald, Nils, Aleksandar Vidakovic, Markus Langeland, Anders Kiessling, Sabine Sampeles, και Cecilia Lalander (2020). “Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet”. Στο: *Waste Management* 102, σελίδες 40–47. ISSN: 0956053X. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.10.014.
- Glencross, Brett D. (2020). “A feed is still only as good as its ingredients: An update on the nutritional research strategies for the optimal evaluation of ingredients for aquaculture feeds”. Στο: *Aquaculture Nutrition* 26.6, σελίδες 1871–1883. ISSN: 1353-5773. DOI: 10.1111/anu.13138.
- Kusumowardani, Niken και Benny Tjahjono (2020). «Circular economy adoption in the aquafeed manufacturing industry». Στο: *Procedia CIRP* 90.March, σελίδες 43–48. ISSN: 22128271. DOI: 10.1016/j.procir.2020.01.088.
- Mastoraki, Maria, Paula Mollá Ferrándiz, Sofia C. Vardali, Demetrius C. Kontodimas, Yannis P. Kotzamanis, Laura Gasco, Stavros Chatzifotis, και Efthimia Antonopoulou (2020). «A comparative study on the effect of fish meal substitution with three different insect meals on growth, body composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.)» Στο: *Aquaculture* 528.April, σελίδα 735511. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735511.
- Torchiano, Marco (2020). *effsize: Efficient Effect Size Computation*. R package version 0.8.1. DOI: 10.5281/zenodo.1480624.
- Wilke, Claus O. (2020). *cowplot: Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for 'ggplot2'*. R package version 1.1.1.

- 
- Zarantoniello, Matteo, Andrea Zimbelli, Basilio Randazzo, Martina Delli Compagni, Cristina Truzzi, Matteo Antonucci, Paola Riolo, Nino Loreto, Andrea Osimani, Vesna Milanović, Elisabetta Giorgini, Gloriana Cardinaletti, Francesca Tulli, Renato Cipriani, Giorgia Gioacchini, και Ike Olivotto (2020). “Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) reared on roasted coffee by-product and Schizochytrium sp. as a sustainable terrestrial ingredient for aquafeeds production”. Στο: *Aquaculture* 518. July 2019, σελίδα 734659. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734659.
- Caimi, Christian, Ilaria Biasato, Giulia Chemello, Sara Bellezza Odon, Carola Lussiana, Vanda Maria Malfatto, Maria Teresa Capucchio, Elena Colombino, Achille Schiavone, Francesco Gai, Angela Trocino, Alberto Brugiapaglia, Manuela Renna, και Laura Gasco (2021). «Dietary inclusion of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larva meal in low fishmeal-based diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)». Στο: *Journal of Animal Science and Biotechnology* 12.1, σελίδα 50. ISSN: 2049-1891. DOI: 10.1186/s40104-021-00575-1.
- Fabrikov, Dmitri, Fernando G. Barroso, M<sup>a</sup> José Sánchez-Muros, M<sup>a</sup> Carmen Hidalgo, Gabriel Cardenete, Cristina Tomás-Almenar, Federico Melenchón, και Jose Luis Guil-Guerrero (2021). «Effect of feeding with insect meal diet on the fatty acid compositions of sea bream (*Sparus aurata*), tench (*Tinca tinca*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets». Στο: *Aquaculture* 545, σελίδα 737170. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737170.
- Fischer, Hayden, Nicholas Romano, και Amit Kumar Sinha (2021). “Conversion of Spent Coffee and Donuts by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae into Potential Resources for Animal and Plant Farming”. Στο: *Insects* 12.4, σελίδα 332. ISSN: 2075-4450. DOI: 10.3390/insects12040332.
- Maiolo, Silvia, Silvio Cristiano, Francesco Gonella, και Roberto Pastres (2021). «Ecological sustainability of aquafeed: An emergy assessment of novel or underexploited ingredients». Στο: *Journal of Cleaner Production* 294, σελίδα 126266. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126266.
- Moutinho, S., R. Pedrosa, R. Magalhães, A. Oliva-Teles, G. Parisi, και H. Peres (2021). «Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae larvae meal in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: Effects on liver oxidative status and fillet quality traits during shelf-life». Στο: *Aquaculture* 533. October 2020. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736080.
- Naylor, Rosamond L., Ronald W. Hardy, Alejandro H. Buschmann, Simon R. Bush, Ling Cao, Dane H. Klinger, David C. Little, Jane Lubchenco, Sandra E. Shumway, και Max Troell (2021). “A 20-year retrospective review of global aquaculture”. Στο: *Nature* 591.7851, σελίδες 551–563. ISSN: 14764687. DOI: 10.1038/s41586-021-03308-6.
- Rawski, Mateusz, Jan Mazurkiewicz, Bartosz Kierończyk, και Damian Józefiak (2021). “Black Soldier Fly Full-Fat Larvae Meal Is More Profitable Than Fish Meal and Fish Oil in Siberian Sturgeon Farming: The Effects on Aquaculture Sustainability, Economy and Fish GIT Development”. Στο: *Animals* 11.3, σελίδα 604. ISSN: 2076-2615. DOI: 10.3390/ani11030604.
- Tran, Hung Quang, Hien Van Doan, και Vlastimil Stejskal (2021). “Environmental consequences of using insect meal as an ingredient in aquafeeds: A systematic view”. Στο: *Reviews in Aquaculture* May, σελίδες 1–15. ISSN: 17535131. DOI: 10.1111/raq.12595.

- 
- Wu, Xiao-yun, Ye-yu Chen, Jian-sheng Lai, Ya Liu, Ming-jiang Song, Quan Gong, και Zhi-hai Long (2021). “Effects of starvation and refeeding on growth performance, appetite, growth hormone–insulin-like growth factor axis levels and digestive function of *Acipenser dabryanus*”. Στο: *British Journal of Nutrition* 126.5, σελίδες 695–707. ISSN: 0007-1145. DOI: 10.1017/S0007114520004389.
- Ahmed, Imtiaz, Kousar Jan, Shabihul Fatma, και Mahmoud A. O. Dawood (2022). «Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review». Στο: *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 106.3, σελίδες 690–719. ISSN: 0931-2439. DOI: 10.1111/jpn.13711.
- Albrektsen, Sissel, Raine Kortet, Peter Vilhelm Skov, Elisabeth Ytteborg, Susanne Gitle- sen, Dorinde Kleinegriss, Liv-Torunn Mydland, Jon Øvrum Hansen, Erik-Jan Lock, Turid Mørkøre, Philip James, Xinxin Wang, Ragnhild Dragøy Whitaker, Birthe Vang, Bjarne Hatlen, Ehsan Daneshvar, Amit Bhatnagar, Linda B. Jensen, και Margareth Øverland (2022). “Future feed resources in sustainable salmonid production: A review”. Στο: *Reviews in Aquaculture* 14.4, σελίδες 1790–1812. ISSN: 1753-5123. DOI: 10.1111/raq.12673.
- FAO (2022). *In Brief to The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. FAO. ISBN: 978-92-5-136367-6. DOI: 10.4060/cc0463en.
- Kuo, I-Pei, Ching-Shuo Liu, Shuenn-Der Yang, Shih-Hsiang Liang, Yeh-Fang Hu, και Fan-Hua Nan (2022). «Effects of Replacing Fishmeal with Defatted Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) Larvae Meal in Japanese Eel (*Anguilla japonica*) Diet on Growth Performance, Fillet Texture, Serum Biochemical Parameters, and Intestinal Histomorphology». Στο: *Aquaculture Nutrition* 2022. Επιμέλεια: M Xue, σελίδες 1–14. ISSN: 1365-2095. DOI: 10.1155/2022/1866142.
- Melenchón, Federico, Eduardo de Mercado, Héctor J. Pula, Gabriel Cardenete, Fernando G. Barroso, Dmitri Fabrikov, Helena M. Lourenço, María-Fernanda Pessoa, Leidy Lagos, Pabodha Weththasinghe, Marcos Cortés, και Cristina Tomás-Almenar (2022). «Fishmeal Dietary Replacement up to 50% : A Comparative Study of Two Insect Meals for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)». Στο: *Animals* 12.2, σελίδα 179. ISSN: 2076-2615. DOI: 10.3390/ani12020179.
- Nakazawa, Minato (2022). *fmsb: Functions for Medical Statistics Book with some Demographic Data*. R package version 0.7.4.
- Revelle, William (2022). *psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research*. R package version 2.2.9. Northwestern University. Evanston, Illinois.
- Tran, Hung Quang, Tram Thi Nguyen, Markéta Prokešová, Tatyana Gebauer, Hien Van Doan, και Vlastimil Stejskal (2022). “Systematic review and meta-analysis of production performance of aquaculture species fed dietary insect meals”. Στο: *Reviews in Aquaculture* 14.3, σελίδες 1637–1655. ISSN: 1753-5123. DOI: 10.1111/raq.12666.
- Weththasinghe, Pabodha, Jon Øvrum Hansen, Liv Torunn Mydland, και Margareth Øverland (2022). “A systematic meta-analysis based review on black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a novel protein source for salmonids”. Στο: *Reviews in Aquaculture* 14.2, σελίδες 938–956. ISSN: 1753-5123. DOI: 10.1111/raq.12635.
- Wickham, Hadley, Romain François, Lionel Henry, και Kirill Müller (2022). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation, readr: Read Rectangular Text Data, ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis, Reshaping Data with the reshape Package, stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations*. R package version 1.0.9.

- 
- Woodgate, Stephen L., Alex H. L. Wan, Finnian Hartnett, Robert G. Wilkinson, και Simon J. Davies (2022). “The utilisation of European processed animal proteins as safe, sustainable and circular ingredients for global aquafeeds”. Στο: *Reviews in Aquaculture* 14.3, σελίδες 1572–1596. ISSN: 1753-5123. DOI: 10.1111/raq.12663.
- Anedda, Roberto, Riccardo Melis, Antonio Palomba, Ilaria Vitangeli, Grazia Biossa, Angela Braca, Micaela Antonini, Federico Moroni, Simona Rimoldi, Genciana Terova, και Daniela Pagnozzi (2023). “Balanced replacement of fish meal with *Hermetia illucens* meal allows efficient hepatic nutrient metabolism and increases fillet lipid quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*)”. Στο: *Aquaculture* 576.July, σελίδα 739862. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2023.739862.
- Busti, S., M. Magnani, A. Badiani, M. Silvi, G. Baldi, F. Soglia, M. Petracci, F. Sirri, L. Gasco, F. Brambilla, P.P. Gatta, L. Parma, και A. Bonaldo (2023). «Effect of different inclusion levels of defatted *Hermetia illucens* larvae meal on fillet quality of gilthead sea bream (*Sparus aurata*)». Στο: *Journal of Insects as Food and Feed*, σελίδες 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1163/23524588-20220110>.
- Gai, Francesco, Giovanni Marco Cusimano, Giulia Maricchiolo, Letteria Caccamo, Christian Caimi, Elisabetta Macchi, Martina Meola, Anna Perdichizzi, Gennaro Tartarisco, και Laura Gasco (2023). «Defatted Black Soldier Fly Meal in Diet for Grow-Out Gilthead Seabream (*Sparus aurata* L. 1758): Effects on Growth Performance, Gill Cortisol Level, Digestive Enzyme Activities, and Intestinal Histological Structure». Στο: *Aquaculture Research* 2023. Επιμέλεια: Ioannis Vatsos, σελίδες 1–18. ISSN: 1365-2109. DOI: 10.1155/2023/3465335.
- HAPO (2023). *Greek Aquaculture: Annual Report 2023*. Tech. rep. Athens: Hellenic Aquaculture Producers Organisation, σελίδες 1–100.
- Karapanagiotidis, Ioannis T., Marina C. Neofytou, Adamantia Asimaki, Evanthia Daskalopoulou, Pier Psafakis, Eleni Mente, Christos I. Rumbos, και Christos G. Athanassiou (2023). “Fishmeal Replacement by Full-Fat and Defatted *Hermetia illucens* Prepupae Meal in the Diet of Gilthead Seabream (*Sparus aurata*)”. Στο: *Sustainability* 15.1, σελίδα 786. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su15010786.
- Marchi, Arianna, Alessio Bonaldo, Andrea Di Biase, Roberto Cerri, Daniel Scicchitano, Enrico Nanetti, Marco Candela, Gianfranco Picone, Francesco Capozzi, Francesco Dondi, Pier Paolo Gatta, και Luca Parma (2023). “Towards a free wild-caught fishmeal, fish oil and soy protein in European sea bass diet using by-products from fishery and aquaculture”. Στο: *Aquaculture* 573.November 2022, σελίδα 739571. ISSN: 00448486. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2023.739571.

---

## Α΄ Παράρτημα

### Κατάλογος Πινάκων

- 1 Πρώτες ύλες - συστατικά του σιτηρεσίου μάρτυρα και του πειραματικού σιτηρεσίου εντομάλευρου . . . . . 23
- 2 Θρεπτική σύσταση ολόκληρου του σώματος από ιχθύες ταϊσμένους με τις πειραματικές διατροφές ιχθυάλευρου (FM) και εντομάλευρου (HM) . . . . . 31
- 3 Θρεπτική σύσταση μυϊκού ιστού από ιχθύες ταϊσμένους με τις πειραματικές διατροφές ιχθυάλευρου (FM) και εντομάλευρου (HM) . . . . 31

### Κατάλογος Σχημάτων

- 1 Σχεδιάγραμμα των παραγόντων που επιδρούν στη θρεπτική σύσταση των ιχθύων. . . . . 13
- 2 Θηκογράμματα για τη σύσταση ολόκληρου του ιχθύος. **A:** Ποσοστό υγρασίας, **B:** Ποσοστό τέφρας, **C:** Ποσοστό λιπαρών ουσιών, **D:** Ποσοστό ολικών αζωτούχων ενώσεων. **FM** = διατροφή ιχθυάλευρου (fishmeal), **HM** = διατροφή εντομάλευρου (hermetia meal). . . . . 30
- 3 Θηκογράμματα για τη σύσταση του μυϊκού ιστού. **A:** Ποσοστό υγρασίας, **B:** Ποσοστό τέφρας, **C:** Ποσοστό λιπαρών ουσιών, **D:** Ποσοστό ολικών αζωτούχων ενώσεων. **FM** = διατροφή ιχθυάλευρου (fishmeal), **HM** = διατροφή εντομάλευρου (hermetia meal). . . . . 32

4	Οι δεξαμενές και σωληνώσεις του κλειστού συστήματος επανακυκλοφορίας όπου διενεργήθηκε ο πειραματισμός της εκτροφής των ιχθύων. (Από προσωπικό αρχείο) . . . . .	46
5	Το σύστημα φίλτρανσης (μηχανικό & βιολογικό) του κλειστού συστήματος όπου διενεργήθηκε ο πειραματισμός της εκτροφής των ιχθύων. (Από προσωπικό αρχείο) . . . . .	47
6	Η συστοιχία των δειγμάτων αφότου ολοκληρώθηκε η πέψη, προκειμένου να αναλύθουν σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl . (Από προσωπικό αρχείο) . . . . .	47
7	Λάρβες <i>Hermetia illucens</i> μετά τη συλλογή τους απο το χώρο εκτροφής. (Από προσωπικό αρχείο) . . . . .	48
8	Εργαστηριακό μηχάνημα εκχύλισης Soxhlet (Από προσωπικό αρχείο)	48



**Σχήμα 4:** Οι δεξαμενές και σωληνώσεις του κλειστού συστήματος επανακυκλοφορίας όπου διενεργήθηκε ο πειραματισμός της εκτροφής των ιχθύων. (Από προσωπικό αρχείο)



**Σχήμα 5:** Το σύστημα φίλτρανσης (μηχανικό & βιολογικό) του κλειστού συστήματος όπου διενεργήθηκε ο πειραματισμός της εκτροφής των ιχθύων. (Από προσωπικό αρχείο)



**Σχήμα 6:** Η συστοιχία των δειγμάτων αφότου ολοκληρώθηκε η πέψη, προκειμένου να αναλύθουν σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl . (Από προσωπικό αρχείο)



**Σχήμα 7:** Λάρβες *Hermetia illucens* μετά τη συλλογή τους απο το χώρο εκτροφής. (Από προσωπικό αρχείο)



**Σχήμα 8:** Εργαστηριακό μηχάνημα εκχύλισης Soxhlet (Από προσωπικό αρχείο)