

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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης (growth compensation)
στην ιχθυοκαλλιέργεια»**

Δέσποινα Κοκιούμη

ΒΟΛΟΣ 2018

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

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

«Evaluation of growth compensation in fish farming»

Despoina Kokioumi

VOLOS 2018

**«Το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης (growth compensation) στην
ιχθυοκαλλιέργεια»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Παναγιώτα Παναγιωτάκη**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπουσα**,
- 2) **Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης**, Μόνιμος Επίκουρος Καθηγητής, Διατροφή Υδροβίων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**,
- 3) **Νικόλαος Νεοφύτου**, Μόνιμος Επίκουρος Καθηγητής, Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

*Στην οικογένειά μου, για την υπομονή
και την αμέριστη συμπαράστασή τους*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα Παναγιώτα Παναγιωτάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια για την πολύτιμη βοήθειά της και τη διαρκή υποστήριξή της, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους 1) κ. Ιωάννη Καραπαναγιωτίδη, Μόνιμο Επίκουρο Καθηγητή, και 2) κ. Νικόλαο Νεοφύτου, Μόνιμο Επίκουρο Καθηγητή, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ θερμά τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Χρίστο Ν. Νεοφύτου για τις πολύτιμες οδηγίες και συμβουλές του, προκειμένου να ολοκληρώσω την παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Ασημώ Πανάγου, Μέλος Ε.ΔΙ.Π. του Εργαστηρίου Υδατοκαλλιεργειών και τον κ. Πιερ Ψωφάκη, Υποψήφιο Διδάκτορα, για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά τους, τόσο στη διεξαγωγή της πρώτης φάσης του πειράματος όσο και στις εργαστηριακές αναλύσεις, καθώς επίσης την κα Σταυρούλα Αϋφαντή, Μέλος Ε.ΤΕ.Π. του Εργαστηρίου Ιχθυολογίας-Υδροβιολογίας και τον κ. Γιώργο Οικονόμου Υποψήφιο Διδάκτορα, για την αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής ερευνητικής μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες στην οικογένειά μου για την συνεχή ψυχολογική συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι υδατοκαλλιέργειες παγκοσμίως αποτελούν σημαντικό κομμάτι της πρωτογενούς παραγωγής και της οικονομίας. Η τσιπούρα *Sparus aurata* (L), πλέον αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό υδατοεκτρεφόμενων ιχθύων στην Ελλάδα, έχοντας ετησίως φτάσει κατά μέσο όρο στους 50.000 τόνους. Συνεπώς είναι επιτακτική ανάγκη να βρεθούν τρόποι για τη μείωση του κόστους παραγωγής.

Η παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε για να μελετήσει και να διερευνήσει το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης στην εντατική εκτροφή νεαρών ιχθυδίων τσιπούρας, ως προς την ανάπτυξη και την μυϊκή σύσταση, σε κλειστό σύστημα κυκλοφορίας νερού, σύμφωνα με συγκεκριμένο πρωτόκολλο σίτισης. Στόχος της καταγραφής των αποτελεσμάτων ήταν η διερεύνηση της εφαρμογής του φαινομένου στην ιχθυοκαλλιέργεια, με άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής και κατά συνέπεια τη μείωση των επιπτώσεων της τεχνητής εκτροφής στο υδάτινο περιβάλλον.

Για το σκοπό της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν 180 άτομα τσιπούρας με μέσο βάρος $4,5 \pm 0,52$ g και μήκος $7 \pm 0,51$ cm, τα οποία εγκαταστάθηκαν σε έξι ενυδρεία από 30 άτομα στο καθένα, χωρητικότητας 120 lt με κλειστό κύκλωμα νερού, μηχανικό-βιολογικό φίλτρο και συνεχή παροχή οξυγόνου. Οι συνθήκες του πειράματος περιλάμβαναν, συνθετικό θαλασσινό νερό αλατότητας 30 psu, διαλυμένο οξυγόνο ≥ 5 mg/l, θερμοκρασία $21 \pm 0,5$ °C και pH $7,5 \pm 0,5$. Το πείραμα είχε διάρκεια 13 εβδομάδες και τα νεαρά άτομα τσιπούρας εξετάστηκαν σε δύο επαναλήψεις, με δειγματοληψίες κάθε 14 ημέρες όπου γινόταν μέτρηση της αύξησης του βάρους. Τις πρώτες δέκα εβδομάδες τα νεαρά ιχθύδια σιτίζονταν βάσει συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, ενώ τις επόμενες τρεις εβδομάδες όλα τα άτομα σιτίζονταν κατά

βούληση σε κορεσμό, ώστε να επέλθει εξισορρόπηση και να καταστεί δυνατή η εμφάνιση των αποτελεσμάτων της αντιστάθμισης. Τα ιχθύδια του πειράματος χωρίστηκαν τυχαία σε τρεις ομάδες και σιτίζονταν δύο φορές ημερησίως: ομάδα ελέγχου C, ομάδα μεταχείρισης S1 η οποία υπέστη μία ημέρα ασιτίας εβδομαδιαία και ομάδα μεταχείρισης S2 με δύο ημέρες ασιτίας εβδομαδιαία. Ακολούθησαν, μετά το τέλος του πειράματος, οι εργαστηριακές χημικές αναλύσεις που αφορούσαν τον προσδιορισμό της υγρασίας και της ξηρής ουσίας, των ολικών αζωτούχων ουσιών (μέθοδο απόσταξης Kjeldahl), των ολικών λιπαρών ουσιών (μέθοδο εκχύλισης Soxhlet), της ολικής ενέργειας (μέσω Αδιαβατικού Θερμιδομέτρου) και της τέφρας (μέσω αποτεφρωτήρα), βάσει των εργαστηριακών πρωτοκόλλων.

Μετά τις δειγματοληψίες των 91 ημερών, παρατηρήθηκε στην ομάδα μεταχείρισης (S1) αύξηση της βιομάζας με $26,55 \pm 6,17$ g που πλησίασε τον ρυθμό αύξησης των ατόμων της ομάδας ελέγχου C, στην οποία σημειώθηκε αύξηση βιομάζας $27,61 \pm 9,31$ g χωρίς να παρατηρηθεί στατιστικά σημαντική διαφορά ($P > 0,05$). Στην ομάδα μεταχείρισης S2 παρατηρήθηκε μικρότερη αύξηση βιομάζας $23,61 \pm 5,95$ g σε σχέση με την ομάδα ελέγχου C και διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ($P < 0,05$). Ο δείκτης SGR βρέθηκε ψηλότερος στην ομάδα ελέγχου ($3,58 \pm 0,01$) σε σχέση με τις ομάδες μεταχείρισης S1 και S2, που είχαν τιμές $3,54 \pm 0,05$ και $3,39 \pm 0,18$, αντίστοιχα. Επίσης ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR) εμφανίστηκε, όπως αναμενόταν, χαμηλότερος στην ομάδα ελέγχου ($1,58 \pm 0,13$) σε σχέση με τις ομάδες μεταχείρισης S1 και S2, που είχαν τιμές $1,63 \pm 0,01$ και $1,87 \pm 0,35$, αντίστοιχα. Από τις εργαστηριακές χημικές αναλύσεις και την επεξεργασία τους με τη στατιστική μέθοδο ANOVA, βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα υγρασίας στο σώμα των δειγμάτων δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά σε όλες

τις ομάδες μεταχείρισης, η πρωτεΐνη και το λίπος της ομάδας ελέγχου, είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά με την ομάδα S1 αλλά όχι με την ομάδα S2, ενώ οι ομάδες S1 και S2 δεν είχαν μεταξύ τους στατιστικά σημαντική διαφορά. Η ενέργεια ήταν ίδια σε όλες τις ομάδες και η τέφρα παρουσιάστηκε χαμηλότερη μόνο στην ομάδα ελέγχου.

Συμπερασματικά τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι τα άτομα της ομάδας S1 παρουσίασαν την τάση να προσεγγίσουν στην αύξηση βάρους την ομάδα ελέγχου, με αποτέλεσμα την εμφάνιση πλήρους αντιστάθμισης, ενώ τα άτομα της ομάδας S2 εμφάνισαν την τάση μερικής αντιστάθμισης. Επίσης στις χημικές αναλύσεις που έγιναν δεν βρέθηκαν μεγάλες διαφορές ως προς τη σύσταση του σώματος, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η διατροφική αξία των ιχθυδίων. Άρα, είναι δυνατόν υπό συνθήκες, να εφαρμοσθούν πρωτόκολλα ασιτίας στις ιχθυοκαλλιέργειες, προκειμένου να μειωθεί το κόστος παραγωγής των ιχθύων. Αυτό όμως για να επιτευχθεί με την μέγιστη αποδοτικότητα, συνιστάται να γίνουν περαιτέρω μελέτες για να προσδιοριστεί ακριβώς πιο είναι το ιδανικότερο πρωτόκολλο ασιτίας, καθώς επίσης να πραγματοποιηθούν και οικονομικές μελέτες για να προσδιοριστεί πως θα υπάρχει μεγαλύτερη κερδοφορία στις εταιρείες ιχθυοκαλλιέργειών, αλλά και μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τη μείωση του ποσοστού διαφυγούσης τροφής και των υπολειμμάτων της.

Λέξεις – κλειδιά: *Sparus aurata*, αύξηση αντιστάθμισης, εντατική εκτροφή

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Τσιπούρα, <i>Sparus aurata</i> (L.)	5
1.2	Το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης	6
1.3	Τα είδη της αντιστάθμισης	9
1.4	Παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης ...	9
1.5	Παραλλακτικότητα μεγεθών	11
1.6	Χημική σύσταση μυϊκού ιστού εκτρεφόμενων ατόμων τσιπούρας	12
1.7	Σκοπός της εργασίας	14
2.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	15
2.1	Πειραματικός σχεδιασμός.....	15
2.2	Δειγματοληψίες.....	22
2.3	Παράμετροι αύξησης	23
2.3.1	Θνησιμότητα	23
2.3.2	Αύξηση ολικού βάρους.....	23
2.3.3	Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR)	24
2.3.4	Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)	24
2.3.5	Παραλλακτικότητα μεγεθών βάρους (CV%).....	25
2.4	Χημικές αναλύσεις και Μέθοδοι	25
2.4.1	Προσδιορισμός Υγρασίας και ξηρής ουσίας	25
2.4.2	Προσδιορισμός Ολικών Αζωτούχων Ουσιών (Πρωτεΐνης).....	27
2.4.3	Προσδιορισμός Ολικών Λιπαρών Ουσιών με τη Μέθοδο Soxhlet	30
2.4.4	Προσδιορισμός Ολικής Ενέργειας μέσω Αδιαβατικού Θερμιδομέτρου .	31
2.4.5	Προσδιορισμός Τέφρας με χρησιμοποίηση Αποτεφρωτήρα	32

2.4.6 Στατιστική ανάλυση.....	33
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
3.1 Ολικό βάρος	36
3.2 Αύξηση ολικού βάρους	37
3.3 Ρυθμός αύξησης	38
3.4 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR).....	38
3.5 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR).....	39
3.6 Παραλλακτικότητα μεγεθών βάρους	39
3.7 Μήκος.....	41
3.8 Χημικές αναλύσεις	42
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	44
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50
Ελληνική Βιβλιογραφία	57
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία.....	58
7. ABSTRACT	59

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υδατοεκτροφή ή υδατοκαλλιέργεια κυρίως η ιχθυοεκτροφή ή ιχθυοκαλλιέργεια αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς κλάδους του πρωτογενούς τομέα της υδρόβιας ζωϊκής παραγωγής που έχει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της συμβολής της στην οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική συνοχή της χώρας μας.

Στις ελληνικές θάλασσες εκτρέφονται εδώ και περίπου 30 χρόνια μεσογειακά είδη, κυρίως τσιπούρα (*Sparus aurata* (L.)) και λαβράκι (*Dicentrarchus labrax* (L.)) και σε ένα μικρότερο ποσοστό «νέα είδη» όπως συναγρίδα (*Dentex dentex* (L.)), μυτάκι (*Diplodus puntazzo* (Cetti, 1777)), φαγκρί (*Pagrus pagrus* (L.)), κρانيός (*Argyrosomus regius* (Asso, 1801)) κ.α. Η θαλάσσια ιχθυοκαλλιέργεια γνώρισε ραγδαία ανάπτυξη τη δεκαετία του '80 με τη χρήση πλωτών ιχθυοκλωβών (Εικ. 1).



Εικόνα 1: Θαλάσσιοι πλωτοί ιχθυοκλωβοί του ομίλου SELONDA στην Πελασγία

Περίπου το 78% της παραγωγής εξαγεται, ενώ το 22% διατίθεται στην εγχώρια αγορά. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ το 2016 η τσιπούρα και το λαβράκι εξήχθησαν σε 32 χώρες εντός και εκτός ΕΕ. Η παραγωγή τσιπούρας στην Ελλάδα αυξάνει συνεχώς έχοντας φτάσει τα τελευταία χρόνια κοντά στους 50.000 τόνους σύμφωνα με τον FAO (2018a) (Πιν.1 και Σχ. 1).

Πίνακας 1: Παραγωγή τσιπούρας στην Ελλάδα (Πηγή: FAO 2018a)

Έτος	Παραγωγή (t)	Έτος	Παραγωγή (t)
1987	65	2002	37944
1988	220	2003	44118
1989	490	2004	37394
1990	1598	2005	43829
1991	2069	2006	43916
1992	4126	2007	50023
1993	6012	2008	51957
1994	6500	2009	60488
1995	9387	2010	57204
1996	13799	2011	51308
1997	18035	2012	53459
1998	21951	2013	55751
1999	32837	2014	50688
2000	38587	2015	47713
2001	40694	2016	49265



Σχήμα 1: Γραφική απεικόνιση παραγωγής τσιπούρας στην Ελλάδα (Πηγή: FAO 2018a)

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO) και της Παγκόσμιας Τράπεζας, μέχρι το 2030 πάνω από το 65% των αλιευτικών προϊόντων θα προέρχεται από την υδατοκαλλιέργεια (Εκθεση ΣΕΘ 2016). Η παγκόσμια παραγωγή τσιπούρας έχει ανέλθει σύμφωνα με τα στοιχεία του FAO (2018b) περίπου στους 186.000 τόνους ετησίως (Πιν. 2 και Σχ. 2).

Όσον αφορά στην απασχόληση, η υδατοκαλλιέργεια είναι μια παραγωγική δραστηριότητα με σημαντικές κοινωνικοοικονομικές προεκτάσεις. Σύμφωνα με τον FAO στην υδατοκαλλιέργεια παγκοσμίως, απασχολούνται άμεσα 19 εκατομμύρια άτομα.

Στις μέρες μας και με πολλούς διαφορετικούς τρόπους η αειφόρος ανάπτυξη έχει εξελιχθεί σε έναν πραγματικό οδηγό για την καινοτομία και αυτό ισχύει και για τον κλάδο της ιχθυοκαλλιέργειας.

Πίνακας 2: Παγκόσμια παραγωγή τσιπούρας (Πηγή: FAO 2018b)

Έτος	Παραγωγή (t)	Έτος	Παραγωγή (t)
1987	973	2002	77510
1988	1785	2003	96355
1989	2845	2004	92718
1990	4570	2005	110755
1991	6477	2006	107353
1992	9657	2007	124637
1993	13032	2008	129926
1994	20570	2009	136070
1995	24481	2010	142306
1996	33213	2011	134337
1997	41487	2012	141999
1998	54403	2013	157775
1999	67219	2014	159599
2000	87303	2015	167334
2001	82167	2016	185980

**Σχήμα 2:** Γραφική απεικόνιση παγκόσμιας παραγωγής τσιπούρας (Πηγή: FAO 2018b)

1.1 Τσιπούρα, *Sparus aurata* (L.)

Το είδος *Sparus aurata* (Εικ. 2) ανήκει στο Βασίλειο των Ζώων (*Animalia*) και στην συνομοταξία των Χορδωτών (*Chordate*). Η ομοταξία του είναι τα Ακτινοπτερύγια (*Aktinopterygii*), η τάξη του τα Περκόμορφα (*Perciformes*) και ανήκει στην οικογένεια Σπαρίδες (*Sparidae*), στο γένος Σπάρος (*Sparus*) και στο είδος *aurata*.

Η τσιπούρα έχει επίμηκες σώμα, πεπλατυσμένο και πλευρικά συμπιεσμένο με κυρτή ράχη και κοντό ρύγχος. Τα μάτια και τα χείλη της είναι μικρά και χονδρά αντίστοιχα. Σε κάθε βραγχιακό τόξο φέρει 11 – 13 βραγχιάκανθες. Το μέγιστο μήκος της ανέρχεται στα 60 cm, αλλά συνήθως κυμαίνεται στα 30 - 35 cm.



Εικόνα 2: Τσιπούρα (Πηγή: FAO 2018c)

Ο χρωματισμός της είναι ασημί, στην πλάτη πιο σκούρα ενώ η κοιλιά της ανοιχτόχρωμη. Στην αρχή της πλευρικής της γραμμής φέρει μια μεγάλη μαύρη κηλίδα, η οποία εκτείνεται μέχρι το πάνω τμήμα του βραγχιοκαλύμματος και υπογραμμίζεται από μια κόκκινη περιοχή. Κατά μήκος του μετώπου της εμφανίζει μια χρυσή καμπυλοειδή ταινία (σχήματος V), που στα ενήλικα άτομα πλαισιώνεται

από δύο σκούρες ζώνες. Κατά μήκος του ραχιαίου πτερυγίου φέρει μια επιμήκη μαύρη λουρίδα, ενώ κατά μήκος του ουραίου μια μαύρη παρυφή.

Αναπαράγεται από τον Οκτώβριο μέχρι το Δεκέμβριο. Είναι ερμαφρόδιτο με πρωτανδρική εμφάνιση και μετά το δεύτερο έτος της ηλικίας της επέρχεται σε πολλά άτομα η αλλαγή του φύλλου.

Είναι βενθοπελαγικό είδος της υποτροπικής ζώνης και ζει σε παράκτιες περιοχές με αμμώδεις πυθμένες και φυκιάδες. Δεν είναι μεταναστευτικό είδος και ζει είτε μοναχικά είτε σχηματίζοντας μικρά κοπάδια.

Ανήκει στα σαρκοφάγα είδη και τρέφεται από μαλάκια, μύδια, άλλα οστρακοειδή, καθώς και μικρά ψάρια.

Γεωγραφικά εξαπλώνεται στην κεντρική και στη δυτική Μεσόγειο θάλασσα, ενώ σπανιότερα στη Μαύρη θάλασσα. Επίσης, συναντάται στις ακτές του Ατλαντικού ωκεανού από την περιοχή της Μεγάλης Βρετανίας μέχρι το Πράσινο ακρωτήριο και τα Κανάρια νησιά (Νεοφύτου 2015).

1.2 Το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης

Η ασιτία είναι μια φυσιολογική κατάσταση που πολλά είδη ψαριών μπορούν να βιώσουν σε φυσικό περιβάλλον, ως μέρος του κύκλου ζωής τους, τόσο ως συνέπεια εποχικών μεταβολών της θερμοκρασίας του νερού, είτε της μετανάστευσης. Σε καλά οργανωμένες συνθήκες υδατοκαλλιέργειας, η στέρηση τροφής δεν είναι συχνή, όμως εφαρμόζεται από τους εκτροφείς για να αποφευχθούν οι κίνδυνοι υπερπαραγωγής (Krogdhal & Bakke McKeller 2005).

Πολλοί οργανισμοί, παρουσιάζουν ταχύτερη ανάπτυξη κατά τη διάρκεια της ανάκαμψής τους, μετά από μια περίοδο ολικής ή μερικής ασιτίας, απ' ότι σε

περιόδους συνεχούς διατροφής (Wilson & Osbourn 1960). Ο μηχανισμός που τείνει να επαναφέρει την αύξηση των οργανισμών σε κανονική τροχιά, ονομάζεται αύξηση αντιστάθμισης (growth compensation).

Συνεπώς, το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης στην υδατοκαλλιέργεια, καλείται να παίζει σημαντικό ρόλο στην εξεύρεση λύσεων που θα αποβλέπουν, τόσο στην μείωση του κόστους παραγωγής, όσο και στην αύξηση της αιφόρου ανάπτυξης, με αποτέλεσμα την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης αλιευτικών προϊόντων.

Αρχικά, η μελέτη της αύξησης της αντιστάθμισης εφαρμόστηκε στα χερσαία θηλαστικά (Wilson & Osbourn 1960). Αργότερα, στις δεκαετίες 1970 και 1980 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες εργασίες σε ψάρια, όπου τα αποτελέσματά τους, δεν επιβεβαίωσαν τις προσδοκίες σχετικά με τους ρυθμούς αύξησης, σε διαδοχικές περιόδους ασιτίας (Bilton & Robins 1973, Zivkov 1982). Στη συνέχεια, στις αρχές της δεκαετίας του 1990, εμφανίστηκαν στη βιβλιογραφία εργασίες περισσότερο ολοκληρωμένες και συγκροτημένες, δίνοντας έμφαση σε είδη που σχετίζονται με την ιχθυοκαλλιέργεια. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το φαινόμενο της αύξησης της αντιστάθμισης να προσελκύσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων και να δώσει επιστημονική ώθηση και στο χώρο της υδατοκαλλιέργειας. Σήμερα, το συγκεκριμένο θέμα έχει μελετηθεί σε σημαντικό αριθμό ειδών ψαριών, (Jobling *et al.* 1993, Jobling *et al.* 1994, Hayward *et al.* 2000, Zhu *et al.* 2001, Zhu *et al.* 2003, Ali *et al.* 2003, Πανταρίδης 2005, Eroldogan *et al.* 2006, Μακρυβέλιος 2007, Liu *et al.* 2011, Tasbozan *et al.* 2014, Tasbozan *et al.* 2016).

Η σπουδαιότητα της αύξησης αντιστάθμισης σε άτομα ή ομάδες ατόμων που διανύουν περιόδους ασιτίας, είναι η επίτευξη μεγέθους περίπου ίδιου με του

οργανισμού ο οποίος βρίσκεται διαρκώς σε περιβάλλον με επάρκεια τροφής (Risca *et al.* 1984).

Η εφαρμογή του φαινομένου της αντιστάθμισης στις ιχθυοκαλλιέργειες, εκτός της εξοικονόμησης της τροφής από τη διατροφή των ψαριών, που συνεπάγεται σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής, έχει ως άμεσο αποτέλεσμα και τη μείωση των επιπτώσεων της εκτροφής στο υδάτινο περιβάλλον.

Τα μέχρι τώρα στοιχεία από τη μελέτη του φαινομένου της αύξησης αντιστάθμισης στα εκτρεφόμενα ψάρια, επικεντρώνονται στην επίδραση της θερμοκρασίας (Maclean & Metcalfe 2001) ή της ποσότητας της τροφής (Zhu *et al.* 2001) ή και της συχνότητας εναλλαγής ασιτίας - επαναδιατροφής (Quinton & Blake 1990, Kim & Lovell 1995).

Αξιολογούνται δε σε σχέση με το τελικό βάρος που αποκτούν τα ψάρια, μετά την επαναδιατροφή τους, σε σχέση με αυτό των ατόμων στα οποία η παροχή της τροφής συνεχίζονταν κανονικά (Seather & Jobling 1999, Grime *et al.* 2007).

Επίσης, ορισμένες μελέτες χρησιμοποιούν το μήκος για να υποδηλώσουν την αύξηση. Το φαινόμενο δεν έχει μελετηθεί στην τσιπούρα εκτενώς, ούτε ως προς την επίδραση της θερμοκρασίας, ούτε και ως προς την ποσότητα της προσφερόμενης τροφής όπως επίσης και για τα χρονικά διαστήματα εναλλαγής ασιτίας ή περιορισμένης διατροφής - επαναδιατροφής (Nicieza & Metcalfe 1997, Skalski *et al.* 2005).

1.3 Τα είδη της αντιστάθμισης

Σύμφωνα με τους Ali *et al.* (2003) και τους Sevgili *et al.* (2013), οι οργανισμοί που υποβάλλονται σε ασιτία και στη συνέχεια επανασιτίζονται μπορούν να εμφανίσουν τέσσερις μορφές αντιστάθμισης:

- ❖ Καμία αντιστάθμιση
- ❖ Πλήρη αντιστάθμιση κατά την οποία τα άτομα που στερήθηκαν τροφής κατορθώνουν τελικά και φθάνουν στο ίδιο μέγεθος με αυτά στα οποία προσφέρονταν τροφή συνεχώς.
- ❖ Μερική αντιστάθμιση, σε αυτό το στάδιο τα άτομα που δεν σιτίζονται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα δεν κατορθώνουν να πετύχουν το ίδιο μέγεθος όταν επανασιτιστούν, με τα άτομα που σιτίζονταν σε καθημερινή βάση. Παρόλα αυτά, τα άτομα δείχνουν να αποκτούν ταχείς ρυθμούς ανάπτυξης, γεγονός που ίσως οφείλεται στην αποδοτικότερη μετατρεψιμότητα της τροφής.
- ❖ Υπέρ-αντιστάθμιση κατά την οποία τα άτομα που πέρασαν μία περίοδο ασιτίας κατορθώνουν και ξεπερνούν σε μέγεθος τα αντίστοιχα άτομα στα οποία η τροφή προσφέρονταν χωρίς διακοπή.

1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της αντιστάθμισης είναι:

1. Η επίδραση του πρωτοκόλλου σίτισης (διάρκεια μερικής ή ολικής ασιτίας, διάρκεια επαναδιατροφής).
2. Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων.

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αύξηση αντιστάθμισης. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

- ✓ Θερμοκρασία (Nicieza & Metcalfe 1997, Maclean & Metcalfe 2001, Purchase & Brown 2001)
- ✓ Αλατότητα (Damsgard & Arnesen 1998)
- ✓ Παροχή οξυγόνου (Foss & Imsland 2002)
- ✓ Ιχθυοφόρτιση
- ✓ Παραλλακτικότητα των μεγεθών (Jobling & Koskela 1996).

3. Επιπτώσεις επί των συστατικών και των οργάνων του σώματος.

Ο τύπος της αύξησης αντιστάθμισης μπορεί να επηρεάσει διαφορετικά τα συστατικά του σώματος (Weatherley & Gill 1981, Quinton & Blake 1990).

4. Απώλεια βάρους και αύξηση της αντιστάθμισης.

Η αύξηση της αντιστάθμισης είναι δυνατό να ευνοείται από τη μείωση του ρυθμού μεταβολισμού του ψαριού κατά τη διάρκεια στέρησης της τροφής. Οι Wieser *et al.* (1992) πρότειναν 4 φάσεις αντίδρασης στον περιορισμό τροφής και της επακόλουθης επανασίτισης:

- τη φάση της καταπόνησης, που χαρακτηρίζεται από ένα καθεστώς υπέρ-ενεργητικότητας (π.χ. αναζήτηση τροφής),
- τη φάση της αλλαγής με τη συνεχιζόμενη στέρηση της τροφής, τη μείωση του κανονικού ρυθμού της αναπνοής όπως και της κινητικότητας,
- τη φάση της προσαρμογής με τη σταθεροποίηση του μεταβολισμού σε χαμηλά επίπεδα και τη φάση της αποκατάστασης όπου γίνεται απότομη αύξηση των επιπέδων κατανάλωσης οξυγόνου, αλλά και της αύξησης σε απόλυτη σχέση με την περίοδο της ασιτίας.

5. Εποχική διακύμανση.

Η εποχική διακύμανση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον παράγοντα θερμοκρασία. Έτσι, λοιπόν, ο σολομός, (*Salmon salar*) στις χαμηλές θερμοκρασίες του φθινοπώρου εμφάνισε μικρή αντιστάθμιση, σε αντίθεση με το καλοκαίρι, κατά το οποίο οι υψηλές θερμοκρασίες ευνόησαν την αύξηση της αντιστάθμισης (Maclean & Metcalfe 2001).

1.5 Παραλλακτικότητα μεγεθών

Το φαινόμενο της ανομοιομορφίας των μεγεθών αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως «Tobi-Koi phenomenon» (Nakamura & Kasahara 1995), ως «size hierarchy effect, ιεράρχηση μεγεθών» (Brown 1957) και ως «growth depensation, διαφοροποίηση ανάπτυξης» (Ricker 1958). Κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες παραγωγής η διαφοροποίηση των μεγεθών εμφανίζεται νωρίς τις πρώτες εβδομάδες μετά την εκκόλαψη των ψαριών (Purdom *et al.* 1972, Bowers 1974, Purdom 1974, Beyer & Laurence 1980, Fukuhara 1983, Chambers *et al.* 1988). Οι σχέσεις μεταξύ των ατόμων της ίδιας ομάδας, η κατανάλωση τροφής, η ιχθυοπυκνότητα, οι γενετικοί παράγοντες, η αξιοποίηση ενέργειας τροφής, περιβαλλοντικοί παράγοντες κατά την εκτροφή, έχουν θεωρηθεί ως αιτία διαφοροποίησης του ρυθμού ανάπτυξης και κατά συνέπεια της εμφάνισης του φαινομένου της παραλλακτικότητας των μεγεθών σε ομάδες ψαριών.

1.6 Χημική σύσταση μυϊκού ιστού εκτρεφόμενων ατόμων τσιπούρας

Η ποιοτική ανάλυση πολλών ψαριών πραγματοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια σε πολλές επιστημονικές μελέτες. Η χημική σύσταση ορισμένων ειδών ιχθύων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 3).

Τα ψάρια είναι εξαιρετική πηγή πρωτεϊνών και ο μυϊκός ιστός τους περιέχει ένα σωστά ισορροπημένο προφίλ σε αμινοξέα, καθιστώντας τους ιχθύες σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης διαίτας σε πολλές χώρες (Jobling 2001).

Επίσης, οι ιχθύες αποτελούν πλούσια πηγή ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, των οποίων οι ευεργετικές ιδιότητες στην ανθρώπινη υγεία έχουν αναφερθεί εκτενώς σε πολλές έρευνες και άρθρα (Drevon 1992).

Μπορούν να προστατέψουν έναντι των καρδιαγγειακών παθήσεων, απαιτούνται για την ομαλή ανάπτυξη των εμβρύων και πιθανότατα δρουν ευεργετικά ενάντια στο διαβήτη και σε κάποιες μορφές καρκίνου (Lands 1992).

Ο μυϊκός ιστός των ιχθύων περιέχει μεγάλο αριθμό πρωτεϊνών μαζί με άλλα μόρια που περιέχουν άζωτο και αναφέρονται ως μη πρωτεϊνικό άζωτο (NPN). Οι πρωτεΐνες της σάρκας των ιχθύων είναι υψηλής βιολογικής αξίας και περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα σε σημαντική ποσότητα και ισορροπημένη αναλογία και είναι εξαιρετικά εύπεπτα (Mengoli 1994).

Η λιποπεριεκτικότητα των ιχθύων διαφέρει ανάλογα με το είδος. Εποχιακές διακυμάνσεις παρατηρούνται και σε ψάρια του ίδιου είδους, οι οποίες εξαρτώνται από το φύλο, την ηλικία, το μέγεθος, τη βιολογική και θρεπτική κατάσταση του ιχθύος (Παπαναστασίου 1976). Οι θαλάσσιοι και ευρύαλοι τελεόστεοι ιχθύες, με βάση τη λιποπεριεκτικότητα της σάρκας τους διακρίνονται σε:

- i) άπαχους (<3%) , όπως είναι ο μπακαλιάρος, η γλώσσα, κ.α.,

- ii) ημι-λιπαρούς (3-8 %), όπως είναι ο σολομός, ο τόνος, το μπαρμπούνι, το λαβράκι, ο γαύρος, η τσιπούρα και
- iii) λιπαρούς (πάνω από 8%), όπως είναι το χέλι, το σκουμπρί, ο κέφαλος, η σαρδέλα, η ρέγκα, η παλαμίδα κ.α. (Jobling 2001, Cowey 1993).

Πίνακας 3. Χημική σύσταση ορισμένων ειδών ιχθύων (σύσταση % νωπού βάρους μυϊκού ιστού) (Jobling 2001)

Είδη ιχθύων	Υγρασία (%)	Λίπη (%)	Πρωτεΐνες (%)
<i>Anguilla rostrata</i> (Αμερικάνικο χέλι)	67	14,5	16
<i>Anguilla anguilla</i> (Ευρωπαϊκό χέλι)	46	32,5	17,5
<i>Silurus glanis</i> (Γουλιανός)	76,5	4,5	18,5
<i>Ictalurus punctatus</i> (Γατόψαρο)	71,5	9	17,5
<i>Clarias gariepinus</i> (Αφρικάνικο γατόψαρο)	75	3	20
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Ιριδίζουσα πέστροφα)	70	10	17
<i>Salmo salar</i> (Σολομός του Ατλαντικού)	69	10	18,5
<i>Gadus morhua</i> (Γάδος)	80,5	0,5	18
<i>Anarhichas lupus</i> (Συννεφόψαρο)	77,5	2,5	18,5
<i>Hippoglossus hippoglossus</i> (Ιππόγλωσσα)	72	10,5	16
<i>Scophthalmus maximus</i> (Καλκάνι)	79	2,5	16

1.7 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, ήταν η διερεύνηση του φαινομένου της αύξησης αντιστάθμισης στην εντατική εκτροφή τσιπούρας σε κλειστό σύστημα κυκλοφορίας νερού, σύμφωνα με ειδικό πρωτόκολλο σίτισης – ασιτίας, με απώτερο σκοπό τα αποτελέσματά της να συμβάλουν στην εφαρμογή της αύξησης αντιστάθμισης στην ιχθυοκαλλιέργεια ώστε να βοηθήσει στη μείωση του κόστους παραγωγής και στη μείωση των επιπτώσεων εκτροφής στο υδάτινο περιβάλλον.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Το πείραμα διεξήχθη σε 180 νεαρά άτομα τσιπούρας (*Sparus aurata* (L.)), στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Υδατοκαλλιεργειών του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Φυτόκο (Εικ. 3).



Εικόνα 3: Αποψη του Εργαστηρίου Υδατοκαλλιεργειών του Τ.Γ.Ι.Υ.Π.

Αρχικά έγινε καθαρισμός και η απαραίτητη προετοιμασία των ενυδρείων του Εργαστηρίου Υδατοκαλλιεργειών όπου θα πραγματοποιούνταν το πείραμα. Χρησιμοποιήθηκε συνθετικό θαλασσίνο νερό αλατότητας 30 psu, που παρασκευάστηκε σε δεξαμενή χρησιμοποιώντας αλάτι Instant Ocean Sea Salt. Τέθηκαν σε λειτουργία τόσο το σύστημα του μηχανικού-βιολογικού φίλτρου όσο και οι δύο αερόπετρες σε κάθε ενυδρείο για την καλή οξυγόνωση του νερού. Κάθε

3 ημέρες προσθέτονταν βακτήρια (Tropical BactoActive). Όλη η προετοιμασία διήρκεσε 15 ημέρες.

Τα νεαρά ιχθύδια προμηθεύτηκαν από τον Ιχθυογεννητικό Σταθμό Πελασγίας του Ομίλου “Selonda” και μεταφέρθηκαν μέσα σε ισοθερμική δεξαμενή. Τα ιχθύδια τοποθετήθηκαν σε 6 ενυδρεία χωρητικότητας 120 L το καθένα με κλειστό κύκλωμα κυκλοφορίας νερού, μηχανικό-βιολογικό φίλτρο και παροχή οξυγόνου, όπως προαναφέρθηκε. Τα ιχθύδια εγκαταστάθηκαν στα ενυδρεία και μετά από 15 ημέρες προσαρμογής ξεκίνησε το πείραμα (26/03/2018). Το αρχικό τους βάρος ήταν $4,5 \pm 0,52$ g και το ολικό τους μήκος $7 \pm 0,51$ cm.



Εικόνα 4: Άποψη της διάταξης των ενυδρείων του πειράματος

Στήθηκαν δύο ομάδες μεταχείρισης S1, S2 καθώς και μια ομάδα ελέγχου C με τις επαναλήψεις τους το καθένα. Συνολικά 6 ενυδρεία (Εικ. 4). Καθημερινά, γινόταν σιφωνισμός στα ενυδρεία για την απομάκρυνση των περιττωμάτων και των

υπολειμμάτων τροφής που βρισκόταν στον πυθμένα και ταυτόχρονα συμπληρωνόταν το νερό των ενυδρείων. Οι συνθήκες ήταν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος και γινόταν μετρήσεις καθημερινά. Οι συνθήκες θερμοκρασίας ήταν $21 \pm 0,5$ °C, της αλατότητας 30 psu, του διαλυμένου οξυγόνου (≥ 5 mg/l) και του pH $7,5 \pm 0,5$. Οι μετρήσεις νιτρωδών με API Nitrite NO₂ Test Kit (Εικ. 5), νιτρικών με Tropical NO₃ Test (Εικ. 6) και αμμωνίας με API Ammonia N₃ / NH₄ Test Kit (Εικ. 7) ήταν εβδομαδιαίες καθώς και ο καθαρισμός των φίλτρων. Η φωτοπερίοδος ήταν 12 ώρες (φως - σκοτάδι) και η αλλαγή ήταν στις ώρες 8:00 και 20:00, αντίστοιχα.



Εικόνα 5: Μέτρηση νιτρωδών στα ενυδρεία



Εικόνα 6: Μέτρηση νιτρικών στα ενυδρεία



Εικόνα 7: Μέτρηση αμμωνίας στα ενυδρεία

2.2. Πειραματικό πρωτόκολλο σίτισης

Το πρωτόκολλο σίτισης που εφαρμόστηκε στο πειραματικό μέρος αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, απαρτίζονταν από την ομάδα ελέγχου C (ενυδρεία 5 και 6, αντίστοιχα) και από 2 ομάδες μεταχείρισης ασιτίας S1, S2 (Πίν. 4). Η πρώτη ομάδα μεταχείρισης αφορούσε μία ημέρα ασιτίας την εβδομάδα (ενυδρεία 1 και 3, αντίστοιχα), ενώ στη δεύτερη 2 ημέρες ασιτίας την εβδομάδα (ενυδρεία 2 και 4). Η σίτιση διεξαγόταν 2 φορές ημερησίως, 9:00 – 10:00 και 16:00 – 17:00. Η τροφή δινόταν κατά βούληση. Μετά το πέρας των 10 εβδομάδων και για τις επόμενες 3 εβδομάδες του πειράματος τα ψάρια σιτίζονταν καθημερινά με σκοπό την εξισορρόπηση και την εμφάνιση των αποτελεσμάτων του φαινομένου της αντιστάθμισης.

Πίνακας 4: Πειραματικό Πρωτόκολλο σίτισης.

		Ομάδα Ελέγχου C- Ευδρείο 5							Ομάδα Μεταχείρισης S1 - Ευδρείο 1							Ομάδα Μεταχείρισης S2 - Ευδρείο 2						
Επανάληψη 1 ^η		Δ	ΤΡ	ΤΕ	ΠΕ	ΠΑ	Σ	Κ	Δ	ΤΡ	ΤΕ	ΠΕ	ΠΑ	Σ	Κ	Δ	ΤΡ	ΤΕ	ΠΕ	ΠΑ	Σ	Κ
Εβδομάδα 1	Ώρα 9:00 - 10:00	F	F	F	F	F	F	F	S	F	F	F	F	F	F	S	S	F	F	F	F	F
	Ώρα 16:00 - 17:00	F	F	F	F	F	F	F	S	F	F	F	F	F	F	S	S	F	F	F	F	F

		Ομάδα Ελέγχου C- Ευδρείο 6							Ομάδα Μεταχείρισης S1 - Ευδρείο 3							Ομάδα Μεταχείρισης S2 - Ευδρείο 4						
Επανάληψη 2 ^η		Δ	ΤΡ	ΤΕ	ΠΕ	ΠΑ	Σ	Κ	Δ	ΤΡ	ΤΕ	ΠΕ	ΠΑ	Σ	Κ	Δ	ΤΡ	ΤΕ	ΠΕ	ΠΑ	Σ	Κ
Εβδομάδα 1	Ώρα 9:00 - 10:00	F	F	F	F	F	F	F	S	F	F	F	F	F	F	S	S	F	F	F	F	F
	Ώρα 16:00 - 17:00	F	F	F	F	F	F	F	S	F	F	F	F	F	F	S	S	F	F	F	F	F

S (Starvation) : Ασιτία

F (Food) : Τροφή

Η τροφή ήταν σύμπηκτα εμπορίου (pellets, Εικ. 8) διαμέτρου 2 mm, με την εξής σύνθεση: «Ιχθυάλευρο, άλευρο σίτου, άλευρα θαλάσσιου ζωοπλαγκτόν, γλουτένη σίτου, ιχθυέλαιο, σογιάλευρο, άλευρο αποφλοιωμένων καλαμαριών, ξηρή μαγιά, αποξηραμένα φύκη, άνυδρο μονο-φωσφορικό νάτριο» και με τη χημική σύσταση όπως φαίνεται παρακάτω (Πίν. 5).



Εικόνα 8: Σύμπηκτα τροφής που χορηγούταν στα ιχθύδια

Πίνακας 5: Χημική σύσταση τροφής σίτισης πειραματικού πρωτοκόλλου

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΡΟΦΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Ολικές αζωτούχες ουσίες	48 %
Ολικές λιπαρές ουσίες	14 %
Ολική τέφρα	12 %
Ασβέστιο	2 %
Μη διαλυτή τέφρα σε HCL	1,7 %
Φώσφορος	1,5 %
Ολικές ινώδεις ουσίες	1 %
Νάτριο	0,8 %
DHA	16 mg/g dwt
ERA	10 mg/g dwt
ARA	0,8 mg/g dwt
ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΥΛΕΣ	
BITAMINEΣ	
Βιταμίνη Α	14.000 IU/Kg
Βιταμίνη D3	2.800 IU/Kg
Βιταμίνη Ε	170 mg/Kg
Βιταμίνη C	4.800 mg/Kg
ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
Σίδηρος (Τριοξειδίο του σιδήρου)	550 mg/Kg
Ιώδιο (Ιωδικό ασβέστιο άνυδρο)	5 mg/Kg
Χαλκός (Πεντάυδρορ θειϊκό χαλκός)	5 mg/Kg
Μαγγάνιο (Μονόυδρορ θειϊκό μαγγάνιο)	20 mg/Kg
Ψευδάργυρος (Μονόυδρορ θειϊκόρ ψευδάργυρος)	30 mg/Kg
Σελήνιο (Σεληνιώδεςρ νάτριο)	0,3 mg/Kg
ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ	
Αιθοξυκίνη	120 mg/Kg
BHA	20 mg/Kg
Γαλλικό Προπύλιο	10 mg/Kg

2.2 Δειγματοληψίες

Το πείραμα είχε διάρκεια 13 εβδομάδες (91 ημέρες). Κάθε 14 ημέρες διεξάγονταν μετρήσεις βάρους, αφού πρώτα εξαλειούνταν τα ιχθύδια με απόχη και αναισθητοποιούνταν μέσα σε δοχείο που είχε διάλυμα φαινοξυαιθανόλης (σε 4 lt συνθετικό θαλασσινό νερό 0,50 ml φαινοξυαιθανόλη). Ζυγίζονταν σε ζυγό δύο δεκαδικών ψηφίων (αε Adam ABB Plus, Εικ. 9) και κατόπιν επανακτούσαν τις αισθήσεις τους πάλι σε συνθετικό θαλασσινό νερό με οξυγόνο και επανατοποθετούνταν στα ενυδρεία. Οι δειγματοληψίες έγιναν την 0^η ημέρα που ήταν η έναρξη του πειράματος, την 14^η, την 28^η, την 42^η, την 56^η, την 70^η και μετά από 21 ημέρες, την 91^η που ήταν η τελευταία, μετά από τρεις εβδομάδες πλήρους σίτισης, προκειμένου να επιτευχθεί εξισορρόπηση.



Εικόνα 9: Ζύγισμα δείγματος

Τέλος, μετά την ολοκλήρωση του πειράματος, συλλέχθηκαν 5 τυχαία δείγματα ψαριών από κάθε ενυδρείο, τα οποία θανατώθηκαν βάσει της οδηγίας της

Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2010/63/EU, για την προστασία των ζώων που χρησιμοποιούνται για επιστημονικούς σκοπούς, η οποία αναφέρει ότι «τα δείγματα συλλέγονται 24 ώρες πριν την διεξαγωγή του πειράματος, ζυγίζονται μετρούνται και υποβάλλονται σε ευθανασία με υπερβολική δόση 2-φαινοξυαιθανόλης, και καταψύχονται». Έτσι λοιπόν, τα δείγματα κωδικοποιήθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε καταψύκτη (-20° C), προκειμένου να διεξαχθούν χημικές αναλύσεις στον μυϊκό τους ιστό.

2.3 Παράμετροι αύξησης

Το ολικό βάρος μετρήθηκε στα ψάρια σε κάθε δειγματοληψία που αναφέρθηκε προηγουμένως. Από τις μετρήσεις αυτές υπολογίστηκαν η αύξηση του ολικού βάρους, ο ρυθμός αύξησης, ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR), ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής (FCR) και η παραλλακτικότητα μεγεθών βάρους.

2.3.1 Θνησιμότητα

Η καταγραφή της θνησιμότητας λάμβανε χώρα καθημερινά για κάθε ενυδρείο ξεχωριστά. Το ποσοστό θνησιμότητας δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Θνησιμότητα \%} = \left[\frac{\text{Αρχικός αριθμός ιχθύων} - \text{Τελικός αριθμός ιχθύων}}{\text{Αρχικός αριθμός ιχθύων}} \right] \times 100$$

2.3.2 Αύξηση ολικού βάρους

Η αύξηση του ολικού βάρους των ιχθύων που αποκτήθηκε κατά την πειραματική διάρκεια δίνεται από τον τύπο:

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

όπου: W_t (τελικό βάρος) και W_a (αρχικό βάρος).

Η εκατοστιαία (%) αύξηση του σωματικού βάρους υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Ποσοστό αύξησης βάρους (\%)} = [(W_{\text{τελικό}} - W_{\text{αρχικό}}) / W_{\text{αρχικό}}] \times 100$$

2.3.3 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR)

Ο ημερήσιος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (Specific Growth Rate), εκφράζει την ημερήσια ποσοστιαία αύξηση του ολικού βάρους του ιχθύ κατά τη χρονική διάρκεια που σιτίστηκε και δίνεται από τον τύπο:

$$\text{SGR (\% / ημέρα)} = [\ln W_t - \ln W_a] \times 100 / T$$

όπου: $\ln (W_t)$: ο φυσικός λογάριθμος του τελικού ολικού βάρους

$\ln (W_a)$: ο φυσικός λογάριθμος του αρχικού ολικού βάρους

T: ο χρόνος της πειραματικής εκτροφής σε ημέρες.

2.3.4 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)

Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (Food Conversion Ratio) εκφράζει το βαθμό αξιοποίησης της τροφής από τα ψάρια και δίνεται από το λόγο της ποσότητας της τροφής που χορηγήθηκε προς την αύξηση του ολικού βάρους τους. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής υπολογίζεται από τη σχέση:

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

2.3.5 Παραλλακτικότητα μεγεθών βάρους (CV%)

Η παραλλακτικότητα που υπήρχε στο βάρος βρέθηκε από τον τύπο:

$$CV\% = 100 \times \frac{\text{Τυπική απόκλιση}}{\text{Μέσος όρος}}$$

2.4 Χημικές αναλύσεις και Μέθοδοι

Στη συνέχεια της πειραματικής διαδικασίας, αποψύχθηκαν τα τυχαία δείγματα που συλλέχθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και αφού κωδικοποιήθηκαν, πολτοποιήθηκαν σε πολυκόπτη (blender), κάθε δείγμα χωριστά (whole body), αποξηράνθηκαν, κονιορτοποιήθηκαν σε γουδί και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά δοχεία φύλαξης για να χρησιμοποιηθούν στις περαιτέρω χημικές αναλύσεις που έγιναν στο Εργαστήριο Φυσιολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος και ήταν οι εξής: προσδιορισμός υγρασίας και ξηρής ουσίας, προσδιορισμός ολικών πρωτεϊνών, προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών, προσδιορισμός ολικής ενέργειας και προσδιορισμός τέφρας, βάσει των εργαστηριακών πρωτοκόλλων που είναι αποδεκτά από την Ένωση Αναγνωρισμένων Αναλυτικών Χημικών (ΑΟΑQ).

2.4.1 Προσδιορισμός Υγρασίας και ξηρής ουσίας

Για το συγκεκριμένο προσδιορισμό χρησιμοποιήθηκαν τα αρχικά πολτοποιημένα δείγματα τα οποία ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων, τοποθετήθηκαν σε προζυγισμένα δισκία αλουμινόχαρτου και παρέμειναν στον ξηραντήρα για 24h σε 105° C (Εικ. 10). Έπειτα τοποθετήθηκαν σε γυάλινο αφυγραντήρα για 15' να κρυώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος,

ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας και επανατοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα για 1h ακόμη. Επαναλήφθηκε όλη η διαδικασία ξήρανσης – ζύγισης, με σκοπό την επιβεβαίωση του σταθερού βάρους και την αποφυγή τυχόν λάθους στη διαδικασία. Τέλος, υπολογίστηκε η υγρασία και η ξηρή ουσία βάσει του εργαστηριακού πρωτοκόλλου που εφαρμόστηκε:

$$W_{\text{υγρασία}} = W_{\text{δείγματος}} - (W_{\text{δείγματος μετά την ξήρανση}} - W_{\text{δισκίου}})$$

$$\text{Υγρασία \%} = (W_{\text{υγρασίας}} \times 100) / W_{\text{δείγματος}}$$

και

$$W_{\text{ξηρή ουσία}} = W_{\text{δείγματος μετά την ξήρανση μαζί με το δισκίο}} - W_{\text{δισκίου}}$$

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



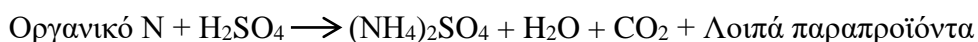
Εικόνα 10: Δείγματα για τον ξηραντήρα

2.4.2 Προσδιορισμός Ολικών Αζωτούχων Ουσιών (Πρωτεΐνης)

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των πρωτεϊνών στους ιστούς των ιχθύων, βασίζεται στον υπολογισμό του συνολικού πρωτεϊνικού αζώτου κατά την μέθοδο Kjeldahl (AOAC 1995).

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην ολική μετατροπή των μορφών αζώτου της πρωτεΐνης σε αμμωνιακά άλατα. Κατά τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται τέσσερα βήματα: α) Προετοιμασία δειγμάτων, β) Πέψη, γ) Απόσταξη, δ) Τιτλοδότηση και ε) Υπολογισμοί.

α) Αρχικά ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας 0,2 g από τα δείγματα των πειραματικών ομάδων, κατόπιν μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης της συσκευής Kjeldahl και προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs (5 g Potassium Sulphate K_2SO_4 και 5 g copper (II) Sulphate $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) για να επιταχυνθεί η αντίδραση της πέψης. Στη συνέχεια προστέθηκαν στα δείγματα 15 ml πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4) στον απαγωγό και τοποθετήθηκαν στη συσκευή πέψης Kjeltec 2000. Η διαδικασία της πέψης πραγματοποιήθηκε στους 150 °C για 85 min. Με τη συσκευή πέψης επιτυγχάνεται το βράσιμο των δειγμάτων και με την βοήθεια του πυκνού θειικού οξέος πραγματοποιείται διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων. Το αδέσμευτο άζωτο (N) δεσμεύεται με την μορφή θειικού αμμωνίου (άλας), με την εξής αντίδραση:

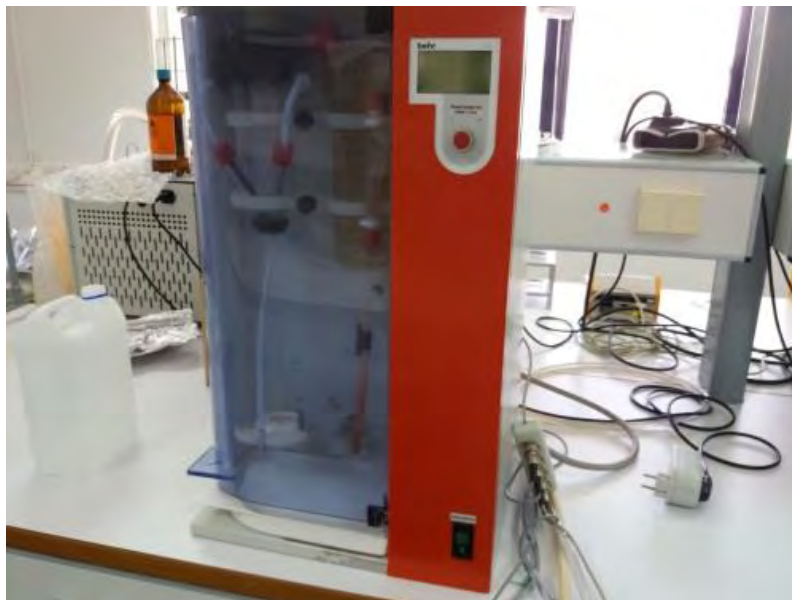


β) Οι σωλήνες με την ειδική βάση τους τοποθετήθηκαν στη θέση ψύξης της συσκευής πέψης Kjeltec 2000, εφαρμόστηκαν τα καπάκια με τις υποδοχές αναρρόφησης των αερίων και τέθηκαν σε λειτουργία, ο απαγωγός, η συσκευή παγίδας των αερίων και ξεκίνησε ο βρασμός στη συσκευή πέψης. Η διαδικασία

πέψης πραγματοποιήθηκε στους 150° C για 85', ενώ άλλα 30' χρειάστηκαν για να ψυχθούν τα δείγματα (Εικ. 11 και 12).

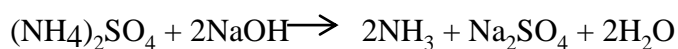


Εικόνα 11: Διαδικασία της πέψης στη συσκευή Kjeldtec



Εικόνα 12: Διαδικασία της απόσταξης στην Kjeldahl

γ) Έπειτα, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε συσκευή απόσταξης, στην οποία προστέθηκαν 100 ml απεσταγμένου H₂O, 80 ml NaOH και 50 ml H₃BO₃. Η διαδικασία είχε διάρκεια 6 min. Το θειικό αμμώνιο, που είχε παραχθεί κατά την διαδικασία της πέψης, αντιδρά με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και αποδεσμεύεται αμμωνία (σε αέρια μορφή) και θειικό νάτριο (Na₂SO₄). Η αμμωνία (NH₄) έπειτα αντιδρά με βορικό οξύ (H₃BO₄) και το άζωτο του δείγματος δεσμεύεται σε μορφή βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:



Το βορικό αμμώνιο συγκεντρώθηκε σε κωνική φιάλη που περιείχε 4 σταγόνες ερυθρού του μεθυλενίου (δείκτη pH).

δ) Τοποθετήθηκε η κωνική φιάλη κάτω από βαθμονομημένη προχοίδα και πάνω σε συσκευή ανάδευσης όπου με την προσθήκη μαγνήτη, γινόταν συνεχής ανακίνηση του διαλύματος. Η προχοίδα γεμίστηκε με διάλυμα HCl (0,1N), προσθέτοντας με αργό ρυθμό στην κωνική φιάλη το οξύ προσέχοντας στην αλλαγή χρώματος του διαλύματος. Μόλις το χρώμα άλλαξε (επανήλθε στο αρχικό) καταγράφηκε η ένδειξη των ml HCl που καταναλώθηκαν.

ε) Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου που χρειάζονται για να καταλύσουν την αντίδραση έως το τέλος, ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα. Η αλλαγή στο χρώμα του δείκτη, φανερώνει το τελικό σημείο της αντίδρασης. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N%) υπολογίζεται από τον τύπο:

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

2.4.3 Προσδιορισμός Ολικών Λιπαρών Ουσιών με τη Μέθοδο Soxhlet

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπαρών ουσιών στον μυϊκό ιστό των ιχθύων, έγινε με την μέθοδο εκχύλισης Soxhlet (AOAC 1995). Σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν 3 πέτρες βρασμού και καταγράφηκε το βάρος τους σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν στα δοχεία χάρτινοι ηθμοί. Ζυγίστηκε ποσότητα δείγματος βάρους 2 g και μεταφέρθηκε στο χάρτινο δοχείου ηθμού. Στο γυάλινο δοχείο εκχύλισης προστέθηκαν 140 ml πετρελαϊκού αιθέρα, στον οποίο εμβαπτίστηκαν τα χάρτινα δοχεία ηθμού με το δείγμα. Τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης μαζί με τους χάρτινους ηθμούς μεταφέρθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (συσκευή Soxhlet, Εικ. 13). Κατά τη διαδικασία της εκχύλισης, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150 °C υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη, (πρώτο στάδιο της εκχύλισης). Έπειτα, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε και εκπλύθηκε στο δείγμα για 1,5 h (δεύτερο στάδιο της εκχύλισης). Κατόπιν, απορροφήθηκε ο διαλύτης για 15 min με αποτέλεσμα τα ολικά λιπίδια του δείγματος να παραμείνουν στον πάτο του δοχείου εκχύλισης. Για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων πετρελαϊκού αιθέρα τα δοχεία (χωρίς τους χάρτινους ηθμούς) μεταφέρθηκαν στο φούρνο για 15 min στους 105 °C. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αφυγραντήρα για 1 h και ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας. Το καθαρό βάρος των λιπαρών ουσιών δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Ολικά λιπίδια \%} = \frac{W(\text{g}) \text{ τελικού δοχείου εκχύλισης} - W(\text{g}) \text{ αρχικού δοχείου εκχύλισης}}{W(\text{g}) \text{ δείγματος}} \times 100$$



Εικόνα 13: Συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών Soxhlet

2.4.4 Προσδιορισμός Ολικής Ενέργειας μέσω Αδιαβατικού Θερμιδομέτρου

Η θερμιδική αξία (ολική ενέργεια) είναι η ποσότητα θερμότητας που εκλύεται από ένα δείγμα κατά την πλήρη καύση του με τελικά προϊόντα καύσης CO_2 και H_2O . Η καύση γίνεται μέσα σε κλειστό δοχείο (θερμιδομέτρο τύπου οβίδας, Εικ. 14) και η θερμότητα που εκλύεται θερμαίνει ένα εξωτερικό δοχείο γνωστής θερμοκρασίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας του εξωτερικού δοχείου καταγράφεται με θερμόμετρο και μέσω αυτής υπολογίζεται το θερμιδικό περιεχόμενο του δείγματος που κάηκε.

Ζυγίστηκαν 0,4 g δείγματος μέσα σε ειδική κυψελίδα, η οποία τοποθετήθηκε μέσα στον υποδοχέα της οβίδας. Επίσης, τοποθετήθηκε μία ίνα βαμβακιού στο δείγμα έτσι ώστε να έχει επαφή τόσο με το δείγμα όσο και με τον υποδοχέα και τέλος ο υποδοχέας τοποθετήθηκε μέσα στην θερμιδομετρική οβίδα. Αφού ανοίχτηκε η παροχή νερού και η παροχή οξυγόνου ενεργοποιήθηκε το πρόγραμμα και τοποθετήθηκε η οβίδα στην κεφαλή του θερμιδομέτρου. Όταν τελειώσει η

διαδικασία, η οβίδα ανέβηκε σε μια ενδιάμεση θέση έτσι ώστε να γίνει εξαέρωση και τέλος ανέβηκε στην αρχική της θέση. Καταγράφηκε η ένδειξη της θερμοδομέτρησης και ανοίχτηκε προσεκτικά η οβίδα για να γίνει έλεγχος στην κυψελίδα αν κάηκε όλο το δείγμα κατά την ανάλυση για να αποφευχθεί εσφαλμένη ανάλυση.



Εικόνα 14: Συσκευή Αδιαβατικού Θερμιδομέτρου

2.4.5 Προσδιορισμός Τέφρας με χρησιμοποίηση Αποτεφρωτήρα

Σε πυρίμαχα προζυγισμένα δοχεία ζυγίστηκαν 1 g δείγματος μυϊκού ιστού σε ζυγό ακριβείας και τοποθετήθηκαν σε αποτεφρωτήρα στους 600 °C για 3 h. Έπειτα τα δοχεία με τα αποτεφρωμένα δείγματα αφέθηκαν να κρυώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και επαναζυγίστηκαν (Εικ. 15). Η περιεκτικότητα του δείγματος σε τέφρα (%) υπολογίζεται από τον τύπο:

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



Εικόνα 15: Αποτεφρωμένα δείγματα

2.4.6 Στατιστική ανάλυση

Στα δεδομένα που λήφθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση με τη χρήση του λογισμικού SPSS IBM Statistics 24. Στα μεγέθη του βάρους και του μήκους πραγματοποιήθηκε αρχικά έλεγχος κανονικότητας Kolmogorov-Smirnov, αφού διαπιστώθηκε ότι εμπίπτουν στην κανονική κατανομή έγινε σύγκριση μεταξύ των επαναλήψεων της κάθε μεταχείρισης με Students T-Test. Έπειτα, εφόσον δεν διέφεραν στατιστικά τα δεδομένα των επαναλήψεων κάθε ομάδας, ομαδοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν με τη μέθοδο της Ανάλυσης Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (One-way ANOVA). Για τη σύγκριση του ρυθμού αύξησης μεταξύ των ομάδων μεταχειρίσεων πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Συνδιακύμανσης (Analysis of Covariance, ANCOVA). Οι παράμετροι που μετρήθηκαν από τις χημικές αναλύσεις ελέγχθηκαν επίσης με τη μέθοδο της Ανάλυσης Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης,

προκειμένου να βρεθεί αν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος προσδιορίστηκε αρχικά ο μέσος όρος αρχικού και τελικού βάρους των ψαριών σε κάθε ομάδα μεταχείρισης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6, προκειμένου να υπολογιστούν και οι υπόλοιπες παράμετροι. Η θνησιμότητα που καταγράφηκε στο τέλος του πειράματος βρέθηκε να μην επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων καθώς ήταν ασυμπτωματική (Πιν. 7).

Πίνακας 6: Δεδομένα μετρήσεων στην αρχή και στο τέλος του πειράματος

Ομάδα	Αριθμός ιχθύων	M.O. \pm Sd Αρχικού Βάρους	Αρχική Συνολική Βιομάζα	Τελικός Αριθμός ιχθύων	M.O. \pm Sd Τελικού Βάρους	Τελική Συνολική Βιομάζα
C1	30	4,70 \pm 0,28	141,02	29	27,74 \pm 8,31	804,38
C2	30	4,65 \pm 0,32	139,48	28	27,48 \pm 9,82	769,41
S1.1	30	4,61 \pm 0,33	138,27	23	27,29 \pm 6,75	627,77
S1.2	30	4,68 \pm 0,30	140,40	28	25,83 \pm 5,63	723,25
S2.1	30	4,47 \pm 0,31	133,96	26	26,12 \pm 6,12	679,13
S2.2	30	4,62 \pm 0,34	138,65	27	21,10 \pm 5,37	569,82

Πίνακας 7: Θνησιμότητα στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας

Ομάδα	Αριθμός ψαριών	Τελικός Αριθμός ψαριών	Θνησιμότητα %
C	60	57	5,00
S1	60	51	15,00
S2	60	53	11,67

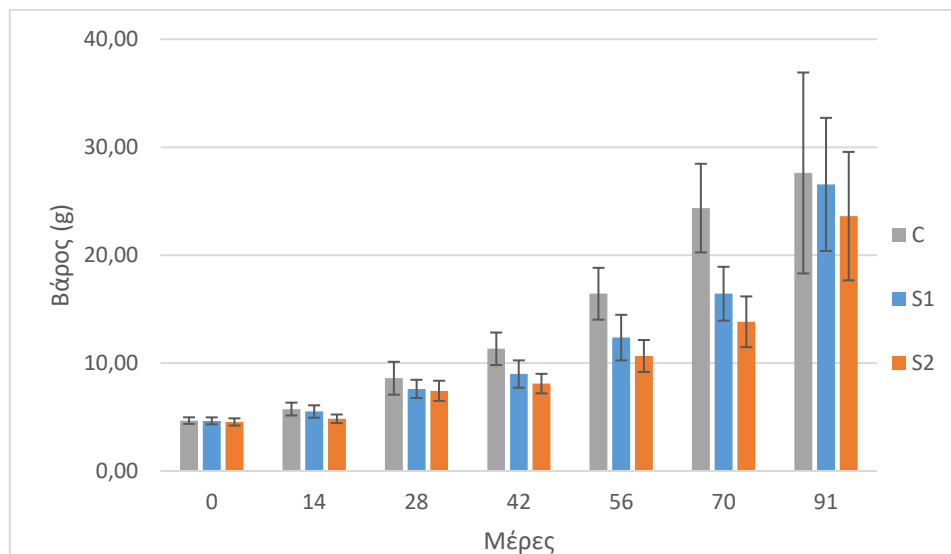
3.1 Ολικό βάρος

Το ολικό βάρος όλων των ψαριών σε κάθε ενυδρείο, που καταγράφηκε κάθε 14 μέρες, παρουσιάζεται στον Πίνακα 8. Καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών ομάδων μεταχείρισης. Στο τέλος του πειράματος ο μάρτυρας παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο σε σχέση με τα ψάρια που είχαν υποστεί αστία 2 ημερών.

Πίνακας 8: Μέσες τιμές (\pm Τυπική Απόκλιση) του βάρους (g) των ομάδων μεταχείρισης και αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) για κάθε δειγματοληψία

Ημέρες	C	S1	S2
0	4,67 \pm 0,30a	4,64 \pm 0,32a,b	4,54 \pm 0,33b
14	5,74 \pm 0,60a	5,51 \pm 0,57b	4,84 \pm 0,40c
28	8,59 \pm 1,52a	7,61 \pm 0,84b	7,43 \pm 0,93b
42	11,32 \pm 1,51a	8,98 \pm 1,27b	8,10 \pm 0,90c
56	16,42 \pm 2,40a	12,36 \pm 2,11b	10,66 \pm 1,48c
70	24,36 \pm 4,11a	16,42 \pm 2,50b	13,83 \pm 2,35c
91	27,61 \pm 9,31a	26,55 \pm 6,17a,b	23,61 \pm 5,95b

a, b, c: δείκτες που εμφανίζουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων ($P < 0,05$) και ($P < 0,05$).



Σχήμα 3: Γραφική απεικόνιση του βάρους των ιχθύων (Μ.Ο. ± S.d.) σε κάθε δειγματοληψία

3.2 Αύξηση ολικού βάρους

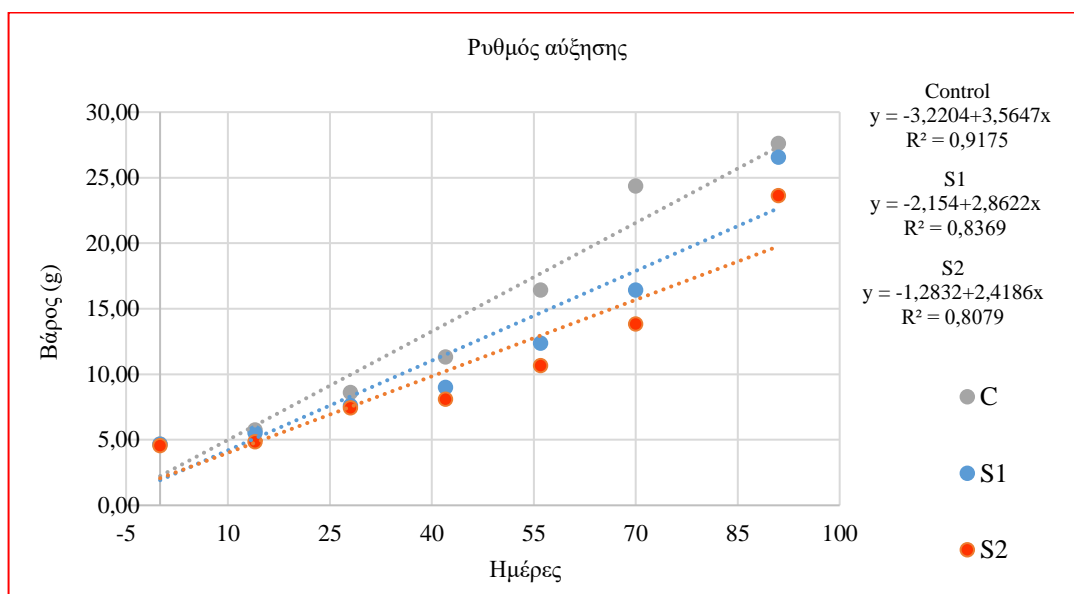
Η αύξηση του ολικού βάρους στο τέλος της μελέτης έδειξε ότι ήταν μεγαλύτερη στον μάρτυρα (C) όπως αναμενόταν, κατά 22,94 g. Οι άλλες δύο ομάδες μεταχείρισης είχαν μικρότερη αύξηση, με αυτήν που είχε μια μέρα ασιτίας (S1) να προσεγγίζει περισσότερο το μάρτυρα με 21,90 g. Η ομάδα που είχε υποστεί δύο μέρες ασιτία (S2) παρουσίασε πολύ μικρότερη αύξηση κατά 19,07 g σε σχέση με τον μάρτυρα που είχε 22,94 (Πιν. 9).

Πίνακας 9: Ποσοστό αύξησης του ολικού βάρους των ιχθύων στο τέλος του πειράματος

Ομάδα	Αύξηση ολικού βάρους (g)	Ποσοστό αύξησης ολικού βάρους %
C	22,94	491,46
S1	21,90	471,57
S2	19,07	419,68

3.3 Ρυθμός αύξησης

Από τα δεδομένα όλων των δειγματοληψιών δημιουργήθηκε το γράφημα βάρους – ημερών και έπειτα υπολογίστηκε η εξίσωση $y = a+bx$ για κάθε ομάδα μεταχείρισης, που μας έδωσε τον ρυθμό αύξησης όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Από την στατιστική ανάλυση ANCOVA βρέθηκε ότι οι κλίσεις ευθειών των ομάδων μεταχείρισης S1 και S2 είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την ομάδα ελέγχου C.



Σχήμα 4: Ρυθμός αύξησης των ιχθύων κάθε ομάδας μεταχείρισης με βάση το βάρος

3.4 Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR)

Ο ημερήσιος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης του μάρτυρα και των ομάδων μεταχειρίσεων με ασιτία παρουσιάζεται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10: Δείκτης SGR και η τυπική απόκλιση της κάθε ομάδας μεταχείρισης

Ομάδα	SGR	Sd
C	3,58	± 0,01
S1	3,54	± 0,05
S2	3,39	± 0,18

3.5 Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)

Από το δείκτη FCR βρέθηκε ότι υπήρχε καλύτερη αξιοποίηση της τροφής στους μάρτυρες απ' ότι στα ψάρια που είχαν υποστεί ασιτία, όπως φαίνεται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11: Δείκτης FCR και η τυπική απόκλιση της κάθε ομάδας μεταχείρισης

Ομάδα	FCR	Sd
C	1,58	± 0,13
S1	1,63	± 0,01
S2	1,87	± 0,35

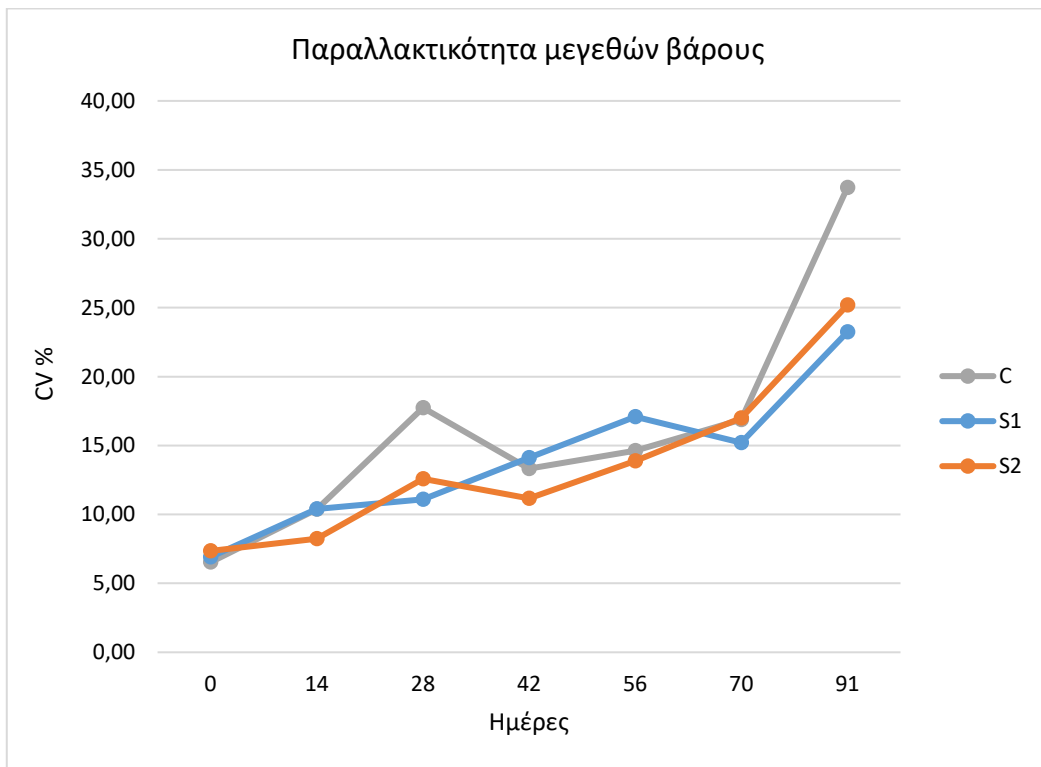
3.6 Παραλλακτικότητα μεγεθών βάρους

Η παραλλακτικότητα των μεγεθών του βάρους παρουσιάζεται στον Πίνακα 12. Παρατηρείται ότι είναι μεγαλύτερη στην ομάδα ελέγχου C ενώ οι ομάδες

μεταχείρισης S1 και S2 δεν παρουσίασαν μεταξύ τους μεγάλη διαφορά παραλλακτικότητας (Σχ. 5).

Πίνακας 12: Παραλλακτικότητα μεγεθών βάρους

Ημέρες	0	14	28	42	56	70	91
S1	6,92	10,40	11,09	14,12	17,08	15,21	23,24
S2	7,35	8,24	12,58	11,17	13,89	17,00	25,19
C	6,53	10,38	17,74	13,33	14,62	16,87	33,72



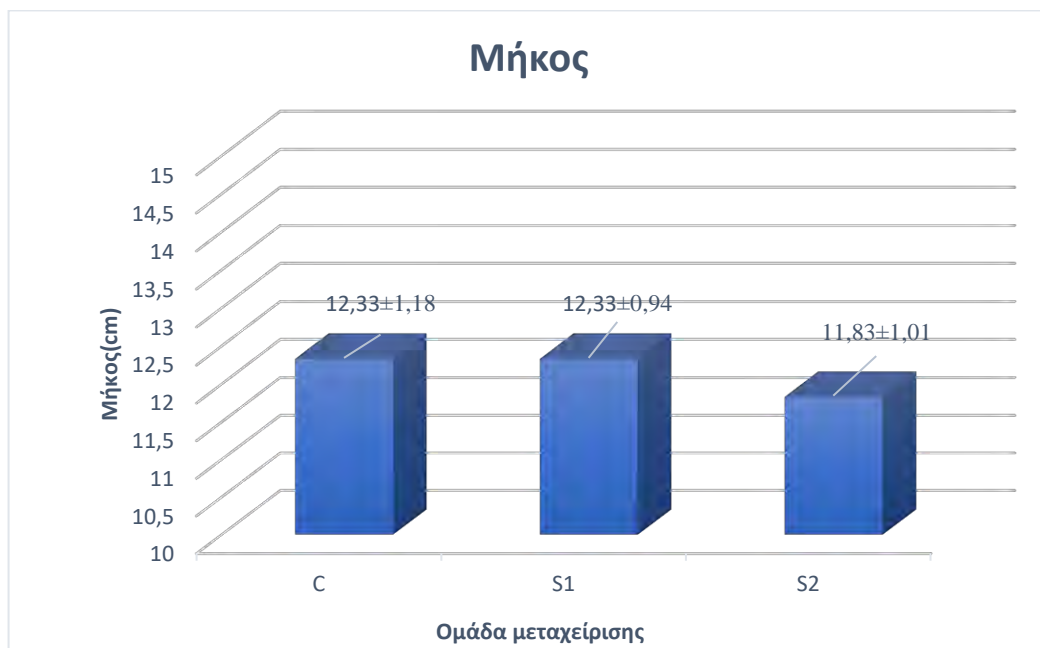
Σχήμα 5: Γραφική απεικόνιση της παραλλακτικότητας του βάρους των ιχθύων

3.7 Μήκος

Από τις μετρήσεις του μήκους των ιχθύων δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα σε καμία ομάδα μεταχείρισης.

Πίνακας 13: Μέσο μήκος και τυπική απόκλιση του μήκους των ιχθυδίων

Ομάδες	Μήκος	Sd
C	12,33	$\pm 1,18$
S1	12,33	$\pm 0,94$
S2	11,83	$\pm 1,01$



Σχήμα 6: Γραφική απεικόνιση του μέσου μήκους των ιχθυδίων σε κάθε ομάδα μεταχείρισης

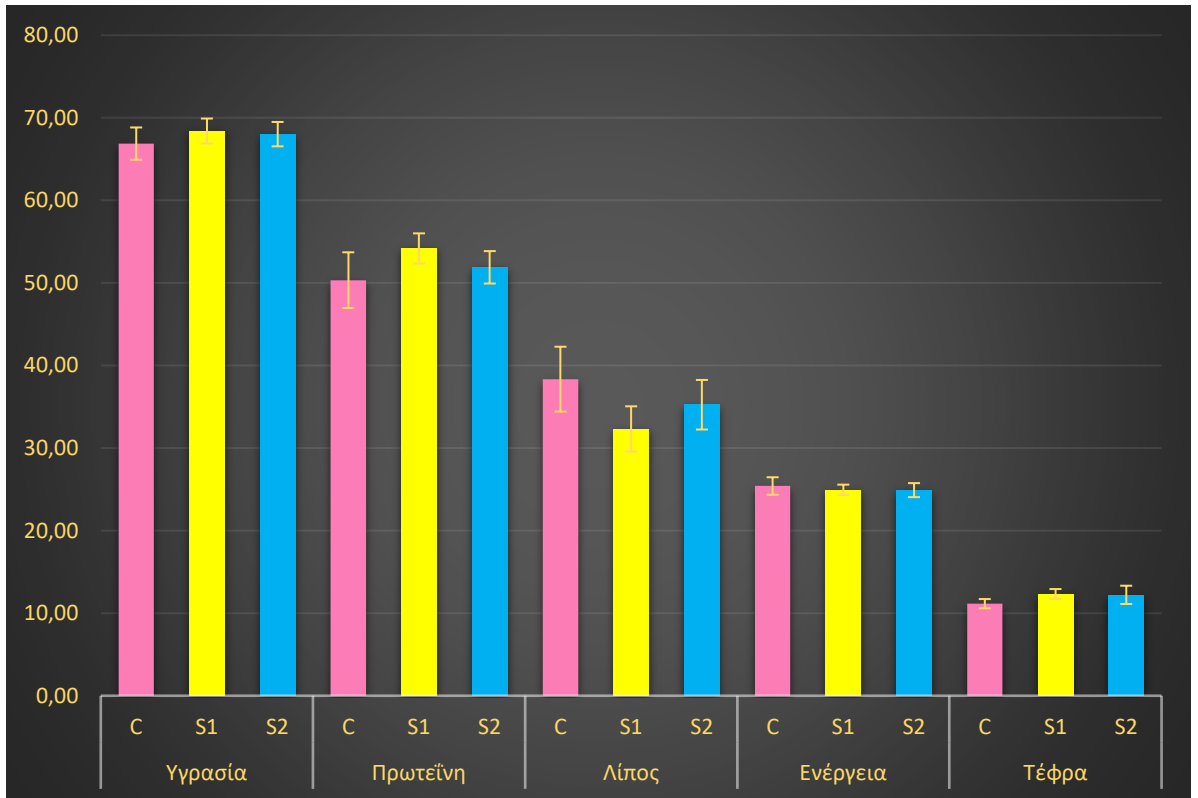
3.8 Χημικές αναλύσεις

Από τις εργαστηριακές χημικές αναλύσεις σε ολόκληρο το σώμα των δειγμάτων, προσδιορίστηκαν, η υγρασία (%) και η ξηρή ουσία (%), οι ολικές πρωτεΐνες (%), τα ολικά λίπη (%), η τέφρα (%) και η ολική ενέργεια (Kj/g), όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 14 και Σχήμα 7.

Πίνακας 14: τιμές (\pm τυπική απόκλιση) των αναλύσεων της μυϊκής σύστασης σώματος στις ομάδες μεταχείρισης και αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA)

	C	S1	S2
Υγρασία (%)	66.88 \pm 1.95	68.40 \pm 1.51	68.02 \pm 1.48
Ολικές Πρωτεΐνες (%)	50.33 \pm 3.05 ^a	54.18 \pm 1.82 ^b	51.89 \pm 1.96 ^{ab}
Ολικά Λίπη (%)	38.35 \pm 3.93 ^a	32.32 \pm 2.74 ^b	35.25 \pm 3.00 ^{ab}
Τέφρα (%)	11.15 \pm 0.56 ^a	12.32 \pm 0.60 ^b	12.22 \pm 1.11 ^b
Ολική Ενέργεια (%)	25.41 \pm 1.06	24.94 \pm 0.63	24.90 \pm 0.85

a, b: δείκτες που εμφανίζουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων (P < 0,05)



Σχήμα 7: Γραφική απεικόνιση παραμέτρων των χημικών αναλύσεων

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα μελέτη έγινε προσπάθεια να διερευνηθεί, εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το φαινόμενο της αύξησης αντιστάθμισης στην εκτροφή νεαρών ιχθυδίων τσιπούρας, προκειμένου να μειωθεί το κόστος παραγωγής. Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά πρωτόκολλα σίτισης με μια και δύο μέρες ασιτίας την εβδομάδα. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η ομάδα μεταχείρισης S1 παρουσίασε πλήρη αντιστάθμιση καθώς το μέσο βάρος των ιχθύων έφτασε στα $26,55 \pm 6,17$ g, όταν της ομάδας ελέγχου C ήταν $27,61 \pm 9,31$ g και δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά ($P > 0,05$). Αντίθετα, η ομάδα μεταχείρισης S2 είχε μερική αντιστάθμιση με το βάρος να φτάνει στα $23,61 \pm 5,95$ g και είχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($P < 0,05$) σε σχέση με το C ($P = 0,027$). Το ίδιο συμπέρασμα προέκυψε και από την ανάλυση του ρυθμού αύξησης όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα που βρέθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, έρχονται σε αντίθεση με τη μελέτη των Eroldogan *et al.* (2008) που μελέτησαν το φαινόμενο της αντιστάθμισης στο ίδιο είδος. Καθώς σε τρεις διαφορετικές ομάδες μεταχείρισης ασιτίας που μελέτησαν (α. ασιτία για μια μέρα και δύο μέρες κανονικό τάισμα, β. 50% ασιτία για δύο μέρες και δύο μέρες κανονική χορήγηση τροφής και γ. 50% ασιτία για 6 μέρες και έξι μέρες κανονική χορήγηση τροφής) διαπίστωσαν ότι σε καμία δεν παρατηρήθηκε πλήρης αντιστάθμιση.

Αναφορά για μερική αντιστάθμιση στο είδος *S. aurata* όπως επιτεύχθηκε στην ομάδα μεταχείρισης S2 της παρούσας εργασίας, γίνεται από τους Eroldogan *et al.* (2006) που προτείνουν συμμετρικούς κύκλους ασιτίας και σίτισης.

Με τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, συμφωνεί μερικώς πρόσφατη έρευνα των Ταξβοζαν *et al.* (2016) στο είδος *Oncorhynchus mykiss*, όπου αναφέρουν ότι σε ομάδες μεταχείρισης με μια και δύο μέρες ασιτίας βρέθηκε πλήρη αντιστάθμιση, ενώ δε συνέβη το ίδιο και στους ιχθύες που υπέστησαν 3 μέρες ασιτίας την εβδομάδα.

Στην πιο πρόσφατη εργασία που μελετήθηκε το φαινόμενο της αντιστάθμισης στο είδος *Oreochromis mossambicus* βρέθηκε μερική αντιστάθμιση μόνο σε ομάδα μεταχείρισης με κύκλους σίτισης δύο ημερών ασιτίας / τέσσερις ημέρες χορήγησης τροφής. Ενώ στις ομάδες με δύο ημέρες ασιτίας / δύο μέρες χορήγησης τροφής και δύο μέρες ασιτία / τρεις μέρες χορήγησης τροφής, δεν επιτεύχθηκε αντιστάθμιση (Gabriel *et al.* 2018).

Ο ειδικός ρυθμός αύξησης επίσης βρέθηκε μεταξύ του μάρτυρα και της ομάδας μεταχείρισης S1 παρόμοιος, με τιμές 3,58 και 3,54, αντίστοιχα, ενώ στην S2 βρέθηκε ελαφρά μειωμένος με την τιμή του να φτάνει 3,39. Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνονται και από το δείκτη FCR, όπου φαίνεται ότι τα ψάρια της ομάδας μεταχείρισης S2 χρειαζόταν μεγαλύτερη ποσότητα τροφής σε σχέση με τα άτομα των άλλων ομάδων για να αυξήσουν το βάρος τους. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής στην ομάδα ελέγχου C ήταν $1,58 \pm 0,13$, στην ομάδα μεταχείρισης S1 $1,63 \pm 0,01$ ενώ στην S2 $1,87 \pm 0,35$.

Ο δείκτης SGR βρέθηκε ψηλότερος στους μάρτυρες σε σχέση με τις ομάδες μεταχείρισης με ασιτία και σε προηγούμενες εργασίες που έγιναν στο είδος *S. aurata* από τους Eroldogan *et al.* (2006) και Eroldogan *et al.* (2008). Επίσης, στην μελέτη των Eroldogan *et al.* (2008) βρέθηκε ότι ο δείκτης FCR ήταν μικρότερος, όταν στα πειραματόζωα χορηγούταν τροφή 50% για δύο ημέρες και μετά σιτίζονταν κανονικά

για τις δύο επόμενες (1,12) από αυτόν του μάρτυρα (1,17), κάτι που δεν παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης.

Αντίθετα με τα αποτελέσματα αυτής της διπλωματικής εργασίας, στην μελέτη των Tasbozan *et al.* (2016) για την ιριδίζουσα πέστροφα, βρέθηκε ότι ο δείκτης SGR στις ομάδες μεταχείρισης με μια και δύο μέρες ασιτίας την εβδομάδα, ήταν ψηλότερος από του μάρτυρα, καθώς επίσης και ο δείκτης FCR παρουσίασε καλύτερες τιμές.

Από τα αποτελέσματα του μήκους της μεταπτυχιακής εργασίας, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών ομάδων που μελετήθηκαν, καθώς τα άτομα ελέγχου C μετά από 91 μέρες εκτροφής είχαν μήκος $12,33 \pm 1,18$ cm. Τα άτομα της S1 που είχαν υποστεί μια μέρα ασιτία εβδομαδιαία είχαν ίδιο μέγεθος με την ομάδα ελέγχου C $12,33 \pm 0,94$ cm και τα άτομα της S2 με τις δύο μέρες ασιτία είχαν λίγο μικρότερο μήκος $11,83 \pm 1,01$ cm.

Από τις εργαστηριακές χημικές αναλύσεις του σώματος των δειγμάτων, προσδιορίστηκαν, η υγρασία, οι ολικές αζωτούχες ουσίες, οι ολικές λιπαρές ουσίες, η ολική ενέργεια και η τέφρα, βάσει των εργαστηριακών πρωτοκόλλων.

Η περιεκτικότητα της υγρασίας στο σώμα των ιχθύων δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($P > 0,05$) σε όλες τις ομάδες μεταχείρισης. Ο προσδιορισμός της πρωτεΐνης στην ομάδα ελέγχου C έδειξε ότι υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($P < 0,05$) με τη μεταχείριση S1 αλλά όχι ($P > 0,05$) με τη μεταχείριση S2. Η S1 και η S2 δεν είχαν μεταξύ τους στατιστικά σημαντική διαφορά ($P > 0,05$). Το λίπος της μεταχείρισης C είχε στατιστικά σημαντική διαφορά ($P > 0,05$) με την S1 αλλά όχι ($P < 0,05$) με την S2. Η S1 και η S2 δεν είχαν μεταξύ τους στατιστικά σημαντική διαφορά ($P > 0,05$). Ο προσδιορισμός της ενέργειας έδειξε ότι ήταν ίδια σε όλες τις

μεταχειρίσεις. Στον προσδιορισμό της τέφρας η ομάδα ελέγχου C ήταν χαμηλότερη από τις ομάδες μεταχείρισης S1 και S2.

Η δοκιμαζόμενη συχνότητα ασιτίας (1 ή 2 ημέρες) δεν διαφοροποίησε τη θρεπτική σύσταση του σώματος των ιχθύων. Η επίδραση της ασιτίας αύξησε την περιεκτικότητα σε ολικές πρωτεΐνες και την τέφρα των ιχθύων συγκριτικά με τα ιχθύδια που σιτίζονταν καθημερινά. Αντίθετα, η ασιτία οδήγησε σε μειωμένη περιεκτικότητα σε λίπος των ιχθύων συγκριτικά με τα ιχθύδια που σιτίζονταν καθημερινά.

Η μείωση της λιποπεριεκτικότητας των υπό ασιτία ιχθύων προφανώς οφείλεται στην αξιοποίηση, και δη στον καταβολισμό, των λιπιδικών σωματικών αποθεμάτων των ιχθύων αυτών, προκειμένου να ανακτήσουν τη μεταβολική τους ενέργεια για τη συντήρηση του σωματικού τους βάρους, αν και από ότι βρέθηκε τα ιχθύδια αυτά είχαν μια μικρή μείωση του σωματικού τους βάρους, ιδιαίτερα της ασιτίας των 2 ημερών.

Η ενέργεια ήταν παρόμοια μεταξύ των ομάδων διότι η ομάδα ελέγχου αν και είχε ψηλότερο λίπος παράλληλα είχε μειωμένη πρωτεΐνη και αυτό εξισορρόπησε τη συνολική ενεργειακή αξία τους.

Επίσης, τα υπό ασιτία ιχθύδια είχαν αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Αυτό δείχνει ότι τα ιχθύδια αυτά διατηρούν τις πρωτεΐνες του σώματος με την αύξηση αυτών πιθανώς να οφείλεται στην αντίστοιχη μείωση της εκατοστιαίας λιποπεριεκτικότητάς τους.

Τα αποτελέσματα που βρέθηκαν επιβεβαιώνονται από προηγούμενες εργασίες καθώς έχει αποδειχθεί, ότι οι ιχθύες χρησιμοποιούν τα λιπίδια ως πηγή ενέργειας

στις περιόδους ασιτίας (Wang *et al.* 2009, Liu *et al.* 2011, Tasbozan *et al.* 2016). Σε πρόσφατη έρευνα που έγινε σε νεαρά ιχθύδια ιρίδουζας πέστροφας από τους Tasbozan *et al.* (2016), αναφέρθηκαν παρόμοια αποτελέσματα με την παρούσα μελέτη, καθώς αποδείχθηκε ότι στα ιχθύδια που είχαν υποστεί ασιτία, υπήρξε μείωση των λιπιδίων και αύξηση των πρωτεϊνών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ιχθύδια του είδους *S. aurata*, μετά από σύντομη περίοδο ασιτίας είναι δυνατόν να προσεγγίσουν σε μέγεθος αυτά που τρέφονται καθημερινά. Τα αποτελέσματα της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, έδειξαν ότι υπάρχει πλήρης αντιστάθμιση στην ομάδα μιας ημέρας ασιτίας και μερική στην ομάδα που είχε υποστεί δύο ημέρες ασιτίας την εβδομάδα. Ενισχύει έτσι την επιστημονική άποψη για τη χρήση της ασιτίας ως μέσο επίτευξης του επιδιωκόμενου στόχου της υδατοεκτροφής για μείωση του κόστους παραγωγής με ταυτόχρονη προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος.

Επίσης από τις χημικές αναλύσεις που έγιναν δεν βρέθηκαν μεγάλες διαφορές ως προς τη σύσταση του σώματος με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η διατροφική αξία των ιχθυδίων. Άρα, είναι δυνατόν υπό συνθήκες, να εφαρμοσθούν πρωτόκολλα ασιτίας στις ιχθυοκαλλιέργειες, προκειμένου να μειωθεί το κόστος παραγωγής των ιχθύων. Αυτό όμως για να επιτευχθεί με τη μέγιστη αποδοτικότητα, θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω μελέτες για να προσδιοριστεί ακριβώς ποιο είναι το ιδανικότερο πρωτόκολλο ασιτίας, καθώς επίσης να πραγματοποιηθούν και οικονομικές μελέτες για να προσδιοριστεί πως θα υπάρχει μεγαλύτερη κερδοφορία στις εταιρείες ιχθυοκαλλιεργειών, αλλά και μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τη μείωση του ποσοστού διαφυγούσης τροφής και των υπολειμμάτων της.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη Βιβλιογραφία

- Ali M., Nicieza A., Wootton R.J. (2003) Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and Fisheries*, 4: 147-190.
- AOAC (1990) Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis (15th edition) (ed. By K.Herlich). AOAC, Arlington, VA, USA.
- AOAC (1995) Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, (16th edition) AOAC, Arlington, VA, USA.
- Beyer J. E., Laurence G. C. (1980) A stochastic model of larval fish growth. *Ecological Modelling*, 8: 109-132.
- Bilton H.T., Robins G.L. (1973) The effects of starvation and subsequent feeding on survival and growth of Fulton Channel Sockeye Salmon fry (*Oncorhynchus nerka*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30: 1-5.
- Blanquet I., Oliva-Teles A. (2010) The effect of feed restriction on performance of turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles under commercial rearing conditions. *Aquaculture Research*, 41(8): 1255-1260.
- Brown M.E. (1957) Experimental studies on growth. In: Brown M.E. (Ed.) *The Physiology of Fishes*. I. Academic Press, New York, p 361-400.
- Chambers R.C., Legget W.C., Brown J. A. (1988) Variation in and among early life history traits of laboratory-reared winter flounder (*Pseudopleuronectes*

- americanus*). Marine Ecology Progress Series, 47:1-15.
- Chatakondi N.G., Yant R.D. (2001) Application of compensatory growth to enhance production of channel catfish *Ictalurus punctatus*. Journal of the World Aquaculture Society, 32:278–285.
- Cowey C.B. (1993) Some effects of nutrition on flesh quality. In: Kaushik S.J., Luquet P. (eds) Fish Nutrition in Practise. INRA, Paris, p. 227-236.
- Damsgard B., Arnesen A.M. (1998) Feeding, growth and social interactions during smolting and seawater acclimation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Aquaculture, 168: 7-16
- Drevon C.A. (1992) Marine oils and their effects. Nutrition Reviews, 50: 21-29.
- Eroldoğan O.T., Kumlu M., Kiriş G.A., Sezer B. (2006) Compensatory growth response of *Sparus aurata* following different starvation and refeeding Protocols. Aquaculture Nutrition, 12(3): 203-210.
- Eroldoğan O.T., Taşbozan, O., Tabakoğlu, S., (2008) Effects of Restricted Feeding Regimes on Growth and Feed Utilization of Juvenile Gilthead Sea Bream, *Sparus aurata*. Journal of World Aquaculture Society, 39 (2): 267-274.
- FAO (2016) The State of World Fisheries and Aquaculture
- Foss A., Imsland A.K. (2002) Compensatory growth in the spotted wolffish *Anarhichas minor* (Olafsen) after a period of limited oxygen supply. Aquaculture Research, 33: 1097-1101.
- Frimodt C. (1995) Multilingual illustrated guide to the world's commercial warm water fish. Fishing News Books, Osney Mead, Oxford, England. p.215.

- Fukuhara O. (1983) Development and growth of laboratory reared *Engraulis japonica* (Houttuyn) larvae. *Journal of Fish Biology*, 23: 641-652.
- Grima L., Quillet E., Le Guillou S., Mambrini M. (2007) Compensatory growth performance testing of clonal rainbow trout lines. *Aquaculture*, 272: S263–S264.
- Gabriel N.N., Omoregie E., Martin T., Kukuri L., Shilombwelwa L. (2018) Compensatory growth response in *Oreochromis mossambicus* submitted to short-term cycles of feed deprivation and refeeding. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18: 161-166.
- Hayward R.S., Notie D.B., Wang N. (1997) Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. *Transactions of American Fisheries Society*, 126: 316-322
- Hayward R.S., Wang N., Noltie D.B. (2000) Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish. *Aquaculture*, 183: 299-305.
- Hayward R.S., Wang N. (2001) Failure to induce over-compensation of growth in maturing yellow perch. *Journal of Fish Biology* 59: 126–140.
- Jobling M. (2001) Nutrient Partitioning and the influence of feed composition on body composition. In: Houlihan D., Boujard T., Jobling M. (eds) *Food Intake in Fish*. Blackwell Science, p 366.
- Jobling M., Koskela J. (1996) Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in subsequent period of compensatory growth. *Journal of Fish Biology*, 49: 658-667.
- Jobling M., Meloy O.H., dos Santos J., Christiansen B. (1994) The compensatory

growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history. *Aquaculture International*, 2: 75-90.

Jobling M., Jorgensen E.H. and Siikavuopio S.I. (1993) The influence of previous feeding regimes on the compensatory growth response of maturing and immature Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology* 43: 409 –419.

Kim M.K., Lovell R.T. (1995) Effect of restricted feeding regimes on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds. *Aquaculture*, 135: 285 – 293.

Krogdahl Å., Bakke-McKellep A.M. (2005) Fasting and refeeding cause rapid changes in intestinal tissue mass and digestive enzyme capacities of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Comparative Biochemistry & Physiology*, 141A: 450-460.

Lands W.E.M. (1992) Biochemistry and physiology of n-3 fatty acids. *FASEB Journal*, 6: 2530-2536.

Lawrence A., Hemingway K.I. (2003) *Effects of Pollution on Fish*. Blackwell, Oxford.

Liu W., Wei Q.W., Wen H., Jiang M., Wu F., Shi Y. (2011) Compensatory growth in juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*): effects of starvation and subsequent feeding on growth and body composition. *Journal of Applied Ichthyology*, 27: 749- 754.

Maclean A., Metcalfe N.B. (2001) Social status, access to food and compensatory growth in juvenile Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, 58: 1331-1346.

- Mengoli A. (1994) Qualita Nutrizionali del muscolo di Pesce (Nutritional qualities of fish muscle). *Industrie Alimentari*, XXXIII, 1221-1228.
- Nakamura N., Kasahara S. (1955) A study on the phenomenon of the Tobi-Koi or shoot carp. I. On the earliest stage at which the shoot carp appears. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 21: 73-76.
- Nicieza A.G., Metcalfe N.B. (1997) Growth compensation in juvenile Atlantic salmon: Responses to depressed temperature and food availability. *Ecology*, 78(8): 2385-2400.
- Oh S.Y., Noh C.H., Cho S.H. (2007) Effect of restricted feeding on compensatory growth and body composition of red sea bream, *Pagrus major*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38: 443 – 449.
- Oliva-Teles A. (2000) Recent advances in European sea bass and gilthead sea bream nutrition. *Aquaculture International*, 8: 477–492.
- Purchase C.F., Brown J.A. (2001) Stock-specific changes in growth rates, food conversion efficiencies, and energy allocation in response to temperature change in juvenile Atlantic cod. *Journal of Fish Biology*, 58: 36-52.
- Purdom C.E. (1974) Variation in fish. In: Harden Jones F.R. (Ed.) *Sea Fisheries Research*. Elek Science, London, p 347-355.
- Purdom C.E., Jones A., Lincoln R.F. (1972) Cultivation trials with turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 1: 213-230.
- Quinton J.C., Blake R.W. (1990) The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Fish Biology*, 37: 33-41.

- Ricker W.E. (1958) Handbook of computations for biological statistics of fish populations. Journal of the Fisheries Research Board of Canada no119, p 300.
- Riska B., Atchley W.R., Rutledge J.J. (1984) A genetic-analysis of targeted growth in mice. Genetics, 107: 79-101.
- Ryan W.J. (1990) Compensatory growth in cattle and sheep. Nutritional Abstract Review of Series B, 60: 653-664.
- Saether B.S., Jobling M. (1999) The effects of ration level on feed intake and growth, and compensatory growth after restricted feeding, in turbot (*Schophthalmus maximus* L.). Aquaculture Research, 30: 647–653
- Schwarz F.J., Plank J., Kirchgessner M. (1985) Effects of protein or energy restriction with subsequent realimentation on performance of carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture, 48: 23-33.
- Sevgili H., Hoşsu B., Emre Y., Kanyılmaz M. (2013) Effect of various of single phase starvation on compensatory growth in rainbow trout under summer conditions (*Oncorhynchus mykiss*). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 13: 465-477.
- Skalski G.T., Pich M.E., Gilliam J.F., Borski R.J. (2005) Variable intake, compensatory growth, and increased growth efficiency in fish: models and mechanisms. Ecology, 86(6): 1452–1462.
- Taşbozan O., Gökçe M.A., Erbaş C., Özcan F., Adaklı A., Tabakoğlu Ş.S. (2014) Effect of different feeding regimes on compensatory growth and body composition of rainbow trout fed with lipid and high protein diet.

Aquaculture Europe 2014 - Donostia–San Sebastián, Spain

- Taşbozan O., Emre Y., Gökçe M.A., Erbaş C., Özcan F., Kıvrak E. (2016) The effects of different cycles of starvation and re-feeding on growth and body composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792). *Journal of Applied Ichthyology*, 32(3): 583-588.
- Tian X., Qin J.G. (2004) Effects of previous ration restriction on compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 235: 273-283.
- Turkmen S., Eroldogan O., Yılmaz A., Olculu A., Inan A., Ercen Z., Tekelioğlu N. (2011) Compensatory growth response of European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) under cycled starvation and restricted feeding rate. *Aquaculture Research*, 43(11):1643-1650.
- Van Ham E.H., Berntssen M.H.G., Imsland A.K., Parpoura A.C., Bonga S.E.W., Stefansson S.O. (2003) The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 217: 547-558.
- Wang y., Li C., Qin J.G., Han H. (2009) Cyclical feed deprivation and refeeding fails to enhance compensatory growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus L.* *Aquaculture Research*, 40: 204-210.
- Weatherley A.H., Gill H.S. (1981) Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology*, 18: 195-208
- Wieser W., Krumschnabel G., Ojwang-Okwor J.P. (1992) The energetics of starvation and growth after refeeding in juveniles of three cyprinid species.

Environmental Biology of Fishes, 33: 63-71.

Wilson P.N., Osbourn D.F. (1960) Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds. *Biological Review*, 35: 324-363.

Wu L., Xie S., Cui Y., Wootton R.J. (2003) Effect of cycles of feed deprivation on growth and food consumption on immature three-spined sticklebacks and European minnows. *Journal of Fish Biology*, 62: 184–194.

Zhu X., Cui Y., Ali M., Wootton R.J. (2001) Comparison of compensatory growth responses of juvenile three-spined stickleback and minnow following similar food deprivation protocols. *Journal of Fish Biology*, 58: 1149-1165.

Zhu X., Wu L., Cui Y., Yang Y., Wootton R.J. (2003) Compensatory growth in three-spined stickleback in relation to feed-deprivation protocols, *Journal of Fish Biology*, 62: 195-205.

Zivkov M.T. (1982) On the effect and nature of growth compensation of fish. *Vestnik Ceskoslovenske Spolecnosti Zoologicke*, 46: 142-160.

Ελληνική Βιβλιογραφία

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

Κλαουδάτος Δ. Σ., Κλαουδάτος Σ. Δ, (2012) Καλλιέργειες φυτικών και εκτροφές υδρόβιων ζωϊκών οργανισμών. Εκδόσεις Προπομπός, Αθήνα, σελ. 230

Νεοφύτου Χ.Ν. (2015) Βιολογία Ιχθύων & θαλάσσιων θηλαστικών. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 184

Μακρυβέλιος Κ. (2007) Η αύξηση αντιστάθμισης σε άτομα τσιπούρας (*Sparus aurata*). Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Βόλος.

Πανταρίδης Κ. (2005) «Διερεύνηση του φαινομένου της αντιστάθμισης στην εντατική εκτροφή της τσιπούρας (*Sparus aurata*). Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Βόλος.

Παπαναστασίου Δ.Π. (1976) Αλιεύματα, τόμος Β, εκδόσεις ΙΩΝ. Αθήνα, σελ 429, 458

Παπουτσόγλου Σ. Ε. (2008) Διατροφή ιχθύων. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ. 846.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

FAO (2018)a http://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/usr/local/tomcat/8.5.16/figis/webapps/figis/temp/hqp_6321297940327748851.xml&outtype=html

FAO (2018)b http://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/usr/local/tomcat/8.5.16/figis/webapps/figis/temp/hqp_2468017310019765759.xml&outtype=html

FAO (2018)c http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sparus_aurata/en

Ελληνική Στατιστική Αρχή, <http://www.statistics.gr>

7. ABSTRACT

Aquaculture is an important part of the world's primary production and economy. Sea bream constitutes a little over half of the total proportion of farmed fish in Greece, with a yielded nearly 50,000 tons a year. Therefore, it is imperative to find out ways to reduce the cost of production.

This master thesis has focused in investigating the phenomenon of increasing compensation for intensive rearing of sea bream (*Sparus aurata* (L.)) juveniles, in terms of growth and chemical muscle composition, in a closed water circulation system, according to the established feeding protocol. The objective of this study is to encourage application of this practice to aquaculture, reducing production costs and consequently reducing the environmental impact of rearing in the aquatic environment.

180 gilt-head sea bream individuals with an average weight of 4.5 ± 0.52 g and average of length 7 ± 0.51 cm, were used for this study, placed in six 120 L aquariums (30 fish in aquarium each). The culture was carried out in a closed water circuit, with a mechanical-biological filter and continuous oxygen supply. Experimental conditions were: salinity 30 psu, dissolved oxygen ≥ 5 mg / l, temperature 21 ± 0.5 °C and pH 7.5 ± 0.5 .

The duration of the experiment was 13 weeks, with each treatment having two replications. Weight measurements were taken every 14 days. The first ten weeks, juveniles were fed as the feed protocol recommended and for the next three weeks all treatments were fed at libitum to determine any compensation achieved. The experimental fish population was randomly divided into three groups and fed twice daily: Group 1 control group (C), Group 2 with one day of starvation weekly (S1),

and Group 3 with two days of starvation weekly (S2). At the end of the experiment, laboratory chemical analyses of fish tissue for moisture and dry matter, total nitrogen (Kjeldahl distillation method), total fat (Soxhlet extraction method), total energy (via an adiabatic calorimeter) and ash (via an incinerator), based the laboratory protocols were conducted. After 91-day sampling it was determined that body weight of S1 had increased to 26.55 ± 6.17 g, approaching the growth rate of the control group, which was 27.61 ± 9.31 g and there was no significant statistical difference between them ($P > 0.05$).

Statistical significant difference ($P < 0.05$) was found between the control group and group S2, as S2 had gained less weight (23.61 ± 5.95 g). SGR index was highest in the control group with a value of 3.58 ± 0.01 , relative to treatments S1 and S2, which had values of 3.54 ± 0.05 and 3.39 ± 0.18 respectively. The FCR index, appeared as expected lower in the control group (1.58 ± 0.13), relative to groups S1 and S2, with values of 1.63 ± 0.01 and 1.87 ± 0.35 respectively.

From laboratory chemical analyzes and their processing using the ANOVA statistical method, it was found that the moisture content in the body of the samples did not have a statistical significant difference in all treatments. Protein and Fat content in the control group, had a statistical significant difference with group S1 but not with group S2, while groups S1 and S2 did not have a statistical significant difference between them. Energy was the same in all treatments, and Ash content was only lower in the control group.

In conclusion, full compensation was achieved in the S1 treatment, as the weight of S1 tended to be the same as that of the control group, while S2 achieved partial compensation. Chemical analyses yielded no statistical differences in body

composition, denoting that the nutritional value of the *S. aurata* juveniles was not affected. Therefore, starvation protocols can be applied to fish farms conditionally, in order to reduce the cost of fish culture. However, in order to achieve maximum efficiency, it is recommended that more studies should be carried out to determine the most effective protocol of starvation. Furthermore, economic studies must be conducted to determine greater profitability for fish farming companies and to reduce the environmental impact from fish feed residues.

Keywords: *Sparus aurata*, hedging increase, intensive rearing