

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

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

Κώστας Αντωνίου

ΒΟΛΟΣ 2016

«Η επίδραση του ολοθούριου *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 χρησιμότητά 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 από καρδιάς να ευχαριστήσω όλους τους συντελεστές τις παρούσας έρευνας και όλους όσους βοήθησαν στην εκπόνηση της Προπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.

Πρώτα απ' όλους θέλω να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Νεοφύτου Νικόλαο για την αμέριστη βοήθεια και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος και της συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής, αποτελούμενη από τον Καθηγητή κ. Βαφείδη Δημήτριο και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Καραπαναγιωτίδη Ιωάννη για τις επισυμάνσεις της παρούσας εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες του Τμήματος κα Συβρή Ραφαηλία, κ. Ψωφάκη Πιέρ και κα Νικολάου Μαρίνα για την άμεση βοήθεια και την άψογη συνεργασία κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή συμπαράσταση, τη ψυχολογική υποστήριξη, την κατανόηση και την ανόχη καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Προπτυχιακή 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 το 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 θαλασσινό νερό (35 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 τέσσερα άτομα του είδους *H. tubulosa*, ενώ το άλλο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας (χωρίς ολοθούρια). Σε κάθε ενυδρείο τοποθετήθηκαν 30 άτομα τσιπούρας μέσης βιομάζας 300 ± 5 g.

Το εργαστηριακό πείραμα ξεκίνησε στις αρχές Μαΐου του 2015 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 (pH), αμμωνία (NH₄), νιτρώδη (NO₂), νιτρικά (NO₃) και ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)].

Για τον προσδιορισμό του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα στα ενυδρεία, πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες στην αρχή και στο τέλος του πειράματος (ημέρα 1^η & 30^η). Από κάθε ενυδρείο πάρθηκαν τρία επαναληπτικά δείγματα. Το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού κυμάνθηκε μεταξύ 92,78-172,91% και του οργανικού άνθρακα μεταξύ 50-114,85%.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση του περιεχόμενου οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα στο περιεχόμενο του εντερικού σωλήνα καθώς και προσδιορισμός της θρεπτικής σύστασης των ολοθουρίων. Η απορροφητικότητα του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων έφτασε στο 43,07% για το οργανικό υλικό και στο 55,81% 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 υλικού μεταξύ των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια, ενώ για το περιεχόμενο του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στο ποσοστό του οργανικού υλικού στο σύστημα 3.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι τα ολοθούρια *H. tubulosa* συμβάλουν 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

ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ.....	i-iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 Γενικά για τις υδατοκαλλιέργειες.....	4
1.2 Υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα.....	5
1.3 Υδατοκαλλιέργειες και περιβάλλον.....	7
1.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	7
1.3.2 Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις.....	10
1.4 Ολοθούρια.....	10
1.4.1 Γενικά για τα ολοθούρια.....	10
1.4.2 Γενικά στοιχεία της βιολογίας του είδους <i>Holothuria tubulosa</i>	18
1.4.3 Η εμπορική σημασία των ολοθουρίων.....	19
1.5 Σκοπός της έρευνας.....	23
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	24
2.1 Σχεδιασμός πειράματος.....	24
2.2 Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας.....	29
2.2.1 Ίζημα.....	29
2.2.2 Έντερο των ολοθουρίων.....	31
2.3 Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων.....	34
2.3.1 Προσδιορισμός υγρασίας/ ξηρής ουσίας.....	34
2.3.2 Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων.....	34
2.3.3 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών.....	36
2.3.4 Προσδιορισμός τέφρας.....	37
2.3.5 Προσδιορισμός ολικής Ενέργειας.....	37
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	39
3.1 Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας στο ίζημα.....	39
3.2 Απορροφητική ικανότητα ΟΥ και ΟΑ στο έντερο των ολοθουρίων.....	43
3.3 Στατιστική ανάλυση.....	46
3.4 Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων.....	48
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	55
ABSTRACT.....	59

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά για τις υδατοκαλλιέργειες

Από τη δεκαετία του '60, η παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας αυξάνεται ταχύτατα με μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης που κυμαίνεται στο 6 %. Την περίοδο 1980-2012 ο μέσος ρυθμός ανάπτυξης ανήλθε στο 8,6 % και το 2013 στο 7,67 %. Με μια παραγωγή < 0,8 εκατομμυρίων τόνων και αξίας < 400.000 € το 1951, έφθασε το 2013 στους 97 εκατομμύρια τόνους, συνολικής αξίας >125,64 δισ. € (FAO 2014).

Κύρια αιτία αυτής της ανάπτυξης είναι η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση αλιευτικών προϊόντων λόγω της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου σε μεγάλες πληθυσμιακές ομάδες. Η ζήτηση αυτή ωστόσο δεν θα είχε καλυφθεί χωρίς την αξιοσημείωτη τεχνολογική και επιστημονική πρόοδο που συντελέστηκε στον κλάδο τα τελευταία 40 χρόνια. Τα αλιευτικά προϊόντα είναι σήμερα μία από τις πιο σημαντικές πηγές ζωικής πρωτεΐνης στον κόσμο και αντιπροσωπεύουν το 20% της συνολικής πρωτεΐνης που καταναλώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες και το 15% στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Μία μερίδα 150 g ψαριού καλύπτει μεταξύ 50-60% των πρωτεϊνικών αναγκών ενός ενήλικα και επιπλέον παρέχει τα αναγκαία ωμέγα-3 (ΥΠΑΑΤ 2014).

Η συμβολή της υδατοκαλλιέργειας στην παραγωγή των αλιευτικών προϊόντων που καταναλώνονται έχει αποκτήσει ήδη μεγάλη σημασία. Από το 13,4% το 1990, εκτιμάται πως περισσότερο από το ήμισυ του συνόλου των αλιευτικών προϊόντων που καταναλώνονται παγκοσμίως προέρχεται από μονάδες υδατοκαλλιέργειας όπου παράγονται ψάρια, οστρακοειδή, φύκια, μαλάκια και άλλα είδη. Αν ληφθεί υπόψη ότι το 2013 ο όγκος παραγωγής από τη συλλεκτική αλιεία ανήλθε σε 93,8 εκατομμύρια

τόνους αλιευμάτων, γίνεται αντιληπτό ότι η υδατοκαλλιέργεια παρέχει σήμερα στην ανθρωπότητα περισσότερα προϊόντα από την αλιεία (ΣΕΘ 2015).

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO 2014), μέχρι το 2030 πάνω από το 65% των αλιευτικών προϊόντων θα προέρχεται από την υδατοκαλλιέργεια. Το 2013 καταγράφηκαν συνολικά 400 διαφορετικά είδη υδατοκαλλιέργειας (ψάρια, μαλάκια, καρκινοειδή, φύκια, ασπόνδυλα, αμφίβια και ερπετά) τα οποία καλλιεργήθηκαν ανά τον κόσμο σε διαφορετικά συστήματα και τεχνολογίες εκτροφής, στη θάλασσα ή σε εσωτερικά ύδατα. Ο διαρκώς αυξανόμενος αριθμός εκτρεφόμενων ειδών αποδεικνύει και την ταχύτατη τεχνολογική ανάπτυξη που έχει επιτευχθεί σε αυτόν τον τομέα της πρωτογενούς παραγωγής. Από το 1950 που άρχισε να αναπτύσσεται η υδατοκαλλιέργεια, έχει εξελιχθεί σε μια δραστηριότητα με σημαντικές κοινωνικοοικονομικές προεκτάσεις. Σύμφωνα με το FAO (2014), η αλιεία και η υδατοκαλλιέργεια μαζί προσφέρουν θέσεις εργασίας σε 66-82 εκατομμύρια ανθρώπους (10-12% του πληθυσμού της γης).

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης από το 1970 ανέρχεται στο 8.8% όταν για τη συλλεκτική αλιεία ο αντίστοιχος μέσος ρυθμός αύξησης είναι μόλις 1.2% και 2.8% για τη χερσαία κτηνοτροφία και πτηνοτροφία. Εκτιμάται πως έως το 2030 μόνο λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού θα απαιτούνται επιπλέον 37 εκατομμύρια τόνοι ψαριού ετησίως. Για την κάλυψη της αγοράς αυτής ο ευρύτερος τομέας της υδατοκαλλιέργειας θα πρέπει να διπλασιάσει την παραγωγή του μέσα στα επόμενα 20 χρόνια.

1.2 Υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα

Οι υδατοκαλλιέργειες ξεκίνησαν σε παραγωγικό επίπεδο στη χώρα μας τη δεκαετία του 1950 με τα όστρακα, γύρω στο 1960 με την εκτροφή της πέστροφας και

τη δεκαετία του 1980 γνώρισαν ταχύτατους ρυθμούς ανάπτυξης, ενώ γύρω στο 1983-1985 οι υδατοκαλλιέργειες οδηγήθηκαν στις εκτροφές ευρύαλων ψαριών (λαυράκι, τσιπούρα). Η κυπρινοκαλλιέργεια αναπτύχθηκε σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της μικρής ζήτησης. Σημειώνεται ότι σήμερα περί το 43% των ιχθύων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση προέρχεται από υδατοκαλλιέργεια, ενώ η αυξανόμενη ζήτηση σε ψάρια τα επόμενα χρόνια αναμένεται να καλυφθεί από τον κλάδο (ΣΕΘ 2015).

Στην Ελλάδα η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια έχει πλέον εδραιωθεί ως ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος κλάδος της πρωτογενούς παραγωγής της χώρας. Παρουσιάζοντας υψηλή εισροή συναλλάγματος, μέσω των εξαγωγικών εμπορικών δραστηριοτήτων των επιχειρήσεων, ο κλάδος έχει ήδη κατακτήσει τη δεύτερη θέση (πίσω από τις εξαγωγές ελαιολάδου) σε αξία εξαγωγών αγροτικών προϊόντων, παρέχοντας σημαντική στήριξη στην εθνική οικονομία. Η υψηλού επιπέδου τεχνογνωσία που έχει πλέον αποκτηθεί, η εντατική έρευνα, οι πειραματισμοί και η ανάπτυξη των ιχθυογεννητικών σταθμών έχουν οδηγήσει σε αύξηση της αποδοτικότητας, σε μείωση του κόστους παραγωγής και του κόστους κεφαλαίου ανά παραγόμενη μονάδα, ενισχύοντας περαιτέρω την ανταγωνιστικότητα του κλάδου. Η συνολική παραγωγή, το 2013, ξεπέρασε τους 123.000 τόνους τσιπούρας και λαβρακιού (εμπορεύσιμο μέγεθος) και τα 400 εκατομμύρια ιχθύδια (γόνος). Η παραγωγή αυτή αντιπροσωπεύει περί το 50% της συνολικής παραγωγής της Μεσογειακής υδατοκαλλιέργειας (ΣΕΘ 2015).

1.3 Υδατοκαλλιέργειες και περιβάλλον

Οι εντατικοποιημένες παραγωγικές διαδικασίες του πρωτογενούς τομέα συνιστούν από την φύση τους διαταραχή της ισορροπίας του οικοσυστήματος. Είναι γνωστό ότι ο κύριος σκοπός των υδατοκαλλιεργειών είναι η παραγωγή τροφίμων για τον άνθρωπο. Από τις σημαντικότερες «υποχρεώσεις» που μπορεί να πει κανείς ότι έχουν οι υδατοκαλλιέργειες, ώστε να δικαιολογηθεί η εφαρμογή τους είναι η μαζική παραγωγή τροφίμων υψηλής διατητικής αξίας και χαμηλού κόστους. Η παραγωγή αυτή πρέπει να είναι ελάχιστης δυνατής χρονικής διάρκειας και με την ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση στο τόπο εφαρμογής της.

Όπως ξέρουμε το κάθε οικοσύστημα είναι ένα δυναμικό περιβάλλον το οποίο αντιδρά και προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περίπτωση. Εκείνο που θα πρέπει να προσεχθεί είναι οι όποιες επιδράσεις από τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες να είναι μέσα σε κάποια λογικά πλαίσια ώστε να επιτρέπεται από πλευράς του οικοσυστήματος η προσαρμογή και τελικά η αποκατάσταση της ισορροπίας.

1.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας στο περιβάλλον επηρεάζονται από τη μέθοδο εκτροφής και από ένα αριθμό μεταβλητών παραγόντων, όπως είναι τα βιοτικά και τα αβιοτικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος. Οι χερσαίες εγκαταστάσεις στην πλειονότητα τους εκτίθενται σε κλιματικές ιδιομορφίες, αλλά και σε βιολογικούς κινδύνους, όπως είναι ιοί, βακτήρια, πτηνά, αμφίβια, ερπετά κ.ά. Οι εγκαταστάσεις μέσα στο υδάτινο περιβάλλον (ιχθυοκλωβοί) είναι ανοικτά συστήματα και αποτελούν συστατικά του ίδιου του περιβάλλοντος. Επιδρούν στο περιβάλλον το οποίο με τη

σειρά του επιδρά σ' αυτές τις εγκαταστάσεις και στη λειτουργία τους. Η επεξεργασία των αποβλήτων τους είναι πολυδάπανη και πολλές φορές δεν είναι εφικτή. Συνήθως, ενσκήπτουν ποικίλες ασθένειες στα εκτρεφόμενα είδη, ενώ μετάδοση ασθενειών στους φυσικούς πληθυσμούς σπάνια αναφέρεται, αν και 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).

Οι εγκαταστάσεις στο υδάτινο περιβάλλον προσελκύουν πολλά είδη ζώων και υπόκεινται σε κινδύνους από επιθέσεις άλλων ψαριών, θηλαστικών, πτηνών, κ.ά. Σύνηθες είναι το φαινόμενο, τα εκτρεφόμενα είδη να διαφεύγουν μέσα στο υδάτινο περιβάλλον. Όταν μάλιστα αυτά τα είδη είναι ξενικά, τότε υπάρχει κίνδυνος διαταραχής της οικολογικής ισορροπίας μιας περιοχής. Επίσης, υπέρμετρη χρήση χημικών ουσιών και φαρμάκων για την καταπολέμηση ασθενειών μπορεί να έχει επίδραση στο περιβάλλον, είναι όμως εξαιρετικά δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν τα μεγέθη. 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 για θεραπεία, έξω από τις εγκαταστάσεις σε κλειστά συστήματα, οπότε οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον ελαχιστοποιούνται (Πνευματικάτος 1982).

Τα δίχτυα των εγκαταστάσεων εκτροφής ψαριών έχει αποδειχθεί ότι επιδρούν στη γενική κυκλοφορία των υδάτων 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 που φράσσονται τα δίχτυα από την επιπανίδα και επιγλωρίδα, 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).

Οι πλωτές εγκαταστάσεις εξάλλου έχει διαπιστωθεί ότι επιδρούν σημαντικά στα τοπικά ρεύματα (Milne 1970, Inoue 1972), μεταβάλλοντας το ρυθμό απόθεσης του σωματιδιακού υλικού και τη σύσταση των ιζημάτων, γεγονός το οποίο πιθανό να επηρεάσει αρνητικά τις βενθικές βιοκοινωνίες και κατ' επέκταση την τροφική κατάσταση του οικοσυστήματος. Η σημαντικότερη όμως επίδραση είναι ότι με την μεταβολή της κυκλοφορίας των νερών διαμέσου των εγκαταστάσεων, επηρεάζεται ο εφοδιασμός της περιοχής με το διαλυμένο οξυγόνο, όπως και η απομάκρυνση των προϊόντων μεταβολισμού των ψαριών από την περιοχή των εγκαταστάσεων της ιχθυοκαλλιέργειας. Οι εγκαταστάσεις μιας ιχθυοκαλλιέργειας μπορεί μεν να διαταράσσουν τη φυσική αξία μιας περιοχής, συγχρόνως όμως μπορούν να επιδράσουν θετικά στην κύρια ή και στη συμπληρωματική απασχόληση του τοπικού εργατικού δυναμικού και άρα στη γενικότερη οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

Ανεξάρτητα από τις μεθόδους και τα εκτρεφόμενα είδη, έχει διαπιστωθεί (Merican 1983) ότι μέσα και γύρω από τις εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιέργειών:

- αυξάνονται τα επίπεδα των αιωρούμενων στερεών, της θολερότητας, των θρεπτικών αλάτων, της αλκαλικότητας και της πρωτογενούς παραγωγής,
- αυξάνονται οι πληθυσμοί των χλωροφυκών, διατόμων, βακτηρίων, πρωτόζωων, ζωοπλαγκτού και βενθικών ασπόνδυλων,
- μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο και η διαφάνεια των υδάτων,
- είναι δυνατόν να μεταβληθεί η φυσική ιχθυοπανίδα της περιοχής από τα είδη που διαφεύγουν.

1.3.2 Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις

Οι εκτροφές με το σύστημα των πλωτών ιχθυοκλωβών που αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία των υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα, αντιμετωπίζουν και αυτές προβλήματα ανταγωνισμού με άλλες δραστηριότητες όπως είναι η αναψυχή, η αλιεία αλλά κυρίως ο τουρισμός. Η συνύπαρξη τουριστικών και υδατοκαλλιεργητικών εγκαταστάσεων είναι μάλλον ασύμβατη, τόσο για αισθητικούς λόγους αλλά και εξαιτίας του ανταγωνισμού σε χώρο για δραστηριότητες αναψυχής όπως κολύμβηση, ταχύπλοα σκάφη κ.ά..

Το σίγουρο είναι ότι η τουριστική ανάπτυξη δεν μπορεί να υπάρξει σε όλες τις παραθαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας. Έτσι, η υδατοκαλλιεργητική δραστηριότητα δίνει μια καλή εναλλακτική λύση σε περιοχές που λόγω της ιδιαιτερότητας τους δεν είναι ή και δεν μπορούν να είναι αναπτυγμένες τουριστικά. Είναι δύσκολο να πιστέψει κανείς ότι στην Ελλάδα των 15.000 Km ακτών (τη μεγαλύτερη ανά την Ευρώπη ακτογραμμή), δεν είναι δυνατόν να υπάρξουν ακτές κατάλληλες για την ανάπτυξη του ανερχόμενου αυτού κλάδου χωρίς να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τον εξίσου σημαντικό τομέα της εθνικής οικονομίας, τον τουρισμό.

1.4 Ολοθύρια

1.4.1 Γενικά για τα ολοθύρια

Τα ολοθύρια, γνωστά με την κοινή ονομασία «αγγούρια της θάλασσας», ανήκουν στα ανώτερα ασπόνδυλα και ταξινομικά, κατατάσσονται στο φύλο Εχινόδερμα, μαζί με τους αχινούς, τους αστερίες, τους οφίουρους και τα κρινοειδή. Σε αντίθεση, όμως, με τις υπόλοιπες κλάσεις των Εχινόδερμων, τα ολοθύρια έχουν

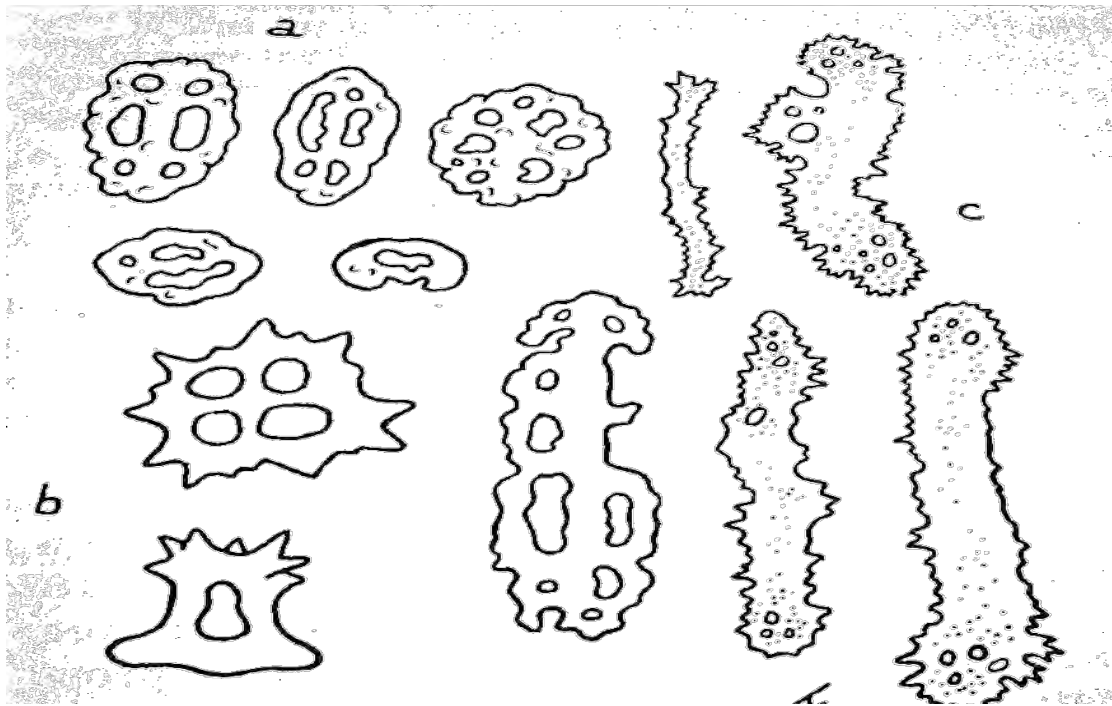
γενικά μαλακό, μυώδες σώμα, με δερματώδη υφή, σχήμα επίμηκες κυλινδρικό με αμφίπλευρη συμμετρία, ενώ δε φέρουν άκανθες (Tortonese & Vadon 1987). Πρόκειται για αποκλειστικά θαλάσσιους οργανισμούς με παγκόσμια εξάπλωση από τους πόλους μέχρι και τις τροπικές περιοχές. Η βαθυμετρική τους διανομή είναι ευρύτατη καθώς απαντούν από την ανώτερη υποπαραλιακή ζώνη μέχρι και τις αβυσσαίες περιοχές, σε βάθη μεγαλύτερα των 10.000 μέτρων.

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 πυθμένες, όσο και σε αμμώδεις, άμμο-ιλυώδεις και ιλυώδεις πυθμένες. 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. Ανάλογα με το είδος, το σωματικό τους μέγεθος κυμαίνεται από 1-2 cm μέχρι κάποια μέτρα, ενώ ο εξωτερικός τους χρωματισμός περιλαμβάνει αποχρώσεις του μαύρου, του καφέ ή του λευκού (Εικ. 1.1).



Εικόνα 1.1. Το είδος *Holothuria tubulosa* στο φυσικό του ενδιαίτημα (Vafidis et al. 2008).

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες κλάσεις των Εχινόδερμων, 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 σώμα τους είναι γενικά μαλακό, μώδες με δερματώδη υφή και δε φέρει άκανθες (Tortonese & Vadon 1987). 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. Ένα άτομο 10 cm μπορεί να περιέχει περισσότερους από 20 εκατομμύρια σκληρίτες (Εικ. 1.2).



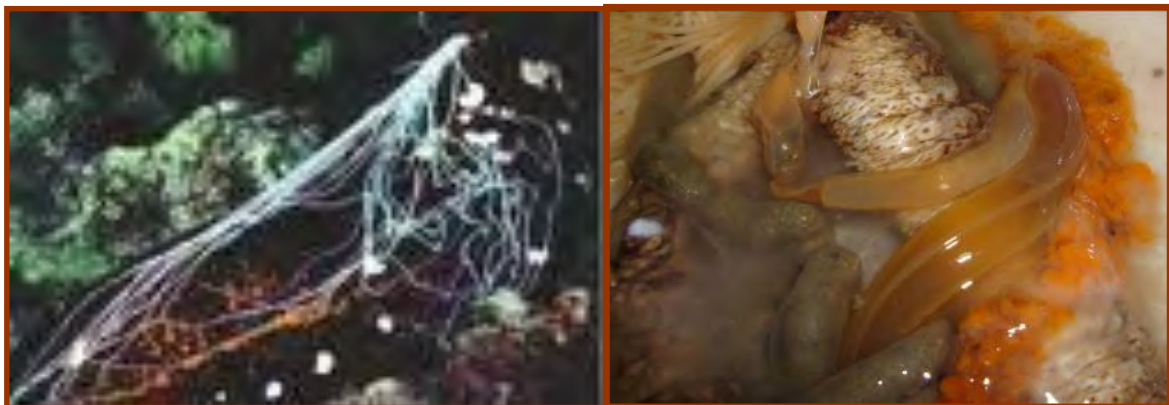
Εικόνα 1.2. Δερμικοί σκληρίτες του είδους *Holothuria tubulosa*, α = πλάκες (x 300), b = πυργοειδή (x 300), c = ραβδία (x 100) (Tortonese 1965).

Πέντε υδροφορικοί σωλήνες διατρέχουν το σώμα τους, τρεις κατά μήκος της κοιλιακής επιφάνειας του ζώου και δύο κατά μήκος της νωτιαίας. Από τους υδροφορικούς σωλήνες εξέρχονται οι βαδιστικοί ποδίσκοι που στην κοιλιακή πλευρά φέρουν μυζητικό δίσκο για την προσκόλληση του ζώου στο υπόστρωμα, ενώ στη νωτιαία αισθητήρια φύματα. Οι βαδιστικοί ποδίσκοι είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένοι στα είδη που ζουν σε σκληρά υποστρώματα, ενώ ατροφούν στα ενδοψαμμικά είδη. Μετακινούνται με ισχυρές συσπάσεις των κυκλικών και επιμήκων μυών τους και με τους βαδιστικούς ποδίσκους. Όταν ερεθίζονται, συστέλλονται τροποποιώντας το σχήμα τους. Το στόμα περιβάλλεται από 10-30 στοματικές κεραίες (τροποποιημένοι βαδιστικοί ποδίσκοι) που μπορούν να τραβηχτούν στο εσωτερικό της σωματικής κοιλότητας και ενίοτε βοηθάνε στη μετακίνηση του ζώου (Tortonese & Vadon 1987). Η μορφή των κεραιών λειτουργεί ως ταξινομικό γνώρισμα (πελτοειδής, δενδροειδής, πτεροειδής, δακτυλιοειδής). Με τη βοήθεια αυτών των κεραιών συλλέγουν πλαγκτό και θρύμματα (σωματιδιακό οργανικό υλικό) από τη στήλη του νερού ή το ίζημα (Εικ. 1.3).



Εικόνα 1.3. Οι πελτοειδούς μορφής στοματικές κεραίες και οι βαδιστικοί ποδίσκοι του ολοθούριου *Holothuria tubulosa* (φωτο συγγραφέα).

Πρόκειται για επιλεκτικούς ή μη επιλεκτικούς θρυμματοφάγους οργανισμούς ή ιζηματοφάγους που καταπίνουν μεγάλες ποσότητες άμμου και λάσπης. Συνεπώς έχουν σημαντικό ρόλο στην αναμόχλευση και στην ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών του ιζήματος. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελεί η ύπαρξη δέκα ασβεστιτικών πλακών στον πεπτικό σωλήνα, γύρω από το φάρυγγα. Το έντερο σχηματίζει βρόχο και καταλήγει στην έδρα (Εικ. 1.4). Στην έδρα, που καθώς συστέλλεται και διαστέλλεται προκαλεί την είσοδο / έξοδο νερού, καταλήγει επίσης ένα ζεύγος δενδροειδών υδροφόρων πνευμόνων, τα αναπνευστικά δέντρα, που λειτουργούν ως βράγχια εξυπηρετώντας τις αναπνευστικές απαιτήσεις του ζώου καθώς παρέχουν μεγάλη επιφάνεια για την ανταλλαγή αερίων. Μερικά είδη φέρουν σωληνοειδείς, κολλώδεις δομές που εκβάλλουν στη βάση των υδροφόρων πνευμόνων, τα όργανα του Cuvier (Εικ. 1.4). Όταν το ζώο δεχτεί κάποιο έντονο ερέθισμα, τα όργανα του Cuvier μαζί με νερό εξωθούνται μέσω της κλοάκης προς άμυνα (Tortonese & Vadon 1987). Ορισμένα είδη μάλιστα όταν ερεθιστούν μπορούν και εκτοξεύουν μέρος ή 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.

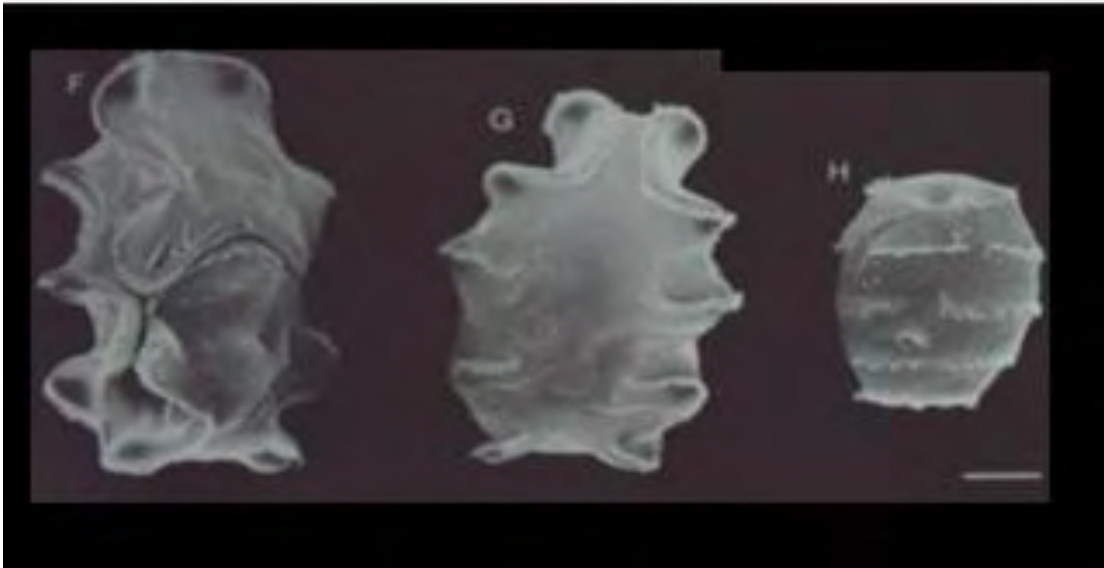


Εικόνα 1.4. Όργανο του Cuvier (αριστερά) και πεπτικός σωλήνας ολοθουρίων (δεξιά) (Vafidis et al. 2008).

Τα περισσότερα είδη ολοθουρίων είναι γονοχωριστικά και η αναπαραγωγή τους είναι, κατά κανόνα, εγγενής και συνήθως ακολουθεί ετήσιο κύκλο. Φέρουν μία μόνο γονάδα, δένδροειδούς μορφής, που φέρει πολυάριθμα τυφλά και εκβάλλει στη γεννητική οπή που βρίσκεται μεταξύ δύο κεραιών, πιο συχνά κοντά στην κοντύτερη από αυτές (Εικ. 1.5). Η αναπαραγωγή ακολουθεί συνήθως ετήσιο κύκλο και η απελευθέρωση των γαμετών γίνεται κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, στις εύκρατες περιοχές και η γονιμοποίηση πραγματοποιείται στην υδάτινη στήλη. Η γονιμοποίηση είναι εξωτερική (Tortonese & Vadon 1987). Ορισμένα είδη διατηρούν τα γονιμοποιημένα ωάρια στη νωτιαία επιφάνεια του σώματος και στις κεραίες ή ακόμη και στο εσωτερικό του σώματος τους, σε γεννητικούς σάκους, στη γονάδα του θηλυκού ή στο κοίλωμα. Μεταξύ της γονιμοποίησης και του νεαρού ατόμου, παρεμβάλλονται διαφορετικές πλαγκτονικές προνύμφες (Εικ. 1.6), ανάλογα με το είδος. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η μεταμόρφωση σε νεαρό ολοθούριο ολοκληρώνεται πριν την εγκατάστασή του στο υπόστρωμα. Σε αρκετά είδη έχει παρατηρηθεί και αγενής αναπαραγωγή με σωματική διάσχιση. Η διάρκεια ζωής φτάνει τη δεκαετία.



Εικόνα 1.5. Γονάδα θηλυκού (αριστερά) και αρσενικού (δεξιά) ολοθούριου (Vafidis et al. 2008).



Εικόνα 1.6. Προνύμφες ολοθούριου (Vafidis et al. 2008).

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). Διαδραματίζουν έτσι σημαντικό ρόλο 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).

Μέχρι σήμερα έχουν περιγραφεί περίπου 1.150 είδη ολοθουρίων. Από αυτά, 53 είδη έχουν αναφερθεί από τη Μεσόγειο. Ειδικότερα στις ελληνικές θάλασσες απαντούν 34 είδη που ανήκουν σε 17 γένη (Koukouras & Sinis 1981, Pancucci – Papadopoulou 1996) (Πίν. 1.1), 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).

Πίνακας 1.1. Κατάλογος με τα είδη ολουθούριων που έχουν καταγραφεί στις ελληνικές θάλασσες.

Είδος	Β.Αιγαίο	Ν. Αιγαίο	Ιόνιο
<i>Holothuria forskali</i> (Delle Chiaje 1823)	•		•
<i>Holothuria helleri</i> (Marenzeller 1878)	•	•	•
<i>Holothuria impatiens</i> (Forskal 1775)	•		•
<i>Holothuria mammata</i> (Grube 1840)	•	•	•
<i>Holothuria polii</i> (Delle Chiaje 1823)	•	•	•
<i>Holothuria sanctori</i> (Delle Chiaje 1823)	•	•	
<i>Holothuria stellati</i> (Delle Chiaje 1823)	•		
<i>Holothuria tubulosa</i> (Gmelin 1788)	•	•	•
<i>Stichopus regalis</i> (Cuvier 1817)	•	•	•
<i>Mesothuria intestinalis</i> (Ascanius & Rathke 1867)		•	•
<i>Pseudostichopus occultatus</i> (Marenzeller 1893)		•	
<i>Echinocucumis typica</i> (M.Sars 1861)	•		
<i>Leptopentacta elongata</i> (Duben & Koren 1844)	•	•	
<i>Leptopentacta tergestina</i> (M.Sars 1857)	•	•	•
<i>Ocnus planci</i> (Brandt 1835)	•	•	•
<i>Paracucumaria hyndmani</i> (Thomson 1840)	•	•	
<i>Pseudocnus syracusanus</i> (Grube 1840)	•		
<i>Stereoderma kirschsbergi</i> (Heller 1868)	•	•	
<i>Havelockia inermis</i> (Heller 1868)	•	•	
<i>Neocucumis marioni</i> (Marenzeller 1878)	•		
<i>Phyllophorus granulatus</i> (Grube 1840)	•		•
<i>Phyllophorus urna</i> (Grube 1840)	•	•	
<i>Thyone cherbonnieri</i> (Reis 1959)	•	•	
<i>Thyone fusus</i> (O.F. Muller 1788)	•	•	•
<i>Thyone roscovita</i> (Herouard 1890)	•	•	

<i>Labidoplax buski</i> (McIntosh 1866)	•	•	•
<i>Labidoplax digitata</i> (Montagu 1815)	•	•	•
<i>Labidoplax media</i> (Oestergren 1905)		•	
<i>Labidoplax thomsoni</i> (Herapath 1865)	•		•
<i>Leptosynapta galliennei</i> (Herapath 1865)			•
<i>inhaerens</i> (O.F. Muller 1788)	•		•
<i>Leptosynapta makrankyra</i> (Ludwig 1898)	•	•	•
<i>Leptosynapta minuta</i> (Becher 1906)	•		
<i>Irpa ludwigi</i> (Marenzeller 1893)		•	

1.4.2 Γενικά στοιχεία της βιολογίας του είδους *Holothuria tubulosa*

Η συστηματική κατάταξη του είδους *Holothuria tubulosa* (Gmelin 1788) έχει ως εξής:

Φύλο: Echinodermata

Κλάση: Holothurioidea

Τάξη: Aspidochirota

Οικογένεια: Holothuriidae

Γένος: *Holothuria*

Είδος: *tubulosa*

Το γένος *Holothuria* περιλαμβάνει 8 είδη που εξαπλώνονται στις ελληνικές ακτές του Αιγαίου. Το *Holothuria tubulosa* (Εικ. 1.1), γνωστό με την κοινή ονομασία «αγγούρι της θάλασσας», είναι είδος που ζει στις ακτές του Ατλαντικού και της Μεσογείου. Το σώμα του είναι κυλινδρικό, με παχιά και σκληρή επιδερμίδα, χρώματος καφέ, συχνά με κοκκινωπές ή ιώδεις αποχρώσεις, πιο ανοιχτόχρωμο κοιλιακά, συχνά με λευκές κηλίδες ή στίγματα. Το μέγιστο σωματικό μέγεθος φτάνει τα 30 cm σε μήκος και τα 6 cm σε πλάτος, με μέσο βάρος 340 g.

Στη νωτιαία επιφάνεια φέρει φύματα που καταλήγουν σε μικρή θηλή, ενώ στην κοιλιακή πολυάριθμους βαδιστικούς ποδίσκους, που του επιτρέπουν να μετακινείται με μεγάλη ταχύτητα (1 m / 10 min). Φέρει στοματικές κεραίες πελτοειδούς μορφής (Εικ. 1.3). Οι δερμικοί σκληρίτες (Εικ. 1.2) ανήκουν στις κατηγορίες: α) πυργοειδή, β) πλάκες και γ) ραβδία. Τα πυργοειδή είναι μικρά με άκανθες στη βάση και την κορυφή τους, ενώ οι πλάκες είναι οβάλ με ακανόνιστη επιφάνεια και τουλάχιστον δύο ζευγάρια πόρων (στην κοιλιακή επιφάνεια υπάρχουν και μερικές μεγάλες οβάλ πλάκες χωρίς πόρους). Τα ραβδία είναι διάτρητα και απαντούν στις κεραίες και τις θηλές (Vafidis et al. 2008).

Το *H. tubulosa* αποτελεί πολύ κοινό βενθικό είδος του Αιγαίου. Βαθυμετρικά εκτείνεται σε όλο το εύρος της υποπαραλιακής ζώνης και στην περιπαραλιακή, συνήθως μέχρι τα 100 m βάθος. Αποτελεί κάτοικο των κινητών υποστρωμάτων, ενώ απαντά και σε βραχώδεις πυθμένες μεγάλης φυκοκάλυψης. Στο κινητό υπόστρωμα απαντά τόσο σε λειμώνες των φανερόγαμων *Zostera marina* και *Posidonia oceanica*, όσο και σε αμμώδεις, άμμο-ιλυώδεις και θρυμματογενείς πυθμένες. Συγκαταλέγεται στα χαρακτηριστικά είδη της βιοκοινότητας των παράκτιων άμμο-ιλυωδών πυθμένων προφυλαγμένων περιοχών (SVMC), ενώ λόγω της ευρείας βαθυμετρικής του κατανομής απαντά και στη βιοκοινότητα των ιλυωδών πυθμένων της βαθύαλης ζώνης (VP) ως κοινό είδος (Vafidis et al. 2008).

1.4.3 Η εμπορική σημασία των ολοθουρίων

Ορισμένα είδη ολοθουρίων παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό ενδιαφέρον καθώς αλιεύονται και πωλούνται μεταποιημένα προς βρώση σε αρκετές αγορές, ιδιαίτερα στις χώρες της Άπω Ανατολής (Ιαπωνία, Κίνα, Αυστραλία, Ινδονησία,

Μαλαισία). Πολλά από τα είδη της τάξης Aspidochirota (21) υπόκεινται σε συστηματική αλιεία (*Actinopyrgaechinites*, *A. lecanora*, *A. milliaris*, *A. mauritiana*, *Bohadschiamarmorata*, *Halodeimaatra*, *Holothuriaarenacava*, *H. fuscogilva*, *H. mexicana*, *H. nobilis*, *H. scabra*, *H. tubulosa*, *H. whitmaei*, *Isostichopusbadionotus*, *Microtheleaxiologa*, *M. nobilis*, *Stichopuschioronotus*, *S. japonicus*, *S. regalis*, *Thelenotaananas*, *T. anax*). Στη Μεσόγειο απαντούν δύο από τα παραπάνω είδη, το *Holothuria tubulosa* και το *Stichopus regalis*, που ανήκουν στις οικογένειες Holothuridae και Stichopodidae, αντίστοιχα. Το *H. tubulosa* δεν καταναλώνεται στις τοπικές αγορές αλλά αλιεύεται και εξάγεται από την Τουρκία στην Ιαπωνία. Αντίθετα, το *S. regalis*, γνωστό ως «θαλάσσια πίτσα» ή «θαλάσσια γλώσσα», καταναλώνεται κυρίως στην περιοχή της Καταλονίας όπου εκτιμάται ιδιαίτερα (Ponguet) και αλιεύεται περιστασιακά στη Γαλλία και την Ισπανία (Tortonese & Vadon 1987). Στις ακτές της Girona (Ισπανία) το 2003 αλιεύθηκαν 2 τόνοι του είδους *S. regalis* που η οικονομική τους αξία, ως νωπό προϊόν, έφτασε τα 150.600 ευρώ (Vafidis et al. 2008).

Το τελικό μεταποιημένο προϊόν είναι γνωστό με την ονομασία trepang (μαλαισιανής προέλευσης) ή beche-de-mer (θαλάσσια δικέλλα). Η μεταποιητική διαδικασία περιλαμβάνει την αφαίρεση των εντοσθίων, το βράσιμο και την αποξήρανση του σωματικού περιβλήματος του ζώου ή και το κάπνισμα του (Εικ. 1.7). Στη συνέχεια το προϊόν σχίζεται και βράζεται ώστε να διογκωθεί και να γίνει ζελατινώδες προτού καταναλωθεί. Στις Φιλιππίνες καταναλώνεται και νωπό. Η προώθηση του trepang γίνεται κυρίως στις αγορές της Κίνας και της Ιαπωνίας, όπου αποτελεί ιδιαίτερα αγαπητό γαστρονομικό έδεσμα, με τιμή που ανέρχεται στα 65\$ το κιλό σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2002 του τμήματος Αλιείας της Αυστραλίας (Fisheries Division, Department of Primary Industry & Fisheries,

Darwin, Australia), ενώ νεότερα δεδομένα τοποθετούν την τιμή του στα 140\$ το κιλό. Το trepang έχει υψηλή θρεπτική αξία, καθώς είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες (40%). Αποτελεί πολύ εύπεπτη τροφή και θεωρείται αφροδισιακό στην Ιαπωνία και στην Κίνα (Vafidis et al. 2008).



Εικόνα 1.7. Τελικό μεταποιημένο προϊόν, trepang (Vafidis et al. 2008).

Εκτός του οικονομικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζουν τα ολοθούρια, ως πηγή τροφής, ιδιαίτερο ερευνητικό και εμπορικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν κάποια είδη, όπως το *Actinopyga mauritiana*, *Holothuria leucospilota*, *H. scabra* και το *H. difficilis* ως 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, ανοσορρυθμιστική και αντιφλεγμονώδη δράση). Από τα είδη αυτά έχουν απομονωθεί δραστικές ουσίες της κατηγορίας α) triterpene glycosides,

όπως η ολοθουρίνη ή σαπωνίνη, που αναφέρεται σε ουσίες με ισχυρή κυττοτοξική, αντικαρκινική, αντι-ϊική, αντιμυκητιακή και αιμολυτική δράση, β) glycosaminoglycans, με αντιθρομβωτική αντιπηκτική δράση, γ) neuritogenic gangliosides, με αντικαρκινική δράση, δ) διάφορα αλκοολικά εκχυλίσματα, με αντιμικροβιακή και αντιμυκητιακή δράση και ε) διάφορες βιοδραστικές ουσίες (λιπαρά οξέα, υδατικά εκχυλίσματα, πρωτεΐνες π.χ. lectins, opsonins) με αντικαρκινική, φαγοκυττική, αναλγητική και κατά του έλκους του στομάχου δράση. Άλλωστε τα ολοθούρια έχουν αποτελέσει παραδοσιακό φαρμακευτικό προϊόν στην Κινέζικη ιατρική για τη θεραπεία διαφόρων παθήσεων (π.χ. αρθρίτιδα), την προληπτική ιατρική, αλλά και την ενίσχυση της μακροζωίας. Σε αρκετά νησιά του Ειρηνικού χρησιμοποιείται ομογενοποίημα του είδους *H. atra* στην αλιεία, καθώς η ισχυρή κυττοτοξική δράση των σαπωνίνων που περιέχει λειτουργεί ως αναισθητικό για τα ψάρια (Vafidis et al. 2008).

Η αλιεία των ολοθουρίων πραγματοποιείται με αυτόνομη και ελεύθερη κατάδυση, με άγκιστρα, με δράγες και συρόμενα δίχτυα βυθού (τράτες). Στην Ελλάδα τα ολοθούρια εμπίπτουν στην κατηγορία των απορριπτόμενων αλιευμάτων, καθώς δεν αποτελούν είδος εμπορευσιμότητας. Η μόνη γνωστή χρήση τους είναι ως δόλωμα από τους παράκτιους αλιείς σε αντίθεση με πολλές άλλες χώρες όπου όπως προαναφέρθηκε αποτελούν σημαντικό αλιευτικό είδος – στόχο, υψηλής εμπορικής αξίας και απήχησης (Vafidis et al. 2008).

1.5 Σκοπός της έρευνας

Ο σκοπός της Προπτυχιακής Διπλωματικής Διατριβής είναι η μελέτη της επίδρασης του ιζηματοφάφου βενθικού οργανισμού *Holothuria tubulosa* (Εικ. 1.8) στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών στο υπόστρωμα, καθώς και η μελέτη της θρεπτικής τους αξίας ως πιθανό μελλοντικό τρόφιμο ή συστατικό ζωοτροφών.



Εικόνα 1.8. Δείγματα του είδους *H. tubulosa* αμέσως μετά την τοποθέτησή τους στα ενυδρεία (φώτο συγγραφέα).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

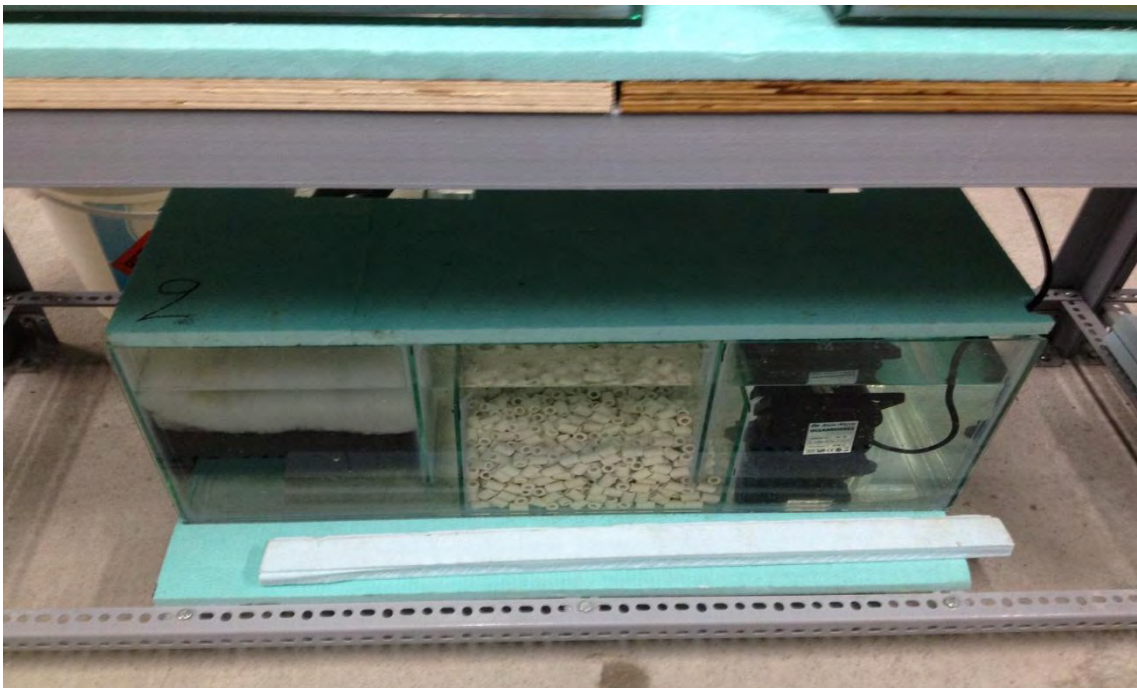
2.1 Σχεδιασμός πειράματος

Κατά την παρούσα έρευνα έγινε προσπάθεια προσομοίωσης των συνθηκών που επικρατούν στο υδάτινο περιβάλλον κάτω από τους ιχθυοκλωβούς, με σκοπό τον όσο το δυνατόν καλύτερο υπολογισμό της ικανότητας αφαίρεσης οργανικού υπολείμματος από τα ολοθούρια σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Επίσης, πραγματοποιήθηκε μελέτη της χημικής σύστασης του σώματος των ολοθουρίων με σκοπό τον χαρακτηρισμό της θρεπτικής τους αξίας ως πιθανό μελλοντικό τρόφιμο ή συστατικό ζωοτροφών.

Το πείραμα εκτροφής διεξήχθη σε έξι (6) γυάλινα ενυδρεία (χωρητικότητα 250 ℓ το κάθε ένα, Εικ. 2.1) κλειστού κυκλώματος θαλασσινού νερού, τα οποία ήταν χωρισμένα σε 3 ζεύγη (συστήματα). Κάθε σύστημα ενυδρείων διέθετε φίλτρο μηχανικής και βιολογικής διήθησης του νερού (Εικ. 2.2) και είχε προετοιμαστεί κατάλληλα ώστε η ποιότητα του νερού να είναι ενδεδειγμένη για τον εγκλεισμό τόσο των ολοθουρίων όσο και των ατόμων τσιπούρας. 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 35‰ (η οποία δημιουργήθηκε με προσθήκη ειδικού συνθετικού άλατος του εμπορίου σε γλυκό νερό όσμωσης). Οι περιεκτικότητες της ολικής αμμωνίας και των νιτροδών ιόντων διατηρήθηκαν σε συγκεντρώσεις <0,1 mg/l, μέσω χρησιμοποίησης ειδικών νιτροποιητικών διαλυμάτων βακτηρίων του εμπορίου.



Εικόνα 2.1. Άποψη των 6 ενυδρείων (3 συστήματα) που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα έρευνα (Neofitou et al. 2016).



Εικόνα 2.2. Άποψη του εξωτερικού φίλτρου (μηχανικού & βιολογικού) που χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό του νερού των ενυδρείων κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (Neofitou et al. 2016).

Η ποιότητα του νερού παρακολουθήθηκε σε εβδομαδιαία βάση μέσω ειδικών φορητών ηλεκτρονικών οργάνων (οξυγονόμετρο, αλατόμετρο, pHμετρο) και ειδικών εμπορικών τέστ μέτρησης ολικής αμμωνίας, νιτρωδών, νιτρικών ιόντων και ολικής σκληρότητας νερού. Σε κάθε ενυδρείο τοποθετήθηκε ένα στρώμα μαλακού υποστρώματος 5 cm (άμμος, Εικ. 2.3), το οποίο προήλθε από το θαλάσσιο περιβάλλον συλλογής των ολοθουρίων, ώστε να προσομοιάζει το φυσικό τους περιβάλλον.



Εικόνα 2.3. Άποψη του κοσκινισμένου ιζήματος πάχους 5 cm που τοποθετήθηκε στα ενυδρεία για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας (φωτο συγγραφέα).

Η άμμος αυτή, προτού τοποθετηθεί στα ενυδρεία κοσκινίστηκε σε κόσκινο 1 mm. Σε κάθε ενυδρείο, και σε ύψος 20cm από τον πάτο του ενυδρείου, τοποθετήθηκε ειδική διαχωριστική επιφάνεια (πλαστική σίτα με τετράγωνο μάτι 10 mm), έτσι ώστε

να μην υπάρχει η δυνατότητα κατανάλωσης οργανικού υλικού του ιζήματος από τα εκτρεφόμενα ψάρια και να αποφεύγεται τυχόν όχληση μεταξύ των ψαριών και των ολοθουρίων (Εικ. 2.4).



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 με το ίζημα στο κάτω τμήμα (Neofitou et al. 2016).

Έπειτα, ένας συνολικός αριθμός 12 ολοθουρίων συλλέχτηκε από το θαλάσσιο περιβάλλον του Παγασητικού κόλπου μέσω αυτόνομης κατάδυσης και αφού τοποθετήθηκαν σε δοχεία θαλασσινού νερού με παρεχόμενη οξυγόνωση, μεταφέρθηκαν στον ιχθυογεννητικό σταθμό. Πριν την τοποθέτηση των ολοθουρίων στα ενυδρεία, καταγράφηκε το ολικό μήκος και βάρος σώματος του καθενός, αφού προηγουμένως αφεθήκαν για 48 ώρες σε λεκάνες θαλασσινού νερού ώστε να αδειάσει το περιεχόμενο του στομάχου τους πριν τη διεξαγωγή του πειράματος. Σε

κάθε ένα από τα 3 συστήματα των ενυδρείων τοποθετήθηκαν από 4 ολοθούρια. Κατόπιν, σε κάθε ένα ενυδρείο τοποθετήθηκε ένας αριθμός 30 ατόμων τσιπούρας, μέσου σωματικού βάρους 10 g, των οποίων καταγράφηκε ατομικά το ολικό μήκος και το βάρος του σώματος. Τα ψάρια αυτά προήλθαν από τον ιχθυογεννητικό σταθμό της εταιρείας «ΔΙΑΣ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΑΒΕΕ» (Πελασγία, Φθιώτιδος).

Τα εκτρεφόμενα ψάρια σιτίστηκαν καθημερινά με ιχθυοτροφή του εμπορίου (εταιρείας BiomarHellas, προϊόν Iniciorplus), διαμέτρου πελέτας 1,5 mm, (περιεκτικότητας 54% σε ολικές πρωτεΐνες, 18% σε ολικά λιπίδια και 21,7 Mj/Kg σε ολική ενέργεια). Η σίτιση των ψαριών ήταν καθημερινή σε ποσοστό 3% επί της συνολικής βιομάζας του ενυδρείου. Για το σκοπό αυτό καθημερινά ζυγίστηκε για κάθε ενυδρείο η αντίστοιχη ποσότητα της τροφής η οποία κατόπιν τοποθετήθηκε σε ειδικό αεροστεγές δοχείο και αποθηκεύθηκε στους 4°C μέχρι την χορήγησή της. Η σίτιση πραγματοποιήθηκε σε καθημερινή βάση, σε δύο (2) ισόποσα γεύματα (ώρες 10:00 και 16:00). Η σίτιση των ψαριών πραγματοποιήθηκε με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να δίνεται χρόνος στα ψάρια να αποδεχθούν και να καταναλώσουν το σύνολο της τροφής, με σκοπό τις όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες τροφής στον πυθμένα των ενυδρείων. Η στρατηγική αυτή είναι η ενδεδειγμένη για τη σίτιση των ψαριών υδατοκαλλιέργειας και θα πρέπει να υιοθετείται και στις μονάδες εκτροφής. Στις περιπτώσεις εκείνες που παρατηρήθηκε μειωμένη όρεξη των ψαριών, η σίτιση διακόπηκε και η προζυγιστήσα ποσότητα τροφής επαναζυγίστηκε με σκοπό την ακριβή καταγραφή της χορηγηθείσας ποσότητας.

Η διάρκεια της πειραματικής εκτροφής ήταν 30 ημέρες. Στο τέλος της πειραματικής εκτροφής, όλα τα ψάρια επαναζυγίστηκαν ατομικά για την καταγραφή του τελικού σωματικού τους βάρους. Τέλος όλα τα ολοθούρια (12 άτομα),

τοποθετήθηκαν στην κατάψυξη (-40°C), με σκοπό τη μέτρηση και τη χημική ανάλυση της θρεπτικής σύστασης του σώματός τους.

2.2 Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας

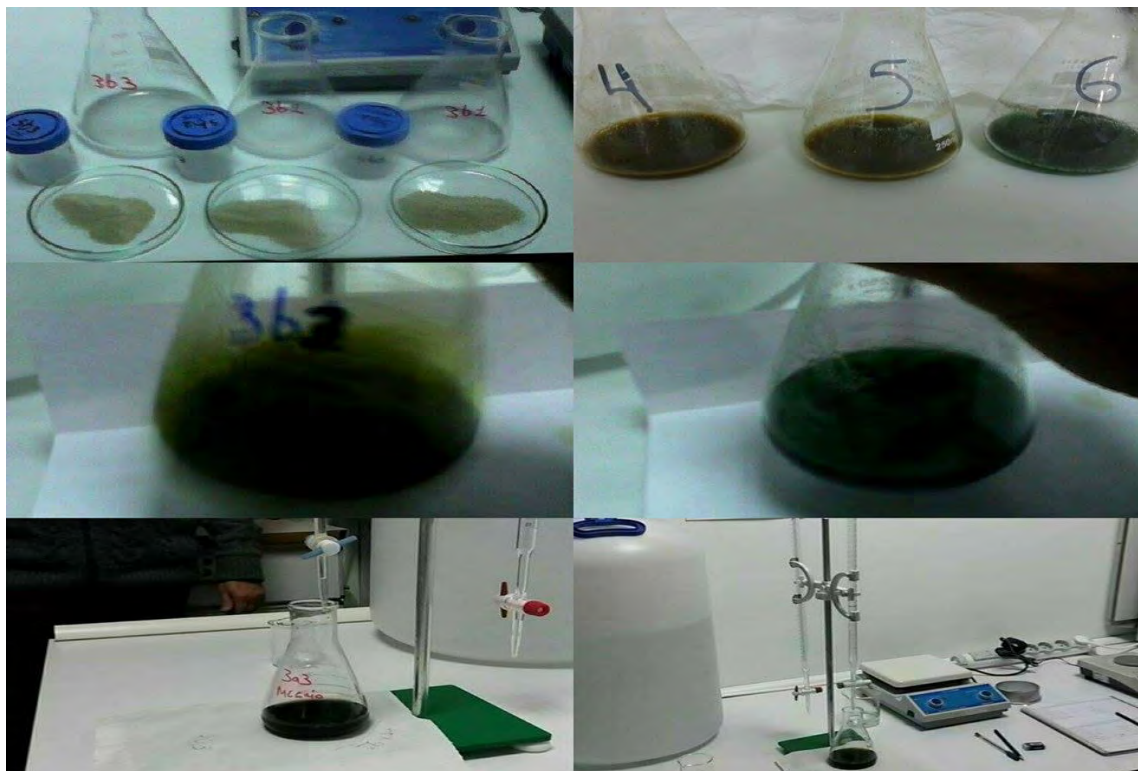
2.2.1 Ίζημα

Από τον πυθμένα των έξι ενυδρείων πάρθηκαν 3 επαναληπτικά δείγματα ιζήματος στην αρχή και στο τέλος του πειράματος (ημέρα 1^η & 30^η) για τον προσδιορισμό του ποσοστού του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα (σύνολο 36 δείγματα). Η συλλογή των δειγμάτων ιζήματος έγινε με αποστειρωμένο πλαστικό δοχείο διαμέτρου 3 cm από επιφανειακό ίζημα που συλλέχθηκε με το χέρι. Τα δείγματα καταψύχθηκαν στους -20°C μέχρι την ανάλυσή τους στο εργαστήριο.

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 (2-5 g) 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). Η πάραπανω διαδικασία φαίνεται στην Εικόνα 2.5 που ακολουθεί. 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) (Εικ. 2.6).



Εικόνα 2.5. Η διαδικασία προσδιορισμού του οργανικού υλικού (φωτο συγγραφέα)



Εικόνα 2.6. Η διαδικασία προσδιορισμού του οργανικού άνθρακα (φωτο συγγραφέα).

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:

$$R\% = \frac{(C_2 - C_1) - (H_2 - H_1)}{C_2 - C_1} \times 100$$

Όπου :

C_1 = το αρχικό ποσοστό ΟΥ ή ΟΑ στο μάρτυρα

C_2 = το τελικό ποσοστό ΟΥ ή ΟΑ στο μάρτυρα

H_1 = το αρχικό ποσοστό ΟΥ ή ΟΑ στα ολοθούρια

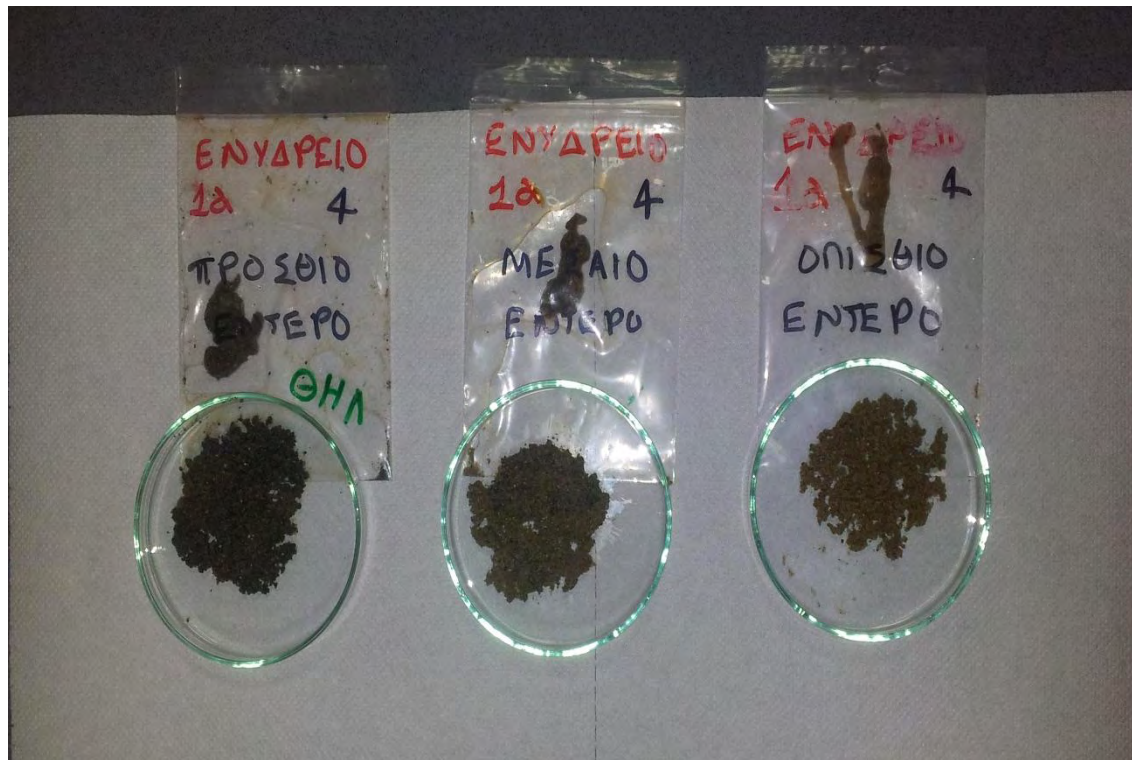
H_2 = το τελικό ποσοστό ΟΥ ή ΟΑ στα ολοθούρια

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). Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος MINITAB.

2.2.2 Έντερο των ολοθουρίων

Με την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας τα ολοθούρια θανατώθηκαν και τεμαχίστηκαν για τον προσδιορισμό της θρεπτικής τους σύστασης. Επίσης αφαιρέθηκε ο πεπτικός σωλήνας των ολοθουρίων (έντερο), για τον υπολογισμό της πεπτικής τους ικανότητας. Ο πεπτικός σωλήνας αποθηκεύτηκε σε βαθιά κατάψυξη αφού πρώτα διαχωρίστηκε σε 3 τμήματα (Εικ. 2.7):

1. Πρόσθιο
2. Μεσαίο και
3. Οπίσθιο τμήμα.



Εικόνα 2.7. Άποψη από το περιεχόμενο των τριών τμημάτων του εντερικού σωλήνα του ολοθουρίου (φωτο συγγραφέα).

Αφού απονήχθηκαν οι εντερικοί σωλήνες, αφαιρέθηκε το ίζημα που περιείχε το κάθε μέρος αυτού και στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία προσδιορισμού του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα, ξεχωριστά για κάθε τμήμα του εντερικού σωλήνα (Εικ. 2.8). Ο προσδιορισμός του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα στο περιεχόμενο ίζημα του εντερικού σωλήνα έγινε με την ίδια ακριβώς διαδικασία που περιεγράφηκε για τα δείγματα ιζήματος.

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

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

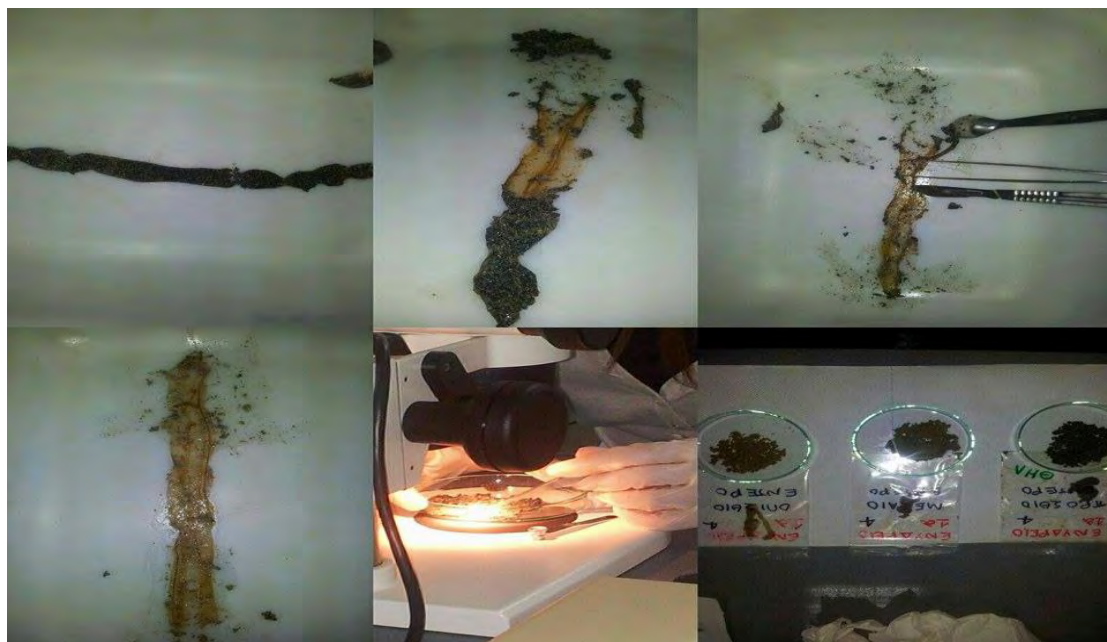
Όπου:

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

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

Σημειώνεται ότι σε μερικά ολοθούρια δεν υπήρχε επαρκής ποσότητα ιζήματος ή δεν υπήρχε καθόλου ίζημα στους εντερικούς σωλήνες, για να μπορεί να γίνει η διαδικασία προσδιορισμού του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα.

Η απορρόφηση της οργανικής ύλης από το ιζήμα στον εντερικό σωλήνα του ολοθουρίου είναι εμφανής και χαρακτηρίζεται από βαθμιαία αφομοίωση σε κάθε τμήμα του, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.7.



Εικόνα 2.8. Η διαδικασία αφαίρεσης του ιζήματος από τον εντερικό σωλήνα των ολοθουρίων (φωτο συγγραφέα).

2.3 Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων

2.3.1 Προσδιορισμός υγρασίας/ ξηρής ουσίας

Ο προσδιορισμός υγρασίας/ξηρής ουσίας στα ολοθούρια πραγματοποιήθηκε με την συλλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, βάρους 1g και ακολούθως την ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο για 24 ώρες στους 105°C. (AOAC 1995). Στην συνέχεια, αφού πέρασε ο χρόνος ξήρανσης, τα δείγματα βγήκαν από το φούρνο και τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για 5min ώστε να ψυχθούν. Το ποσοστό της υγρασίας/ ξηρής ουσίας υπολογίζεται ως εξής:

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

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

Όμοια,

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

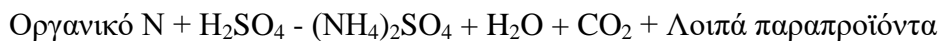
$$\text{Υγρασία \%} = (W_{\text{υγρασία}} \times 100) / W_{\text{δει/τος}}$$

2.3.2 Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων

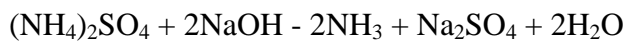
Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών στα ολοθούρια πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl (AOAC 1995). Η διαδικασία προσδιορισμού των αζωτούχων ενώσεων έχει ως εξής:

Σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων ζυγίστηκαν δείγματα βάρους 0,2g 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. Στην συνέχεια, προστέθηκαν στα δείγματα 15ml πυκνού θεικού οξέως (H_2SO_4) και τοποθετούνται

στην συσκευή πέψης (Kjeltec 2000). Η διαδικασία της πέψης πραγματοποιείται στους 150°C για 85min. Με την συσκευή πέψης επιτυγχάνεται το βράσιμο των δειγμάτων και με την βοήθεια του πυκνού θεικού οξέως πραγματοποιείται διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων. Το αδέσμευτο άζωτο (N) δεσμεύεται με την μορφή θεικού αμμωνίου (άλας), με την εξής αντίδραση:



Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της πέψης τα δείγματα αφήνονται να κρυώσουν για 15min. Κατόπιν, τα δείγματα τοποθετούνται σε συσκευή απόσταξης, στην οποία προστίθενται 100 ml αποσταγμένου H_2O , 80 ml NaOH και 50 ml H_3BO_3 . Η διαδικασία διαρκεί 6min. Το θεικό αμμώνιο, που είχε παραχθεί κατά την διαδικασία της πέψης, αντιδρά με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και αποδεσμεύεται αμμωνία (σε αέρια μορφή) και θεικό νάτριο (Na_2SO_4). Η αμμωνία (NH_4) έπειτα αντιδρά με βορικό οξύ (H_3BO_4) και το άζωτο του δείγματος δεσμεύεται σε μορφή βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:



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



Η συγκέντρωση (σε moles) των ιόντων υδρογόνου που απαιτούνται για να καταλύσουν την αντίδραση έως το τελικό σημείο, ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα. Η αλλαγή του χρώματος του δείκτη, από κίτρινο σε

φούξια, καταδεικνύει το τελικό σημείο της αντίδρασης. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N %) υπολογίστηκε από τη σχέση:

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

2.3.3 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπαρών ουσιών στα ολοθούρια 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. Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν στα δοχεία χάρτινοι ηθμοί. Ζυγίστηκε ποσότητα δείγματος βάρους 2g και μεταφέρθηκε στο χάρτινο δοχείου ηθμού. Το δείγμα του ιστού, και της τροφής σε κάποιες περιπτώσεις, πρέπει να είναι ξηραμένη και αλεσμένη. Η ξήρανση πραγματοποιείται σε φούρνο στους 105°C για περίπου 24h (μέχρι σταθεροποίησης του βάρους του δείγματος). Στο γυάλινο δοχείο εκχύλισης προστέθηκαν 150ml πετρελαϊκού αιθέρα, στον 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 15min 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 15min στους 105°C. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αφυγραντήρα για

1h το λιγότερο και πάρθηκαν οι μετρήσεις βάρους. Το καθαρό βάρος των λιπαρών ουσιών δίνεται από τον τύπο:

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

2.3.4 Προσδιορισμός τέφρας

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

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

2.3.5 Προσδιορισμός ολικής Ενέργειας

Ο προσδιορισμός της ολικής ενέργειας στα ολοθούρια έγινε μέσω του αυτόματου αδιαβατικού θερμιδομέτρου (IKA Werke C5000). Η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός πως μέσω της ανάφλεξης ενός δείγματος στην θερμιδομετρική οβίδα, επιτυγχάνεται η καύση του δείγματος και η προκαλούμενη από αυτήν θερμότητα καταμετράται μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας νερού που περιβάλλει την οβίδα. Για το σκοπό αυτόν, προζυγισμένα δείγματα βάρους 0,5g τοποθετήθηκαν σε ειδική γυάλινη θήκη εντός της θερμιδομετρικής οβίδας, τα οποία ήταν συνδεδεμένα με ένα από βαμβάκι και η οποία θα αναφλέγονταν κατά τη διαδικασία συνδεδεμένη με ηλεκτρόδιο. Η οβίδα πληρώθηκε με οξυγόνο (99,5%) υπό πίεση 30 bar. Κατόπιν, η

οβίδα τοποθετήθηκε σε ειδικό μεταλλικό δοχείο του αδιαβατικού θερμοδομέτρου το οποίοπληρώθηκε με νερό θερμοκρασίας 21-24°C. Το Θερμιδόμετρο τέθηκε σε λειτουργία και αφέθηκε να σταθεροποιηθεί ως προς την εσωτερική του θερμοκρασία. Πριν την ανάφλεξη, καταγράφηκε η αρχική θερμοκρασία του περιβάλλοντος νερού της οβίδας και μετά το πέρας της ανάφλεξης επαναμετρήθηκε η θερμοκρασία του νερού. Η συνολική ενέργεια του δείγματος μετρήθηκε αυτόματα μέσω της εξίσωσης:

$$\text{Ολική Ενέργεια (Kj/g)} = [(\Theta \text{ τελική} - \Theta \text{ αρχική}) * 10.82] - 0.0896 / \text{βάρους δείγματος (g)}$$

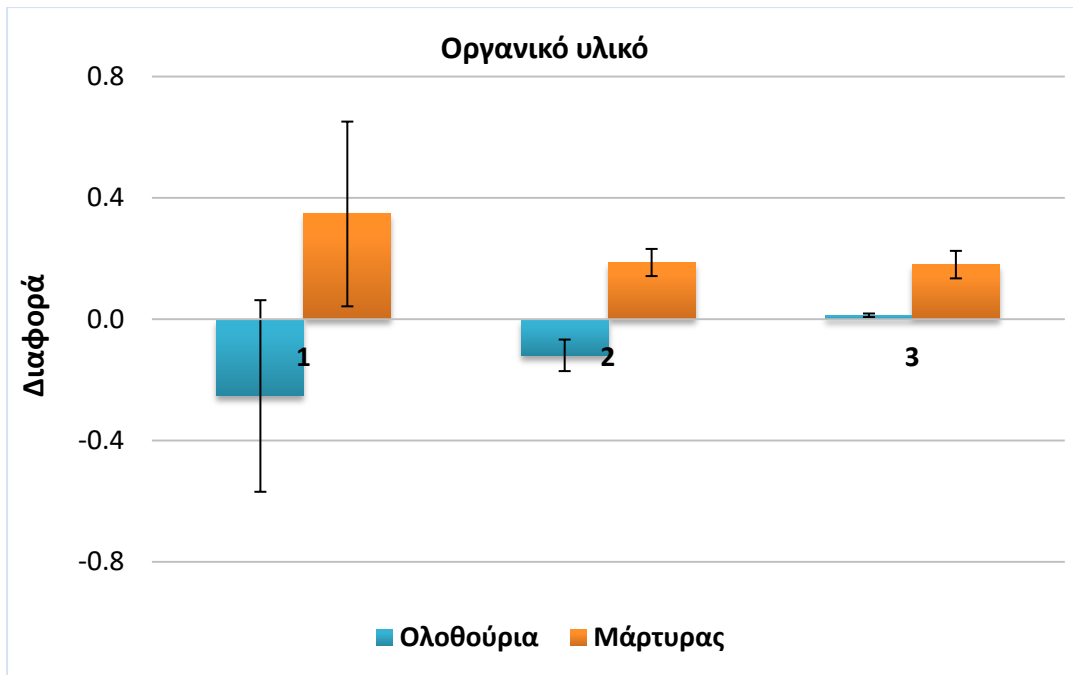
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Οργανικό υλικό και οργανικός άνθρακας στο ίζημα

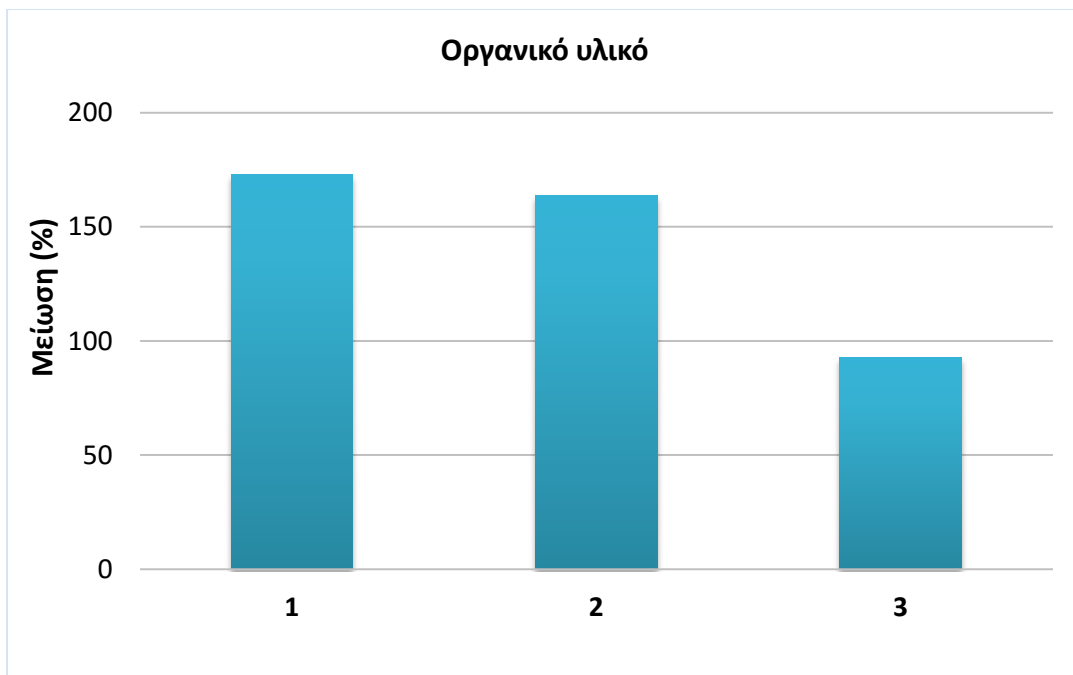
Στον Πίνακα 3.1 δίνονται το εύρος, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του αρχικού και τελικού ποσοστού του οργανικού υλικού, στο ίζημα των ενυδρείων. Στο Σχήμα 3.1 δίνεται η διαφορά του οργανικού υλικού (τελικό-αρχικό) στο ίζημα των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια, ενώ στο Σχήμα 3.2 δίνεται το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού 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	0,86-1,68	0,86-1,12	0,86-1,12	1,00-1,68
Μ.Τ. ± Τ.Α.	1,13±0,18	1,01±0,19	0,98±0,08	1,21±0,21
Οργανικός άνθρακας (%)				
Εύρος	0,09-0,27	0,09-0,18	0,08-0,14	0,15-0,45
Μ.Τ. ± Τ.Α.	0,13±0,06	0,14±0,03	0,11±0,02	0,23±0,10



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



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

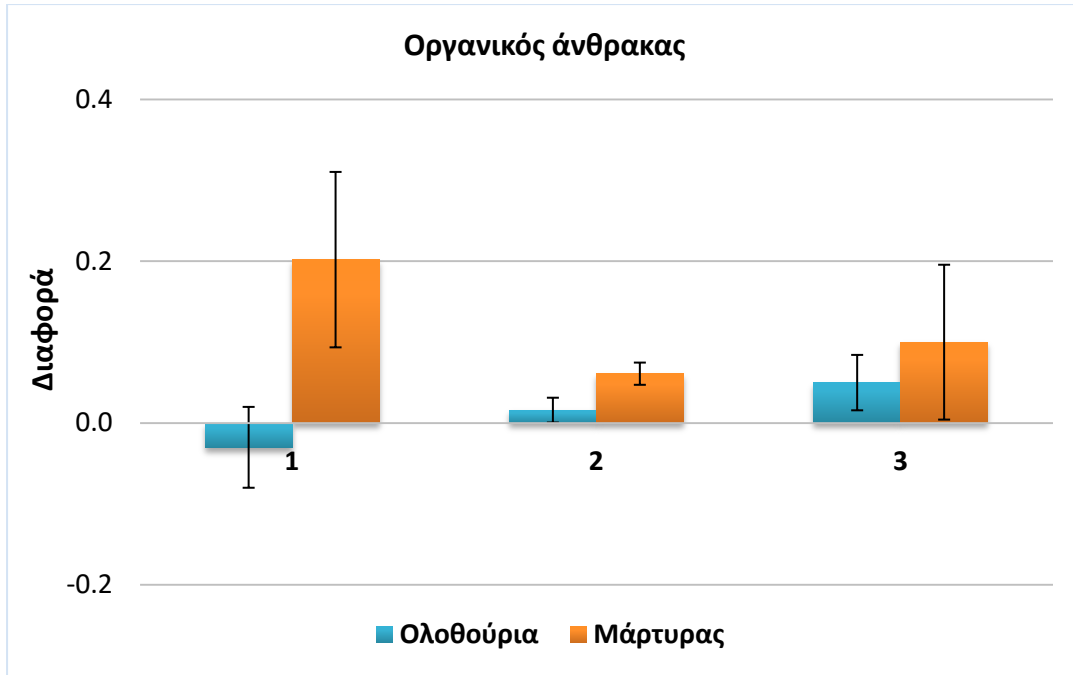
Το αρχικό ποσοστό του οργανικού υλικού στα ενυδρεία με τα ολοθούρια (0,86-1,68%) ήταν ελάχιστα υψηλότερο σε σχέση με τους μάρτυρες (0,86-1,12%), ενώ το τελικό ποσοστό αυτού στα ενυδρεία με τα ολοθούρια (0,86-1,12%) ήταν σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με τους μάρτυρες (1,00-1,68%) (Πιν. 3.1).

Η διαφορά του οργανικού υλικού κυμάνθηκε μεταξύ -0,25-0,01% στα ενυδρεία με τα ολοθούρια και μεταξύ 0,18-0,35% στους μάρτυρες (Σχ. 3.1). Η διαφορά στα ενυδρεία με τα ολοθούρια στα συστήματα 1 και 2 ήταν αρνητική με ποσοστά -0,25 και 0,01%, αντίστοιχα (Σχ. 3.1). Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι η κατανάλωση στα ενυδρεία αυτά ξεπέρασε το 100%. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι τα ολοθούρια κατανάλωσαν το σύνολο του οργανικού υλικού που αποτέθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος, καθώς και ένα ποσοστό της αρχικής ποσότητας.

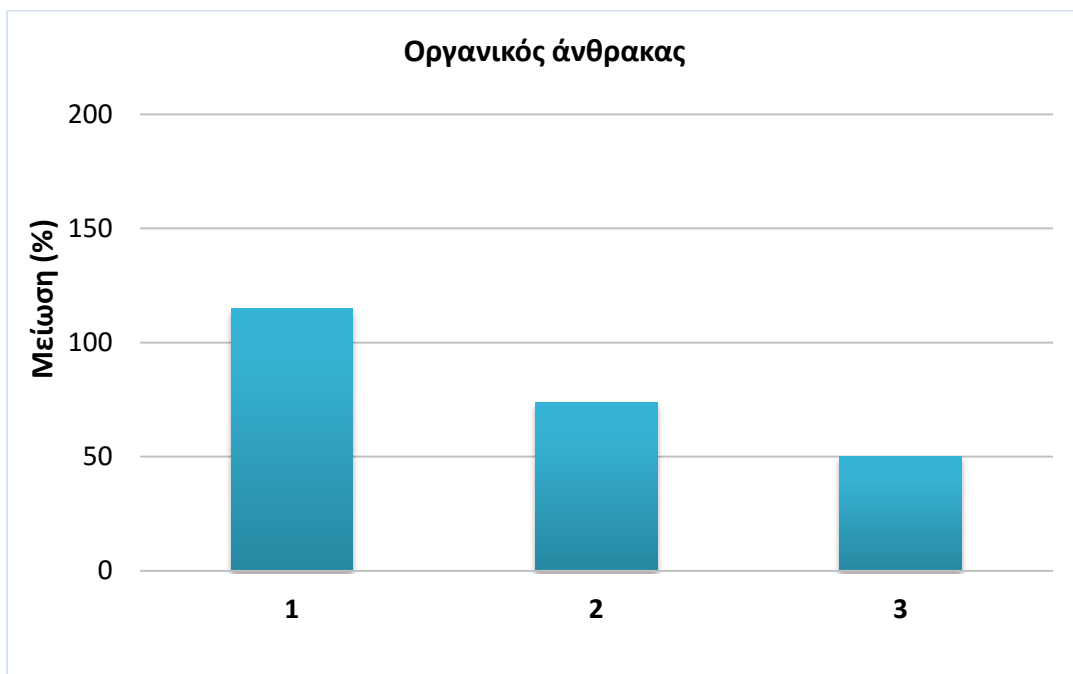
Το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού κυμάνθηκε μεταξύ 92,78-172,91%. Το υψηλότερο ποσοστό καταγράφηκε στο σύστημα 1, ενώ το χαμηλότερο στο 3 (Σχ. 3.2). Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν καταγράφηκαν απώλειες στον αριθμό των ολοθουρίων. Το ποσοστό επιβίωσης των ολοθουρίων ήταν 100%, αν και στο σύστημα 2, σε ένα άτομο παρατηρήθηκε το φαινόμενο του "εξεντερισμού". Κατά τους Vafidis et al. (2008), τα ολοθούρια χρησιμοποιούν τον εξεντερισμό ως αμυντικό μηχανισμό.

Οι Nikolaou et al. (2015) σε προκαταρκτική έρευνα που διεξήχθη σε δύο ιχθυοκαλλιεργητικές μονάδες την άνοιξη, διαπίστωσαν ότι το μέσο ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού ήταν 38,77-40,42%.

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 του οργανικού άνθρακα στο ίζημα των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια.



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



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

Όπως παρατηρήθηκε και στο οργανικό υλικό, το αρχικό ποσοστό του οργανικού άνθρακα στα ενυδρεία με τα ολοθούρια (0,09-0,27%) ήταν ελάχιστα υψηλότερο σε σχέση με τους μάρτυρες (0,08-0,14%), ενώ το τελικό ποσοστό αυτού στα ενυδρεία με τα ολοθούρια (0,09-0,18%) ήταν χαμηλότερο σε σχέση με τους μάρτυρες (0,15-0,45%) (Πιν. 3.1).

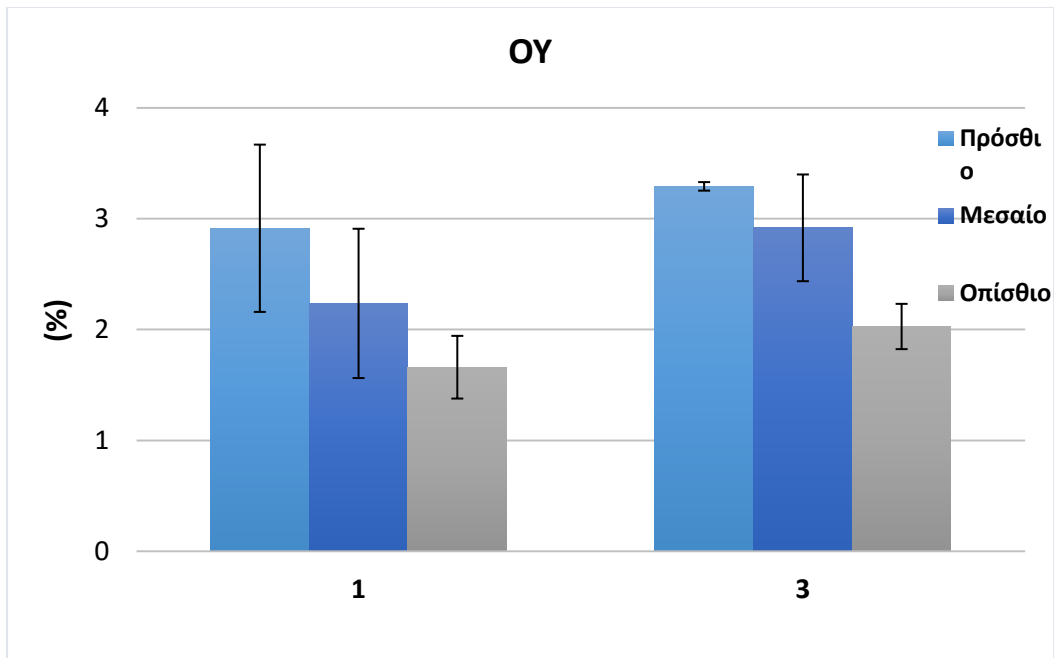
Η διαφορά του οργανικού άνθρακα κυμάνθηκε μεταξύ -0,03-0,05% στα ενυδρεία με τα ολοθούρια και μεταξύ 0,06-0,20% στους μάρτυρες (Σχ. 3.3). Η διαφορά στο σύστημα 1 με τα ολοθούρια ήταν αρνητική με ποσοστά -0,03 (Σχ. 3.3). Από το διάγραμμα προκύπτει ότι τα ολοθούρια στο ενυδρείο αυτό κατανάλωσαν μεγαλύτερο ποσοστό οργανικού άνθρακα από αυτό που αποτέθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Το ποσοστό μείωσης του οργανικού άνθρακα κυμάνθηκε μεταξύ 50-114,85%. Το υψηλότερο ποσοστό καταγράφηκε στο σύστημα 1, ενώ το χαμηλότερο στο 3 (Σχ. 3.4). Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η συνεισφορά των ολοθουρίων ήταν μεγαλύτερη στο σύστημα 1 όπου το ποσοστό κατανάλωσης ήταν περισσότερο από το 100%.

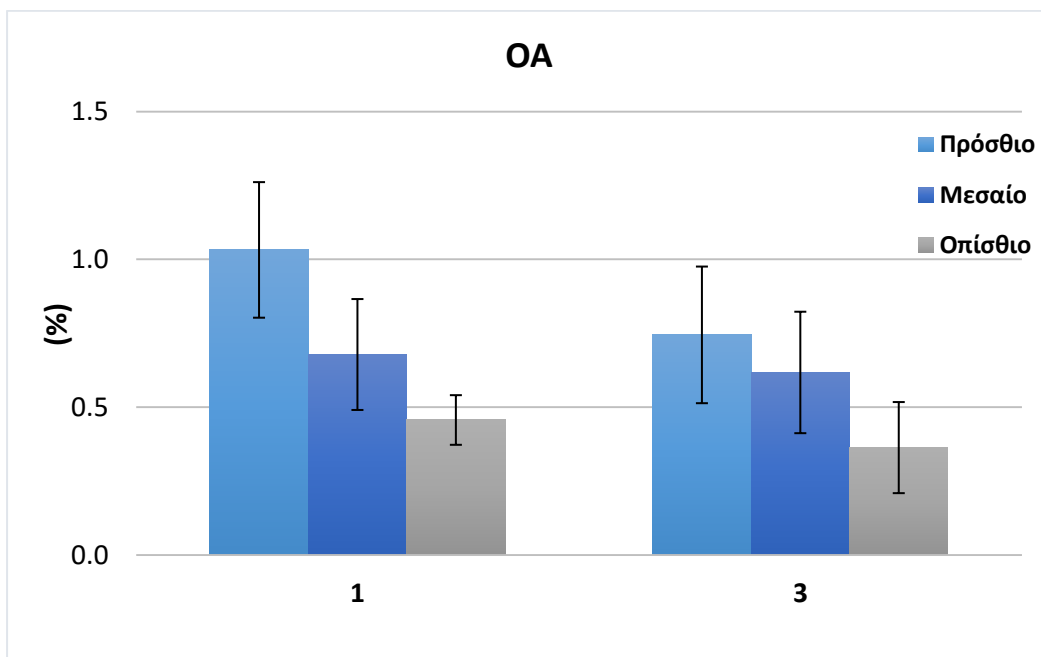
Κατά τους Nikolaou et al. (2015) κατά την εποχή της άνοιξης το μέσο ποσοστό μείωσης του οργανικού άνθρακα ήταν 42,28-56,80% σε δύο ιχθυοκαλλιεργητικές μονάδες, ποσοστά παρόμοια με την παρούσα έρευνα.

3.2 Απορροφητική ικανότητα ΟΥ και ΟΑ στο έντερο των ολοθουρίων

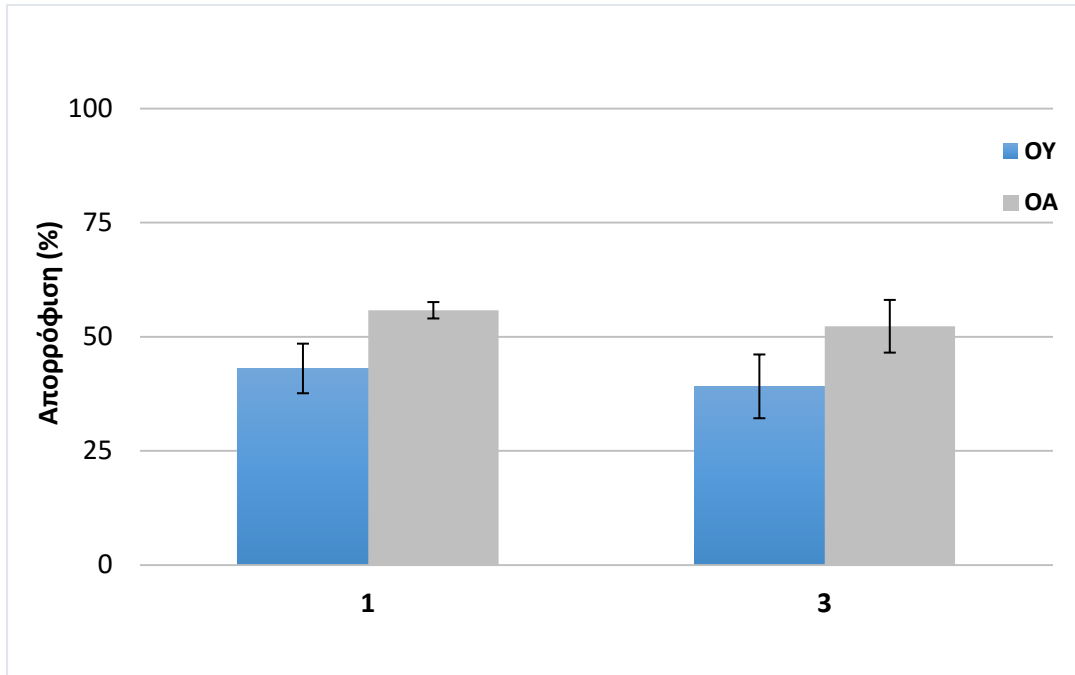
Στα Σχήματα 3.5 και 3.6 δίνεται το μέσο ποσοστό του ΟΥ και ΟΑ στα τρία τμήματα (πρόσθιο, μεσαίο, οπίσθιο) του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων, ενώ στο Σχήμα 3.7 δίνεται το μέσο ποσοστό απορρόφησης ΟΥ και ΟΑ στο σύνολο του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων.



Σχήμα 3.5. Το μέσο ποσοστό ΟΥ στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου των ολοθουρίων στα συστήματα 1 & 3 και η τυπική απόκλιση.



Σχήμα 3.6. Το μέσο ποσοστό ΟΑ στο πρόσθιο, μεσαίο και οπίσθιο τμήμα του εντέρου των ολοθουρίων στα συστήματα 1 & 3 και η τυπική απόκλιση.



Σχήμα 3.7. Το μέσο ποσοστό απορρόφησης ΟΥ & ΟΑ στον εντερικό σωλήνα των ολοθουρίων στα συστήματα 1 & 3.

Με την ανάλυση του εντερικού περιεχομένου των ολοθουρίων αποδείχτηκε η πραγματική συνεισφορά τους στη μείωση του οργανικού φορτίου μέσω της απορροφητικής τους ικανότητας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η απορροφητικότητα του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων έφτασε στο 43.07% για το οργανικό υλικό (ΟΥ) και 55.81% για τον οργανικό άνθρακα (ΟΑ) (Σχ. 3.7). Η διαδικασία της απορρόφησης λαμβάνει χώρα κυρίως στο μεσαίο και στο οπίσθιο τμήμα του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων. Τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με αυτά παρόμοιας έρευνας που διεξήχθη σε εργαστηριακές συνθήκες για το είδος *Holothuria scabra* (Mercier et al. 1999). Η απορροφητικότητα του εντερικού σωλήνα του *Holothuria scabra* έφτασε στο 50%.

Η απορροφητικότητα τους αυτή δικαιολογεί και τα ποσοστά του οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα που βρέθηκαν στο ίζημα των ενυδρείων (σε ορισμένες περιπτώσεις η κατανάλωση ξεπέρασε το 100% του οργανικού φορτίου που αποτέθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος). Ίσως, η ονομασία «σκούπα της θάλασσας» να είναι ο ακριβέστερος χαρακτηρισμός για τον οργανισμό αυτό.

Οι Coulon and Jangoux (1993), αναφέρουν ότι μεγάλα άτομα του είδους *H. tubulosa* λόγω της διατροφικής τους συμπεριφοράς μπορούν να καταναλώσουν περισσότερο από 17 Kg ξηρού βάρους ιζήματος/έτος. Σύμφωνα με τους Costa et al. (2014), τα ολοθούρια *H. tubulosa* μπορούν να καταναλώσουν από 30% μέχρι και 100% από τα θρύμματα που παράγονται σε λειμώνες Ποσειδωνίας. Τέλος, κατά τους Isgoren-Emiroglu & Gunay (2007a), το συγκεκριμένο είδος ολοθουρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με εκτροφή ψαριών (πολυκαλλιέργεια), καθώς συμβάλει όχι μόνο στη μείωση του οργανικού φορτίου αλλά και στη βελτίωση της ποιότητας του νερού.

3.3 Στατιστική ανάλυση

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.

Στον Πίνακα 3.3 δίνεται η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) του περιεχόμενου οργανικού υλικού και του οργανικού άνθρακα μεταξύ πρόσθιου και οπίσθιου τμήματος του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων.

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).

Μεταβλητή	d.f.	F	P level
Οργανικό υλικό (%)	5	14,42	*
Οργανικός άνθρακας (%)	5	5,16	ΜΣ

Πίνακας 3.3 Σύγκριση του περιεχόμενου οργανικού υλικού και οργανικού άνθρακα μεταξύ πρόσθιου και οπίσθιου τμήματος του εντερικού σωλήνα των ολοθουριών (d.f.: Βαθμοί ελευθερίας, F: Λόγος, P level: Επίπεδο σημαντικότητας).

Μεταβλητή	d.f.	F	P level
Οργανικό υλικό (%)			
Σύστημα 1	3	4,84	ΜΣ
Σύστημα 3	3	73,84	*
Οργανικός άνθρακας (%)			
Σύστημα 1	3	11,12	ΜΣ
Σύστημα 3	3	3,77	ΜΣ

* P<0,05

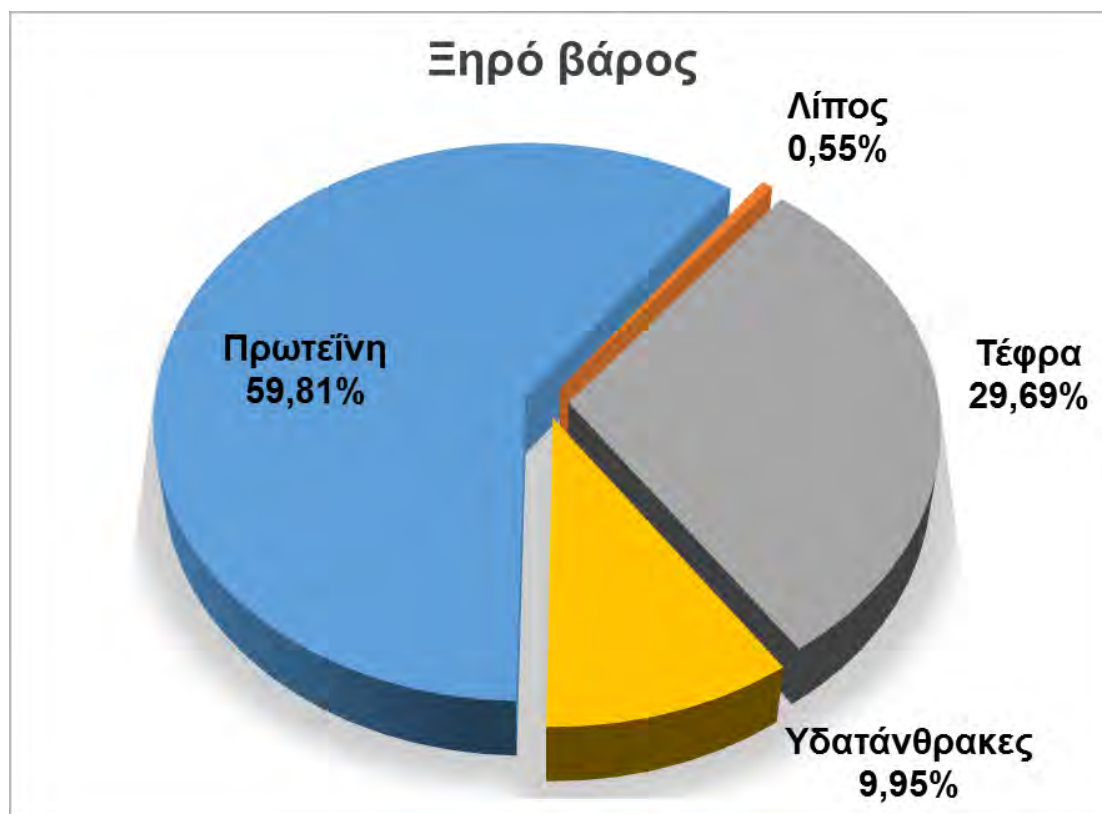
Η μονοπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA), έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στα ποσοστά του οργανικού υλικού μεταξύ των ενυδρείων με και χωρίς ολοθούρια (Πιν 3.2), ενώ για το περιεχόμενο μεταξύ πρόσθιου και οπίσθιου τμήματος του εντερικού σωλήνα των ολοθουρίων έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στο ποσοστό του οργανικού υλικού στο σύστημα 3 (Πιν. 3.3).

3.4 Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων

Στον Πίνακα 3.2 δίνεται συνοπτικά η σύσταση του σωματικού τοιχώματος των ολοθουρίων στα διάφορα μακροθρεπτικά συστατικά σε νωπό και σε ξηρό βάρος. Στο Σχήμα 3.8 δίνεται το μέσο ποσοστό των μακροθρεπτικών συστατικών του σωματικού τοιχώματος των ολοθουρίων σε ξηρό βάρος.

Πίνακας 3.4. Το εύρος τιμών, μέση τιμή (Μ.Τ) και τυπική απόκλιση (Τ.Α) θρεπτικών συστατικών των ολοθουρίων.

Θρεπτική σύσταση ολοθουρίων						
	Υγρασία (%)	Πρωτεΐνη (%)	Λίπος (%)	Τέφρα (%)	Υδατάνθρακες (%)	Ενέργεια (MJ/Kg)
Επι νωπού βάρους						
Εύρος τιμών	81,52-84,76	7,53-12,28	0,05-0,14	3,99-7,74	0,75-2,48	1,82-2,48
Μ.Τ. ± Τ.Α.	83,19±1,03	10,04±1,31	0,09±0,03	5,00±0,98	1,68±0,56	2,19±0,21
Επι ξηρού βάρους						
Εύρος τιμών	81,52-84,76	45,25-71,79	0,30-0,76	23,33-44,43	4,36-14,37	10,34-14,47
Μ.Τ. ± Τ.Α.	83,19±1,03	59,81±7,43	0,55±0,15	29,69±5,15	9,95±3,08	13,01±1,07



Σχήμα 3.8. Μέσο ποσοστό των μακροθρεπτικών συστατικών του σωματικού τοιχώματος των ολοθουρίων σε ξηρό βάρος.

Η περιεκτικότητα του *H. tubulosa* σε υγρασία ήταν 81,52-84,76% (Πιν. 3.4) που θεωρείται αρκετά υψηλή. Η περιεκτικότητα αυτή είναι σύμφωνη με άλλες έρευνες σε διάφορα είδη ολοθουρίων (Bordbar et al. 2011). Οι πρωτεΐνες έφθασαν στο 10% επί νωπού βάρους και σχεδόν 60% επί ξηρού (Σχ 3.8, Πιν. 3.4). Οι τιμές αυτές επιβεβαιώνουν την υψηλή περιεκτικότητα των ολοθουρίων σε πρωτεΐνες (Wen et al. 2010, Bordbar et al. 2011). Μάλιστα είναι από τις υψηλότερες που έχουν καταγραφεί σε σχέση με άλλες έρευνες αν και υπάρχουν αναφορές ότι φθάνει έως στο 83% επί του ξηρού βάρους (Chen 2003). Η περιεκτικότητα του είδους σε λίπη είναι αρκετά χαμηλή 0,05-0,14% επί νωπού βάρους και 0,30-0,76% επί ξηρού βάρους (Σχ. 3.8 Πιν. 3.4), γεγονός το οποίο συμφωνεί με έρευνες σε άλλα είδη ολοθουρίων

(Wen et al. 2010, Bordbar et al. 2011). Αναφορικά με την τέφρα, το είδος παρουσιάζει αξιοσημείωτα υψηλή περιεκτικότητα που φτάνει μέχρι το 7,74% επί νωπού βάρους και 44,43% επί ξηρού βάρους (Σχ. 3.8 Πιν. 3.4). Αυτό είναι σύμφωνο με άλλες έρευνες όπου αναφέρονται ποσοστά έως 40% (Wen et al. 2010). Αυτό δείχνει την υψηλή περιεκτικότητα του είδους σε διάφορα ανόργανα στοιχεία όπως πιθανώς σε Ca, Mg, Fe, Zn. Η περιεκτικότητα του είδους σε υδατάνθρακες είναι χαμηλή 0,75-2,48% επί νωπού βάρους (Πιν. 3.4) και συμφωνεί με άλλες έρευνες (Chen 2003, Wen et al. 2010).

Αξιίζει να επισημανθεί ότι η παραλλακτικότητα που βρέθηκε ανάμεσα στα συνολικά δώδεκα (12) δείγματα ολοθουρίων στις συγκεντρώσεις τους στα διάφορα θρεπτικά συστατικά ήταν πάρα πολύ χαμηλή. Παράλληλα, η στατιστική επεξεργασία (correlation) της θρεπτικής σύστασης με τα μορφομετρικά στοιχεία δεν έδειξε κάποια ισχυρή συσχέτιση ($R^2 < 0,5$) μεταξύ οποιοδήποτε θρεπτικού συστατικού με κάποιο από τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά. Αυτό υποδηλώνει ότι τα ολοθούρια έχουν μια σχετικά «σταθερή» θρεπτική αξία, η οποία δεν μεταβάλλεται από παραμέτρους όπως το φύλο και το σωματικό μέγεθος. Πιθανώς αυτό να οφείλεται στο γεγονός πως τα ολοθούρια έχουν χαμηλό ρυθμό μεταβολισμού, ο οποίος οδηγεί σε αργή κινητοποίηση θρεπτικών συστατικών στο σώμα τους.

Η θρεπτική σύσταση των οργανισμών αποτελεί δείκτη τόσο της γενικότερης φυσιολογικής κατάστασης τους όσο και της θρεπτικής αξίας αυτών ως τρόφιμο για τον άνθρωπο-καταναλωτή. Η θρεπτική σύσταση των υδρόβιων οργανισμών είναι γνωστό ότι επηρεάζεται τόσο από ενδογενείς παράγοντες, όπως το είδος, το φύλο, το μέγεθος, το στάδιο ανάπτυξης, την αναπαραγωγική ωριμότητα κ.λπ., όσο και από εξωγενείς παράγοντες όπως η θερμοκρασία του υδάτινου περιβάλλοντος, η εποχή, την πρωτογενή παραγωγικότητα του οικοσυστήματος κ.λπ. (Shearer 1994).

Γενικά, τα ολοθούρια (Echinodermata: Holothuroidea), τόσο στην νωπή όσο και στην ξηρή μορφή τους, έχουν αποτελέσει ένα τρόφιμο «delicatessen» με παράλληλα ιαματικές ιδιότητες για τους Ασιάτες εδώ και πολλούς αιώνες (FAO 2008). Η παγκόσμια αγορά θαλάσσιων ολοθουρίων εμφανίζεται κυρίως σε χώρες όπως η Κίνα, το Χονγκ Κονγκ, η Σιγκαπούρη και η Ταιβάν (Jaquemmet et al. 1999). Εκτιμάται ότι ετησίως παράγονται περίπου 20.000-40.000 τόνοι (FAO 2008). Ως τρόφιμο, τα ολοθούρια επεξεργάζονται σε ξηρή μορφή και συχνά χρησιμοποιείται ο όρος «beche-de-mer», τα οποία κατηγοριοποιούνται ως «υψηλής», «μέσης» και «χαμηλής» εμπορικής αξίας ανάλογα το είδος, την αφθονία τους, την γενικότερη εμφάνιση τους, την οσμή και το χρώμα τους, το πάχος του σωματικού τοιχώματος τους και φυσικά την ζήτηση της αγοράς (Lo 2005). Ωστόσο, δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την αξιολόγηση τους αναφορικά με την θρεπτική τους σύσταση και τη διατροφική τους αξία. Περαιτέρω, η ικανότητα πολλών ειδών ολοθουρίων να αναγεννούν τον ιστό τους έπειτα από κοπή έχει ενισχύσει την αντίληψη των ανθρώπων σχετικά με τις ιαματικές ιδιότητες που έχουν ως τρόφιμο. Για παράδειγμα, το είδος *S. herrmanni*, χρησιμοποιείται στη Μαλαισία για την φαρμακευτική αγωγή του άσθματος, της υπέρτασης, των ρευματισμών μεταξύ άλλων (Fredalina et al. 1999).

Η συντριπτική πλειοψηφία της βιβλιογραφίας αναφέρεται στη θρεπτική σύσταση των ιχθύων (εκτρεφόμενων και άγριων) και των καρκινοειδών που αποτελούν το πλέον διαδεδομένο τρόφιμο υδρόβιας προέλευσης για τον άνθρωπο. Ωστόσο, η βιβλιογραφία σχετικά με τη θρεπτική σύσταση των ολοθουρίων είναι αρκετά περιορισμένη. Η καινοτομία της παρούσας έρευνας έγκειται στο γεγονός ότι εμπλουτίζει την περιορισμένη γνώση μας σχετικά με τη θρεπτική αξία των ολοθουρίων.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δείχνουν ότι η θρεπτική αξία των ολοθουρίων *Holothuria tubulosa* είναι αρκετά υψηλή όπως όλων των υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Αποτελεί τρόφιμο υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και ανόργανα στοιχεία και είναι ιδανικό για δίαιτα χαμηλής θερμιδικής αξίας λόγω του χαμηλού επιπέδων λιπών που περιέχουν. Αυτή η χαμηλή λιποπεριεκτικότητα τους είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη, και είναι ακόμα χαμηλότερη από την χαμηλή λιποπεριεκτικότητα πολλών ειδών ιχθύων του γλυκού νερού, όπου ανιχνεύονται χαμηλά επίπεδα λίπους (όπως π.χ. τιλάπια, γατόψαρο κ.λπ). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συμφωνούν με τη βιβλιογραφία όπου γενικά οι ολικές πρωτεΐνες τους είναι της τάξης του 39,8-60,2%, το λίπος τους 1,2-2,4% και η τέφρα τους 17,9-44,5%.

Συμπερασματικά, το ολοθούριο *H. tubulosa* πέραν ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις ελληνικές υδατοκαλλιέργειες ως ένα φυσικό μέσο για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο υπόστρωμα, θα μπορούσε παράλληλα να αποτελέσει και ένα τρόφιμο υψηλής θρεπτικής αξίας για τον άνθρωπο, λόγω κυρίως της υψηλής περιεκτικότητας του σε πρωτεΐνες, μιας και η αγορά-ζήτηση τέτοιων προϊόντων είναι ήδη υπάρχουσα (Ασία). Παράλληλα, λαμβάνοντας υπόψη την ισχυρή ζήτηση που υπάρχει για πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης στον κλάδο παρασκευής τεχνητών ιχθυοτροφών, το ολοθούριο *H. tubulosa* θα μπορούσε να μελετηθεί μελλοντικά και ως προς την καταλληλότητα του ως συστατικό υψηλής ζωικής θαλάσσιας πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές. Σαφώς, περαιτέρω έρευνα είναι αναγκαία τόσο σχετικά με τη φυσιολογία θρέψης και διατροφή των οργανισμών αυτών, όσο και με την αναλυτικότερη θρεπτική τους σύσταση και πως αυτή μεταβάλλεται ώστε το τελικό εμπορεύσιμο προϊόν να είναι κατάλληλο για πώληση.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ο εγκλεισμός των ολοθουρίων σε εργαστηριακές συνθήκες εκτροφής (ενυδρεία) αποδείχτηκε ότι ήταν αρκετά επιτυχής (100% επιβίωση).
- Από τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι οι οργανισμοί αυτοί αφαιρούν ένα μεγάλο ποσοστό ρυπαντικού φορτίου από το ίζημα των ενυδρείων (το ποσοστό μείωσης του οργανικού υλικού έφθασε στο 172,91% ενώ το ποσοστό του οργανικού άνθρακα έφθασε στο 114,85).
- Ο εντερικός σωλήνας του ολοθουρίου μπορεί έχει υψηλή απορροφητική ικανότητα στο οργανικό υλικό (43,07%) και στον οργανικό άνθρακα (55,81%).
- Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας είναι αρκετά ενθαρρυντικά και άρα η εμπειρία και η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε κατά τη διάρκειά της μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο προς την κατεύθυνση της αειφορικής διαχείρισης του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών.
- Το είδος αυτό εκτός από τη χρησιμοποίησή του για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών στο υπόστρωμα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως προϊόν εμπορίας (εξαγωγή σε χώρες που το καταναλώνουν όπως, η Κίνα και η Ιαπωνία) και απομόνωσης διαφόρων βιοδραστικών ουσιών (για τη θεραπεία διαφόρων παθήσεων), ως ιχθυοτροφή για τα εκτρεφόμενα ψάρια (λειτουργώντας ως ένα προϊόν ανακύκλωσης) και ως βιοκαύσιμο.
- Τέλος, σε μελλοντικό χρόνο θα πρέπει να γίνει προσπάθεια να τοποθετηθούν ολοθούρια του μελετούμενου είδους κάτω από μονάδες εκτροφής ψαριών σε πιλοτικό επίπεδο, έτσι ώστε να δούμε εάν πρακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί

ο οργανισμός αυτός ως ένα μέσο εξυγίανσης του περιβάλλοντος από τη λειτουργία των μονάδων αυτών. Φυσικά, για να μπορέσει να υλοποιηθεί αυτό το σχέδιο θα πρέπει πρώτα να μελετηθεί και να ολοκληρωθεί η εντατική εκτροφή τους είδους, έτσι ώστε να μην χρειάζεται να το συλλέγουμε από το φυσικό περιβάλλον και άρα να μειώνουμε τα φυσικά αποθέματα των πληθυσμών του. Επίσης, η χρησιμοποίησή του ως μια νέα – σύγχρονη πρακτική για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υδατοκαλλιεργειών με ταυτόχρονη προσπάθεια εκτροφής του θα οδηγήσει μερικώς στην προστασία του συγκεκριμένου είδους από την ανεξέλεγκτη αλιεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Πνευματικάτος Γ. (1982) Ιχθυοτροφία και ιχθυοπαθολογία. Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσ/νίκης, Τμήμα Κτηνιατρικής.

ΣΕΘ (2015) (Σύνδεσμος Ελληνικών Θαλασσοκαλλιεργειών): Ελληνική Υδατοκαλλιέργεια, Αθήνα, 80 σελ.

ΥΠΑΑΤ (2014) Πολυετές Εθνικό Στρατηγικό Σχέδιο για την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα 2014-2020.

Διεθνής βιβλιογραφία

Amon R.M.W., Herndl G.J. (1991) Deposit feeding and sediment: I. Interrelationship between *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea, Echinodermata) and the sediment microbial community. *Marine Ecology*, 12:163-174.

Antoniadou C. & Vafidis D. (2011) Population structure of the traditionally exploited holothurian *Holothuria tubulosa* in the south Aegean Sea. *Cahiers de biologie marine*, 52:171-175.

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

Bordbar S., Anwar F., Saari N. (2011) High value Components and bioactive from sea cucumbers for functional foods-. A review. *Marine Drugs*, 9: 1761-1805.

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.

Cakli 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 Information Bulletin*, 18:18-23.

Conover, R.J., 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 11, 338–345.

- 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 p.
- 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. *Marine Ecology Progress Series*, 92:201-204.
- FAO (2008) Sea cucumbers: a global review of fisheries and trade. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 516, pp. 1–317.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)(2014): The State of World Fisheries and Aquaculture.
- Fredalina B.D., Ridzwan B.H., Abidin A.A.Z., Kaswandi M.A., Zaiton H., Zali I., et al. (1999) Fatty acid compositions in local sea cucumber, *Stichopus chloronotus*, for wound healing. *Gen Pharmacol*, 33:337–340.
- Inone. H. (1972) On water exchange in a net cage stocked with the fish himachi. *Bull. Jap. Soc. Fish.*, 38: 167-176.
- Isgoren-Emiroglu D., Gunay D. (2007a) The effect of sea cucumber *Holothuria tubulosa* (G. 1788) on nutrient and organic matter contents of bottom sediment of oligotrophic and hypereutrophic shores. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16:290-294.
- Jaquemet S. & Conand C. (1999) The bêche-de-mer trade in 1995–96 and an assessment of exchanges between the main world markets. *SPC Bêche-de-Mer Info Bull*, 12:11–14.
- Kazanidis G., Antoniadou C., Lolas A.P., Neofitou N., Vafidis D., Chintiroglou C., Neofitou C. (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.P., 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.

- Koukouras A. & Sinis A. (1981) Benthic fauna of the North Aegean Sea II. Crinoidea and Holothuroidea (Echinodermata). *Vie et Milieu*, 31:271-281.
- Lo T.H. (2005) Valuation of sea cucumber attributes through laddering. *SPC Bêche-de-Mer Info Bull*, 20:34–37.
- 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.
- Mercier A, Battaglione SC, Hamel JF (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.
- Merican Z.O. (1983) A study of solid waste production from freshwater fish cage culture MSc Thesis, University of Stirling, 61 p.
- 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.
- Milne, P.H. (1970) Fish farming: a guide to the design and construction of net enclosures. *Mar. Res. Dep. Agric. Fish. Scotland*, 1, 31 p.
- Murphy, J.P., & Upper, R.I., 1970. BOD production of channel catfish. *Prog. Fish Cult.*, 32(4): 195-198
- 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 p.
- 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.
- Pancucci-Papadopoulou M.A. (1996) *Fauna Graeciae VI: The Echinodermata of Greece*. Hellenic Zoological Society, Athens.
- Shearer K.D. (1994) Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. *Aquaculture*, 119:63–88.
- Tortonese E.& Vadon C. (1987) Oursins et Holothuries. In: Fischer W., Bouchon M.L., Schneider 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, p. 743-760.

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 p.

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.

Zar J.H. (1984) *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 718 p.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

www.statistics.gr (ΕΛΣΤΑΤ)

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 was manufactured in order to approach environmental conditions of aquaculture.

Three double systems of sea water aquarium (250 ℓ per aquarium) were used for this study. Four 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.

Sediment samples were collected from the bottom of aquariums with holothurians 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 composition of *H. tubulosa* was calculated.

The reduction of organic matter and organic carbon in the sediment was 143% and 80%, respectively. The absorption efficiency the intestine of *H. tubulosa* reached 43.07% for the organic matter and 55.81% 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 aquariums with holothuria and control while for the content precipitate intestinal tract of sea cucumbers showed statistically significant differences only for the proportion of organic matter in 3rd system.

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 efficiency, nutritional composition