ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

Διιδρυματικό Πρόγραμμα
Μεταπτυχιακών Σπουδών

Περιβαλλοντική Βιολογία ENVIRONMENTAL BIOLOGY

Καλλιέργεια Ολοθουρίων σε Πολυτροφικές Υδατοκαλλιέργειες:

Από την νομοθεσία στην καλλιέργεια και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Χατζηβασιλείου Δήμητρα

Μεταπτυχιακή Εργασία Ειδίκευσης

Ηράκλειο, Μάρτιος 2020

Τριμελής Επιτροπή: Ιωάννης Καρακάσης, Παρασκευή Πήττα, Μιχάλης Παυλίδης

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «**Καινοτόμος Ανάπτυξη Πολυτροφικών Υδατοκαλλιεργειών»** (www.idma.uoc.g) στο πλαίσιο της δράσης «**Καινοτομία στην υδατοκαλλιέργεια»** του Επιχειρησιακού Προγράμματος Αλιείας και Θάλασσας (ΕΠΑλΘ) 2014-2020 και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο-ΕΚΤ) και το υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

IDMA

Innovative Development of Multitrophic Aquaculture

Καινοτόμος Ανάπτυξη Πολυτροφικών Υδατοκαλλιεργειών

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαικής Ένωσης στο πλαίσιο του Ε. Π. Αλιείας και Θάλασσας 2014-2020

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο Θάλασσας και Αλιείας

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων

Ε.Π. ΑΛΙΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

ΕΣΠΑ 2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Department of Biology
Marine Ecology Lab
University of Crete

ΕΛΚΕΘΕ

hcmr
ΕΛΚΕΘΕ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου πρώτα απ' όλα, στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Καρακάση Ιωάννη, ο οποίος μου εμπιστεύτηκε την παρούσα έρευνα και που μου έδωσε την ευκαιρία να εργαστώ πάνω σε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εργασίας μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελής μου επιτροπής Παυλίδη Μιχάλη και Πήττα Παρασκευή για τις παρατηρήσεις που μου έκαναν για την βελτίωση της διπλωματικής μου εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στα μέλη του εργαστηρίου που βόηθησαν να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία, Ναυσικά Παπαγεωργίου, Παναγιώτης Δημητρίου, Ειρήνη Τσικοπουλου, για τη συνεχή καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη, τις ουσιώδεις συμβουλές, καθώς επίσης και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχαν όλο αυτό το χρονικό διάστημα. Καθώς επίσης ευχαριστώ πολύ και τα υπόλοιπα μέλη του εργαστηρίου Μωραίτης Μανώλης και τη φοιτήτρια Μεσαριτάκη Ρια για τη βοήθειά τους, τις συμβουλές και την υποστήριξη τους. Ακόμα θα ήθελα να μεταβιβάσω τις ευχαριστίες μου στην Ιωάννα Καλατζή και στον Ιορδάνη Μαγιόπουλο για τη βοήθεια που μου πρόσφεραν κάθ΄όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού μου, για τις πολύτιμες συμβουλές και καθοδήγηση τους καθώς και για τη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχαν όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ενυδρείο Κρήτης και πιο συγκεκριμένα την κ. Στεριώτη Ασπασία και τους εργαζόμενους του τμήματος της ενυδρειολογίας για την παραχώρηση πρόσβασης στους χώρους του ενυδρείου και στις δεξαμενές. Επίσης να ευχαριστήσω τον κ Παπανδρουλάκη Νικόλα για την αδεία πρόσβασης στους πειραματικούς κλωβούς στη Σούδα Χανίων.

Το μεγαλύτερο «ευχαριστώ» στα αγαπημένα μου πρόσωπα, στην οικογένεια μου, που αποδέχθηκαν όλες τις επιλογές μου και μου παρείχαν στήριξη όλο αυτό το διάστημα, χωρίς την οποία τίποτα από όσα έχω καταφέρει μέχρι σήμερα δε θα ήταν πραγματικότητα.

Περιεχόμενα

Περίληψη 9

Εισαγωγή 11

Ενδιαιτήματα 11

Οικοσυστημική σημασία ολοθουρίων 12

Οικονομική σημασία των ολοθουρίων 12

Διαχείριση αποθεμάτων και νομοθεσία 15

Καλλιέργεια ολοθουρίων 17

Κεφάλαιο 1: Ανάπτυξη μεθόδων εκτροφής Ολοθουρίων για χρήση σε Πολυτροφικές Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα 21

Εισαγωγή: 21

Υλικά και μέθοδοι 21

Αποτελέσματα - Συζήτηση 23

Κεφάλαιο 2: Οι ΠΥ σε παγκόσμιο επίπεδο: σημερινή κατάσταση, νομοθετικά πλαίσια στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες 25

Εισαγωγή 25

Υλικά και μέθοδοι 25

Συλλογή δεδομένων 25

Ενοποίηση δεδομένων και ανάλυση 26

Αποτελέσματα - Συζήτηση 26

Προσπάθειες εντατικοποίησης Πολυτροφικών Υδατοκαλλιέργειών ανά τον κόσμο 26

Νομοθεσία των Πολυτροφικών Υδατοκαλλιεργειών ανά τον κόσμο και νομοθετικά κενά 30

Κεφάλαιο 3: Συμβολή των ολοθουρίων στην βιοαποκατάσταση ιζημάτων και στην μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των ΙΚ 39

Εισαγωγή 39

Υλικά και μέθοδοι 39

Στατιστική ανάλυση 45

Αποτελέσματα -Συζήτηση 45

Συμπεράσματα 49

Βιβλιογραφία 51

Παράρτημα 55

Περίληψη

Η οικονομική αξία των ολοθουρίων έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια και μαζί με αυτή έχει αυξηθεί και η αλιεία τους σε βαθμό υπερεκμετάλλευσης. Μια εναλλακτική λύση που θα εξασφαλίσει την βιωσιμότητα που αποθέματος στη Μεσόγειο, αλλά και τα κοινωνικό-οικονομικά οφέλη που συνδέονται με την εξαγωγή τους είναι η εντατικοποίηση της καλλιέργειας τους, τόσο σε χερσαίες εγκαταστάσεις όσο και στην ανοιχτή θάλασσα κοντά σε ιχθυοκλωβούς, Πολυτροφική Υδατοκαλλιέργεια (ΠΥ). Η μέθοδος της ΠΥ βασίζεται στην αρχή της ροής ενεργείας μέσα στα τροφικά επίπεδα, συνεπώς γίνεται προσπάθεια να καλλιεργούνται οργανισμοί που τρέφονται από το οργανικό υλικό που διαφεύγει από τους ιχθυοκλωβούς. Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να γίνουν τα πρώτα βήματα για την εισαγωγή ολοθουρίων σε συστήματα ΠΥ. Αρχικά, έγινε προσπάθεια ανάπτυξης μεθόδων εκτροφής ολοθουρίων μέσα σε ιχθυοκλωβούς. Κατασκευάστηκαν αυτοσχέδια κλουβιά στα οποία τοποθετήθηκαν ολοθούρια του είδους *Holothuria polli* και στη συνέχεια εγκαταστάθηκαν στο κάτω μέρος ενός ιχθυοκλωβού. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε εμφάνισε αρκετά πλεονεκτήματα, με κύριο την επιβίωση των οργανισμών. Στη συνέχεια, έγινε μια βιβλιογραφική μελέτη του νομικού πλαισίου αδειοδότησης και λειτουργίας των Πολυτροφικών Υδατοκαλλιεργειών στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες με σκοπό να εντοπιστούν τα υπάρχοντα νομοθετικά κενά. Συλλέχθηκαν δεδομένα για τις χώρες με την σημαντικότερη παραγωγή προϊόντων πολυτροφικής καλλιέργειας και πραγματοποιήθηκε καταγραφή των ειδών και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Επίσης, τα δεδομένα που αφορούν τα νομοθετικά θέματα των υδατοκαλλιεργειών ομαδοποιηθήκαν με βάση τρεις βασικούς άξονες: (i) περιβάλλον, (ii) χωροταξία και (iii) υγεία και ευημερία των καλλιεργούμενων οργανισμών. Και στις τρεις κατηγορίες η νομοθεσία δεν κάλυπτε τα υφιστάμενα θέματα και επισημάνθηκαν τα υπάρχοντα κενά. Τέλος, διαπιστώθηκε αν τα ολοθούρια συμβάλουν στη βιοαποκατάσταση των ιζημάτων και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των υδατοκαλλιεργειών. Πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα βενθοκόσμων στο όποιο προσομοιάστηκαν οι συνθήκες οργανικού εμπλουτισμού και ιζηματοαπόθεσης κάτω από έναν ιχθυοκλωβό και στη συνέχεια εξετάστηκε πως η παρουσία ολοθουρίων αλλάζει τις παραμέτρους του ιζήματος. Καταγράφοντας το

δυναμικό οξειδοαναγωγής, το θείο και το οργανικό υλικό, στα πρώτα 5 εκατοστά του ιζήματος, διαπιστώθηκε ότι τα ολοθούρια είναι ικανά να βελτιώσουν τις συνθήκες του ιζήματος όταν αυτό είναι οργανικά εμπλουτισμένο.

Εισαγωγή

Ενδιαιτήματα

Τα Ολοθούρια, ή Ολοθουροειδή, (Holothuroidea), είναι μακροβενθικοί οργανισμοί, που κατοικούν σε διαφόρων τύπων ενδιαιτήματα (Hickman et al., 2001). Παρουσιάζουν ευρεία εξάπλωση, από περιοχές στους τροπικούς μέχρι και σημεία στους πόλους, χωρίς να εξαιρούνται ακραία περιβάλλοντα όπως η αβυσσαία ζώνη. Οικολογικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της Μεσογείου έδειξαν ότι εξαπλώνονται σε βάθη από 0 έως 100 μέτρα ανεξαρτήτως υποστρώματος (Byrne et al., 2010).

Στην περιοχή της Μεσογείου συναντώνται σε αφθονία τα είδη: *Holothuria (Holothuria) mammata, Holothuria (Panningothuria) forskali, Holothuria (Platyperona) sanctori, Holothuria (Holothuria) tubulosa και Holothuria (Roweothuria) polii.* Τα δύο τελευταία είδη παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αφθονίες στις θάλασσες του Αιγαίου, ενώ ακολουθεί *το H. mammata* (Aydin, 2019).

Τα είδη του Αιγαίου (*H. tubulosa, H. polii)* διαβιούν σε περιοχές όπου το υπόστρωμα είναι μαλακό, κυρίως σε περιοχές κοντά σε λιβάδια φανερογάμων ή και στα ξέφωτα των λιβαδιών. Οι περιοχές κοντά σε λιβάδια φανεργάμων αποτελούν ένα ιδανικό ενδιαίτημα για τα ολοθούρια, καθώς συσσωρεύεται πληθώρα οργανικού υλικού χωρίς όμως να δεσμεύεται από τα ίδια τα αγγειόσπερμα. Εκεί δεσμεύουν τα θρεπτικά υλικά με την κατάποση του ιζήματος αυτούσιο και στη συνέχεια αποβάλλουν από την έδρα τους τα άχρηστα υλικά (Aydin & Erkan, 2015). Συνεπώς τα συναντά κανείς συνήθως σε περιοχές με μαλακό ίζημα και με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό (Aydin & Erkan, 2015)

Αρκετά από αυτά τα μεσογειακά είδη ολοθουρίων συναπαντώνται στην ίδια περιοχή και παρουσιάζουν παρόμοια εξωτερική μορφολογία. Επομένως, είναι πολύ δύσκολο να εντοπιστούν οι διαφορές τους ώστε να διαφοροποιηθούν σε είδη. Τα τελευταία χρόνια, μερικές μοριακές μελέτες επέτρεψαν τη βελτίωση των γνώσεων σχετικά με τη ταξινόμηση, την εξέλιξη και τη γενετική των πληθυσμών (Borrero-PÉrez et al., 2009; González-Wangüemert et al., 2014; Valente et al., 2015).

Όσον αφορά τα άτομα του είδους *H. polii*, χαρακτηρίζονται από μικρό μέγεθος συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη της Μεσογείου και σκούρο χρώμα με μικρές

ανοιχτόχρωμες βούλες πάνω στο σωματικό τους τοίχωμα. Το *H. polii* συναντάται σε περιοχές δίπλα σε λιβάδια φανερογάμων με λασπώδες υπόστρωμα και είναι εύκολο να διαχωριστεί από τα συνυπάρχοντα είδη (*H. tubulosa* και *H. mammata*) καθώς αυτά εμφανίζουν πιο έντονες αυλακώσεις στο δέρμα τους και πιο έντονα χρώματα. Η αναγνώριση και η κατηγοριοποίηση των ειδών αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε βάσει των εξωτερικών τους χαρακτηριστικών, είτε μέσω των διαφορετικών οσταρίων που υπάρχουν εντός του σωματικού τους τοιχώματος, μιας και αυτά διαφέρουν από είδος σε είδος ως προς το μέγεθος και το σχήμα (Aydin & Erkan, 2015).

Οικοσυστημική σημασία ολοθουρίων

Τα ολοθούρια ως ιζηματοφάγοι οργανισμοί, αποτελούν σημαντικό τμήμα της βενθικής κοινότητας, συμβάλλοντας στην αποικοδόμηση των οργανικών στοιχείων του ιζήματος. Παράλληλα, λόγω της σίτισής τους από το υπόστρωμα, τα ολοθούρια είναι ενεργοί βιοαναδευτές και μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τόσο τη σύσταση όσο και την οξυγόνωση των ιζημάτων. Η επεξεργασία και ανάδευση του ιζήματος από τα ολοθούρια έχει ως αποτέλεσμα την επιστροφή των θρεπτικών στοιχείων στη στήλη του νερού, τη διευκόλυνση οξυγόνωσής των ιζημάτων με αποτέλεσμα να αποφεύγονται οι ανοξικές συνθήκες και την ενίσχυση της βακτηριακής πανίδας (Coulon & Jangoux, 1993). Λόγω της σημαντικής τους δράσης ως βιοαναδευτές θεωρούνται κατάλληλο εργαλείο για τη βελτίωση της ποιότητας του ιζήματος κάτω από τις υδατοκαλλιέργειες (Byrne et al., 2010).

Έρευνες σίτισης ολοθουρίων με σωματιδιακά απόβλητα που καθιζάνουν από ιχθυοκλωβούς, έδειξαν μείωση του συνολικού οργανικού φορτίου που απελευθερώνεται, υποδεικνύοντας ότι μπορούν να έχουν σημαντικό ρόλο προς μια βιώσιμη ανάπτυξη των ιχθυοκαλλιεργειών στην Μεσόγειο (Neofitou et al., 2019). Η παρουσία ολοθουρίων γύρω από τους ιχθυοκλωβούς βελτιώνει την ποιότητα του νερού και του ιζήματος και κατ΄ επέκταση επηρεάζεται η βενθική κοινότητα καθώς και το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών (Tolon et al., 2017).

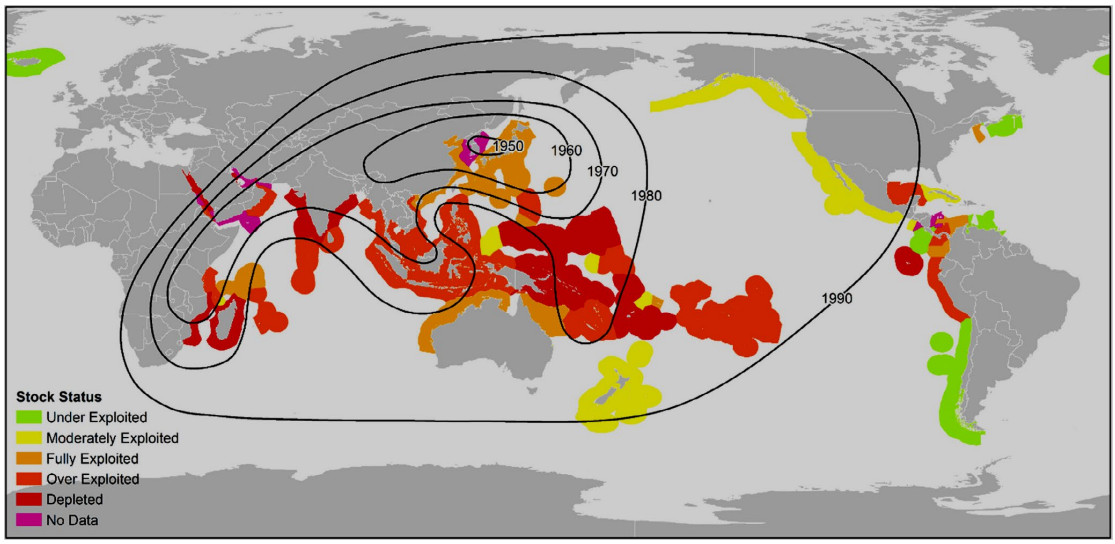
Οικονομική σημασία των ολοθουρίων

Πέρα από την οικολογική τους αξία για τις λειτουργίες που προσφέρουν στα βενθικά οικοσυστήματα, τα ολοθούρια παρουσιάζουν και οικονομική σημασία (Byrne et

al., 2010). Οι αγορές των ασιατικών χωρών κατακλύζονται από προϊόντα με προέλευση τα ολοθούρια. Σε χώρες όπως η Κίνα και η Ιαπωνία, τα ολοθούρια αποτελούν ένα παραδοσιακό έδεσμα, υψηλής διατροφικής αξίας ενώ χρησιμοποιούνται επίσης και ως πηγή ουσιών για την παραγωγή φαρμακευτικών και καλλυντικών προϊόντων (Benedetto Sicuro & Levine, 2011). Στις αγορές απαντώνται είτε σε νωπή, είτε σε ξηρή μορφή και αποκαλούνται με τη γαλλικής προέλευσης ονομασία “beche-de-mer” (Benedetto Sicuro & Levine, 2011).

Σε χώρες όπως η Ασία και η Αμερική, το σωματικό τοίχωμα των ολοθουρίων χρησιμοποιείται για κατανάλωση σε μορφή χαπιού ή βράζεται και στην συνέχεια καταναλώνεται ο ζωμός, ο οποίος δρα ως τονωτικό. Επίσης στην Αυστραλία πολλές εταιρίες έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν τα ολοθούρια για την καταπολέμηση του κρυολογήματος, φτιάχνοντας διάφορα ιατρικά παρασκευάσματα. Όμως ο κύριος λόγος για τον οποίο καταναλώνονται στις χώρες αυτές είναι οι αφροδισιακές τους ιδιότητες. Πάντως είναι γεγονός ότι τα ολοθούρια είναι πλούσια σε πολυσακχαρίτες, σε βιταμίνη Α, μαγνήσιο, ιόντα καλίου και άλλα χρήσιμα θρεπτικά συστατικά για τον ανθρώπινο οργανισμό (Yu et al., 2014).

Η αυξανόμενη ζήτηση ολοθουρίων από τις ασιατικές αγορές επηρεάζει τους πληθυσμούς των ολοθουρίων σε όλο τον κόσμο. Τα τελευταία χρόνια, λόγω της αυξημένης ζήτησης, η αλιεία των ολοθουρίων επεκτείνεται τόσο γεωγραφικά όσο και ποσοτικά (Bennett & Basurto, 2018). Μάλιστα γίνεται λόγος ότι αποτελούν μαζί με τα πτερύγια καρχαρία, τα πλέον εμπορεύσιμα διατροφικά προϊόντα στην Κίνα (Eriksson et al., 2015). Στο Χονγκ Κονγκ εισάγονται 66 διαφορετικά είδη ολοθουρίων με προέλευση από 48 διαφορετικές χώρες. Υπάρχουν αναφορές για αλίευση 2.000-3.000 ατόμων την ημέρα από έναν μόνο προμηθευτή, ενώ μεγάλες εταιρίες μπορούν να συλλέξουν έως 720.000 ολοθούρια σε μια μόνο ημέρα (Siegenthaler et al., 2015). Η εξαγωγή αυτού του αριθμού ατόμων από το περιβάλλον σε καθημερινή βάση οδήγησε τους πληθυσμούς των ολοθουρίων στα όρια της κατάρρευσης εξαιτίας της υπεραλίευσης (Εικόνα 1). Αυτό διαπιστώθηκε όταν έγινε αισθητή η μείωση των μεγάλων ατόμων από τους πληθυσμούς (Siegenthaler et al., 2015).



Εικόνα 1. Εξάπλωση του εμπορίου ολοθουρίων: κατάσταση αποθεμάτων (Purcell et al 2013) και έτος εγκατάστασης αλιευτικών σκαφών (Anderson et al 2011). Η Εικόνα από τους Bennett & Basurto (2018).

Στην Ισπανία πάνω από 10 εταιρίες εξάγουν ολοθούρια των ειδών *H. tubulosa*, *H. forskali* και *H. mammata* στην Κίνα, σε τιμές που εξασφαλίζουν κέρδη που φτάνουν τα 2 εκατομμύρια ευρώ τον χρόνο (Siegenthaler et al., 2015). Στην Πορτογαλία το εμπόριο των ειδών *H. arguinensis, H. forskali* και *H. mammata* κυμαίνεται μηνιαίως από 2.000 kg έως 50.000 kg, σε τιμές που ανάλογα με την ποιότητα μπορούν να φτάσουν τα 350 € kg^{-1} (Siegenthaler et al., 2015). Αυτό έχει δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στους αλιευόμενους πληθυσμούς, καθώς τα ολοθούρια είναι ευαίσθητοι οργανισμοί στην υπερεκμετάλλευση. Οι βασικοί λόγοι που εμποδίζουν τους πληθυσμούς να ανταπεξέλθουν και να ανακάμψουν από την τόσο εντατική αλίευση είναι η αργή ανάπτυξή τους, η αργή αναπαραγωγική τους ωρίμανση και η εξάρτηση της αναπαραγωγικής τους επιτυχίας από το βαθμό συνωστισμού των ατόμων (Siegenthaler et al., 2015). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο πληθυσμός ολοθουρίων στην Παπούα, της Νέας Γουινέας, που μετά από απαγόρευση της αλιείας για 7 χρόνια ακόμα δεν έχει ανακάμψει πλήρως (Hair et al., 2019).

Στην Τουρκία αλιεύονται περίπου 77.000 kg $έτος^{-1}$ (Aydin, 2019), ωστόσο, μέχρι σήμερα, δεν έχει δημοσιευθεί καμία μελέτη σχετικά με τη χρονική εξέλιξη αυτού του τύπου αλιείας στην Ελλάδα ή στη Μεσόγειο (González-Wangüemert et al., 2014). Πάντως στην Ελλάδα υπάρχουν πάνω από 50 αλιευτικά σκάφη με άδεια εξαλίευσης ολοθουρίων, που

σημαίνει ότι και στον ελληνικό χώρο οι αριθμοί εξαλίευσης ολοθουρίων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλοι.

Διαχείριση αποθεμάτων και νομοθεσία

Ο συνολικός όγκος των παγκοσμίων αλιευμάτων ολοθουρίων δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί για πολλούς λόγους, συμπεριλαμβανομένης της έλλειψης συγκεκριμένης δήλωσης εξαλίευσης (οι αλιεύσεις ολοθουρίων αναφέρονται μαζί με άλλα θαλάσσια ασπόνδυλα), τις ασαφείς μονάδες βάρους (π.χ. ξηρό βάρος έναντι εκσπλαχνισμένου βάρους), τις δραστηριότητες εισαγωγής και επανεξαγωγής σε ορισμένες χώρες και την εξαγωγή υπό διάφορες μορφές (π.χ. αλατισμένα, αποξηραμένα ή κατεψυγμένα). Πάντως σύμφωνα με τα δεδομένα του FAO (2014a), το Χονγκ Κονγκ, που είναι ο μεγαλύτερος εισαγωγέας ολοθουρίων, ανέφερε περίπου 6000 εκατομμύρια. τόνους εισαγωγών το 2011 σε τιμή 64 USD κιλό$^{-1}$ με την τιμή και τις εισαγωγές να αυξάνονται συνεχώς τα τελευταία 40 χρόνια. Ως εκ τούτου, από οικολογική και κοινωνικοοικονομική άποψη, η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της αλιείας ολοθουρίων έχει μεγάλη σημασία για πολλές παράκτιες κοινότητες που εξαρτώνται από το υψηλό εισόδημα που μπορεί να δημιουργήσει η αλιεία (Joseph 2005; Anderson et al., 2011; Dissanayake et al., 2010; FAO, 2008). Η διαχείριση και αλιεία των ολοθουρίων έχει γίνει με βάση μια πιο οικοσυστημική προσέγγιση που θα βοηθήσει στην βιωσιμότητά των αποθεμάτων τους και μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη για την επιβίωση περίπου 3 εκατομμυρίων αλιέων παγκοσμίως (Purcell et al 2010, Purcell et al 2013).

Σήμερα χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία διαχείρισης για την αποφυγή της υποβάθμισης των πληθυσμών ολοθουρίων. Οι πιο κοινές νομοθετικές ρυθμίσεις περιλαμβάνουν ελάχιστα όρια μεγέθους εξαλίευσης ατόμων, ποσοστώσεις ανάλογα με τα άτομα ή την εποχή, περιορισμούς αλιευτικών εργαλείων, κλειστές εποχές και ελέγχους σχετικά με τον αριθμό ή το μέγεθος των αλιευτικών σκαφών (Toral-Ganda et al 2008; Purcell et al 2013). Τα μέτρα αυτά ήταν αποτελεσματικά όταν συνδυάστηκαν με συνεχή επανεκτίμηση της κατάστασης των αποθεμάτων (Léopold et al., 2013). Προληπτικά μέτρα μερικής απαγόρευσης της αλιείας ολοθουρίων, ανάλογα με τις μεταβολές της αλιευτικής προσπάθειας και της αφθονίας των αποθεμάτων, μπορούν να οδηγήσουν στη διατήρηση των αποθεμάτων ολοθουρίων (Eriksson et al., 2012; Cariglia et al., 2013).

Όπως προαναφέρθηκε τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ζωής των ολοθουρίων τα καθιστούν ιδιαίτερα ευάλωτα στην υπεραλίευση λόγω της χαμηλής και μη συχνής στρατολόγησης των νεαρών ατόμων των πληθυσμών τους, της καθυστερημένης ηλικιακής ωριμότητας, της μακροζωίας, της εξαρτημένης από την πυκνότητα αναπαραγωγικής επιτυχίας και της βραδείας ανάπτυξης (Uthicke et al., 2004). Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν ακόμη λίγες διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις στρατηγικές της ζωής, την ανάπτυξη, τη δυναμική του πληθυσμού και τα αλιεύματα αυτών των ειδών, που στοχεύουν οι νέοι τύποι αλιείας στη Μεσόγειο και τον Ατλαντικό (Bulteel et al., 1992; Simunovic et al., 2000; Despalatović et al., 2004) Η αλιεία ολοθουρίων στην ανατολική Μεσόγειο άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και επικεντρώθηκε κυρίως στα *H. polii, H. tubulosa* και *H. mammata,* τα οποία μεταποιούνται τοπικά και στη συνέχεια εξάγονται στις ασιατικές χώρες ως κατεψυγμένα, αποξηραμένα και αλατισμένα προϊόντα (Aydın 2008, Aydın et al 2011; Purcell et al 2012a,b). Οι κύριοι τύποι αλιείας ολοθουρίων στη Μεσόγειο υπάγονται στην κλάση "S-Αλιεία" (Purcell 2010) (μικρής κλίμακας, τοπική αλιεία εδραίων οργανισμών), με τη συλλογή των ατόμων να πραγματοποιείται αποκλειστικά με το χέρι, είτε με ελεύθερη κατάδυση είτε με τη χρήση καταδυτικής συσκευής και σύστημα παροχής αέρα (ναργιλές).

Μέχρι πρόσφατα δεν υπήρχε κάποια νομοθεσία που να αφορά τα είδη του γένους *Holothuria* στον ελληνικό χώρο, όμως από το 2018 ισχύει το προεδρικό διάταγμα Νο48 το οποίο αναφέρεται στα ρυθμιστικά μέτρα για την αλιεία των ολοθουρίων. Σύμφωνα με το διάταγμα, η αλιεία των ολοθουρίων επιτρέπεται να ασκείται μόνο από επαγγελματίες, οι οποίοι είναι πλοιοκτήτες μηχανοκίνητων επαγγελματικών αλιευτικών σκαφών με άδεια αλίευσης. Η συλλογή των ατόμων γίνεται αποκλειστικά με το χέρι, με τη χρήση ή μη συστήματος παροχής αέρα και επιτρέπεται κατά τη διάρκεια της ημέρας μια (1) ώρα μετά την ανατολή του ηλίου και έως μια (1) ώρα πριν την δύση του. Επίσης, από το διάταγμα προβλέπεται το επιτρεπόμενο όριο νωπού βάρους στην αλίευση ολοθουρίων, το οποίο είναι 180 g. Μικρότερα άτομα από το επιτρεπόμενο όριο πρέπει να επιστρέφονται στο περιβάλλον, με την προϋπόθεση ότι είναι ζωντανά. Τέλος, οριοθετείται ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός αλιευμένων ατόμων/σκάφος/ημέρα στα 400 άτομα (Προεδρικό Διάταγμα 48/2018).

Προκειμένου οι φυσικοί πληθυσμοί να αντέξουν τη ραγδαία μείωση των αποθεμάτων τους έχουν προταθεί διάφορες λύσεις, όπως η αποκατάσταση με εμπλουτισμό του συστήματος με νέα άτομα (Siegenthaler et al., 2015) ενώ η ικανοποίηση των καταναλωτικών αναγκών θα μπορούσε να καλυφθεί με την εισαγωγή τους σε συστήματα ελεγχόμενης εκτροφής (υδατοκαλλιέργειες) (Yu et al., 2014).

Καλλιέργεια ολοθουρίων

Μια εναλλακτική προσέγγιση της εξαγωγής ολοθουρίων προς τις ασιατικές χώρες, η οποία θα εξασφαλίσει τη βιωσιμότητα του αποθέματος στη Μεσόγειο αλλά και τα κοινωνικά-οικονομικά οφέλη που συνδέονται με αυτά είναι η καλλιέργειά τους. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 οι πληθυσμοί του είδους *Stichopus (Apostichopus) japonicus* είχαν αρχίσει να απειλούνται στην Κίνα. Ως μέθοδος αντιμετώπισης προτάθηκε ο εμπλουτισμός των φυσικών πληθυσμών με άτομα που έχουν μεγαλώσει σε συνθήκες εκτροφής (Yu et al., 2014; Park et al., 2015). Έτσι, για τη βιωσιμότητα των φυσικών πληθυσμών, έγιναν προσπάθειες να εισαχθούν τα ολοθούρια στις υδατοκαλλιέργειες. Στην προσπάθεια αυτή ήταν πρωτοπόρος η Κίνα που το 1998 ξεκίνησε την εισαγωγή ολοθουρίων σε συστήματα εκτροφής. Έκτοτε, όλο και περισσότερες χώρες προσπαθούν να συμμετάσχουν, αυξάνοντας το μερίδιό τους στην αγορά. Εκτροφή ολοθουρίων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε λιμνοδεξαμενές (ponds) είτε σε κλουβιά στην ανοιχτή θάλασσα. Στην αρχή καλλιεργήθηκαν άτομα σε λίμνες και στη συνέχεια στη θάλασσα. Αρχικά η καλλιέργεια των ολοθουρίων γινόταν με την εισαγωγή ολοθουρίων από άγριους πληθυσμούς σε συνθήκες αιχμαλωσίας. Όμως η μέθοδος αυτή αρχικά ήταν μη κερδοφόρα καθώς τα ποσοστά ασθένειας και θνησιμότητας ήταν αυξημένα, λόγω έλλειψης τεχνικών γνώσεων γύρω από τη φυσιολογία τους (Yu et al., 2014). Σήμερα σε διάφορες ασιατικές χώρες γίνεται εντατική καλλιέργεια ολοθουρίων (κυρίως σε ponds) και οι μέθοδοι καλλιέργειάς τους έχουν βελτιωθεί, ενώ για κάποια είδη γίνεται παραγωγή γόνου στα εργαστήρια (Chao et al., 1994; Rakaj et al., 2018).

Η εντατική καλλιέργεια ολοθουρίων στη θάλασσα μπορεί να γίνει κοντά σε υπάρχοντες κλωβούς καλλιεργούμενων ψαριών. Μάλιστα, η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι στηρίζεται στην αρχή της πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας που υποστηρίζει την οικοσυστημική προσέγγιση ανάπτυξης των ιχθυοκαλλιεργειών. Οι πολυτροφικές υδατοκαλλιέργειες μπορούν να εφαρμοστούν με διαφορετικούς τρόπους, σε

χερσαία συστήματα, σε συστήματα λιμνοδεξαμενών αλλά και στην ανοιχτή θάλασσα. Μέχρι στιγμής τα πιο επιτυχημένα συστήματα ΠΥ στην ανοιχτή θάλασσα αφορούν συνήθως 3 ομάδες οργανισμών (ψάρια, οστρακοειδή και μακροφύκη), ενώ πιο εξελιγμένα συστήματα εμπεριέχουν και οργανισμούς που τρέφονται με απόβλητα άλλων, όπως είναι τα ολοθούρια και οι αχινοί (Kleitou et al., 2018)

Μερικές φορές είναι επιθυμητό να φιλοξενούνται δύο ή περισσότερα είδη σε ένα σύστημα υδατοκαλλιέργειας, όταν πρόκειται για οργανισμούς οικολογικά συμβατούς, δηλαδή οργανισμούς που απαιτούν παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά δεν ανταγωνίζονται μεταξύ τους για τροφή και χώρο. Η ταυτόχρονη παρουσία εκτρεφόμενων οργανισμών που ανήκουν σε διαφορετικά τροφικά επίπεδα μπορεί να αποτελέσει τη βάση για φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα καλλιέργειας, που αυξάνουν τόσο τη σταθερότητα του περιβάλλοντος όσο και της επιχείρησης εκτροφής μειώνοντας τον οικολογικό και οικονομικό κίνδυνο (Soto, 2009). Οι πολυτροφικές υδατοκαλλιέργειες εμφανίζουν και κοινωνικά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής μονοκαλλιέργειας, καθώς εισάγονται στην αγορά προϊόντα που είναι πιο αρεστά στον καταναλωτή εφόσον γνωρίζει ότι η προέλευση τους δεν έχει επιβαρύνει αρνητικά το περιβάλλον. Τέλος, αναφορές υποστηρίζουν ότι στις πολυτροφικές καλλιέργειες υπάρχουν μειωμένα κρούσματα ασθενειών συγκριτικά με τις μονοκαλλιέργειες (FAO, 2008).

Η σχεδίαση μιας πολυτροφικής καλλιέργειας πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλους τους φυσικούς και βιολογικούς παράγοντες της κάθε περιοχής. Η επιλογή των ειδών που συμμετέχουν στο σύστημα δεν πρέπει να γίνει τυχαία, οι οργανισμοί είναι αναγκαίο να επιλέγονται βάσει χαρακτήρων που αφορούν τη θέση τους στην τροφική αλυσίδα (να επιτυγχάνεται η ροή ενεργείας από το ένα είδος στο άλλο). Εκτός από το να είναι εμπορικά εκμεταλλεύσιμα, είναι επίσης πολύ σημαντικό (i) να είναι εγχώρια είδη ώστε να αποφευχθεί η εισαγωγή ξενικών ειδών στο περιβάλλον σε περιπτώσεις διαφυγής και (ii) να παρουσιάζουν δυνατότητα κατανάλωσης άφθονης τροφής ώστε να χρησιμοποιούνται ως βιολογικοί καθαριστές (Soto, 2009)

Τα ολοθούρια που ανήκουν στο φύλο των εχινοδέρμων φαίνεται να διαθέτουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για τα συστήματα ΠΥ. Με την τοποθέτηση ολοθουρίων κοντά σε ιχθυοκλωβούς εκτιμάται ότι βελτιώνεται η ποιότητα του περιβάλλοντος λόγω της

κατανάλωσης των περιττωμάτων των ψαριών και των υπολειμμάτων τροφής (Zhou et al., 2006).

Οι οικονομικές μελέτες γύρω από τις ΠΥ είναι ελάχιστες, ενώ αυτές που ήδη υπάρχουν δεν προβλέπουν με ακρίβεια την οικονομική πορεία των ΠΥ συγκριτικά με τις μονοκαλλιέργειες. Παρ΄ όλα αυτά, οικονομική εκτίμηση της συγκαλλιέργειας σολομού με μύδια παρουσίασε αύξηση του κέρδους κατά 24% συγκριτικά με τη μονοκαλλιέργεια (Jangoux et al., 2009).

Το κέρδος που προκύπτει από τις πολυκαλλιέργειες δεν αφορά μόνο τη διαχειριστική πρακτική της εταιρίας αλλά και την αποδοχή των προϊόντων από τους καταναλωτές. Η ΠΥ με ολοθούρια, εκτός από οικολογική παρουσιάζει και οικονομική σημασία καθώς τα ολοθούρια είναι ένα εμπορεύσιμο προϊόν με υψηλή τιμή. Με αυτήν τη μέθοδο εκτροφής, οργανικοί περιβαλλοντικοί ρύποι, όπως περιττώματα ψαριών, περίσσεια ιχθυοτροφής, φυτοπλαγκτόν και άλλη σωματιδιακή οργανική ύλη, μετατρέπονται σε υψηλής αξίας βιομάζα μέσω του μετασχηματισμού τους σε σάρκα ολοθουρίων (Zhou et al., 2006).

Η παρούσα εργασία αποτελεί τμήμα ενός ερευνητικού έργου που αποσκοπεί στην εισαγωγή και βελτιστοποίηση μεθόδων ΠΥ στα ιχθυοτροφεία των θαλασσίων ειδών του Μεσογειακού χώρου, προκειμένου να αυξηθεί η οικονομική και περιβαλλοντική τους αποδοτικότητα. Ειδικότερα, οι στόχοι αυτής της εργασίας περιλαμβάνουν: (i) την ανάπτυξη μεθόδων εκτροφής ολοθουρίων σε πολυτροφικές υδατοκαλλιέργειες κατάλληλων για συστήματα ανοιχτής θαλάσσης, (ii) την επισκόπηση του διεθνούς υφιστάμενου νομοθετικού πλαισίου που αφορά τις πολυτροφικές υδατοκαλλιέργειες και την εκτροφή ολοθουρίων, καθώς και (iii) την εκτίμηση της συμβολής των ολοθουρίων στη βιοαποκατάσταση του ιζήματος και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των υδατοκαλλιεργειών.

Κεφάλαιο 1: Ανάπτυξη μεθόδων εκτροφής Ολοθουρίων για χρήση σε Πολυτροφικές Υδατοκαλλιέργειες στην Ελλάδα

Εισαγωγή

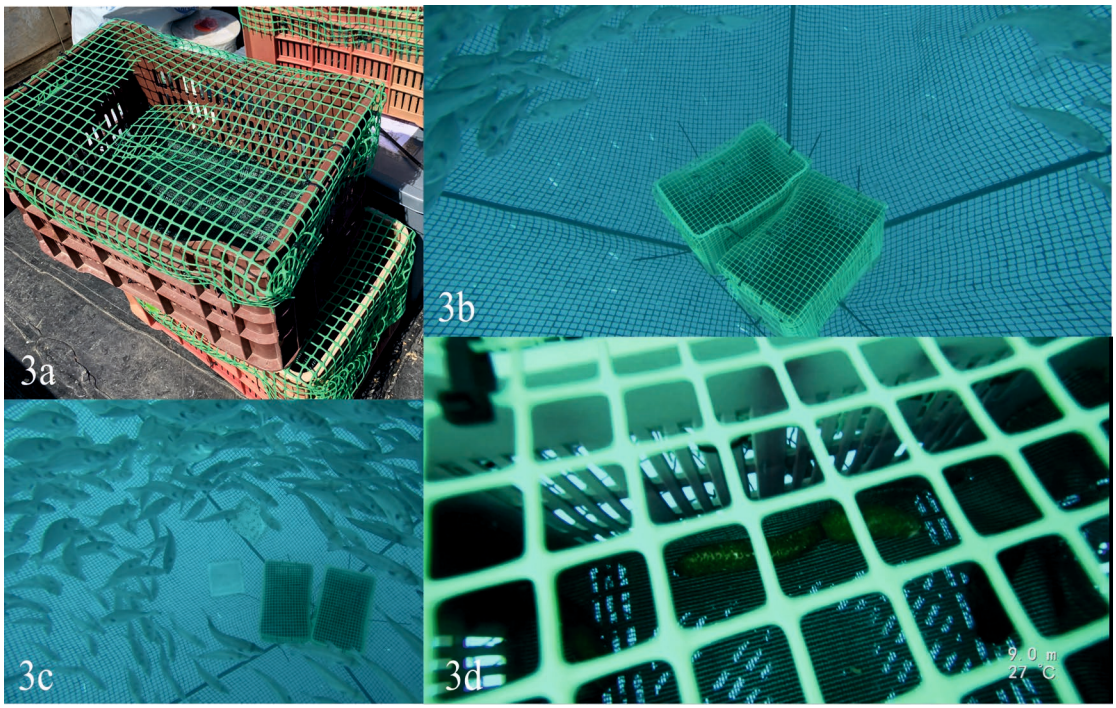
Στόχος του 1ου κεφαλαίου της μελέτης ήταν να σχεδιαστεί μία μέθοδος συγκαλλιέργειας ολοθουρίων, κατάλληλη για ιχθυοκλωβούς στην ανοιχτή θάλασσα, και να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητά της τόσο σε τεχνικό επίπεδο (τοποθέτηση, σταθερότητα της δομής, αντοχή στον κυματισμό κτλ) όσο και σε επίπεδο επιβίωσης των οργανισμών. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε μία πιλοτική δομή καλλιέργειας ολοθουρίων, η οποία δοκιμάστηκε στην πειραματική μονάδα υδατοκαλλιέργειας του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών στη Σούδα Χανίων, όπου υπάρχουν ιχθυοκλωβοί καλλιέργειας τσιπούρας (Sparus aurata).

Υλικά και μέθοδοι

Τα ολοθούρια συλλέχτηκαν με το χέρι (30/07/2019) από την παράκτια περιοχή του Αγίου Νικολάου (Λασίθι Κρήτης). Συνολικά συλλέχθηκαν 50 άτομα, τα οποία ταυτοποιήθηκαν στο είδος *Holothuria polii*, βάρους 200-300 g. Από αυτά επιλέχθηκαν 16 άτομα περίπου ίδιου βάρους (200±20 g) για να χρησιμοποιηθούν στην πιλοτική ΠΥ. Για την εκτίμηση της βιομάζας ακολουθήθηκε πρωτόκολλο στο οποίο δε θανατώνονται οι οργανισμοί μετρώντας το βάρος τους, καθώς το μήκος δε θεωρείται αξιόπιστη μέθοδος σύμφωνα με τον Sewell (1991). Τα ολοθούρια ζυγίστηκαν με ζυγό ακριβείας αφού πρώτα είχε απομακρυνθεί το νερό που συγκρατούν στην σωματική τους κοιλότητα. Η απομάκρυνση του νερού έγινε ασκώντας πίεση στην κοιλιακή χώρα του ολοθουρίου (Sewell, 1991). Η δομή του κλωβού καλλιέργειας βασίστηκε στην ιδέα των Zamora et al. (2018), σε μία πιο απλοποιημένη μορφή. Δοκιμάστηκαν δύο διαφορετικές κατασκευές.

Η πρώτη κατασκευή αποτελείται από ένα πλαστικό διάτρητο κλωβό (τελάρο), στον πάτο του οποίου τοποθετήθηκε μη τοξικό ελαιόδιχτο πολυαιθυλενίου ως υπόστρωμα για τους οργανισμούς. Το άνω μέρος του κλωβού κλείστηκε με πλαστικό πλέγμα πολυαιθυλενίου και ασφαλίστηκε με πλαστικά δεματικά. Ένα μικρό άνοιγμα, που ασφαλίζει πάλι με τη χρήση δεματικών, στο κέντρο του πλέγματος διευκολύνει την πρόσβαση στους οργανισμούς για την τακτική παρακολούθησή τους. Στο κάτω μέρος του

κλωβού τοποθετήθηκε βαρίδι δύο κιλών για καλύτερη ισορροπία (Εικόνα 3a). Στις 31/07/2019, τοποθετήθηκαν 8 ολοθούρια σε δύο πανομοιότυπους κλωβούς οι οποίοι δέθηκαν στον πυθμένα ενός ιχθυοκλωβού σε βάθος 10 μέτρων στην υδατοκαλλιέργεια του ΕΛΚΕΘΕ στη Σούδα Χανίων (Εικόνα 2 b,c).



Εικόνα 2. (a) Αυτοσχέδιος κλωβός από πλαστικό διάτρητο τελάρο στον πάτο του οποίου τοποθετήθηκε μη τοξικό ελαιόδιχτο πολυαιθυλενίου ως υπόστρωμα για τους οργανισμούς. Το πάνω μέρος του κλωβού κλείστηκε με πλαστικό πλέγμα πολυαιθυλενίου. Μικρό άνοιγμα διευκολύνει την πρόσβαση στους οργανισμούς για την τακτική παρακολούθησή τους. (b, c) Ολοθούρια τοποθετήθηκαν σε δύο πανομοιότυπους κλωβούς στον πυθμένα ενός ιχθυοκλωβού (d) Φωτογραφία ολοθουρίων εντός των αυτοσχέδιων κλουβιών.

Επιλέχτηκε να τοποθετηθούν τα κλουβιά με τα ολοθούρια εντός του ιχθυοκλωβού και όχι στον πυθμένα καθώς προηγούμενες εργασίες έδειξαν ότι οι ανοξικές συνθήκες που δημιουργούνται κάτω από τους ιχθυοκλωβούς προκαλούν τον θάνατο των οργανισμών (Zamora 2016). Η τοποθέτηση έγινε από δύτη. Ο ιχθυοκλωβός είχε ιχθυοφόρτιση 5.000 ατόμων τσιπούρας μέσου βάρους 200 g. Οι κλωβοί παρακολουθούνται συστηματικά (2 φορές τον μήνα) για να διαπιστωθεί εάν παραμένουν ασφαλισμένοι στη θέση τους και δευτερευόντως αν υπάρχει θνησιμότητα στα ολοθούρια. Μετά το πέρας διαστήματος τουλάχιστον 9 μηνών θα μετρηθεί και η μεταβολή της βιομάζας των οργανισμών.

Σε δεύτερη προσπάθεια βελτίωσης του κλωβού χρησιμοποιήθηκε πάλι ένα πλαστικό τελάρο, στον πάτο του οποίου τοποθετήθηκε μη τοξικό ελαιόδιχτο

πολυαιθυλενίου ως υπόστρωμα. Όμως αυτήν τη φορά, οι πλευρές του τελάρου καλύφθηκαν με πλαστικό πλέγμα ώστε να μειωθεί η διάμετρος των κενών και να μην μπορούν να διαφύγουν τα ολοθούρια. Επίσης, στο άνω μέρος του τελάρου τοποθετήθηκε δίχτυ υδατοκαλλιέργειας, το οποίο δέθηκε στο τελάρο με δεματικά μη αφήνοντας κενό που να επιτρέπει τη διαφυγή των ζώων. Τέλος, και σε αυτήν την κατασκευή έγινε τρύπα στο άνω μέρος του κλωβού ώστε να διευκολύνεται η πρόσβαση στους οργανισμούς. Η τρύπα μετά την τοποθέτηση των οργανισμών μέσα στον κλωβό έκλεισε με δεματικά.

Ο κλωβός με τους οργανισμούς δεν τοποθετήθηκε απευθείας μέσα σε ιχθυοκλωβό αλλά πρώτα ελέγχθηκε αν τα ολοθούρια είναι ικανά να διαφύγουν από το εσωτερικό της κατασκευής. Ο έλεγχος έγινε σε δεξαμενή που παραχωρήθηκε από το ενυδρείο Κρήτης (Cretaquarium). Αφού τοποθετήθηκαν 4 ολοθούρια στο εσωτερικό του, ο κλωβός παρέμεινε στη δεξαμενή για διάστημα 2 εβδομάδων και εφόσον δεν καταγράφηκε καμία διαφυγή, αποφασίστηκε να τοποθετηθεί εντός του κλωβού υδατοκαλλιέργειας στη Σούδα. Έτσι, στις 3/12/2019, 3 ολοθούρια, μέσου βάρους 40g±10 g τοποθετήθηκαν εντός του αυτοσχέδιου κλωβού, ο οποίος δέθηκε στον πάτο του ιχθυοκλωβού με δεματικά. Ο ιχθυοκλωβός ήταν ο ίδιος που χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη προσπάθεια εκτροφής και εμπεριείχε τα ίδια άτομα τσιπούρας.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Στο χρονικό διάστημα από 31/7/2019 ως 12/09/2019, που διήρκησε η πρώτη προσπάθεια, οι κλωβοί των ολοθουρίων ελέχθηκαν συνολικά 3 φορές. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, δεν παρατηρήθηκε βλάβη ή αλλοίωση της δομής του κλωβού με εξαίρεση κάποια ανάπτυξη βιοεπίστρωσης (fouling), που καθαρίστηκε από τον δύτη. Όσον αφορά τους οργανισμούς σε αυτό το χρονικό διάστημα, από τα συνολικά 8 άτομα, τα 7 είχαν καταφέρει να διαφύγουν μέσα από τα κενά του τελάρου, καθώς, σύμφωνα με τον Sewell (1991), έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν εντελώς το σχήμα του σώματος τους ώστε να είναι ικανά να περάσουν από τρύπες που δεν ξεπερνούν σε διάμετρο τα 2 cm.

Όσον αφορά τους κλωβούς της δεύτερης προσπάθειας, δεν έχει παρατηρηθεί, μέχρι την ημερομηνία συγγραφής της εργασίας (31/1/2020) κάποια βλάβη ή αλλοίωση της δομής του κλωβού με εξαίρεση μια μικρή ανάπτυξη βιοεπίστρωσης, η οποία καθαρίστηκε επίσης από τον δύτη. Επιπροσθέτως, όλοι οι οργανισμοί ήταν ζωντανοί και δεν εμφανίστηκαν

επεισόδια θνησιμότητας. Οι οργανισμοί έχει προγραμματιστεί να συνεχίσουν να παρακολουθούνται τακτικά και κατά τους επόμενους μήνες.

Από τα πρώτα αυτά αποτελέσματα η μέθοδος αυτή φαίνεται να είναι κατάλληλη για την καλλιέργεια ολοθουρίων. Δεν παρουσιάστηκαν αλλοιώσεις στη δομή ούτε και θνησιμότητες. Σε σχέση με τον τρόπο καλλιέργειας, όπου τα ολοθούρια καλλιεργούνται σε μια περιφραγμένη θέση στο βυθό (Tolon et al., 2017) υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα μιας και τα ολοθούρια δεν υπόκεινται σε θήρευση ενώ επίσης δεν υπάρχει ο περιορισμός του μικρού βάθους που απαιτείται για να αναπτυχθούν. Παράλληλα, σε σύγκριση με τη μέθοδο τοποθέτησης κλωβών με ολοθούρια κάτω από τους ιχθυοκλωβούς (Zamora et al., 2018), η μεθοδολογία που εφαρμόσαμε παρουσιάζει δύο πλεονεκτήματα: (α) τα κλουβιά των ολοθουρίων μπορούν να τοποθετούνται οριζόντια υπό τον ιχθυοκλωβό καλύπτοντας μεγαλύτερη επιφάνεια με συνέπεια να μεγιστοποιείται η συλλογή του καθιζάνοντος οργανικού υλικού και (β) η ασφάλιση της δομής στο δίχτυ του ιχθυοκλωβού εξασφαλίζει αυξημένη σταθερότητα και αντίσταση στο ρεύμα, μειώνοντας τις ανεπιθύμητες ταλαντώσεις λόγω ρευμάτων που μπορούν να παρουσιαστούν ιδιαίτερα στην ανοιχτή θάλασσα.

Επειδή η κατασκευή αυτοσχέδιων κλωβών είναι χρονοβόρα και δεν είναι κατάλληλη για εντατική καλλιέργεια ολοθουρίων, για μελλοντική μελέτη επιλέχθηκαν ως καλύτερη εναλλακτική, έτοιμοι κλωβοί που προορίζονται για καλλιέργεια γόνου στρειδιών (https://seapa.com.au/oyster-baskets/). Οι κλωβοί αυτοί είναι φτιαγμένοι από ανθεκτικό και αδρανές πλαστικό (PELD) και διαθέτουν ειδική θύρα ασφαλείας για τη διαχείριση των οργανισμών. Αποτελούνται από πλέγμα συγκεκριμένης διατομής 3 ή 6 mm. Παράλληλα, είναι σχεδιασμένοι για εύκολη τοποθέτηση σε δομές οριζόντιας οστρακοκαλλιέργειας (long lines), όπου η βιοεπίστρωση μπορεί να καθαριστεί εύκολα από δύτες και μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν σε ιχθυοκλωβούς.

Για την τελική αξιολόγηση της μεθοδολογίας, προγραμματίζεται η καταγραφή της επιβίωσης και ανάπτυξης των ολοθουρίων μετά από διάστημα 9 μηνών. Τα αποτελέσματα αυτά, αν και δεν παρουσιάζονται εδώ, αναμένεται να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της απόδοσης της ΠΥ ολοθουρίων.

Κεφάλαιο 2: Οι ΠΥ σε παγκόσμιο επίπεδο: σημερινή κατάσταση, νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες

Εισαγωγή

Σήμερα, οι ανάγκες της αγοράς απαιτούν την ανάπτυξη πιο παραγωγικών συστημάτων καλλιέργειας που παράγουν τα προϊόντα τους με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα ενώ παράλληλα να έχουν μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Από τη στιγμή λοιπόν που επενδυτές ενδιαφέρονται για τη δημιουργία πολυτροφικών υδατοκαλλιεργειών είναι αναγκαίο να αναπτυχτεί ένα νομικό πλαίσιο που θα αφορά τη διαχείρισή τους.

Ενώ όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς αναφέρουν ότι είναι πολύ σημαντικό να αναπτυχθούν οι πολυκαλλιέργειες, δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες για την εφαρμογή τους στις διάφορες χώρες. Επίσης, πολύ συχνά υπάρχουν νομοθετικά κενά που δυσκολεύουν την παραχώρηση αδειών λειτουργίας σε πολυκαλλιέργειες ακόμα και για πειραματικούς σκοπούς. Επομένως είναι αναγκαία η επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας προκειμένου να σχηματιστεί μια ολοκληρωμένη Εικόνα για την παγκόσμια κατάσταση των πολυκαλλιεργειών. Παράλληλα, στόχος της εργασίας αυτής είναι να προσφέρει μια κριτική ανασκόπηση για τις προσπάθειες ανάπτυξης των πολυκαλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο, με έμφαση στη συγκαλλιέργεια ολοθουρίων, ενώ θα εντοπισθούν πιθανά επιστημονικά και νομοθετικά κενά.

Υλικά και μέθοδοι

Συλλογή δεδομένων

Για την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά τις πολυκαλλιέργειες, η αναζήτηση επικεντρώθηκε σε γενικές βιβλιογραφικές βάσεις δεδομένων, όπως το Google Scholar, το Scopus και το Web of Science, αλλά επεκτάθηκε και σε μερικές περισσότερο προσανατολισμένες στον τομέα των υδατοκαλλιεργειών (FAO-GFCM publications and reports, FAO-NASO databases, EU-DG Mare, Aquaculture Science and Fisheries Abstract-ASFA databases). Για την αναζήτηση επιλέχθηκαν περιγραφικές λέξεις-κλειδιά που αφορούν διάφορες θεματικές περιοχές των πολυκαλλιεργειών αλλά και γενικότερα των

υδατοκαλλιεργειών (περιβάλλον, πρακτικές διαχείρισης, νομοθεσία κλπ). Οι επιλεγμένες λέξεις-κλειδιά ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με τις έννοιες που περιγράφουν, και τα διαφορετικά συμπλέγματα λέξεων-κλειδιών που δημιουργήθηκαν σχημάτισαν τις σειρές αναζήτησης.

Παράλληλα έγινε και ανασκόπηση λεγόμενης γκρίζας (gey) βιβλιογραφίας, η οποία επικεντρώθηκε: (α) σε δημοσιευμένα αποτελέσματα από προηγούμενα επιστημονικά έργα (ευρωπαϊκά ή εθνικά), (β) σε τεχνικές εκθέσεις, (γ) σε ανακοινώσεις σε συνέδρια, (δ) σε διπλωματικές εργασίες φοιτητών σχετικά με την ΠΥ και (ε) σε ελληνικές και ευρωπαϊκές νομοθετικές ρυθμίσεις.

Ενοποίηση δεδομένων και ανάλυση

Δεδομένου ότι υπάρχει ποικιλία συγκαλλιεργούμενων ειδών και προσεγγίσεων, η μελέτη δημιούργησε μια εκτενή αρχική λίστα των πιο κοινών πρακτικών που εφαρμόζονται σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην συνέχεια, η ανάλυση χωρίστηκε σε δύο στάδια: (1) επιλέχθηκαν οι χώρες με τη σημαντικότερη παραγωγή προϊόντων πολυτροφικής καλλιέργειας και έγινε καταγραφή των ειδών καθώς και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται και (2) επιλέχθηκαν όλες οι πληροφορίες που αφορούν υφιστάμενα νομοθετικά πλαίσια των πολυτροφικών υδατοκαλλιεργειών. Για καλύτερη ανάλυση και σύνθεση, τα αποτελέσματα του νομοθετικού πλαισίου που ισχύουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα χωρίστηκαν σε τρεις βασικούς άξονες: (i) περιβάλλον, που αφορά την νομοθεσία γύρω από τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των πολυκαλλιεργειών, (ii) την χωροταξία που περιλαμβάνει θέματα που αφορούν τον χώρο και τον τρόπο τοποθέτησης των κλουβιών όλων των συγκαλλιεργούμενων οργανισμών και τέλος (iii) την υγεία και την ευημερία των καλλιεργούμενων οργανισμών. Τέλος, εξετάσθηκαν ξεχωριστά δεδομένα που αφορούσαν τις πρακτικές καλλιέργειας και διαχείρισης των ολοθουρίων.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Προσπάθειες εντατικοποίησης Πολυτροφικών Υδατοκαλλιέργειών ανά τον κόσμο

Στο Παράρτημα 1 καταγράφεται περιληπτικά η σύνοψη των μέχρι τώρα προσπαθειών για δημιουργία πολυτροφικών υδατοκαλλιεργειών. Σε ορισμένες χώρες έχουν γίνει προσπάθειες για εμπορική εκμετάλλευση των προϊόντων ΠΟΥ, όπως είναι η Κίνα, ο Καναδάς, η Χιλή, η Σκωτία και κάποιες πολιτείες της Αμερικής, ενώ στις ευρωπαϊκές

χώρες η ΠΟΥ ακόμα βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο που δεν επιτρέπει την εμπορευματοποίησή τους (Kleitou et al., 2018).

Καναδάς

Στην περιοχή του Καναδά καλλιεργούνται σε μονοκαλλιέργεια κυρίως σολομοειδή, όπως σολομός και πέστροφα, καθώς και κάποια είδη μπακαλιάρου, όσον αφορά τα ψάρια. Υπάρχουν ακόμη καλλιέργειες οστρακοδέρμων, όπως τα μύδια, τα κτένια και τα στρείδια που λειτουργούν ως μονοκαλλιέργεια για αρκετά χρόνια. Το πιο κοινό σύστημα καλλιέργειας που εφαρμόζεται στον Καναδά, είναι η εντατική καλλιέργεια ανοιχτής θάλασσας (Soto, 2009). Πριν από λίγα χρόνια ξεκίνησε η χρηματοδότηση για την ανάπτυξη πολυτροφικών καλλιεργειών στον Καναδά στις ακτές τόσο του Ειρηνικού όσο και του Ατλαντικού ωκεανού. Στις ακτές του Ατλαντικού, βάσει ενός προγράμματος δημιουργήθηκε μια πολυτροφική καλλιέργεια που περιλάμβανε τους εξής οργανισμούς: σολομό (*Salmon salar*), μπλε μύδι (*Mytilus edulis*) και κτένι (*Saccharina latissima*, *Alariae sculenta*). Το πρόγραμμα διήρκησε παραπάνω από 8 χρόνια, κατά τη διάρκεια του οποίου γινόταν παρακολούθηση των θρεπτικών, του οξυγόνου και της βιομάζας των εκτρεφόμενων οργανισμών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών υποδηλώνουν ότι οι πολυτροφικές υδατοκαλλιέργειες είναι μια επιτυχημένη μέθοδος βιοαποκατάστασης. Παράλληλα, έγιναν και τακτικές μετρήσεις συγκέντρωσης αντιβιοτικών και μετάλλων στα οστρακοειδή, όπου δεν εντοπίστηκαν αντιβιοτικά ή αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλων. Ενδεικτικά, σε όλες τις μετρήσεις, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, του αρσενικού, και διαφόρων οργανικών ρύπων (PCBs) ήταν χαμηλότερες από τα όρια που έχουν ορίσει οι οργανισμοί Canadian Food Inspection Agency, USA Food and Drug Administration, και η αντίστοιχη Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι τα μύδια και τα φύκια μπορούν να εισαχθούν σε πολυτροφικές υδατοκαλλιέργειες που θα ελέγχονται και θα διαχειρίζονται με αυτόν τον τρόπο, ώστε να καταναλωθούν από τον άνθρωπο με απόλυτη ασφάλεια (Soto, 2009).

Μετά από τα θετικά αποτελέσματα του προαναφερθέντος προγράμματος έγιναν και άλλες προσπάθειες χρησιμοποιώντας επιπλέον οργανισμούς. Στις ακτές του Βανκούβερ, το 2006, έγινε μια πειραματική προσπάθεια στην οποία τοποθετήθηκαν περισσότεροι οργανισμοί από ότι στο πρόγραμμα του 2001. Σε αυτήν την ΠΥ τοποθέτησαν: σολομό, μπακαλιάρο ατλαντικού, μακροφύκη (*Saccharina latissima*), κτένια και ολοθούρια

(Soto, 2009). Έως το 2011, η εταιρία Loblaw, που είναι από τις μεγαλύτερες εταιρίες θαλασσινών ανακοίνωσε την έναρξη της εισαγωγής στην αγορά σολομού που καλλιεργείται σε συνθήκες ΠΥ. Ο σολομός παράγεται από την εταιρία True North Salmon, σε συνθήκες πολυτροφικής καλλιέργειας (Hughes & Kelly, n.d.) .

ΗΠΑ

Ενδιαφέρον για τις πολυτροφικές καλλιέργειες έχουν δείξει και οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Η πρώτη προσπάθεια έγινε με την καλλιέργεια κόκκινης άλγης *Porphyra*, γνωστή και ως nori σε συνδυασμό με ιχθυοκαλλιέργεια. Χρησιμοποιήθηκαν 6 διαφορετικά είδη κόκκινης άλγης *P. amplissima, P. purpurea, P. umbilicalis, P. haitanensis, P. katadaand P. Yezoensis* από τα οποία, τα 3 πρώτα είδη απεδείχθη ότι κάνουν βιοαποκατάσταση (bioremediation) με επιτυχία. Επίσης, επειδή πρόκειται για είδη της περιοχής φαίνεται ότι μπορούν να προσαρμοστούν και σε καλλιέργειες μυδιών, αυξάνοντας κατά πολύ την παραγωγή και το κέρδος (Soto, 2009).

Το 2003 έγινε μια εργασία με μεγάλο ενδιαφέρον. Ο Buttner και ο Leavitt (2003), τοποθέτησαν καλλιέργεια στρειδιών σε παγίδες αστακών. Τροποποίησαν τις παγίδες των αστακών ώστε πάνω από αυτές να βρίσκεται η καλλιέργεια των στρειδιών. Στη συνέχεια, παρατήρησαν ότι τα στρείδια μπορούν να επιβιώσουν, να αναπτυχθούν και να επιφέρουν μεγαλύτερο κέρδος από το εμπόριο των αστακών καθώς η σύλληψη των αστακών, μέσα στις παγίδες, αυξήθηκε. Κατέληξαν έτσι στο συμπέρασμα ότι σε καλλιέργεια οστρακοειδών θα είναι κερδοφόρα η καλλιέργεια οργανισμών που τρέφονται από τα περιττώματά τους, όπως είναι οι αστακοί.(Buttner et al., 2013)

Χιλή

Οι πολυτροφικές καλλιέργειες στη Χιλή ήταν δύσκολο να είναι κερδοφόρες εξαιτίας της χαμηλής τιμής που είχαν ήδη προϊόντα όπως τα όστρακα και τα μακροφύκη. Είναι σχεδόν απίθανο ο ιδιοκτήτης μιας μεγάλης ιχθυοκαλλιέργειας σολομού να ενδιαφερθεί να καλλιεργήσει μακροφύκη ή μύδια, εκτός αν η πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια μπορεί να του προσφέρει αύξηση στην παραγωγή του σολομού. Παρ' όλα αυτά έγινε μια προσπάθεια για ανάπτυξη συγκαλλιέργειας μυδιών με σολομούς σε πειραματικό επίπεδο, με αποτελέσματα που χρειάζονται περαιτέρω μελέτη. Επίσης γίνονται προσπάθειες καλλιέργειας οστρακοειδών, μακροφυκών (*Saccharina latissima*), ολοθουρίων και αχινών

σε εντατική καλλιέργεια, όμως παραμένουν σε πειραματικό στάδιο καθώς ο έλεγχος ποιότητας και η αποδοχή από τους καταναλωτές δεν είναι ακόμα σαφή (Soto, 2009).

Η ανάπτυξη πολυτροφικών συστημάτων στη Χιλή αποτελεί προτεραιότητα της κυβέρνησης και των εταιριών. Εξαιτίας της υψηλής παραγωγής και της επεκτατικής τάσης των εταιριών καλλιέργειας σολομού, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα περιβαλλοντικής υποβάθμισης, ειδικά στις περιπτώσεις που η καλλιέργεια δεν ακολουθεί κάποιο κατάλληλο διαχειριστικό πλαίσιο. Τα πολυτροφικά συστήματα μπορούν να μειώσουν την περιβαλλοντική υποβάθμιση καθώς και να επιφέρουν ανάπτυξη της εταιρίας, πράγμα που θα δημιουργήσει πιθανόν νέες θέσεις εργασίας σε μια περιοχή που η ανεργία είναι ιδιαίτερα αυξημένη (Soto, 2009).

Κίνα

Είδη που καλλιεργούντε σε ΠΥ στην Κίνα έχουν εισαχθεί στην αγορά με τη δημιουργία δυο εταιριών που εκμεταλλεύονται εμπορικά συγκαλλιεργούμενα είδη. Η εταιρία Zhangzidao Fishery Goup Co. λειτουργεί εδώ και 10 χρόνια και έχει ετήσιο κέρδος κοντά στα 60 εκατομμύρια δολάρια. Η εταιρία αυτή συγκαλλιεργεί χτένια (*Patinopecten yessoensis*) δίθυρα (*Scapharca broughtonii*), ολοθούρια (*Apostichopus japonicas*) και όστρακα (*Haliotis discus hannai*) και τα τελευταία χρόνια κάνει προσπάθειες για την ανάπτυξη καλλιέργειας μακροφυκών προκειμένου να βελτιωθούν οι συνθήκες του περιβάλλοντος (Soto, 2009).

Ευρώπη

Στην Ευρώπη, οι προσπάθειες για πολυτροφικές καλλιέργειες αφορούν μόνο πειραματικές δοκιμές, καθώς μέχρι σήμερα δεν υπάρχει η νομοθεσία που θα επιτρέψει την εισαγωγή των προϊόντων τους στην αγορά. Οι πειραματικές δομές κυρίως επικεντρώθηκαν στο να χρησιμοποιούν είδη φυκών ως βιολογικά φίλτρα, καθώς έρευνες έχουν δείξει ότι απορροφούν και απομακρύνουν με επιτυχία από το νερό τα φωσφορικά και τα αμμωνιακά ιόντα που προέρχονται από τους ιχθυοκλωβούς, με αποτέλεσμα να μειώνουν φαινόμενα τοξικότητας. Στην Ισπανία, έγινε προσπάθεια καλλιέργειας ενός είδους ροδοφύκους με τα είδη ψαριών που καλλιεργούνται στην περιοχή (*Dicentrarchus labrax* και *Scophthalmus maximus*) και μετά από τα θετικά αποτελέσματα, στην απομάκρυνση των θρεπτικών από το περιβάλλον προστέθηκε στην καλλιέργεια ένα είδος διθύρου (*Tapes decussatus*) που επίσης παρουσίασε θετικά αποτελέσματα. Παρόμοια προσπάθεια έγινε και στη Γαλλία

όπου τοποθετήθηκε το γαστερόποδο *Crassostrea gigas* σε κλουβιά με λαυράκι. Προσπάθειες για καλλιέργεια ψαριών με γαστερόποδα έχουν πραγματοποιηθεί και σε άλλες χώρες της Ευρώπης όπως η Νορβηγία, η Βρετανία και η Ιρλανδία. Οι περισσότερες προσπάθειες για την ανάπτυξη πολυτροφικών συστημάτων έχουν γίνει στη Σκωτία και αυτό γιατί δεν υπάρχει κανένας νομικός περιορισμός που να απαγορεύει την ανάπτυξη τους. Οι προσπάθειες τους περιλαμβάνουν καλλιέργεια σολομού είτε με αχινούς είτε με μακροάλγη είτε με στρείδια (Hughes & Kelly, n.d.).

Νομοθεσία των Πολυτροφικών Υδατοκαλλιεργειών ανά τον κόσμο και νομοθετικά κενά

Σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο της Κίνας, τα συστήματα εντατικής καλλιέργειας απαιτούν αγκυροβόλια και πλατφόρμες, ώστε να διευκολύνονται οι δραστηριότητες όπως το τάισμα, ο καθαρισμός και οι λοιπές δραστηριότητες που περιλαμβάνει η εκτροφή θαλάσσιων οργανισμών. Αυτό ισχύει για κάθε τύπου καλλιέργεια στην ανοιχτή θάλασσα. Επίσης, σύμφωνα με το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο, η επιφάνεια, που μπορούν να καταλαμβάνουν οι κλωβοί στην Κίνα, δεν μπορεί να ξεπερνά τα 25 m^2 ανά μονάδα. Η έκταση αυτή είναι αρκετά μικρότερη συγκριτικά με τις ευρωπαϊκές χώρες και μάλλον είναι αναγκαία η τροποποίηση της συγκεκριμένης νομοθεσίας ώστε να ωφεληθεί η ανάπτυξη πολυκαλλιεργειών (Soto, 2009).

Η νομοθεσία γύρω από τις υδατοκαλλιέργειες των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με τα μέχρι τώρα δεδομένα, αφορά την ανάπτυξη ενός μόνο είδους οργανισμού. Προκειμένου λοιπόν να αναπτυχθεί η συγκαλλιέργεια διαφορετικών ειδών είναι απαραίτητη η αλλαγή του νομοθετικού πλαισίου έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνει τις ρυθμιστικές ανάγκες των πολυκαλλιεργειών. Οι υπάρχοντες κανονισμοί δεν μπορούν να παρέχουν μια “καλή προσαρμογή” στην λειτουργία των πολυτροφικών υδατοκαλλιεργειών καθώς δεν έχουν εξεταστεί διεξοδικά όλοι οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις ενός τέτοιου έργου.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση μπορεί η νομοθεσία που αναφέρεται στις πολυτροφικές καλλιέργειες να είναι ατελής και να χρειάζεται συμπλήρωση των υπαρχόντων κενών, όμως υπάρχουν αρκετές προβλέψεις που αφορούν τους θαλάσσιους οργανισμούς ως εμπορικά προϊόντα είτε αυτά προέρχονται από συνθήκες εκτροφής, είτε από άγριους πληθυσμούς. Στην ευρωπαϊκή νομοθεσία, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 2), τα εχινόδερμα αναφέρονται ως προϊόντα ζωικής προέλευσης και κατατάσσονται στην ίδια

κατηγορία με τα μύδια. Συνεπώς, υπάρχει μία σειρά άρθρων που αναφέρονται στο πρωτόκολλο που πρέπει να ακολουθείται πριν την εισαγωγή αυτών των προϊόντων στην αγορά καθώς και ποιοι έλεγχοι πρέπει να γίνονται (REGULATION (EC) No 853/2004).

Πίνακας 1. Παράθεση της υπάρχουσας νομοθεσίας που θεσπίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση και αφορά την εισαγωγή προϊόντων εχινοδέρμων στην αγορά.	
European Union Regulations	
REGULATION (EC) No 853/2004	Τα εχινόδερμα πρέπει να συλλέγονται από τις ζώνες παραγωγής που έχουν ταξινομηθεί από τις αρμόδιες αρχές και από τις οποίες επιτρέπουν τη συγκομιδή.
COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2019/624 , of 8 February 2019	Για τη συγκομιδή των Pectinidae, των θαλασσίων γαστεροπόδων και των Holothuroidea, δεν απαιτείται η ταξινόμηση των ζωνών παραγωγής και μετεγκατάστασης.
REGULATION (EC) No 853/2004	Προϊόντα ζωικής προέλευσης θεωρούμε τα ζώντα δίθυρα μαλάκια, τα ζώντα εχινόδερμα, τα ζώντα χιτωνόζωα και τα ζώντα θαλάσσια γαστερόποδα που προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο
REGULATION (EC) No 854/2004	Αναφέρεται στην απόσυρση προϊόντος που περιέχει βιοτοξίνες επικίνδυνες για τον άνθρωπο
REGULATION (EC) No 853/2004;	Αναφέρει τα όρια των βιοτοξινών που επιτρέπεται να έχουν τα εχινόδερμα ώστε να διατεθούν στην αγορά
REGULATION (EC) No 852/2004	Χρήση καθαρού θαλασσινού νερού για πλύσιμο των οργανισμών

Για τα προϊόντα ζωικής προέλευσης, στα οποία ανήκουν και τα εχινόδερμα, η ευρωπαϊκή νομοθεσία προβλέπει την ασφαλή κατανάλωσή τους μέσα από μια σειρά ελέγχων. Τα εχινόδερμα μπορούν να συσσωρεύσουν στον οργανισμό τους βιοτοξίνες, που για τον άνθρωπο είναι επιβλαβείς, αν καταναλωθούν σε ποσότητες που υπερβαίνουν συγκεκριμένα όρια, συνεπώς πριν την εισαγωγή τους στην αγορά πραγματοποιείται σχετικός έλεγχος. Σε περίπτωση που τα επίπεδα μιας βιοτοξίνης είναι ικανά να προκαλέσουν προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου, το προϊόν δεν μπορεί να διατεθεί στην αγορά και οφείλει να αποσυρθεί. Τέλος, αφού πραγματοποιηθούν όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι, είναι απαραίτητο να αναγράφεται η ημερομηνία αλίευσης ενώ οι αγοραστές να φυλάσσουν τα σχετικά έγγραφα που λαμβάνουν με την παραλαβή τους, για

τουλάχιστον 12 μήνες. Στην περίπτωση των πολυτροφικών υδατοκαλλιεργειών, η Ευρωπαϊκή Ένωση θα πρέπει να επεξεργαστεί ειδικό νομοθετικό πλαίσιο που θα σχετίζεται με τη μεταφορά ασθενειών από το ένα είδος στο άλλο, την υγεία των ψαριών καθώς και την ασφαλή κατανάλωση από την αγορά, προκειμένου να επεκταθεί εμπορικά η ιδέα της ΠΥ (Kleitou et al., 2018).

Όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 3, στην Ελλάδα μέχρι τώρα δεν ήταν ευρέως γνωστό το θέμα της πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας, συνεπώς ήταν αναμενόμενο η νομοθετική βιβλιογραφία να υστερεί σε μεγάλο βαθμό. Το 2017 με το ΦΕΚ-2637_ΥΑ 1120_2017, έγινε η πρώτη προσπάθεια για την εισαγωγή της ΠΥ στην ελληνική νομοθεσία δίνοντας τον ορισμό της και προτείνοντας την ως έναν τρόπο βελτίωσης της ποιότητας του νερού. Όμως, υπάρχουν πολλά κενά τα οποία πρέπει να καλυφθούν ώστε να μπορούν να εκδοθούν άδειες λειτουργίας. Μια τέτοια απόφαση που χρειάζεται να τροποποιηθεί προκειμένου να λειτουργήσει η ΠΥ στην Ελλάδα, αφορά την εκτροφή μυδιών. Σύμφωνα με το Φεκ 2505Β (Πίνακας 3), τα όρια της έκτασης εγκατάστασης μονάδας οστρακοκαλλιέργειας είναι αναγκαίο να απέχουν τουλάχιστον διακόσια (200) μέτρα από τα αγκυροβόλια μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας. Αυτή η απόφαση είναι αναγκαίο να αλλάξει προκειμένου να είναι εφικτή η προσπάθεια ανάπτυξης ΠΥ που να περιλαμβάνει οστρακοειδή. Τέλος, πιο ειδικά στην νομοθεσία της χώρας, τα ολοθούρια δεν συμπεριλαμβάνονται στα διατάγματα που αφορούν την καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών, δεν εντάσσονται νομικά στον όρο “υδρόβια ζώα” και κατ΄ επέκταση δεν υπάρχουν ορισμένοι κανονισμοί για τις ασθένειες των εχινοδέρμων ούτε για τα μέτρα καταπολέμησης τους.

Όπως φαίνεται, πολλές χώρες παγκοσμίως έχουν κάνει προσπάθειες να συγκαλλιεργήσουν είδη, αλλά σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η αντίστοιχη νομοθεσία που αφορά τις πολυκαλλιέργειες και τα είδη που την απαρτίζουν στις περισσότερες χώρες είναι ελάχιστη, δημιουργώντας πολλά νομοθετικά κενά (Παράρτημα 1). Τα νομοθετικά κενά, που εντοπίστηκαν μετά την ανάλυση και τη σύνθεση των αποτελεσμάτων του νομοθετικού πλαισίου, ανήκουν σε τρεις βασικούς άξονες: i) το περιβάλλον, ii) τη χωροταξία και iii) την υγεία και την ευημερία των καλλιεργούμενων οργανισμών.

Πίνακας 2. Η νομοθεσία της Ελλάδας που αναφέρεται στην ανάπτυξη πολυτροφικών συστημάτων υδατοκαλλιέργειας και την εκτροφή οργανισμών πέρα από ψάρια καθώς και τα κενά που προκύπτουν.

Geek regulation		**ISSUES/GAPS**
ΦΕΚ 46-ΠΔ 28_2009	Κτηνιατρικό/health/welfare	Στα υδρόβια ζώα δεν συμπεριλαμβάνονται τα ολοθούρια (ούτε το φύλο Εχινόδερμα).
ΦΕΚ 46-ΠΔ 28_2009	Κτηνιατρικό/health/welfare	Δεν υπάρχουν ορισμένοι κανονισμοί για τις αρρώστιες των εχινοδέρμων ούτε αναφέρονται μέτρα καταπολέμησης ασθενειών.
ΦΕΚ-2637_ΥΑ 1120_2017		Χρήση και ποιότητα του νερού: βελτίωση της ποιότητας του νερού εξόδου, μεταξύ άλλων, μέσω της ανάπτυξης πολυτροφικών συστημάτων υδατοκαλλιέργειας.
Φεκ 2505Β	Χωροταξικό	Ορισμός ΠΥ
Φεκ 2505Β	Χωροταξικό	Χωροθέτηση εγκαταστάσεων ανά Τύπο Υδατοκαλλιέργειας: α2. Οι υδατοκαλλιέργειες λοιπών θαλασσινών ειδών (κεφαλόποδα, καρκινοειδή κ.λπ.), που συνήθως ασκούνται επί του θαλάσσιου βυθού.
Φεκ 2505Β	Χωροταξικό	Μονάδες οστρακοκαλλιέργειας: Τα όρια της έκτασης εγκατάστασης μονάδας οστρακοκαλλιέργειας απέχουν τουλάχιστον διακόσια (200) μ. από τα αγκυροβόλια μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας.
Φεκ 2505Β	Χωροταξικό	Μονάδες καλλιέργειας ή εκτροφής λοιπών υδρόβιων οργανισμών ή / και άλλων μεθόδων: εφαρμόζονται κατά περίπτωση ειδικές ρυθμίσεις, που καθορίζονται με βάση τις τεχνολογικές και επιστημονικές εξελίξεις, με Κοινή Απόφαση των συναρμόδιων Υπουργείων.

Νομοθετικά κενά περιβάλλοντος

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας εξαρτώνται από τις πρακτικές διαχείρισης αλλά και την αφομοιωτική ικανότητα της περιοχής. Στις χώρες με μεγάλη παραγωγή καλλιεργούμενων ψαριών υπάρχουν νομοθετικές ρυθμίσεις που ορίζουν την περιβαλλοντική φέρουσα ικανότητα των μονάδων εκτροφής ψαριών και εξασφαλίζουν τη βιωσιμότητα των θαλασσίων οικοσυστημάτων. Η ιδέα μιας πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας υπόσχεται τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω της μειωμένης απελευθέρωσης αποβλήτων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Συνεπώς είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός των ορίων παραγωγής των διαφόρων συγκαλλιεργούμενων οργανισμών και περιβαλλοντικής υποβάθμισης σε περιπτώσεις μονάδων ΠΥ. Προκειμένου

να αποφασιστεί ο αριθμός αυτός πρέπει να υπολογιστεί η δυναμική κάθε περιοχής και να καθοριστούν βάσει αυτής τα όρια στα οποία οι κλωβοί των ολοθουρίων θα επιφέρουν μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και όχι επιπλέον επιβάρυνση. Η διευθέτηση ζητημάτων, όπως σε τι πυκνότητα και αναλογία πρέπει να μπουν οι εκτρεφόμενοι οργανισμοί είναι αναγκαίο να καθοριστεί μέσω της νομοθεσίας. Η βιβλιογραφική έρευνα έδειξε ότι νομοθεσία που να αφορά τη φέρουσα ικανότητα συστημάτων ΠΥ είναι ανύπαρκτη, παρ΄όλη τη σημασία της.

Χωροταξικά κενά

Η θέσπιση κανονισμών ώστε αρχικά να γίνει ευκολότερη η υλοποίηση πειραματικών σχεδιασμών καθώς και αργότερα η εμπορική εφαρμογή τους, είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη των πολυκαλλιεργείων. Το πρώτο ζήτημα που πρέπει να θεσμοθετηθεί είναι η χωροθέτηση των κλωβών με τα νέα είδη, που θα περιλαμβάνει τόσο τον αριθμό των κλωβών που μπορούν να τοποθετηθούν όσο και τις θέσεις στις οποίες πρέπει να τοποθετούνται. Φυσικά η επιλογή θέσης και αριθμού των κλωβών εξαρτάται κατά πολύ από τα όρια του παραγωγικού δυναμικού των καλλιεργούμενων οργανισμών και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Όσον αφορά τα είδη των ολοθουρίων, βιβλιογραφικά δεν υπάρχει κάποια αναφορά για το πόσα κλουβιά ενδείκνυται να τοποθετούνται ανά καλλιέργεια ή το σημείο ώστε η ανάπτυξη τους να είναι η ιδανικότερη. Προσπάθειες καλλιέργειας, που τοποθέτησαν κλουβιά με ολοθούρια στο ίζημα ακριβώς κάτω από ιχθυοκλωβούς, δεν έδωσαν αποτελέσματα που να επιβεβαιώνουν ότι είναι η καλύτερη τοποθεσία για την εκτροφή τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι θνησιμότητές τους ήταν αρκετά μεγάλες λόγω των ανοξικών συνθηκών που επικρατούν στο ίζημα. Έκτοτε, διαφόρου τύπου εργασίες έχουν προσπαθήσει να καλλιεργήσουν ολοθούρια εντός των διχτυών, σε κρεμασμένους κλωβούς ή σε διάφορες αποστάσεις από τον ιχθυοκλωβό χωρίς όμως να καταλήγουν σε μια βέλτιστη θέση (Ahlgen, 1998; Plotieau et al., 2013; Yokoyama, 2013; Zamora et al., 2018).

Τέλος, υπάρχει ένα ακόμα θεσμικό κενό, που η ανάγκη για την κάλυψή του είναι άμεση, και αυτό αφορά τον αριθμό των ατόμων που μπορούν να καλλιεργηθούν εντός ενός κλωβού. Για την πυκνότητα των ατόμων σε συνθήκες εκτροφής αλλά και στο πεδίο υπάρχουν αρκετές αναφορές που μπορούν να κατευθύνουν την απόφαση. Στην εργασία τους οι Aydin Mehmet et all. (2018), υπολόγισαν την πυκνότητα πληθυσμών ολοθουρίων

στην περιοχή του Αιγαίου. Αναγράφεται ότι η πυκνότητα των πληθυσμών στο πεδίο για τα είδη *H. tubulosa* και *H. polli* είναι 0.7 ind m^{-2} ενώ 0.21 ind m^{-2} για το είδος *H. mammata* (Neofitou et al., 2019). Σε πειραματικές συνθήκες, οι πυκνότητες των ολοθουρίων αλλάζουν και τοποθετούνται σε πυκνότητα 0.1 ind m^{-2}, θεωρώντας ότι η υψηλότερη πυκνότητα προκαλεί αυξημένη θνησιμότητα (Siahaan et al., 2017; Neofitou et al., 2019).

Η χωροταξική διευθέτηση των υδατοκαλλιεργειών είναι ένα μεγάλο και βασικό μέρος της ανάπτυξής τους και γι αυτό είναι αναγκαίο να ορισθεί εξ αρχής το πλαίσιο και οι τιμές εφαρμογής τους.

Ασφαλής Κατανάλωση Τροφίμων

Η θέσπιση νομοθετικών κανονισμών που θα αφορούν την ασφάλεια των τροφίμων (food safety) για τα είδη που καλλιεργούνται μαζί με άλλα είναι απαραίτητη. Ο φόβος των μη ποιοτικών προϊόντων, όταν αυτά εκτρέφονται σε συνθήκες ΠΟΥ, αφορά τις ουσίες που απελευθερώνονται στο νερό από τους συγκαλλιεργούμενους οργανισμούς πέρα από το οργανικό υλικό. Σε μια υδατοκαλλιέργεια, εκτός του οργανικού υλικού απελευθερώνονται και άλλες ουσίες όπως αντιβιοτικά και μέταλλα. Έτσι είναι λογικό το συμπέρασμα ότι οι οργανισμοί, που φιλτράρουν το νερό ή καταναλώνουν το ίζημα, έρχονται σε επαφή με αντιβιοτικά ή και μέταλλα που διαφεύγουν από τον ιχθυοκλωβό (Hughes & Kelly, n.d.).

Αναλύσεις σε μύδια που καλλιεργήθηκαν μαζί με σολομούς δεν εμφάνισαν καμία διαφορά στα επίπεδα βαρέων μετάλλων, σε σχέση με όταν είχαν καλλιεργηθεί σε μονοκαλλιέργεια. Στη συνέχεια, ελέγχθηκαν και οι ποσότητες αντιβιοτικών, όμως και σε αυτήν την περίπτωση δεν εντοπίστηκε συσσώρευση κάποιου στο σώμα των μυδιών. Τα αντιβιοτικά που ελέγχθηκαν ήταν τα Emamectinbenzoate, oxytetracycline, cypermethrin, ivermectin, chlorotetracycline, tetracycline, sulphadimethoxine και sulphadiazine. Οι ίδιοι διαγνωστικοί έλεγχοι έγιναν και σε μακροφύκη παρουσιάζοντας τα ίδια αποτελέσματα (Hughes & Kelly, n.d.).

Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφέρει ότι οποιοδήποτε προϊόν που προορίζεται για κατανάλωση από τον άνθρωπο πρέπει να μην υπερβαίνει ορισμένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Τα όρια των συγκεντρώσεων όμως αναφέρονται σε ψάρια της ιχθυοκαλλιέργειας και όχι σε άλλους θαλάσσιους οργανισμούς όπως τα εχινόδερμα και πιο συγκεκριμένα στην ομοταξία των ολοθουρίων.

Οι Pangestuti και Arifin το 2018 στην εργασία τους, υπολόγισαν τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε εμπορικά είδη ολοθουρίων συγκριτικά με τη βιομάζα τους (Robinson et al., 2019; Siahaan et al., 2017). Στον παρακάτω Πίνακα παραθέτονται οι συγκεντρώσεις των μετάλλων που υπολογίστηκαν στην ξηρή βιομάζα των ολοθουρίων (Πίνακας 3). Οι μετρήσεις αυτές έγιναν σε άτομα από φυσικούς πληθυσμούς, όμως οι συγκεντρώσεις αυτές δεν διαφέρουν από τα άτομα από πολυκαλλιέργεια, όπως αναφέρει η Georgina Robinson και οι συνεργάτες της το 2019 (Robinson et al., 2019).

Στον ίδιο Πίνακα αναφέρονται και τα θεσπισμένα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων σε καλλιεργούμενα ψάρια (European Union, 2011a, Kalantzi et al., 2014; European Union, 2014, 2015). Όμως, οι συγκεντρώσεις που αφορούν τα ψάρια είναι υπολογισμένες σε υγρή βιομάζα, σε αντίθεση με τις τιμές των ολοθουρίων που έχουν υπολογιστεί σε ξηρή. Συνεπώς, η σύγκριση αυτών των τιμών δεν θα ήταν αξιόπιστη. Γι αυτόν τον λόγο, οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα ολοθούρια συγκρίθηκαν με τιμές που αφορούν οργανισμούς που ανήκουν στην οικογένεια των εχινοδέρμων (Kalantzi et al., 2014), που επίσης παραθέτονται στον Πίνακα 3.

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων των ολοθουρίων με εκείνες που μετρήθηκαν στα λοιπά εχινόδερμα, παρατηρείται ότι οι τιμές διαφέρουν ανάλογα με το είδος του μετάλλου. Τα ολοθούρια εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις στα μέταλλα As, Se και χαμηλότερες στα Pd, Zn, Cr, Cu και Fe συγκριτικά με τα υπόλοιπα εχινόδερμα. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι οι υψηλότερες τιμές δεν δηλώνουν ότι τα ολοθούρια δεν είναι κατάλληλα για κατανάλωση από τον άνθρωπο αλλά η διαφορά αυτή στις συγκεντρώσεις μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική φυσιολογία των οργανισμών. Αναλυτικότερα, τα ολοθούρια ως ιζηματοφάγοι προτιμούν να τρέφονται με κόκκους ιζήματος με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό. Τέτοιου είδους ιζήματα πολλές φορές έχουν την τάση να αποθηκεύουν τα βαρέα μέταλλα και επομένως παρουσιάζουν και αυξημένες συγκεντρώσεις (Kalantzi et al., 2014).

Πίνακας 3. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (mg/kg) σε ολοθούρια. Οι τιμές με αστερίσκο (*) αναφέρονται σε υγρή βιομάζα (WW)

Sea cucumber species	**Mean concentration of heavy metals**							**References**
	Pb	Zn	Cu	Cr	As	Se	Fe	(Siahaan et al., 2017)
S. hermanni	0.52	33	3	1.6				(Siahaan et al., 2017)
T. ananas	0.24	15.22	1.34	3.33				(Siahaan et al., 2017)
T. anax	0.19	9.98	0.95	1.46				(Siahaan et al., 2017)
H. fuscogilva	0.69	11	57	1.3				(Siahaan et al., 2017)
H. leucospilota	0.3	16.27	0.87	1.55				(Siahaan et al., 2017)
A. mauritiana	n.d	52.3	51.1	n.d				(Siahaan et al., 2017)
H.tubulosa	1.16	17.4	2.5	0.86	22.35	4.18	24.5	(B. Sicuro et al., 2012)
H.polli	0.65	14.9	2.5	0.88	33.3	4.24	19.4	(B. Sicuro et al., 2012)
Echinoidea, Ophiuridae (10m)	33.95	29	50	0.9	12	1.3	500	(Kalantzi et al., 2014)
Echinoidea, Ophiuridae (50m)	1.4	41	9	1.25	2	1.2	500	(Kalantzi et al., 2014)
Safety standards for aquaculture fish	0.3*	30*	30*		1.3*	6.8*	10.2*	(Kalantzi et al., 2016)

Τα ολοθούρια αποτελούν πια τμήμα των διατροφικών πηγών του σύγχρονου κόσμου και η οριοθέτηση των κατάλληλων τιμών που αφορούν τα βαρέα μέταλλα είναι επιτακτική ανάγκη. Η οριοθέτηση αυτή πρέπει να γίνει με βάση τις τιμές που υπολογίζονται σε αυτούς τους οργανισμούς, και όχι με βάση τις ήδη υπάρχουσες, καθώς αυτές αφορούν ψάρια που ζουν στη στήλη του νερού.

Κεφάλαιο 3: Συμβολή των ολοθουρίων στη βιοαποκατάσταση ιζημάτων και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των ΥΚ

Εισαγωγή

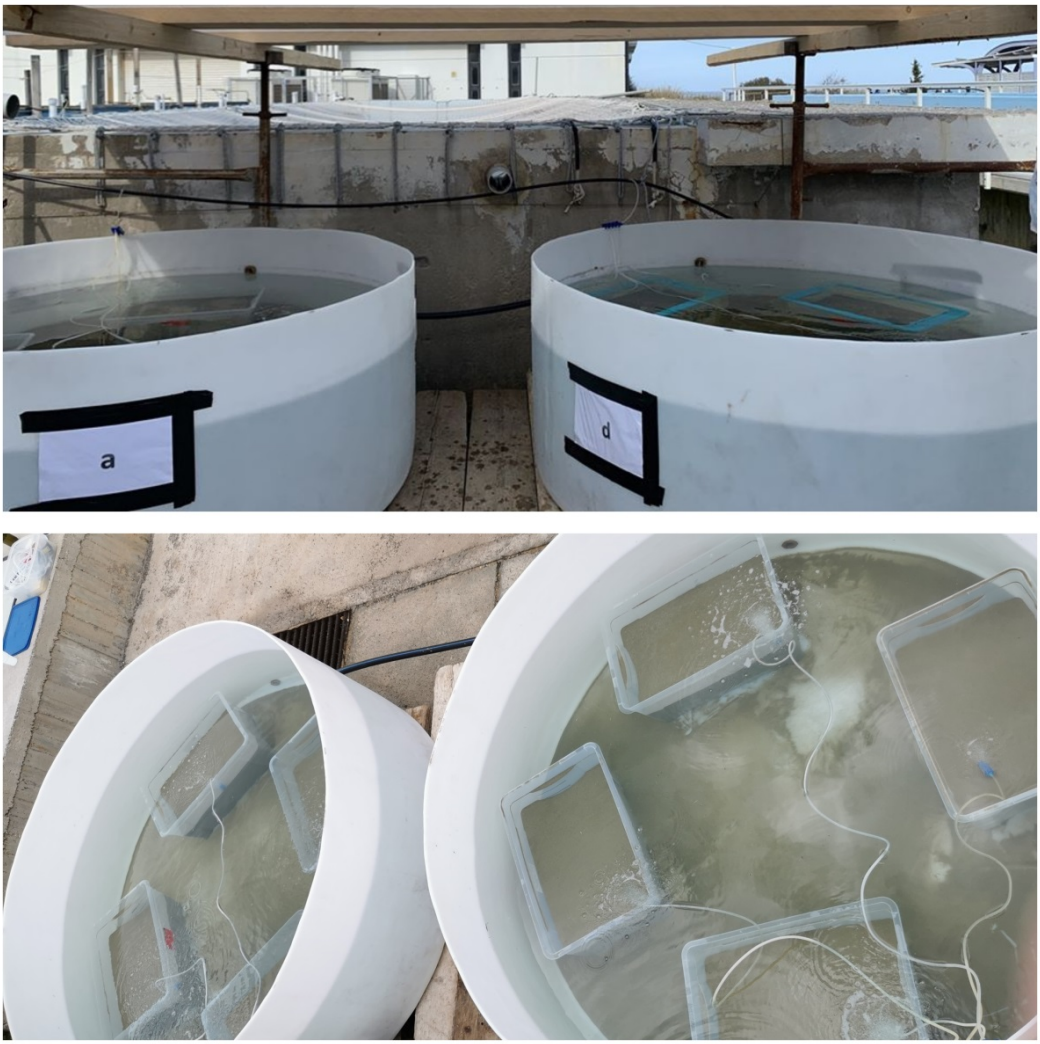
Την τελευταία πενταετία υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα με σκοπό τη συγκαλιέργεια ολοθουρίων και ιχθύων σε υδατοκαλλιέργεια. Αν και αναφέρεται ότι μπορούν να χρησιμοποιούνται ως εργαλεία βιοαποικοδόμησης (Soto, 2009), δεν έχει μελετηθεί επαρκώς η αποτελεσματικότητά τους και με ποιον τρόπο συνεισφέρουν στη μεταβολή των συνθηκών του ιζήματος με την παρουσία τους. Έτσι, στόχος αυτού του κεφαλαίου, ήταν η μελέτη της ικανότητας του είδους *Holothuria polii* να μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ιχθυοκαλλιεργειών μέσω της διεξαγωγής ενός πειράματος βενθόκοσμων. Πιο συγκεκριμένα, στην πειραματική διαδικασία προσομοιάστηκαν οι συνθήκες οργανικού εμπλουτισμού και ιζηματαπόθεσης που επικρατούν κάτω από μια μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας και αξιολογήθηκε το πώς η παρουσία ολοθουρίων μπορεί να συμβάλει στην αποικοδόμηση της περίσσειας οργανικού υλικού. Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται μέρος των αποτελεσμάτων του πειράματος με έμφαση στις πρώτες δεκαπέντε ημέρες.

Υλικά και μέθοδοι

Για την επίτευξη του στόχου πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα βενθοκόσμων στις εγκαταστάσεις μεσοκόσμων CretaCosmos στο Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ (https://www.aquacosm.eu/mesocosm/cretacosmos/).

Αρχικά τοποθετήθηκαν 8 πλαστικά δοχεία (59x40x37 cm) (4 replicates-επαναλήψεις) μέσα σε 2 μεγαλύτερες δεξαμενές (συνολικού όγκου 3 m^3) ανοιχτού συστήματος ροής νερού, προκειμένου οι συνθήκες του νερού να παραμείνουν σταθερές καθ΄ όλη την διάρκεια του πειράματος (Εικόνα 3). Η παροχή νερού για τις ανάγκες του πειράματος προερχόταν από γεώτρηση που παρέχει αλμυρό νερό με σταθερή θερμοκρασία 18°C. Μέσα στα δοχεία, τοποθετήθηκε ίζημα βάθους 20 cm και συνολικού όγκου 30.000 cm^3. Τα ιζήματα συλλέχθηκαν από τη μεσοπαραλιακή ζώνη της αμμώδους παραλίας (27/01/2010) μπροστά από τις εγκαταστάσεις του ΕΛΚΕΘΕ. Τα δοχεία με τα ιζήματα τοποθετήθηκαν μέσα στους βενθοκόσμους αμέσως μετά την συλλογή τους και

αφέθηκαν 72 ώρες να «ηρεμήσουν» έτσι ώστε να επανέλθει η φυσιολογική στρωμάτωση του ιζήματος. Η διαδικασία συλλογής και τοποθέτησης των ιζημάτων έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο των Petersen et al. (2003) που έχει ακολουθηθεί και σε άλλα πειράματα βενθικών μεσοκόσμων με επιτυχία (Dimitriou et al., 2017). Επιπροσθέτως, για τον προσδιορισμό των αρχικών γεωχημικών παραμέτρων του ιζήματος και της μακροπανιδικής κοινότητας στην περιοχή δειγματοληψίας, συλλέχθηκαν 3 δείγματα για βιογεωχημικές αναλύσεις και άλλα 3 για μακροπανίδα.



Εικόνα 3. Φωτογραφία των δεξαμενών που περιέχουν τις λεκάνες των βενθοκόσμων και η διάταξη των βενθοκόσμων εντός των δεξαμενών.

Για τη δημιουργία του οργανικά εμπλουτισμένου ιζήματος έγινε προσθήκη (48 ώρες μετά την τοποθέτηση των ιζημάτων – Ημέρα -3) από περιττώματα ψαριών (100 g) και

τροφή υδατοκαλλιέργειας σε ποσοστό 10%. Τα περιττώματα συλλέχτηκαν από δεξαμενές του ενυδρείου Κρήτης (Cretaquarium), από ψάρια υδατοκαλλιέργειας (τσιπούρα και φαγκρί), τα οποία είχαν ταϊστεί με pellet και με mix από γαρίδες και μύδια. Καθημερινά σε μια τυπική υδατοκαλλιέργεια κατακρημνίζονται κάτω από τους ιχθυοκλωβούς 1.5-17 g m^{-2} περιττώματα (ξηρό βάρος) (Papageorgiou et al., 2010), ανάλογα με το βάθος και την υδροδυναμική της περιοχής. Προκειμένου να παρατηρηθεί η αποτελεσματικότητα των ολοθουρίων στη βιοαποικοδόμηση, έγινε προσπάθεια να προσομοιαστούν οι αντίστοιχες συνθήκες ρίχνοντας 2 g περιττωμάτων (ξηρό βάρος) ανά ημέρα, θεωρώντας ότι είναι μια αντιπροσωπευτική ποσότητα για μια μονάδα με βάθος περίπου 15 μέτρα και σχετικά καλή υδροδυναμική (10.82 g m^{-2}). Επίσης, η αρχική προσθήκη οργανικού υλικού έγινε έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι οργανικά εμπλουτισμένες συνθήκες που αντιστοιχούν στην καταβύθιση σωματιδιακού υλικού μετά από 200 μέρες λειτουργίας μιας ιχθυοκαλλιεργητικής μονάδας

Εικόνα 4. Ολοθούριο εντός του μεσοκόσμου αφού έχει γίνει οργανικός εμπλουτισμός.

Οι δεξαμενές παρέμειναν χωρίς καμιά παρέμβαση για άλλες δυο ημέρες προκειμένου το ίζημα να έρθει σε ισορροπία, μετά τον οργανικό εμπλουτισμό. Μετά από δύο ημέρες, τοποθετήθηκαν 12 ολοθούρια (μέσου βάρους 49.9±8.71 g) ομαδοποιημένα ανά 3, στα δοχεία του ενός βενθοκόσμου (Holothuria-H) (Εικόνα 4), ενώ στον άλλο βενθόκοσμο μάρτυρα (Contrrol C) δεν τοποθετήθηκαν οργανισμοί.

Τα ολοθούρια συλλέχθηκαν στις 23/01/2010 από την περιοχή της Ελούντας. Μεταφέρθηκαν σε δεξαμενή του Ενυδρείου Κρήτης (Cretaquarium) και παρέμειναν στην δεξαμενή του ενυδρείου για 10 μέρες προκειμένου να προσαρμοστούν στις συνθήκες και να αδειάσει το περιεχόμενο του πεπτικού τους σωλήνα. Η ημέρα που μεταφέρθηκαν τα ολοθούρια στον μεσόκοσμο (2/2/2020) θεωρείται η πρώτη ημέρα του πειράματος (Ημέρα 0).

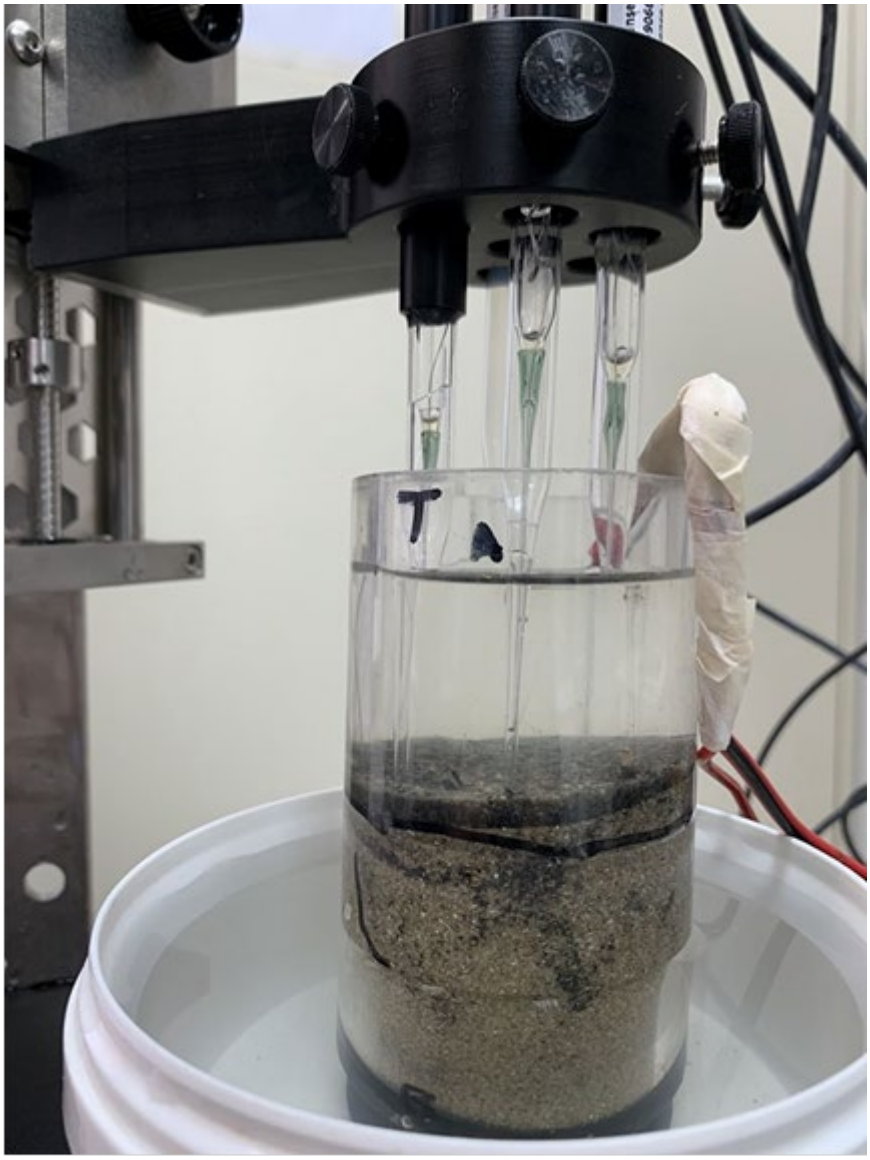
Το πείραμα θα έχει συνολική διάρκεια 60 ημερών αλλά στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των πρώτων 12. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και δειγματοληψίες ιζήματος κάθε τρεις ημέρες, με σκοπό να καταγραφούν οι βιοτικές και αβιοτικές παράμετροί του (Πίνακας 4). Κάθε ημέρα δειγματοληψίας παρουσιάζεται με την κωδική ονομασία D (Day) και το αντίστοιχο νούμερο, i.e. D-3, D0, D3, D6, D9, D12. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση πυρηνολήπτη (corer sampler) διαμέτρου 5 cm, παίρνοντας ένα δείγμα από κάθε μεσόκοσμο και κάθε φορά, από διαφορετικό σημείο. Με τον πυρηνολήπτη γινόταν δειγματοληψία των πρώτων 5 cm ώστε να μην εξαχθεί πάνω από το 10% του συνολικού ιζήματος σε κάθε μεσόκοσμο μέχρι το τέλος του πειράματος (Petersen et al., 2003). Συγκεκριμένα καταγράφηκε: το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Redox potential - Eh), και η συγκέντρωση του υδροθείου (H2S), καθώς επίσης και το ποσοστό βιοδιαθέσιμου και μη βιοδιαθέσιμου οργανικού υλικού (OM%) στο ίζημα. Επίσης, τις ημέρες D-3, D0 και D15, μετρήθηκε και η κοκκομετρική σύσταση του ιζήματος.

Πίνακας 4. Ημερολόγιο δειγματοληψιών ιζήματος κατά την διάρκεια του πειράματος.

Days	Redox potential	Sulfide	Organic Matter	Ganulometry	Experiment Calendar
Day -6	+	+	+	+	Tanks filling with sediment. Ambient measurements
Day -3	+	+	+	+	Initial measurements. Organic sediment enrichment
Day 0	+	+	+	+	First measurements. Holothuria addition
Day 3	+	+	+		Measurements
Day 6	+	+	+		Measurements
Day 9			+		Measurements
Day 12			+	+	Measurements

Οι μετρήσεις του δυναμικού οξειδοαναγωγής, και του υδροθείου έγιναν με τη χρήση συστήματος μέτρησης κατακόρυφου μικροπροφίλ (Field MicroProfiling System) της εταιρείας UNISENSE (Εικόνα 5). Το σύστημα μέτρησης κατακόρυφου προφίλ ιζήματος δίνει τη δυνατότητα παράλληλης μέτρησης πολλαπλών αβιοτικών παραμέτρων (θερμοκρασία, O_2, δυναμικό οξειδοαναγωγής, H_2S, κ.α.), σε διαφορετικά στρώματα του ιζήματος, με τη βοήθεια αδιάβροχων αισθητήρων. Ο ειδικός κινητήρας-βραχίονας που διαθέτει επιτρέπει την καταγραφή του κάθετου προφίλ των παραμέτρων σε βάθος ιζήματος μέχρι τα 200 mm και βήμα μέτρησης (step resolution) από 10 μm. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι μετρήσεις έγιναν με βήμα 200 μm στα πρώτα 5 cm του ιζήματος.

Το ποσοστό της οργανικής ύλης στο ίζημα (OM%) υπολογίστηκε ως το άθροισμα της βιοδιαθέσιμης (labile OM%) και της μη βιοδιαθέσιμης (refractory OM%) οργανικής ύλης που μετρήθηκαν, με βάση το ποσοστό μείωσης βάρους (μέθοδος Loss on Ignition) μετά από καύση, διαδοχικά στους 250° C και 500° C για 16 ώρες (Loh et al., 2008). Οι μετρήσεις έγιναν για τρία στρώματα ιζήματος (επιφανειακό 0-1 cm, ενδιάμεσο 1-3 cm, βαθύτερο 3-5 cm).



Εικόνα 5. Φωτογραφία του συστήματος μέτρησης microprofiler (Field MicroProfiling System) της εταιρείας UNISENSE την στιγμή που ξεκινούν οι μετρήσεις στα πρώτα 5 cm του ιζήματος.

Για την κοκκομετρική ανάλυση του ιζήματος, τα δείγματα συλλέχθηκαν με πυρηνολήπτη 4.5 cm και αρχικά τοποθετήθηκαν στον κλίβανο για 24ώρες στους 75°C προκειμένου να απομακρυνθεί το νερό. Η ιλύς και η άργιλος διαχωρίστηκαν από την άμμο με τη χρήση ενός κόσκινου με διατομής 63 μm. Το κλάσμα της άμμου αναλύθηκε περαιτέρω με τη μέθοδο του μηχανικού διαχωρισμού, χρησιμοποιώντας μια σειρά κόσκινων με διαφορετική διάμετρο. Το πρώτο κόσκινο είχε διάμετρο 1000 μm ενώ διαδοχικά μειώθηκε κάθε φορά στο ήμισυ της προηγουμένης διαμέτρου μέχρι το τελευταίο με διάμετρο 63 μm. Τα κόσκινα προσαρμόστηκαν σε μηχανικό αναδευτήρα κόσκινων (Mechanical Sieve Shaker) προκειμένου να διαχωριστούν τα διαφορετικά κλάσματα του ιζήματος. Τέλος, ταξινομήθηκαν τα κλάσματα διαφορετικής διαμέτρου

κόκκων του ιζήματος σύμφωνα με την κλίμακα ταξινόμησης Wentworth και υπολογίστηκε το ποσοστό ιλύος και άμμου.

Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα του Eh, του H_2S και του labile OM% ελέγχθηκαν κατά πόσον ακολουθούσαν κανονική κατανομή (Shapiro- Wilk test) και είχαν ομοιογένεια διασπορών (Levene's test) ενώ η ύπαρξη πιθανόν ακραίων τιμών (outliers) ελέγχθηκε με τη χρήση boxplot. Εφόσον ίσχυαν οι προϋποθέσεις παραμετρικής ανάλυσης, πραγματοποιήθηκε Two way Analysis of Variance (Two-way ANOVA) στο πρόγραμμα SPSS v23. Οι δυο παράμετροι για τις οποίες ελέγχθηκε η σημαντικότητα των διαφορών ήταν οι διαφορετικές συνθήκες (Control- Holothuria) και τα διαφορετικά βάθη ιζήματος, ξεχωριστά για κάθε χρονικό σημείο (ημέρες). Στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων δίνεται έμφαση στις διαφορές μεταξύ των δεξαμενών με και χωρίς ολοθούρια. Για τα δεδομένα του labile OM% πραγματοποιήθηκε One way Analysis of Variance (ANOVA) για κάθε ημέρα και για κάθε βάθος ξεχωριστά.

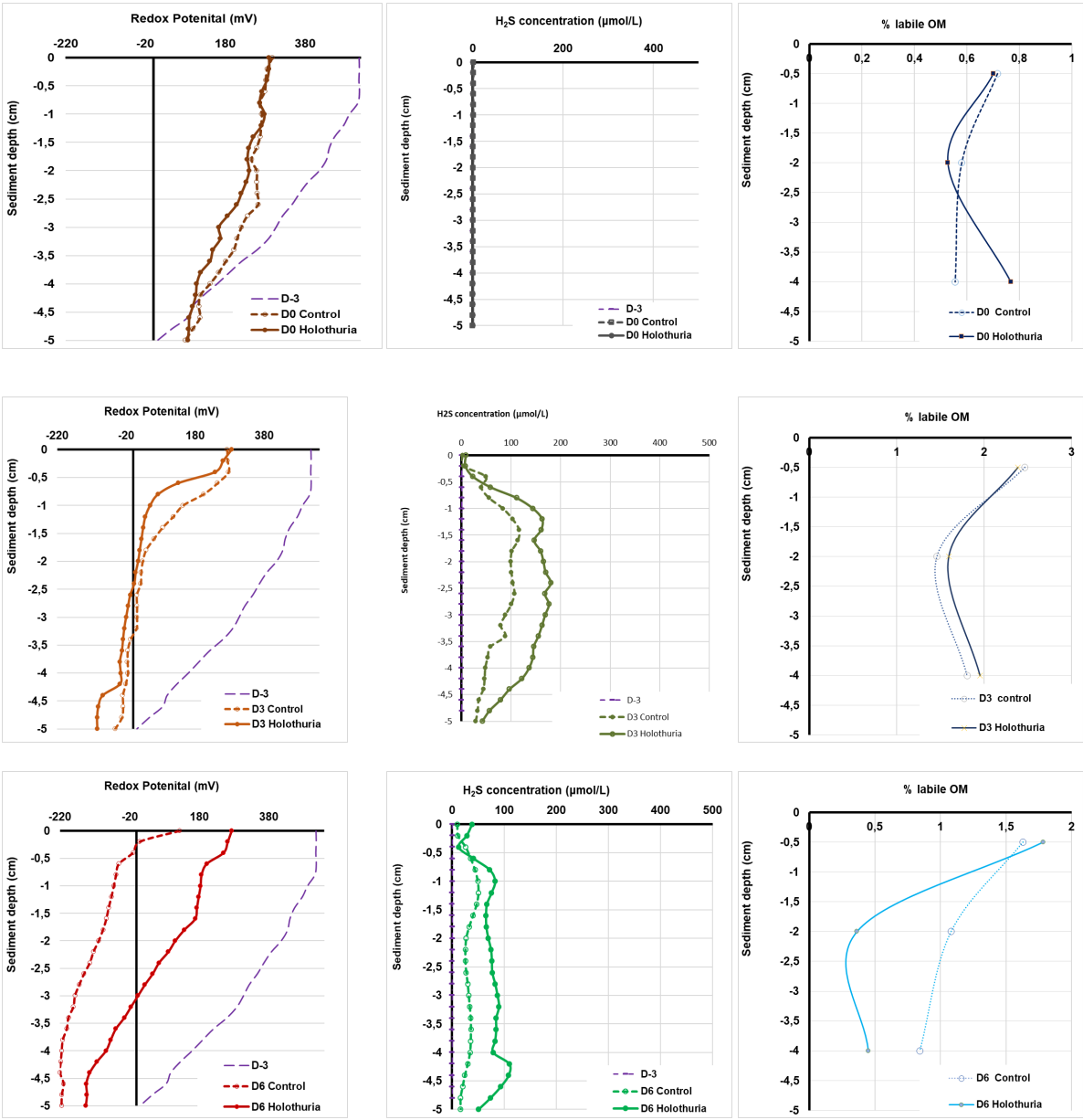
Αποτελέσματα -Συζήτηση

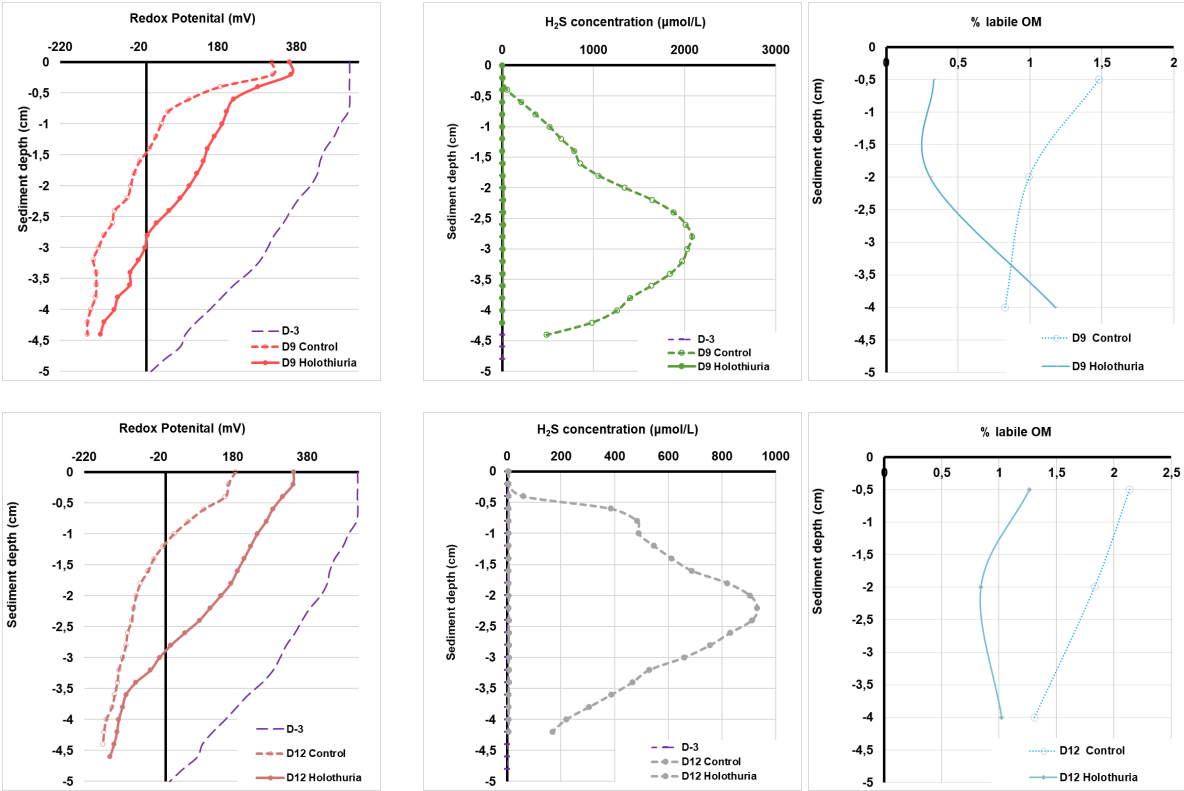
Στην κοκκομετρική ανάλυση, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5, το ίζημα κατατάσσεται ως λεπτόκοκκη άμμος με σχεδόν μηδενικό ποσοστό ιλύος/ αργίλου, σύμφωνα με την κλίμακα ταξινόμησης Wentworth (Gay & Elliott, 2009). Επίσης η ταξινόμηση των κόκκων του ιζήματος χαρακτηρίζεται "καλή", σύμφωνα με την τυπική απόκλιση (σ1). Η κοκκομετρική ανάλυση δεν έδειξε να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ιζημάτων με και χωρίς ολοθούρια ($p>0.05$).

Πίνακας 5. Πίνακας τιμών διάμεσης διαμέτρου (MD), ταξινόμησης (σ1) και ποσοστού ιλύος-αργίλου στο ίζημα στις διαφορετικές πειραματικές συνθήκες τις ημέρες D-3, D0 και D15.

	Treatment	D-3	D0	D15
MD	Holothuria	0.17	0.18	0.18
	Control	0.17	0.18	0.18
σ1	Holothuria	0.41	0.40	0.40
	Control	0.38	0.42	0.40
silt & clay (%)	Holothuria	0.06	0.02	0.06
	Control	0.07	0.03	0.03

Απεικονίζοντας την κατάσταση των ιζημάτων μέσω της καταγραφής των αβιοτικών χαρακτηριστικών, παρατηρήθηκε πως αν και υπήρχε συνεχής οργανικός εμπλουτισμός, το ίζημα, στο οποίο διαβιούν ολοθούρια, διατηρήθηκε σε καλύτερη κατάσταση συγκριτικά με το ίζημα χωρίς αυτά. Στο σύνολο τους, οι μεταβλητές του ιζήματος φάνηκε να διαφοροποιούνται μεταξύ των δυο συνθηκών με την πάροδο του χρόνου (Εικόνα 6, a-o).





Εικόνα 4. α-ο: Διαγράμματα μεταβλητότητας (μέση τιμή των τεσσάρων επαναλήψεων των βιογεωχημικών μεταβλητών που μετρήθηκαν στα πρώτα πέντε εκατοστά (5 cm) του ιζήματος. Κάθε διάγραμμα απεικονίζει μία ημέρα δειγματοληψίας. Τα διαγράμματα α, δ, ζ, κ, ν απεικονίζουν τη μεταβολή του Eh σε σχέση με το βάθος. Τα διαγράμματα β, ε, η, λ, ξ απεικονίζουν τη μεταβολή του H_2S σε σχέση με το βάθος. Τα διαγράμματα γ, στ, ι, μ,ο απεικονίζουν τη μεταβολή του Labile OM% σε σχέση με το βάθος. Τα δεδομένα από βενθόκοσμους με ολοθούρια παρουσιάζονται πάντα με συνεχόμενη γραμμή ενώ τα Control με διακεκομμένη.

Οι τιμές του οξειδοαναγωγικού δυναμικού (Eh), έως και την τρίτη ημέρα του πειράματος (D3) δεν εμφάνησαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0.05$) μεταξύ των δεξαμενών με και χωρίς ολοθούρια μέχρι και τα τελευταία εκατοστά του ιζήματος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.α, δ, Από την έκτη ημέρα (D6) και μετά, παρατηρήθηκε ότι το οξειδοαναγωγικό δυναμικό του ιζήματος διέφερε σημαντικά μεταξύ του ιζήματος με ολοθούρια και χωρίς ($p < 0.01$) ενώ σε καμία χρονική στιγμή δεν παρατηρήθηκε Two way interaction μεταξύ των μεταβλητών. Στην περίπτωση του ιζήματος με ολοθούρια, διαμορφώθηκε μια θετικότερη κατακόρυφη κατανομή (profile) του Eh, το οποίο ήταν αρχικά θετικό, ενώ αρνητικές τιμές ξεκίνησαν μετά τα πρώτα 3 εκατοστά του ιζήματος. Αντίθετα, το ίζημα χωρίς ολοθούρια (Control) εμφάνισε αρνητικότερες τιμές Eh συγκριτικά με το ίζημα με ολοθούρια, οι οποίες ξεκίνησαν από το πρώτο εκατοστό του ιζήματος.

Η συγκέντρωση του υδροθείου (H_2S) στο ίζημα εμφάνισε διαφοροποίηση μεταξύ των ιζημάτων κυρίως τις τελευταίες μέρες. Η συγκέντρωση του H_2S στο ίζημα τις πρώτες

μέρες ήταν μηδενική και στις δυο περιπτώσεις (Εικόνα 6 β, ε) και μέχρι την ημέρα 3 (D3) δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του ιζήματος με και χωρίς ολοθούρια. Από την έκτη όμως ημέρα (D6) και μετά, οι διαφορές στην συγκέντρωση του υδρόθειου στα δυο ιζήματα ήταν στατιστικά σημαντικές ($p < 0.01$). Εντονότερη γίνεται η διαφορά τις τελευταίες ημέρες που η συγκέντρωση του υδρόθειου στο ίζημα χωρίς ολοθούρια ξεπέρασε τα 2000 μmol L^{-1}, ενώ στην περίπτωση του ιζήματος με ολοθούρια οι τιμές κυμάνθηκαν κοντά στο μηδέν (Εικόνα 6 λ, ξ).

Τέλος, και οι μετρήσεις του Labile OM% παρουσίασαν παρόμοια πρότυπα όπως του Eh και του H_2S. Μέχρι την τρίτη ημέρα (D3), όπως φάνηκε και στο διάγραμμα (Εικόνα 6 γ,στ) τα ιζήματα δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p > 0.05$). Την έκτη ημέρα (D6), παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση του Labile OM% από τα δύο έως τα πέντε πρώτα εκατοστά του ιζήματος (Εικόνα 6 ι) ενώ στο πρώτο εκατοστό, η ποσότητα ήταν σχεδόν ίδια. Την ένατη ημέρα (D9) παρατηρήθηκε το αντίθετο πρότυπο, με την ποσότητα του Labile OM% να είναι μικρότερη στο ίζημα με τα ολοθούρια μέχρι τα πρώτα 3 cm του ιζήματος ενώ στα επόμενα εκατοστά εμφάνισε μεγάλη αύξηση ξεπερνώντας σε ποσότητα το ίζημα χωρίς ολοθούρια (Εικόνα 6 μ). Τέλος, την 12 ημέρα (D12) ήταν εμφανές και στατιστικά σημαντικό ($p < 0.001$) ότι το labile OM% ήταν λιγότερο στα ιζήματα όπου διαβιούσαν ολοθούρια (Εικόνα 6 ο).

Όπως είναι γνωστό, τα ολοθούρια κινούνται στα πρώτα εκατοστά του ιζήματος (περίπου μέχρι τα 3 cm) (Hickman et al., 2001). Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα οι αρνητικές τιμές του Eh εμφανίζονται μετά τα πρώτα 3 cm του ιζήματος (Εικόνα 6,g,j,m), ενώ η συγκέντρωση υδρόθειου ήταν πολύ μικρότερη στα ιζήματα με ολοθούρια, επαληθεύοντας ότι η κίνηση των ολοθουρίων στα πρώτα εκατοστά του ιζήματος αναδεύει και κατά συνέπεια οξυγονώνει το ίζημα. Η μειωμένη συγκέντρωση βιοδιαθέσιμου οργανικού υλικού στα ιζήματα με ολοθούρια επαληθεύει την κατανάλωσή τους από αυτά.

Συμπεράσματα

Η υδατοκαλλιέργεια είναι ένα πολύ σημαντικό οικονομικό-κοινωνικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να ενισχύσει την οικονομία μιας χώρας και να δημιουργήσει θέσεις εργασίας στις γύρω περιοχές. Όμως, όπως είναι γνωστό, τα απόβλητα των υδατοκαλλιεργειών μπορεί να επιφέρουν επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον, όπως είναι η αύξηση του οργανικού φορτίου στο υπόστρωμα, κάτω από τους ιχθυοκλωβούς προκαλώντας ανοξικές συνθήκες (Papageorgiou et al., 2010). Γι αυτόν τον λόγο είναι αναγκαία η δημιουργία μιας σταθερής και κερδοφόρας ιχθυοκαλλιέργειας που θα είναι όμως και φιλική προς το περιβάλλον. Μια τέτοια προσέγγιση είναι και η ιδέα της πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας (Soto, 2009). Στη μελέτη αυτή, προσπαθήσαμε να εξετάσουμε τη δυνατότητα συγκαλλιέργειας ολοθουρίων με ψάρια ώστε να αυξηθεί το κέρδος της επιχείρησης αλλά παράλληλα να μειωθεί και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της μονάδας.

Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 1 τα ολοθούρια αν και φαίνονται οργανισμοί εύκολοι στην διαχείρή τους παρουσιάζουν ορισμένες δυσκολίες όπως (α) τη μεγάλη ικανότητα διαφυγής τους από κλωβούς με σχετικά μικρό μέγεθος πλέγματος και (β) τη μειωμένη αντοχή τους σε συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου, όπως μετά από μεγάλο ποσοστό βιοεπίστρωσης.

Εκτός από τα τεχνικά προβλήματα στην καλλιέργεια των ολοθουρίων, ένα ακόμα σημαντικό κομμάτι που χρειάζεται να μελετηθεί είναι η κάλυψη των νομοθετικών κενών σε σχέση με την καλλιέργεια και την εμπορική διάθεσή τους. Πιο συγκεκριμένα, αν και η νομοθεσία που αφορά την καλλιέργεια ιχθύων και οστρακοειδών είναι αρκετά εκτενής, για τα ολοθούρια δεν προβλέπονται ειδικές διατάξεις που να αφορούν τόσο την χωροθέτηση και παρακολούθησή τους όσο και την ασφαλή κατανάλωσή τους. Όπως φάνηκε από την βιβλιογραφική έρευνα του Κεφαλαίου 2, αυτό δεν αφορά μόνο την Ευρώπη αλλά και χώρες με εμπορικές ΠΥ, όπως η Κίνα και ο Καναδάς. Βασική προϋπόθεση για την επιτυχημένη ανάπτυξη των ΠΥ ολοθουρίων είναι να πραγματοποιηθούν μελέτες βέλτιστης θέσης και αριθμού των κλωβών τους καθώς και της πυκνότητας των ατόμων ανά κλωβό. Σημαντικό είναι να εκτιμηθεί το μέγιστο παραγωγικό δυναμικό των συγκαλλιεργούμενων ειδών. Επιπροσθέτως, είναι πολύ σημαντική η θέσπιση κανονισμών που θα αφορούν την ασφάλεια των τροφίμων για τα συγκαλλιεργούμενα είδη. Για τον λόγο αυτό πρέπει να

ορισθούν όρια ασφαλούς κατανάλωσης των οργανισμών αυτών όσον αφορά τα αντιβιοτικά και τα βαρέα μέταλλα. Ειδικά για τα βαρέα μέταλλα, οι τιμές αυτές πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη φυσιολογία και τρόπο διαβίωσης των οργανισμών αλλά και τις διατροφικές συνήθειες των καταναλωτών (ορισμός ημερήσιας κατανάλωσης/χώρα).

Η δυνατότητα μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μιας μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας μέσω της ταυτόχρονης καλλιέργειας ολοθουρίων εξετάσθηκε στο Κεφάλαιο 3. Τα ολοθούρια είναι οργανισμοί που μπορούν σε διάστημα λίγων ημερών να μειώσουν το οργανικό υλικό σε ένα οργανικά εμπλουτισμένο ίζημα, ενώ παράλληλα βελτιώνουν τις αβιοτικές παραμέτρους του. Επίσης, φαίνεται να είναι ικανά να ανταπεξέλθουν σε περιβάλλοντα που ο οργανικός εμπλουτισμός είναι συνεχής, όπως είναι τα ιζήματα κάτω από τα κλουβιά μιας τυπικής υδατοκαλλιέργειας. Συνεπώς, η ιδέα της καλλιέργεια ολοθουρίων μαζί με άλλους οργανισμούς, με τέτοιο τρόπο ώστε να ακολουθείται η φυσική ροή ενέργειας από το ένα επίπεδο στο άλλο (Soto, 2009), είναι μια ιδέα που μπορεί να υλοποιηθεί με επιτυχία.

Η ιδέα συγκαλλιέργειας ολοθουρίων και ψαριών μπορεί να είναι μακριά από την υλοποίησή της καθώς είναι απαραίτητη περαιτέρω μελέτη, όμως έχουν γίνει μεγάλα βήματα και όσον αφορά τη μεθοδολογία εκτροφής αλλά και τη νομοθεσία που την αφορά.

Βιβλιογραφία

Ahlgen, M. O. (1998). Consumption and Assimilation of Salmon Net Pen Fouling Debris by the Red Sea Cucumber Parastichopus californiens: Implications for Polyculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, *29*(2), 133–139. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1998.tb00972.x

Anderson, S. C., Flemming, J. M., Watson, R., & Lotze, H. K. (2011). Serial exploitation of global sea cucumber fisheries. *Fish and Fisheries*, *12*(3), 317–339. https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00397.x

Aydin, M. (2019). Biometry, density and the biomass of the commercial sea cucumber population of the Aegean sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *19*(6), 463–474. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_6_02

Aydin, M., & Erkan, S. (2015). Identification and some biological characteristics of commercial sea cucumber in the Turkey coast waters. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, *3*(1), 260–265.

Bennett, A., & Basurto, X. (2018). Local Institutional Responses to Global Market Pressures: The Sea Cucumber Trade in Yucatán, Mexico. *World Development*, *102*, 57–70. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.09.006

Borrero-PÉrez, G. H., PÉrez-Ruzafa, A., Marcos, C., & GonzÁlez-WangÜemert, M. (2009). The taxonomic status of some Atlanto-Mediterranean species in the subgenus Holothuria (Echinodermata: Holothuroidea: Holothuriidae) based on molecular evidence. *Zoological Journal of the Linnean Society*, *157*(1), 51–69. https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2009.00529.x

Bulteel, P., Janxoux, M., Coulon, P., Bultell, P., Jangoux, M., & Coulon, P. (1992). Biometry , Bathymetric Distribution , and Reproductive Cycle of the Holothuroid from Mediterranean Seagass Beds. *P. S. Z. N. I: Marine Ecology*.

Buttner, J. & Leavitt, D. 2003. Augmenting the lobster catch: Oyster aquaculture in modified lobster traps. Journal of Shellfish Research 22: 290-291.

Byrne, M., Rowe, F., & Uthicke, S. (2010). Molecular taxonomy, phylogeny and evolution in the family Stichopodidae (Aspidochirotida: Holothuroidea) based on COI and 16S mitochondrial DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *56*(3), 1068–1081. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.04.013

Cariglia, N., Wilson, S. K., Gaham, N. A. J., Fisher, R., Robinson, J., Aumeeruddy, R., Quatre, R., & Polunin, N. V. C. (2013). Sea cucumbers in the Seychelles: Effects of marine protected areas on high-value species. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *23*(3), 418–428. https://doi.org/10.1002/aqc.2316

Chao, S. M., Chen, C. P., & Alexander, P. S. (1994). Reproduction and gowth of Holothuria atra (Echinodermata: Holothuroidea) at two contrasting sites in southern Taiwan. *Marine Biology*, *119*(4), 565–570. https://doi.org/10.1007/BF00354319

Coulon, P., & Jangoux, M. (1993). Feeding rate and sediment reworking by the holothuroid Holothuria tubulosa (Echinodermata) in a Mediterranean seagass bed off Ischia Island, Italy.

Marine Ecology Progess Series, *92*(1–2), 201–204. https://doi.org/10.3354/meps092201

Despalatović, M., Gubelić, I., Šimunović, A., Antolić, B., & Žuljević, A. (2004). Reproductive biology of the holothurian Holothuria tubulosa (Echinodermata) in the Adriatic Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. https://doi.org/10.1017/S0025315404009361h

Dimitriou, P. D., Papageorgiou, N., Geropoulos, A., Kalogeropoulou, V., Moraitis, M., Santi, I., Tsikopoulou, I., Pitta, P., & Karakassis, I. (2017). A novel mesocosm setup for benthic-pelagic coupling experiments. *Limnology and Oceanogaphy: Methods*, *15*(4), 349–362. https://doi.org/10.1002/lom3.10163

Dissanayake, D. C. ., Athukorala, S., & Amarasiri, C. (2010). Present status of the sea cucumber fishery in Sri Lanka. *SPC Beche-de-Mer Information*, *30*, 14–20. http://www.spc.int/DigitalLibrary/Doc/FAME/InfoBull/BDM/30/BDM30_14_Dissanayake.pdf

Eriksson, H., de la Torre-Castro, M., & Olsson, P. (2012). Mobility, expansion and management of a multi-species scuba diving fishery in east Africa. *PLoS ONE*, *7*(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035504

Eriksson, H., Österblom, H., Crona, B., Troell, M., Andrew, N., Wilen, J., & Folke, C. (2015). Contagious exploitation of marine resources. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *13*(8), 435–440. https://doi.org/10.1890/140312

FAO. (2008). Sea cucumbers: A Global Review of Fisheries and Trade. In *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 516*.

González-Wangüemert, M., Aydin, M., & Conand, C. (2014). Assessment of sea cucumber populations from the Aegean Sea (Turkey): First insights to sustainable management of new fisheries. *Ocean and Coastal Management*, *92*, 87–94. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.02.014

Gay, J. S., & Elliott, M. (2009). Ecology of Marine Sediments. *Oxford Biology*.

Hair, C., Foale, S., Kinch, J., Frijlink, S., Lindsay, D., & Southgate, P. C. (2019). Socioeconomic impacts of a sea cucumber fishery in Papua New Guinea: Is there an opportunity for mariculture? *Ocean and Coastal Management*, *179*(November 2018). https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104826

Hickman, C. P., Roberts, L. S., & Larson, A. (2001). Hickman, Roberts, Larson - Integated Principles of Zoology. *Mc Gaw Hill*. https://doi.org/10.1039/b818618a

Hughes, A. D., & Kelly, M. S. (n.d.). *Integated Multi-Trophic Aquaculture*. 1–15.

Kalantzi, I., Papageorgiou, N., Sevastou, K., Black, K. D., Pergantis, S. A., & Karakassis, I. (2014). Metals in benthic macrofauna and biogeochemical factors affecting their trophic transfer to wild fish around fish farm cages. *Science of the Total Environment*, *470–471*, 742–753. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.020

Kalantzi, I., Pergantis, S. A., Black, K. D., Shimmield, T. M., Papageorgiou, N., Tsapakis, M., & Karakassis, I. (2016). Metals in tissues of seabass and seabream reared in sites with oxic and anoxic substrata and risk assessment for consumers. *Food Chemistry*, *194*, 659–670. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.08.072

Kleitou, P., Kletou, D., & David, J. (2018). Is Europe ready for integated multi-trophic aquaculture? A

survey on the perspectives of European farmers and scientists with IMTA experience. *Aquaculture*. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.035

Léopold, M., Cornuet, N., Andréfouët, S., Moenteapo, Z., Duvauchelle, C., Raubani, J., Ham, J., & Dumas, P. (2013). Comanaging small-scale sea cucumber fisheries in New Caledonia and Vanuatu using stock biomass estimates to set spatial catch quotas. *Environmental Conservation*, *40*(4), 367–379. https://doi.org/10.1017/S037689291300009X

Michel Jangoux1,2,3, Richard Rasolofonirina1,3, Devarajen Vaitilingon1,3, Jean-Marc Ouin1,3, Guy Seghers1,3, Edouard Mara3, 4 and Chantal Conand5, & Steven W. Purcell1, Hugues Gossuin1, N. S. A. (2009). Beche-De-Mer-Changes in weight and length of sea cucumbers during conversion to processed beche-de-mer: Filling gaps for some exploited tropical species. *Beche-de-Mer Information …*, *29*, 7–15. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2011.03.003

Neofitou, N., Lolas, A., Ballios, I., Skordas, K., Tziantziou, L., & Vafidis, D. (2019). Contribution of sea cucumber Holothuria tubulosa on organic load reduction from fish farming operation. *Aquaculture*, *501*(November 2018), 97–103. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.071

Papageorgiou, N., Kalantzi, I., & Karakassis, I. (2010). Effects of fish farming on the biological and geochemical properties of muddy and sandy sediments in the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, *69*(5), 326–336. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.12.007

Park, H. J., Han, E., Lee, W. C., Kwak, J. H., Kim, H. C., Park, M. S., & Kang, C. K. (2015). Trophic structure in a pilot system for the integated multi-trophic aquaculture off the east coast of Korean peninsula as determined by stable isotopes. *Marine Pollution Bulletin*, *95*(1), 207–214. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.019

Petersen, J. E., Kemp, W. M., Bartleson, R., Boynton, W. R., Chen, C.-C., Cornwell, J. C., Gardner, R. H., Hinkle, D. C., Houde, E. D., Malone, T. C., Mowitt, W. P., Murray, L., Sanford, L. P., Stevenson, J. C., Sundberg, K. L., & Suttles, S. E. (2003). Multiscale Experiments in Coastal Ecology: Improving Realism and Advancing Theory. *BioScience*, *53*(12), 1181–1197. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1181:MEICEI]2.0.CO;2

Plotieau, T., Baele, J. M., Vaucher, R., Hasler, C. A., Koudad, D., & Eeckhauti, I. (2013). Analysis of the impact of Holoth aria scabra intensive farming on sediment. *Cahiers de Biologie Marine*, *54*(4), 703–711.

Rakaj, A., Fianchini, A., Boncagni, P., Lovatelli, A., Scardi, M., & Cataudella, S. (2018). Spawning and rearing of Holothuria tubulosa: A new candidate for aquaculture in the Mediterranean region. *Aquaculture Research*, *49*(1), 557–568. https://doi.org/10.1111/are.13487

Robinson, G., Caldwell, G. S., Jones, C. L. W., & Stead, S. M. (2019). The effect of resource quality on the gowth of Holothuria scabra during aquaculture waste bioremediation. *Aquaculture*, *499*(August 2018), 101–108. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.024

Sewell, M. A. (1991). Measurement of size in live sea cucumbers. *Beche de Mer Information Bulletin*, *3*(November), 4–5.

Siahaan, E. A., Pangestuti, R., Munandar, H., & Kim, S. K. (2017). Cosmeceuticals properties of sea cucumbers: Prospects and trends. *Cosmetics*, *4*(3), 1–12. https://doi.org/10.3390/cosmetics4030026

Sicuro, B., Piccinno, M., Gai, F., Abete, M. C., Danieli, A., Dapra, F., Mioletti, S., & Vilella, S. (2012). Food quality and safety of mediterranean sea cucumbers Holothuria tubulosa and Holothuria polii in Southern Adriatic Sea. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, *7*(9), 851–859. https://doi.org/10.3923/ajava.2012.851.859

Sicuro, Benedetto, & Levine, J. (2011). Sea Cucumber in the Mediterranean: A Potential Species for Aquaculture in the Mediterranean. *Reviews in Fisheries Science*, *19*(3), 299–304. https://doi.org/10.1080/10641262.2011.598249

Siegenthaler, A., Cánovas, F., & González-Wangüemert, M. (2015). Spatial distribution patterns and movements of Holothuria arguinensis in the Ria Formosa (Portugal). *Journal of Sea Research*, *102*, 33–40. https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.04.003

Simunovic, A., Piccinetti, C., Bartulovic, M., & Gubelic, I. (2000). Distribution and abundance of the species Holothuria tubulosa GMELIN, 1788 and Holothurla forskall DELLE CHIAJE, 1823 (Holothurla Echinodermata) in the Adriatic Sea. *Acta Adriatica*.

Soto, D. (2009). *Integated Mariculture A Global Review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529*.

Tolon, M. T., Emiroglu, D., Gunay, D., & Ozgul, A. (2017). Sea cucumber (Holothuria tubulosa Gmelin, 1790) culture under marine fish net cages for potential use in integated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, *46*(4), 749–756.

Uthicke, S., Welch, D., & Benzie, J. A. H. (2004). Slow gowth and lack of recovery in overfished holothurians on the Geat Barrier Reef: Evidence from DNA fingerprints and repeated large-scale surveys. *Conservation Biology*, *18*(5), 1395–1404. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00309.x

Valente, S., Serrão, E. A., & González-Wangüemert, M. (2015). West versus East Mediterranean Sea: Origin and genetic differentiation of the sea cucumber Holothuria polii. *Marine Ecology*, *36*(3), 485–495. https://doi.org/10.1111/maec.12156

Yokoyama, H. (2013). Gowth and food source of the sea cucumber Apostichopus japonicus cultured below fish cages - Potential for integated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, *372–375*, 28–38. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.022

Yu, Z., Zhou, Y., Yang, H., & Hu, C. (2014). Bottom culture of the sea cucumber Apostichopus japonicus Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) in a fish farm, southern China. *Aquaculture Research*, *45*(9), 1434–1441. https://doi.org/10.1111/are.12089

Zamora, L. N., Yuan, X., Carton, A. G., & Slater, M. J. (2018). Role of deposit-feeding sea cucumbers in integated multitrophic aquaculture: progess, problems, potential and future challenges. *Reviews in Aquaculture*, *10*(1), 57–74. https://doi.org/10.1111/raq.12147

Zhou, Y., Yang, H., Liu, S., Yuan, X., Mao, Y., Liu, Y., Xu, X., & Zhang, F. (2006). Feeding and gowth on bivalve biodeposits by the deposit feeder Stichopus japonicus Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets. *Aquaculture*, *256*(1–4), 510–520. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.005

Παράρτημα 1

Σύνοψη των μέχρι τώρα προσπαθειών για την δημιουργία πολυτροφικών υδατοκαλλιεργειών και των ήδη υπαρχόντων νομοθετικών πλαισίων σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιλέχτηκαν οι χώρες με την σημαντικότερη παραγωγή προϊόντων πολυτροφικής καλλιέργειας και έγινε καταγραφή των ειδών που συγκαλλιεργούν καθώς και τα υφιστάμενα νομοθετικά πλαίσια που αφορούν την πολυκαλλιέργεια. Η νομοθεσία χωρίστηκε σε τρεις βασικούς άξονες: α) την χωροταξία, β) το περιβάλλον και γ) την υγεία των οργανισμών

Marine IMTA polyculture			
Countries	**Commercial Species from IMTA**	**experimental Species in IMTA (project)**	**Regulation (Spatial Planning, Enviromental, Health wellfare)**
Canada	Atlantic salmon	salmo salar,mytilus edulis, Sacharina latisssima [1]	*No information found*
		shellfish, kelps (*Saccharina latissima*), sea cucumbers, sea urchins, salmon and sablefish [2]	*No information found*
Unitad State of America (Massachusett)	*No commercial Species from IMTA*	lobster and oyster [2]	*No information found*
	No commercial Species from IMTA	Porphyra and finfish [2]	*No information found*
Chile	*No commercial Species from IMTA*	bleu mussels and salmon [1]	*No information found*
South Africa	*No commercial Species from IMTA*	*Ecklonia maxima* and *Ulva abalone* [2]	*No information found*
China	*No commercial Species from IMTA*	finfish, scallops , oysters,bivalves and macroalgea[2]	In all types of aquaculture requires moorings and rigging [2]
	No commercial Species from IMTA	sea urchin *(Hemicentrotus pulcherrimus*) and scallop (*C. farreri*) [2]	*No information found*
	No commercial Species from IMTA	*Sargassum hemiphyllum* and *Sargassum henslowianum* [2]	*No information found*
	No commercial Species from IMTA	*Haliotis discus hannai, L. japonica* [2]	*No information found*
	Patinopecten yessoensis, Scapharca broughtonii, Apostichopus japonicus, Haliotis discus hannai [2]		*No information found*
Spain (Iberian Peninsule)	*No commercial Species from IMTA*	Rhodophyta, *Scophthalmus maximus,* and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [2]	*No information found*

Spain (Canaria Island)	*No commercial Species from IMTA*	Fish,molluscs, echinoderms and algae [2]	*No information found*
	No commercial Species from IMTA	sea bass (*Dicentrarchus labrax)*, and turbot, (*Scophthalmus maximus*), clams (T*apes decussatus*) and three microalgal species *(Isochrysis galbana, Tetraselmis suecica* and *Phaeodactylum tricornutum)* [2]	*No information found*
France	*No commercial Species from IMTA*	Crassostrea gigas Dicentrarchus labrax [2]	*No information found*
United Kingdom of Geat Britain and Ireland	*No commercial Species from IMTA*	Salmo salar, Psammechinus miliaris and Paracentrotus lividus, and the seaweeds, Palmaria palmata, Laminaria digitata, Laminaria hyperborea, Saccharina latissima and Sacchoriza polyschides [2]	*No information found*
	No commercial Species from IMTA	salmon , Crassostrea gigas, *Pecten maximus* and *Paracentrotus lividus* and the mussel (*Mytilus edulis)* [2]	*No information found*
Norway	*No commercial Species from IMTA*	blue mussels at salmon farms, and mokroalgea (Laminaria and Gacilaria) [2]	*No information found*
Scotland	*No commercial Species from IMTA*	sea urchins and Atlantic Salmon 1]	*No information found*
	No commercial Species from IMTA	Macroalgae (*Palmaria palmata, Saccharina latissima*) and Atlantic Salmon [1]	*No information found*
	No commercial Species from IMTA	Pacific oysters (Crassostrea gigas) and Atlantic Salmon [1]	There is no legal barrier to licensing of integated aquaculture operations [1]