

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ»

«Η επίδραση του ολοθουρίου *Holothuria tubulosa* στη μείωση του οργανικού φορτίου από την εκτροφή ψαριών σε εργαστηριακές συνθήκες».

ΜΠΑΛΛΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2018

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

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**«Effects of sea cucumber *Holothuria tubulosa* on organic load
reduction from fish farming operation in laboratory conditions»**

IOANNIS BALLIOS

VOLOS 2018

**«Η επίδραση του ολοθουρίου *Holothuria tubulosa* στη μείωση του οργανικού
φορτίου από την εκτροφή ψαριών σε εργαστηριακές συνθήκες»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

1. **Νικόλαος Νεοφύτου**, Επίκουρος Καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.

2. **Δημήτριος Βαφείδης**, Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπονδύλων και άμεση - έμμεση χρηστικότητα τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

3. **Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης**, Επίκουρος Καθηγητής, Διατροφή Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια κα. Ασημάκη Αδαμαντία για την πολύτιμη βοήθειά της κατά τη διάρκεια των αναλύσεων. Επιπλέον, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Πιερ Ψωφάκη που ήταν παρόν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος δίνοντας μου τις συμβουλές και τη βοήθειά του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την άπλετη συμπαράσταση, βοήθεια και προπάντων κατανόηση και ανοχή σε όλο το χρονικό διάστημα των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία είχε ως σκοπό τη μελέτη της επίδρασης του ιζηματοφάγου βενθικού οργανισμού *Holothuria tubulosa* στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών στο υπόστρωμα. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε εργαστηριακό πείραμα σε ειδικά διαμορφωμένα ενυδρεία, στα οποία έγινε προσπάθεια προσομοίωσης των συνθηκών που επικρατούν στο φυσικό περιβάλλον των υδατοκαλλιεργειών.

Για τις ανάγκες του πειράματος κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν τρία ζεύγη κλειστών συστημάτων ενυδρείων (250 ℓ ανά ενυδρείο). Τα ενυδρεία πληρώθηκαν με τεχνητό θαλασσίνο νερό (32 psu) που φτιάχτηκε στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου. Σε όλα τα ενυδρεία τοποθετήθηκε υπόστρωμα από κοσκινισμένη άμμο (1 mm) βάθους 5 cm. Στο ένα ενυδρείο του κάθε συστήματος τοποθετήθηκαν τρία άτομα του είδους *H. tubulosa* μέσης συνολικής βιομάζας $401,45 \pm 91,6$ g, ενώ το άλλο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας (χωρίς ολοθούρια). Σε κάθε ενυδρείο τοποθετήθηκαν άτομα τσιπούρας μέσης συνολικής βιομάζας $300,22 \pm 1,27$ g.

Το εργαστηριακό πείραμα ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2017 και είχε διάρκεια 30 ημερών. Στο διάστημα αυτό, τα ιχθύδια τσιπούρας σιτίστηκαν καθημερινά (δύο φορές), με προκαθορισμένο πρόγραμμα σίτισης και συγκεκριμένο τύπο ιχθυοτροφής τύπου πελέτας. Η σίτιση των ιχθυδίων πραγματοποιήθηκε με μεγάλη προσοχή, ώστε να δίνεται χρόνος στα ψάρια να καταναλώσουν το σύνολο της τροφής με σκοπό τις όσο το δυνατό λιγότερες απώλειες τροφής στον πυθμένα των ενυδρείων. Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφηκαν σε τακτά χρονικά διαστήματα διάφορες φυσικοχημικές παράμετροι του νερού (θερμοκρασία, αλατότητα, ενεργός οξύτητα, αμμωνία, νιτρώδη, νιτρικά).

Για τον προσδιορισμό του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα στα ενυδρεία, πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες στην αρχή και στο τέλος του πειράματος (ημέρα 1η & 30η). Από κάθε ενυδρείο πάρθηκαν τρία επαναληπτικά δείγματα. Το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού έφτασε το 55,89% και του οργανικού άνθρακα το 77,04%. Η μηνιαία κατανάλωση οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα ανά κιλό (kg) ολοθουρίων (ολικό βάρος ολοθουρίων με νερό) έφτασε τα 1,32 g/m² και 0,01 g/m², αντίστοιχα. Επίσης το ποσοστό μείωσης για το οργανικό υλικό ήταν 66,16% και για τον οργανικό άνθρακα 102,17%.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση του περιεχόμενου οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα στο έντερο των ολοθουρίων, όπου αυτό ήταν δυνατό, καθώς και προσδιορισμός της θρεπτικής σύστασης των ολοθουρίων και των ψαριών. Η απορροφητικότητα του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων έφτασε στο 66,20% για το οργανικό υλικό και στο 53,57% για τον οργανικό άνθρακα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της σύστασης η θρεπτική αξία του *H. tubulosa* είναι αρκετά υψηλή.

Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA), έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στα ποσοστά του οργανικού άνθρακα μεταξύ των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι το ολοθούριο του είδους *H. tubulosa* συμβάλει σημαντικά στη μείωση του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα.

Με βάση τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το μελετούμενο είδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένα φυσικό διαχειριστικό μέσο για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων στο υπόστρωμα.

Λέξεις κλειδιά: υδατοκαλλιέργειες, περιβάλλον, *Holothuria tubulosa*, οργανικό φορτίο, απορροφητική ικανότητα, θρεπτική σύσταση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ.....	i-iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1. Γενικά στοιχεία.....	6
1.2. Υδατοκαλλιέργειες στη Μεσόγειο.....	7
1.3. Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα.....	10
1.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις υδατοκαλλιέργειών.....	12
1.5. Γενικά στοιχεία της βιολογίας του είδους των ολοθούριων.....	15
1.6. Γενικά στοιχεία της βιολογίας του είδους <i>Holothuria tubulosa</i>	22
1.7. Εμπορική σημασία.....	25
1.8. Αλιεία - Εκτροφή ολοθουρίων.....	27
1.9. Σκοπός της έρευνας.....	29
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	30
2.1. Σχεδιασμός πειράματος.....	30
2.2. Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας.....	35
2.2.1. Ίζημα.....	35
2.2.2. Έντερο των ολοθουρίων.....	37
2.3. Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων και ψαριών.....	39
2.3.1. Ολοθούρια.....	39
2.3.1.1. Προσδιορισμός υγρασίας/ ξηρής ουσίας.....	39
2.3.1.2. Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων.....	40
2.3.1.3. Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών.....	42

2.3.1.4. Προσδιορισμός τέφρας.....	43
2.3.2. Ψάρια.....	43
2.3.2.1. Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής από τα ψάρια.....	44
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	46
3.1. Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας στο ίζημα.....	46
3.2. Απορροφητική ικανότητα του εντέρου των ολοθουρίων.....	51
3.3. Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων.....	59
3.4. Μορφομετρικά στοιχεία.....	61
3.5. Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής των ψαριών.....	61
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	65
4.1. Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας στο ίζημα.....	65
4.2. Απορροφητική ικανότητα του εντέρου των ολοθουρίων.....	71
4.3. Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων.....	73
4.4. Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής των ψαριών.....	76
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80
ABSTRACT.....	86

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά στοιχεία υδατοκαλλιέργειων

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων (FAO) τα 3/4 των άγριων αλιευτικών αποθεμάτων έχουν αλιευθεί πλήρως, υπεραλιευθεί ή τους έχει ασκηθεί πίεση, ενώ η ζήτηση ψαριών για ανθρώπινη κατανάλωση αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς (Pauly et al. 1998). Στην αύξηση της ζήτησης των ψαριών και των προϊόντων τους συντελεί κυρίως το γεγονός ότι αποτελούν πλούσια πηγή πρωτεϊνών, βιταμινών, ιχνοστοιχείων και άλλων θρεπτικών στοιχείων που χρειάζεται ο ανθρώπινος οργανισμός (FAO 2009). Σήμερα ένα σημαντικό ποσοστό των βρώσιμων ψαριών προέρχεται από τις ιχθυοκαλλιέργειες και αναμένεται να αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού.

Ειδικά τα τελευταία 40 χρόνια παρατηρείται μια εντυπωσιακή και συνεχώς αυξανόμενη ανάπτυξη στον χώρο των υδατοκαλλιέργειων (FAO 2016). Συγκεκριμένα, το 2005 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων πρόβλεψε ότι μέχρι το 2025 η υδατοκαλλιέργεια θα καλύψει πάνω από το 50% της παγκόσμιας ζήτησης για θαλασσινά. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO 2014), οι υδατοκαλλιέργειες έφτασαν να συνεισφέρουν το 50% της συνολικής κατανάλωσης ψαριών από το 2014 -ήτοι μια δεκαετία νωρίτερα από ότι προβλεπόταν αρχικά- ενώ αναμένεται μέχρι το 2030 πάνω από το 65% των αλιευτικών προϊόντων να προέρχεται από την υδατοκαλλιέργεια. Προβλέπεται πως για την κάλυψη της αγοράς ο ευρύτερος τομέας της υδατοκαλλιέργειας θα πρέπει να διπλασιάσει την παραγωγή του μέσα στα επόμενα 20 χρόνια, καθώς η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού θα απαιτεί επιπλέον 37 εκατομμύρια τόνους ψαριού ετησίως.

Για να αναλογιστεί κανείς το μέγεθος της όλο και αυξανόμενης ζήτησης, αξίζει να σημειωθεί πως το 2013 καταγράφηκαν συνολικά 400 διαφορετικά είδη υδατοκαλλιέργειας (ψάρια, μαλάκια, καρκινοειδή, φύκη, ασπόνδυλα, αμφίβια και ερπετά) τα οποία καλλιεργήθηκαν ανά τον κόσμο σε διαφορετικά συστήματα και τεχνολογίες, στη θάλασσα ή σε εσωτερικά νερά.

Εύλογο είναι πως η παγκόσμια ζήτηση για ψάρια έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη της τεχνολογίας της ιχθυοκαλλιέργειας. Η ανάπτυξη και η εισαγωγή νέων τεχνολογιών, η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων με τη γενικότερη απαίτηση για πιστοποιημένα με ISO προϊόντα και ο εμπλουτισμός με νέα είδη, θα αποτελέσουν ουσιαστικά βήματα για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας, της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας του κλάδου των υδατοκαλλιέργειών.

1.2. Υδατοκαλλιέργειες στη Μεσόγειο

Οι υδατοκαλλιέργειες στη Μεσόγειο πρωτοεμφανιστήκαν χιλιάδες χρόνια πριν. Υπάρχουν έγγραφες μαρτυρίες που το πιστοποιούν: Στην Αρχαία Αίγυπτο, στον τάφο του Ακτιχέπ (2500 π.Χ.) υπάρχουν εικόνες που δείχνουν άνδρες να βγάζουν τιλάπια από μία λίμνη, στην Αρχαία Αίγυπτο, στην Ιταλία Ετρούσκοι με θαλάσσια ιχθυοτροφεία, Έλληνες που καλλιεργούσαν οστρακοειδή τον 5ο αι. π.Χ, Ρωμαίοι που εκτρέφανε θαλασσινά ψαριά τον 1ο αιώνα π.Χ. (www.nireus.com).

Η σύγχρονη ιχθυοκαλλιέργεια ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980 με την εκτροφή του λαβρακιού και της τσιπούρας, μετά από σημαντικές ανακαλύψεις στον κύκλο ζωής αυτών των ειδών. Ο κλάδος υιοθέτησε την τεχνολογία πάχυνσης σε κλωβούς από την εκτροφή του σολομού. Υποστηρίχτηκε και αναπτύχθηκε με σημαντική έρευνα, κυρίως στους τομείς της αναπαραγωγής (Εικ. 1.1.), της καλλιέργειας λαρβών, της παρασκευής

ιχθυοτροφών και της μηχανικής τεχνολογίας. Σήμερα ο κλάδος παράγει πάνω από 300.000 τόνους έναντι μερικών χιλιάδων τόνων πριν 25 χρόνια. Επομένως, τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, οι υδατοκαλλιέργειες της Μεσογείου έχουν αναπτυχθεί εντυπωσιακά. Τα τελευταία χρόνια στη Μεσόγειο έχει παρατηρηθεί μεγάλο ενδιαφέρον για τις υδατοκαλλιέργειες κάθε τύπου και μορφής, εξαιτίας κυρίως μιας σημαντικής ερευνητικής προσπάθειας στο πεδίο της αναπαραγωγής, της καλλιέργειας του γόνου, της παραγωγής ιχθυοτροφών και της γενετικής μηχανικής (FAO 2009).



Εικόνα 1.1. Ιχθυογεννητικός σταθμός (φωτό συγγραφέα).

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει εκτεταμένη και πολλά υποσχόμενη έρευνα για την εκτροφή γόνου πολλών νέων ειδών. Ωστόσο, η παραγωγή εστιάζεται περισσότερο σε είδη υψηλής αξίας και ζήτησης όπως η τσιπούρα (gilthead seabream, *Sparus aurata* L.) και το λαυράκι (European sea bass, *Dicentrarchus labrax*.) - η παραγωγή των οποίων αποτελεί περίπου το 95% του συνόλου. Το τελευταίο, βέβαια διάστημα, η καλλιέργεια νέων παρεμφερών ειδών (μυλοκόπι, φαγκρί, μυτάκι, κρانيός, συναγρίδα κ.ά.) κερδίζει έδαφος (www.nireus.com).

Η Ελλάδα, η Τουρκία και η Ισπανία είναι οι βασικές χώρες παραγωγής τσιπούρας και λαβρακιού και εκτρέφουν περίπου το 80% της παγκόσμιας παραγωγής. Το υπόλοιπο 20% παράγεται στην Ισπανία, Ιταλία, Γαλλία, Πορτογαλία, Κροατία, Κύπρο αλλά και σε χώρες της Β. Αφρικής και Μέσης Ανατολής. Συγκεκριμένα, το 2015 παράχθηκαν 358.412 τόνοι τσιπούρας και λαβρακιού σημειώνοντας αύξηση 8% σε σχέση με το 2014 (330.540 τόνοι). Η αύξηση αυτή των τελευταίων ετών προέρχεται κυρίως από την Τουρκία, ενώ οι μεταβολές που παρατηρούνται στις υπόλοιπες μεσογειακές χώρες είναι μικρές. Αναλυτικότερα, το 85% της παραγωγής τσιπούρας και λαβρακιού προέρχεται από πέντε χώρες, την Τουρκία (125.000 τόνοι), την Ελλάδα (110.000 τόνοι), την Ισπανία (37.554 τόνοι), την Αίγυπτο (30.000 τόνοι) και την Ιταλία (13.810 τόνοι). Αξίζει να σημειωθεί πως το 66% της παραγωγής παγκοσμίως πραγματοποιείται σε δύο χώρες της ανατολικής Μεσογείου, την Ελλάδα και την Τουρκία (www.nireus.com).

Ο κλάδος της Μεσογειακής ιχθυοκαλλιέργειας και η σημαντική του ανάπτυξη έχουν επιφέρει αξιόλογα αποτελέσματα τόσο στην παραγωγή εγχώριων, νωπών, φθηνών και υψηλής ποιότητας ψαριών, όσο και στη δημιουργία μιας κοινωνικο-οικονομικής δομής που άμεσα και έμμεσα περιλαμβάνει χιλιάδες εργαζόμενους, κυρίως

σε περιοχές που εξαρτώνται από την αλιεία. Επιπλέον, η θαλασσοκαλλιέργεια είναι η μοναδική παραγωγική δραστηριότητα που έχει αποικίσει ακατοίκητα νησιά και βραχονησίδες τα οποία συνήθως αποκλείονται από άλλες επενδύσεις (www.nireus.com).

1.3. Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με παράδοση στην παραγωγή ιχθύων υψηλής ποιότητας. Αναφέρθηκε ήδη πως σύμφωνα με μαρτυρίες κειμένων η υδατοκαλλιέργεια στον ελλαδικό χώρο απαντάται χιλιάδες χρόνια πριν. Υπάρχουν αναφορές για τεχνικές συντηρήσεως των ψαριών σε πέτρινες δεξαμενές στη Μινωική Κρήτη και σε νησιά του βορειοανατολικού Αιγαίου. Στην αρχαία Ελλάδα αναφέρεται επίσης και η εκτροφή οστράκων, όπως η Πίνα (Pinna) από τον Αριστοτέλη (Καστρίτση – Καθαρίου 1990).

Στη σημερινή πραγματικότητα, οι υδατοκαλλιέργειες αποτελούν έναν από τους πιο γρήγορα αναπτυσσόμενους βιομηχανικούς κλάδους στην Ελλάδα, ενώ τα προϊόντα από τις ελληνικές ιχθυοκαλλιέργειες αναγνωρίζονται παγκοσμίως. Στην ανάπτυξη του κλάδου συνέβαλαν σημαντικά οι κλιματολογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες της χώρας που ευνοούν την εκτροφή ευρύαλων ψαριών, το ανθρώπινο δυναμικό, η μείωση των αλιευτικών αποθεμάτων και οι περιορισμοί που έχουν επιβληθεί τα τελευταία χρόνια στην αλιεία. Το μεγάλο μήκος των ακτογραμμών της Ελλάδας, δημιουργεί πρόσφορες συνθήκες για τη δημιουργία και ανάπτυξη εκτροφής ιχθύων. Η ραγδαία, ωστόσο, ανάπτυξη που γνώρισε ο κλάδος των υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα οφείλεται και στη δημιουργία αντίστοιχων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων που επέτρεψαν τη στελέχωση των εταιρειών με κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό και την εισαγωγή κατάλληλης τεχνογνωσίας στον χώρο. Επίσης, μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη των

ιχθυοκαλλιιεργειών έδωσαν τα επιδοτούμενα προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που δόθηκαν στους ενδιαφερόμενους κατά τα τελευταία χρόνια. Αυτό ήταν απαραίτητο καθώς για τη δημιουργία μονάδων πάχυνσης απαιτούνται μεγάλα χρηματικά ποσά, τα οποία δύσκολα κατέχει κάποιος. Μεγάλο πλεονέκτημα για τον κλάδο αποτελεί η σύγχρονη τάση του ανθρώπου για πιο υγιεινή διατροφή. Η μεσογειακή διατροφή αποτέλεσε πρότυπο διατροφής για όλον τον κόσμο, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στο ψάρι. Παράλληλα η αναγνώριση των Ω-3 λιπαρών οξέων των ψαριών ως ενός από των βασικότερων στοιχείων διατροφής, απαραίτητων για την υγεία, δίνουν ιδιαίτερη αξία στα ψάρια και κατ' επέκταση στον κλάδο. Μεγάλο πλεονέκτημα στον κλάδο προσδίδει επίσης το γεγονός ότι τα ψάρια των ιχθυοκαλλιιεργειών είναι αποδεδειγμένα φρέσκα, καθώς διατίθενται άμεσα στην αγορά, εν αντιθέσει με όσα αλιεύονται στις ανοικτές θάλασσες όπου ενδεχομένως καθυστερεί η διάθεσή τους. Στην Ελλάδα, η ραγδαία αύξηση της παραγωγής, η θεαματική διεύσδυση στις διεθνείς αγορές, η παραγωγή και η εξαγωγή τεχνογνωσίας, συντέλεσαν στην καθιέρωση του κλάδου ως μια παραγωγική δραστηριότητα με μεγάλη σημασία για την εθνική οικονομία. Ενδεικτικό της κατάστασης είναι ότι ενώ το 1985 υπήρχαν μόλις 12 μονάδες εκτροφής με συνολική παραγωγή περίπου 100 τόνους, μετά από τρεις δεκαετίες η παραγωγή αυξήθηκε κατά πολύ ξεπερνώντας τους 100.000 τόνους, ενώ οι μονάδες φτάνουν πλέον τις 336 (ΣΕΘ 2015).

Στον Ελληνικό κλάδο ιχθυοκαλλιιεργειας δραστηριοποιούνται περισσότερες από 50 εταιρείες με τζίρο μεγαλύτερο από 600 εκ. ευρώ που παρέχουν έμμεση και άμεση απασχόληση σε 15 χιλιάδες εργαζόμενους σε περιοχές απομακρυσμένες από τα αστικά κέντρα. Το 60% του τζίρου πραγματοποιείται από τις 3 μεγαλύτερες εταιρείες, ενώ η συνολική θαλάσσια έκταση για τις εγκαταστάσεις του κλάδου είναι 7,8 Km². Σήμερα,

εκτός από την πλήρη κάλυψη των αναγκών της ελληνικής αγοράς, ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής εξάγεται στις αγορές του εξωτερικού, με κυριότερες χώρες προορισμού την Ιταλία, την Ισπανία, τη Γαλλία, την Τουρκία, την Αγγλία και την Πορτογαλία (www.nireus.com). Η διεθνής στασιμότητα ή μείωση των αλιευμάτων και το ευρωπαϊκό έλλειμμα στο εμπορικό ισοζύγιο των οστρακοειδών, πιέζουν προς τη δυναμική ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών (www.wwf.gr).

Συνεκτιμώντας τις επίσημες προβλέψεις και την πορεία του κλάδου, εκτιμάται ότι έως το 2031, η υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα θα αυξηθεί κατά 27% σε σχέση με την παραγωγή, ενώ η απασχόληση θα σταθεροποιηθεί, με ελαφρώς ανοδική τάση (0,4% ετησίως) έως το 2030, στα επίπεδα του 2013. Η πρόβλεψη αυτή λαμβάνει υπόψη τους περιβαλλοντικούς και χωροταξικούς περιορισμούς αλλά και το ότι οι διαδικασίες που αφορούν στις περιοχές οργανωμένης ανάπτυξης υδατοκαλλιεργειών (Π.Ο.Α.Υ) δεν έχουν λειτουργήσει πολλαπλασιαστικά λόγω της αδυναμίας ολοκλήρωσης της εξέτασης των σχετικών αιτημάτων σύστασης. Ο «Στρατηγικός Σχεδιασμός και το Όραμα του Πολυετούς Εθνικού Στρατηγικού Σχεδίου για την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα, 2014-2020» προβλέπει μια μέση ετήσια αύξηση της παραγωγής κατά 7%, σχεδόν διπλάσια από την ετήσια αύξηση 4% που προσδιορίζεται από την Ε.Ε. (www.wwf.gr)

1.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις υδατοκαλλιεργειών

Η ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών δε μπορεί παρά να έχει οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η εκτροφή ψαριών αναπτύσσεται ραγδαία επιφέροντας τεράστια κέρδη, δημιουργώντας χιλιάδες θέσεις εργασίας, αλλά συγχρόνως επηρεάζοντας το θαλάσσιο περιβάλλον και τους οργανισμούς του. Έτσι, οι

ιχθυοκαλλιέργειες παρά τη θετική προσφορά προς το κοινωνικό σύνολο, προκαλούν με τη λειτουργία τους και ορισμένες αρνητικές επιπτώσεις στον χώρο εγκατάστασής τους. Οι επιπτώσεις αυτές προέρχονται κυρίως από τα προϊόντα μεταβολισμού των εκτρεφόμενων ψαριών και από τα υπολείμματα των τροφών που διαφεύγουν από τους ιχθυοκλωβούς και μπορούν να προκαλέσουν ευτροφισμό, αύξηση της οργανικής ουσίας στο υπόστρωμα, μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και σε ακραίες περιπτώσεις (ανοξικές συνθήκες στην επιφάνεια του ιζήματος) μέχρι και εξαφάνιση των βενθικών οργανισμών (αζωικές συνθήκες) (Holmer et al. 2008). Ο έλεγχος του ρυπαντικού φορτίου στα «ανοιχτά» συστήματα των ιχθυοκαλλιεργειών, όπως είναι αυτά των πλωτών ιχθυοκλωβών στις παράκτιες περιοχές είναι πολύ δύσκολος έως αδύνατος σε αντίθεση με τα «κλειστά» συστήματα εκτροφής σε χερσαίες εγκαταστάσεις όπου εκεί ο έλεγχος είναι πλήρης και οι επιπτώσεις σχεδόν μηδαμινές. Στον πυθμένα κάτω από την περιοχή εγκατάστασης των πλωτών ιχθυοκλωβών εμφανίζονται περιοδικά διάφοροι βενθικοί οργανισμοί, όπως είναι τα ολοθούρια, οι οποίοι εκμεταλλεύονται τις υπάρχουσες συνθήκες (αύξηση οργανικής ουσίας) για την εύρεση τροφής. Πιο αναλυτικά, οι ιχθυοκαλλιέργειες στο θαλάσσιο περιβάλλον (ιχθυοκλωβοί) αποτελούν ανοικτά συστήματα εκτροφής και ως εκ τούτου έχουν μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα. Τα δίκτυα των εγκαταστάσεων εκτροφής ψαριών έχει αποδειχθεί ότι επιδρούν στην κίνηση του νερού μέσα στους ιχθυοκλωβούς, από το περιβάλλον προς αυτούς και το αντίθετο. Το μέγεθος των ιχθυοκλωβών, η μορφή, ο τύπος και το υλικό των δικτύων, ο ρυθμός επικάθισης επιανίδας και επιγλωρίδας στα δίκτυα, το είδος των εκτρεφόμενων ψαριών, η θερμοκρασία του νερού και η τροφική κατάσταση του περιβάλλοντος είναι μερικές παράμετροι που επηρεάζουν την κίνηση των υδάτινων μαζών και το ρυθμό ανανέωσής

τους (Kilikidis 1992). Η υπέρμετρη χρήση χημικών ουσιών και φαρμάκων (π.χ. πράσινο του μαλαχίτη, φορμόλη, υαμίνη, χλωραμίνες, οξυτετρακυλίνη, κυανό του μεθυλενίου, υποχλωριώδη άλατα, κ.ά.) για την καταπολέμηση ασθενειών των εκτρεφόμενων ψαριών μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στο περιβάλλον. Είναι όμως εξαιρετικά δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν τα μεγέθη της επίδρασης αυτής. Επειδή βέβαια η μεταχείριση αυτή μέσα στο ίδιο το υδάτινο περιβάλλον είναι πολυδάπανη, για το λόγο αυτό προτιμάται να γίνεται χρήση χημικών ουσιών και φαρμάκων, έξω από τις εγκαταστάσεις σε κλειστά συστήματα, οπότε σ' αυτή την περίπτωση οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον ελαχιστοποιούνται (Πνευματικάτος 1982).

Σε συνθήκες εκτροφής η συχνότητα και η ένταση εμφάνισης ασθενειών είναι μεγαλύτερη από ότι στους άγριους ιχθυοπληθυσμούς, λόγω των υψηλών ιχθυοπυκνοτήτων και της έκθεσης των εκτρεφόμενων οργανισμών σε στρεσογόνους παράγοντες. Επίσης, μπορεί να υπάρξουν ευνοϊκές προϋποθέσεις για τη μετάδοση ασθενειών σε φυσικούς πληθυσμούς του ίδιου ή συγγενικού είδους, ενώ η διαφυγή των εκτρεφόμενων ψαριών εκτός από αυτό μπορεί να προκαλέσει και γενετική ρύπανση. Πάρα το γεγονός ότι η μετάδοση ασθενειών στους φυσικούς πληθυσμούς σπάνια αναφέρεται, διάφορα παράσιτα μπορούν να εισαχθούν στα εκτρεφόμενα είδη από τους άγριους πληθυσμούς μιας περιοχής ή και από το πλαγκτό, όταν αυτό αποτελεί τροφή για τα εκτρεφόμενα είδη και ενδιάμεσο ξενιστή παρασίτων (Collins 1983). Γενικά, το θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να δεχθεί οργανικά απόβλητα, εφόσον η ποσότητά τους δεν ξεπερνάει τη “φέρουσα ικανότητα” αυτού. Σε περίπτωση που τα όρια αυτά ξεπεραστούν τότε ανατρέπεται η φυσική ισορροπία του περιβάλλοντος με δυσάρεστες συνέπειες για τους υδρόβιους οργανισμούς, εκτρεφόμενους και μη. Η ένταση του φαινομένου του οργανικού εμπλουτισμού εξαρτάται από τις πρακτικές εκτροφής,

καθώς και από τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής (Black et al. 1996).

Η μεγαλύτερη επίπτωση των ιχθυοκαλλιεργειών αφορά τον οργανικό εμπλουτισμό των ιζημάτων που είναι αποτέλεσμα της καθίζησης διαφυγούσας ιχθυοτροφής και περιττωμάτων των εκτρεφόμενων ψαριών. Η συσσώρευση οργανικού υλικού κάτω από τους ιχθυοκλωβούς έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός χαλαρού μαύρου στρώματος ιζήματος κάτω από αυτούς το οποίο χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές οξειδοαναγωγικού δυναμικού (Hargrave et al. 1993), υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό και συσσώρευση ενώσεων αζώτου και φωσφόρου (Holby & Hall 1991, Karakassis et al. 1998). Επιπλέον, οι απώλειες της τροφής έχουν μια σημαντική επίδραση στο βένθος της περιοχής, γιατί μεταξύ των άλλων έχει αποδειχθεί ότι οι τροφές σχεδόν αναλλοίωτες προστίθενται και εμπλουτίζουν το ίζημα του πυθμένα (Collins 1983). Το οργανικό υλικό που απελευθερώνεται από μια μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας επιδρά στην οικολογία των οργανισμών που ζουν στον πυθμένα. Λόγω της συνεχούς συσσώρευσης οργανικού υλικού κάτω από τους ιχθυοκλωβούς μπορεί να παρατηρηθούν αζωικές περιοχές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην συναντώνται εδραίοι οργανισμοί παρά μόνον οργανισμοί που μετακινούνται συνεχώς για την εξεύρεση τροφής (Stewart 1984).

1.5. Γενικά στοιχεία της βιολογίας των ολοθούριων

Μέχρι σήμερα έχουν περιγραφεί περίπου 1150 είδη ολοθούριων. Ανάλογα με το είδος, το σωματικό τους μέγεθος κυμαίνεται από 1-2 cm μέχρι κάποια μέτρα. Ο εξωτερικός τους χρωματισμός περιλαμβάνει αρκετές αποχρώσεις, αν και τα περισσότερα ολοθούρια έχουν αποχρώσεις του μαύρου, του καφέ ή του λευκού (Vafidis

et al. 2008). Από αυτά, 47 είδη έχουν αναφερθεί στη Μεσόγειο, με τα περισσότερα είδη να είναι βρώσιμα (Cakly et al. 2004, Aydin 2008). Ειδικότερα στις ελληνικές θάλασσες απαντούν 34 είδη που ανήκουν σε 17 γένη (Koukouras & Sinis 1981, Pancucci – Papadopoulou 1996), με το *Holothuria tubulosa* Gmelin, (1788) να αποτελεί ένα από τα πιο κοινά είδη στο Αιγαίο (Kazanidis et al. 2010, Antoniadou & Vafidis 2011, Kazanidis et al 2014).

Τα Ολοθούρια, ή Ολοθουροειδή, (Holothuroidea), γνωστά με την κοινή ονομασία «αγγούρια της θάλασσας», κατατάσσονται ταξινομικά στο φύλο θαλάσσιων Εχινόδερμων, μαζί με τους αχινούς, τους αστερίες, τους οφίιους και τα καρκινοειδή (Εικ. 1.2.). Ανήκουν στα ανώτερα ασπόνδυλα, αλλά σε αντίθεση, με τις υπόλοιπες κλάσεις των Εχινόδερμων, τα ολοθούρια έχουν γενικά μαλακό, μώδες σώμα, με δερματώδη υφή, σχήμα επίμηκες κυλινδρικό με αμφίπλευρη συμμετρία, ενώ δε φέρουν άκανθες (Tortonese & Vadon 1987). Κάτω από το δέρμα τους έχουν ενδοσκελετό. Τα ολοθούρια έχουν σώμα σακοειδές ή σκωληκοειδές, επίμηκες κυλινδρικό, με αμφίπλευρη συμμετρία, της οποίας το επίπεδο περνάει από το στόμα και την έδρα που βρίσκονται συνήθως στα δύο άκρα του ζώου. Το σκελετικό τους σύστημα περιορίζεται στην ύπαρξη πολυάριθμων ασβεστιτικών σκληριτών εντός του δέρματος, διαφόρων σχημάτων (άγκυρες, ραβδία, βοστρυχοειδή, κάνιστρα, πυργοειδή, πλάκες, πλακίδια, ροζέτες, τροχοί), που αποτελούν και βασικό ταξινομικό χαρακτηριστικό στην αναγνώριση των διαφόρων ειδών (Tortonese & Vadon 1987). Έχουν μαλακό δέρμα και παχύ, με μικρά πλακίδια από ασβεστόλιθο. Το στόμα βρίσκεται στο ένα άκρο του κυλινδρικού σώματος και περιβάλλεται από στεφάνι. Αυτό το στεφάνι φέρει 10-30 αισθητήριες κεραίες, οι οποίες συστέλλονται. Το στόμα, λοιπόν, περιβάλλεται από 10-



Εικόνα 1.2. Ολοθούριο του είδους *H. tubulosa* (φωτό συγγραφέα).

30 στοματικές κεραίες (τροποποιημένοι βαδιστικοί ποδίσκοι) που μπορούν να τραβηχτούν στο εσωτερικό της σωματικής κοιλότητας και ενίοτε βοηθάνε στη μετακίνηση του ζώου (Tortonese & Vadon 1987). Με τη βοήθεια αυτών των κεραίων συλλέγουν πλαγκτό και θρύμματα (σωματιδιακό οργανικό υλικό) από τη στήλη του νερού ή το ίζημα (Hickman 1981). Οι ποδίσκοι που βρίσκονται στο επάνω μέρος του σώματος συντελούν στην αναπνοή και είναι επίσης όργανα αφής. Στο άλλο άκρο του σώματός τους υπάρχει η έδρα και κατά μήκος αυτού, τα ολοθουροειδή φέρουν πέντε σειρές από βαδιστικούς ποδίσκους. Η μορφή των κεραίων λειτουργεί ως ταξινομικό γνώρισμα (πελτοειδής, δενδροειδής, πτεροειδής, δακτυλιοειδής). Επίσης, ταξινομικό γνώρισμα των ειδών αποτελεί η ύπαρξη δέκα ασβεστιτικών πλακών στον πεπτικό σωλήνα γύρω από το φάρυγγα, ο λεγόμενος “φαρυγγικός δακτύλιος” (www.wwf.gr).

Το έντερο σχηματίζει βρόχο και καταλήγει στην έδρα. Στην έδρα, που καθώς συστέλλεται και διαστέλλεται προκαλεί την είσοδο/έξοδο του νερού, καταλήγει επίσης ένα ζεύγος δενδροειδών υδροφόρων πνευμόνων, τα αναπνευστικά δέντρα. Αυτά

αποτελούνται από δυο επιμήκεις, διακλαδισμένους σωλήνες και λειτουργούν ως βράγχια εξυπηρετώντας τις αναπνευστικές απαιτήσεις του ζώου, καθώς παρέχουν μεγάλη επιφάνεια για την ανταλλαγή αερίων. Η ανταλλαγή αερίων πραγματοποιείται επίσης και διάμεσου του σωματικού τοιχώματος και των βαδιστικών ποδίσκων (Beirne et al. 2001).

Μερικά είδη φέρουν σωληνοειδείς, κολλώδεις δομές που εκβάλλουν στη βάση των υδροφόρων πνευμόνων, τα όργανα του Cuvier. Όταν το ζώο δεχτεί κάποιο έντονο ερέθισμα, τα όργανα του Cuvier μαζί με νερό εξωθούνται μέσω της κλοάκης προς άμυνα. Πολλά είδη ολοθουρίων μπορούν, όταν ερεθιστούν ή εκτεθούν σε δυσμενείς συνθήκες, να αποβάλλουν μέρος των σπλάγχχνων τους ή και ολόκληρο τον πεπτικό τους σωλήνα, διαδικασία γνωστή ως «εξεντερισμός». Τόσο τα όργανα του Cuvier όσο και ο πεπτικός σωλήνας μπορούν να αναγεννηθούν από το ζώο σε σύντομο χρονικό διάστημα. Γενικότερα, μπορούν να αναπλάθουν μέρη του σώματός τους, τα οποία μερικές φορές αποκόπτουν για λόγους άμυνας (Tortonese & Vadon 1987).

Για την προσκόλληση του ζώου στο υπόστρωμα εξέρχονται από τους υδροφορικούς σωλήνες βαδιστικοί ποδίσκοι, οι οποίοι στην κοιλιακή πλευρά φέρουν μυζητικό δίσκο, ενώ στη νωτιαία αισθητήρια φύματα. Οι βαδιστικοί ποδίσκοι είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένοι στα είδη που ζουν σε σκληρά υποστρώματα, ενώ ατροφούν στα ενδοψαμμικά είδη (Hickman 1981). Η μετακίνηση των ολοθουρίων πραγματοποιείται από τους βαδιστικούς ποδίσκους, καθώς και από ισχυρές συσπάσεις των κυκλικών και επιμήκων μυών τους. Όταν ερεθίζονται, συστέλλονται τροποποιώντας το σχήμα τους. Το αίμα των ζώων περιέχει βανάδιο για την ένωση και την μεταφορά του οξυγόνου. Για το λόγο αυτό, το αίμα των θαλασσινών αγγουριών έχει χρώμα κίτρινο (www.wwf.gr).

Τα περισσότερα είδη ολοθουρίων είναι γονοχωριστικά. Έτσι, η γονιμοποίηση γίνεται εξωτερικά και από τα αυγά βγαίνουν προνύμφες, που έχουν τη μορφή πλαγκτού. Η αναπαραγωγή τους είναι, κατά κανόνα, εγγενής και συνήθως ακολουθεί ετήσιο κύκλο. Στις εύκρατες περιοχές, η απελευθέρωση των γαμετών από τα δύο φύλα, γίνεται κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους και η γονιμοποίηση πραγματοποιείται στην υδάτινη στήλη (Εικ. 1.3.). Μεταξύ της γονιμοποίησης και του νεαρού ατόμου, παρεμβάλλονται διαφορετικές πλαγκτονικές προνύμφες, ανάλογα με το είδος. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η μεταμόρφωση σε νεαρό ολοθούριο ολοκληρώνεται πριν την εγκατάστασή του στο υπόστρωμα (Tortonese & Vadon 1987).

Πρόκειται αποκλειστικά για θαλάσσιους οργανισμούς που απαντώνται στις θερμές και στις εύκρατες θάλασσες. Η γεωγραφική τους εξάπλωση είναι παγκόσμια αφού τα συναντάμε από τους πόλους μέχρι και τις τροπικές περιοχές. Η βαθυμετρική τους κατανομή είναι ευρύτατη καθώς απαντώνται από την ανώτερη υποπαραλιακή ζώνη μέχρι και τις αβυσσαίες περιοχές, σε βάθη μεγαλύτερα των 10.000 μέτρων (Gonzalez-Wanguemert & Vergara-Chen 2014). Ζουν μέσα στην άμμο ή σε ρωγμές βράχων αλλά και σε κοραλλιογενείς υφάλους, συνήθως μοναχικά και τρέφονται με ζωικές ή φυτικές ουσίες, τις οποίες βρίσκουν στη λάσπη του βυθού (Εικ. 1.4.).



Εικόνα 1.3. Αρσενικό άτομο του είδους *Holothuria tubulosa* κατά την απελευθέρωση σπέρματος (www.wikipedia.gr).



Εικόνα 1.4. Ίζημα με το οποίο τραφήκαν τα ολοθούρια στα πειραματικά ενυδρεία (φωτό συγγραφέα).

Η συντριπτική πλειοψηφία των ειδών συγκαταλέγεται στους βενθικούς οργανισμούς καθώς πολύ λίγα είδη είναι πελαγικά. Ζουν σε διάφορους τύπους υποστρωμάτων, τόσο σε βραχώδεις ή κοραλλιογενείς, όσο και σε αμμώδεις, άμμο-ιλώδεις και ιλώδεις πυθμένες (Mezali et al. 2003). Έχουν έντονη κρυπτική συμπεριφορά και δραστηριοποιούνται κυρίως τη νύχτα, ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας, παραμένουν σχεδόν ακίνητα, ακουμπώντας στον πυθμένα με την κοιλιακή τους επιφάνεια. Στην πλειοψηφία τους, τα ολοθούρια είναι ιζηματοφάγοι οργανισμοί που καταπίνουν μεγάλες ποσότητες άμμου και λάσπης και καταναλώνουν πλαγκτόν ή βιογενή θρύμματα (σωματιδιακό οργανικό υλικό, detritus). Τρέφονται γενικά με απόβλητα στη βενθική ζώνη του ωκεανού. Η διαίτά τους περιλαμβάνει νεκρή και αποσυντιθέμενη οργανική ύλη που βρίσκεται στη θάλασσα, στη λάσπη του βυθού (www.wikipedia.org).

Από τα ανωτέρω αντιλαμβάνεται κανείς το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν στην αναμόχλευση του ιζήματος και στην ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών του. Ακόμα, εξισορροπούν σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη του βακτηριακού φορτίου και ενισχύουν την πρωτογενή παραγωγή, μετατρέποντας τα οργανικά θρύμματα σε αζωτούχες ενώσεις (Amon & Herndl 1991, Coulon & Jangoux 1993, Meysman et al. 2006, MacTavish et al. 2012).

Τα τελευταία χρόνια λόγω της υψηλής ζήτησης και τιμής κυρίως από χώρες της Ασίας (Κίνα) όπου θεωρούνται ακριβό έδεσμα και χρησιμοποιείται και για ιατρικούς σκοπούς έχει παρατηρηθεί υπεραλίευση τους. Τουλάχιστον 66 είδη ολοθουρίων αλιεύονται σε περισσότερες από 40 χώρες, τα οποία στην πλειοψηφία τους εξάγονται στην αγορά της Ασίας εφόσον έχει προηγηθεί επεξεργασία (Purcell 2010, Purcell et al. 2013, Purcell et al. 2014).

1.6. Γενικά στοιχεία της βιολογίας του είδους *Holothuria tubulosa*

Η συστηματική κατάταξη του είδους *Holothuria tubulosa* έχει ως εξής:

Βασίλειο: Animalia

Φύλο: Echinodermata

Κλάση: Holothurioidea

Τάξη: Aspidochirota

Οικογένεια: Holothuriidae

Γένος: *Holothuria*

Υπογένος: *Holothuria*

Είδος: *H. tubulosa*

Το ολοθούριο *Holothuria tubulosa* είναι γνωστό με την κοινή ονομασία “white spot cucumber”. Το είδος αυτό θεωρείται ένας πολύ σημαντικός οργανισμός στο θαλάσσιο οικοσύστημα της Μεσογείου, καθώς συγκαταλέγεται ανάμεσα στα πιο κοινά είδη μαζί με τα *H. polii* και *H. forskalii* (Ocana & Sanchez-Tocino 2005). Το *H. polii* μπορεί να επιβιώσει σε νερά με υψηλές αλατότητες και είναι το μόνο είδος του γένους *Holothuria* στη Μεσόγειο που είναι σε θέση να εντοπιστεί σε υπεράλμυρα ύδατα (Vergara-Chen et al. 2010).

Το *Holothuria tubulosa* φτάνει σε μήκος τα 45 cm και σε διάμετρο τα 6 cm. Το σχήμα του είναι κατά προσέγγιση κυλινδρικό με επίπεδη βάση στην οποία υπάρχουν τρεις διαμήκεις σειρές σωλήνων. Έχει σκληρό δέρμα, το γενικό του χρώμα είναι μια σκιά καφέ και η επιφάνεια είναι καλυμμένη με πολλές σκούρες, κωνικές, αγκάθινες προεξοχές γνωστές ως πιπίλες (Εικ. 1.5.). Συχνά εμφανίζεται ως γκρίζο, καθώς εκκρίνει ένα προστατευτικό φιλμ βλέννας στο οποίο μπορούν να προσκολληθούν κομμάτια από φύκια ή και ιζήματα (Vafidis et al. 2008).



Εικόνα 1.5. Ολοθούρια του είδους *H. tubulosa* σε φυσικό περιβάλλον (www.wikipedia.org).

Το *Holothuria tubulosa* απαντάται σε εύκρατες περιοχές του ανατολικού Ατλαντικού Ωκεανού και στη Μεσόγειο Θάλασσα, όπου αποτελεί ένα από τα κυριότερα είδη ολοθουρίων. Βρίσκεται σε αμμώδεις βυθούς και σε λασπώδεις βράχους σε βάθη μέχρι 100 μέτρων (Νεοφύτου 2016).

Το *H. tubulosa* όπως και τα περισσότερα είδη ολοθουρίων είναι γονοχωριστικό και η αναπαραγωγή του είναι, κατά κανόνα, εγγενής και συνήθως ακολουθεί ετήσιο κύκλο. Η ωρίμανση των γονάδων αρχίζει την άνοιξη και φτάνει σε κορύφωση το

καλοκαίρι, ενώ η ωοτοκία εντοπίζεται στα τέλη της θερινής περιόδου, δηλαδή τη θερμή περίοδο του έτους. Η απελευθέρωση των γαμετών (διάρκειας περίπου τριάντα λεπτών) πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της θερμότερης περιόδου του έτους και η γονιμοποίηση λαμβάνει χώρα στην υδάτινη στήλη. Απαραίτητες συνθήκες ωοτοκίας φαίνεται να είναι η παρουσία πανσελήνου και η θερμοκρασία του νερού περίπου στους 25°C. Μεταξύ της γονιμοποίησης και του νεαρού ατόμου, παρεμβάλλονται διαφορετικές πλαγκτονικές προνύμφες ανάλογα με το είδος. Τα γονιμοποιημένα αυγά εκκολάπτονται σε περίπου 24 ώρες και οι αναπτυσσόμενες προνύμφες είναι πλαγκτονικές. Τρέφονται με μικροσκοπικά φύκια και περνούν από διάφορα στάδια μέσα σε λίγες εβδομάδες, πριν εγκατασταθούν στον βυθό και υποστούν μεταμόρφωση σε νεαρά άτομα. Η μεταμόρφωση σε νεαρό ολοθούριο ολοκληρώνεται πριν την εγκατάστασή του στο υπόστρωμα (Tortonese & Vadon 1987).

Το ολοθούριο *Holothuria tubulosa* αποτελεί ένα από τα πιο κοινά είδη εχινοδέρμων της Μεσογείου (Tortonese & Vadon 1987). Ο κύριος τύπος ενδιαιτήματος του είδους είναι οι λειμώνες του φανερόγαμου *Posidonia oceanica*, ενώ εντοπίζεται και σε αμμώδη, αμμοϊλυώδη ή ακόμη και βραχώδη υποστρώματα της υποπαραλιακής ζώνης (Koukouras & Sinis 1981, Gustato et al. 1982, Simunovic et al. 2000). Ωστόσο, τα διαθέσιμα στη διεθνή βιβλιογραφία στοιχεία σχετικά με τα φυσικά αποθέματα του είδους είναι περιορισμένα, και αφορούν την επίδραση παραγόντων, όπως ο τύπος του υποστρώματος (Coulon & Jangoux 1993, Simunovic et al. 2000), το βάθος (Bulteel et al. 1992) και οι υδρογραφικές συνθήκες (Simunovic & Grubelic 1998) στη δυναμική των πληθυσμών του, καθώς και τον αναπαραγωγικό του κύκλο (Bulteel et al. 1992, Despalatovic et al. 2004). Στο Αιγαίο οι πληθυσμοί του *H. tubulosa* είναι ελάχιστα

μελετημένοι και οι σχετικές αναφορές περιγράφουν τη γεωγραφική τους εξάπλωση, τον τύπο του ενδαιτήματος και τη βαθυμετρική διανομή (Koukouras & Sinis 1981).

1.7. Εμπορική σημασία ολοθουρίων

Το *H. tubulosa* συγκαταλέγεται στα είδη με σημαντική εμπορική αξία, καθώς αλιεύεται και αξιοποιείται ως δόλωμα στη Μεσόγειο ή εξάγεται στην Ασία όπου καταναλώνεται ως μεταποιημένο προϊόν (Tortonese & Vadon 1987). Τα ολοθούρια έχουν ιδιαίτερο οικονομικό ενδιαφέρον καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογής και χρήσεων.

Οι θαλάσσιοι αυτοί οργανισμοί αποτελούν πολύτιμες πηγές θρεπτικών συστατικών, καθώς περιέχουν βιολογικά ενεργά συστατικά, ιδίως βιοενεργά πεπτίδια, αντιμικροβιακές, αντιφλεγμονώδεις και αντικαρκινικές ουσίες (Bordbar et al. 2011). Αποτελούν, λοιπόν, ιδιαίτερη πηγή βιοδραστικών ουσιών. Ο όρος βιοδραστικότητα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα δράσεων, όπως η παρεμπόδιση της ανάπτυξης μικροοργανισμών, οι τοξικές επιδράσεις σε άλλους οργανισμούς, καθώς και όλες οι φαρμακευτικές δράσεις που μπορεί να εμφανίζει μία ουσία (αντιμικροβιακή, αντιμυκητιακή, κυτοτοξική, αντικαρκινική, αντι-ϊική, ανοσορυθμιστική και αντιφλεγμονώδη δράση) (Chen et al. 2004). Επίσης, ένα σημαντικό ποσοστό (περίπου 70 %) του σωματικού τοιχώματος των ολοθουρίων αποτελείται από κολλαγόνο. Το κολλαγόνο αναγνωρίζεται ως συστατικό των συνδετικών ιστών. Αρκετές φαρμακευτικές εταιρίες έχουν συμπεριλάβει τα ολοθούρια σε καλλυντικά προϊόντα ως μια εναλλακτική λύση για τη χρήση των ζωικών προϊόντων στα καλλυντικά (Saito et al. 2002).

Τα «αγγούρια της θάλασσας» είναι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται ως τρόφιμο από τον άνθρωπο, ιδιαίτερα σε ορισμένες περιοχές της Ασίας. Ένα μεγάλο ποσοστό των ειδών έχει αξιοποιηθεί για τον σκοπό αυτό, καθώς η παγκόσμια ζήτηση συνεχώς αυξάνεται. Τα ολοθούρια πωλούνται στο εμπόριο, ιδίως στις ασιατικές αγορές, με κύρια δραστηριότητα στην Κίνα, στην Κορέα, στην Ινδονησία και στην Ιαπωνία. Από την άλλη πλευρά, πραγματοποιούνται εξαγωγές σε σημαντικές ποσότητες σε μέρη των Ηνωμένων Πολιτειών και της Βόρειας Αυστραλίας. Το γεγονός αυτό, φυσικά, και δεν είναι τυχαίο. Αντιθέτως, μάλιστα, οφείλεται στο ότι, από θρεπτική άποψη, τα ολοθούρια είναι ιδανικά και έχουν ένα εντυπωσιακό προφίλ θρεπτικών συστατικών υψηλής αξίας, όπως βιταμίνη Α, Β1 (θειαμίνη), Β2 (ριβοφλαβίνη), Β3 (νιασίνη) και σε μέταλλα, κυρίως ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο και ψευδάργυρο (Chen 2003). Αποτελεί πολύ εύπεπτη τροφή και θεωρείται αφροδισιακό στην Ιαπωνία και στην Κίνα (Vafidis et al. 2008).

Τα ολοθούρια είναι πηγή πρωτεϊνών και έχουν ευεργετικές επιδράσεις στα επίπεδα των τριγλυκεριδίων (Taboada et al. 2003). Το τοίχωμα του σώματος, είναι πλούσιο σε γλυκίνη, γλουταμινικό οξύ και αργινίνη. Η γλυκίνη μπορεί να τονώσει την παραγωγή και την απελευθέρωση των αντισωματικών κυττάρων IL-2 και Β και επομένως συμβάλλει στην ενίσχυση της φαγοκυττάρωσης. Λόγω των αμινοξέων που περιέχονται στο σώμα τους, τα ολοθούρια έχουν αξιοσημείωτη λειτουργία στη ρύθμιση του ανοσοποιητικού συστήματος του ανθρώπου (Qin et al. 2008).

Εδώδιμα είναι διάφορα τμήματα του ολοθούριου: Συγκεκριμένα τρώγεται το τοίχωμα του σώματος τους, που στη Γαλλία ονομάζεται «bêche-de-mer», στην Ινδονησία «trepang», στην Ιαπωνία «namako» και στη Μαλαισία ως «gamat» (Lovatelli et al. 2004). Οι γονάδες τρώγονται είτε αποξηραμένες (komoko) είτε αλατισμένες, ενώ

εδώδιμα είναι και το έντερο (konowata) και το αναπνευστικό δέντρο (minowata) (Conand 1990). Η μεταποιητική διαδικασία περιλαμβάνει την αφαίρεση των εντοσθίων, το βράσιμο και την αποξήρανση του σωματικού περιβλήματος του ζώου ή και το κάπνισμα του. Στη συνέχεια το προϊόν σχίζεται και βράζεται ώστε να διογκωθεί και να γίνει ζελατινώδες προτού καταναλωθεί (Vafidis et al. 2008).

1.8. Αλιεία-Εκτροφή ολοθουρίων

Η μεγάλη εμπορική αξία του ολοθούριου σε συνδυασμό με τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση του είδους κατάστησε αναγκαία την αλιεία και κυρίως την εκτροφή τους. Τα ολοθούρια εκτρέφονται στην Κίνα από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και ακολούθησαν η Μαλαισία, η Κορέα και η Ιαπωνία (Akamine 2004). Κατά την περίοδο 1983-1990, η ισχυρή αύξηση της ζήτησης για τα ολοθούρια είχε ως συνέπεια την αύξηση του ενδιαφέροντος για την εκτροφή τους (Morgan & Archer 1999). Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής εξάγεται κατά κύριο λόγο στην αγορά της Ασίας, με την Κίνα και το Χονγκ Κονγκ να είναι οι κυριότεροι προορισμοί των εξαγωγών (Chen 2003). Καθώς η ζήτηση για τα προϊόντα των ολοθουρίων αυξήθηκε, η εκτροφή νέων ειδών θεωρήθηκε αναγκαία (Conand 2004). Πλέον τα ολοθούρια εκτρέφονται στην Τανζανία, στην Παπούα Νέα Γουινέα, στην Αυστραλία, στις Σεϋχέλλες, στα νησιά Γκαλαπάγκος, Σολομώντα και Νότιας Θάλασσας της Κίνας, στην Κούβα, στη Μαδαγασκάρη, στην Αίγυπτο, στις Φιλιππίνες, στη Μαλαισία, στην Ινδονησία και στην Ιαπωνία (Gamboa et al. 2004, Conand 2008). Κατά μήκος της ακτής της Κίνας υπάρχουν περισσότερα από 134 βρώσιμα είδη ολοθουρίων που έχουν εμπορικό ενδιαφέρον. Το είδος *Apostichopus japonicus* είναι το κύριο είδος εκτροφής, αλλά

περισσότερα από 30 είδη μικρότερης εμπορικής αξίας έχουν γίνει αντικείμενο έρευνας και εκμετάλλευσης (Chen et al. 2004).

Με την εξαίρεση της Κίνας, όπου ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής των ολοθουρίων προέρχονται από τις υδατοκαλλιέργειες (περίπου 10.000 τόνοι ξηρού βάρους / έτος) και ορισμένων εύκρατων περιοχών του βορείου ημισφαιρίου, σε άλλες χώρες η παραγωγή προέρχεται κατά κύριο λόγο, αν όχι αποκλειστικά, από την αλιεία με τον πληθυσμό των ολοθουρίων να βρίσκεται υπό εντατική εκμετάλλευση (Conand & Byrne 1993, Mmbaga & Mgya 2004, Uthicke 2005, Choo 2008, Kinch et al. 2008). Αποτέλεσμα αυτού είναι τα αποθέματα των ολοθουρίων να είναι υπεραλιευμένα σε πολλές χώρες. Σε αυτό άλλωστε συντείνουν η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, η ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση και η ανεπαρκής διαχείριση της αλιείας τους (Conand 2004, Conand 2008). Ως παράδειγμα μπορούν να αναφερθούν οι Φιλιππίνες και η Ινδονησία, οι οποίες υστερούν σε θέματα που αφορούν σε ειδικά μετρά διαχείρισης αλιείας των ολοθουρίων, παρόλο που αποτελούν μεγάλες χώρες παραγωγής τους. Επιπρόσθετα, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής των ολοθουρίων, τα καθιστούν ευάλωτα στην υπεραλίευση, λόγω της αργής ανάπτυξης, των μικρών πυκνοτήτων αναπαραγωγής και της αργής αναπαραγωγικής ωρίμανσης (Uthicke & Conand 2005). Τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει η στοχευμένη αλιεία των ολοθουρίων στην Ελλάδα με τέσσερις μονάδες μεταποίησης (μία στη Λαμία και τρεις στη Χαλκιδική), με σκοπό την εξαγωγή τους ως μεταποιημένο προϊόν σε χώρες της Ασίας. Παρατηρείται έτσι μια έντονη αλιευτική δραστηριότητα, τόσο στον Θερμαϊκό κόλπο και στους κόλπους της Χαλκιδικής, όσο και στον Μαλιακό και στον Βόρειο Ευβοϊκό (Νεοφύτου 2014). Οι αλιείς καταδύονται σε μικρά βάθη (~10 m) με σύστημα συνεχόμενης παροχής αέρα από το σκάφος (ναργιλέ) και συλλέγουν τα ζώα με το χέρι. Η πρώτη μεταχείριση γίνεται

πάνω στο σκάφος από τους ίδιους τους αλιείς, όπου αφαιρούν το νερό και τα εντόσθια από τα ζώα. Στη συνέχεια, παραλαμβάνονται και μεταφέρονται νωπά στις εγκαταστάσεις της μονάδας μεταποίησης, όπου υφίστανται την κατάλληλη επεξεργασία και κατόπιν, προωθούνται για εξαγωγή, συσκευασμένα και κατεψυγμένα (Νεοφύτου 2014).

1.9. Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύνθεση και αξιοποίηση των γνώσεων που αποκτήθηκαν αναφορικά με το ολοθούριο *Holothuria tubulosa* και κυρίως ο εμπλουτισμός της με νέα στοιχεία, μέσω της έρευνας του είδους σε εργαστηριακές συνθήκες.

Επίσης, βασικό στόχο της παρούσας διατριβής αποτελεί η ανάπτυξη και εφαρμογή μιας νέας πρακτικής στον κλάδο των υδατοκαλλιεργειών. Συγκεκριμένα, γνωρίζοντας το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν τα ολοθούρια στην αναμόχλευση του ιζήματος και στην ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών του, είναι δυνατό μέσω της συγκεκριμένης έρευνας να υπολογισθούν στοιχεία που στη συνέχεια θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο πεδίο για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ιχθυοκαλλιεργειών στο βενθικό υπόστρωμα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Σχεδιασμός πειράματος

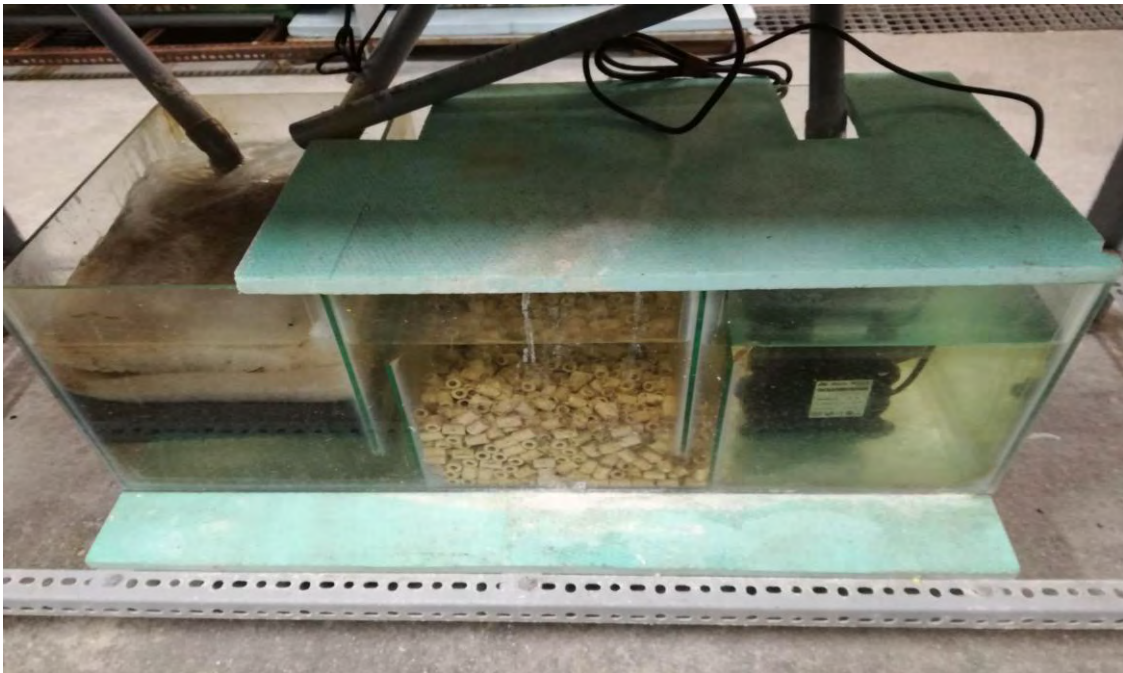
Κατά τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας καταβλήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια να προσομοιωθούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό οι συνθήκες του υδάτινου περιβάλλοντος κάτω από τους ιχθυοκλωβούς. Μελετήθηκε, επίσης η χημική σύσταση του σώματος του αλοθούριου *Holothuria tubulosa*, προκειμένου να διαπιστωθεί η θρεπτικής του αξία ως πιθανό μελλοντικό τρόφιμο ή ακόμη και ως συστατικού ζωοτροφών.

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν έξι (6) γυάλινα ενυδρεία χωρητικότητας 250 ℓ το καθένα (Εικ. 2.1.), τα οποία χωρίστηκαν σε 3 ζεύγη - συστήματα. Κάθε σύστημα ενυδρείων, κλειστού κυκλώματος θαλασσινού νερού, διέθετε φίλτρο μηχανικής και βιολογικής διήθησης του νερού (Εικ. 2.2.) και προετοιμάστηκε κατάλληλά ώστε η ποιότητα του νερού να ενδείκνυται για τον εγκλεισμό των ολοθούριων και των ψαριών (τσιπούρες). Συγκεκριμένα, η ποιότητα του νερού καθορίστηκε ώστε η θερμοκρασία του νερού να είναι 20-21 °C, το διαλυμένο οξυγόνο 6,5 mg/l, το pH \approx 8 και η αλατότητα 32‰. Η ρύθμιση της αλατότητας επιτεύχθηκε με προσθήκη ειδικού συνθετικού άλατος του εμπορίου σε γλυκό νερό όσμωσης. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν ειδικά νιτροποιητικά διαλύματα βακτηρίων του εμπορίου, ούτως ώστε η περιεκτικότητα της ολικής αμμωνίας και των νιτρωδών ιόντων να διατηρείται σε συγκεντρώσεις <0,1 mg/l.

Για τη διασφάλιση της ποιότητας του νερού χρησιμοποιήθηκαν ειδικά φορητά ηλεκτρονικά όργανα (οξυγονόμετρο, αλοτόμετρο και πεχάμετρο) και ειδικά εμπορικά τέστ μέτρησης ολικής αμμωνίας, νιτρωδών, νιτρικών ιόντων και ολικής σκληρότητας νερού με περιοδικούς ελέγχους εβδομαδιαίας συχνότητας.



Εικόνα 2.1. Άποψη των 6 ενυδρείων (3 συστήματα) που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα έρευνα (φωτό συγγραφέα).



Εικόνα 2.2. Άποψη του εξωτερικού φίλτρου (μηχανικού & βιολογικού) που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (φωτό συγγραφέα).

Για τις ανάγκες του πειράματος πάρθηκε άμμος από το θαλάσσιο περιβάλλον συλλογής των ολοθουρίων, κοσκινίστηκε σε κόσκινο 1mm και τοποθετήθηκε σε κάθε ενυδρείο ως στρώμα μαλακού υποστρώματος ύψους 5 cm περίπου (Εικ. 2.3.), προσομοιάζοντας κατ' αυτό τον τρόπο το φυσικό τους περιβάλλον. Εν συνεχεία, σε κάθε ενυδρείο τοποθετήθηκε σε ύψος 20 cm από τον πάτο του ενυδρείου, ειδική διαχωριστική επιφάνεια (πλαστική σίτα με τετράγωνο μάτι 10 mm). Διασφαλίστηκε, έτσι, αφενός ότι δεν θα υπάρχει όχληση μεταξύ των ψαριών και των ολοθουρίων και αφετέρου η αποφυγή κατανάλωσης οργανικού υλικού του ιζήματος από τα εκτρεφόμενα ψάρια (Εικ. 2.4.).

Τα ολοθούρια που χρησιμοποιήθηκαν (9), συλλέχθηκαν από το θαλάσσιο περιβάλλον του Παγασητικού κόλπου (εγγύς περιοχή ιχθυοκαλλιέργειας) μέσω αυτόνομης κατάδυσης. Εν συνεχεία, τοποθετήθηκαν σε δοχεία θαλασσινού νερού και μεταφέρθηκαν στον ιχθυογεννητικό σταθμό του Τμήματος. Στον σταθμό αφέθηκαν για 48 ώρες σε λεκάνες θαλασσινού νερού ώστε να αδειάσει το περιεχόμενο του στομάχου τους και στη συνέχεια καταγράφηκε το ολικό μήκος και βάρος σώματος του καθενός πριν τη διεξαγωγή του πειράματος. Μετά την περάτωση της εργασίας αυτής, τοποθετήθηκαν τρία (3) ολοθούρια μέσης συνολικής βιομάζας $564,57 \pm 64,30$ g στο πρώτο ενυδρείο του κάθε συστήματος. Στο δεύτερο δεν τοποθετήθηκαν ολοθούρια και χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας του κάθε συστήματος.

Οι τσιπούρες που χρησιμοποιήθηκαν (240), προήλθαν από ιχθυογεννητικό σταθμό. Αφού ζυγίστηκαν και καταγράφηκαν, τοποθετήθηκαν σαράντα σε κάθε ενυδρείο με μέση συνολική βιομάζα $300,22 \pm 1,27$ g (ανά ενυδρείο).



Εικόνες 2.3. Αποψη του ιζήματος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα (φωτό συγγραφέα).

Για τη σίτιση των ψαριών χρησιμοποιήθηκε ιχθυοτροφή του εμπορίου (προϊόν Incioplus), διαμέτρου πελέτας 1,5 mm, (περιεκτικότητας 54% σε ολικές πρωτεΐνες, 18% σε ολικά λιπίδια και 21,7 MJ/Kg σε ολική ενέργεια) και σε ποσοστό 3% επί της συνολικής αρχικής βιομάζας του ενυδρείου. Για τον σκοπό αυτό ζυγίσθηκε για κάθε ενυδρείο η αντίστοιχη καθημερινή ποσότητα τροφής, η οποία τοποθετήθηκε σε ειδικό αεροστεγές δοχείο και αποθηκεύθηκε στους 4°C μέχρι την χορήγησή της. Η χορήγηση λάμβανε χώρα δύο (2) φορές την ημέρα την 10:00η και την 16:00η ώρα σε ισόποσα γεύματα. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στη σίτιση ώστε να δίνεται χρόνος στα ψάρια να αποδεχθούν και να καταναλώσουν το σύνολο της τροφής. Αυτή η στρατηγική ακολουθείται και στις υδατοκαλλιέργειες, με σκοπό τις όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες προς το περιβάλλον. Σε περιπτώσεις που παρατηρήθηκε μειωμένη όρεξη των ψαριών, η σίτιση διακόπηκε και η προζυγισθείσα ποσότητα τροφής επαναζυγίσθηκε με σκοπό την ακριβή καταγραφή της χορηγηθείσας ποσότητας.



Εικόνα 2.4. Άποψη των ενυδρείων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα με τη διαχωριστική σίτα στο μέσο, τα εκτρεφόμενα ψάρια στο άνω τμήμα και τα ολοθούρια στο κάτω (φώτο συγγραφέα).

Η πειραματική εκτροφή διήρκησε τριάντα (30) ημέρες. Τα ψάρια και τα ολοθούρια ζυγίστηκαν εκ νέου στο τέλος του πειράματος και καταγράφηκε ατομικά για το καθένα το τελικό σωματικό του βάρος. Επιπλέον, τα ολοθούρια (9 άτομα) και ορισμένα άτομα τσιπούρας (18) τοποθετήθηκαν στην κατάψυξη (-20°C) για περαιτέρω μετρήσεις και αναλύσεις.

2.2. Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας

2.2.1. Ίζημα

Κατά την πρώτη ημέρα του πειράματος, πάρθηκαν 3 επαναληπτικά δείγματα ιζήματος από τον πυθμένα καθενός εκ των έξι ενυδρείων (18 δείγματα). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στο τέλος του πειράματος, την τριακοστή ημέρα (18 δείγματα). Στο σύνολο των 36 δειγμάτων προσδιορίστηκε το ποσοστό του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα. Η συλλογή του ιζήματος έγινε με αποστειρωμένο πλαστικό δοχείο διαμέτρου 3 cm από επιφανειακό ίζημα που συλλέχθηκε με το χέρι. Όλα τα δείγματα καταψύχθηκαν στους -20°C μέχρι την ανάλυσή τους στο εργαστήριο. Εν συνεχεία, το παγωμένο ίζημα τοποθετήθηκε σε πορσελάνινη κάψα και αποξηράνθηκε σε κλίβανο στους 60°C. Το αποξηραμένο μέχρι ξηρού βάρους ίζημα λειοτριβήθηκε και κοσκινίστηκε με κόσκινο διαμέτρου 0,212 mm. Συγκεκριμένη ποσότητα ιζήματος (5 g) χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του ποσοστού του περιεχόμενου οργανικού υλικού. Συγκεκριμένα, η προαναφερθείσα ποσότητα τοποθετήθηκε σε κλίβανο στους 500°C για 4 ώρες, σε προζυγισμένη και ελεύθερη οργανικών υλικών πορσελάνινη κάψα. Το ποσοστό του περιεχόμενου οργανικού υλικού προσδιορίστηκε από τη διαφορά βάρους πριν και μετά την καύση (Byers et al. 1978).

Συγκεκριμένη ποσότητα ιζήματος (0,5 g) χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του ποσοστού του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην υγρή οξείδωση των οργανικών ουσιών με διχρωμικό κάλιο (Walkey & Black 1934). Η διαφορά του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα στο ίζημα των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια, υπολογίστηκε από την αφαίρεση τελικού-αρχικού ποσοστού. Το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα στο ίζημα των ενυδρείων υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$R\% = \frac{(C2 - C1) - (H2 - H1)}{C2 - C1} \times 100$$

Όπου

H1= το αρχικό ποσοστό ΟΥ ή ΟΑ στα ολοθούρια

H2= το τελικό ποσοστό ΟΥ ή ΟΑ στα ολοθούρια

C1= το αρχικό ποσοστό ΟΥ ή ΟΑ στον μάρτυρα

C2= το τελικό ποσοστό ΟΥ ή ΟΑ στον μάρτυρα

Για τη στατιστική σύγκριση του περιεχόμενου οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα στο ίζημα (τελικό-αρχικό) μεταξύ των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια χρησιμοποιήθηκε η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) (Zar 1986).

2.2.2. Έντερο των ολοθουρίων

Στο τέλος του πειράματος τα ολοθούρια θανατώθηκαν και τεμαχίστηκαν ούτως ώστε να προσδιοριστεί η πεπτική τους ικανότητα. Για τον υπολογισμό αυτό αφαιρέθηκε ο πεπτικός σωλήνας των ολοθουρίων (έντερο), ο οποίος διαχωρίστηκε σε 3 τμήματα το πρόσθιο, το μεσαίο και το οπίσθιο (Εικ. 2.5.). Σε κάθε ένα από τα τμήματα αυτά αφαιρέθηκε το ίζημα που περιήχε και αποθηκεύτηκε στην κατάψυξη (-20 °C) μέχρι την ανάλυση στο εργαστήριο. Ο προσδιορισμός του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα στο περιεχόμενο ίζημα του εντερικού σωλήνα έγινε με την ίδια ακριβώς διαδικασία που περιγράφηκε για τα δείγματα ιζήματος (§2.2.1.). Σε ορισμένα, βέβαια, ολοθούρια δεν υπήρχε επαρκής ποσότητα ιζήματος ή δεν υπήρχε καθόλου ίζημα στους εντερικούς σωλήνες, οπότε δεν πραγματοποιήθηκε η διαδικασία προσδιορισμού του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα.

Ο προσδιορισμός της απορροφητικής ικανότητας του εντέρου των ολοθουρίων στο οργανικό υλικό και στον οργανικό άνθρακα υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο (Conover 1966, Mercier et al. 1999):

$$U' = \frac{F' - T'}{(1 - T') \times F'} \times 100$$

Όπου:

F': το κλάσμα του ΟΥ ή ΟΑ στο πρόσθιο τμήμα του εντέρου

T': το κλάσμα του ΟΥ ή ΟΑ στο οπίσθιο τμήμα του εντέρου



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 2.5. Η διαδικασία ζύγισης (α), αφαίρεσης του εντερικού σωλήνα (β) και των γονάδων (γ) των ολοθουρίων (φωτό συγγραφέα).

2.3. Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων και ψαριών

2.3.1. Ολοθούρια

Στο τέλος του πειράματος λήφθηκαν δείγματα από το σωματικό τοίχωμα των ολοθουρίων (σύνολο 8 δείγματα). Στη συνέχεια έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις προκειμένου να πραγματοποιηθεί η χημική ανάλυση της θρεπτικής σύστασης του σώματός τους. Η στατιστική σύγκριση της θρεπτικής σύστασης και των μορφομετρικών στοιχείων των ολοθουρίων πραγματοποιήθηκε με την μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) (Zar 1986) και το λογισμικό πρόγραμμα MINITAB.

2.3.1.1. Προσδιορισμός υγρασίας/ ξηρής ουσίας

Ο προσδιορισμός υγρασίας/ξηρής ουσίας πραγματοποιήθηκε με τη συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, βάρους 5g και ακολούθως με ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο για 24 ώρες στους 105°C (AOAC 1995). Στη συνέχεια, τα δείγματα βγήκαν από το φούρνο και τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για 5min ώστε να ψυχθούν. Το ποσοστό της υγρασίας/ ξηρής ουσίας υπολογίστηκε ως εξής:

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

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

Όμοια,

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

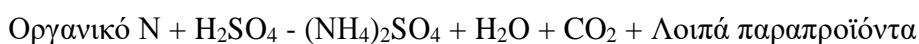
$$\text{Υγρασία \%} = (W_{\text{υγρασία}} \times 100) / W_{\text{δει/τος}}$$

Όπου:

W: Το βάρος των δειγμάτων σε g

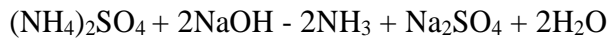
2.3.1.2. Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων

Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl (AOAC 1995). Η διαδικασία προσδιορισμού των αζωτούχων ενώσεων πραγματοποιήθηκε ως εξής: Σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων ζυγίστηκαν δείγματα βάρους 0,2 g και μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης. Προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs (5g Potassium Sulphate K_2SO_4 και 5g copper (II) Sulphate $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) για να επιταχυνθεί η αντίδραση της πέψης. Στη συνέχεια, προστέθηκαν στα δείγματα 15 ml πυκνού θειικού οξέως (H_2SO_4) και τοποθετήθηκαν στη συσκευή πέψης. Η διαδικασία της πέψης πραγματοποιήθηκε στους $150^\circ C$ για 85min. Με τη συσκευή πέψης επιτεύχθηκε το βράσιμο των δειγμάτων και με τη βοήθεια του πυκνού θειικού οξέως πραγματοποιήθηκε διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων. Το αδέσμευτο άζωτο (N) δεσμεύεται με την μορφή θειικού αμμωνίου (άλας), με την εξής αντίδραση:



Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της πέψης τα δείγματα αφέθηκαν να κρυώσουν για 15 min. Κατόπιν, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε συσκευή απόσταξης, στην οποία προστέθηκαν 100 ml αποσταγμένου H_2O , 80 ml NaOH και 50 ml H_3BO_3 . Η διαδικασία διήρκησε 6 min. Το θειικό αμμώνιο, που παράχθηκε κατά τη διαδικασία της πέψης, αντέδρασε με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και αποδεσμεύθηκε αμμωνία (σε αέρια μορφή) και θειικό νάτριο (Na_2SO_4). Η αμμωνία (NH_4) έπειτα αντέδρασε με το

βορικό οξύ (H_3BO_4) και το άζωτο του δείγματος δεσμεύθηκε σε μορφή βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:



Το βορικό αμμώνιο συγκεντρώθηκε σε κωνική φιάλη που περιείχε 4 σταγόνες ερυθρού του μεθυλενίου (δείκτη pH). Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας έχουμε την τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέως (0,1N) υπό καθεστώς συνεχούς κίνησης σύμφωνα με την αντίδραση:



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

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

Όπου:

W: Το βάρος των δειγμάτων σε g

2.3.1.3. Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπαρών ουσιών έγινε με την μέθοδο εκχύλισης Soxhlet (AOAC 1995). Σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν 3 πέτρες βρασμού και καταγράφηκε το βάρος τους σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν στα δοχεία χάρτινοι ηθμοί. Ζυγίστηκε ποσότητα δείγματος βάρους 2 g και μεταφέρθηκε στο χάρτινο δοχείου ηθμού. Το δείγμα του ιστού και της τροφής πρέπει να είναι ξηραμένα και αλεσμένα. Η ξήρανση πραγματοποιείται σε φούρνο στους 105°C για περίπου 24h (μέχρι σταθεροποίησης του βάρους του δείγματος). Στο γυάλινο δοχείο εκχύλισης προστέθηκαν 150 ml πετρελαϊκού αιθέρα, στο οποίο εμβαπτίστηκαν τα χάρτινα δοχεία ηθμού με το δείγμα. Τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης μαζί με τους χάρτινους ηθμούς μεταφέρθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (συσκευή Soxhlet). Κατά τη διαδικασία της εκχύλισης, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150°C υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη, όπου έλαβε χώρα το πρώτο στάδιο της εκχύλισης. Έπειτα, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε και εκπλύθηκε στο δείγμα για 1,5h, όπου έλαβε χώρα το δεύτερο στάδιο της εκχύλισης. Κατόπιν, απορροφήθηκε ο διαλύτης για 15 min με αποτέλεσμα τα ολικά λιπίδια του δείγματος να παραμείνουν στον πάτο του δοχείου εκχύλισης. Για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων πετρελαϊκού αιθέρα τα δοχεία (χωρίς τους χάρτινους ηθμούς) μεταφέρθηκαν στο φούρνο για 15 min στους 105°C. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αφυγραντήρα για τουλάχιστον 1h και πάρθηκαν οι μετρήσεις βάρους. Το καθαρό βάρος των λιπαρών ουσιών δίνεται από τον τύπο:

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

Όπου:

W: Το βάρος των δειγμάτων σε g

2.3.1.4. Προσδιορισμός τέφρας

Σε πυρίμαχα δοχεία ζυγίστηκαν δείγματα πρώτων υλών και ιχθυοτροφών βάρους 1,5 g σε ζυγό ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν τα δείγματα σε αποτεφρωτήρα στους 600°C για 3h (AOAC 1990). Μετά το πέρας 24h τα δείγματα παραμένουν για 1h εκτός αποτεφρωτήρα ώστε να κρυσώσουν. Στη συνέχεια πάρθηκαν μετρήσεις βάρους των δειγμάτων. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε τέφρα (%) υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

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

Όπου:

W: Το βάρος των δειγμάτων σε g

2.3.2. Ψάρια

Στην έναρξη καθώς και στην λήξη της πειραματικής διαδικασίας λήφθηκαν δείγματα από τα εκτρεφόμενα ψάρια. Το μήκος και το βάρος των ιχθύων μετρήθηκε την πρώτη και την τελευταία ημέρα του πειράματος. Για την αναισθητοποίηση των ψαριών χρησιμοποιήθηκε φαινοξυθανόλη σε συγκέντρωση 0,10 ml/l. Στη συνέχεια, ζυγίστηκε ατομικά κάθε ιχθύδιο σε ζυγό ακρίβειας 2 δεκαδικών ψηφίων (0,01 g) και μετρήθηκε το μήκος με ιχθυόμετρο (ακρίβεια 0,1 cm). Στη λήξη του πειράματος τα ψάρια θανατώθηκαν παρατείνοντας την παραμονή τους στο αναισθητικό αυξάνοντας τη δοσολογία και τοποθετώντας τα σε πάγο. Πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις μήκους και βάρους και στη συνέχεια επιλέχθηκαν τυχαία 3 ψάρια από κάθε ενυδρείο (σύνολο 18 δείγματα), αποθηκεύτηκαν και συντηρήθηκαν στους -20°C με σκοπό τη χημική ανάλυση της θρεπτικής σύστασης του σώματός τους (ολόκληρο σώμα).

2.3.2.1. Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής από τα ψάρια

- Θνησιμότητα

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

$$\text{Θνησιμότητα \%} = \frac{(\text{τελικός αριθμός ψαριών} - \text{αρχικός αριθμός ψαριών}) * 100}{\text{τελικό αριθμό ψαριών}}$$

- Αύξηση ολικού βάρους ψαριών

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

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

Όπου:

W: Το βάρος των δειγμάτων σε g

- Ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους

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

$$\text{Ποσοστό αύξησης βάρους (\%)} = \left[\frac{(W_{\text{τελικό}} - W_{\text{αρχικό}})}{W_{\text{αρχικό}}} \right] * 100$$

Όπου:

W: Το βάρος των δειγμάτων σε g

- Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης

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

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

Όπου:

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

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

- Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής

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

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

- Συντελεστής αποδοτικότητας πρωτεϊνών

Ο συντελεστής αποδοτικότητας των πρωτεϊνών (protein efficiency ratio, PER) εκφράζει την αναλογία μεταξύ της αύξησης βάρους των ψαριών και της πρωτεΐνης που καταναλώθηκε. Ο συντελεστής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{PER} = \text{αύξηση βάρους (g)} / \text{πρωτεΐνη που καταναλώθηκε (g)}$$

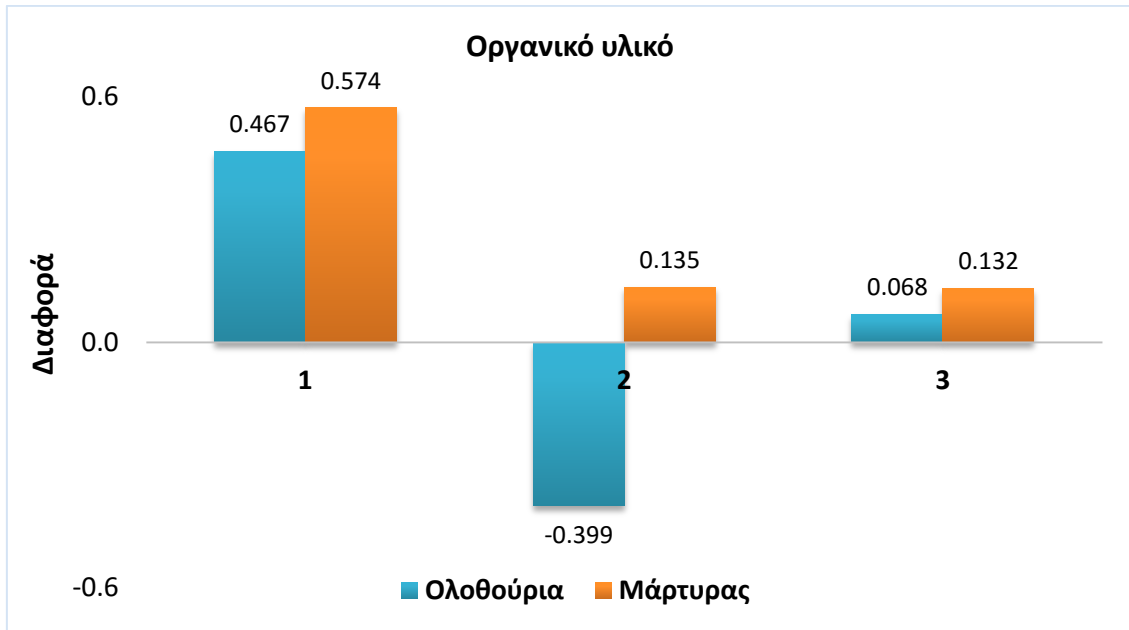
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας στο ίζημα

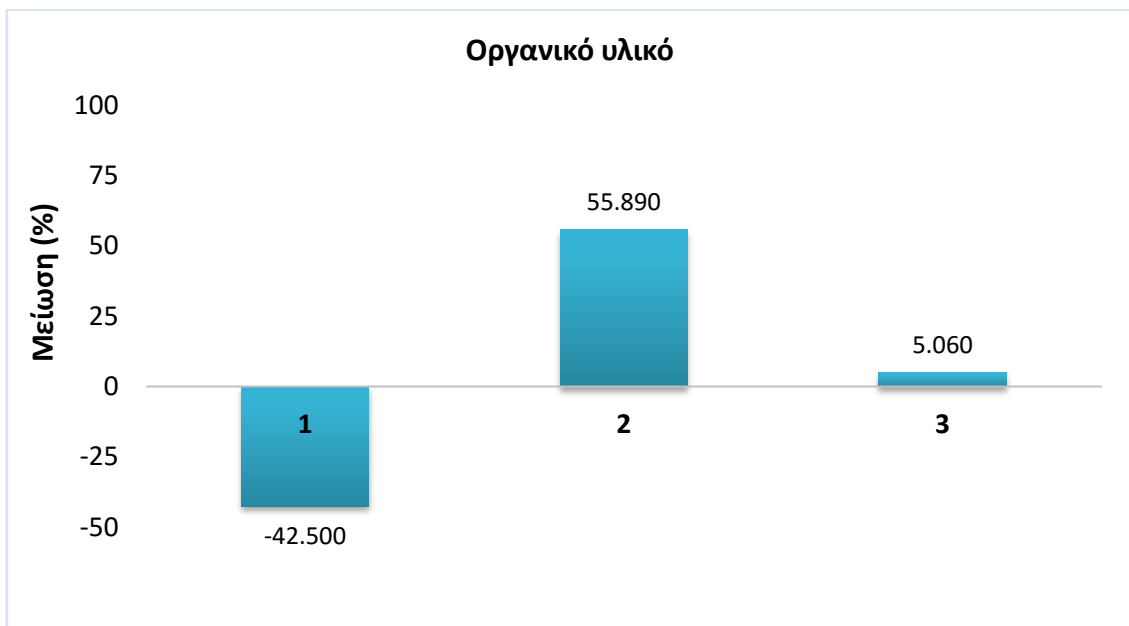
Στον Πίνακα 3.1. δίνεται το εύρος, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του αρχικού και τελικού ποσοστού του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα στο ίζημα των ενυδρείων. Αντίστοιχα, στο Σχήμα 3.1. δίνεται η διαφορά του οργανικού υλικού (τελικό - αρχικό) στο ίζημα των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια, ενώ στο Σχήμα 3.2. δίνεται το ποσοστό μείωσης αυτού στο ίζημα των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια.

Πίνακας 3.1. Εύρος, μέση τιμή (Μ.Τ) και τυπική απόκλιση (Τ.Α) του αρχικού και τελικού ποσοστού του οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα στο ίζημα των ενυδρείων.

Παράμετρος	Ολοθούρια		Μάρτυρας	
	Αρχικό	Τελικό	Αρχικό	Τελικό
Οργανικό υλικό (%)				
Εύρος	0,28-1,80	0,40-1,20	0,34-1,00	0,60-1,20
Μ.Τ. ± Τ.Α.	1,02 ± 0,07	1,01 ± 0,06	1,03 ± 0,06	1,04 ± 0,06
Οργανικός άνθρακας (%)				
Εύρος	0,03-0,18	0,13-0,23	0,03-0,18	0,21-0,25
Μ.Τ. ± Τ.Α.	0,10 ± 0,05	0,18 ± 0,04	0,10 ± 0,05	0,22 ± 0,01



Σχήμα 3.1. Διαφορά του οργανικού υλικού (τελικό-αρχικό) στο ίζημα των τριών συστημάτων ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια.



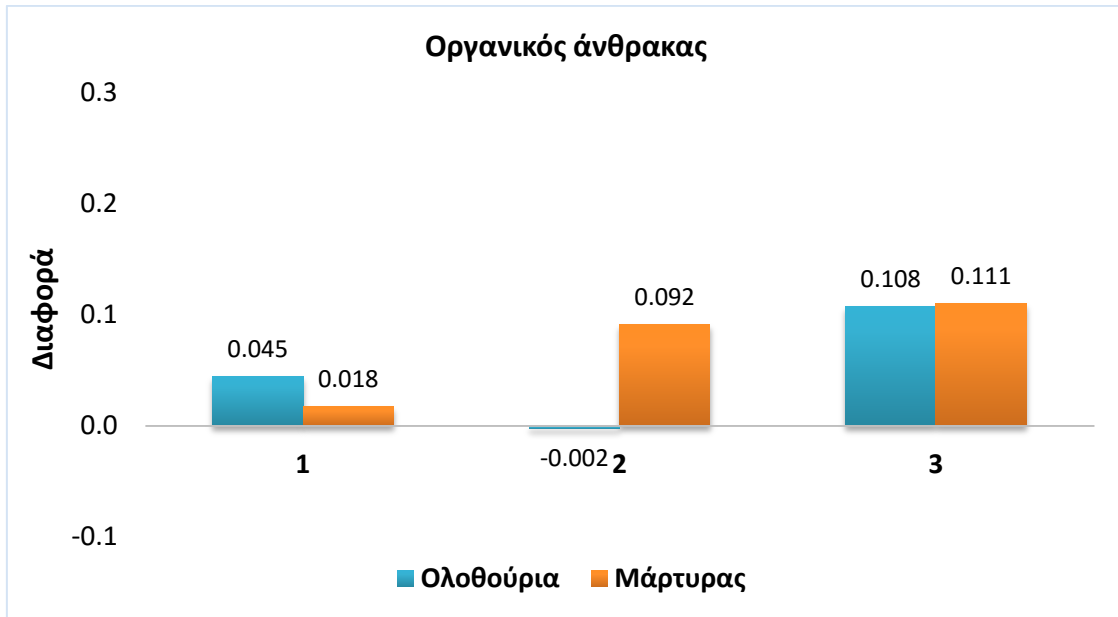
Σχήμα 3.2. Ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού στο ίζημα των τριών συστημάτων ενυδρείων.

Το αρχικό ποσοστό του οργανικού υλικού στα ενυδρεία με και χωρίς ολοθούρια ήταν παρόμοιο, ενώ το τελικό ποσοστό αυτού ήταν χαμηλότερο στα ενυδρεία με τα ολοθούρια σε σχέση με τους μάρτυρες (Πιν. 3.1.), με εξαίρεση το ενυδρείο 1, όπου το τελικό ποσοστό ήταν περίπου όμοιο με το αρχικό.

Επιπλέον, από το Σχήμα 3.2. προκύπτει ότι στο ενυδρείο με τα ολοθούρια του συστήματος 2 καταγράφηκε το υψηλότερο ποσοστό (περίπου 55%) κατανάλωσης του οργανικού υλικού, ενώ στο σύστημα 1 παρατηρήθηκε αύξηση του οργανικού υλικού, σε ποσοστό περίπου 45%. Στο σύστημα 3 υπήρξε πολύ μικρό ποσοστό μείωσης (περίπου 5%).

Τα ανωτέρω επεξηγούνται αν ληφθεί υπόψη ότι, στο σύστημα 1 τα ολοθούρια λόγω όχλησης (δέκα μέρες πριν τελειώσει το πείραμα ένα ψάρι πέρασε το διαχωριστικό δίχτυ και στην προσπάθεια να πιαστεί τα ολοθούρια στρεσαρίστηκαν) έφυγαν από το ίζημα και δεν έτρωγαν. Στο σύστημα 2 παρατηρήθηκε ότι και οι τρεις οργανισμοί καθόλη τη διάρκεια του πειράματος βρίσκονταν στο ίζημα και τρέφονταν κανονικά. Στο σύστημα 3 παρατηρήθηκε το φαινόμενο του εξεντερισμού σε ένα ολοθούριο με αποτέλεσμα το στρεσάρισμα ενός άλλου αφού μόνο το ένα ολοθούριο βρισκόταν στο ίζημα και τρέφονταν κανονικά. Το τελικό ποσοστό επιβίωσης των ολοθουρίων έφθασε στο 88,89% (μόλις μια απώλεια με εξεντερισμό στο σύστημα 3).

Στο Σχήμα 3.3. δίνεται η διαφορά του οργανικού άνθρακα (τελικό-αρχικό) στο ίζημα των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια, ενώ στο Σχήμα 3.4. δίνεται το ποσοστό μείωσης αυτού στο ίζημα των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια.



Σχήμα 3.3. Διαφορά του οργανικού άνθρακα (τελικό-αρχικό) στο ίζημα των τριών συστημάτων ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια.



Σχήμα 3.4. Ποσοστό μείωσης του οργανικού άνθρακα στο ίζημα των τριών συστημάτων ενυδρείων.

Στον Πίνακα 3.2. δίνεται η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) του περιεχόμενου οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα (τελικό-αρχικό) στο ίζημα μεταξύ των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια.

Πίνακας 3.2. Σύγκριση του περιεχόμενου οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα στο ίζημα μεταξύ των ενυδρείων (ολοθούρια & μάρτυρας) (d.f.: Βαθμοί ελευθερίας, F: Λόγος, P level: Επίπεδο σημαντικότητας).

<i>H. tubulosa</i>			
Μεταβλητή	d.f.	Ενυδρείο	
		F	P level
Οργανικό υλικό (%)	5	14.42	P<0,05
Οργανικός άνθρακας (%)	5	5.16	ΜΣ

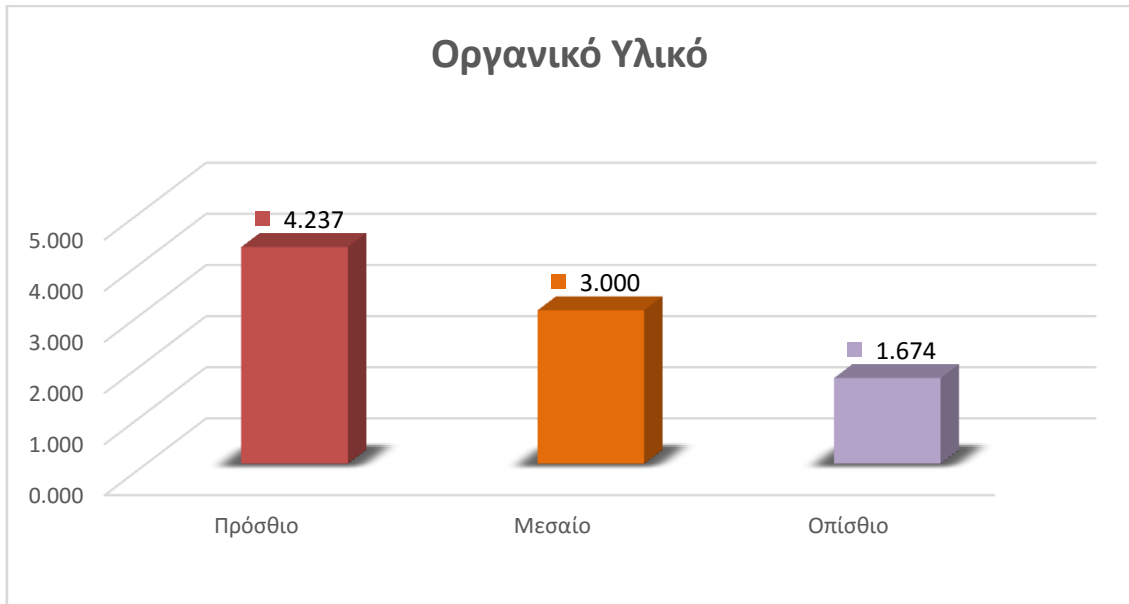
Η στατιστική ανάλυση έδειξε σημαντικές διαφορές μόνο στα ποσοστά του οργανικού υλικού μεταξύ των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια (Πιν 3.2.).

Το αρχικό ποσοστό του οργανικού άνθρακα στα ενυδρεία με και χωρίς ολοθούρια ήταν παρόμοιο, ενώ το τελικό ποσοστό αυτού ήταν χαμηλότερο στα ενυδρεία με τα ολοθούρια σε σχέση με τους μάρτυρες (Πιν. 3.1.), με εξαίρεση το σύστημα 1 όπου παρατηρήθηκε αύξηση.

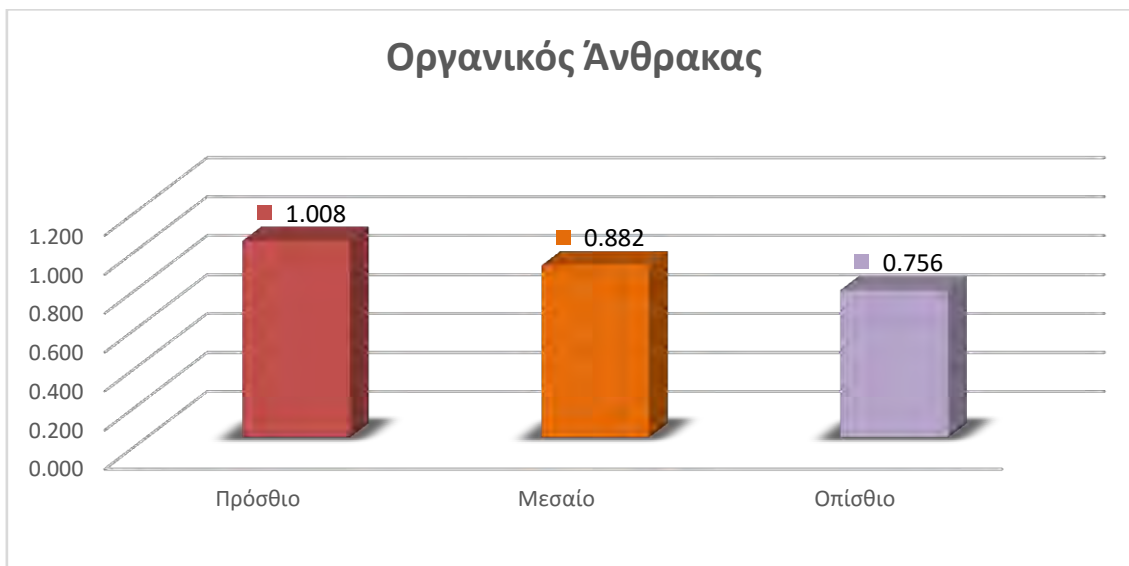
Το ποσοστό μείωσης του οργανικού άνθρακα στο σύστημα 2 ήταν περίπου 77%, στο σύστημα 3 33% ενώ στο σύστημα 1 παρατηρήθηκε αύξηση περίπου ίση με 33% (Σχ. 3.4.). Στο σύστημα 2 η μηνιαία κατανάλωση οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα ανά κιλό (kgr) ολοθουρίων (ολικό βάρος ολοθουρίων με νερό) έφτασε τα 1,32 g/m² και 0,01 g/m², αντίστοιχα. Τα ποσοστά μείωσης για το οργανικό υλικό ήταν 66,16% και για τον οργανικό άνθρακα 102,17%.

3.2. Απορροφητική ικανότητα του εντέρου των ολοθουρίων.

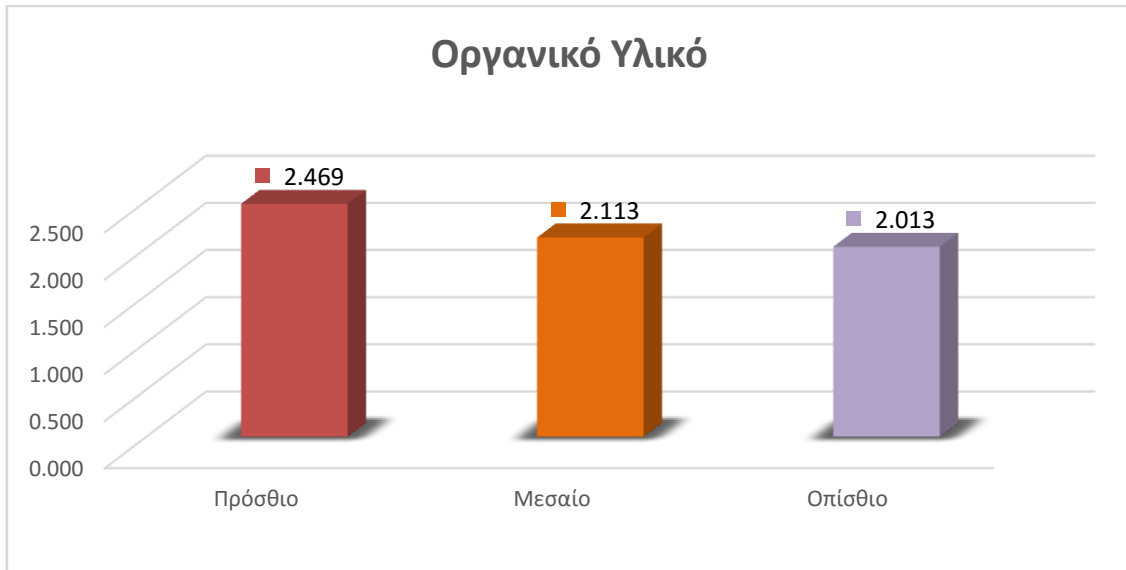
Κατά τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας διαπιστώθηκε ότι στο σύστημα 1, στα δύο από τα τρία ολοθούρια δεν υπήρξε επαρκής ποσότητα ιζήματος στον εντερικό σωλήνα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι τα ολοθούρια δεν τρέφονταν λόγω της όχλησης που δέχθηκαν και για αυτό το λόγο δεν υπήρξε μείωση του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα, όπως εξάλλου φάνηκε στις μετρήσεις που προαναφέρθηκαν. Στο σύστημα 3 ο διαχωρισμός του εντερικού σωλήνα έγινε σε ένα μόνο ολοθούριο λόγω του εξεντερισμού που πραγματοποιήθηκε σ' ένα εξ αυτών. Ωστόσο, βλέποντας τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι σε αυτό το ενυδρείο υπήρχε μείωση στον οργανικό υλικό και στον οργανικό άνθρακα. Αυτό εξηγείται καταρχάς από το γεγονός ότι αυτό το ολοθούριο τρέφονταν καθόλη την διάρκεια του πειράματος, σε αντίθεση με το ολοθούριο του συστήματος 1 το οποίο τις δέκα τελευταίες μέρες δεν βρισκόταν στο ίζημα, καθώς επίσης και από την ποσότητα ιζήματος που βρέθηκε στο έντερο του (ήταν κατά πολύ περισσότερη από του ολοθουρίου του συστήματος 1) και από την απορροφητική ικανότητα του εντέρου του το οποίο μας δίνει πολύ χαμηλότερες τιμές. Στα Σχήματα 3.5. - 3.14. δίνεται το ποσοστό του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα στα τρία τμήματα (πρόσθιο, μεσαίο, οπίσθιο) του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων ενώ στο Σχήμα 3.15. δίνεται η απορροφητική ικανότητα του συνόλου του εντέρου του κάθε ολοθουρίου και για το οργανικό υλικό και για τον οργανικό άνθρακα. Επίσης, στο Σχήμα 3.16. δίνεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της απορροφητικής ικανότητας του εντέρου του *H.tubulosa* στο οργανικό υλικό και στον οργανικό άνθρακα και στα Σχήματα 3.17. και 3.18. δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της απορρόφησης σε οργανικό υλικό και οργανικό άνθρακα, ανά τμήμα του εντέρου, στο σύνολο των ολοθουρίων.



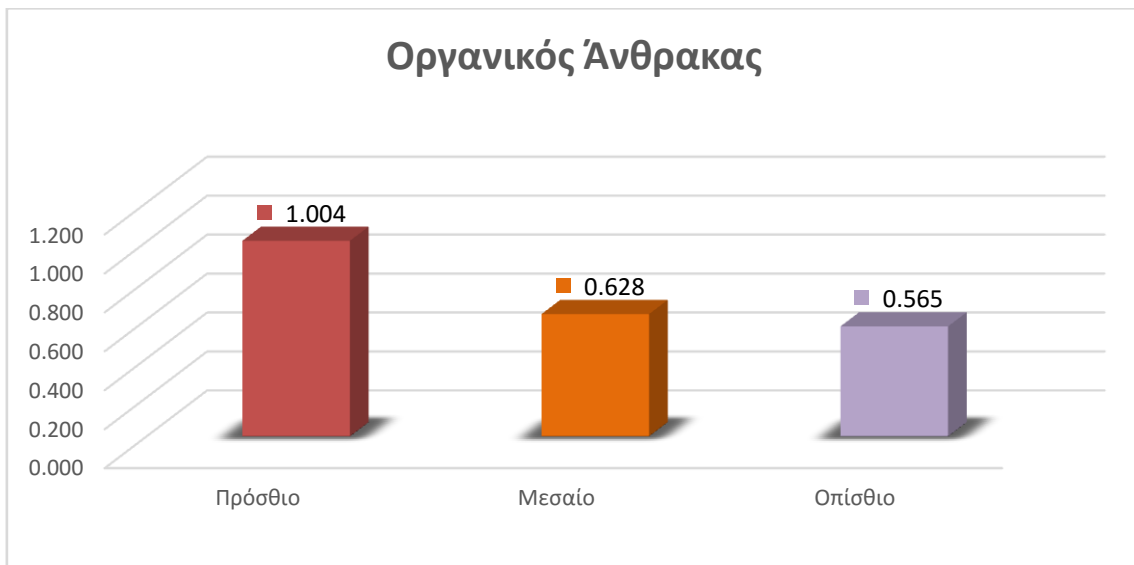
Σχήμα 3.5. Το ποσοστό οργανικού υλικού στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθυρίου 3 του συστήματος 1.



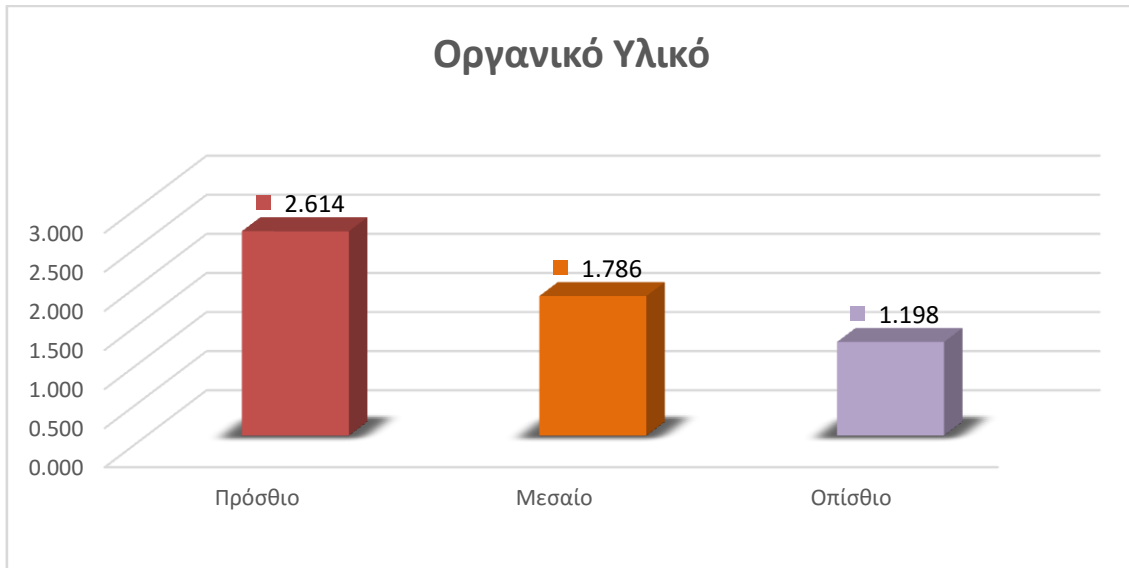
Σχήμα 3.6. Το ποσοστό οργανικού άνθρακα στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθυρίου 3 του συστήματος 1.



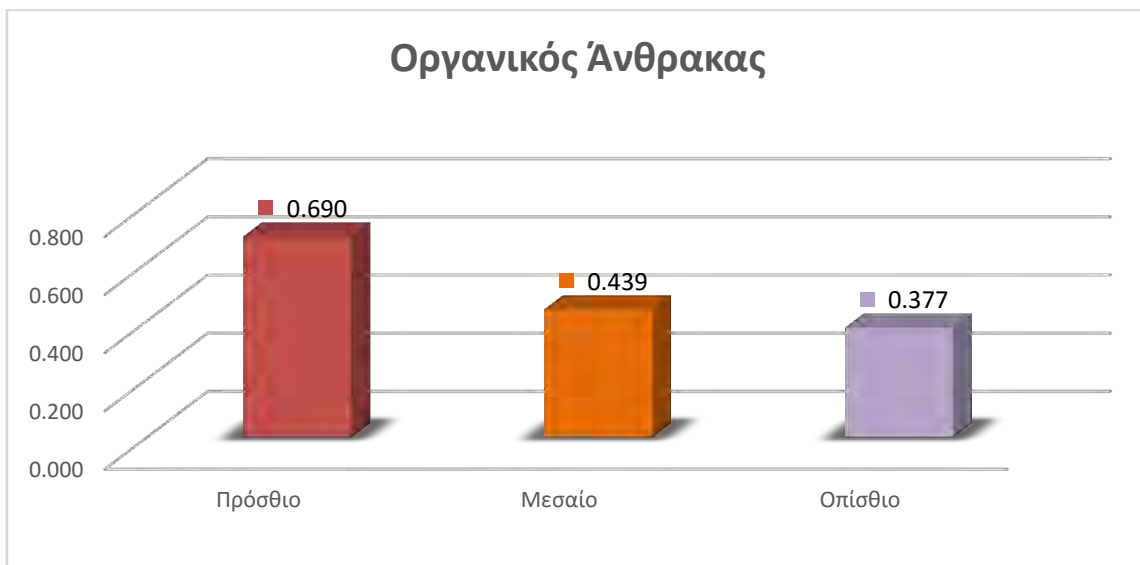
Σχήμα 3.7. Το ποσοστό οργανικού υλικού στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθουρίου 4 του συστήματος 2.



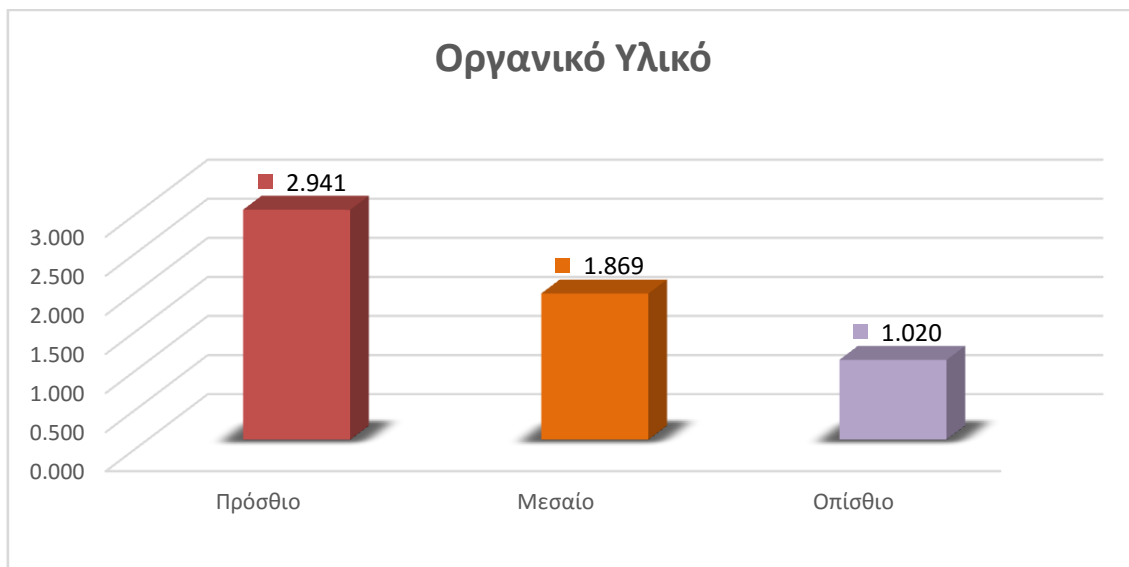
Σχήμα 3.8. Το ποσοστό οργανικού άνθρακα στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθουρίου 4 του συστήματος 2.



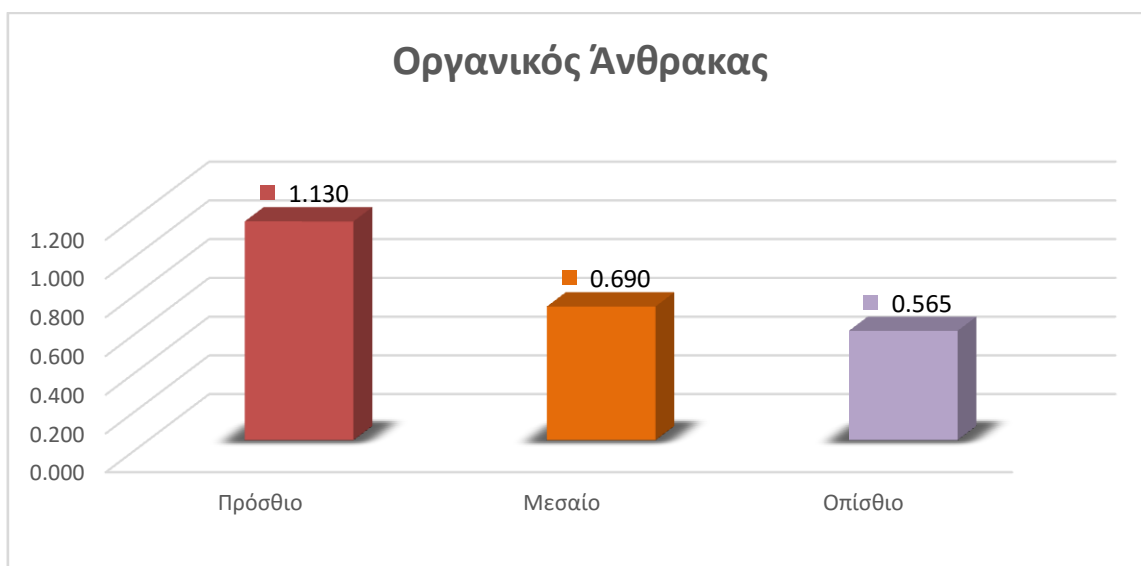
Σχήμα 3.9. Το ποσοστό οργανικού υλικού στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθουρίου 5 του συστήματος 2.



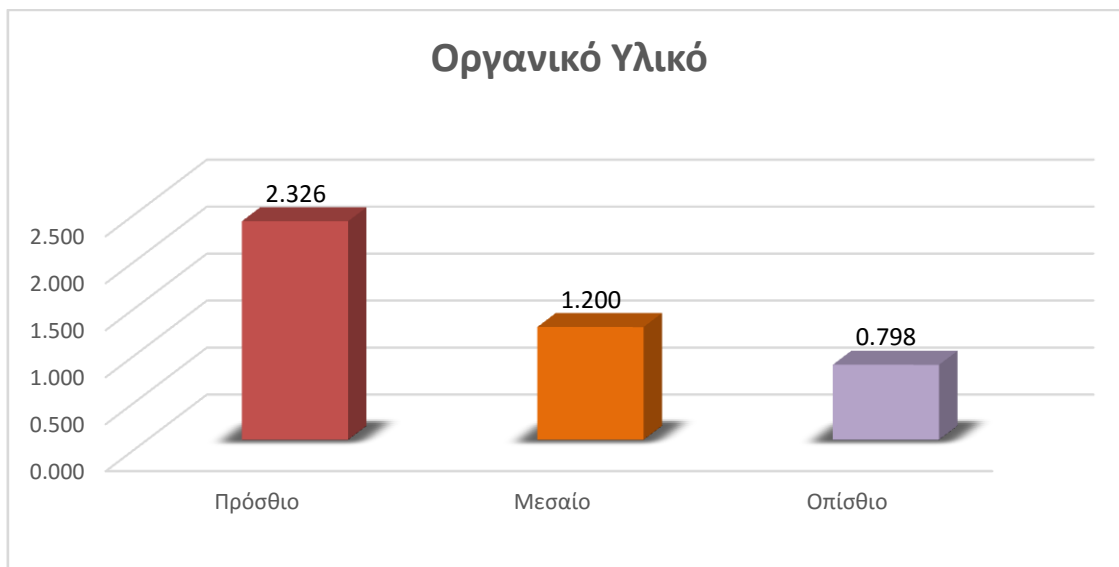
Σχήμα 3.10. Το ποσοστό οργανικού άνθρακα στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθουρίου 5 του συστήματος 2.



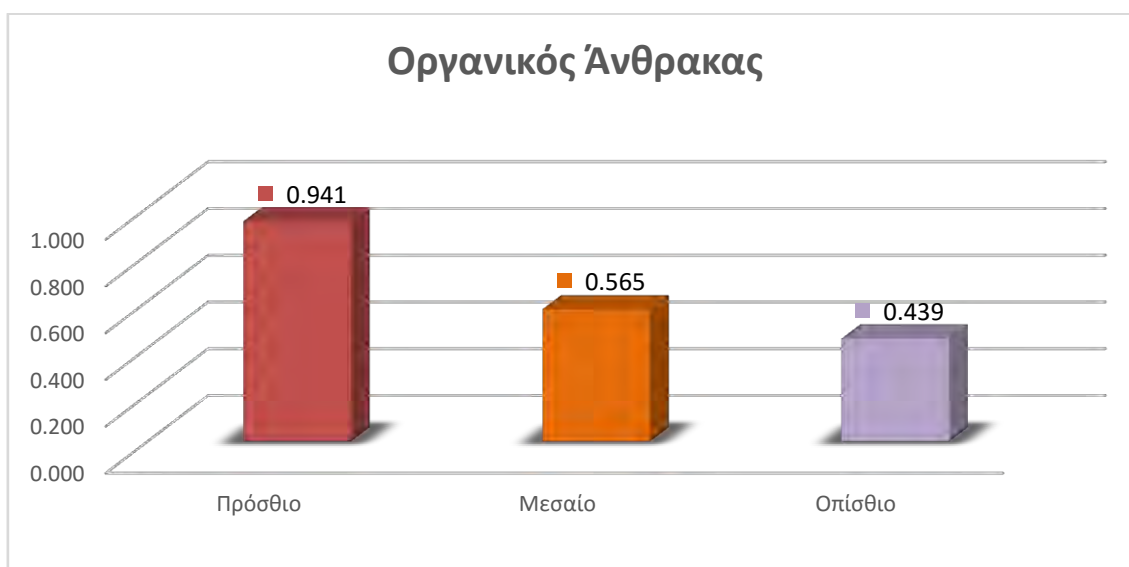
Σχήμα 3.11. Το ποσοστό οργανικού υλικού στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθουρίου 6 του συστήματος 2.



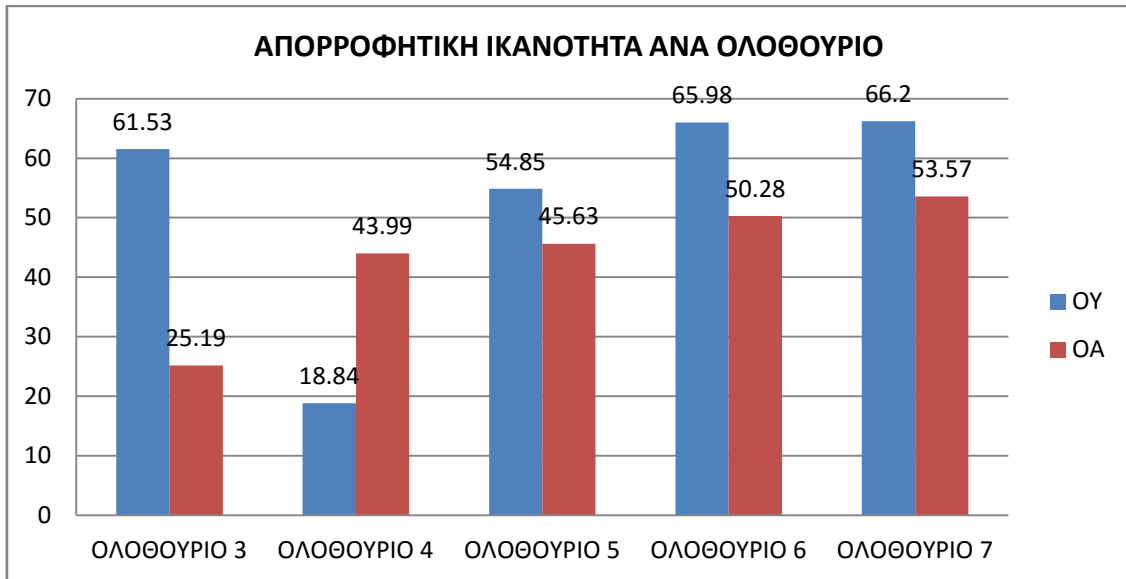
Σχήμα 3.12. Το ποσοστό οργανικού άνθρακα στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθουρίου 6 του συστήματος 2.



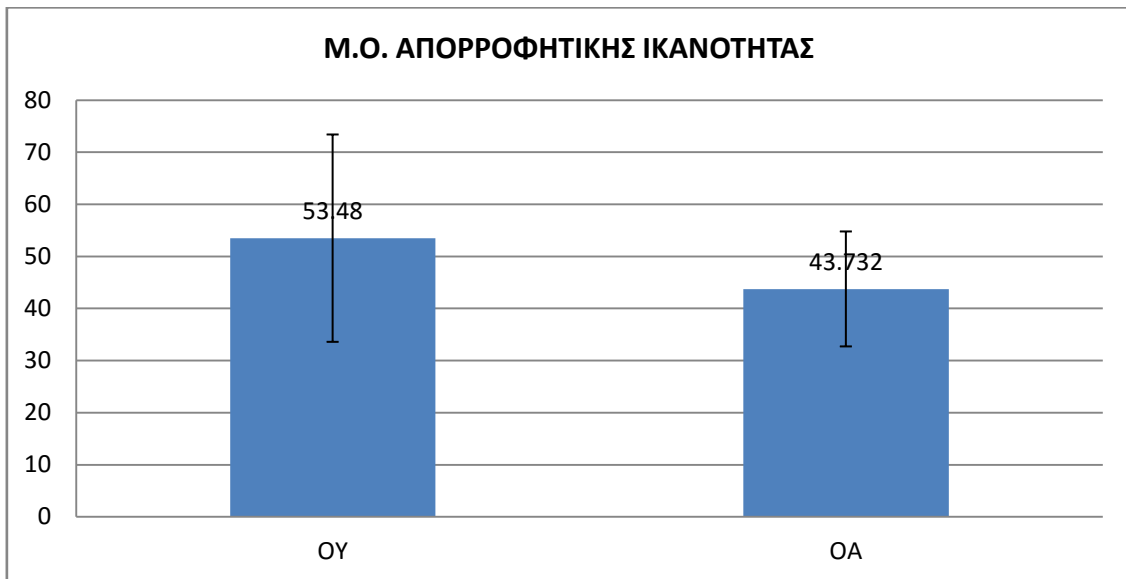
Σχήμα 3.13. Το ποσοστό οργανικού υλικού στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθουρίου 7 του συστήματος 3.



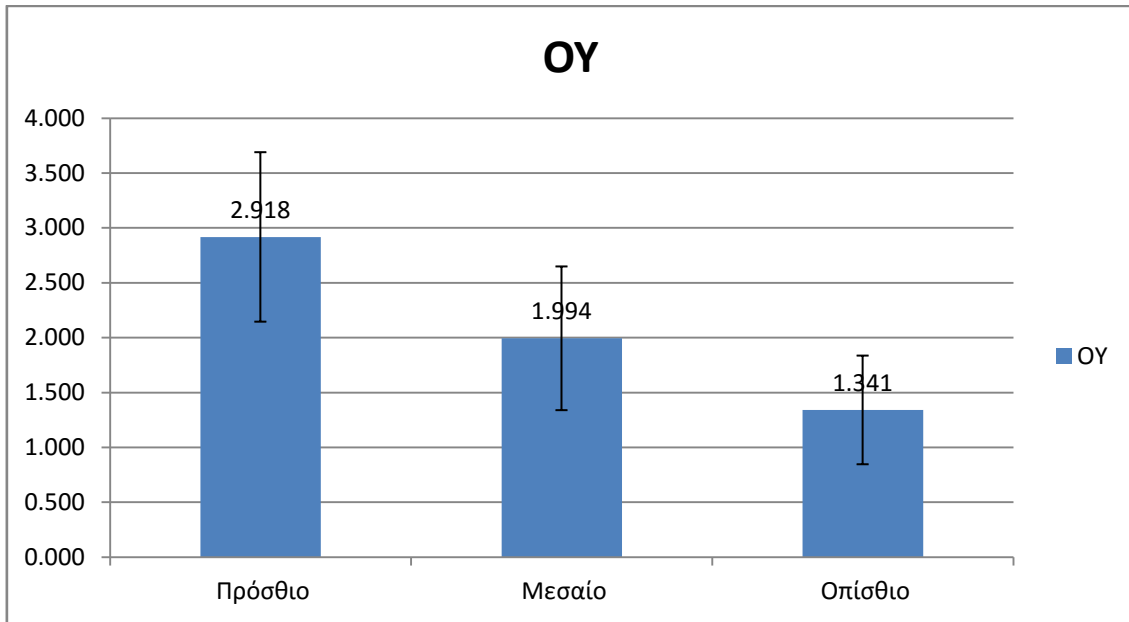
Σχήμα 3.14. Το ποσοστό οργανικού άνθρακα στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου του ολοθουρίου 7 του συστήματος 3.



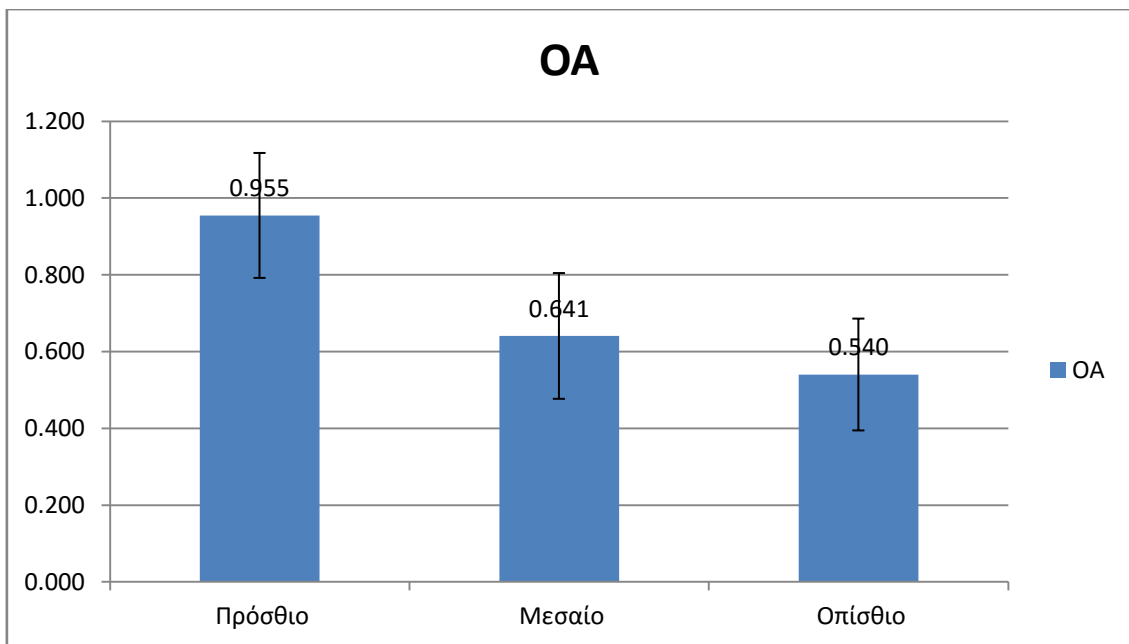
Σχήμα 3.15. Η απορροφητικότητα του συνόλου του εντερικού σωλήνα σε οργανικό υλικό και οργανικό άνθρακα για κάθε ολοθούριο.



Σχήμα 3.16. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση της απορροφητικής ικανότητας του εντέρου του *H. tubulosa* στο οργανικό υλικό και στον οργανικό άνθρακα.



Σχήμα 3.17. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση της απορρόφησης σε οργανικό υλικό ανά τμήμα του εντέρου στο σύνολο των ολοθυρίων.



Σχήμα 3.18. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση της απορρόφησης σε οργανικό άνθρακα ανά τμήμα του εντέρου στο σύνολο των ολοθυρίων.

Η απορροφητική ικανότητα του εντέρου του ολοθουρίου *H. tubulosa* έφθασε στο 66,20% για το οργανικό υλικό και στο 53,57% για τον οργανικό άνθρακα. Το ποσοστό του οργανικού υλικού στον εντερικό σωλήνα των ολοθουρίων κυμάνθηκε από 1,58 - 2,45% και του οργανικού άνθρακα από 0,29 - 0,81%. Το ποσοστό του οργανικού υλικού στον εντερικό σωλήνα των ολοθουρίων στο σύστημα 2 ήταν 2,10% και του οργανικού άνθρακα 0,58%, ενώ στο σύστημα 3 ήταν 2,04% και 0,55%, αντίστοιχα.

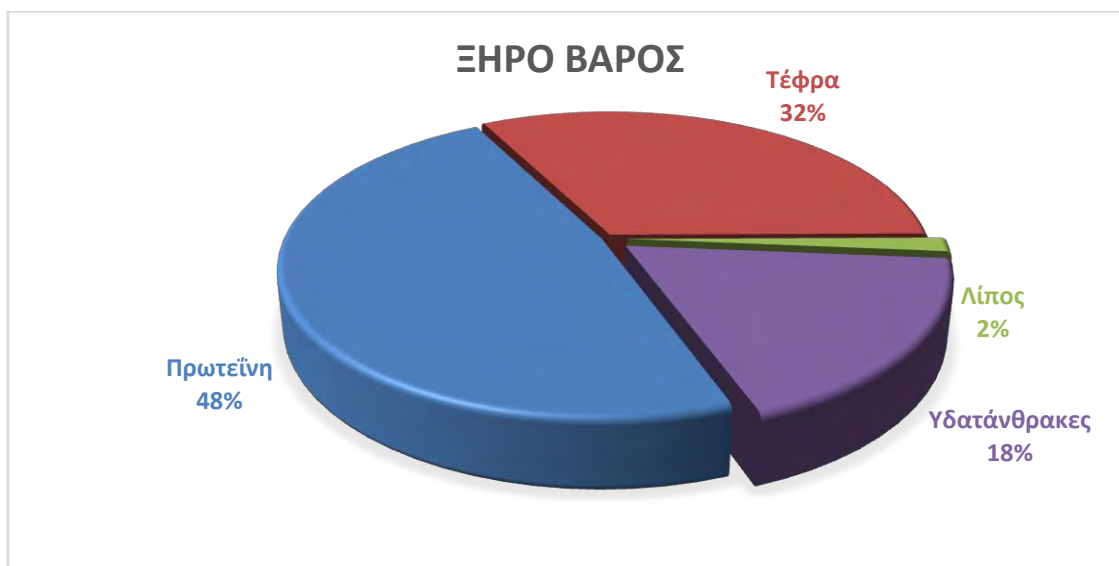
3.3. Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων

Κατά τη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας καταγράφηκε και η σύσταση του σωματικού τοιχώματος των ολοθουρίων στα διάφορα μακροθρεπτικά συστατικά. Η σύσταση αυτή τόσο σε νωπό όσο και σε ξηρό βάρος απεικονίζεται συνοπτικά στον παρακάτω Πίνακα 3.3. Από τις τιμές αυτές υπολογίστηκε το μέσο ποσοστό μακροθρεπτικών συστατικών στο σωματικό τοίχωμα των ολοθουρίων το οποίο και φαίνεται στο Σχήμα 3.19.

Αναλύοντας τον Πίνακα 3.3. και το Σχήμα 3.19. διαπιστώνεται ότι η περιεκτικότητα του *H. tubulosa* σε υγρασία κυμάνθηκε μεταξύ 82,38-87,38% επί του νωπού βάρους και 82,98-87,38% επί του ξηρού. Οι πρωτεΐνες κυμάνθηκαν στο 6,42-8,75% επί του νωπού βάρους και 42,25-57,38% επί του ξηρού. Η περιεκτικότητα του *H. tubulosa* σε λίπη ήταν από 0,13-0,32% επί του νωπού βάρους και 0,88-2,07% επί του ξηρού. Η περιεκτικότητα σε τέφρα κυμάνθηκε από 3,63-5,40% επί του νωπού βάρους και 28,80-34,20% επί του ξηρού. Η περιεκτικότητα, τέλος, του είδους σε υδατάνθρακες κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 1,56-3,46 επί νωπού βάρους και 12,39-22,02% επί ξηρού.

Πίνακας 3.3. Το εύρος, η μέση τιμή (Μ.Τ) και η τυπική απόκλιση (Τ.Α) των θρεπτικών συστατικών του σωματικού τοιχώματος του ολοθουρίου *H. tubulosa*.

Μακροθρεπτικά Συστατικά					
	Υγρασία %	Πρωτεΐνη %	Λίπος %	Τέφρα %	Υδατάνθρακας%
Επί νοπού βάρους					
Εύρος	82,38-87,38	6,42-8,75	0,13-0,32	3,63-5,40	1,56-3,46
Μ.Τ±Τ.Α	84,95±1,38	7,19±0,77	0,22±0,06	4,89±0,58	2,75±0,59
Επί ξηρού βάρους					
Εύρος	82,98-87,38	42,25-57,38	0,88-2,07	28,80-34,20	12,39-22,02
Μ.Τ±Τ.Α	84,95±1,38	47,95±4,93	1,47±0,37	32,46±1,97	18,12±3,20



Σχήμα 3.19. Μέσο ποσοστό μακροθρεπτικών συστατικών στο σωματικό τοίχωμα του ολοθουρίου *H. tubulosa*.

3.4. Μορφομετρικά Στοιχεία

Στον Πίνακα 3.4. δίνονται τα μορφομετρικά στοιχεία των 8 ολοθούριων που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα και επιβίωσαν. Με τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων κατέστη σαφές ότι δεν υπήρξε διαφοροποίηση ($P > 0,05$) στις μορφομετρικές παραμέτρους του Πίνακα 3.4. σε σχέση με το φύλο (Αρσενικό-Θηλυκό).

Αξίζει να επισημανθεί ότι δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών στα συνολικά οκτώ (8) ολοθούρια ($P > 0,05$). Η στατιστική επεξεργασία (correlation) της θρεπτικής σύστασης με τα μορφομετρικά στοιχεία των ολοθούριων (Πιν. 3.4.) δεν έδειξε κάποια ισχυρή συσχέτιση ($R^2 < 0,5$) μεταξύ τους. Στο Σχήμα 3.18. δίνεται η μέση τιμή των μορφομετρικών στοιχείων των 8 ολοθούριων που χρησιμοποιήθηκαν και επιβίωσαν στο πείραμα εκτροφής. Η μέση τιμή του ολικού μήκους τους ήταν $19,70 \pm 2,50$ cm και του ολικού βάρους $251,90 \pm 61,20$ g. Το βάρος του σωματικού τους τοιχώματος ήταν $115,00 \pm 27,80$ g.

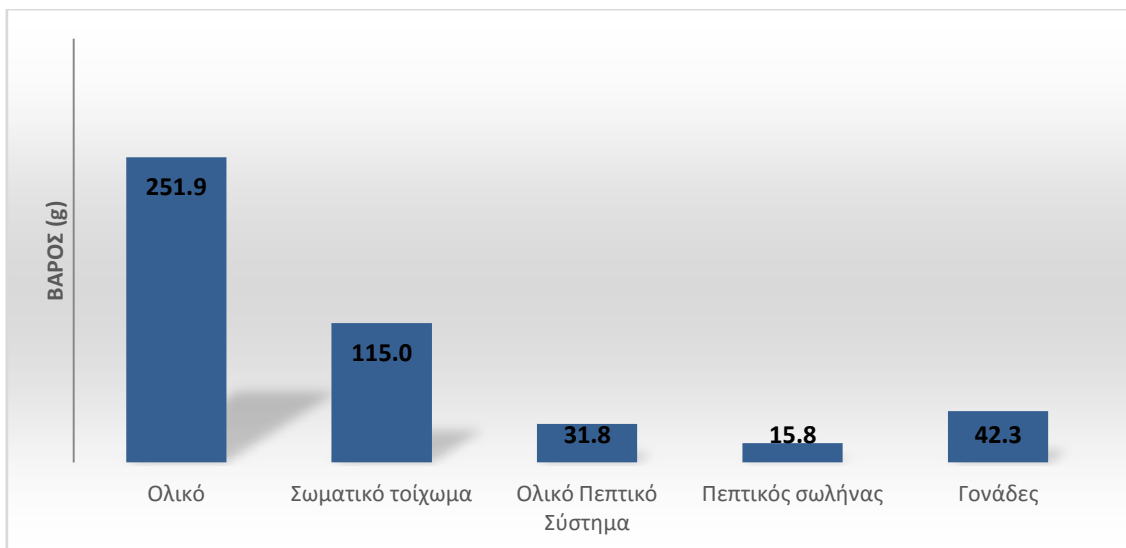
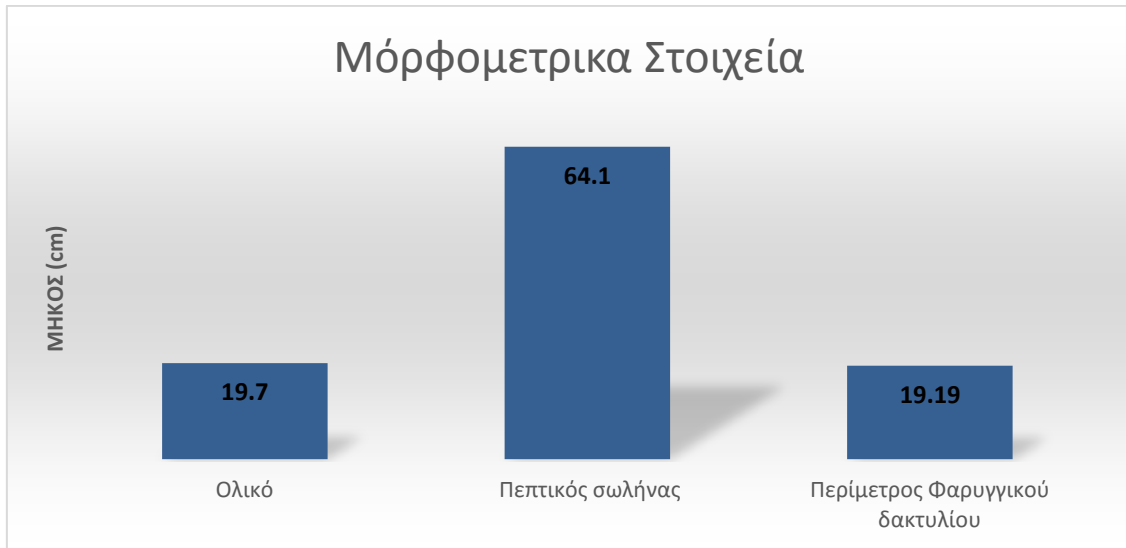
3.5. Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής των ψαριών

Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στις παραμέτρους ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής των ψαριών μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων του πειράματος (ενυδρεία με και χωρίς ολοθουρία), δεν έδειξε σημαντικές διαφορές ($P > 0,05$). Για τον λόγο αυτό οι τιμές απ' όλα τα ενυδρεία ενοποιήθηκαν και ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων που δίνονται στον Πίνακα 3.5.

Κατά την έναρξη του πειράματος το μέσο μήκος και βάρος των ψαριών στο σύνολο των ενυδρείων ήταν $8,35 \pm 0,083$ cm και $7,21 \pm 0,09$ g, αντίστοιχα, ενώ στο τέλος ήταν $9,45 \pm 0,07$ cm και $11,37 \pm 0,16$ g, αντίστοιχα (Πίν 3.5.).

Πίνακας 3.4. Μορφομετρικά στοιχεία των ολοθουρίων *H. tubulosa*.

ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ										
Ενυδρείο	Όνομα δείγματος	Ολικό Μήκος (cm)	Ολικό Βάρος (g)	Βάρος σωματικού τοιχώματος (g)	Βάρος ολικό πεπτικού συστήματος (g)	Μήκος πεπτικού σωλήνα (cm)	Βάρος πεπτικού σωλήνα (g)	Περίμετρος φαρυγγικού δακτυλίου (mm)	Βάρος γονάδων (g)	Φύλο
1a	1	15,8	165,63	80,96	27,45	53,50	4,65	16,31	5,06	A
1a	2	22,0	332,62	148,73	30,10	53,00	10,00	19,67	77,32	Θ
1a	3	23,5	339,64	131,78	42,87	62,50	17,83	21,96	89,34	Θ
2a	4	19,5	265,04	152,92	29,07	63,00	16,07	20,14	27,53	A
2a	5	17,5	228,46	96,04	22,34	53,50	15,07	20,56	47,75	Θ
2a	6	20,1	265,11	114,83	38,30	74,50	18,91	25,00	15,19	A
3a	7	20,5	213,12	83,33	48,45	73,50	36,52	19,79	51,18	A
3a	8	18,5	205,40	111,37	16,27	79,00	7,28	20,06	25,19	A



Σχήμα 3.20. Μέση τιμή μορφομετρικών στοιχείων των ολοθουρίων.

Ο συντελεστής αποδοτικότητας της πρωτεΐνης (PER) ήταν $1,30 \pm 0,04$ (Πίν 3.5). Το μέσο ποσοστό της πρωτεΐνης που υπολογίστηκε στα αρχικά και τελικά δείγματα των ψαριών ήταν $58,14 \pm 0,00\%$ και $52,30 \pm 0,00\%$, αντίστοιχα. Η αύξηση στην περιεκτικότητα της πρωτεΐνης στο σώμα των ψαριών στο τέλος του πειράματος ήταν

1,76±0,06, ενώ η κατακράτηση της πρωτεΐνης στο σώμα των ψαριών έφθασε το 98,01±2,79% (Πίν 3.5.).

Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στις παραμέτρους ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής των ψαριών μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων του πειράματος (ενυδρεία με και χωρίς ολοθουρία), δεν έδειξε σημαντικές διαφορές ($P>0.05$). Για τον λόγο αυτό οι τιμές απ' όλα τα ενυδρεία ενοποιήθηκαν και ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων που δίνονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5. Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης τροφής των ψαριών (οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπική απόκλιση).

Επιβίωση (%)	98,01±2,79
Αρχικό Βάρος (g)	7,21±0,09
Τελικό Βάρος (g)	11,38±0,16
Αρχικό μήκος (cm)	8,35±0,083
Τελικό μήκος (cm)	9,45±0,068
Αύξηση βάρους (WG, g)	4,17±0,12
Κατανάλωση τροφής (g/ιχθύ)	5,83±0,10
FCR	1,40±0,04
SGR (%/ημέρα)	1,76±0,04
PER	1,30±0,04
Αρχική πρωτεΐνη σώματος (%)	58,14±0,00
Τελική πρωτεΐνη σώματος (%)	52,30±0,00
Αύξηση πρωτεΐνης στο σώμα (PG)	1,76±0,06
Κατακράτηση πρωτεΐνης (%)	98,01±2,79

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας στο ίζημα

Παρόμοιες προσπάθειες πειραματικής εκτροφής του είδους *Holothuria tubulosa* σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες με σκοπό την εκτίμηση της ανακύκλωσης του οργανικού υλικού έχουν πραγματοποιηθεί κατά το παρελθόν από διάφορους επιστήμονες (Isgoren-Emiroglu & Gunay 2007, Costa et al. 2014). Σύμφωνα με τους Costa et al. (2014), τα ολοθούρια του είδους *H. tubulosa* μπορούν να καταναλώσουν από 30% μέχρι και 100% από τα θρύμματα που παράγονται σε λειμώνες Ποσειδωνίας. Επηρεάζουν δηλαδή σε σημαντικό βαθμό την εναπόθεση οργανικού υλικού σε επιφανειακά ιζήματα, προερχόμενο από τα λιβάδια Ποσειδωνίας. Οι Coulon & Jangoux (1993), αναφέρουν ότι ενήλικα άτομα του είδους *H. tubulosa*, μέσω του τρόπου διατροφής τους μπορούν να καταναλώσουν >17 Kg ξηρού βάρους ιζήματος/έτος. Στην παρούσα εργασία ο μέσος όρος κατανάλωσης ιζήματος ήταν 11,6 kg/έτος, ενώ σε ορισμένα ολοθούρια έφτασε τα 17,7 kg/έτος, τιμή που συμφωνεί με την προαναφερθείσα έρευνα. Οι Nikolaou et al. (2015), σε προκαταρκτική έρευνα που διεξήχθη σε δύο ιχθυοκαλλιεργητικές μονάδες αναφέρουν ότι το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού έφθασε στο 40% και 38% στην περιοχή της Μηλίνας και στις Νίες, ενώ του οργανικού άνθρακα έφθασε στο 55% και 42%, αντίστοιχα.

Ο Mahmoud (2011), πραγματοποίησε έρευνα πεδίου τοποθετώντας κλωβούς με διαφορετικούς αριθμούς ατόμων ολοθουρίων (60, 9 και 0 άτομα), με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης του είδους *Actinopyga mauritiana* στο οργανικό φορτίο της περιοχής. Ο μέσος όρος του οργανικού άνθρακα στους κλωβούς με 60 και 9 άτομα ήταν 3,22 mg C g⁻¹ και 4,62 mg C g⁻¹, αντίστοιχα, ενώ για τους κλωβούς που δεν περιείχαν ολοθούρια τα επίπεδα του οργανικού άνθρακα ήταν 5,24 mg C g⁻¹. Σε παλαιότερη δημοσιευμένη

ερευνά, για το είδος *Stichopus japonicus*, διαπιστώθηκε ότι τα επίπεδα του οργανικού άνθρακα στο ίζημα των ενυδρείων με ολοθούρια ήταν ελαφρώς χαμηλότερα από ότι στους μάρτυρες. Στη συγκεκριμένη έρευνα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στα 0,5, 1,0 και 1,5 cm ιζήματος και δε διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο περιεχόμενο του οργανικού άνθρακα μεταξύ των στρωμάτων του ιζήματος 1,0 και 1,5 cm για τα ενυδρεία με και χωρίς ολοθούρια (Kitano et al. 2003). Επίσης, αναφέρουν ότι τα ολοθούρια μέσω της διατροφικής τους δραστηριότητας αυξάνουν τη συγκέντρωση του οξυγόνου στο ίζημα.

Σε ότι αφορά την παρούσα έρευνα, στο σύστημα 2 παρατηρήθηκε ότι όλα τα ολοθούρια βρισκόντουσαν στην επιφάνεια του ιζήματος καθώς και λίγο κάτω από αυτό (Εικ. 4.1.). Η συμπεριφορά αυτή, είχε ως αποτέλεσμα στο σύστημα αυτό να παρατηρηθεί το υψηλότερο ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού (περίπου 55%). Στο τέλος του πειράματος η μηνιαία κατανάλωση οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα ανά κιλό (kg) ολοθουρίων (ολικό βάρος ολοθουρίων με νερό) έφτασε τα 1,32 g/m² και 0,01 g/m² αντίστοιχα. Τα ποσοστά μείωσης για το οργανικό υλικό ήταν 66,16% και για τον οργανικό άνθρακα 102,17%. Τα αποτελέσματα του συστήματος 2 συμφωνούν με εκείνα των Kitano et al. (2003), όπου αναφέρουν ότι η επίδραση των ολοθουρίων στη μείωση του οργανικού φορτίου λαμβάνει χώρα από την επιφάνεια του ιζήματος έως και 3 εκατοστά κάτω από αυτή.

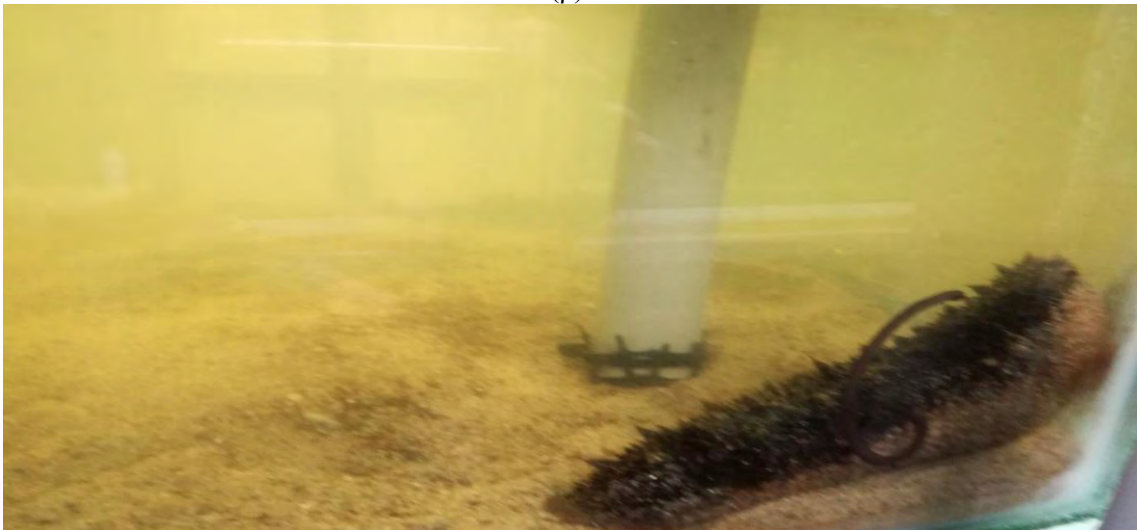
Στο σύστημα 3 (Εικ 4.2.) παρατηρήθηκε μικρότερη μείωση του οργανικού υλικού σε σύγκριση με το σύστημα 2. Συγκεκριμένα, στο σύστημα 3 το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού ήταν κατά πολύ μικρότερο (περίπου 5%) έναντι αυτής του συστήματος 2 (περίπου 55%).



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 4.1. Τα ολοθούρια 4(α), 5(β) και 6(γ) του συστήματος 2 (φωτό συγγραφέα).

Η διαφοροποίηση αυτή πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι στο σύστημα 2 και τα τρία ολοθούρια τρέφονταν κανονικά, ενώ στο σύστημα 3 τρέφονταν κανονικά μόνο το ένα λόγω εξεντερισμού-απώλειας του ενός και συνθηκών στρεσαρίσματος του άλλου. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται και στην έρευνά του Αντωνίου (2016), όπου το χαμηλότερο ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού καταγράφηκε στο σύστημα που παρατηρήθηκε το φαινόμενο του εξεντερισμού.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως στο σύστημα 1 (Εικ. 4.3.), στο οποίο τα ολοθούρια λόγω στρεσαρίσματος δεν τρέφονταν (μία τσιπούρα διαπέρασε την διαχωριστική σίτα), καταγράφηκε αύξηση του οργανικού υλικού, σε ποσοστό περίπου 45%, και αύξηση του οργανικού άνθρακα σε ποσοστό περίπου 33%.

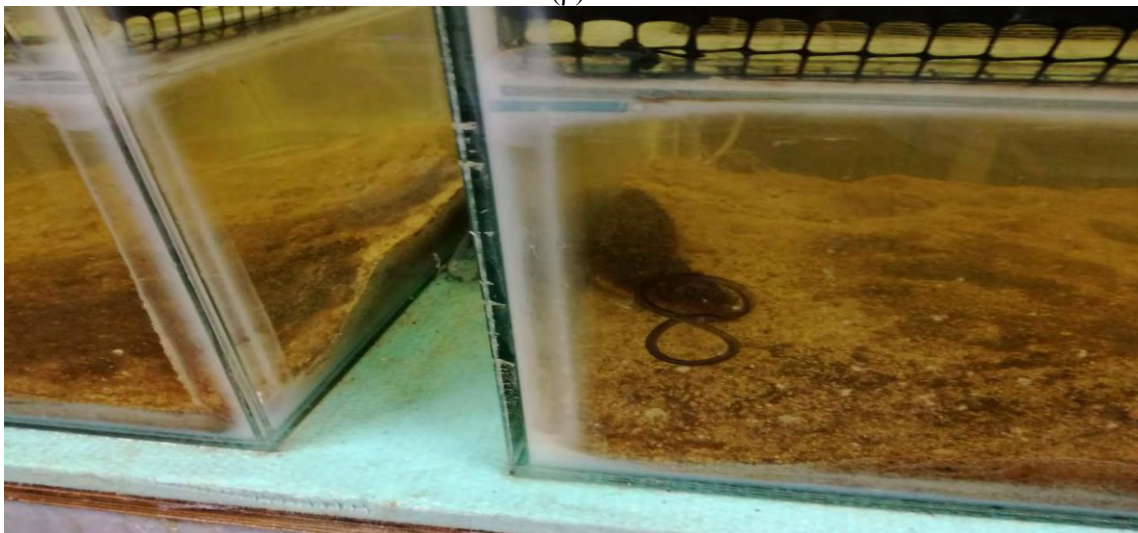
Τα ολοθούρια θεωρούνται ιδανικοί οργανισμοί-μοντέλα για τη μελέτη της ανακύκλωσης του οργανικού υλικού στο περιβάλλον, καθώς επιλεκτικά αφαιρούν/καταναλώνουν οργανικά σωματίδια από τα ανώτερα στρώματα του ιζήματος (Hudson et al. 2005), καταναλώνοντας μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης που είναι αποθηκευμένη σε αυτό (Moriarty 1982).



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 4.2. Τα ολοθούρια 7 (α, β) και 8 (β, γ) του συστήματος 3 (φωτό συγγραφέα).



(α)



(β)



(γ)

Εικ 4.3. Τα ολοθούρια 1(α), 2(β), 3(γ) του συστήματος 1 (φωτό συγγραφέα).

4.2. Απορροφητική ικανότητα του εντέρου των ολοθουρίων

Στην παρούσα έρευνα έγινε διαχωρισμός του εντέρου του ολοθουρίου 3 του συστήματος 1, των 4, 5 και 6 του συστήματος 2 και του 7 του συστήματος 3. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η απορροφητική ικανότητα έφθασε στο 46,60% για το οργανικό υλικό και στο 49,93% για τον οργανικό άνθρακα. Μπορεί δηλαδή κανείς να πει ότι πράγματι απορροφάται οργανική ύλη του ιζήματος από τον εντερικό σωλήνα του ολοθουρίου, η οποία χαρακτηρίζεται από βαθμιαία αφομοίωση σε κάθε τμήμα του. Επομένως, λόγω της απορροφητικής ικανότητας του εντέρου των ολοθουρίων δικαιολογούνται τα μεγάλα ποσοστά κατανάλωσης οργανικού φορτίου (οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα) που καταγράφηκαν στην παρούσα εργασία.

Τα αποτελέσματα στα οποία καταλήγει η παρούσα έρευνα, βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά άλλων ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν. Συγκεκριμένα, σε έρευνα που διεξήχθη σε εργαστηριακές συνθήκες για το είδος *Holothuria scabra* (Mercier et al. 1999), η απορροφητικότητα του εντερικού σωλήνα έφθασε στο 50%. Σε άλλη έρευνα που αναφέρει ο Αντωνίου (2016), η απορροφητικότητα του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων του είδους *H. tubulosa* έφθασε στο 43.07% για το οργανικό υλικό και στο 55.81% για τον οργανικό άνθρακα.

Κατά τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας, διαπιστώθηκε ότι η διαδικασία της απορρόφησης έλαβε χώρα κυρίως στο πρόσθιο και εν συνεχεία στο μεσαίο τμήμα του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με προηγούμενη έρευνα των Zamora & Jeffs (2011) για το είδος *Australostichopus mollis*, όπου χρησιμοποιήθηκαν ιζήματα με διαφορετικά επίπεδα οργανικού φορτίου για τη διατροφή ολοθουρίων. Σε αυτή αναφέρεται αφενός ότι τα επίπεδα του οργανικού φορτίου στο πρόσθιο τμήμα του εντέρου είναι υψηλότερα σε σχέση με αυτά του ιζήματος και ότι η

μέση τιμή του οργανικού υλικού στο οπίσθιο τμήμα και στα περιττώματα δεν έχει σημαντικές διαφορές. Με άλλα λόγια, το μεγαλύτερο ποσοστό της απορρόφησης του οργανικού υλικού πραγματοποιείται μεταξύ του εμπρόσθιου και του μέσου τμήματος του έντερου. Στο ίδιο είδος (*Australostichopus mollis*), η ανάλυση του περιεχόμενου του εντέρου τους έδειξε την ύπαρξη βακτηριακών πληθυσμών στο πρόσθιο τμήμα του εντέρου (Deming & Colwell 1982, Sibuet et al. 1982), καθώς και στον οισοφάγο (Deming & Colwell 1982, Ralijaona & Bianchi 1982).

Όπως προαναφέρθηκε τα ολοθούρια του συστήματος 1 εκτέθηκαν σε στρεσογόνο παράγοντα (δέκα μέρες πριν τελειώσει το πείραμα ένα ψάρι πέρασε το διαχωριστικό δίχτυ και στην προσπάθεια να πιαστεί, τα ολοθούρια οχλήθηκαν) με αποτέλεσμα να φύγουν από το ίζημα και να μην τρώνε. Στο σύστημα 3 υπήρξε ένα νεκρό άτομο, λόγω του φαινομένου του εξεντερισμού, γεγονός που σε συνδυασμό με τον περιορισμένο χώρο του ενυδρείου είναι πολύ πιθανό να προκάλεσε πίεση στα υπόλοιπα ολοθούρια με αποτέλεσμα το ένα από τα λοιπά δύο να σταματήσει τη διατροφική του δραστηριότητα. Τα δύο αυτά συμβάντα τα οποία συνέβησαν κατά τη διάρκεια της έρευνας είναι δυνατό να συμβούν και μάλιστα έχει αναφερθεί περίπτωση στην οποία τα ολοθούρια του είδους *Apostichopus japonicus*, όταν εκτίθενται σε στρεσογόνους παράγοντες, όπως η αλλαγή θερμοκρασίας, είναι πιθανό να παρουσιάσουν μείωση της μεταβολικής τους δραστηριότητας, απώλεια βάρους, καθώς επίσης και εκφυλισμό του εντερικού τους σωλήνα (Dong et al. 2008).

Η καταγραφή του φύλου που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5. έγινε μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας και τον τεμαχισμό τους. Η διατροφική δραστηριότητα των ολοθουρίων είναι πιθανό να επηρεάστηκε και από την αναλογία του φύλου σε κάθε ενυδρείο. Στα συστήματα 1 και 2 υπήρξαν άτομα και των δυο φύλων,

συγκεκριμένα στο σύστημα 1 η αναλογία φύλου ήταν 1:2 (Α:Θ) και στο σύστημα 2 ήταν 2:1. Παρόλο που στο σύστημα 2 τα περισσότερα ολοθούρια ήταν αρσενικά βάσει των συνολικών αποτελεσμάτων βλέπουμε ότι και στα δυο συστήματα τα άτομα που τρεφόντουσαν περισσότερο ήταν θηλυκά. Άρα τα θηλυκά φαίνεται να έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα αρσενικά, σε μεγαλύτερες πυκνότητες από αυτές που εμφανίζονται στο φυσικό περιβάλλον. Προφανώς, η ωρίμανση των γονάδων και η αναπαραγωγική διαδικασία έχουν ως αποτέλεσμα τα θηλυκά να χρειάζονται μεγαλύτερη ποσότητα τροφής. Υπήρχε βέβαια και το σύστημα 3, στο οποίο δύο άτομα ήταν αρσενικά. Σε αυτό, βέβαια, το σύστημα δεν είναι δυνατό να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα, καθώς ανεξαρτήτως φύλου και μεγέθους, βασικό ρόλο στη σίτισή τους διαδραμάτισε το γεγονός πως το ένα στρεσαρίστηκε και δεν τρέφονταν κανονικά. Ωστόσο, εάν υποθέσουμε ότι και το τρίτο ολοθούριο το οποίο προέβει στον εξεντερισμό ήταν επίσης αρσενικό, το γεγονός αυτό μας υποδηλώνει ότι 3 αρσενικά άτομα σε τόσο μικρό χώρο είναι πολλά και πιθανότατα να υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ τους για το ποιο θα επικρατήσει.

Αυτό που μπορεί να ειπωθεί είναι πως η πυκνότητα και η αναλογία του φύλου φαίνεται να επηρεάζουν τη διατροφική δραστηριότητα των ολοθουρίων, γεγονός ωστόσο το οποίο χρήζει περαιτέρω έρευνας.

4.3. Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, κατέστη εμφανές ότι η περιεκτικότητα του ολοθουρίου *H. tubulosa* τόσο επί νωπού βάρους όσο και επί ξηρού στα διάφορα μακροθρεπτικά στοιχεία ήταν σύμφωνη με στοιχεία που αναφέρθηκαν και σε προγενέστερες έρευνες. Η περιεκτικότητα σε υγρασία βρέθηκε να είναι

84,95±1,38%, ενώ σε παλαιότερη έρευνα (Αντωνίου 2016), η περιεκτικότητα σε υγρασία για το είδος *Holothuria tubulosa* ήταν 83,19±1,03%. Και σε άλλα είδη ολοθούριων έχουν αναφερθεί παρόμοια αποτελέσματα σε παλαιότερες δημοσιευμένες εργασίες. Συγκεκριμένα, το ποσοστό της υγρασίας στο σωματικό τοίχωμα του ολοθούριου *H. polii* ήταν 81,24±0,4% (Aydın et al. 2011). Ο Omran (2013), αναφέρει πως το ποσοστό της υγρασίας στο σωματικό τοίχωμα των ειδών *Actinopyrga mauritiana*, *Holothuria scarba*, *Bohadschia marmorata* και *Holothuria leucospilota* ήταν 84,47±0,7%, 85,76±0,3%, 83,17±0,2% και 81,41±0,6%, αντίστοιχα. Σύμφωνα με όσα αναφέρονται από τους Vergara & Rodríguez (2015), που πραγματοποίησαν χημικές αναλύσεις για τη θρεπτική σύσταση άγριων πληθυσμών του είδους *H. Isostichopus*, φαίνεται πως τα ποσοστά υγρασίας είναι πιθανό να επηρεάζονται από την εποχή, από περιβαλλοντικούς παράγοντες ή από την διατροφική δραστηριότητα των ολοθουρίων.

Ένα άλλο μακροθρεπτικό στοιχείο το οποίο μετρήθηκε είναι το ποσοστό των πρωτεϊνών στο σωματικό τοίχωμα των ολοθούριων. Το μέσο ποσοστό των πρωτεϊνών βρέθηκε να είναι 7,19±0,77% επί νωπού βάρους και 47,95±4,93% επί του ξηρού. Τα ποσοστά αυτά συμφωνούν με παλαιότερη δημοσιευμένη έρευνα όπου οι πρωτεΐνες έφθασαν στο 10% επί νωπού βάρους και σχεδόν στο 60% επί ξηρού (Αντωνίου 2016). Οι τιμές αυτές επιβεβαιώνουν την υψηλή περιεκτικότητα των ολοθουρίων σε πρωτεΐνες (Wen et al. 2010, Bordbar et al. 2011), ενώ υπάρχουν αναφορές ότι μπορεί να φθάσει έως το 83% επί του ξηρού βάρους (Chen 2003).

Το μέσο ποσοστό σε λίπη ήταν αρκετά χαμηλό (0,22±0,06% επί του νωπού βάρους και 1,47±0,37% επί του ξηρού βάρους), γεγονός το οποίο συμφωνεί με άλλες έρευνες σε άλλα είδη ολοθουρίων (Wen et al. 2010, Aydın et al. 2011, Bordbar et al.

2011, Αντωνίου 2016). Αναφορικά με την τέφρα, το είδος παρουσιάζει αξιοσημείωτα υψηλή περιεκτικότητα, καθώς η μέση τιμή της ήταν $4,89 \pm 0,58\%$ επί νωπού βάρους και $32,46 \pm 1,97\%$ επί ξηρού βάρους, ενώ σε παλαιότερες έρευνες αναφέρονται ποσοστά έως 40% (Wen et al. 2010). Η υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα είναι πιθανό να οφείλεται στο γεγονός ότι μέσα στο δέρμα του ζώου περιέχονται μικροσκοπικοί ασβεστιτικοί σκληρίτες (Λαζαρίδου 1992). Ταυτόχρονα, καταδεικνύει την υψηλή περιεκτικότητα του είδους σε διάφορα ανόργανα στοιχεία όπως σε Ca, Mg, Fe και Zn.

Σύμφωνα με έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί για το είδος (Neofitou 2016), και βασιζόμενοι στο γεγονός πως δε βρέθηκε σημαντική παραλλακτικότητα στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών στα οκτώ (8) ολοθούρια που μελετήθηκαν ($P > 0.05$), φαίνεται πως αυτά έχουν μια σχετικά «σταθερή» θρεπτική αξία, η οποία δεν επηρεάζεται από παραμέτρους όπως το φύλο και το σωματικό μέγεθος. Σε αυτό ίσως να συμβάλλει και ο χαμηλός ρυθμός μεταβολισμού, ο οποίος οδηγεί σε αργή κινητοποίηση θρεπτικών συστατικών στο σώμα τους.

Στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας έγινε ιδιαίτερη αναφορά στη χρήση των ολοθούριων ως τρόφιμο. Εκεί κατέστη σαφές ότι τα ολοθούρια υπόκεινται επεξεργασίας ενώ χρησιμοποιούνται κυρίως σε ξηρή μορφή. Συνήθως χρησιμοποιείται ο όρος «beche-demer» και κατηγοριοποιούνται ως προϊόντα «υψηλής», «μέσης» και «χαμηλής» εμπορικής αξίας ανάλογα το είδος, την αφθονία, την εμφάνιση, την οσμή και το χρώμα, το πάχος του σωματικού τοιχώματός τους και φυσικά τη ζήτηση της αγοράς (Lo 2005). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, καθώς και προγενέστερων ερευνών, διαφαίνεται η υψηλή θρεπτική αξία του ολοθουρίου *Holothuria tubulosa*. Σύμφωνα με τις έρευνες αυτές τα ολοθούρια αποτελούν τρόφιμα υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και ανόργανα στοιχεία και είναι ιδανικά για

δίαιτα χαμηλής θερμιδικής αξίας, λόγω του χαμηλού επιπέδου του λίπους που περιέχουν, πολύ χαμηλότερη μάλιστα σε σχέση με αυτή πολλών ειδών ιχθύων του γλυκού νερού (όπως π.χ. τιλάπια, γατόψαρο κ.ά).

Συμπερασματικά, το ολοθούριο *H. tubulosa* θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις Ελληνικές υδατοκαλλιέργειες ως ένα φυσικό μέσο για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο υπόστρωμα, καθόσον κατέστη σαφές ότι μπορούν να μειώσουν το οργανικό υλικό και τον οργανικό άνθρακα που εναποτίθενται στο ίζημα, ως οργανισμοί τρεφόμενοι από το ίζημα. Το ολοθούριο *H. tubulosa* μπορεί επίσης να αποτελέσει τρώσιμο υψηλής θρεπτικής αξίας για τον άνθρωπο, αφού έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και ανόργανα στοιχεία και ελάχιστο λίπος. Ως εκ τούτου, η ζήτηση τους είναι ιδιαίτερα υψηλή και η συστηματική εκτροφή τους θα μπορούσε να αποτελέσει εφελτήριο για εξαγωγές. Άλλωστε, σύμφωνα με τους Gonzalez-Wanguemert & Vergara-Chen (2014), το 2012 από τα παράλια της Τουρκίας αλιεύτηκαν γύρω στους 555 τόνους ολοθουρίων, εκ των οποίων το 80% ήταν του είδους *H. polii* και εξήχθησαν στην αγορά της Ασίας. Τέλος, με δεδομένο ότι υπάρχει ισχυρή ζήτηση για πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης στον κλάδο παρασκευής τεχνητών ιχθυοτροφών, το ολοθούριο *H. tubulosa* θα μπορούσε να μελετηθεί μελλοντικά και ως προς την καταλληλότητά του ως συστατικό υψηλής ζωικής θαλάσσιας πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές. Όλα αυτά βέβαια αναφέρονται σε εντελώς θεωρητικό επίπεδο και κρίνονται απαραίτητες περαιτέρω έρευνες πριν όλα αυτά υλοποιηθούν.

4.4. Παράμετροι ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής των ψαριών

Σύμφωνα με στοιχεία του ΣΕΘ 2016, ένα από τα κυριότερα είδη εκτροφής στην Ελληνική αλλά και παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια αποτελεί η τσιπούρα, η οποία

επιλέχθηκε και για την παρούσα εργασία, καθώς είναι είδος ανθεκτικό με μεγάλη αντοχή στις μεταβολές της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Πράγματι, στην παρούσα έρευνα η επιβίωσή της έφτασε το $98,01 \pm 2,79\%$.

Σύμφωνα με στοιχεία του FAO (2013), στις εντατικές εκτροφές, για το συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης, ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) είναι 1,5 – 2. Στην παρούσα εργασία ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) βρέθηκε να είναι $1,40 \pm 0,04$ αποδεικνύοντας ότι οι συνθήκες που επικρατούσαν στα ενυδρεία κατά τη διάρκεια του πειράματος προσομοίωναν όσο το δυνατόν περισσότερο εκείνες των ιχθυοκαλλιεργειών. Η παρουσία λοιπόν του ολοθούριου *H. tubulosa* σε όμορα ενυδρεία φαίνεται ότι δεν επηρέασε την ανάπτυξη των ψαριών. Μετά από σύγκριση των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια, παρατηρήθηκε ότι το ποσοστό ανάπτυξης των ψαριών δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ($P > 0,05$), μιας και ο μέσος όρος αύξησης στα ενυδρεία με ολοθούρια ($6,4 \pm 0,82$ g) ήταν ίδιος με αυτό στα ενυδρεία χωρίς ολοθούρια ($6,26 \pm 0,26$ g).

Τα ανωτέρω αποτελέσματα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο μεταβολικός ρυθμός και το ποσοστό ανάπτυξης των ψαριών δεν επηρεάστηκαν από τη συμβίωση τους με τα ολοθούρια. Επιπλέον, από τον υπολογισμό των παραμέτρων ανάπτυξης (FCR, SGR) συμπεραίνεται ότι το οργανικό υλικό που εναποτέθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν παρόμοιο σε όλα τα ενυδρεία.

Επομένως, το ολοθούριο *H. tubulosa* θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πολυκαλλιέργεια, καθώς αφενός δε δημιουργεί προβλήματα στους εκτρεφόμενους οργανισμούς και αφετέρου συμβάλει θετικά στην εξυγίανση του περιβάλλοντος (Isgoren Emiroglu & Gunay 2007).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το κυριότερο ίσως συμπέρασμα που εξάγεται από την παρούσα εργασία είναι ότι το ολοθούριο *H. tubulosa*, εκτρέφεται σε εργαστηριακές συνθήκες, με μεγάλο ποσοστό επιβίωσης (πλέον του 80%). Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας αποκτήθηκε εμπειρία και τεχνογνωσία, τα οποία μπορούν στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν και περαιτέρω στην αειφορική διαχείριση του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών.
- Η πιθανή μελλοντική εκτροφή του ολοθούριου *H. tubulosa* θα συμβάλλει στην άμβλυνση του κινδύνου εξαφάνισης του είδους λόγω της μείωσης των φυσικών του αποθεμάτων από την ανεξέλεγκτη αλιεία, κάτι το οποίο φυσικά προϋποθέτει και τη συστηματική μελέτη εκτροφής και αναπαραγωγής του. Επιπλέον, δίνονται νέες δυνατότητες στον κλάδο των υδατοκαλλιεργειών ως προϊόν εμπορίας-εξαγωγής σε χώρες που το καταναλώνουν (π.χ. Κίνα), απομόνωσης διαφόρων βιοδραστικών ουσιών για τη θεραπεία διαφόρων παθήσεων και ως ιχθυοτροφής για τα εκτρεφόμενα ψάρια (λειτουργώντας ως προϊόν ανακύκλωσης και ως βιοκαύσιμο).
- Οι οργανισμοί αυτοί αφαιρούν ένα μεγάλο ποσοστό ρυπαντικού φορτίου από το ίζημα των ενυδρείων, με ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά απορροφητικής ικανότητας του εντερικού τους σωλήνα. Συγκεκριμένα, το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού έφθασε περίπου το 55%, ενώ στην περίπτωση που τα ολοθούρια στρεσαρίστηκαν και δεν έτρωγαν καταγράφηκε αύξηση του οργανικού υλικού της τάξης του 55%. Αντίστοιχα, σε ότι αφορά στον οργανικό άνθρακα επήλθε μείωση σε ποσοστό περίπου 75%, ενώ στο σύστημα όπου τα

ολοθούρια στρεσαρίστηκαν και δεν έτρωγαν καταγράφηκε αύξηση σε ποσοστό περίπου 45%.

- Η παράλληλη εκτροφή ολοθούριων και ψαριών δεν φαίνεται να τα επηρεάζει αμφότερα. Αυτό σε συνδυασμό με το δραστικό ρόλο που κατέχουν τα ολοθούρια στην αποσυμφόρηση του περιβάλλοντος από το οργανικό υλικό και τον οργανικό άνθρακα, αφήνει το περιθώριο μελλοντικής και ταυτόχρονα πιλοτικής εκτροφής του είδους κάτω από μονάδες εκτροφής ψαριών ως μέσο εξυγίανσης του περιβάλλοντος από τη λειτουργία των μονάδων αυτών. Δύναται, λοιπόν, να χρησιμοποιηθεί ως μια νέα – σύγχρονη πρακτική για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών.
- Ο μέσος όρος κατανάλωσης ιζήματος των 8 ολοθουρίων την ημέρα ήταν 31,85 g το οποίο αντιστοιχεί σε 11,6 kg τον χρόνο. Μάλιστα σε μερικές περιπτώσεις ολοθουρίων έφτασε τα 17,7 kg .
- Τα θηλυκά ολοθούρια φαίνεται να καταναλώνουν μεγαλύτερο ποσοστό ιζήματος από τα αρσενικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αντωνίου Κ.** (2016) Η επίδραση του ολοθούριου *Holothuria tubulosa* στη μείωση του οργανικού φορτίου από την εκτροφή ψαριών σε εργαστηριακές συνθήκες. Προπτυχιακή Διατριβή, σελ. 40-50.
- Καστρίτση-Καθαρίου Ι.** (1990) Σύγχρονα δεδομένα για τις υδατοκαλλιέργειες. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Λαζαρίδου-Δημητριάδου Μ.** (1992) Δευτεροστόμια Επιθηλιονευρά στο: Γενική ζωολογία. Γιαχούδι, Θεσσαλονίκη, σελ. 307-319.
- Νεοφύτου Ν.** (2014) Πληθυσμιακή δομή του ολοθούριου *Holothuria tubulosa* σε θαλάσσιες περιοχές. Προκαταρκτική Έρευνα – Μελέτη, σελ. 5.
- Πνευματικάτος Γ.** (1982) Ιχθυοτροφία και ιχθυοπαθολογία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Κτηνιατρικής.
- ΣΕΘ** (2015) (Σύνδεσμος Ελληνικών Θαλασσοκαλλιεργειών): Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, Αθήνα, σελ. 80.

Διεθνής βιβλιογραφία

- Akamine J.** (2004) Historical overview on holothurian exploitation, utilization and trade in Japan. In A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J.-F. Hamel & A. Mercier, eds. Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO, Rome. Fisheries Technical Paper No. 463:425.
- Amon R.M.W., Herndl G.J.** (1991) Deposit feeding and sediment: I. Interrelationship between *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea, Echinodermata) and the sediment microbial community. Mar. Ecol. 12: 163–174.
- Antoniadou C., Vafidis D.** (2011) Population structure of the traditionally exploited holothurian *Holothuriatubulosa* in the south Aegean Sea. Cahiers de biologie marine 52: 171–175.
- AOAC** (1990) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- AOAC** (1995) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Aydin M., Sevgili H., Tufan B., Emre Y., Kose S.** (2011) Proximate composition and fatty acid profile of three different fresh and dried commercial sea cucumbers from Turkey. International Journal of Food Science and Technology 46: 500–508.
- Aydin M.** (2008) The commercial sea cucumber fishery in Turkey. SPC Beche de Mer Inf. Bull., 28: 40–41.
- Beirne L., Fitzmier K., Miller M.** (2001) "Holothuroidea". Biological Diversity 2001.

- Black K.D.**, Kiemer M.C.B., Ezzi I.A. (1996) The relationships between hydrodynamics, the concentration of hydrogen sulfide production by polluted sediments and fish health at several marine cage farms in Scotland and Ireland. *J. Appl. Ichthyol.* 12: 15–20.
- Bordbar S.**, Anwar F., Saari N. (2011) High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods—a review. *Mar Drugs* 9: 1761–1805.
- Bulteel P.**, Jangoux M., Coulon, P. (1992) Biometry, bathymetric distribution, and reproductive cycle of the holothuroid *Holothuria Tubulosa* (Echinodermata) in Mediterranean seagrass beds. *Mar. Ecol.*, 13 (1): 53-62.
- Byers S.C.**, Mills E.L., Stewart L. (1978) A comparison of methods for determining organic carbon in marine sediments, with suggestion for a standard method. *Hydrobiologia*, 58: 43-47.
- Cakly S.**, Cadun A., Kisla D., Dincer T. (2004) Determination of quality characteristics of *Holothuria Tubulosa*, (Gmelin, 1788) in Turkish Sea (Aegean Region) depending on sun drying process step used in Turkey. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 13: 69-78.
- Chen J.** (2003) Overview of sea cucumber farming and sea ranching practices in China. *SPC Beche-de-mer Inf. Bull.* 18: 18–23.
- Chen J.X.** (2004) Present status and prospects of sea cucumber industry in China, pp. 25–32. In: *Advances in sea cucumber aquaculture and management*. Rome: FAO.
- Choo P.S.** (2008) Population Status, Fisheries and Trade of Sea Cucumbers in Asia. In *Sea Cucumbers. A Global Review of Fisheries and Trade*; Toral-Granda V., Lovatelli A., Vasconcellos M., Eds.; FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 516; FAO: Rome, Italy, 2008.
- Collins I.** (1983) A study on the environmental impact of particulate matter derived from a salmonid cage culture system on Loch Fad, Isle of Bute, Scotland. BSc Thesis, University of Stirling, 92.
- Conand C.**, Byrne M. (1993) A review of recent developments in the world sea cucumber fisheries. *Mar. Fish. Rev.* 55: 1–13.
- Conand C.** (2008) Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in Africa and the Indian Ocean. In ToralGranda, V., A. Lovatelli & M. Vasconcellos (eds), *Sea Cucumbers: A Global Review of Fisheries and Trade*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 516, Vol. 516. FAO, Rome: 143–193.
- Conand C.** (2004) Present status of world sea cucumber resources and utilisation: An international overview. *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management*. FAO Fisheries Technical Paper, No. 463. FAO, Rome: 13–24.
- Conand C.** (1990) The fishery resources of Pacific island countries, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 143, No. 272.2.
- Conover R.J.** (1966) Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 11: 338–345.
- Costa V.**, Mazzola A., Vizzini S. (2014) *Holothuria Tubulosa* Gmelin 1791 (Holothuroidea, Echinodermata) enhances organic matter recycling in Posidonia oceanica meadows. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 461: 226-232.
- Coulon P.**, Jangoux M. (1993) Feeding rate and sediment reworking by the holothuroid *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) in a Mediterranean seagrass bed off Ischia Island, Italy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 201-204.

- Deming J.W.**, Colwell R.S. (1982) Barophilic bacteria associated with the digestive tract of abyssal holothurians. *Applied and Environmental Microbiology*, 44: 1222–1230.
- Despalatovic M.**, Grubelic I., Simunovic A., Antolic B., Zuljevic A. (2004) Reproductive biology of the holothurian *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) in the Adriatic Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84: 409–414.
- Dong Y.**, Dong S., Meng X. (2008) Effects of thermal and osmotic stress on growth, osmoregulation and Hsp70 in sea cucumber (*Apostichopus japonicus Selenka*). *Aquaculture* 276: 179–186.
- FAO** (2016) Sea cucumbers: a global review of fisheries and trade. *FAO Fisheries and Aquaculture. Technical Paper*, 516: 1–317.
- FAO** (2009) *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO** (2013) *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO** (2014) *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Gamboa R.**, Gomez A.L., Nievaes M.F. (2004) The status of sea cucumber fishery and mariculture in the Philippines. *FAO Fisheries Technical Paper No. 463*: 69–78. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.
- Gonzalez-Wanguemert M.**, Vergara-Chen C. (2014) Environmental variables, habitat discontinuity and life history shaping the genetic structure of *Pomatoschistus marmoratus*. *Helgoland Marine Research*, 68: 357–371.
- Gustato G.**, Villari A., Del Claudio S., Pedata P. (1982) Ulteriori dati sulla distribuzione di *Holothuria tubulosa*, *Holothuria poli* e *Holothuria stellati* nel Golfo di Napoli. *Boll. Soc. Nat. Napoli*, 91: 1-14.
- Hargrave B.T.**, Duplisea D.E., Pheiffer E., Wildish D.J. (1993) Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured *Atlantic salmon*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 96: 249–257.
- Hickman C.S.** (1981) Selective deposit-feeding by the deep-sea archaeogastropod *Bathybembix aeola*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 6: 339–342.
- Holby O.**, Hall P.J. (1991) Chemical fluxes and mass balance in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 70: 263-272.
- Holmer M.**, Black C.M., Duarte N., Marbà I., Karakassis I. (2008) *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer, UK, 326.
- Hudson I.R.**, Wigham B.D., Solan M., Rosenberg R., (2005) Feeding behavior of deep sea dwelling holothurians: inferences from a laboratory investigation of shallow fjordic species. *J. Mar. Syst.* 57: 201–218.
- Isgoren-Emiroglu D.**, Gunay D. (2007) The effect of sea cucumber *Holothuria tubulosa* G. 1788 on nutrient and organic matter contents of bottom sediment of oligotrophic and hypereutrophic shores. *Fresenius Environ. Bull.* 16: 290–294.
- Karakassis I.**, Tsapakis M., Hatziyanni E. (1998) Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 162: 243-252.
- Kazanidis G.**, Antoniadou C., Lolas A.P. (2010) Population dynamics and reproduction of *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea: Echinodermata) in the Aegean Sea.

Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 90: 895–901.

- Kazanidis G.**, Lolas A., Vafidis D. (2014) Reproductive cycle of the traditionally exploited sea cucumber *Holothuria Tubulosa* (Holothuroidea: Aspidochirotida) in Pagasitikos Gulf, western Aegean Sea, Greece. *Turkish Journal of Zoology* 38: 306–315.
- Kilikidis S.**, Kamarianos A., Karamanlis X., Delis S., Koussouris T., Fotis G., (1992) Water quality and trophic status evaluation of the Polyfyto reservoir, N. Greece. *Toxicol. Envir. Chem.*, 36: 169-179.
- Kinch J.**, Purcell S., Uthicke S., Friedman K. (2008) “Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in the Western Central Pacific”. In *Sea cucumbers. A global review of fisheries and trade*, Rome: FAO. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 51: 67–55.
- Kitano M.**, Kurata K., Kozuki Y., Murakami H., Yamasaki T., Yoshida H., Sasayama H. (2003) Effects of deposit feeder *Stichopus japonicus* on algal bloom and organic matter contents of bottom sediments of the Enclosed Sea, *Mar. Pollution Bul.*, 47: 118-125.
- Koukouras A.**, Sinis A. (1981) Benthic fauna of the North Aegean Sea II. Crinoidea and Holothuroidea (Echinodermata). *Vie et Milieu* 3: 271–281.
- Lo T.H.** (2005) Valuation of sea cucumber attributes through laddering. *SPC Beche-de-Mer Info Bull*, 20: 34–37.
- Lovatelli A.**, Conand C., Purcell S.W., Uthicke S., Hamel J.F., Mercier A. (eds) (2004) *Advances in sea cucumber aquaculture and management*, FAO fisheries and aquaculture technical paper no. 463, FAO, Rome. ISBN: 9251051631.
- MacTavish T.**, Stenton-Dozey J., Vopel K., Savage C. (2012) Deposit-feeding sea cucumbers enhance mineralization and nutrient cycling in organically-enriched coastal sediments. *PloS one* 7:e50031.
- Mahmoud H.** (2011) A study on the effect of the sea cucumber *Actinopyga mauritiana* (Echinodermata: Holothuroidea) on the sediment characteristics at El-Gemsha Bay, Red Sea coast, Egypt. *International Journal of Environmental Science And Engineering (Ijese)* Vol. 2: 35-44.
- Mercier A.**, Battaglene S.C., Hamel J.F. (1999) Daily burrowing cycle and feeding activity of juvenile sea cucumbers *Holothuria scabra* in response to environmental factors. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 239: 125–156.
- Meysman F.J.**, Middelburg J.J., Heip C.H. (2006) Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. *Trends in Ecology & Evolution*, 21: 688-695.
- Mezali K.**, Chekaba B., Zupo V., Asslah B. (2003) Comportement alimentaire de cinq especes D’holothuries aspidochirotés (Holothuroidea: Echinodermata) de la presqu’île de Sidi-Fredj (Algerie). *Bulletin de la Societe zoologique de France*, 128: 46-62.
- Mmbaga T.K.**, Mgaya Y.D. (2004) Sea cucumber fishery in Tanzania: identifying the gaps in resource inventory and management In: *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management*, Lovatelli A., Conand C., Purcell S., Uthicke S., Hamel J.F. and Mercier A. (Editors), Geneva: FAO Fisheries Technical Paper, 193-203.
- Morgan A.**, Archer J. (1999) Overview: Aspects of sea cucumber industry research and development in the south Pacific. *SPC Beche-de-mer Inf. Bull.* 1: 15–17.

- Moriarty D.J.W.** (1982) Feeding of *Holothuria atra* and *Stichopus chloronotus* on bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the great Barrier Reef. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 33: 255–263.
- Neofitou N., Vafidis D., Karapanagiotidis I., Lolas A., Syvri R., Tziantziou L.** (2016) Approach of new-contemporary practices for minimization of environmental impacts of aquaculture on sediment: The case of sea cucumber *Holothuria tubulosa*. Ministry of Agricultural Development and Food, Operational Program for Greek Fisheries for the period 2007 – 2013, Final Technical Report, Greece, 75.
- Nikolaou M., Neofitou N., Lolas A., Syvri R., Tziantziou L.** (2015) A preliminary study on the impact of feeding activity of sea cucumber (*Holothuria tubulosa*) on fish farm depositions. Cutting Edge Science in Aquaculture. Aquaculture 2015. Montpellier, France, 23-26 August.
- Ocana A., Sanchez-Tocino L.** (2005) Spawning of *Holothuria tubulosa* (Holothurioidea, Echinodermata) in the Alboran Sea (Mediterranean Sea). Zool. Baetica, 16: 147–150.
- Omran N.S.** (2013) Nutritional Value of Some Egyptian Sea Cucumbers. African Journal of Biotechnology, 12: 54-66.
- Pancucci-Papadopoulou M.A.** (1996) Fauna Graeciae VI: The Echinodermata of Greece. Hellenic Zoological Society, Athens.
- Pauly D., Christensen V., Dalsgaard J., Froese R., Torres F.** (1998) Fishing down marine food webs. Science, 279: 860-863.
- Purcell S.** (2010) Managing Sea Cucumber Fisheries with an Ecosystem Approach. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 520. FAO, Rome.
- Purcell S.W., Mercier A., Conand C., Hanel J.F., ToralGranda V., Lovatelli A., Uthicke S.** (2013) Sea cucumber fisheries: global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing. Fish and Fisheries 14: 34–59.
- Purcell S.W.** (2014) Value, market preferences and trade of beche-de-mer from Pacific Island sea cucumbers. PLoS One 9: e95075.
- Qin Z., Jing-feng W., Yong X., Yi W., Sen G., Min L., Chang-hu X.** (2008) Comparative study on the bioactive components and immune function of three species of sea cucumber. J. Fish. Sci. China.
- Ralijsaona C., Bianchi A.** (1982) Comparaison de la structure et des potentialités métaboliques des communautés bactériennes du contenu du tractus digestif d'holothuries abyssales et du sédiment environnant. Bulletin de la Centre Etudes et recherches scientifiques de Biarritz, 14: 199–214.
- Saito M., Kunisaki N., Urano N.** (2002) Collagen as the major edible component of sea cucumber. J. Food Sci., 67: 1319–1322.
- Sibuet M., Khrifounoff A., Deming J., Colwell R., Diné A.** (1982) Modification of the gut contents in the digestive tract of abyssal holothurians. In J.M. Lawrence, Echinoderms: proceedings of the international conference, Tampa Bay, Rotterdam: Balkema, 421-428.
- Simunovic A., Grubelic, I.** (1998) A contribution to the knowledge of the species *Holothuria tubulosa* Gmelin, 1788 (Holothuria, Echinodermata) in the coastal area of the central eastern Adriatic. Acta Adriatica, 39 (1): 13-23.
- Simunovic A., Piccinetti C., Bartulovic M., Grubelic, I.** (2000) Distribution and abundance of the species *Holothuria tubulosa* Gmelin, 1788 and *Holothuria*

- forskali* Delle Chiaje, 1823 (Holothuria, Echinodermata) in the Adriatic Sea. Acta Adriatica, 41 (2): 3-16.
- Stewart K.I.** (1984) A study on the environmental impact of fish cage culture on an enclosed sea lough. M.Sc. Thesis, Univ. Stirling, 45.
- Taboada M.C.**, Gonzalez M., Rodriguez E. (2003) Value and effects on digestive enzymes and serum lipids of the marine invertebrate *Holothuria forskali*. Nutr. Res, 23: 1661–1670.
- Tortonese E.**, Vadon C. (1987) Oursins et Holothuries. In: Fischer W., Bouchon M.L., Sneider M. (eds) Fiches FAO d' identification des espèces pour les besoins de la pêche (révision I) - Méditerranée et Mer Noire. Zone de pêche 37. FAO Rome, 743-760.
- Uthicke S.**, Conand C. (2005) Local examples of beche-de-mer overfishing: An initial summary and request for information. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 21: 9-14.
- Vafidis D.**, Tsagridis A., Chintiroglou C., Stamatis N., Antoniadou C. (2008) Fisheries, processing and trade of the South Aegean holothurian stocks. Ministry of Agricultural Development and Food, Operational Programme for Greek Fisheries for the period 2000-2006, Final Technical Report, Greece, 83.
- Vergara-Chen C.**, Gonzalez-Wanguemert M., Marcos C., Perez-Ruzafa A. (2010) Genetic diversity and connectivity remain high in *Holothuria polii* (Delle Chiaje 1823) across a coastal lagoon-open sea environmental gradient. Genetica 138: 895–906.
- Vergara W.**, Rodríguez A. (2015) Histology of the Digestive Tract of Three Species of Sea Cucumber *Isostichopus badionotus*, *Isostichopus sp.* and *Stichopus hermanni* (Aspidochirotida: Stichopodidae). Revista de Biología Tropical, 63: 1021-1033.
- Walkley A.**, Black I.A. (1934) An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38.
- Wen J.**, Hu C., Fan S. (2010) Chemical composition and nutritional quality of sea cucumbers. Journal of the Science of Food and Agriculture, 90(14): 2469-2474.
- Zamora L.**, Jeffs A. (2011) Feeding, selection, digestion and absorption of the organic matter from mussel waste by juveniles of the deposit-feeding sea cucumber, *Australostichopus mollis*. Aquaculture 317: 223–228.
- Zar J.H.** (1984) Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey, 718.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- www.nireus.com (13/2/2018)
- www.wikipedia.org (13/2/2018)
- www.wwf.gr (13/2/2018)

ABSTRACT

This Thesis was designed to study the efficiency of sea cucumber *Holothuria tubulosa* to the reduction of the organic load from aquaculture on the substrate. For this purpose, a laboratory experiment was taken place in specially designed aquariums, which were manufactured in order to approach environmental conditions of aquaculture.

In this experiment, there were used three double systems of sea water aquariums (250 ℓ per aquarium). Three individuals of *H. tubulosa* were placed in one aquarium of each system, while the other one was used as a control. Furthermore, individuals of sea bream were placed and fed in these systems during one month period.

The experiment started in July 2017 and lasted thirty days. During this time, sediment samples were collected from the bottom of holothurian aquariums and control for analysis of organic matter and organic carbon. Furthermore, the desorption efficiency of OM and OC during transit in the intestine and the nutritional compositions of *H. tubulosa* were estimated.

The reduction of organic matter and organic carbon in the sediment reached 55,89% and 77,04%, respectively. The absorption efficiency of the intestine of *H. tubulosa* reached 62,20% for the organic matter and 53.57% for the organic carbon. According to the results of the present study the nutritional composition of *H. tubulosa* was quite high.

Univariate analysis of variance (one-way ANOVA) showed statistically significant differences only for organic matter between the holothurian aquariums and control.

The results of this study showed that sea cucumbers *H. tubulosa* contributes significantly to the reduction of organic matter and organic carbon. Based on the above

we conclude that *H. tubulosa* could be used as a management tool in order to minimize the impact of aquaculture to the substrate.

Keywords: aquaculture, environment, *Holothuria tubulosa*, organic load, absorption.