

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΜΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

**Επίδραση της διαιτητικής χορήγησης κατά 7% και 14% του
εντομοάλευρου του είδους *Ceratitis capitata* στην αναπτυξιακή
απόδοση της τσιπούρας (*Sparus aurata*)**

ΔΕΛΙΟΠΟΥΛΟΥ ΟΛΓΑ
ΒΟΛΟΣ 2024

*«Επίδραση της διαιτητικής χορήγησης κατά 7% και 14% του εντομοάλευρου του είδους *Ceratitidis capitata* στην αναπτυξιακή απόδοση της τσιπούρας (*Sparus aurata*)»*

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) Παναγιώτα Παναγιωτάκη, Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος
- 3) Ελένη Γκολομάζου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Προστασία-Ευζωία Ιχθύων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσοι συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας τη παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα της συγκεκριμένης εργασίας, κ. Ιωάννη Καραπαναγιωτίδη για την πολύτιμη βοήθειά του και για 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 την κα. Παναγιώτα Παναγιωτάκη και την κα. Ελένη Γκολομάζου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες κ.κ. Μαντώ Ασημάκη, Ελίνα Γκαλογιάννη και Πιερ Ψωφάκη για την άμεση όπως επίσης και ανιδιοτελή προσφορά τους, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Κατερίνα Κατούνη για τη όλη βοήθεια της κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου και στους δικούς μου ανθρώπους για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η υδατοκαλλιέργεια έχει γίνει ο βασικός κλάδος για την ανάπτυξη της παγκόσμιας παραγωγής ψαριών εξαιτίας της στασιμότητας της αλιευτικής παραγωγής και της συνεχούς αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού. Η βιομηχανία παραγωγής ιχθυοτροφών εξαρτάται κατά πολύ από την προμήθεια ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων που προέρχονται από αλιευμένα ιχθυοαποθέματα. Ωστόσο, τα αποθέματα και η παραγωγή αυτών παραμένει στάσιμη και η τιμή τους συνεχώς αυξάνεται με αποτέλεσμα να ανακύπτουν θέματα περιβαλλοντικής αειφορίας αλλά και ένα αυξανόμενο κόστος παραγωγής των ιχθυοκαλλιεργειών.

Τα έντομα αποτελούν μία εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης για τους εκτρεφόμενους οργανισμούς της ιχθυοκαλλιέργειας, διότι έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και σε απαραίτητα αμινοξέα, ενώ η εκτροφή τους έχει χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η ενσωμάτωση των πρωτεϊνών εντόμων στις ιχθυοτροφές από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον για περαιτέρω διερεύνηση.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της αντικατάστασης του ιχθυαλεύρου από το εντομοάλευρο του είδους της Μεσογειακής μύγας (*Ceratitis capitata*) στην αναπτυξιακή απόδοση της τσιπούρας (*Sparus aurata*). Ιχθύδια τσιπούρας (*S. aurata*) με αρχικό μέσο βάρος $6,50 \pm 0,1$ g, μεταφέρθηκαν σε 16 ενυδρεία κλειστού κυκλώματος κυκλοφορίας θαλασσινού νερού στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η θερμοκρασία διατηρούνταν κατά τη διάρκεια του πειράματος στους 21°C , το pH στο $8,00 \pm 0,4$ και η αλατότητα στο $30 \pm 0,5\text{‰}$. Τα ιχθύδια διαχωρίστηκαν σε 3 διατροφικές ομάδες (30 ψάρια/δεξαμενή, 4 επαναλήψεις/διατροφική ομάδα), στις οποίες χορηγήθηκαν 3 διαφορετικά σιτηρέσια, 2 φορές καθημερινά με το χέρι μέχρι κορεσμού για 60 ημέρες. Η τροφή του μάρτυρα (CTRL) περιείχε ιχθυάλευρο ως αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης. Στα υπόλοιπα

2 σιτηρέσια πραγματοποιήθηκε αντικατάσταση του ποσοστού χορήγησης του ιχθυαλεύρου από το άλευρο του εντόμου της Μεσογειακής μύγας των φρούτων (*Ceratitis capitata*) σε ποσοστά 7% (FFM7 τροφή) και 14% (FFM14 τροφή). Στο τέλος του πειράματος, τα ψάρια θανατώθηκαν με ισχυρή αναισθητοποίηση.

Η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από το άλευρο του εντόμου *Ceratitis capitata* με τα διάφορα ποσοστά αντικατάστασης δεν επηρέασαν σημαντικά την επιβίωση, τις παραμέτρους ανάπτυξης, το μέσο βάρος, αλλά και την αξιοποίηση της τροφής. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δείχνουν ότι το άλευρο του συγκεκριμένου εντόμου ήταν αποτελεσματικό τόσο για την ανάπτυξη όσο και για την επιβίωση της τσιπούρας. Με άλλα λόγια, το εντομοάλευρο του είδους *Ceratitis capitata* είναι κατάλληλο για την αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου στη διατροφή της τσιπούρας. Όμως, απαιτείται περεταίρω διερεύνηση των μεταβολικών επιδράσεων που μπορεί να επιφέρει η διατροφή της τσιπούρας με το συγκεκριμένο είδος εντόμου με στόχο τη διασφάλιση της καταλληλότητας αυτής της πρώτης ύλης για τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας.

Λέξεις-κλειδιά: τσιπούρα (*Sparus aurata*), αντικατάσταση ιχθυαλεύρου, εντομοάλευρο, *Ceratitis capitata*.

ABSTRACT

Over the past few years, aquaculture has become the main industry for the development of global fish production due to the stagnation of fishing production and the continuous growth of the human population. The fish feed industry is heavily dependent on the supply of fishmeal and fish oil from caught fish stocks. However, fish stocks and their production remain stagnant, and their price is constantly rising, resulting in environmental sustainability issues and a rising production cost for the fish farms.

Insects are an alternative source of protein for the fish farmed organisms, because they are high in protein and essential amino acids, while their farming has a low environmental footprint. The incorporation of insect proteins into fish feed by European legislation has piqued the interest for further investigation.

The aim of this paper is to study the effects of the replacement of fishmeal by the insect meal of the Mediterranean fly species (*Ceratitis capitata*) on the developmental performance of the sea bream (*Sparus aurata*). Juveniles of gilthead seabream (*S. aurata*) with an initial average weight of 6.50 ± 0.1 g, were transferred to 16 aquariums of closed seawater circulation system at the facilities of the Department of Agriculture, ichthyology and aquatic environment of the University of Thessaly. The temperature was maintained during the experiment at 21°C, the pH at 8.00 ± 0.4 , and the salinity at 30 ± 0.5 ‰. The juveniles were divided into three nutritional groups (30 fish/tank, 4 reps/nutritional group), which were administrated 3 different diets, 2 times daily by hand until satiety for 60 days. The control feed (CTRL) contained fishmeal as an exclusive source of animal protein. In the remaining 2 diets, fishmeal was replaced by Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) meal at 7% (FFM7 feed) and 14% (FFM14 feed). At the end of the experiment, the fish were killed by strong anesthesia.

The replacement of fishmeal by the insect meal of the Mediterranean fly species *Ceratitis capitata* with the various replacement rates did not significantly affect survival, growth parameters, average weight, but also the utilization of food. The results of this paper show that the meal of this particular insect was effective for both the growth and survival of the gilthead bream. In other words, the insect meal of the species *Ceratitis capitata* is suitable for replacing fish meal in the gilthead bream diet. However, further investigation is needed into the metabolic effects that feeding the sea bream with this insect species can bring with a view to ensuring the suitability of this raw material for the aquaculture industry.

Key words: Gilthead seabream (*Sparus aurata*), fishmeal replacement, insect meal, *Ceratitis capitata*.

Περιεχόμενα

<u>1. Εισαγωγή</u>	10
--------------------------	----

<u>1.1 Εκτροφή τσιπούρας</u>	10
<u>1.2 Η σημασία των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές</u>	13
<u>1.3 Εντομοάλευρα στις ιχθυοτροφές</u>	16
<u>1.3.1 Το είδος <i>Ceratitis capitata</i></u>	19
<u>1.4 Σκοπός της εργασίας</u>	22
<u>2. Υλικά και Μέθοδοι</u>	24
<u>2.1 Εργαστηριακές αναλύσεις</u>	24
<u>2.1.1 Προσδιορισμός υγρασίας/ξηρής ουσίας</u>	24
<u>2.1.2 Προσδιορισμός τέφρας</u>	25
<u>2.1.3 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ενώσεων</u>	26
<u>2.1.4 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών</u>	30
<u>2.1.5 Προσδιορισμός ενέργειας</u>	32
<u>2.2 Καταρτισμός σιτηρεσίων</u>	34
<u>2.3 Πειραματικός σχεδιασμός</u>	39
<u>2.4 Δειγματοληψίες</u>	41
<u>2.5 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής</u>	42
<u>2.5.1 Επιβίωση (%)</u>	42
<u>2.5.2 Αύξηση ολικού βάρους (g)</u>	42
<u>2.5.3 Κατανάλωση τροφής (g/ψάρι)</u>	42
<u>2.5.3 Κατανάλωση τροφής (% Σ.Β. / ημέρα)</u>	42
<u>2.5.4 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) (%/ημέρα)</u>	43
<u>2.5.5 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)</u>	43
<u>2.6 Στατιστική ανάλυση</u>	44
<u>3. Αποτελέσματα</u>	45
<u>3.1 Κατά την έναρξη του πειράματος</u>	45
<u>3.2 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής</u>	46
<u>3.2.1 Δείκτες σωματικής ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής κατά την 30η ημέρα του πειράματος</u>	46
<u>3.2.2 Δείκτες σωματικής ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής (ολοκλήρωση του πειράματος)</u>	48
<u>4. Συζήτηση</u>	50
<u>5. Συμπέρασμα</u>	54
<u>6. Βιβλιογραφία</u>	55
<u>6.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία</u>	55
<u>6.2 Ελληνική βιβλιογραφία</u>	65
<u>6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία</u>	66

1. Εισαγωγή

1.1 Εκτροφή τσιπούρας

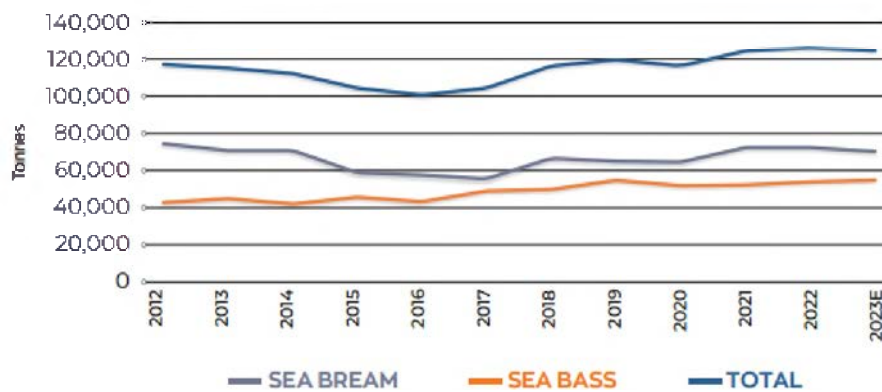
Η τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Εικόνα 1.1) ανήκει στο γένος *Sparus* της οικογένειας των Sparidae (Παπουτσόγλου 2008). Είναι είδος της Μεσογείου και ένα από τα κυριότερα είδη εκτροφής τόσο των μεσογειακών όσο και των ελληνικών θαλάσσιων υδατοκαλλιεργειών μαζί με το λαβράκι (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Η τσιπούρα αποτελεί ένα πελαγικό ευρύθερμο και ευρύαλο είδος, κάνοντας συχνά την εμφάνιση του στα υφάλμυρα νερά των εκβολών των ποταμών και των λιμνοθαλασσών, με τα νεαρά της άτομα να εισέρχονται από τα τέλη Φεβρουαρίου στις λιμνοθάλασσες (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Ταυτόχρονα, αντέχει σε ένα σχετικά σε ένα σχετικά μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος από 4 μέχρι 22°C, ενώ η αντοχή της στις αλλαγές της αλατότητας κυμαίνονται από 0 έως τα 40 psu (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Είναι σαρκοφάγο είδος, το οποίο τρέφεται με μαλάκια, μύδια (που μπορεί να τα σπάσει εύκολα), άλλα οστρακοειδή, αλλά και μικρά ψάρια (Νεοφύτου 2015). Η περίοδος της αναπαραγωγής της πραγματοποιείται από τον Οκτώβριο μέχρι τον Δεκέμβριο (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Παράλληλα, είναι ερμαφρόδιτο είδος με πρωτανδρική εμφάνιση, όπου σε πολλά άτομα επέρχεται η αλλαγή του φύλου στο 2^ο έτος της ηλικίας τους (Νεοφύτου 2015). Στον τρίτο χρόνο της ζωής τους, το ποσοστό των αρρένων έχει περιοριστεί στο 20%, ενώ το 80% αποτελείται από θηλυκά άτομα με βάρος άνω των 400g και μήκος 35cm (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Εκτός αυτού, η τσιπούρα δεν αποτελεί μεταναστευτικό είδος, ενώ ζει είτε μοναχικά είτε σχηματίζοντας μικρά κοπάδια (Νεοφύτου 2015). Ο ολικός αριθμός των αυγών που απελευθερώνει ένα θηλυκό άτομο τσιπούρας κυμαίνεται από 500.000 μέχρι 800.000/kg σωματικού βάρους (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Συναντάται στον ανατολικό Ατλαντικό, Μαύρη θάλασσα, αλλά και στη Μεσόγειο (FishBase 2024).



Εικόνα 1.1: Η τσιπούρα (*Sparus aurata*). Πηγή: FishBase 2024.

Η τσιπούρα είναι ένα είδος, το οποίο προσαρμόζεται εύκολα στην αιχμαλωσία, ενώ χαρακτηρίζεται από γρήγορη ανάπτυξη, ανθεκτικότητα στις μεταβολές των φυσικοχημικών παραμέτρων των υδάτινων μαζών, καθώς και εξαιρετική ποιότητα κρέατος, έχοντας οικονομικό ενδιαφέρον (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης επιτυγχάνεται σε θερμοκρασία από 22 έως 24 (Κλαουδάτος & Apostolopoulos 1986). Οι κύριες χώρες εκτροφής του συγκεκριμένου είδους είναι η Ελλάδα, η Τουρκία, η Ισπανία, η Ιταλία, η Κροατία, η Κύπρος, η Αίγυπτος, η Γαλλία, η Μάλτα, το Μαρόκο και η Τυνησία, ενώ εκτρέφεται στην Ερυθρά θάλασσα, στον Περσικό κόλπο και στην Αραβική θάλασσα με κύριες χώρες το Ισραήλ, το Κουβέιτ, καθώς και το Ομάν (FAO, 2006). Το εμπορεύσιμο μέγεθος της τσιπούρας είναι 350-400gr, το οποίο επιτυγχάνεται σε 11-14 μήνες (Κλαουδάτος & Κλαουδάτος 2012). Το 2019 η παραγωγή λαβρακιού και τσιπούρας ανήλθε σε 120.500 τόνους (65.300 τόνοι τσιπούρας και 55.200 τόνοι λαβρακιού συνολικής αξίας 545,6 εκ. (ΣΕΘ 2019). Το 2022, η παραγωγή της τσιπούρας, αλλά και του λαβρακιού ανήλθε στους 214.000 τόνους, με την Ελλάδα να αντιπροσωπεύει το 59% της συγκεκριμένης παραγωγής

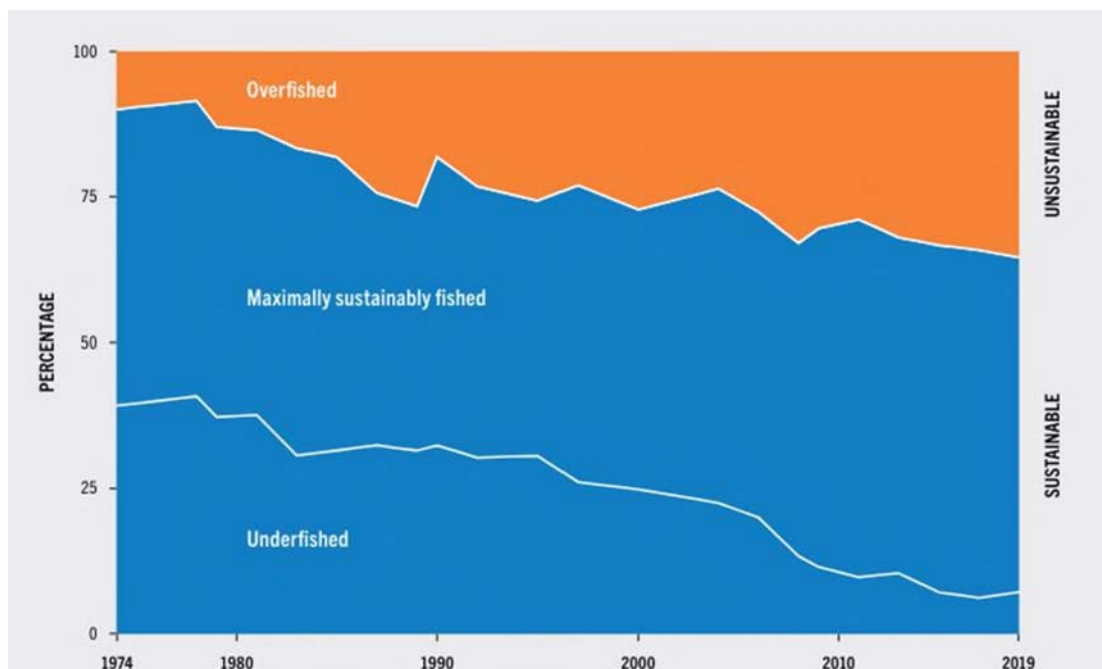
(Εικόνα 1.3), ενώ το 2023 εκτιμάται ότι η παραγωγή των δύο ειδών θα παραμείνει αμετάβλητη. (ΕΛΟΠΥ 2023).



Εικόνα 1.2: Παραγωγή της τσιπούρας και του λαβρακιού στην Ελλάδα το 2022.Πηγή: ΕΛΟΠΥ 2023.

1.2 Η σημασία των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές

Τα βιώσιμα φυσικά ιχθυοαποθέματα αποτελούν περίπου το 57,3% και τα υποαλιευμένα αποθέματα το 7,2% των συνολικών παραγόμενων αλιευμάτων (FAO 2022) (Εικόνα 1.2). Τα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια που προέρχονται κυρίως από φυσικά ιχθυοαποθέματα (Cashion et al. 2017), ενσωματώνονται στις ιχθυοτροφές ως οι κύριες διατροφικές πηγές πρωτεΐνης και λιπιδίων, αντίστοιχα (Matos et al. 2016). Μέχρι και σήμερα, η συγκεκριμένη πρακτική θεωρούνταν ορθή, διότι το ιχθυάλευρο είναι πλούσιο σε απαραίτητα αμινοξέα και το ιχθυέλαιο σε απαραίτητα λιπαρά οξέα. Ταυτόχρονα, είναι ελκυστικά και συγχρόνως εύπεπτα από τους εκτρεφόμενους οργανισμούς, ενώ είναι άμεσα διαθέσιμα για τους παραγωγούς, ικανοποιώντας τις υψηλές απαιτήσεις των ιχθύων για ω-3 λιπαρά οξέα και ιδιαίτερα των 20:5ω-3 και 22:6ω-3, τα οποία είναι δυσεύρετα σε άλλα συστατικά-πρώτες ύλες για ιχθυοτροφές (Καραπαναγιωτίδης 2018).



Εικόνα 1.3: Οι παγκόσμιες τάσεις στην κατάσταση των παγκόσμιων θαλάσσιων αλιευτικών αποθεμάτων. Πηγή: FAO 2022.

Ωστόσο, τα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια ελλοχεύουν αρκετά μειονεκτήματα. Πρώτα από όλα, πέρα από την πιθανή μελλοντική μείωση στο κομμάτι της προσφοράς τους, έχουν προκύψει επίσης ηθολογικές αντιδράσεις πάνω στην εφαρμογή αλιευμένων ιχθύων, με στόχο την παραγωγή ζωοτροφών και όχι για την απ' ευθείας κατανάλωση τους από τον άνθρωπο, ειδικότερα όταν ένα μεγάλο μέρος του παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού υποσιτίζεται από πρωτεΐνη ζωικής προέλευσης (Μεντέ & Νέγκας 2011, Καραπαναγιωτίδης 2018). Παράλληλα, εξαιτίας διάφορων παραγόντων όπως η υπεραλίευση και η κλιματική αλλαγή, τα περισσότερα φυσικά ιχθυοαποθέματα βρίσκονται υπό έντονη αλίευση που απειλεί τη βιωσιμότητά τους, ενώ συμβαίνει και μία μη αναστρέψιμη μείωση στην θαλάσσια ποικιλότητα (Zhao et al. 2016). Επίσης, η στάσιμη διαθεσιμότητά τους έχει αυξήσει το κόστος προμήθειας τους με αποτέλεσμα να αυξάνει και το κόστος της ιχθυοκαλλιεργητικής προσπάθειας.

Για αυτό το λόγο, είναι αναγκαίο ο κλάδος να αμβλύνει την εξάρτησή του στα ιχθυάλευρα και στα ιχθυέλαια και να βασιστεί σε εναλλακτικές λιπιδικές και πρωτεϊνικές πηγές για την παρασκευή των ιχθυοτροφών. Συνεπώς, η βιομηχανία της ιχθυοκαλλιέργειας έχει καταβάλλει τεράστιες προσπάθειες για την ανάπτυξη δίαιτας στα ψάρια μέσω της χρήσης πιο βιώσιμων ιχθυοτροφών που προέρχονται από συστατικά της χερσαίας αγροτικής παραγωγής (Bendiksen et al. 2011, Tocher 2009, Turchini et al. 2011 & Gasco et al. 2018). Για παράδειγμα, εδώ και πολλά χρόνια τα ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια των σιτηρεσίων των εκτρεφόμενων ιχθύων έχουν υποκατασταθεί μερικώς και επιτυχώς από χερσαία φυτικά άλευρα και έλαια (Bell et al. 2001 & Foroutani et al. 2018). Ωστόσο, η χρήση αυτών των εναλλακτικών χερσαίων δεν μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τα ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια μιας και αυτό επιφέρει αρκετές αρνητικές μεταβολικές διαταραχές και μείωση της διατροφικής αξίας του τελικού προϊόντος-ψαριού (Foroutani et al. 2018). Στις μέρες μας, γίνεται ολοένα

και περισσότερη χρήση των πιστοποιημένων ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων (Marine Stewardship Council) τα οποία προέρχονται από φυσικά ιχθυοαποθέματα που δεν υπεραλιεύονται (Rector et al. 2023).

1.3 Εντομοάλευρα στις ιχθυοτροφές

Μία από τις προκλήσεις που έρχεται αντιμέτωπη η βιομηχανία ζωοτροφών ιχθυοκαλλιέργειας είναι η αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων από εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης εξαιτίας των ανησυχιών σχετικά με τους πυλώνες της οικονομικής και οικολογικής βιωσιμότητας (Hua 2021). Συνεπώς, οι απαιτήσεις για συστατικά ιχθυοτροφών με υψηλή ποιότητα, αλλά και πλούσια σε πρωτεΐνη αυξάνονται επίσης (Stadtlander et al. 2017).

Τα έντομα αποτελούν την πιο πολυπληθέστερη ομάδα οργανισμών, η οποία περιλαμβάνει περισσότερα από 800.000 είδη (με νέα είδη να ανακαλύπτονται ακόμη σε υψηλή συχνότητα), με το 60% όλων των ειδών στη γη να είναι έντομα (Schoonhoven et al. 1998, Dicke et al. 2002). Τα βρώσιμα έντομα αποτελούν έναν φυσικό ανανεώσιμο πόρο που χρησιμοποιείται ως τροφή από τον άνθρωπο (Ramos-Elorduy and Conconi 1994, Barroso et al. 2014). Από την αρχαιότητα, τα έντομα αποτελούσαν μια εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης, η οποία χρησιμοποιούνταν με στόχο την αντιστάθμιση της περιοδικής ή εποχιακής έλλειψης άλλων πηγών (Ramos-Elorduy 1997, Barroso et al. 2014). Η πρόσφατη απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης που επιτρέπει την εφαρμογή των εντομοάλευρων στις ιχθυοτροφές (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 893/2017) έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον τόσο των ερευνητών όσο και των επιχειρηματιών για τη χρήση τους στις πρώτες ύλες στις ιχθυοτροφές (Καραπαναγιωτίδης 2018). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε τη χρήση 7 εντόμων ως συστατικά στις ιχθυοτροφές (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 893/2017 & Melenchón et al. 2022). Με βάση τον συγκεκριμένο κανονισμό, τα επτά έντομα που έχουν εγκριθεί είναι τα εξής είδη: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus* και *Gryllus assimilis* (Gasco et al. 2020).

Δεδομένου ότι τα έντομα αποτελούν μέρος της φυσικής διαίτας τόσο των θαλάσσιων όσο και των γλυκών ψαριών (Howe et al. 2014, Whitley and Bollens 2014 & Henry et al. 2015), καθώς και είναι πλούσια σε αμινοξέα, λιπίδια, βιταμίνες και ιχνοστοιχεία (van Huis 2013 & Henry et al. 2015), κατέχοντας μικρό οικολογικό αποτύπωμα, έχουν θεωρηθεί ως πιθανές εναλλακτικές τόσο για τα ιχθυάλευρα όσο και για τα ιχθυέλαια. Παράλληλα, η παραγωγή των εντομοάλευρων έχει δειχθεί ότι καταναλώνει λιγότερους πόρους γης και νερού από ότι το σογιάλευρο (Quang-Tran et al. 2022). Εξάλλου, τα έντομα αποτελούν πολύ αποτελεσματικούς μετατροπείς τροφής εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι εξώθερμοι οργανισμοί, διότι δεν ξοδεύουν μεταβολική ενέργεια για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος τους (Καραπαναγιωτίδης 2018). Η περιεκτικότητα των εντομοαλεύρων σε πρωτεΐνη κυμαίνεται μεταξύ 50-82% ανάλογα με το είδος όπως επίσης και το στάδιο ανάπτυξης, έχοντας ένα καλό προφίλ αμινοξέων (Henry et al. 2015). Τα έντομα της Τάξης των Ορθόπτερων κατέχουν την υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, η οποία είναι παρεμφερής με αυτή του ιχθυάλευρου (Barroso et al. 2014). Αντίθετα, τα έντομα της Τάξης των Κολεόπτερων και των Δίπτερων κατέχουν τα χαμηλότερα επίπεδα των πρωτεϊνών (Barroso et al. 2014). Η περιεκτικότητα των εντομών σε λίπος φθάνει μέχρι και το 55% της θρεπτικής τους σύστασης σε ορισμένα είδη (Καραπαναγιωτίδης 2018). Πέρα από αυτό, αποτελούν μία καλή πηγή βιταμινών, αλλά και βιοδιαθέσιμων μετάλλων όπως ο σίδηρος και ο ψευδάργυρος (Payne et al. 2016). Ακόμη, τα εντομοάλευρα περιέχουν επαρκείς ποσότητες βιοδραστικών ενώσεων και χιτίνης, οι οποίες θα μπορούσαν να ισχυροποιήσουν την ανοσία και την κατάσταση της υγείας των εκτρεφόμενων ειδών όπως τα ψάρια λόγω των πιθανών αντιοξειδωτικών, αντιμικροβιακών και ανοσοδιεργετικών ιδιοτήτων τους (Oda et al., 2019), αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής των

ζωοτροφών με τα περιεχόμενα έντομα (Zhao et al. 2010 & Henry et al. 2015). (Πίνακας 1.1)

Ωστόσο, ελλοχεύουν και αρκετά μειονεκτήματα από τη χρήση των εντομοάλευρων. Ένα από αυτά είναι η ύπαρξη χιτίνης στα έντομα, επισημαίνοντας την ως αρνητικό χαρακτηριστικό, παρόλο που υπάρχει στα καρκινοειδή και καταναλώνεται ευρέως από τα ψάρια (Barroso et al. 2014). Ένα ακόμη μειονέκτημα των εντομών είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητα στις απαιτούμενες ποσότητες που χρειάζεται η παγκόσμια ιχθυοκαλλιέργεια, με συνέπεια να είναι ακριβή πρώτη ύλη όσο αφορά την αξιοποίηση της στις τροφές προς το παρόν (Καραπαναγιωτίδης 2018). Επιπροσθέτως, τα έντομα ενδέχεται να αποτελούν βιοσυσσωρευτές εντομοκτόνων και φυσικών τοξινών και ταυτόχρονα να είναι φορείς παθογόνων μικροβίων (Καραπαναγιωτίδης 2018). Στους δυτικούς πολιτισμούς, τα έντομα μπορούν να προκαλέσουν έντονες αρνητικές αντιδράσεις, διότι έχουν την άποψη των εντόμων ως βρώμικων, αηδιαστικών και επικίνδυνων (Looy et al. 2014).

Πίνακας 1.1: Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και λιπίδια των εντομοάλευρων, εκφρασμένη σε g/kg ανά δείγμα, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξής τους και τον τύπο αναλογίας της τροφής. Πηγή: Nogales-Mérida et al. 2019.

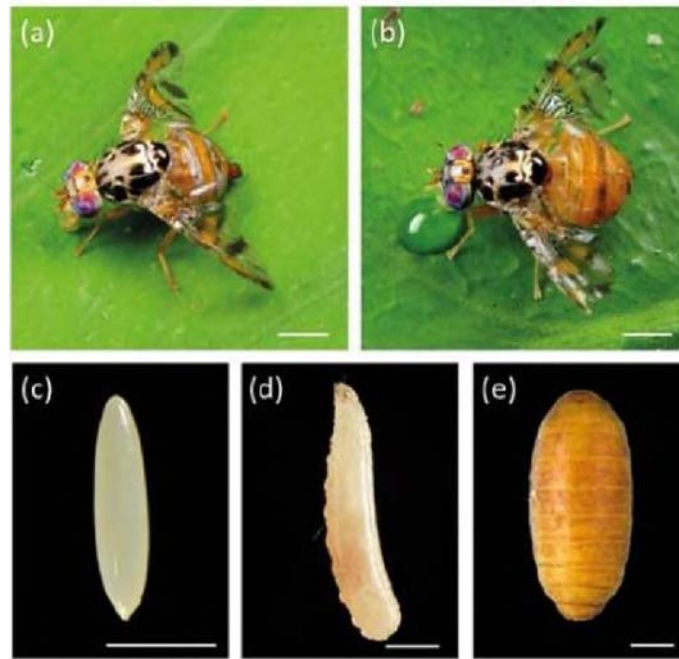
Είδος εντόμου	Στάδιο ανάπτυξης	Είδος τροφή που ελήφθη	Ξηρή ουσία	Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Συγγραφείς
<i>Tenebrio molitor</i>	Προνύμφη	Σιτάρι, σιτηρά, καρότα	371	83	311	Barker et al. 1998
<i>T. molitor</i>	Προνύμφη	Λιπαρά οξέα, βιταμίνη E, β-καροτίνη	311	598,1	263,7	Finke 2015 (επί ξηρής ουσίας)
<i>Hermetia illucens</i>	Νύμφη	Κοπριά χοίρων	916	436	331	St-Hilaire et al. 2007
<i>H. illucens</i>	Προνύμφη	Τροφή κοτόπουλου	387	412	336	Spranghers et al. 2017
<i>Musca domestica</i>	Προνύμφη	Πίτουρο και αίμα βοειδών (1:2)	-	310	78,8	Pieterse and Pretorius 2014
<i>M. domestica</i>	Προνύμφη	Πίτουρο σιταριού υγρό (υγρασία 600–700 g kg ⁻¹)	934,3	566,1	205	Wang et al. 2017
<i>Zophobas morio</i>	Προνύμφη	Σιτάρι, καρότα	430	69	408	Barker et al. 1998
<i>Z. morio</i>	Προνύμφη	Φύκια kelp	499	448,1	417,8	Nederlof et al. 2017
<i>Acheta domesticus</i>	Ενήλικο	Καλαμποκάλευρο, σιτάλευρο, κόπη σόγιας, κρεατάλευρο, μελάσα, ιχθυάλευρο	268	103	228	Barker et al. 1998
<i>A. domesticus</i>	Νύμφη	Βασική διατροφή, λιναρόσπορος, έλαιο κανόλας, ιχθυέλαιο, γεύμα γλουτένης, καλαμποκού, συμπλήρωμα κίτρινου καροτενοειδούς, βιταμίνη E, θειασμίνη, β-καροτίνη	275	165	69	Finke 2015 (επί ξηρής ουσίας)

1.3.1 Το είδος *Ceratitis capitata*

Οι μύγες των φρούτων (Δίπτερα: Tephritidae) θεωρούνται από τα πιο καταστροφικά παράσιτα των καρπών σε παγκόσμιο επίπεδο (Rodovitis et al. 2024). Οι συγκεκριμένες μύγες περιλαμβάνουν περίπου 4.300 αναγνωρισμένα είδη, τα οποία είναι περίπου 500 γένη παγκοσμίως (White 2006, Rao et al. 2024). Κάθε ήπειρος μαστίζεται από πολλά είδη μυγών των φρούτων, τόσο γηγενή όσο και χωροκατακτητικά, προκαλώντας τεράστιες οικονομικές απώλειες (De Meyer et al. 2015 & Mihretie et al. 2024), επηρεάζοντας αρνητικά το εμπόριο βασικών προϊόντων μέσω περιορισμών στη πρόσβαση στην αγορά (Tanga et al. 2016 & Mihretie et al. 2024).

Η Μεσογειακή μύγα (*Ceratitis capitata*) θεωρείται παγκόσμιο παράσιτο της γεωργίας, έχοντας εξαιρετικά αξιοσημείωτη γεωργική σημασία (Gabrieli & Scolari 2016). Το συγκεκριμένο έντομο έχει ευρεία γεωγραφική κατανομή όπως επίσης προσαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών (Bravo & Zucoloto 1998, Keroumi et al. 2010, Szyniszewska et al. 2024). Το συγκεκριμένο έντομο έχει εξαπλωθεί από τη μητρική του προέλευση στην υποσαχάρια Αφρική σε μεγάλο μέρος της ηπείρου (Szyniszewska et al. 2024). Συγχρόνως, έχει καταφέρει να διασκορπιστεί επιτυχώς σε όλες τις ηπείρους (Rodovitis et al. 2024). Πρόσφατα έχουν αναφερθεί εντοπισμοί των πληθυσμών της μύγας της Μεσογείου στα βόρεια μέρη της Μεσογείου και της Κεντρικής Ευρώπης (π.χ. Αυστρία, Γερμανία, Ελβετία), στη Μαύρη Θάλασσα (π. χ. Ρουμανία και Ουκρανία) και στις ηπειρωτικές Βαλκανικές χώρες όπως η Ρουμανία και η Σερβία (Cayol & Causse 1993, Egartner et al. 2019, König et al. 2022, Rodovitis et al. 2024). Κατά κανόνα, τα ενήλικα άτομα κάνουν την εμφάνιση τους την άνοιξη, ξεκινώντας να τρέφονται με νωπές ζασκαρούχες και αζωτούχες ενώσεις όπως νέκταρ, μελιτώδη απεκκρίμματα κοκκοειδών κλπ. (Ναβροζίδης & Ανδρεάδης 2012).

Τα θηλυκά άτομα γεννούν τα αυγά τους, με τις προνύμφες να αναπτύσσονται στον πολτό τους και οι νύμφες να κρύβονται στο έδαφος (Tiring et al. 2024) (Εικόνα 1.4). Αποτελεί το πιο καταστροφικό παράσιτο μύγας φρούτων παγκοσμίως, προξενώντας εκτεταμένες ζημιές τόσο σε φρούτα όσο και σε λαχανικά (Liquidó et al. 1991, Aluja et al. 2008, Rempoulakis et al. 2016). Είναι ένα εξαιρετικά πολυφάγο έντομο, προσβάλλοντας πάνω από 350 ξενιστές (Liquidó et al. 1991, Nash & Chapman 2014), ενώ μπορεί να χρησιμοποιήσει επιτυχώς τις θέσεις ωοτοκίας πέρα από το φυσικό εύρος ξενιστών (Krainacker et al. 1987, Nash & Chapman 2014). Ο έλεγχος της Μεσογειακής μύγας στοχεύει μόνο τα ενήλικα άτομα (Tiring et al. 2024). Για τον έλεγχο αυτού του εντόμου, χρησιμοποιούνται συνήθως εντομοκτόνα προς το παρόν εξαιτίας της ταχείας και ικανοποιητικής δράσης τους, αλλά έχουν οδηγήσει σε πολλά προβλήματα όπως η ανάπτυξη αντοχής αυτού του εντόμου στο εντομοκτόνο και η μόλυνση του περιβάλλοντος (Rohde et al. 2012, Elqdhhy et al. 2024). Η τεχνική αποστειρωμένων εντόμων (SIT) είναι μια φιλική προς το περιβάλλον, ειδική για το είδος μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται ως συστατικό των ολοκληρωμένων στρατηγικών διαχείρισης παρασίτων σε όλη την περιοχή για τον έλεγχο του πληθυσμού του *C. capitata* καθώς και άλλων παρασίτων εντόμων και φορέων ασθενειών (Knipling 1955, Enkerlin 2003, Dyck et al. 2021, Klassen και Vreysen 2021, Sollazzo et al. 2023).



Εικόνα 1.4: Αναπτυξιακά στάδια της Μεσογειακής μύγας των φρούτων: α) Αρσενικό, β) Θηλυκό, γ) Αυγό, δ) Προνύμφη 3^{ου} σταδίου και ε) Νύμφη. Πηγή: Giunti et al. 2023.

1.4 Σκοπός της εργασίας

Έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες πάνω στα έντομα τα τελευταία χρόνια, αποδεικνύοντας τις ευεργετικές ιδιότητες τους στη χρησιμότητα τους πάνω στον πυλώνα της διατροφής των ιχθύων. Ενώ ο κλάδος των υδατοκαλλιέργειών αυξάνεται όλο και περισσότερο, η πρόσβαση στα ιχθυάλευρα και στα ιχθυέλαια δυσχεραίνει. Για αυτό το λόγο, τόσο η εύρεση όσο και η αξιοποίηση εναλλακτικών πρωτεϊνικών πηγών και ελαίων για την αντικατάσταση ή/και την υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου και του ιχθυελαίου αποτελεί αναγκαίο κριτήριο, προκειμένου να διατηρηθεί και να αναπτυχθεί ο συγκεκριμένος κλάδος.

Η εκτροφή του είδους *C. capitata* με σκοπό την παραγωγή εντομοαλεύρων είναι πολύ πρόσφατη και δεν υπάρχει σχετική διεθνής βιβλιογραφία τόσο για την εκτροφή του όσο και για τη διατροφική του αξία. Ωστόσο, το εντομοάλευρο του είδους αυτού θα μπορούσε να συνεισφέρει στην προσπάθεια της ιχθυοκαλλιέργειας για εύρεση κατάλληλων εναλλακτικών του ιχθυαλεύρου. Προς το παρόν δεν υπάρχουν αντίστοιχες μελέτες, με την παρούσα να είναι μια πρώτη προσπάθεια διερεύνησης της καταλληλότητας του ως υποκατάστατο του ιχθυαλεύρου στη διατροφή της εκτρεφόμενης τσιπούρας. Η παρούσα μελέτη αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης που διεξάγεται στο πλαίσιο του χρηματοδοτούμενου έργου με τίτλο «Circular and Inclusive utilisation of alternative PROteins in the MEDiterranean value chains – CIPROMED», PRIMA Programme, HORIZON 2020.

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από εντομοάλευρο του είδους της Μεσογειακής μύγας (*Ceratitis capitata*) σε ποσοστά 7% και 14% στην αναπτυξιακή απόδοση της τσιπούρας. Για αυτό το λόγο, πραγματοποιήθηκε ο καταρτισμός των σιτηρεσίων που εφαρμόστηκαν για να ανταποκρίνονται στις διατροφικές απαιτήσεις των ιχθύων της τσιπούρας. Στη

συγκεκριμένη διατριβή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των διάφορων παραμέτρων ανάπτυξης των ιχθύων και αξιοποίησης της τροφής από αυτούς όπως τελικό βάρος, SGR, FCR κ.λπ., ακολουθώντας δίαιτα με εντομοάλευρο του είδους *C. capitata* σε ποσοστά αντικατάστασης 7 και 14%.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Εργαστηριακές αναλύσεις

2.1.1 Προσδιορισμός υγρασίας/ξηρής ουσίας

Προκειμένου να προσδιοριστούν η υγρασία και η ξηρή ουσία των ιχθυοτροφών, πραγματοποιήθηκε με την ξήρανση των δειγμάτων σε αεριζόμενο ισοθερμικό κλίβανο αποξήρανσης για 24 ώρες στους 105°C (AOAC 1995). Ύστερα, αφού περάσει ο χρόνος ξήρανσης, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για 5 λεπτά για να ψυχθούν. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, η μηχανικά παγιδευμένη υγρασία (ελεύθερο νερό) εξατμίστηκε, με συνέπεια να μείνει μόνο το χημικά δεσμευμένο νερό εντός του δείγματος. Η απώλεια του βάρους εκφράζει τη περιεκτικότητα του δείγματος σε υγρασία. Αντίθετα, το αποκτηθέν βάρος εκφράζει την ξηρή ουσία. Το ποσοστό της υγρασίας και της ξηρής ουσίας υπολογίζεται ως εξής:

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

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

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

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

2.1.2 Προσδιορισμός τέφρας

Για τον προσδιορισμό της τέφρας των ιχθυοτροφών, πραγματοποιήθηκε με την εύρεση της περιεκτικότητας του δείγματος σε ακατέργαστη τέφρα. Ειδικότερα, η ακατέργαστη τέφρα αντιπροσωπεύει τη συνολική ανόργανη ουσία του δείγματος. Σε πυρίμαχα δοχεία, τα οποία ζυγίστηκαν και καταγράφηκαν τα βάρη τους, ζυγίστηκε επιπροσθέτως δείγμα βάρους 1-3 g σε ζυγαριά ακρίβειας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων. Κατόπιν, τα δείγματα τοποθετήθηκαν τα δείγματα στον αποτεφρωτήρα (Εικόνα 2.1) στους 600 °C για 3 ώρες. Μετά από 3 ώρες, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στον ξηραντήρα μέχρι να κρυώσουν. Στη συνέχεια έγινε καταγραφή του μεικτού βάρους του δοχείου και του δείγματος και από αυτό αφαιρέθηκε το καθαρό βάρος του δοχείου. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε τέφρα (%) υπολογίζεται ως εξής:

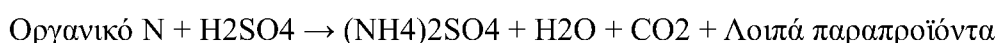
$$\text{Τέφρα (\%)} = (W \text{ τέφρας (g)} \times 100) / W \text{ δείγματος (g)}$$



Εικόνα 2.1: Συσκευή αποτεφρωτήρα. Πηγή προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

2.1.3 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ενώσεων

Απαραίτητη διεργασία για τη πραγματοποίηση του πειράματος ήταν και ο προσδιορισμός των πρωτεϊνών των ιχθυοτροφών, δηλαδή ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ενώσεων. Για να εκπονηθεί αυτή διαδικασία, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kjeldahl (AOAC 1995). Πρώτα από όλα, ζυγίστηκαν τα δείγματα σε ζυγό ακρίβειας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων, βάρους 0,2g. Μετά, μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης, όπου προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs (5g Potassium Sulphate K₂SO₄ και 5g copper (II) Sulphate CuSO₄, 5H₂O), με σκοπό να γίνει η επιτάχυνση της αντίδρασης της πέψης και 15 ml πυκνού θειικού οξέος (H₂SO₄). Οι δοκιμαστικοί σωλήνες πέψης (Εικόνα 2.2) με την βάση τους στη συσκευή πέψης Kjeltec 2000 (Εικόνα 2.3) στη θέση βρασμού. Πάνω από τη βάση των φιαλών, τοποθετείται το ειδικό καπάκι με τις υποδοχές αναρρόφησης αερίων. Παράλληλα, θέτουμε σε λειτουργία τον απαγωγό και την παγίδα αερίων. Η διαδικασία της πέψης έγινε στους 150 °C για 85 λεπτά. Κατά τη διάρκεια του σταδίου της πέψης, το αδέσμευτο άζωτο δεσμεύεται υπό τη μορφή θειικού αμμωνίου σύμφωνα με τη παρακάτω αντίδραση:





Εικόνα 2.2: Δοκιμαστικοί σωλήνες πέψης.

Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

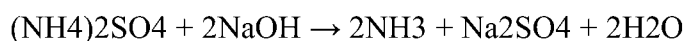


Εικόνα 2.3: Συσκευή πέψης Kjelttec 2000.

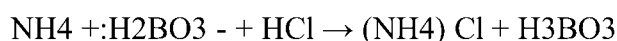
Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

Μετά την ολοκλήρωση της πέψης, τα δείγματα αφέθηκαν να κρυώσουν για 15 λεπτά. Ύστερα, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στη συσκευή απόσταξης (Εικόνα 2.4), στην οποία προστέθηκαν 100ml αποσταγμένου H_2O , 80 ml $NaOH$ και 50 ml H_3BO_3 , με τη διάρκεια της διαδικασίας να ήταν 6 λεπτά. Το θειικό αμμώνιο, το οποίο παράχθηκε κατά τη διάρκεια της πέψης, αντιδρά με το υδροξείδιο του νατρίου ($NaOH$) και

αποδεσμεύεται η αμμωνία ως αέρια μορφή και θειικό νάτριο (NaSO₄). Κατόπιν, η αμμωνία αντιδρά με το βορικό οξύ (H₃BO₃). Το άζωτο δεσμεύεται υπό τη μορφή του βορικού αμμωνίου με βάση τις παρακάτω αντιδράσεις:

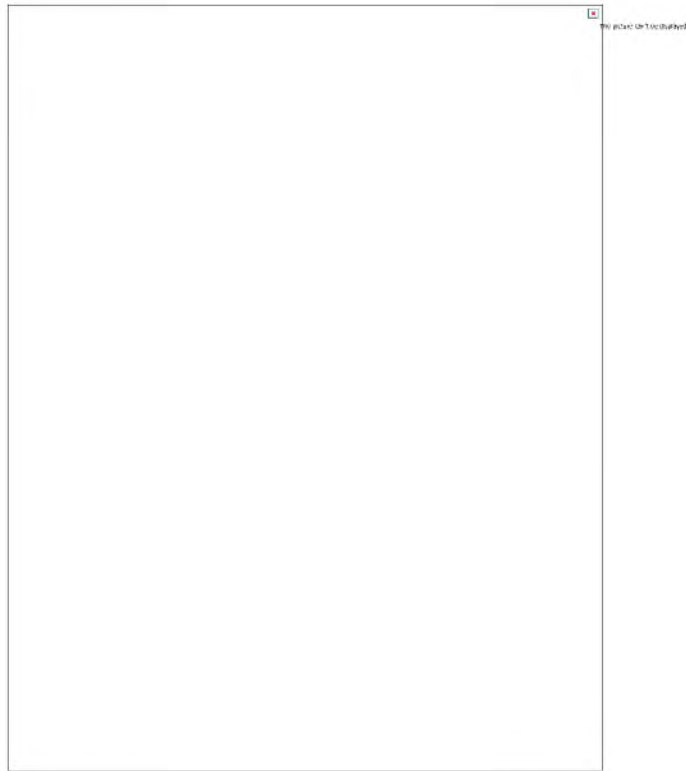


Έπειτα, το βορικό αμμώνιο συγκεντρώνεται σε κωνική φιάλη, η οποία περιέχει 3 σταγόνες ερυθρού του μεθυλενίου (δείκτη pH). Το τελικό στάδιο της διαδικασίας είναι η τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1 N HCl) υπό καθεστώς συνεχής κίνησης σύμφωνα με τη συγκεκριμένη αντίδραση:



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

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



Εικόνα 2.4: Συσκευή Kjeldahl. Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

2.1.4 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών

Ο προσδιορισμός του λίπους και πιο συγκεκριμένα των ολικών λιπαρών ουσιών των ιχθυοτροφών πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της μεθόδου εκχύλισης Soxhlet (AOAC 1995). Αρχικά σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν 3-4 πέτρες βρασμού για τον ομαλό βρασμό του δείγματος και καταγράφηκε το βάρος τους σε ζυγό ακρίβειας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων. Κατόπιν, εφαρμόστηκαν στα δοχεία χάρτινοι ηθμοί. Ζυγίστηκε ποσότητα δείγματος βάρους 1 g και έπειτα τοποθετήθηκε στο χάρτινο δοχείο του ηθμού. Ταυτόχρονα, το δείγμα του ιστού, αλλά και της τροφής, θα πρέπει να είναι ξηραμένη και αλεσμένη. Η ξήρανση πραγματοποιείται σε φούρνο στους 105 °C για περίπου 24 ώρες έως ότου σταθεροποιηθεί το βάρος του δείγματος. Στο γυάλινο δοχείο εκχύλισης 140ml πετρελαϊκού αιθέρα, στον οποίο είχαν εμβαπτιστεί οι χάρτινοι ηθμοί με το δείγμα. Στη συνέχεια τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης με τους χάρτινους ηθμούς μεταφέρθηκαν και τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (συσκευή Soxhlet)(Εικόνα 2.5) . Κατά την διάρκεια της εκχύλισης, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 105 °C υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη, λαμβάνοντας χώρα το 1ο στάδιο της εκχύλισης. Ύστερα, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε και μετά εκπλύθηκε στο δείγμα για 1,5 ώρα, όπου έλαβε χώρα το 2ο στάδιο της εκχύλισης. Μετά, ο διαλύτης απορροφήθηκε για 15 λεπτά, με συνέπεια τα ολικά λιπίδια του δείγματος να παραμείνουν στο πάτο του δοχείου εκχύλισης. Για να απομακρυνθούν τα υπολείμματα του πετρελαϊκού αιθέρα, τα δοχεία μεταφέρθηκαν στο φούρνο για 15 λεπτά στους 105 °C, χωρίς τους χάρτινους ηθμούς. Στη συνέχεια, μεταφέρθηκαν και τοποθετήθηκαν σε αφυγραντήρα το λιγότερο για 1 ώρα και καταγράφηκαν τα βάρη τους. Ο υπολογισμός του καθαρού βάρους των λιπαρών ουσιών δίνεται από τον τύπο:

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



Εικόνα 2.5: Συσκευή Soxhlet.

Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

2.1.5 Προσδιορισμός ενέργειας

Ο προσδιορισμός της ενέργειας των ιχθυοτροφών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του θερμιδόμετρου (Εικόνα 2.6). Συγκεκριμένα, κατά τη πλήρη καύση ενός δείγματος, εκλύεται θερμότητα, η οποία αποτελεί τη θερμιδική αξία (ολική ενέργεια) του δείγματος. Εκτός αυτού, τα τελικά προϊόντα της καύσης είναι το CO₂ και το H₂O. Η καύση γίνεται με τη χρήση μέσα σε ένα κλειστό ανοξείδωτο δοχείο τύπου οβίδας (Εικόνα 2.7). Η θερμότητα που εκλύεται, θερμαίνει το νερό, το οποίο θερμαίνει ένα εξωτερικό δοχείο γνωστής θερμοκρασίας. Με τη βοήθεια ενός θερμιδόμετρου καταγράφεται η αύξηση της θερμοκρασίας του εξωτερικού δοχείου. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η θερμιδική αξία στο περιεχόμενο του δείγματος που κάηκε. Τα αποτελέσματα δίνονται σε ηλεκτρονική μορφή σε Kcal/g.



Εικόνα 2.6: Θερμιδόμετρο. Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

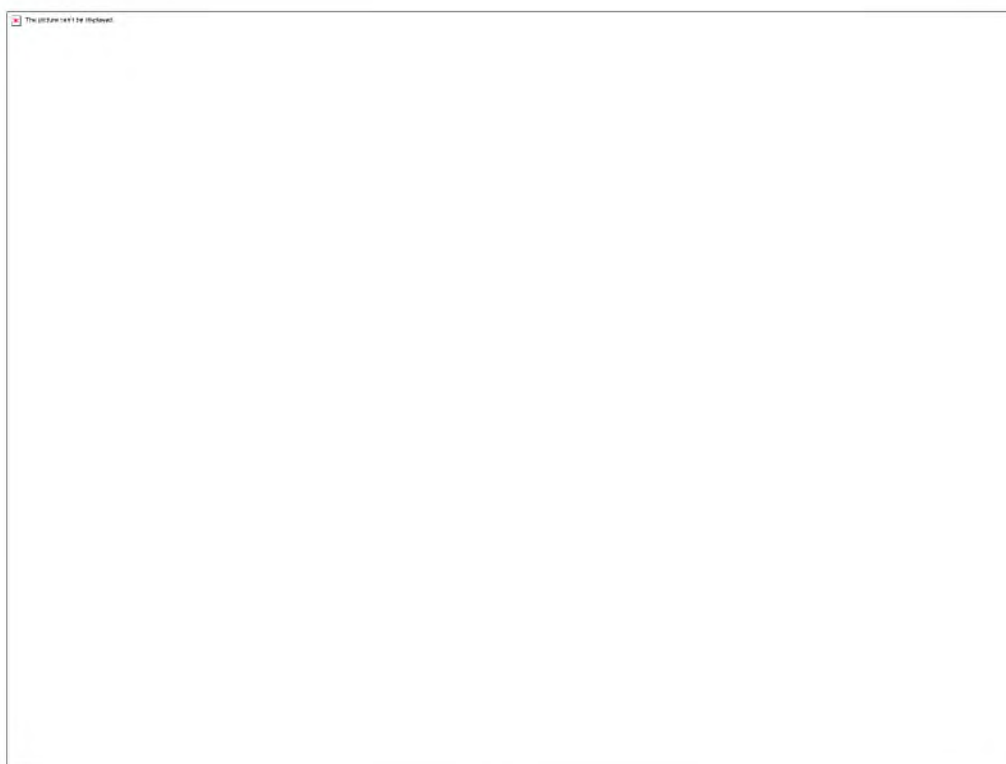


Εικόνα 2.7: Δοχείο τύπου οβίδας.

Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

2.2 Καταρτισμός σιτηρεσίων

Τα σιτηρέσια που αξιοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος παρασκευάστηκαν στις εγκαταστάσεις του τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος (Θεσσαλία, Βόλος) μέσω της μεθόδου της κοινής πελλετοποίησης. Το σιτηρέσιο ήταν στη μορφή βυθιζόμενου συμπήκτου με διάμετρο 1,5mm. Η πελλετομηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του σιτηρεσίου ήταν California Pellet Mill (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8: Πελλετομηχανή τύπου California Pellet Mill. Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

Τα τρία σιτηρέσια καταρτίστηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι ισοενεργειακά (21MJ/Kg), ισοπρωτεϊνικά (47% της τροφής) και ισολιπιδικά (15% της τροφής) (Πίν. 2.1). Το σιτηρέσιο CTRL ήταν ο μάρτυρας, το οποίο δεν περιείχε 25% ιχθυάλευρο και δεν περιείχε εντομοάλευρο (Πίν. 2.2). Για την υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου χρησιμοποιήθηκε το εντομοάλευρο του είδους της Μεσογειακής μύγας των φρούτων (*Ceratitis capitata*). Η σύσταση του *C. capitata* σε μακροθρεπτικά συστατικά δίνεται

στον Πίνακα 2.2 και σε αμινοξέα στον Πίνακα 2.3. Στο σιτηρέσιο FFM7, το *C. capitata* ενσωματώθηκε σε ποσοστό 7% υποκαθιστώντας το επίπεδο ιχθυαλεύρου του σιτηρεσίου του μάρτυρα κατά 5,5% (που αντιστοιχεί σε 21,5% υποκατάσταση της πρωτεΐνης του ιχθυαλεύρου). Στο σιτηρέσιο FFM14, το *C. capitata* ενσωματώθηκε σε ποσοστό 14% υποκαθιστώντας το επίπεδο ιχθυαλεύρου του σιτηρεσίου του μάρτυρα κατά 10,8% (που αντιστοιχεί σε 43% υποκατάσταση της πρωτεΐνης του ιχθυαλεύρου). Το ιχθυέλαιο, ως πηγή λίπους και ω-3 και ω-6 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, ήταν και στις 3 τροφές στα ίδια ποσοστά. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκε αιματάλευρο και άλευρο πουλερικών ως πηγές ζωικής πρωτεΐνης και λυσίνης. Ακόμη, χρησιμοποιήθηκαν άλευρο σίτου, γλουτένη καλαμποκιού, γλουτένη σίτου, άλευρο ελαιοκράμβης, σογιάλευρο και ηλιάλευρο ως πηγές φυτικής πρωτεΐνης. Όλα τα σιτηρέσια συμπληρώθηκαν ισόποσα με προμείγματα βιταμινών και ανόργανων στοιχείων, ταυρίνης και φωσφορικού μονοασβεστίου. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε και το αμινοξύ μεθειονίνη σε διαφορετικά ποσοστά σε κάθε τροφή (Πίνακας 2.2) προκειμένου να καλύψουν τις απαιτήσεις της τσιπούρας. Σε ολόκληρη την πειραματική περίοδο των 60 ημερών, η χορήγηση της τροφής πραγματοποιούνταν καθημερινά με το χέρι. Η σίτιση γινόταν μέχρι κορεσμού (*ad libitum*) και λάμβανε χώρα δύο φορές την ημέρα, στη 9:30 π.μ. και στη 17:00 μ.μ.

Πίνακας 2.1: Θρεπτική σύσταση (% επί της νωπής ουσίας) των πειραματικών σιτηρεσίων

Θρεπτική σύσταση (%)	CTRL	FFM7	FFM14
Υγρασία	7,38	7,94	7,34
Ξηρή ουσία	92,62	92,06	92,66
Ολικές αζωτούχες ουσίες	47,85	47,97	47,96
Ολικές λιπαρές ουσίες	15,52	15,48	15,57
Τέφρα	7,76	7,61	7,51
Ενέργεια (KJ/g)	21,15	21,1	21,24

Πίνακας 2.2: Καταρτισμός σιτηρεσίου και θρεπτική σύσταση (% επί νωπής ουσίας) των πειραματικών σιτηρεσίων.

Συστατικά (%)	CTRL	FFM7	FFM14
Ιχθυάλευρο	25,00	19,62	14,25
<i>Ceratititis capitata</i>	0,00	7,00	14,00
Αλεύρι σίτου	10,40	8,06	5,77
Ηλιάλευρο	8,00	8,00	8,00
Γλουτένη σίτου	3,40	3,98	4,51
Άλευρο ελαιοκράμβης	7,80	7,80	7,80
Σογιάλευρο	7,60	7,60	7,60
Ιχθυέλαιο	8,00	8,00	8,00
Κραμβέλαιο	4,00	4,00	4,00
Πρόμιγμα βιταμινών και ανόργανων στοιχείων	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	0,40	0,54	0,67
Άλευρο πουλερικών	13,00	13,00	13,00
Αιματάλευρο	2,00	2,00	2,00
Ταυρίνη	0,20	0,20	0,20
SPC	8,00	8,00	8,00

Πίνακας 2.3: Θρεπτική σύσταση της Μεσογειακής μύγας φρούτων (*Ceratitis capitata*) σε συστατικά. Πηγή: Flying Spark, Israel.

Θρεπτική σύσταση	g/100g
Ξηρή ουσία	95,6
Πρωτεΐνη	67,4
Υδατάνθρακες	9,4
Τέφρα	11,6
Συνολικό λίπος	9
Κορεσμένα λιπαρά	3,5
Μονοακόρεστα λιπαρά	4,1
Πολυακόρεστα λιπαρά	0,9

Πίνακας 2.4: Θρεπτική σύσταση της Μεσογειακής μύγας φρούτων (*Ceratitis capitata*) σε αμινοξέα. Πηγή: Flying Spark, Israel.

Αμινοξέα	g/100g
Ιστιδίνη	1,4
Ισολευκίνη	2,8
Λευκίνη	4,3
Λυσίνη	4,5
Μεθειονίνη	1,3
Φαινυλαλανίνη	2,7
Θρεονίνη	2,7
Βαλίνη	3,2
Τρυπτοφάνη	0,3
Αλανίνη	3,7
Αργινίνη	3,5
Ασπαρτικό οξύ	5,9
Κυστεΐνη	0,5
Γλουταμινικό οξύ	7,6
Γλυκίνη	2,5
Προλίνη	2,8
Σερίνη	3,1
Τυροσίνη	3,7

2.3 Πειραματικός σχεδιασμός

Για την εκπόνηση του πειράματος, μεταφέρθηκαν ιχθύδια τσιπούρας *Sparus aurata* με αρχικό μέσο βάρος $6,50 \pm 0,1$ g, με ειδικές δεξαμενές παροχής οξυγόνου, από τον ιχθυογεννητικό σταθμό της εταιρίας Philosophish S.A. από τις εγκαταστάσεις της Πελασγίας του νομού Φθιώτιδος, στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος στο Βόλο, όπου και έλαβε χώρα το πείραμα. Από τον αρχικό αριθμό ιχθυδίων, 360 ιχθύδια τοποθετήθηκαν σε πειραματικές δεξαμενές, όπου αφέθηκαν για 15 ημέρες με σκοπό τον εγκλιματισμό τους στις συγκεκριμένες συνθήκες, ενώ η σίτιση τους γινόταν 2 φορές την ημέρα. Το πείραμα διήρκησε 60 ημέρες (Απρίλιος-Ιούνιος 2024).

Τα ιχθύδια, μετά τον εγκλιματισμό τους, τοποθετήθηκαν σε δεξαμενές κλειστού κυκλώματος κυκλοφορίας θαλασσινού νερού. Ειδικότερα, οι πειραματικές εγκαταστάσεις αποτελούνταν από 16 ενυδρεία χωρητικότητας 120 L το καθένα και ανά δύο ενυδρεία, από ένα σύστημα μηχανικής – βιολογικής διήθησης του νερού για την απομάκρυνση της αμμωνίας, των περιττωμάτων και υπολειμμάτων τροφής (Εικόνα 2.9). Κατά τη διάρκεια του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε νερό βρύσης, μέσα στο οποίο προσθέτονταν συνθετικό αλάτι, έτσι ώστε η αλατότητα του νερού να είναι 30‰. Σε καθημερινή βάση, πραγματοποιούνταν σιφωνισμός του πυθμένα και αντικατάσταση του νερού έως και 10% του συνολικού όγκου του ενυδρείου. Επιπροσθέτως, για την απονιτροποίηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων, τοποθετούνταν τόσο στο νερό του ενυδρείου όσο και μέσα στα φίλτρα, διάλυμα βακτηρίων, σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, πραγματοποιούνταν έλεγχος των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού. Με άλλα λόγια, γινόνταν εβδομαδιαία καταγραφή των μετρήσεων για τη θερμοκρασία του νερού (21°C), το pH ($8,00 \pm 0,4$),

την αλατότητα ($30 \pm 0,5\%$) και το διαλυμένο οξυγόνο ($>6,5 \text{ mg/l}$) με τη χρήση φορητών ηλεκτρονικών οργάνων. Επίσης, σε τακτά χρονικά διαστήματα προσδιορίζονταν η συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας ($<0,5 \text{ mg/l}$), των νιτρικών και νιτρωδών, με τη χρήση εμπορικών test-kits. Η τεχνητή φωτοπερίοδος που εφαρμόστηκε ήταν 12 ώρες φως – 12 ώρες σκότους με την εναλλαγή να πραγματοποιείται στις 08:00 και 20:00, αντίστοιχα.

Τα ιχθύδια διαχωρίστηκαν σε 3 διατροφικές ομάδες, όπου η κάθε μία λάμβανε και διαφορετικό σιτηρέσιο. Η κάθε διατροφική ομάδα αποτελούνταν από 120 ιχθύδια, τα οποία κατανεμήθηκαν σε υποομάδες των 30 ατόμων σε 4 ενυδρεία (30 άτομα/δεξαμενή, 4 ενυδρεία-επαναλήψεις/μεταχείριση, 4 διατροφικές μεταχειρίσεις).



Εικόνα 2.9: Σύστημα μηχανικής – βιολογικής διήθησης του νερού. Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα.

2.4 Δειγματοληψίες

Το πείραμα διήρκησε 60 μέρες. Πριν την έναρξη της δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε ασιτία διάρκειας 24 ωρών. Για την αναισθητοποίηση των ψαριών χρησιμοποιήθηκε φαινοξιθανόλη σε συγκέντρωση 0,10ml/l. Στη συνέχεια, οι ιχθύες ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας 2 δεκαδικών ψηφίων (0,01g) και μετρούνταν το μήκος με ιχθυόμετρο (ακρίβεια 0,1cm). Στο τέλος της δειγματοληψίας τα ψάρια θανατώθηκαν παρατείνοντας την παραμονή τους στο αναισθητικό αυξανόμενης δόσολογίας και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν άμεσα σε πάγο.

2.5 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

2.5.1 Επιβίωση (%)

Η καταγραφή της επιβίωσης πραγματοποιούνταν σε καθημερινή βάση για κάθε δεξαμενή ξεχωριστά. Ο τύπος υπολογισμού της είναι:

$$\text{Επιβίωση (\%)} = 100 \times \frac{\text{τελικός αριθμός ψαριού/αρχικός αριθμός ψαριού}}{\text{αρχικός αριθμός ψαριού}}$$

2.5.2 Αύξηση ολικού βάρους (g)

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:

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

2.5.3 Κατανάλωση τροφής (g/ψάρι)

Η κατανάλωση τροφής (g/ψάρι) εκφράζει τη μέση κατανάλωση της τροφής ανά ψάρι κάθε διατροφικής ομάδας και υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Κατανάλωση τροφής (g/ψάρι)} = \frac{\text{ολική κατανάλωση τροφής δεξαμενές / αριθμός ψαριών δεξαμενής}}{\text{αριθμός ψαριών δεξαμενής}}$$

2.5.3 Κατανάλωση τροφής (% Σ.Β. / ημέρα)

Ο τύπος της κατανάλωσης τροφής (% Σ.Β./ημέρα) είναι:

$$\text{Κατανάλωση τροφής (\% Σ.Β./ημέρα)} = \frac{\text{μέσο Σωματικό Βάρος } \tau * 100}{\text{κατανάλωσή τροφής ανά ημέρα.}}$$

2.5.4 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR) (%/ημέρα)

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:

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

Όπου,

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

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

2.5.5 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)

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:

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

2.6 Στατιστική ανάλυση

Μετά το πέρας του πειράματος συλλέχθηκαν τα δεδομένα και δημιουργήθηκαν πίνακες με τις παραμέτρους της ανάπτυξης στο υπολογιστικό φύλλο EXCEL. Το στατιστικό πακέτο SPSS 20 χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και η σύγκριση των μέσων όρων των διαφόρων παραμέτρων έγινε με τη μέθοδο ανάλυσης των διακυμάνσεων μονής κατεύθυνσης (one-way ANOVA). Οι διαφορές κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές για τιμές $P < 0,05$. Για τον έλεγχο της κανονικής κατανομής, τα δεδομένα υποβλήθηκαν στη δοκιμή Shapiro-Wilk και για τον έλεγχο της ομοιογένειας της παραλακτικότητας χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή Levene. Τα δεδομένα υποβλήθηκαν στο Tukey's test, με σκοπό τον εντοπισμό διαφορών ανάμεσα στις διαφορετικές διατροφικές ομάδες.

3. Αποτελέσματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επιβίωσης, των παραμέτρων ανάπτυξης των ιχθύων και των παραμέτρων αξιοποίησης της τροφής από τους ιχθύες.

3.1 Κατά την έναρξη του πειράματος

Το αρχικό βάρος των ιχθυδίων (g) όλων των διατροφικών ομάδων CTRL, FFM7 και FFM14 κατά την έναρξη του διατροφικού πειράματος δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($P \geq 0,05$) (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1: Αρχικό μέσο βάρος των ιχθυδίων (g) κατά την έναρξη του πειράματος. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους $\pm$ τυπικές αποκλίσεις.

	CTRL	FFM7	FFM14
Αρχικό βάρος (g)	$6,50 \pm 0,05$	$6,50 \pm 0,07$	$6,50 \pm 0,08$

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

3.2 Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής

3.2.1 Δείκτες σωματικής ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής κατά την 30η ημέρα του πειράματος

Κατά την 30^η ημέρα του διατροφικού πειράματος, η επιβίωση των ψαριών (%) ήταν 100% για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας του μάρτυρα (CTRL), 100% για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας FFM7 και 97,50% για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας FFM14. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Το μέσο βάρος των ψαριών (g) ήταν $11,87 \pm 0,29$ g για τα άτομα που διατράφηκαν με την ομάδα του μάρτυρα (CTRL), $12,28 \pm 0,31$ g για τα άτομα που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FFM7 και $11,95 \pm 0,29$ g για τα άτομα που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FFM14. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Η μέση αύξηση του σωματικού βάρους (g) κατά την 30^η ημέρα του πειράματος ήταν $5,37 \pm 0,39$ g για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας του μάρτυρα (CTRL), $5,78 \pm 0,52$ g για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας FFM7 και $5,45 \pm 0,36$ g για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας FFM14. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Η συνολική κατανάλωση (g) για τη διατροφική ομάδα του μάρτυρα (CTRL) ήταν $201,04 \pm 10,65$ g, για τη διατροφική ομάδα FFM7 ήταν $217,06 \pm 12,48$ g και για τη διατροφική ομάδα FFM14 ήταν $205,65 \pm 12,40$ g. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Η κατανάλωση τροφής (g/ψάρι) και η κατανάλωση τροφής (%/ημέρα) ήταν για τη διατροφική ομάδα του μάρτυρα (CTRL) $6,70 \pm 0,35$ g/ψάρι και $2,26 \pm 0,07$ %/ημέρα αντίστοιχα, για τη διατροφική ομάδα FFM7 ήταν $7,24 \pm 0,42$ g/ψάρι και

2,36±0,05%/ημέρα αντίστοιχα και για τη διατροφική ομάδα FFM14 κατανάλωση τροφής (g/ψάρι) και η κατανάλωση τροφής (%/ημέρα) ήταν 6,94±0,34g/ψάρι και 2,32±0,10%/ημέρα αντίστοιχα. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Οι δείκτες FCR και SGR (%/ημέρα) για τη διατροφική ομάδα του μάρτυρα (CTRL) υπολογίστηκαν ως 1,25±0,05 και 2,08±0,12%/ημέρα αντίστοιχα, για τη διατροφική ομάδα FFM7 ως 1,26±0,06 και 2,19±0,15%/ημέρα αντίστοιχα και για τη διατροφική ομάδα FFM14 ως 1,28±0,08 και 2,10±0,10%/ημέρα. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$). (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα του σωματικού βάρους (g), της αύξησης βάρους (g) και των παραμέτρων ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής κατά την 30^η ημέρα. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπική απόκλιση.

Παράμετροι ανάπτυξης	CTRL	FFM7	FFM14
Επιβίωση (%)	100%	100%	97,50%
Σωματικό βάρος (g)	11,87±0,29	12,28±0,31	11,95±0,29
Αύξηση βάρους (g)	5,37±0,39	5,78±0,52	5,45±0,36
Συνολική κατανάλωση (g)	201,04±10,65	217,06±12,48	205,65±12,40
Κατανάλωση τροφής (g/ψάρι)	6,70±0,35	7,24±0,42	6,94±0,34
Κατανάλωση τροφής (%/ημέρα)	2,26±0,07	2,36±0,05	2,32±0,10
FCR	1,25±0,05	1,26±0,06	1,28±0,08
SGR (%/ημέρα)	2,08±0,12	2,19±0,15	2,10±0,10

Σημ.: Η στατιστική ανάλυση δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές.

3.2.2 Δείκτες σωματικής ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής (ολοκλήρωση του πειράματος)

Κατά την 60^η ημέρα και τέλος του πειράματος, η επιβίωση των ψαριών (%) ήταν 98,33% για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας του μάρτυρα (CTRL), 100% για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας FFM7 και 99,15% για τα ψάρια της διατροφικής ομάδας FFM14. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Το μέσο βάρος των ψαριών (g), τα οποία διατράφηκαν με το σιτηρέσιο του μάρτυρα (CTRL) ήταν $23,75 \pm 0,89$ g, το μέσο βάρος των ψαριών που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FFM7 ήταν $23,71 \pm 0,65$ g και το μέσο βάρος των ψαριών που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο FFM14 ήταν $23,28 \pm 0,73$ g. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Η μέση αύξηση βάρους (g) της διατροφικής ομάδας του μάρτυρα (CTRL) ήταν $11,88 \pm 0,86$ g, για τη διατροφική ομάδα FFM7 ήταν $11,44 \pm 0,87$ g και για τη διατροφική ομάδα FFM14 ήταν $11,33 \pm 0,84$ g. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Η συνολική κατανάλωση (g) για τη διατροφική ομάδα του μάρτυρα (CTRL) ήταν $620,73 \pm 34,92$ g, για τη διατροφική ομάδα FFM7 ήταν $655,30 \pm 26,47$ g και για τη διατροφική ομάδα FFM14 ήταν $641,15 \pm 18,39$ g. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Η κατανάλωση τροφής (g/ψάρι) και η κατανάλωση τροφής (%/ημέρα) ήταν για τη διατροφική ομάδα του μάρτυρα (CTRL) ήταν $20,87 \pm 1,20$ g/ψάρι και $7,04 \pm 0,36$ %/ημέρα αντίστοιχα, για τη διατροφική ομάδα FFM7 ήταν $21,84 \pm 0,88$ g/ψάρι και $7,65 \pm 0,27$ %/ημέρα αντίστοιχα και για τη διατροφική ομάδα FFM14 ήταν $21,73 \pm 0,43$ g/ψάρι και $7,70 \pm 0,61$ %/ημέρα αντίστοιχα. Δεν

παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$).

Οι δείκτες FCR και SGR για τη διατροφική ομάδα του μάρτυρα (CTRL) υπολογίστηκαν ως $0,57 \pm 0,03$ και $2,74 \pm 0,10\%$ /ημέρα αντίστοιχα, για τη διατροφική ομάδα FFM7 ως $0,52 \pm 0,02$ και $2,36 \pm 0,20\%$ /ημέρα αντίστοιχα και για τη διατροφική ομάδα FFM14 ως $0,52 \pm 0,05$ και $2,52 \pm 0,28\%$ /ημέρα αντίστοιχα. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων ($P \geq 0,05$). (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα του σωματικού βάρους (g), της αύξησης βάρους (g) και των παραμέτρων ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής κατά την ολοκλήρωση του πειράματος. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους $\pm$ τυπική απόκλιση.

Παράμετροι ανάπτυξης	CTRL	FFM7	FFM14
Επιβίωση (%)	98,33%	100%	99,15%
Σωματικό βάρος (g)	$23,75 \pm 0,89$	$23,71 \pm 0,65$	$23,28 \pm 0,73$
Αύξηση βάρους (g)	$11,88 \pm 0,86$	$11,44 \pm 0,87$	$11,33 \pm 0,84$
Συνολική κατανάλωση(g)	$620,73 \pm 34,92$	$655,30 \pm 26,47$	$641,15 \pm 18,39$
Κατανάλωση τροφής (g/ψάρι)	$20,87 \pm 1,20$	$21,84 \pm 0,88$	$21,73 \pm 0,43$
Κατανάλωση τροφής (%/ημέρα)	$7,04 \pm 0,36$	$7,65 \pm 0,27$	$7,70 \pm 0,61$
FCR	$0,57 \pm 0,03$	$0,52 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,05$
SGR(%/ημέρα)	$2,74 \pm 0,10$	$2,36 \pm 0,20$	$2,52 \pm 0,28$

Σημ.: Η στατιστική ανάλυση δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές.

4. Συζήτηση

Από τα αποτελέσματα του πειράματος αποδείχθηκε ότι η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από το εντομοάλευρο του είδους *Ceratitis capitata* σε ποσοστό 7% και 14% μετά από 60 ημέρες εκτροφής δεν επηρέασε σημαντικά την επιβίωση, τις παραμέτρους σωματικής ανάπτυξης αλλά και την αξιοποίηση της τροφής. Αυτό δείχνει ότι το εντομοάλευρο του είδους *C. capitata* υποκατέστησε με επιτυχία το ιχθυάλευρο του σιτηρεσίου της τσιπούρας σε ποσοστά 7% και 14%.

Η διεθνής βιβλιογραφία είναι ελλιπής για την καταλληλότητα του *C. capitata* στη διατροφή τόσο της τσιπούρας όσο και άλλων εκτρεφόμενων ειδών ιχθύων και άρα τα παρόντα αποτελέσματα δεν μπορούν να συγκριθούν με παρόμοιες μελέτες. Ωστόσο, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές σχετικές έρευνες (Busti et al. 2024, Karapanagiotidis et al. 2023, Moutinho et al. 2022, Mikołajczak et al. 2020, Gasco et al. 2018, Piccolo et al. 2017, Karapanagiotidis et al. 2014) με αντικαταστάσεις του ιχθυαλεύρου από άλλα είδη εντόμων, όπως των *Hermetia illucens* (Busti et al. 2024), *Zophobas morio* (Asimaki et al. 2020), *Musca domestica* (Mastoraki et al. 2022), *Tenebrio molitor* (Piccolo et al. 2017) στην αναπτυξιακή απόδοση της τσιπούρας.

Οι Di Rosa et al. (2023) μελέτησαν την υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από προνύμφες του εντόμου του είδους *Hermetia illucens* σε ποσοστό έως και 50% στην αναπτυξιακή απόδοση της τσιπούρας (*Sparus aurata*), αλλά και στα ιστολογικά χαρακτηριστικά του εντέρου και στις παραμέτρους στρες της. Τα αποτελέσματα τους επισημαίνουν ότι η υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από τις προνύμφες του συγκεκριμένου εντόμου σε ποσοστό έως και 35% δεν επηρέασε την αναπτυξιακή απόδοση, τις αιματολογικές παραμέτρους και την υγεία του οπίσθιου εντερικού σωλήνα της τσιπούρας. Όμως, το ποσοστό 50% προκάλεσε μορφομετρικές και ταυτόχρονα ιστοπαθολογικές αλλαγές στο πρόσθιο έντερο της τσιπούρας. Ακόμη ένα

διατροφικό πείραμα που διεξάχθηκε στο συγκεκριμένο είδος με την χρησιμοποίηση των προνυμφών *Tenebrio molitor* για την μερική υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου σε ποσοστά 25% και 50% αντίστοιχα, όπου τα αποτελέσματα αυτής τη μελέτης τονίζουν ότι η διατροφική ομάδα του ποσοστού 25% έδειξε μεγαλύτερο τελικό βάρος, ειδικό ρυθμό ανάπτυξης, αύξηση βάρους, αναλογία αποτελεσματικότητας πρωτεΐνης και χαμηλότερο λόγο μετατροπής τροφής σε σύγκριση με τις άλλες 2 ομάδες (Piccolo et al. 2017). Εκτός αυτού, οι Piccolo et al. (2017) μελέτησαν τις επιπτώσεις της αντικατάστασης του ιχθυαλεύρου από το έντομο του είδους *Tenebrio molitor* σε ποσοστά 25% και 50% στο σιτηρέσιο της τσιπούρας. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους αναπτυξιακούς δείκτες, συμφωνώντας με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Τέλος, οι Roncarati et al. (2019) μελέτησαν την αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από το έντομο του είδους των Chironomids στο σιτηρέσιο των νεαρών ιχθυδίων της τσιπούρας σε ποσοστά 5% (L2) και 10% (L3) αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτή της μελέτης έδειξαν ότι και στα 2 ποσοστά υπήρξαν παρόμοιες αναπτυξιακές επιδόσεις σε σύγκριση με την ομάδα του μάρτυρα (Control), ενώ τα ποσοστά επιβίωσης κυμαίνονταν από 93,62% (L3) έως 94,31% (L1). Ακόμη, η γευστικότητα των ζωοτροφών έδειξε παρόμοια αποτελέσματα για όλες τις δίαιτες, υποδηλώνοντας ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην αντικατάσταση του 50% του ιχθυαλεύρου με το άλευρο των εντόμων των Chironomids για την καλλιέργεια ψαριών τσιπούρας. Τέλος, οι Asimaki et al. (2020) μελέτησαν την αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από απολιπανθέν άλευρο προνυμφών του εντόμου *Zophobas morio* στην ανάπτυξη και την αποτελεσματικότητα της τροφής της τσιπούρας (*S. aurata*), τονίζοντας ότι όλες οι διατροφικές ομάδες είχαν παρόμοια πρόσληψη τροφής και απόδοση ανάπτυξης.

Πολλές μελέτες αντικατάστασης και υποκατάστασης ιχθυαλεύρου έχουν διεξαχθεί σε άλλα είδη ψαριών με άλλα είδη εντόμων έως και σήμερα, εμφανίζοντας ποικίλα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, οι Zhou et al. (2017) μελέτησαν την αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από το εντομοάλευρο του είδους *Hermetia illucens* στην ανάπτυξη και στη θρεπτική σύσταση ολόκληρου του σώματος του κυπρίνου Jian (*Cyprinus carpio* var. Jian) σε πείραμα 56 ημερών σε ποσοστά 25%, 50%, 75% και 100% αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της μελέτης των Zhou et al. (2017) υπογραμμίζουν ότι σε κανένα ποσοστό αντικατάστασης δεν επηρεάστηκαν οι αναπτυξιακοί δείκτες και η επιβίωση του είδους, με τα αποτελέσματα τους να συμφωνούν με τα αυτά της παρούσας μελέτης. Ωστόσο, υπήρξε μείωση στη σύνθεση των ω-3 ακόρεστων λιπαρών οξέων (HUFA) στα υψηλά ποσοστά αντικατάστασης. Εκτός αυτού, οι Mikołajczak et al. (2020) ερεύνησαν την αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από 2 είδη εντόμων: το *Tenebrio molitor* και το *Zophobas morio* σε ποσοστό αντικατάστασης 10% το κάθε ένα στην ανάπτυξη, τη μικροβίωση και τις βιοχημικές παραμέτρους του αίματος των νυμφών της θαλάσσιας πέστροφας (*Salmo trutta* m. *trutta*) σε πείραμα διάρκειας 8 εβδομάδων. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης αναδεικνύουν ότι δεν επηρέασαν σημαντικά στη χρήση της τροφής, στην ιστομορφολογία του εντέρου και στην ανάπτυξη του είδους, παρόλο που παρατηρήθηκε επίδραση στους οργανοσωματικούς δείκτες, στη βιοχημεία του ορού και στη μικροχλωρίδα. Επιπροσθέτως, οι Prachom et al. (2021) πραγματοποίησαν μία προκαταρκτική μελέτη πάνω στην αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από το έντομο του είδους *Zophobas morio* σε ποσοστά αντικατάστασης 11,11%, 22,22%, 33,33% και 44,44% στις δίαιτες των νεαρών ιχθυδίων του Ασιατικού λαβρακιού (*Lates calcarifer*) σε πείραμα διάρκειας 12 εβδομάδων. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι δεν επηρεάστηκαν σημαντικά η ανάπτυξη, η αποτελεσματικότητα των τροφών και οι

αιματο-βιοχημικοί δείκτες, συμφωνώντας με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας. Τέλος, οι Turek et al. (2020) μελέτησαν σε πείραμα 60 ημερών τόσο την μερική όσο και την πλήρη αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από 2 είδη εντόμων, το *Acheta domestica* και το *Zophobas morio* στην ανάπτυξη, τη σύνθεση των λιπιδίων και στα αισθητήρια χαρακτηριστικά της ιριδίζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) είτε μεμονωμένα (50% ποσοστό αντικατάστασης για το καθένα) είτε συνδυαστικά (12,5% ποσοστό αντικατάστασης). Τα ευρήματα της μελέτης τους δίνουν έμφαση στο γεγονός ότι δεν επηρεάστηκαν σημαντικά η επιβίωση, η ανάπτυξη, το FCR και η αξιοποίηση της ενέργειας των τροφών, ενώ δεν παρατηρήθηκαν ακαθάριστες μορφολογικές ή ιστοπαθολογικές ανωμαλίες των σπλάχνων σε οποιαδήποτε ομάδα και δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στη δραστικότητα της 7-αιθοξυρεσορουφίνης-ο-δεαιθυλάσης.

5. Συμπέρασμα

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν πως η ενσωμάτωση στο σιτηρέσιο της τσιπούρας του εντομοάλευρου του είδους *C. capitata* σε ποσοστό έως και 14% υποκαθιστώντας το ιχθυάλευρο κατά 10.5% (που αντιστοιχεί σε της πρωτεΐνης του ιχθυαλεύρου) δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην επιβίωση, τους δείκτες σωματικής ανάπτυξης και τους δείκτες αξιοποίησης της τροφής. Προκειμένου να μελετηθεί εκτενέστερα η καταλληλότητα αυτού του εντομοάλευρου στη διατροφή της τσιπούρας οι μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να επικεντρωθούν και στις μεταβολικές επιδράσεις που επιφέρει όπως π.χ. στην ιστομορφολογία των πεπτικών οργάνων, στην πεπτικότητα της τροφής, στη θρεπτική σύσταση του σώματος κ.λπ.

6. Βιβλιογραφία

6.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Ahmed I., Jan K., Fatma S. & Dawood M.A.O. (2022). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition: Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review*. 106(3): 690-719.

Aluja M. & Mangan R.L. (2008). *Annu Rev Entomol.: Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status determination: critical conceptual, methodological, and regulatory considerations*. 53: 473–502.

AOAC (1995). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. Arlington, VA, USA, 16 ed.

Barroso F.G., de Haro C., Sánchez-Muros M.J., Venegas E., Martínez-Sánchez A. & Pérez-Bañón C. (2014). *Aquaculture: The potential of various insect species for use as food for fish*. 422-423: 193-201.

Asimaki A., Psoufakis P., Neofytou M.C., Mente E., Rumbos C.I., Athanassiou C.G., Fountoulaki E., Henry M. & Karapanagiotidis I.T. (2020). *Effects of fishmeal replacement by defatted Zophobas morio larvae meal on growth and feed efficiency of gilthead seabream (Sparus aurata)*. EAS2020 online, April 12–15th 2020.

Bell J.G., McEvoy J., Tocher D.R., McGhee F., Campbell P.J. & Sargent J.R. (2001). *Journal of Nutrition: Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (Salmo salar) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism*. 131(5):1535–43.

Bell J.G., Henderson R.J., Tocher D.R. & Sargent J.R. (2004). *Lipids: Replacement of dietary fish oil with increasing levels of linseed oil: Modification of*

flesh fatty acid compositions in Atlantic Salmon (Salmo salar) using a fish oil finishing diet. 39(3):223–232.

Bravo I. S. J. & Zucoloto F. S. (1998). *Entomol. Exp. Appl.: Performance and feeding behavior of Ceratitis capitata: Comparison of a wild population and a laboratory population.* 87: 67–72.

Busti S., Bonaldo A., Candela M., Scicchitano D., Trapella G., Brambilla F., Guidou C., Trespeuch C., Sirri F., Dondi F., Gatta P.P. & Parma L. (2024). *Aquaculture. Hermetia illucens larvae meal as an alternative protein source in practical diets for gilthead sea bream (Sparus aurata): A study on growth, plasma biochemistry and gut microbiota.* 578: 740093.

Cashion T., Le Manach F., Zeller D. & Pauly D. (2017). *Fish and Fisheries: Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish.* 18(5): 837-844.

Cayol J. P. & Causse R. (1993). *J. Appl. Entomol. Mediterranean fruit fly Ceratitis capitata Wiedemann (Dipt., Trypetidae) back in Southern France.* 116: 94–100.

Dicke M. & van Poecke R.M.P. (2002). *Plant Signal Transduction: Signaling in plant-insect interactions: signal transduction in direct and indirect plant defence.* Scheel & C. Wasternack (eds.). 289-316.

Di Rosa A.M., Caccamo L., Pansera L., Oteri M., Chiofalo B. & Maricchiolo G. (2023). *Animals: Influence of Hermetia illucens Larvae Meal Dietary Inclusion on Growth Performance, Gut Histological Traits and Stress Parameters in Sparus aurata.* 13(3):339.

Dyck V.A., Hendrichs J. & Robinson A.S. (2021). *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. Boca Raton (USA): CRC Press. 979–1006.

Egartner A., Lethmayer C., Gottsberger R. A. & Blumel S. (2019). *IOBC-WPRS Bull: Recent records of the Mediterranean fruit fly, Ceratitis capitata (Tephritidae, Diptera in Austria*. 146: 143–152.

Elqdhly M., Ait Hamza M., Askarne L., Fossati-Gaschignard O., Lakhtar H., Mousadik A.E., Ait Benoumar A., Msanda F. & Boubaker H. (2024). *Journal of Plant Diseases and Protection: Biology, ecology, and control of the Mediterranean fruit fly, Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae), with special reference to biological control using entomopathogenic nematode (EPN): a review*. 131(2): 365–402.

Enkerlin W. (2003). *Economics of Area-Wide SIT Control Programs: Economic Feasibility, Control Projects, Farmer Organization and Bactrocera dorsalis complex Control Study*. Japan: Res Inst for Sub: Naha. 1–10.

FAO (2022). The state of world fisheries and aquaculture. Towards blue transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

Foroutani B.M., Parrish C. C., Wells J., Taylor R. G., Rise M. L. & Shahidi F. (2018). *PloS one: Minimizing marine ingredients in diets of farmed Atlantic salmon (Salmo salar): effects on growth performance and muscle lipid and fatty acid composition*. 13(9): e0198538.

Gabrieli P. & Scolari F. (2016). *J. Vis. Exp.: Delivery of Nucleic Acids through Embryo Microinjection in the Worldwide Agricultural Pest Insect, Ceratitis capitata*. 116: 54528.

Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T. & Caruso G. (2018). *Feeds for the Aquaculture Sector: Sustainable Alternatives for Dietary Fish Oil in Aquafeeds: Actual Situation and Future Perspectives*. Springer, Cham. 49-61.

Gasco L., Acuti G., Bani P., Dalle-Zotte A., Danieli P., De Angelis A., Fortina R., Marino R., Parisi G., Piccolo G., Pinotti L., Prandini A., Schiavone A., Terova G., Tulli F. & Roncarati A. (2020). *Italian Journal of Animal Science: Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition*. 19(1): 360-372.

Giunti G., Benelli G., Campolo O., Canale A., Kapranas A., Liedo P., De Meyer M., Nestel D., Ruiu L., Scolari F., Wang X. & Papadopoulos N.T. (2023). *Entomologia Generalis. Biology, ecology, and invasiveness of the Mediterranean fruit fly, Ceratitis capitata: a review*. 43(6): 1221–1239.

Henry M., Gasco L., Piccolo G. & Fountoulaki E. (2015). *Animal Feed Science and Technology: Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future*. 203: 1-22.

Howe E.R., Simenstad C.A., Toft J.D., Cordell J.R. & Bollens S.M. (2014). *San Franc. Estuary Waters. Sci.: Macroinvertebrate prey availability and fish diet selectivity in relation to environmental variables in natural and restoring north San Francisco Bay tidal marsh channels*. 12: 1-46.

24. Hua K. (2021). *Aquaculture: A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish*. 530.

Karapanagiotidis I.T., Daskalopoulou E., Vogiatzis I., Rumbos C.I., Mente E., Athanassiou C.G. (2014). SUBSTITUTION OF FISHMEAL BY FLY *Hermetia illucens* PREPUPAE . *HydroMedit*, 110-114

Karapanagiotidis I.T., Neofytou M.C., Asimaki A., Daskalopoulou E., Psoufakis P., Mente E., Rumbos C.I. & Athanassiou C.G. (2023). *Sustainability: Fishmeal Replacement by Full-Fat and Defatted Hermetia illucens Prepupae Meal in the Diet of Gilthead Seabream (Sparus aurata)*.15(1): 786.

Keroumi A.E., Naamani K., Dahbi A., Luque I., Carvajal A., Cerda X. & Boulay R. (2010). *Biocontrol Sci. Technol.: Effect of ant predation and abiotic factors on the mortality of medfly larvae, Ceratitis capitata, in the Argan forest of Western Morocco*. 20: 751–762.

Klassen W. & Vreysen M.J.B. (2021). *Area-Wide Integrated Pest Management and the Sterile Insect Technique. in sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. 2nd ed. CRC Press: Boca Raton (FL, USA). 75–112.

Knipling E.F. (1955). *J Econ Entomol.: Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males*. 48(4):459–462.

Krainacker D.A., Carey J.R. & Vargas R.I. (1987). *Oecologia: Effect of larval host on life history traits of the Mediterranean fruit fly, Ceratitis capitata*. 73: 583–590.

König S., Steinmüller S. & Baufeld P. (2022). *JPDP: Origin and potential for overwintering of Ceratitis capitata (Wiedemann) captured in an official survey in Germany*. 129: 1201–1215.

Liquido N.J., Shinoba L.A. & Cunningham R.T. (1991). *Host plants of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae): an annotated world review*. Entomological Society of America, Miscellaneous Publications. 77.

Looy H., Dunkel F. & Wood J. (2014). *Agriculture and Human Values: How then shall we eat? Insect-eating attitudes and sustainable foodways*. 31: 131–41.

Mastoraki M., Katsika L., Enes P., Guerreiro I., Kotzamanis Y.P., Gasco L., Chatzifotis S. & Antonopoulou E. (2022). *Aquaculture. Insect meals in feeds for juvenile gilthead seabream (Sparus aurata): Effects on growth, blood chemistry, hepatic metabolic enzymes, body composition and nutrient utilization*. 651: 738674.

Matos E., Dias J., Dinis M.T. & Silva T.S. (2016). *Reviews in Aquaculture: Sustainability vs. Quality in gilthead seabream (Sparus aurata L.) farming: are trade-offs inevitable?* 9(4): 388-409.

Mihretie A., Weldehawariat Y. & Abera M. (2024). *Psyche: Journal of Entomology: Species Composition of Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) on Selected Fruit Crops in Northeastern Ethiopia*. 2024: 620505.

Mikołajczak Z., Rawski M., Mazurkiewicz J., Kierończyk B. & Józefiak D. (2020). *Animals: The Effect of Hydrolyzed Insect Meals in Sea Trout Fingerling (Salmo trutta m. trutta) Diets on Growth Performance, Microbiota and Biochemical Blood Parameters*. 10(6): 1031.

Moutinho S., Oliva-Teles A., Martínez-Llorens S., Monroig Ó. & Peres H. (2022). *Journal of Insects as Food and Feed: Total fishmeal replacement by defatted Hermetia illucens larvae meal in diets for gilthead seabream (Sparus aurata) juveniles*. 8(12): 1455 – 1468.

Nash W.J. & Chapman T. (2014). *PLoS ONE: Effect of Dietary Components on Larval Life History Characteristics in the Medfly (Ceratitis capitata: Diptera, Tephritidae)*. 9(1): e86029.

Nogales-Mérida S., Gobbi P., Józefiak D., Mazurkiewicz J., Dudek K., Rawski M., Kierończyk B. & Józefiak A. (2019). *Reviews in Aquaculture: Insect meals in fish nutrition*. 11(4): 1080-1103.

Oda K.S., Elisabeth H., Luisa P., Nina S.L., Erik-Jan L., Marit E. & Ikram B. (2019). *Fish Shellfish Immunology: Effect of dietary replacement of fish meal with insect meal on in vitro bacterial and viral induced gene response in Atlantic salmon (Salmo salar) head kidney leukocytes*. 91: 223-232.

Payne C.L.R., Scarborough P., Rayner M. & Nonaka K. (2016). *Trends Food Sci Technol.: A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values*. 47:69–77.

Piccolo G., Iaconisi V., Marono S., Gasco L., Loponte R., Nizza S., Bovera F. & Parisi G. (2017). *Animal Feed Science and Technology: Effect of Tenebrio molitor larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (Sparus aurata)*. 226: 12-20.

Prachom N., Boonyoung S., Hassaan M.S., El-Haroun E. & Davies S.J. (2021). *Aquaculture Nutrition: Preliminary evaluation of Superworm (Zophobas morio) larvae meal as a partial protein source in experimental diets for juvenile Asian sea bass, Lates calcarifer*. 27(5): 1267-1776.

Quang-Tran H., Van Doan H. & Stejskal V. (2022). *Reviews in Aquaculture: Environmental consequences of using insect meal as an ingredient in aquafeeds: A systematic view*. 14(1): 237-251.

Ramos-Elorduy J. & Conconi M. (1994). *Fourth Int. Congress of Ethnobiology: Edible insects in the world*. India. 311.

Ramos-Elorduy J. (1997). *Ecol. Food Nutr.: Insects: A sustainable source of food?* 36: 247-276.

Rao J., Zhang Y., Zhao H., Guo J., Wan F., Xian X., Yang N. & Liu W. (2024). *Biology: Projecting the Global Potential Geographical Distribution of Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae) under Current and Future Climates*. 13(3): 177.

Rector M.E., Filgueira R. & Grant J. (2023). *Marine Policy: The role of salmon aquaculture eco-certification in corporate social responsibility and the delivery of ecosystem services and disservices*. 160.

Rempoulakis P., Taret G., Haq I., Wornayporn V., Ahmad S., Sto Tomas U., Dammalage T., Gembinsky K., Franz G., Cáceres C. & Vreysen M.J.B. (2016). *PLoS ONE: Evaluation of Quality Production Parameters and Mating Behavior of Novel Genetic Sexing Strains of the Mediterranean Fruit Fly Ceratitis capitata (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)*. 11(6): e0157679.

Roncarati A., Cappuccinelli R., Meligrana M.C.T., Anedda R., Uzzau S. & Melotti P. (2019). *Animals: Growing Trial of Gilthead Sea Bream (Sparus aurata) Juveniles Fed on Chironomid Meal as a Partial Substitution for Fish Meal*. 9(4): 144.

Rodovitis V.G., Verykouki E., Zarpas K.D., Papanastasiou S.A., Moraiti C.A., Patronis N. & Papadopoulos N.T. (2024). *Scientific Reports: Mediterranean fruit fly*

population phenological patterns are strongly affected by elevation and host presence.
14(1): 6010.

Rohde C., Junior A.M., Carvalho F.D. & da Silva M.A. (2012). *Revista Brasileira de Ciências Agrárias Selection of entomopathogenic nematodes for the control of the fruit fly Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae).* 7:797–802.

Schoonhoven L.M., Jermy T. & Van Loon J.J.A. (1998). *Physiology to Evolution: Insect-Plant Biology.* Chapman & Hall, London.

Sollazzo G., Gouvi G., Nikolouli K., Aumann R.A., Djambazian H., Whitehead M.A., Berube P., Chen S.-H., Tsiamis G., Darby A.C., Ragoussis J., Schetelig M.F. & Bourtzis K. (2023). *G3 Genes |Genomes| Genetics: Genomic and cytogenetic analysis of the Ceratitis capitata temperature-sensitive lethal region.* 13(6).

Stadtlander T., Stamer A., Buser A., Wohlfahrt J., Leiber F. & Sandrock C. (2017). *Journal of Insects as Food and Feed: Hermetia illucens meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm.* 3(3): 165-175.

Szyniszewska A. M., Bieszczak H., Kozyra K., Papadopoulos N.T., De Meyer M., Nowosad J., Ota N. & Kriticos D.J. (2024). *Scientific Reports: Evidence that recent climatic changes have expanded the potential geographical range of the Mediterranean fruit fly.* 14(1): 2515.

Tanga I. R., Ekesi S., Mohamed S. A. & De Meyer M. (2016). *Fruit fly research and development in Africa: Towards a sustainable management strategy to improve horticulture, Fruit Fly Research and Development in Africa- towards a Sustainable Management Strategy to Improve Horticulture.* Springer International Publishing, Switzerland. 71–106.

Tiring G., Hasanoğlu A., Gazit Y. & Satar S. (2024). *Phytochemistry Letters: The behavioral responses of Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae) to predominant volatile compounds of apricot*. 61: 292-297.

Turchini G.M., Torstensen B.E., Ng W.K. (2009). *Reviews in Aquaculture: Fish oil replacement in finfish nutrition*. 1(1):10–57.

Turek J., Sampels S., Khalili-Tilami S., Cervený D., Kolářová J., Randak T., Mraz J., Másilko J., Steinbach C., Burkina V., Kozák P. & Zlábek V. (2020). *ACTA ICHTHYOLOGICA ET PISCATORIA: INSECTS IN THE FEED OF RAINBOW TROUT, ONCORHYNCHUS MYKISS (ACTINOPTERYGII, SALMONIDAE): EFFECT ON GROWTH, FATTY ACID COMPOSITION, AND SENSORY ATTRIBUTES*. 50(2): 171-181.

van Huis A. (2013). *Annu. Rev. Entomol.: Potential of insects as food and feed in assuring food security*. 58: 563-583.

60. White I.M. (2006). *Afr. Entomol.: Taxonomy of the Dacina (Diptera: Tephritidae) of Africa and the Middle East*. 1–156.

Whitley S.N. & Bollens S.M. (2014). *Environ. Biol. Fishes: Fish assemblages across a vegetation gradient in a restoring tidal freshwater wetland: Diets and potential for resource competition*. 97: 659-674.

Zhao S., Lü B., Li R., Zhu A, Wu C. (2016). *Sci. China Earth Sci.: A preliminary analysis of fishery resource exhaustion in the context of biodiversity decline*. 59(2): 223-235.

Zhou J.S., Liu S.S., Ji H. & Yu H.B. (2017). *Aquaculture Nutrition: Effect of replacing dietary fish meal with black soldier fly larvae meal on growth and fatty acid composition of Jian carp (Cyprinus carpio var. Jian)*. 24(1): 1-680.

6.2 Ελληνική βιβλιογραφία

EU (2017). Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 2017/893 για την τροποποίηση των παραρτημάτων I και IV του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 999/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και των παραρτημάτων X, XIV και XV του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 142/2011 της Επιτροπής όσον αφορά τις διατάξεις για τη μεταποιημένη ζωική πρωτεΐνη.

Καραπαναγιωτίδης Ι. (2020). *Διατροφή Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών*. Βόλος.

Κλαουδάτος Σ. & Κλαουδάτος Δ. (2012). Κεφάλαιο 3 *Καλλιέργειες φυτικών και εκτροφές υδρόβιων ζωικών οργανισμών*. Προπομπός: Αθήνα. 228-241.

ΕΛΟΠΥ (2023). Ετήσια Έκθεση Υδατοκαλλιέργειας, 2023. 8, 32-33.

Μεντέ Ε. & Νέγκας Ι. (2011). *Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψεως και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών*. Εκδόσεις Παπαζήση: Αθήνα. 224-228.

Ναβροζίδης Ε.Ι. & Ανδρεάδης Σ.Σ. (2012). *Ειδική Γεωργική Εντομολογία*. CCITY PUBLISH: Θεσσαλονίκη. 191-194.

Νεοφύτου Χ.Ν. (2015). *Βιολογία ιχθύων και θαλάσσιων θηλαστικών*. University studio press: Θεσσαλονίκη, 225-226.

Παπουτσόγλου Σ.Ε. (2008). *Διατροφή Ιχθύων*. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης: Αθήνα. 846-870.

ΣΕΘ (2019). Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια: Ετήσια Έκθεση.

Χώτος Γ. & Ρογδάκης Ι. (2010). *Υδατοκαλλιέργειες Ευρύαλων Ειδών*. Εκδόσεις “ΙΩΝ”: Αθήνα

6.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

<https://www.fishbase.se/summary/Sparus-aurata.html>

file:///C:/Users/delio/Downloads/FAO%20Fisheries%20&%20Aquaculture%20-%20Cultured%20Aquatic%20Species%20Information%20Programme%20-%20Sparus%20aurata%20(Linnaeus,%201758)

