

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

«ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ»

**«Μελέτη του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου κοπροσωματίων
εκτρεφόμενων ψαριών (*Sparus aurata*)»**

Κατσιούλα Χριστίνα

ΒΟΛΟΣ 2016

**«Μελέτη του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου κοπροσωματίων
εκτρεφόμενων ψαριών (*Sparus aurata*)»**

Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Μεντέ Έλενα,** Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Φυσιολογία Θρέψης Υδρόβιων Ζωϊκών Οργανισμών, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπουσα.*
- 2. Κορμάς Κωνσταντίνος,** Καθηγητής, Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος.*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας αυτής Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα Ελένη Μεντέ για την πολύτιμη βοήθειά της, την υποστήριξη και καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων της εκπόνησης της προπτυχιακής μου διατριβής, τόσο κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω, τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κορμά, καθώς για την καλή διάθεση, το χρόνο που διέθεσε και τις πολύτιμες συμβουλές που προσέφερε στη διεξαγωγή των πειραμάτων και στη συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Ελένη Νικούλη για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά της, όσον αφορά την προμήθεια εργαστηριακού υλικού κατά την διάρκεια του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στην οικογένειά μου, στην Εύα, στο Χρήστο, στο Charlie, στον Τάσο, καθώς και σε όλους μου τους φίλους για την πολύτιμη βοήθειά τους για την αμέριστη συμπαράσταση και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου σε εκτρεφόμενα ψάρια. Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε τρία δείγματα κοπροσωματίων του είδους *Sparus aurata* που αναλύθηκαν ως προς την κατανάλωση οξυγόνου σε θαλασσινό νερό. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος επώασης σε κλειστούς/σκοτεινούς θαλάμους «Winkler». Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μέτρηση του οξυγόνου με τη φασματομετρική μέθοδο.

Για τον προσδιορισμό του διαλυμένου οξυγόνου δημιουργήθηκε πρότυπη καμπύλη με διαφορετικές συγκεντρώσεις του ιωδικού καλίου (KIO_3). Πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της απορρόφησης των κοπροσωματίων και βρέθηκε το διαλυμένο οξυγόνο, μέσω της εξίσωσης: $\mu M D.O. = [(A_s - A_b)/a] * [V_f / (V_f - V_R)] - O_R$. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι ο ρυθμός κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα κοπροσωμάτια της τσιπούρας ήταν υψηλότερος σε σχέση με τον μάρτυρα που ήταν το θαλασσινό νερό. Τα κοπροσωμάτια της τσιπούρας απαιτούν οξυγόνο (oxygen demand waste) και τα συστατικά τους οξειδώνονται στο θαλασσινό νερό, μειώνοντας έτσι τη διαθέσιμη ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου. Τα απόβλητα των ψαριών παρουσιάζουν μεγάλο δυναμικό ως πηγή υψηλής αξίας οργανικού άνθρακα για την παραγωγή μεθανίου. Τα κοπροσωμάτια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου, ενός ανανεώσιμου καυσίμου, μέσω αναερόβιας διαδικασίας - αναερόβιας χώνευσης. Εάν και τα κοπροσωμάτια των εκτρεφόμενων ψαριών θεωρούνται απόβλητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή εναλλακτικής ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου, κοπροσωμάτια, *Sparus aurata*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1.1 Στοιχεία βιολογίας της τσιπούρας.....	2
1.2 Διαλυμένο οξυγόνο – Κατανάλωση.....	5
1.3 Εκτροφή τσιπούρας.....	7
1.4 Μέθοδος Winkler.....	8
1.5 Σκοπός της εργασίας.....	9
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	10
2.1 Παρασκευή αντιδραστηρίων.....	10
2.2 Πρότυπη καμπύλη.....	10
2.3 Μέτρηση απορρόφησης για το μάρτυρα.....	12
2.4 Μέτρηση απορρόφησης κοπροσωματίων.....	12
2.5 Υπολογισμοί.....	13
2.6 Στατιστική ανάλυση.....	13
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ–ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	14
3.1 Αποτελέσματα.....	14
3.2 Συζήτηση.....	15
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	23
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	24
6. ABSTRACT.....	27

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Στοιχεία βιολογίας της τσιπούρας (Miller & Loates 1997)

Συνομοταξία	Chordata
Υποσυνομοταξία	Vertebrata
Υπερομοταξία	Gnathostomata
Ομοταξία	Osteichthyes
Υφομοταξία	Actinopterygii
Υπερτάξη	Teleostei
Τάξη	Perciformes
Υπόταξη	Percoidei
Οικογένεια	Sparidae
Γένος	<i>Sparus</i>
Είδος	<i>Sparus aurata</i>



Εικόνα 1. Μορφολογία της τσιπούρας (*Sparus aurata*) (www.fishbase.se/summary/Sparus-aurata.html)

Η τσιπούρα *Sparus aurata* (Linnaeus 1758) και τα λοιπά είδη της οικογένειάς της, σχηματίζουν από μορφολογική άποψη, ένα αρκετά ομοιογενές σύνολο ειδών που χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό και συμπιεσμένο πλευρικά σώμα, μεγάλα κτενοειδή λέπια, όπου κατά μήκος της πλευρικής γραμμής φέρει 75 – 85 λέπια, ένα μοναδικό ραχιαίο πτερύγιο αποτελούμενο εν μέρει από ακανθώδεις ακτίνες (D XI/ 13-14) και ένα διχαλωτό ουραίο πτερύγιο (Χώτος και Ρογδάκης 1992).

Το χρώμα της είναι ασημένιο – γκρι, με τη ραχιαία περιοχή γκριζογαλάζια και την πλευρική κίτρινη – ασημένια. Στη μετωπική επιφάνεια και μεταξύ των ματιών εμφανίζει μια χρυσοκίτρινη λωρίδα σχήματος V, η οποία αποτελεί και το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμά της.

Το στόμα τους είναι ελαφρώς προεκτεινόμενο και τα δόντια τους ανόμοια, προσαρμοσμένα για σαρκοφαγία (Froese & Pauly 2006). Αναλυτικότερα, οι τσιπούρες διαθέτουν πολυάριθμα μυτερά δόντια και στις δύο γνάθους και πολυάριθμες σειρές χονδρών τραπεζιτών, κάτι που διευκολύνει τη σύνθλιψη των οστράκων. Επιπλέον το έντερό τους, ευθύ και κοντό, είναι ανθεκτικό στα σχισίματα που τυχόν προκαλούνται από τα κελύφη.

Το μέγιστο σωματικό μήκος της τσιπούρας ανέρχεται στα 70 cm και μπορεί να ζυγίζει 16 – 18 κιλά, αλλά κατά μέσο όρο δεν υπερβαίνει τα 30 – 35 cm, ενώ το σωματικό της βάρος φτάνει τα 6 κιλά. Η μέγιστη ηλικία της είναι περίπου 10 – 15 ετών.

Η τσιπούρα είναι ένα ευρύαλο και ευρύθερμο είδος και το βιολογικό θερμοκρασιακό εύρος της κυμαίνεται από 4 – 32 °C. Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης επιτυγχάνεται μεταξύ των 22 – 24 °C. Εμφανίζεται μεμονωμένα ή σε σχηματισμούς μικρού αριθμού ατόμων (Klaoudatos & Apostolopoulos 1986). Επίσης είναι ικανό να επιβιώνει και να αντιμετωπίζει με ευχέρεια μεταβολές της αλατότητας, αλλά και να εκτρέφεται επιτυχώς σε υφάλμυρα νερά (Tandler 1993, Breber & Strada 1995). Η ίδια ανθεκτικότητα χαρακτηρίζει το είδος αυτό και στην

περιεκτικότητα του νερού σε νιτρικά, νιτρώδη και αμμωνιακά άλατα. Το pH του νερού είναι συνήθως 7-8. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 4,5mg/l, καθώς η τσιπούρα είναι ευαίσθητη στις χαμηλές συγκεντρώσεις (Dostat 1984). Παρατηρείται κυρίως στη Μεσόγειο θάλασσα, ενώ η παρουσία του θεωρείται περιορισμένη στη Μαύρη θάλασσα. Επίσης, συναντάται στον Ατλαντικό ωκεανό από τις νότιες ακτές των Βρετανικών νησιών ως το Πράσινο Ακρωτήριο της Βορείου Αφρικής και τα Κανάρια νησιά, αλλά με σημαντική απόκλιση ως προς την πληθυσμιακή πυκνότητα (Παπουτσόγλου 2008). Στην Ελλάδα συναντάται κυρίως στο Αιγαίο Πέλαγος, αλλά και σε κόλπους όπως ο Αμβρακικός, ο Θερμαϊκός, ο Πατραϊκός, Κορινθιακός και στον κόλπο της Ηγουμενίτσας και στη λιμνοθάλασσα του Μεσολογγίου.

Στο φυσικό περιβάλλον κατανέμεται σε υφάλμυρα και θαλασσινά νερά, σε περιοχές με θαλάσσια “λιβάδια” Ποσειδωνίας (*Posidonia oceanica*), υφάλους και αμμώδη βενθικά υποστρώματα, σε βάθος που φτάνει έως τα 30 m όσον αφορά τα νεαρά άτομα και τα 150 m όσον αφορά τα ενήλικα (Morretti et al. 1999).

Η τσιπούρα είναι ένα σαρκοφάγο είδος ιχθύος και οι διατροφικές της συνήθειες στο φυσικό περιβάλλον, όπως λιμνοθάλασσες και εκβολικά συστήματα των ποταμών, ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθός της. Τα ιχθύδια της τσιπούρας τρέφονται με κωπήποδα, αμφίποδα, πολύχαιτους και μικρά καρκινοειδή, ενώ τα μεγαλύτερα άτομα τρέφονται με καρκινοειδή, γαστερόποδα, άλλα είδη ιχθύων, καθώς και δίθυρα μαλάκια (μύδια, στρείδια κ.ά.) (FAO Fishbase 2005). Το γεγονός αυτό δικαιολογεί όχι μόνο τη μορφολογία του πεπτικού συστήματος, αλλά και τη σύνθεση και τη διαμόρφωση των δοντιών. Με τους κυνόδοντες επιτυγχάνεται η αρπαγή της λείας τους, ενώ με τους μυλόδοντες η συνθλίβη των οστράκων των

δίθυρων μαλακίων. Ο συντελεστής κενού στομαχιού έχει χαμηλή τιμή την άνοιξη και το καλοκαίρι και τη μέγιστη περί το μήνα Δεκέμβριο (Χώτος και Ρογδάκης 1992).

Η τσιπούρα χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο του ερμαφροδιτισμού και συγκεκριμένα από τον πρωτανδρικό ερμαφροδιτισμό. Αναπτύσσεται και αναπαράγεται πρώτα ως αρσενικό και αλλάζει στη συνέχεια το φύλο για να γίνει θηλυκό. Οι γεννητικοί αδένες στα πρώτα ηλικιακά στάδια αποτελούνται από ένα νωτιαίο τμήμα ωοθηκικού ιστού και μία ραχιαία ορχική ζώνη που διαχωρίζονται μεταξύ τους από ένα λεπτό τοίχωμα συνδετικού ιστού (Bruslé-Sicard & Fourcault 1997). Στο τέλος του πρώτου χρόνου της ζωής της το 80% των ατόμων είναι άρρενα, στη συνέχεια, τόσο το ποσοστό των αρρένων ατόμων ελαττώνεται με ταυτόχρονη αύξηση του ποσοστού των θηλέων ατόμων. Σε σύνολα γεννητόρων που διατηρούνταν απομονωμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα, η αναλογία των φύλων διατηρούνταν αναλλοίωτη. Δηλαδή μικρός αριθμός ατόμων υφίστατο αναστροφή φύλου, έχοντας ως αποτέλεσμα ορισμένα άτομα να παραμένουν άρρενα σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους (Zohar et al. 1995). Στο τρίτο έτος η πλειοψηφία των ατόμων είναι ακόμα αρσενικά, ενώ στο τέταρτο έτος πλειοψηφούν τα θηλυκά άτομα (Arias 1980). Η ωοτοκία της τσιπούρας διαρκεί 3 - 4 μήνες και ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος ξεκινάει τον Σεπτέμβριο και διαρκεί μέχρι τον Μάιο. Είναι πολλαπλός εναποθέτης αυγών και ανήκει στα ασύγχρονα είδη, δηλαδή η ωοθήκη της φέρει ωοκύτταρα διαφορετικών φάσεων ανάπτυξης (Zohar et al. 1995, Meiri et al. 2004).

1.2 Διαλυμένο οξυγόνο – Κατανάλωση

Το διαλυμένο οξυγόνο είναι απαραίτητο για τον αναπνευστικό μεταβολισμό και απαιτείται από τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς. Η κατανομή οξυγόνου είναι σημαντική για τις άμεσες ανάγκες πολλών οργανισμών και επηρεάζει τη διαλυτότητα και

διαθεσιμότητα πολλών θρεπτικών και συνεπώς την παραγωγικότητα των υδατικών οικοσυστημάτων (Wetzel 2001).

Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από την θερμοκρασία και αλατότητα, αλλά και τον ρυθμό κατανάλωσής του από τα ψάρια. (Χώτος και Ρογδάκης 1992)

Οι πηγές οξυγόνου σε μία εκτροφή είναι:

A) Η ανανέωση του νερού με φρέσκο, μέσω του συστήματος άντλησης.

B) Η χρησιμοποίηση αναδευτήρων.

Γ) Η χρησιμοποίηση πεπιεσμένου αέρα.

Η ευαισθησία των ψαριών στις χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου διαφέρει ανάλογα με το είδος τους, με το στάδιο ανάπτυξης τους, των συνθηκών ανάπτυξης τους. Για τον καθορισμό των ορίων αποδοτικής ανάπτυξης και διαβίωσης των ψαριών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι αυτοί οι παράγοντες. Όταν οι άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι σε κανονικά επίπεδα η ελάχιστη τιμή του διαλυμένου οξυγόνου, που να ικανοποιεί τις περισσότερες περιπτώσεις και δράσεις του βιολογικού κύκλου, είναι τα 5 ppm (Αντωνόπουλος 2010). Επιπλέον όταν τα ψάρια προσλαμβάνουν τροφή ή τρομοκρατηθούν διπλασιάζουν τον ρυθμό του μεταβολισμού τους για μικρό χρονικό διάστημα. Σε αυτήν την περίπτωση προκύπτει αύξηση του απαιτούμενου οξυγόνου και, εάν το διαθέσιμο στις δεξαμενές εκτροφής δεν επαρκεί, μπορεί να παρουσιαστεί θνησιμότητα (Rosati 1990). Η ανεπάρκεια πάντως του οξυγόνου σε ιχθυοτροφικές γενικά εγκαταστάσεις σχετίζεται με την εποχή (θερμοκρασία), το ρυθμό ανανέωσης του νερού, την πυκνότητα των εκτρεφόμενων ειδών, τον ρυθμό τροφοληψίας, την πυκνότητα των κλωβών, τη γειτνίαση των εγκαταστάσεων με τις ακτές ή την πιθανότητα να περιβάλλονται οι εγκαταστάσεις από άλλους κλωβούς ή η περιοχή να δέχεται θρεπτικές απορροές από τη ξηρά.

Σημαντικό επίσης για τη διακίνηση του διαλυμένου οξυγόνου είναι εάν το υπόστρωμα (ίζημα) καταναλώνει και μέχρι πιο βαθμό το διαλυμένο οξυγόνο (Hall & Holby 1986).

1.3 Εκτροφή τσιπούρας

Η τσιπούρα είναι ένα είδος με υψηλή οικονομική σημασία ιδιαίτερα στον Μεσογειακό χώρο με εξαιρετική διατροφική ποιότητα και πολλά κατάλληλα βιολογικά χαρακτηριστικά (υψηλός ρυθμός ανάπτυξης, χαμηλή θνησιμότητα, κατάλληλος διατροφικός τύπος) που κάνουν αυτό το είδος να είναι στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος των εντατικών υδατοκαλλιεργειών τα τελευταία 20 χρόνια.

Η τσιπούρα είναι ένα είδος ιχθύος που εκτρέφεται μόνο του, ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα συνεκτροφής (ημιεντατικό σύστημα παραγωγής σε τεχνητές υδατοσυλλογές) με είδη ιχθύων, όπως για παράδειγμα η γλώσσα, δηλαδή με είδη μη ανταγωνιστικά κυρίως σε ό,τι αφορά το είδος της τροφής που καταναλώνουν (Pousao et al. 1995). Επιπλέον, ιδιαίτερα αξιόλογος φαίνεται ο συνδυασμός παραγωγής τσιπούρας με στρείδια ή φύκια, έτσι ώστε το νερό που απομακρύνεται από τους χώρους εκτροφής των ιχθύων να αποτελεί το νερό παροχής των υδατοσυλλογών των στρειδιών ή των φυκιών, στη συνέχεια το νερό είτε να απορρίπτεται σε φυσικό αποδέκτη είτε να επανακυκλοφορεί στις υδατοσυλλογές των ιχθύων. Με αυτόν τον τρόπο, διαπιστώθηκε βελτίωση της ποιότητας νερού ενώ το οικονομικό όφελος ήταν μεγαλύτερο (Shpigel et al. 1989, Neori et al. 1996).

Στην Ελλάδα, η τσιπούρα εκτρέφεται σχεδόν αποκλειστικά σε πλωτούς κλωβούς και φτάνει το εμπορεύσιμο μέγεθος (300-350 g) σε 16-18 μήνες.

1.4 Μέθοδος Winkler

Μελέτες για την ακρίβεια της μεθόδου έχουν βασιστεί σε σύγκριση με τα αποτελέσματα μιας άλλης μεθόδου. Η εκχύλιση και οι αεριομετρικές μετρήσεις ήταν η εναλλακτική μέθοδος σε μια σειρά μελετών πριν προτείνει ο Winkler τη μέθοδο το 1888 (Carpenter 1965).

Η φασματοφωτομετρική μέτρηση του ιωδίου για τον προσδιορισμό του οξυγόνου με τη μέθοδο Winkler επανεξετάστηκε για τη θεωρητική και πρακτική πλευρά του. Έχει αποδειχθεί ότι η επιλογή ενός isobestic σημείου για τη μέτρηση του μίγματος ιωδίου τρι-ιωδίδιο στο διάλυμα ενισχύει την αξιοπιστία. Η τιμή του μήκους κύματος στα 466 nm επιλέχθηκε μετά από μια μελέτη του φάσματος. Στη συνέχεια, οι επιδόσεις αξιολογήθηκαν με τη μέση τιμή στατιστικών προσεγγίσεων βασιζόμενες στις επαναλαμβανόμενες καμπύλες τυποποίησης στο isobestic σημείο σε σύγκριση με τα άλλα μήκη κύματος. Σε 466 nm, η μέθοδος είναι γραμμική μέχρι περίπου τα 1000 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ του O_2 . Η βελτιστοποίηση και η επαλήθευση της φασματοφωτομετρικής μεθόδου πραγματοποιείται μέσω μιας μελέτης ευρωστίας, που βασίζεται σε παράγοντες που μπορεί να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα (θερμοκρασία, ο όγκος των αντιδραστηρίων, ο χρόνος αποθήκευσης). Η θερμοκρασία είναι ο μόνος παράγοντας που ασκεί σημαντική επίδραση στην απορρόφηση (0,5% ανά $^{\circ}\text{C}$), ως εκ τούτου, τα δείγματα και τα πρότυπα θα πρέπει να διατηρούνται στην ίδια θερμοκρασία $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Labasque et al. 2004).

Οι πηγές σφάλματος στους χειρισμούς που απαιτούνται για την μέθοδο του Winkler για τις αναλύσεις του διαλυμένου οξυγόνου σε καθαρό νερό είναι οι ακόλουθοι:

1. Η αέρια οξείδωση του ιωδιούχου.
2. Η εξαέρωση του ιωδίου.
3. Το οξυγόνο συνεισφέρει στο διάλυμα του αντιδραστηρίου.
4. Η ιωδική μόλυνση των ιωδιούχων διαλυμάτων.

5. Η κατανάλωση ή η παραγωγή του ιωδίου από τις προσμείξεις του αντιδραστηρίου.
6. Διαφορά μεταξύ του τέλους της ογκομέτρησης δείχνουν το σημείο ισοδυναμίας.

1.5 Σκοπός της προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη και ανάλυση του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου σε μεμονωμένα κοπροσωμάτια εκτρεφόμενων ψαριών και πιο συγκεκριμένα στο είδος *Sparus aurata*. Τα δείγματα μετά την επώαση τοποθετήθηκαν σε φασματοφωτόμετρο όπου και προσδιορίστηκαν οι τελικές συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Παρασκευή αντιδραστηρίων

Για την περάτωση της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Winkler (Strickland & Parsons 1972). Αρχικά παρασκευάστηκαν τέσσερα αντιδραστήρια τα οποία τοποθετήθηκαν σε φιαλίδια με εσφυρισμένο κωνικό πώμα όγκου 250 ml. Στη συνέχεια, παρασκευάστηκε διάλυμα θεικού μαγγανίου (MnSO_4) (3M) (OXY I), με 51g MnSO_4 σε 100 ml απεσταγμένου νερού και διατηρήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου. Στη συνέχεια, παρασκευάστηκε αλκαλικό διάλυμα (8M) / ιωδιούχο νάτριο - NaI (3M) (OXY II), με 32 gr υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) σε 30 ml απεσταγμένο νερό και 60 gr NaI σε 30 ml απεσταγμένο νερό. Στο OXY II συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό έως τα 100 ml αφού κρύωσε. Επίσης, παρασκευάστηκε διάλυμα θεικού οξέος (H_2SO_4) 10M σε κωνική φιάλη 1 l, όπου τοποθετήθηκαν 500 ml απεσταγμένου νερού, προστέθηκαν 280 ml H_2SO_4 και αναδεύτηκε έως ότου ομογενοποιηθεί. Τέλος, παρασκευάστηκε διάλυμα ιωδικού καλίου (0,01 M). Έπειτα από ξήρανση του KIO_3 τοποθετήθηκαν 2,14 g αυτού σε κωνική φιάλη 1 l και συμπληρώθηκε απεσταγμένο νερό μέχρι την ένδειξη 1 l.

2.2 Πρότυπη καμπύλη

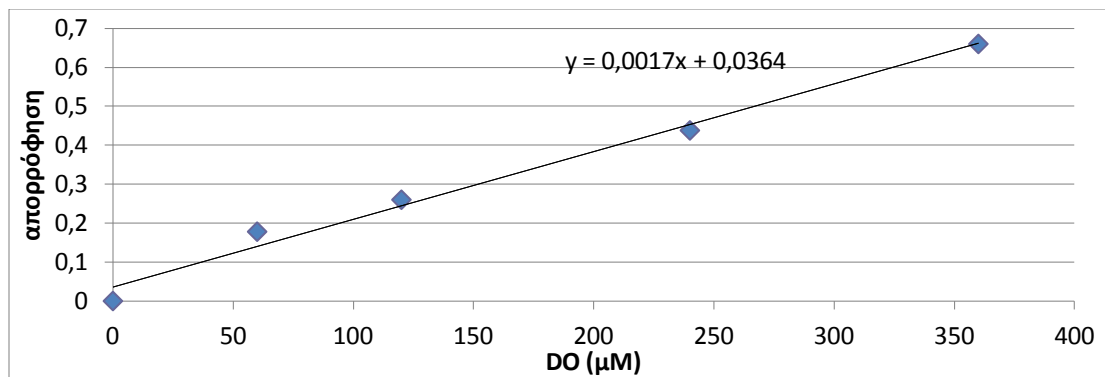
Για την πρότυπη καμπύλη χρησιμοποιήθηκαν πέντε κωνικές φιάλες των 250 ml στις οποίες προστέθηκαν αρχικά τα αντιδραστήρια: 0.8 ml H_2SO_4 έπειτα 0.8 ml OXY II και στη συνέχεια 0.8 ml OXY I, με διαδοχική ανάδευση. Σε κάθε φιάλη προστέθηκε KIO_3 (0,01M) σε διαφορετικές ποσότητες: 0 / 0,4 / 0,8 / 1,6 / 2,4. Στις φιάλες συμπληρώθηκε μέχρι την ένδειξη των 100 ml απεσταγμένο νερό. Οι φιάλες κλείστηκαν με φύλλα αλουμινίου. Παρατηρήθηκε

χρωματική διαφορά για κάθε αραιώση ώστε να υπάρχει κλιμάκωση. Τα δείγματα με μεγαλύτερη αραιώση (2,4) εμφάνισαν πιο σκούρο κίτρινο χρώμα σε σχέση με τη μηδενική αραιώση, σχεδόν διαυγές. Από κάθε φιάλη πάρθηκε δείγμα, τοποθετήθηκε σε κυψελίδες των 10 mm, τοποθετήθηκαν στο φασματοφωτόμετρο στα 466 nm ώστε να μετρηθεί η απορρόφηση (Πιν. 1).

Πίνακας 1. Συσχέτιση απορρόφησης και διαλυμένου οξυγόνου

0,01M KIO ₃	μM IO ₃ ⁻	μM O ₂	Απορρόφηση
0	0	0	0
0.4	40	60	0.178
0.8	80	120	0.26
1.6	160	240	0.438
2.4	240	360	0.66

Με τη βοήθεια αυτού του πίνακα δημιουργήθηκε η πρότυπη καμπύλη συσχέτισης απορρόφησης και διαλυμένου οξυγόνου.



Σχήμα 1. Διάγραμμα και καμπύλη συσχέτισης απορρόφησης και συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου

2.3 Μέτρηση απορρόφησης για το μάρτυρα

Σε τρεις φιάλες Winkler προστέθηκε υπερκάθαρο νερό έως ότου να υπερχειλίσει και αναδεύτηκε αρκετά. Μετρήθηκε η απορρόφηση στα 466 nm στο φασματοφωτόμετρο.

2.4 Μέτρηση απορρόφησης κοπροσωματίων

Σε τρεις φιάλες Winkler προστέθηκε υπερκάθαρο νερό μέχρι την υπερχείλιση. Τοποθετήθηκε 0,8 ml OXY I, 0,8 ml OXY II και δείγμα κοπροσωματίων του είδους *Sparus aurata*. Οι φιάλες αναδεύτηκαν μέχρι την διασκόρπιση του ιζήματος, κλείστηκαν ερμητικά με το πώμα και τοποθετήθηκαν στο σκοτάδι για μία ώρα. Στη συνέχεια, προστέθηκε διάλυμα H_2SO_4 (0,8 ml) τοποθετήθηκε το πώμα της φιάλης ξανά και πραγματοποιήθηκε ανάδευση μέχρι την διάλυση του ιζήματος. Σε διάστημα πέντε λεπτών, μετρήθηκε η απορρόφηση του δείγματος σε φασματοφωτόμετρο στα 466 nm.

2.5 Υπολογισμοί

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου προσδιορίστηκε με την παρακάτω εξίσωση:

$$\mu\text{M D.O.} = [(A_s - A_b)/a] * [V_f / (V_f - V_R)] - O_R$$

όπου, A_s = απορρόφηση δείγματος

A_b = intercept

a = κλίση πρότυπης ευθείας (AU $\mu\text{mol l}^{-1}$).

V_f = όγκος δείγματος, ml (=130)

V_R = ολικός όγκος αντιδραστηρίων $R_1 + R_2$, ml (=1.60)

O_R = ΔO που προστίθεται από τα αντιδραστήρια που υπολογίζεται

$$= 1000 * (2 * 0.8) * 0.0759 / 295 = 0.926237 \mu\text{mol l}^{-1}$$

2.6 Στατιστική ανάλυση

Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα επεξεργασίας του Excel ελέγχου t δύο μεταβλητών με υποτιθέμενες άνισες διακυμάνσεις. Το t στατιστικό τεστ ανεξάρτητων δειγμάτων χρησιμοποιεί δεδομένα που προέρχονται από δύο ξεχωριστά δείγματα για να ελέγξει υποθέσεις που σχετίζονται με την διαφορά των μέσων τιμών δύο μεταβλητών. Υπάρχουν ορισμένες προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για να χρησιμοποιηθεί το t-test ανεξάρτητων δειγμάτων. Αρχικά, τα δείγματα θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά και οι τιμές που τα απαρτίζουν οφείλονται σε ανεξάρτητες παρατηρήσεις. Η κατανομή των τιμών των δειγμάτων να είναι κανονική και οι δύο πληθυσμοί από τους οποίους έχουν επιλεγεί τα δύο δείγματα να έχουν την ίδια διακύμανση.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Αποτελέσματα

Με τη χρήση της εξίσωσης του διαλυμένου οξυγόνου προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα για το δείγμα και το μάρτυρα για όλες τις επαναλήψεις (Πίνακας 2):

Πίνακας 2. Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (mg/l) και ρυθμός κατανάλωσης διαλυμένου οξυγόνου (mg/l/h).

	Αρχική συγκέντρωση Δ.Ο. (mg/l)	Τελική συγκέντρωση Δ.Ο. (mg/l)	Ρυθμός κατανάλωσης Δ.Ο. (mg/l/h)
Απεσταγμένο νερό	0.43	0.42	0.01
	0.79	0.79	0.00
	0.52	0.51	0.01
Μάρτυρας (θαλασσινό νερό)	3.82	3.78	0.04
	3.57	3.49	0.08
	3.57	3.52	0.05

	Αρχική συγκέντρωση Δ.Ο. (mg/l)	Τελική συγκέντρωση Δ.Ο. (mg/l)	Ρυθμός κατανάλωσης Δ.Ο. (mg/l/h)
Δείγμα	13.01	12.06	0.95
	13.2	12.01	1.19
	7.97	6.79	1.18

Η τελική συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου για τα δείγματα των κοπροσωματίων κυμάνθηκε από 7,97 έως 13,2 (mg l⁻¹). Ο ρυθμός κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου ήταν στατιστικά υψηλότερος σε σχέση με τον μάρτυρα ($P < 0.05$).

3.2 Συζήτηση

Οι Ebeling et al. (2006) πραγματοποίησαν μηχανική ανάλυση της στοιχειομετρίας σε φωτοαυτότροφα, αυτότροφα και ετερότροφα συστήματα εκτροφής απομακρύνοντας την αμμωνία και το άζωτο. Στα συστήματα εντατικής εκτροφής ιχθύων η συσσώρευση αμμωνίας-αζώτου από το μεταβολισμό των ζωοτροφών είναι ο δεύτερος περιοριστικός παράγοντας για την αύξηση των επιπέδων παραγωγής μετά το διαλυμένο οξυγόνο. Οι οδοί μετατροπής του τρισθενή αζώτου χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση της αμμωνίας-αζώτου στις υδατοκαλλιέργειες στα φωτοαυτότροφα συστήματα απομακρύνονται από τα φύκη, στα αυτότροφα, τα οποία επηρεάζονται από τα βακτήρια που μετατρέπουν την αμμωνία και το άζωτο σε νιτρικό άζωτο.

Τέλος, στα ετερότροφα συστήματα πραγματοποιείται βακτηριακή μετατροπή της αμμωνίας-αζώτου απευθείας σε μικροβιακή βιομάζα. Στις υδατοκαλλιέργειες, σε ponds ή λίμνες σε φωτοαυτότροφα συστήματα, καθοριστικό ρόλο έχουν τα φύκια για τον έλεγχο της συσσώρευσης ανόργανου αζώτου. Επιπλέον, η κύρια στρατηγική στα εντατικά συστήματα εκτροφής ανακυκλοφορίας για τον έλεγχο αμμωνίας-αζώτου είναι η χρήση βιοαντιδραστηρίων σταθερών κυττάρων. Ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται χημειοσυνθετικά αυτότροφα βακτήρια, Αμμωνιακά Οξειδωτικά Βακτήρια (AOB) και Νιτρώδη Οξειδωτικά Βακτήρια (NOB), για τη νιτροποίηση της αμμωνίας – αζώτου σε νιτρώδη άζωτο και τελικά σε νιτρικό άζωτο. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα βασισμένα σε ετερότροφα βακτήρια και προωθούνται στην εντατική εκτροφή της θαλάσσιας γαρίδας. Με αυτή τη μέθοδο η ανάπτυξη των ετερότροφων βακτηρίων ουσιαστικά ενεργοποιείται διαμέσου του οργανικού ανθρακικού υποστρώματος. Σε περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις άνθρακα είναι μεγαλύτερες από το άζωτο στις ζωοτροφές, τα ετερότροφα βακτήρια θα αφομοιώσουν την αμμωνία-άζωτο απευθείας σε κυτταρική πρωτεΐνη. Οι Ebeling et al. (2006) συμπέραναν ότι η απομάκρυνση της αμμωνίας διαμέσου των τριών οδών χρήζει μία σειρά από στοιχειομετρική μελέτη για τον έλεγχο και τις επιπτώσεις που προκύπτουν στην ποιότητα του νερού. Επιπλέον, η μικροβιακή αύξηση χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει την παραγωγή πτητικών και ολικά αιωρούμενων σωματιδίων για τα αυτότροφα και ετερότροφα συστήματα εκτροφής.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως υπάρχει μια ομάδα βακτηρίων, καθώς και άλλοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι απαντώνται στην εκτροφή οργανισμών με τη χρήση υδροπονικών συστημάτων δηλαδή, ενυδρείοπονία. Αυτά τα βακτήρια ονομάζονται ετερότροφα και χρησιμοποιούν οργανικό άνθρακα ως πηγή τροφής, και ασχολούνται κυρίως με την αποσύνθεση των στερεών αποβλήτων των ψαριών. Τα περισσότερα ψάρια διατηρούν μόνο το 30-40 % της

τροφής που καταναλώνουν, πράγμα που σημαίνει ότι το 60-70 % απελευθερώνεται ως απόβλητα. Από αυτά τα απόβλητα, το 50-70% που διαλύεται απελευθερώνεται ως αμμωνία. Ωστόσο, το υπόλοιπο των αποβλήτων είναι ένα οργανικό μίγμα που περιέχει πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, βιταμίνες και μέταλλα. Τα ετερότροφα βακτήρια μεταβολίζουν αυτά τα στερεά απόβλητα σε μια διαδικασία που ονομάζεται ανοργανοποίηση, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη μικροθρεπτικών συστατικών για τα φυτά σε ενυδραιοπονία (www.fao.org/3/a-i4021e/i4021e05.pdf).

Τα ετερότροφα βακτήρια, καθώς και ορισμένοι μύκητες, βοηθούν στην αποσύνθεση του στερεού μέρους των αποβλήτων των ψαριών. Με τον τρόπο αυτό, απελευθερώνουν τα θρεπτικά συστατικά, που είναι "κλειδωμένα" στα στερεά απόβλητα, μέσα στο νερό. Αυτή η διαδικασία ανοργανοποίηση είναι απαραίτητη διότι τα φυτά δεν μπορούν να συγκρατήσουν τα θρεπτικά συστατικά σε στερεή μορφή. Τα απόβλητα πρέπει να διασπαστούν σε απλά μόρια, ώστε να απορροφηθούν από τις ρίζες των φυτών. Τα ετερότροφα βακτήρια τρέφονται με οποιαδήποτε μορφή οργανικής ύλης, όπως τα στερεά απόβλητα ψαριών, υπολείμματα τροφής από τα ψάρια, ακόμα και νεκρά βακτήρια. Τα ετερότροφα βακτήρια απαιτούν παρόμοιες συνθήκες ανάπτυξης με τα νιτροποιητικά βακτήρια, κυρίως όσον αφορά τα υψηλά επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου. Τα ετερότροφα βακτήρια αποικίζουν κατά κύριο λόγο στα στερεά απόβλητα και κατ' επέκταση στα απόβλητα των ψαριών.

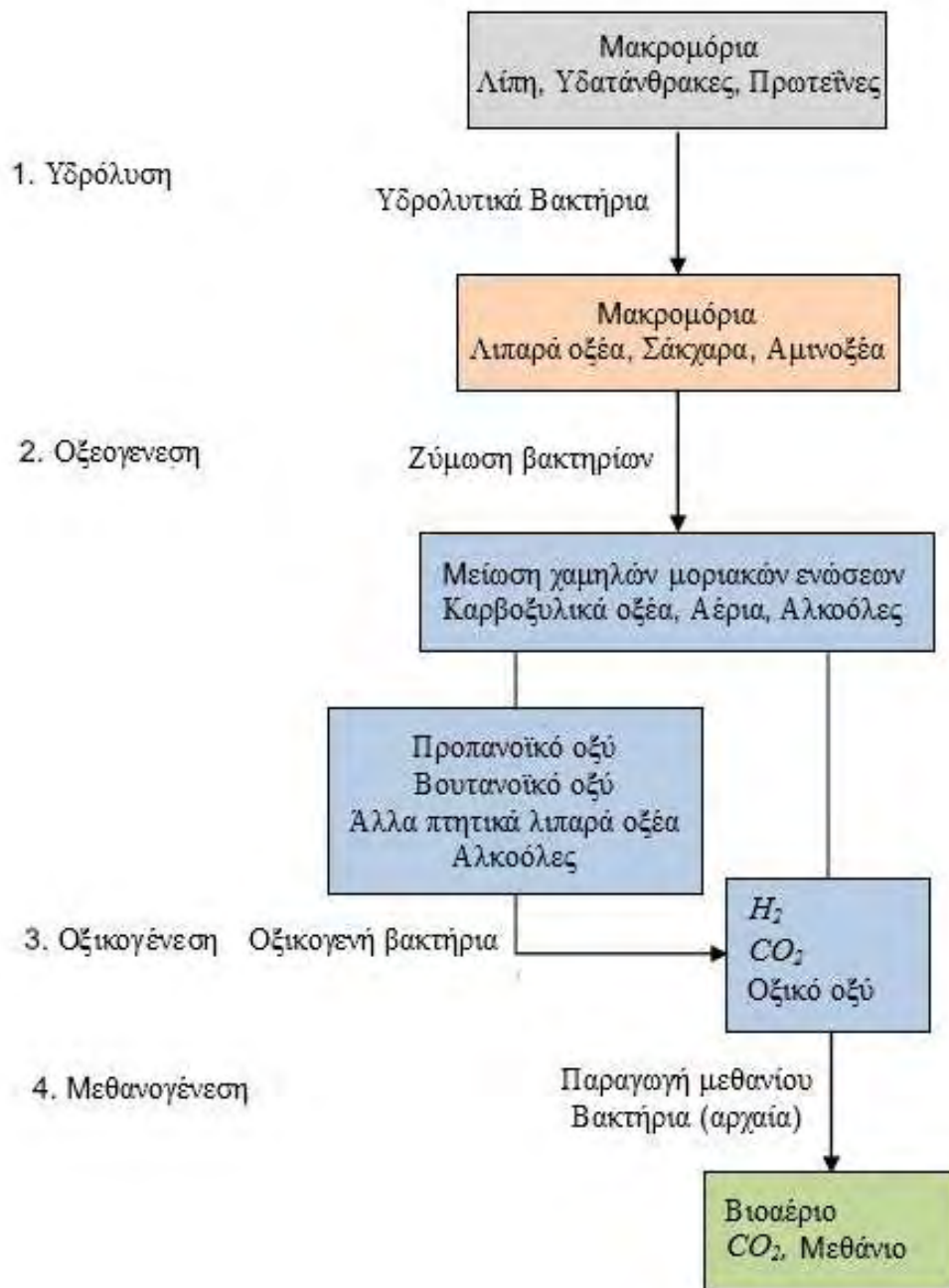
Αυτά τα βακτήρια που βρέθηκαν σε αναερόβιες συνθήκες (χωρίς οξυγόνο), αποκτούν ενέργεια μέσω μιας οξειδοαναγωγικής αντίδρασης χρησιμοποιώντας θείο (S). Το πρόβλημα είναι ότι αυτή η διαδικασία παράγει υδρόθειο (H_2S), το οποίο είναι εξαιρετικά τοξικό για τα ψάρια. Αυτά τα βακτήρια είναι υπεύθυνα για τη δυσάρεστη οσμή, καθώς επίσης και για το γκρι-μαύρο χρώμα των ιζημάτων. Το πρόβλημα στην ενυδραιοπονία είναι όταν στερεά

απόβλητα συσσωρεύονται με ταχύτερο ρυθμό απ' ό τι τα ετερότροφα βακτήρια, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανοξικές συνθήκες (www.fao.org/3/a-i4021e/i4021e05.pdf).

Η ενυδρειοπονία θα μπορούσε να είναι μια λύση για την βιώσιμη παραγωγή τροφίμων αφού συνδυάζει τις υδατοκαλλιέργειες με τέτοιο τρόπο ώστε τα μειονεκτήματα ενός συστήματος γίνονται τα πλεονεκτήματα ενός άλλου (Malcolm 2007). Για παράδειγμα, η περίσσεια σε θρεπτικά συστατικά του νερού από τις δεξαμενές των ψαριών χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των φυτών ενώ αυτά με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται ως βιοφίλτρο για τον καθαρισμό του νερού για τα ψάρια (Diver 2006). Περαιτέρω κλειστά κυκλώματα μπορούν να δημιουργηθούν με τη χρήση των φυτών-καταλοίπων, ιλύος και αποβλήτων τροφίμων ως πρώτες ύλες για τη χώνευση βιοαερίων. Με την εγκατάσταση της συνδυαστικής εκτροφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμική και ηλεκτρική ενέργεια (CHP), το μεθάνιο που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται από την υδροπονία. Η εργασία της Gigliona (2015) που πραγματοποιήθηκε στη Σουηδία, καθορίζει εάν η εφαρμογή αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των λειτουργικών εξόδων και το κατάλληλο μέγεθος που πρέπει να έχει η υδροπονική εγκατάσταση.

Αυτό δείχνει ότι η απαίτηση μεθανίου του CHP χρειάζεται ένα ελάχιστο μέγεθος του βιοαερίου της χώνευσης. Στην υδροπονία τουλάχιστον 50 τόνοι ψαριών πρέπει να μεγαλώσουν σε μία περιοχή από 800-900 m². Συνολικά ένα σύστημα υδροπονίας περιλαμβάνει 1000 m³ νερό. Η ενέργεια που παράγεται από την CHP δεν καλύπτει πλήρως την απαιτούμενη ενέργεια του υδροπονικού συστήματος με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται ενέργεια από άλλες πηγές, όπως ηλιακά πάνελ και ανεμογεννήτριες εάν δεν υπάρχει πρόσβαση σε ένα σταθερό εξωτερικό και ενεργειακό σύστημα ανεφοδιασμού. Η ενέργεια που παράγεται από το CHP έχει μία μέση τιμή που κυμαίνεται από 1 έως 2,1 kg/kWh. Σε περίπτωση απουσίας του CHP δεν υπάρχει ελάχιστο

μέγεθος που απαιτείται στην υδροπονία και κατ' επέκταση το σύστημα βιοαερίου και το μεθάνιο που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση και μαγείρεμα.



Σχήμα 2. Βήματα για την παραγωγή βιοαερίου (Giglionia 2015).

Μία πρόσφατη μελέτη από τους Kuusik et al. (2014) δείχνει πώς συγχωνεύονται η βιολογική ύλη με τα απόβλητα που προέρχονται από ιχθυοκαλλιέργειες σε αναερόβιες συνθήκες. Στην περιοχή της Εσθονίας υπάρχουν μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων ψαριών. Αυτές ακολουθούν μία δαπανηρή μέθοδο για τη διαχείριση των αποβλήτων κατά την οποία οι μονάδες στέλνουν συνήθως φιλτραρισμένη λυματολάσπη και ιλύ σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας ή κομποστοποίησης. Για να μειωθεί το κόστος, διερευνήθηκε η πιθανή αυτών των αποβλήτων για την παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας διαδικασίας καθώς είναι αποδεδειγμένο ότι η αναερόβια χώνευση είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την παραγωγή ενός ανανεώσιμου καυσίμου, το βιοαέριο. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή εναλλακτικής ενέργειας ή θερμότητας για τη μείωση του κόστους επεξεργασίας των φυτών. Ως αποτέλεσμα τα απόβλητα των ψαριών να είναι ένας πολύτιμος πόρος αντί απλών αποβλήτων. Με βάση την έρευνα αυτή όλα τα πειράματα και τα δείγματα μελετήθηκαν με συνεχούς ροής αναερόβιας χώνευσης σε μεσόφιλη κατάσταση (38 ± 1 ° C). Αρχικά χρησιμοποιήθηκε εμβόλιο από αναερόβια χώνευση σε μεσόφιλη κατάσταση από μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων (ΜΕΑΛ). Το κύριο υπόστρωμα ήταν υλικό βιολογικής ύλης από (ΜΕΑΛ) και από υπόστρωμα λυματολάσπης εκτρεφόμενου σολωμού, *Saaremaa salmon* σε farm pools. Τα αποτελέσματα της αναερόβιας χώνευσης για τα ολικά στερεά εκτιμήθηκαν από 3,2-7 % σε δείγματα που επήλθε κατά διαστήματα ανάδευση στους 38 και 20- 25 ημέρες χρόνος παραμονής. Το οργανικό φορτίο κυμάνθηκε από 1,08-1,22 kg πτητικών στερεών (VS)/(m³*d), τα επίπεδα μεθανίου μεταξύ 223.13–370.19 m³ CH₄/ton και 4.34–8.65 m³ CH₄/ton. Το pH ήταν 6,92-7,45 καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η λίπανση της επεξεργασμένης ύλης εκτιμήθηκε να είναι 0,87-1,12 kg N και 0,42 έως 0,99 kg P ανά τόνο. Η τελική ανάλυση έδειξε ότι το CH₄ βιοαέριο ποικίλλει από 63,3-74,6% και το περιεχόμενο CO₂ κυμαινόταν από 11,2-29%.

Οι Domenico Lanari και Claudio Franci (1998) μελέτησαν την παραγωγή βιοαερίου από στερεά απόβλητα που απομακρύνθηκαν από ιχθυοκαλλιέργεια. Πραγματοποιήθηκε ένα πειραματικό σύστημα ανακυκλοφορίας, μικρής κλίμακας, για την ιριδίζουσα πέστροφα. Τα εξαρτήματα του συστήματος ήταν δύο δεξαμενές $1,3 \text{ m}^3$ με επικλινή πυθμένα, το καθένα συνδεόταν με μία στήλη καθίζησης και περιείχε 50 kg βιομάζας, γινόταν αναερόβια up-flow χώνευση (συνολικός όγκος $0,424 \text{ m}^3$, διαθέσιμο όγκο $0,382 \text{ m}^3$), η οποία συνδεόταν με τον πυθμένα, σχήματος χοάνης, της στήλης καθίζησης με τη βοήθεια μιας περισταλτικής αντλίας, ένα βυθισμένο αερόβιο plug-flow φίλτρο και μία βυθισμένη αντλία. Ο εξαερισμός γινόταν μέσω πωρόλιθων. Η αναερόβια χώνευση γινόταν με κύβους 35 mm και διατηρούνταν σε θερμοκρασία $24\text{-}25^\circ\text{C}$, χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρικό θερμαντήρα. Ο θάλαμος αερίων στην κορυφή της αναερόβιας χώνευσης συνδεόταν με έναν μετρητή αερίου και έναν υπέρυθρο συνεχή αναλυτή αερίου. Λήφθηκαν μέτρα για την απόδοση του συστήματος με ποσοστό ανακυκλοφορίας 60% και έγιναν 3 επίπεδα τροφοδοσίας ($1, 1,5$ και 2% ζώντος βάρους). Στον υψηλότερο ρυθμό τροφοδοσίας, συλλέχθηκαν $2,8 \text{ L}$ κοπράνων από τις δεξαμενές της πέστροφας όπου αντλούνταν κάθε 4 ώρες σε αναερόβιο χωνευτήρα. Το χαρακτηριστικό των λυμάτων ήταν: συνολικό N $0,197 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, TAN $0,014 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, πτητικά στερεά (VS) $16,91 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, αιωρούμενα στερεά (SS) $21,39 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ και pH $6,9$. Η παραγωγή ήταν $144 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ (μέση τιμή) με περιεκτικότητα σε μεθάνιο μεγαλύτερη από 80% . Η ογκομετρική μέτρηση του μεθανίου ήταν $0,3 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ και ημερήσια απόδοση μεθανίου ήταν $0,4$ και $0,32 \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$ VS και SS αντίστοιχα. Μετά τη διέλευση μέσω της αναερόβιας χώνευσης τα απόβλητα χαρακτηρίστηκαν από μία συνολική περιεκτικότητα σε άζωτο (N) του $0,243 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, TAN $0,222 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, VS $1,1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, SS $1,32 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ και pH $6,8$. Η αναερόβια χώνευση ήταν σε θέση να μειώσει σημαντικά το VS και SS που περιείχαν τα λύματα σε ιοντο-ανταλλακτική στήλη ζεολίθου εμφάνισε σημαντική βελτίωση της ποιότητας του νερού των

λυμάτων που παράγονται από το χωνευτή. Το αερόβιο βιολογικό φίλτρο παράλληλα μείωσε σημαντικά την περιεκτικότητα σε αμμωνία από το νερό στις δεξαμενές των ψαριών.

Τα απόβλητα των ψαριών παρουσιάζουν μεγάλο δυναμικό ως πηγή υψηλής αξίας οργανικού άνθρακα για την παραγωγή μεθανίου. Παράλληλα, όπως έχει προαναφερθεί εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα αζώτου-αμμωνίας και επεξεργάζονται με τη συγχώνευση. Το κύριο ζήτημα για τη διαδικασία της συγχώνευσης έγκειται στην εξισορρόπηση των διαφόρων παραμέτρων στο μείγμα του υποστρώματος δηλαδή, μακρο- και μικροθρεπτικά συστατικά, αναλογία αζώτου-αμμωνίας (C/N), pH, τοξικές ενώσεις, βιοδιασπώμενη οργανική ύλη και ξηρά ουσία. Σκοπός της εργασίας των Tomczak-Wandzel και Levlin (2013) ήταν να βρεθούν τα βέλτιστα υποστρώματα για τη συγχώνευση και την ενίσχυση της παραγωγής βιοαερίου που προέρχονται από τα απόβλητα των ψαριών. Προσπάθησαν να προσδιορίσουν τις σωστές αναλογίες των διαφορετικών υποστρωμάτων που παρέχουν ένα βελτιστοποιημένο δυναμικό αποικοδόμησης για την ενίσχυση του δυναμικού μεθανίου. Εξέτασαν τις δυνατότητες για την παραγωγή μεθανίου από την αναερόβια διαδικασία που λαμβάνει χώρα στα απόβλητα των ψαριών με συγχώνευση, χόρτου και λυματολάσπη (πρωτογενώς και δευτερογενώς). Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί τύποι εμβολίων (SRT). Τα πειράματα διεξήχθησαν σε μεσοφιλική θερμοκρασία με τη χρήση Automatic Methane Potential Test System (AMTPS II).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη μετρήθηκε ο ρυθμός κατανάλωσης διαλυμένου οξυγόνου σε κοπροσωμάτια εκτρεφόμενων ψαριών του είδους *Sparus aurata*. Το διαλυμένο οξυγόνο παίζει καθοριστικό ρόλο στην σωστή ανάπτυξη των ψαριών και στην διατήρηση υψηλών επιπέδων παραγωγικότητας. Τα βέλτιστα επίπεδα που απαιτούνται για το διαλυμένο οξυγόνο (DO) είναι 4-8 mg / lt για τα ψάρια.

Παράλληλα, η αποσύνθεση των στερεών αποβλήτων των ψαριών χρησιμοποιείται ως πηγή τροφής για τα ετερότροφα βακτήρια, όπου στη συνέχεια τα μεταβολίζουν, αυτή η διαδικασία ονομάζεται απονιτροποίηση. Αυτά τα βακτήρια διαβιούν σε αναερόβιες συνθήκες, όπου παράγεται υδρόθειο μέσω της οξειδοαναγωγικής αντίδρασης. Το H₂S είναι τοξικό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αρνητικές επιπτώσεις κατά την εκτροφή των ψαριών.

Τα απόβλητα των ψαριών παρουσιάζουν μεγάλο δυναμικό ως πηγή υψηλής αξίας οργανικού άνθρακα για την παραγωγή μεθανίου. Τα κοπροσωμάτια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου, ενός ανανεώσιμου καυσίμου, μέσω αναερόβιας διαδικασίας - αναερόβιας χώνευσης. Εάν και τα κοπροσωμάτια των εκτρεφόμενων ψαριών θεωρούνται απόβλητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή εναλλακτικής ενέργειας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντωνόπουλος Β.Ζ. (2010) Υδραυλική περιβάλλοντος και ποιότητα επιφανειακών υδάτων. Εκδόσεις Τζιόλα, σελ.102.
- Κάγκαλου Ι., (1990) Μελέτη των σχέσεων μεταξύ των φυσικοχημικών παραγόντων υγειονομικού ελέγχου και της ολικής μικροβιακής χλωρίδας υδάτινων οικοσυστημάτων. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Διδακτορική διατριβή. Σχολή Ιατρικής. Τμήμα Ιατρικής
- Παπουτσόγλου Σ. Ε. (2008) Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, p: 846-858
- Χώτος Γ., Ρογδάκης Ι., (1992) Υδατοκαλλιέργειες ευρύαλων ψαριών. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- Breber P., & Strada R. (1995) The abundance in an extensive brackishwater fish farm (valle da pesca') of the animal macrobenthon that feeds the seabream (*Sparus aurata*). *Rivista Italiana Acquacoltura*, 30, 181-186.
- Arias A. (1980) Growth, food and reproductive habits of sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) in the “esteros” (fish ponds) of Cadiz (Spain). *Investigacion Pesquera* (Spain), 44(1): 59-83.
- Bruslé-Sicard S. & Fourcault B. (1997) Recognition of sex-inverting protoandric *Sparus aurata*: ultrastructural aspects. *Journal of Fish Biology*, 50: 1094-1103.
- Carpenter J.H. (1965) The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnology and Oceanography*, 10(1), 135-140.
- Diver S. (2006) *Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture*, s.l.: ATTRA.
- Dosdat A. (1984) Prégrossissement et consommation d'oxygène de loups et de daurades en élevages intensifs in: «L'Aquaculture de bar et des Sparides». Barnabe G. et Billard R. (Eds.), INRA, Paris, p. 351.
- Ebeling J. M., Timmons M. B., & Bisogni J. J. (2006) Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1), 346-358.

- Froese R. & Pauly D. (2006) Fish base. www.fishbase.org
- Gigliola J. (2015) Implementation of a Biogas-system into Aquaponics: Determination of minimum size of aquaponics and costs per kWh of the produced energy.
- Hall P. & Holby O. (1986) Environmental impact of a marine fish cage culture. ICES CM, 1-14.
- Klaoudatos S. & J. Apostolopoulos (1986) Food intake, growth, maintenance and foodconversion efficiency in the gilthead seabream (*Sparus auratus*). *Aquaculture* 51: 217-224
- Kuusik A., Pachel K., & Loigu E. (2014) Anaerobic co-digestion of sewage sludge with fish farming waste. In *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE (Vol. 9, p. 1)*.
- Lanari D., & Franci C. (1998) Biogas production from solid wastes removed from fish farm effluents. *Aquatic Living Resources*, 11(4), 289-295.
- Malcolm J. (2007) What is Aquaponics?. *Backyard Aquaponics*, Issue 1, Issue Issue 1, pp. 45.
- Miller J.P. & Loates J.M. (1997) *Fish of Britain and Europe*, Harper Collins Publishers.
- Morretti A., M. Pedini G. Citolin & R. Guidastrì (1999) *Manual of hatchery production of seabass and giltseabream Vol.1* FAO, Rome 194 p.
- Neori A., Krom M. D., Ellner S. P., Boyd C. E., Popper D., Rabinovitch R., Davison P.J., Dvir O., Zuber D, Ucko M., Angel D. & Gordin H. (1996) Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units. *Aquaculture*, 141(3), 183-199.
- Pousao P., Machado M., & Cancela L. (1995) Marine pond culture in southern Portugal: present status and future perspectives. *Cahiers Options Mediterraneennes (CIHEAM)*.
- Rosati R. (1990) Commercial fish culture using water recirculating systems. In *Regional workshop on commercial fish culture using water reuse systems*, November (pp. 2-3).
- Shpigel M., Lee J.J. & Soohoo B. (1989) Fish-oyster polyculture in warm water marine ponds. *J. Shellfish, Res.*, 8: p.481.
- Strickland J.D.H. and Parsons T. R. (1972) *A practical handbook of seawater analysis*. 2nd edition. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 167, p:367

- Tandler A. (1993) Marine aquaculture in Israel with special emphasis on larval rearing. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24(2), 241-245.
- Tomczak-Wandzel, R., Levlin, E., & Ekengren, Ö. (2013) Biogas production from fish wastes in co-digestion with sewage sludge. In *IWA Specialist Conference Holistic Sludge Management 6-8 May 2013 Västerås Sweden*. Svenska miljöinstitutet (IVL).
- Wetzel R.G. (2001) Λιμνολογία: Λιμναία και Ποτάμια Οικοσυστήματα. Academic Press. Κωσταράκη (Ελληνική έκδοση), Αθήνα, Κεφάλαιο 9.
- Wong T.T., Gothilf Y., Zmora N., Kight K. E., Meiri I., Elizur A., & Zohar Y. (2004) Developmental expression of three forms of GnRH and ontogeny of the hypothalamus-pituitary-gonadal axis in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Biol Reprod*, 71, 1026-1035.
- Zohar Y., M. Harel S. Hassin & A. Tandler (1995) Gilthead sea bream p: 94-117. In *Broodstock Mangement and Larval Quality*, edited by N.R. Bromage & R. J. Roberts, Oxford, Blackwell Science.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

www.fishbase.se/summary/Sparus-aurata.html

www.fishbase.se/Reproduction/FishReproSummary.php?ID=1164&GenusName=Sparus&SpeciesName=aurata&fc=330&StockCode=1180

www.fao.org/3/a-i4021e/i4021e05.pdf

6. ABSTRACT

Title: «Dissolved oxygen consumption rate in farmed fish faeces (*Sparus aurata*)»

This study investigated the dissolved oxygen content in farmed sea bream (*Sparus aurata*) faeces. The dissolved oxygen consumption rate was higher in the faeces than the control group. Fish faeces can produce biogas as energy through their anaerobic digestion of their waste; thus, having a great potential for further future implementation.

Keywords: dissolved oxygen consumption rate, fish wastes, *Sparus aurata*