

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΥΔΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΣΕ ΟΞΥ STRESS
ΤΟΥ ΛΑΒΡΑΚΙΟΥ (*Dicentrarchus labrax*)
ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ
ΧΡΩΜΑΤΟΣ (ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ) ΦΩΤΟΣ**

ΚΑΤΣΑΚΟΥΛΗΣ Ν. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή:

Δεληγιώργης Σ. Καθηγητής

Καρακατσούλη Ν. Επ. Καθηγήτρια

Μήλιου Ε. Επ. Καθηγήτρια

Παπουτσόγλου Σ.Ε. Καθηγητής

Χαδιώ Σ. Αν. Καθηγήτρια

Αθήνα, Ιανουάριος 2010

Στους γονείς μου
Νικόλαο & Ειρήνη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στα πρόσωπα που συντέλεσαν στην πραγματοποίηση της παρούσας διατριβής.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Καθηγητή κ. Σωφρόνιο Ε. Παπουτσόγλου για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου κατά την εισαγωγή μου στο πρόγραμμα των Μεταπτυχιακών σπουδών.

Ιδιαίτερος, θα ήθελα να ευχαριστήσω, την Επίκουρο Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Υδροβιολογίας και επιβλέπουσα της παρούσας μελέτης κ. Καρακατσούλη Ναυσικά καθώς και το Λέκτορα κ. Ευστράτιο Σ. Παπουτσόγλου, για την πολύτιμη και ανεκτίμητη συμβολή της, τόσο κατά τη διάρκεια του πειραματικού μέρους και των εργαστηριακών αναλύσεων, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας διατριβής.

Ευχαριστώ την Επίκουρο Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Υδροβιολογίας κ. Μήλιου Ελεάνα, για τις πολύτιμες υποδείξεις της κατά τη διόρθωση της διατριβής.

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω τους τεχνικούς του εργαστηρίου κ. Βρεττό Ξενοφόντα και κ. Κωνσταντίνου Γεώργιο για την υπομονή και την σημαντική συμβολή τους (τεχνική και πνευματική) στην ομαλή διεξαγωγή του πειράματος και των αναλύσεων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φοιτητές που βοήθησαν σε μεγάλο ή μικρότερο βαθμό, στην επιτυχή έκβαση της παρούσας διατριβής. Ιδιαίτερος ευχαριστώ το Διδακτορικό πλέον φοιτητή Γιάτση Χρήστο, για τη συμμετοχή του τόσο κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για στήριξη και την αμέριστη συμπαράσταση που δείχνει σε όλες μου τις αποφάσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A/A	Τίτλος	Σελίδα
A	Περίληψη	1
B	Abstract	3
Γ	Θεωρητικό Μέρος	4
1	Εισαγωγή	4
1.1	Η διείσδυση του φωτός στη στήλη του νερού	4
1.2	Ο οφθαλμός ως αισθητήριο όργανο	9
1.2.1	Ανατομία του οφθαλμού	9
1.2.2	Οι οπτικές (φωτοευαίσθητες) χρωστικές των ιχθύων	14
1.2.3	Η λειτουργία του οφθαλμού	18
1.3	Η επίδραση του φωτός στους ιχθύς	20
1.3.1	Η επίδραση της φωτοπεριόδου στους ιχθύς	21
1.3.2	Η επίδραση της έντασης φωτός στους ιχθύς	22
1.3.3	Η επίδραση του φάσματος φωτός στους ιχθύς	22
1.4	Stress και η αντίδραση των ιχθύων	29
1.4.1	Οξύ και χρόνιο stress	30
1.4.2	Παράγοντες που προκαλούν καταστάσεις stress	30
1.4.3	Εμφάνιση stress κατά την ελεγχόμενη εκτροφή ιχθύων	31
1.4.4	Οι μεταβολές στη φυσιολογία των ιχθύων λόγω του οξέος stress	33
1.4.5	Προσπάθειες που έχουν καταβληθεί για ελαχιστοποίηση των συνεπειών του stress	35
1.5	Το ευρωπαϊκό λαβράκι (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	43
1.5.1	Γενικά	43

1.5.2	Περιβάλλον διαβίωσης	45
1.5.2.1	Συνθήκες διαβίωσης και εκτροφής	45
1.5.2.2	Η διατροφή του λαβρακιού στο φυσικό περιβάλλον και στην εκτροφή	46
1.5.3	Η εκτροφή του ευρωπαϊκού λαβρακιού	46
1.5.3.1	Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η εκτροφή του λαβρακιού	47
1.6	Ο σκοπός της παρούσας εργασίας	50
Δ	Πειραματικό μέρος	52
2	Υλικά και μέθοδοι	52
2.1	Πειραματόζωα και πειραματικός σχεδιασμός	52
2.2	Πειραματικές εγκαταστάσεις: περιγραφή του συστήματος και των πειραματικών δεξαμενών	53
2.3	Οι πραγματοποιούμενες επεμβάσεις	53
2.3.1	Καθημερινές επεμβάσεις	54
2.3.1.1	Η χορήγηση της τροφής	54
2.3.1.2	Μέτρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού	55
2.3.1.3	Λήψη και ανάλυση των δειγμάτων του νερού	55
2.3.2	Περιοδικές επεμβάσεις	56
2.3.2.1	Μέτρηση έντασης φωτός	56
2.3.2.2	Ζύγισμα ιχθυοπληθυσμών	56
2.3.2.3	Καθαρισμοί	57
2.4	Η εφαρμογή του οξέος stress	57
2.5	Μετρήσεις και αναλύσεις στους ιχθυοπληθυσμούς	57
2.6	Παράμετροι που υπολογίστηκαν	59
2.6.1	Δείκτες ανάπτυξης	59

2.6.2	Δείκτες αξιοποίησης των συστατικών της τροφής (Λιπών και Πρωτεϊνών)	59
2.6.3	Οι οργανοσωματικοί δείκτες	60
2.6.4	Βιομετρικά χαρακτηριστικά πεπτικού συστήματος	60
2.6.5	Παράμετροι εκτίμησης της ενζυμικής δραστηριότητας του πεπτικού σωλήνα	61
2.7	Στατιστική επεξεργασία	62
3	Αποτελέσματα	63
3.1	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού	63
3.2	Χαρακτηριστικά ανάπτυξης	64
3.2.1	Ζων βάρος	64
3.2.2	Σωματομετρήσεις	65
3.2.3	Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR: Specific Growth Rate)	65
3.2.4	Εκατοστιαία αύξηση του ζώντος βάρους (% WG: Weight Gain)	65
3.3	Δείκτες αξιοποίησης της τροφής και των συστατικών της	66
3.3.1	Συντελεστής εκμετάλλευσης της τροφής (FCR: Feed Conversion Ratio)	66
3.3.2	Δείκτης απόδοσης των καταναλωθεισών πρωτεϊνών της τροφής (PER: Protein Efficiency Ratio)	66
3.3.3	Δείκτης απόδοσης των καταναλωθεισών λιπαρών ουσιών της τροφής (LER: Lipid Efficiency Ratio)	67
3.3.4	Συντελεστές του επιπέδου των παραχθεισών πρωτεϊνών και λιπαρών ουσιών	67
3.4	Χημική σύσταση του σώματος των ιχθύων	68
3.5	Οργανοσωματικοί δείκτες	69
3.6	Αιματολογικές παράμετροι	70

3.7	Βιομετρικά χαρακτηριστικά πεπτικού συστήματος	72
3.8	Πεπτικά ένζυμα	74
3.8.1	Η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών στα τμήματα του πεπτικού σωλήνα	74
3.8.1.1	Η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών στο στόμαχο των ιχθύων	74
3.8.1.2	Η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών στα πλωρικά τυφλά των ιχθύων	75
3.8.1.3	Η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του εντέρου των ιχθύων	78
3.8.1.4	Η συνολική ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών στα πλωρικά τυφλά και στο έντερο των ιχθύων	80
3.8.1.5	Η συνολική ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του πεπτικού σωλήνα των ιχθύων	82
3.8.1.6	Η εκατοστιαία συμμετοχή της πεπτικής ικανότητας των πρωτεασών των τμημάτων του πεπτικού σωλήνα, στη συνολική πεπτική ικανότητα των πρωτεασών του	83
3.8.2	Η ενζυμική δραστηριότητα των καρβοϋδρασών στα διάφορα τμήματα και στο σύνολο του πεπτικού σωλήνα	84
3.8.2.1	Η εκατοστιαία συμμετοχή της πεπτικής ικανότητας των καρβοϋδρασών των τμημάτων του πεπτικού σωλήνα στη συνολική πεπτική ικανότητά του	87
4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	88
Ε	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΣΕ ΟΞΥ STRESS ΤΟΥ
ΛΑΒΡΑΚΙΟΥ (*Dicentrarchus labrax*) ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ (ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ) ΦΩΤΟΣ**

ΚΑΤΣΑΚΟΥΛΗΣ Ν. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

*Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής και Υδατοκαλλιεργειών
Εργαστήριο Εφηρμοσμένης Υδροβιολογίας, Ιερά Οδός 75, Αθήνα, 118 55,
email: p.katsakoulis@gmail.com*

Περίληψη

Το Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) είναι ένα από τα πιο δημοφιλή και εμπορικά σημαντικά είδη της Μεσογείου. Έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση διαφορετικού μήκους κύματος φωτός επηρεάζει την ηθολογία διαβίωσης και διατροφής των ιχθύων και η χρήση αυτή μπορεί εύκολα να ελεγχθεί σε εγκαταστάσεις εκτροφής εσωτερικού χώρου. Παράλληλα, καταστάσεις οξέος stress δεν απουσιάζουν κατά τη διάρκεια εκτροφής των ιχθύων, με το λαβράκι να εμφανίζει αυξημένη ευαισθησία έχοντας ως αποτέλεσμα μεγάλο μεγέθους οικονομικές απώλειες για τον παραγωγό. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της αντίδρασης ατόμων λαβρακιού σε οξύ stress περιορισμού, με τη χρήση διαφορετικού μήκους κύματος φωτός. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ομοιογενείς πληθυσμοί λαβρακιού, μέσου αρχικού βάρους $130,9 \pm 0,44$ g (αρχική πυκνότητα $6,07$ kg/m³), οι οποίοι διατηρήθηκαν σε ημίκλειστο σύστημα νερού (ένταση φωτός 350 lux, φωτοπερίοδος 12Φ:12Σ) υπό την επίδραση κυανού (480 nm) ή λευκού (πλήρες) φάσματος φωτός για χρονικό διάστημα 63 ημερών. Στο τέλος της πειραματικής περιόδου, και για κάθε επέμβαση φωτός, οι ιχθύες είτε υποβλήθηκαν σε οξύ stress περιορισμού μιας ώρας, είτε όχι (μάρτυρες). Η επίδραση διαφορετικού φάσματος φωτός δεν προκάλεσε καμία διαφοροποίηση στην ανάπτυξη, στην επιβίωση και στην εκμετάλλευση της τροφής. Οι ιχθύες που υποβλήθηκαν σε οξύ stress εμφάνισαν τυπική μεταβολή των αιματολογικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την αντίδραση των ιχθύων στο οξύ stress (αύξηση της κορτιζόλης, της γλυκόζης, του αιματοκρίτη και της ωσμωμοριακότητας). Μεγαλύτερη αύξηση των επιπέδων της κορτιζόλης στο πλάσμα παρατηρήθηκε κατά την αντίδραση των ιχθύων σε οξύ stress υπό το κυανό φάσμα φωτός, σε σύγκριση με το λευκό. Η μεγαλύτερη αύξηση της κορτιζόλης στο κυανό φάσμα, δεν προξένησε διαφοροποίηση των υπολοίπων αιματολογικών παραμέτρων. Τα επίπεδα των τριακυλγλυκεριδίων στους μάρτυρες του κυανού φάσματος ήταν υψηλότερα απ' ό,τι στο λευκό, τα οποία όμως δεν αυξήθηκαν μετά το stress, μεταβολή που παρατηρήθηκε στο λευκό. Επιπλέον, κατά την επίδραση οξέος stress διαπιστώθηκε μείωση του ποσοστού υγρασίας του σώματος, μείωση του βάρους του στομάχου και των πυλωρικών τυφλών και επιμήκυνση του εντέρου, ανεξαρτήτως του χρησιμοποιούμενου φάσματος φωτός. Εκτιμώντας την φυσιολογική κατάσταση των ιχθύων τόσο πριν όσο και κατά την αντίδραση στο οξύ stress, μπορεί να θεωρηθεί ότι η χρήση του κυανού φάσματος δεν έχει κάποια αρνητική επίπτωση στον οργανισμό, ενώ οι μεταβολές ορισμένων δεικτών (τριακυλγλυκερίδια) αποτελούν ένδειξη αυξημένης ετοιμότητας των ιχθύων για την αντιμετώπιση δυσμενών καταστάσεων. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας ο-

δηγούν στο συμπέρασμα ότι η χρήση διαφορετικού μήκους κύματος φωτός προκαλεί διαφοροποίηση της αντίδρασης του λαβρακιού στο οξύ stress. Η μελέτη της επίδρασης του διαφορετικού φάσματος φωτός σε συνδυασμό με άλλες συνθήκες φωτισμού και εκτροφής ενδεχομένως να εμφανίσουν πιο ξεκάθαρα αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά: Λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), Φάσμα φωτός, Οξύ stress, Κορτιζόλη, Συνθήκες εκτροφής

**Effects of light spectrum on stress response of sea bass
(*Dicentrarchus labrax*) under recirculating system conditions**

KATSAKOULIS N. PANAGIOTIS

***Department of Applied Hydrobiology, Faculty of Animal Science, Agricultural
University of Athens, Iera Odos 75, 118 55 Athens, Greece, email:
p.katsakoulis@gmail.com***

Abstract

European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) is one of the most widely reared and commercially important Mediterranean species. It has been indicated that the use of light with different wavelengths affects the living and feeding ethology of fishes and moreover this use can be easily manipulated in indoor aquaculture facilities. At the same time, acute stress conditions are usually present during fish rearing, with sea bass showing increased sensitivity, which results in great financial loss for the producer. The purpose of the present experiment is to study the confinement stress response of sea bass, by using light of different wavelength. For this purpose homogeneous sea bass populations were used, with initial mean weight $130,9 \pm 0,44$ g (initial density $6,07$ kg/m³), which were reared in recirculating water system (light intensity 350 lux, photoperiod 12L:12D) under blue (480 nm) or white (full) light spectrum for 63 days. At the end of experimental period, and for each light treatment, fish were either subjected to 1h confinement stress or remained undisturbed (control). The effect of different light colour did not result in any significant difference in growth, survival or food utilization. Fish exposed to acute stress showed typical changes in blood parameters which describe the acute stress response of fish (increase of cortisol, glucose, haematocrit and osmolality). Moreover, the increase of plasma cortisol level was higher in stress response when fish were subjected to blue light, in comparison with white light. This higher increase of cortisol, under treatment with blue light, did not produce any differentiation in other blood parameters. In addition, the acute stress induced a decrease in carcass moisture, decrease of stomach and pyloric caeca weight and intestine elongation, which were independent of the light spectrum. The appreciation of fish physiological condition, before and during the acute stress response, could infer that blue light did not have any effects, while the change of some indicators (triacylglycerids) display the increased awareness of fish to cope with unfavourable situations. The results of the present study lead to the conclusion that the use of different light spectrum causes a differentiation in the acute stress response of sea bass. The study of the effect of different light spectrum in combination with other light and rearing conditions would probably lead to more distinct results.

Keywords: Sea bass (*Dicentrarchus labrax*), Light spectrum, Acute stress, Cortisol, Rearing conditions

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η διείσδυση του φωτός στη στήλη του νερού

Το ηλιακό φως μέσα στο νερό είναι η απαραίτητη παράμετρος που καθορίζει τόσο τη θέρμανση των επιφανειακών στρωμάτων όσο και τις φωτοσυνθετικές διεργασίες, απαραίτητες στην ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού. Το φως μπορεί να διανύσει μόνο μικρές αποστάσεις μέσα στη στήλη του νερού, διότι εξασθενεί εκθετικά με το βάθος και γι' αυτό στο μεγαλύτερο μέρος των ωκεανών επικρατεί σκοτάδι. Η διαύγεια της θάλασσας παίζει σημαντικό ρόλο στη διείσδυση του φωτός και επηρεάζεται άμεσα από την ποσότητα των αιωρούμενων μορίων και του πλαγκτού (φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν) (Πνευματικάτος, 1996).

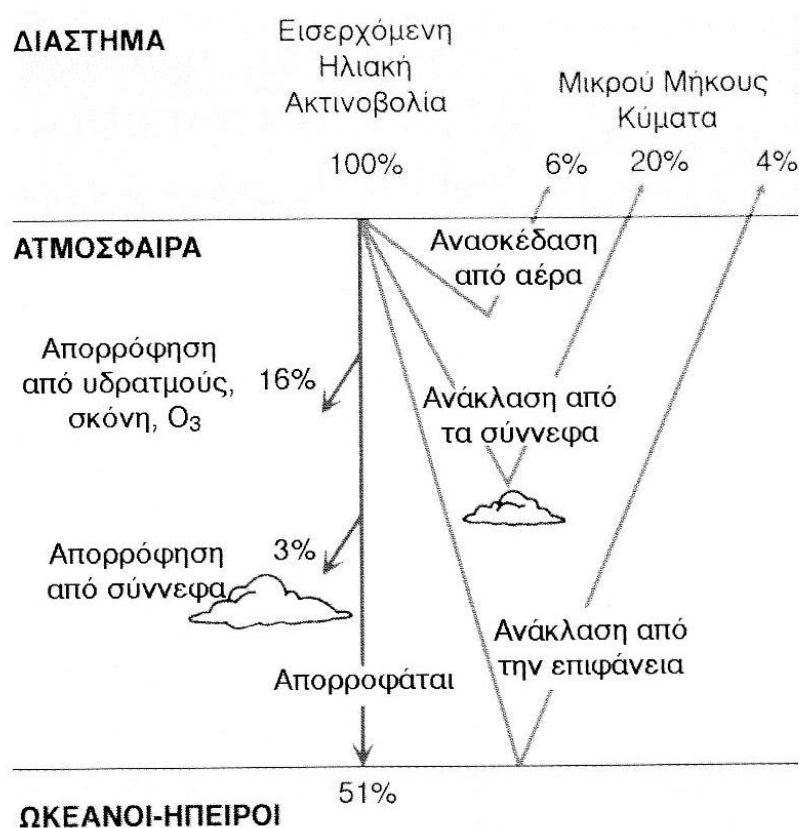
Οι συνθήκες φωτός στους ωκεανούς προσδιορίζονται από δυο παραμέτρους: α) από τη φύση της ροής του προσπίπτοντος στην επιφάνεια φωτός και β) από τις οπτικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού. Οι οπτικές ιδιότητες του επιφανειακού στρώματος των ωκεανών προσδιορίζονται από τα διαλυμένα και αιωρούμενα ανόργανα και οργανικά συστατικά του νερού (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Περίπου το ήμισυ της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται από το διάστημα απορροφάται και διαχέεται στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας. Ως εκ τούτου το πόσο που φθάνει στην επιφάνεια της θάλασσας είναι το υπόλοιπο μισό (εικ. 1.1). Κάποιο ποσοστό και ιδιαίτερα από το ορατό τμήμα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας (400 – 800 nm), ανακλάται από την επιφάνεια πίσω την ατμόσφαιρα. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της θάλασσας (όταν δεν υπάρχει κυματισμός) και αυξάνει πολύ, όταν ο ήλιος σχηματίζει γωνία με τον ορίζοντα μικρότερη των 20°. Στη διάρκεια της ημέρας, το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της θάλασσας, είναι συνάρτηση της γωνίας του ήλιου, τη διάρκεια της ημέρας και των καιρικών συνθηκών. Η γωνία του ήλιου προσδιορίζεται από τη χρονική στιγμή (στη διάρκεια του έτους και της ημέρας αντίστοιχα) και από το γεωγραφικό πλάτος (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Το φως μόλις φτάσει στην επιφάνεια του νερού και διαπεράσει τη ζώνη επαφής αέρα – νερού, υφίσταται σημαντικές μεταβολές με το βάθος. Και αυτό γιατί, το θαλασσινό νερό έχει ορισμένες οπτικές ιδιότητες, οι οποίες επιδρούν στο εισερχόμενο φως και το μεταβάλλουν, καθώς διανύει την υδάτινη στήλη. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού είναι: ο συντελεστής σκέδασης (b) και οι φασματικοί συντελεστές απορρόφησης (a_i). Αυτές οι ιδιότητες του θαλασσινού νερού εξαρτώνται μόνο από τη σύνθεσή του και όχι από άλλους παράγοντες (π.χ. καιρός, θέση ήλιου). Άλλες οπτικές ιδιότητες του νερού είναι ο συντελεστής $G(\mu_0)$, η τιμή του οποίου προσδιορίζεται από τη συνάρτηση του όγκου σκέδασης, που περιγράφει η γωνιακή κατανομή της σκέδασης και ο συντελεστής εξασθένησης της δέσμης φωτός (K), ο

οποίος ισούται με το άθροισμα των συντελεστών απορρόφησης (α_i) και σκέδασης (b) (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Μια φωτεινή δέσμη στην ουσία είναι δέσμη φωτονίων. Κάποια φωτόνια απορροφώνται από τα μόρια του νερού, μετατρέποντας έτσι την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως θερμότητα και χημική ενέργεια. Έτσι αυξάνουν τη θερμοκρασία του νερού ή απορροφώνται από το φυτοπλαγκτόν για τη φωτοσύνθεση. Κάποια άλλα φωτόνια της ίδιας δέσμης μεταβάλουν τη διεύθυνσή τους σαν αποτέλεσμα της παρεμβολής των μορίων του νερού και των αιωρούμενων σωματιδίων. Το φαινόμενο αυτό στην οπτική ονομάζεται σκέδαση (διάχυση) του φωτός και το αποτέλεσμα του είναι να εξασθενεί τη φωτεινή δέσμη, γιατί τα φωτόνια που άλλαξαν διεύθυνση έχουν ξεφύγει από την υπόλοιπη ομάδα φωτονίων, που συνεχίζει την πορεία της. Έτσι, η συνολική εξασθένιση της φωτεινής δέσμης είναι αποτέλεσμα τόσο της απορρόφησης, όσο και της σκέδασης (www.geo.auth.gr).



Εικόνα 1.1: Οι απώλειες της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Οι τιμές των συντελεστών απορρόφησης και σκέδασης σε κάθε ωκεάνια περιοχή εξαρτώνται από τη σύνθεση του νερού στην περιοχή, δηλαδή από: α) το διαλυμένο οργανικό υλικό που περιέχει, β) το φυτοπλαγκτόν και τη σύνθεση των φωτοσυνθετι-

κών χρωστικών του, γ) το νεκρό σωματιδιακό υλικό και δ) τη συγκέντρωση των ανόργανων σωματιδίων. Όλα αυτά τα συστατικά διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και ως εκ τούτου διαφοροποιούν τις οπτικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού. Όμως υπάρχει ένας παράγοντας σταθερός σε όλους τους ωκεανούς και αυτός είναι το ίδιο το νερό (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

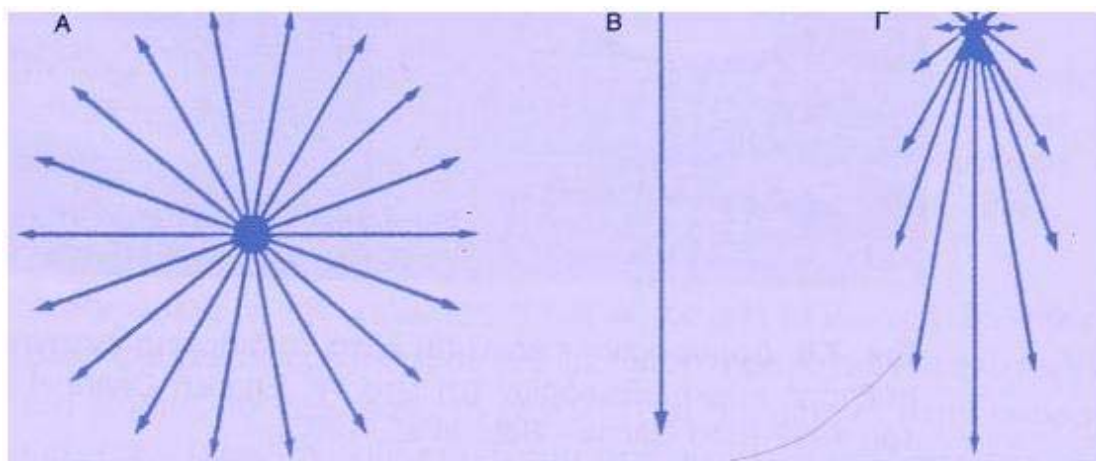
Το φάσμα απορρόφησης του καθαρού νερού δείχνει ότι απορροφά έντονα το φως στο τέλος της ερυθρής περιοχής (> 700 nm), με πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση στην υπέρυθη περιοχή (900 – 1000 nm). Το θαλασσινό νερό οφείλει σε μεγάλο βαθμό το κυανό χρώμα του σ' αυτή την απορρόφηση στην περιοχή του ερυθρού. Στην περιοχή του κυανού (440 – 470 nm) το νερό έχει μικρή απορρόφηση με μια μικρή αύξηση στο υπεριώδες (380 nm). Οι διαλυμένες οργανικές ενώσεις έχουν πολύ μικρό συντελεστή απορρόφησης με μέγιστο στην περιοχή < 440 nm. Επειδή όμως η απορρόφηση από το νερό στην περιοχή αυτή είναι πολύ μικρότερη, θεωρείται ότι, το διαλυμένο οργανικό υλικό έχει σημαντική συνεισφορά στην απορρόφηση της περιοχής του κυανού (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Το φυτοπλαγκτόν μπορεί να αποτελεί σημαντικό συντελεστή απορρόφησης μόνο στις παραγωγικές θαλάσσιες περιοχές. Η φασματική απορρόφηση από φυτοπλαγκτόν παρουσιάζει μέγιστα στα μέγιστα απορρόφησης της χλωροφύλλης α, δηλαδή στα 435 και 665 nm. Το υπόλοιπο αιωρούμενο σωματιδιακό υλικό, όπως και το διαλυμένο οργανικό υλικό, παρουσιάζει εκθετική αύξηση της απορρόφησης του με τη μείωση του μήκους κύματος στο ορατό και το υπεριώδες (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Το νερό έχει τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην απορρόφηση του φωτός. Η συμμετοχή του όμως στη συνολική σκέδαση (το άθροισμα της σκέδασης προς όλες τις κατευθύνσεις) είναι πολύ μικρή. Βέβαια, συμμετέχει περίπου κατά το 1/3 στην ανασκέδαση. Η ανασκέδαση του φωτός αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ροής του ανερχόμενου φωτός στους ωκεανούς, μέρος της οποίας εξέρχεται από την επιφάνεια του νερού. Η σκέδαση του φωτός, λόγω του νερού, είναι εντονότερη στην περιοχή του κυανού φάσματος απ' ό,τι στο ερυθρό. Ως εκ τούτου, το κυανό χρώμα των ωκεανών οφείλεται εκτός από την απορρόφηση του φωτός στο τέλος της ερυθρής περιοχής και στην πιο έντονη σκέδασή του στο κυανό άκρο του φάσματος (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Οι συνθήκες φωτός αμέσως κάτω από την επιφάνεια του νερού δεν είναι πολύ διαφορετικές από αυτές που επικρατούν πάνω από την επιφάνεια. Το φως κατευθύνεται στο νερό λίγο πιο κατακόρυφα, λόγω της διάθλασης στην επιφάνεια και έχει χάσει κάποιο μικρό ποσοστό φωτονίων, λόγω της ανάκλασης στη ζώνη επαφής αέρα – νερού. Διατηρεί όμως σχεδόν όλη την ενέργεια του, με την ίδια φασματική κατανομή. Από το φως που διέρχεται από την επιφάνεια, το 50 % περίπου αποτελείται από μήκη κύματος της υπέρυθρης περιοχής (> 780 nm), ενώ η υπεριώδης ακτινοβολία (< 380 nm) αποτελεί μικρό μόνο μέρος. Το υπόλοιπο της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το ορατό φάσμα (400 - 700 nm) και ονομάζεται φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία. Η κατανομή της ακτινοβολίας, μετά το πέρασμα του φωτός από την επιφάνεια του νερού, καθορίζεται από την αλληλεπίδραση των οπτικών ιδιοτήτων του θαλασσινού νερού

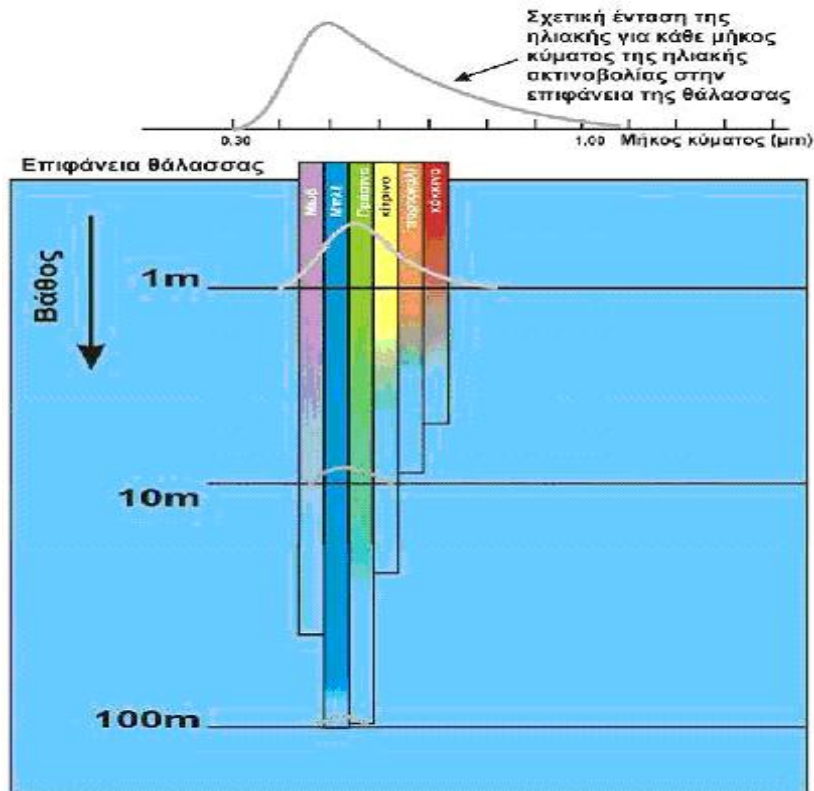
με το φως. Αν το μέσο (το νερό) προκαλούσε μόνο σκέδαση του φωτός ισοτοπικά χωρίς απορρόφηση, θα οδηγούσε σε σφαιρικά συμμετρική ακτινοβολία (εικ. 1.2.A). Αν το μέσο δεν προκαλούσε σκέδαση αλλά μόνο απορρόφηση, τότε θα επικρατούσαν σ' αυτό φωτόνια που θα είχαν να διανύσουν τη μικρότερη απόσταση από την επιφάνεια (εικ. 1.2.B). Το θαλασσινό νερό παρουσιάζει το συνδυασμό των παραπάνω, λόγω των οπτικών ιδιοτήτων του και συνεπώς παρουσιάζει ελλειπτική κατανομή ακτινοβολίας (εικ. 1.2.Γ). (Μουστάκα - Γούνη, 1997).



Εικόνα 1.2: Η κατανομή της ακτινοβολίας στο θαλασσινό νερό (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Το ηλιακό φως καθώς διασχίζει το νερό, αναλύεται στα επτά χρώματα της ίριδας, όπως όταν διέρχεται από πρίσμα. Καθώς το φως διανύει τη στήλη του νερού, υφίσταται φασματική εξασθένηση και διαφορετικά μήκη κύματος εισχωρούν σε διαφορετικά βάθη (εικ. 1.3). Η υπέρυθη ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του νερού σχεδόν στο πρώτο μισό μέτρο της στήλης. Αυτό σημαίνει ότι σε βάθη κάτω από ένα μέτρο παραμένει σχεδόν το φάσμα του ορατού φωτός. Για τη λειτουργία των ωκεανών, αυτό σημαίνει ότι το ήμισυ περίπου της θερμικής ενέργειας που παράγεται από τον ήλιο, παραλαμβάνεται από το στρώμα του ενός μόνο μέτρου από την επιφάνεια (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

Από την ακτινοβολία που έχει απομείνει, το 1/3 ανήκει στην περιοχή του ερυθρού – πορτοκαλί (~600 - 700 nm), το οποίο και απορροφάται κυρίως από το νερό, με αποτέλεσμα, μετά από βάθος 10 m, να παραμείνει μόνο το 1 %. Το φως κάτω από τα 15 m, κατά κύριο λόγο ανήκει στη ζώνη του πράσινου – κυανού (400 – 500 nm). Το κυανό φως εισχωρεί βαθύτερα, με το 1 % περίπου να φτάνει μέχρι τα 150 m σε ωκεάνιες περιοχές (Μουστάκα - Γούνη, 1997). Στη συνέχεια η θάλασσα παίρνει βαθύ κυανό χρώμα μέχρι τα 600 m, όπου υπάρχει μόνο η βιοφωταύγεια, δηλαδή η ακτινοβολία φωτός που προέρχεται από φωτοβόλα ζώα (Πνευματικάτος, 1996).



Εικόνα 1.3: Εξασθένηση της ηλιακής ακτινοβολίας στα διάφορα βάθη στο ωκεάνιο νερό (www.geo.auth.gr).

Ανάλογα με το βαθμό διείσδυσης του φωτός στη θάλασσα, διακρίνουμε τρεις ζώνες στο κατακόρυφο επίπεδο: α) την ευφωτική, β) τη δυσφωτική και γ) την αφωτική. Στην ευφωτική ζώνη, η ένταση του προσπίπτοντος φωτός που τη διαπερνά μειώνεται στο 1 % και είναι αυτή στην οποία λαμβάνει χώρα η φωτοσυνθετική δέσμευση του άνθρακα από το φυτοπλαγκτόν. Η ευφωτική ζώνη κυμαίνεται από λίγα μέτρα σε παράκτιες περιοχές μέχρι τα 150 m στις τροπικές ωκεάνιες περιοχές. Κάτω από αυτήν, μέχρι βάθους 300 – 600 m, βρίσκεται η ονομαζόμενη δυσφωτική ζώνη, όπου η διεισδυτικότητα της φωτεινής ακτινοβολίας μειώνεται σημαντικά. Στη ζώνη αυτή φτάνουν μόνο οι πιο διαπεραστικές ακτίνες και γι' αυτό πραγματοποιείται φωτοσύνθεση σε πολύ χαμηλό βαθμό. Η βαθύτερη και μεγαλύτερη περιοχή στους ωκεανούς είναι η σκοτεινή, αφωτική ζώνη, η οποία εκτείνεται από το τέλος της δυσφωτικής (κάτω από το βάθος των 600 m) μέχρι τον ωκεάνιο πυθμένα (Μουστάκα - Γούνη, 1997).

1.2. Ο οφθαλμός ως αισθητήριο όργανο

Ο οφθαλμός είναι ένα πολύ σημαντικό αισθητήριο όργανο σε κάθε οργανισμό. Το φως είναι η ακτινοβοληθείσα ενέργεια με εύρος μήκους κύματος 400-700 nm, που διεγείρει τον οφθαλμό των ζώντων οργανισμών και παράγει την αίσθηση της όρασης (Jerlov, 1970, Aguggini, 1991). Οι ιχθύες έχουν ένα ζεύγος οφθαλμών, οι οποίοι στερούνται δακρυϊκού αδένου και βλεφαρίδων.

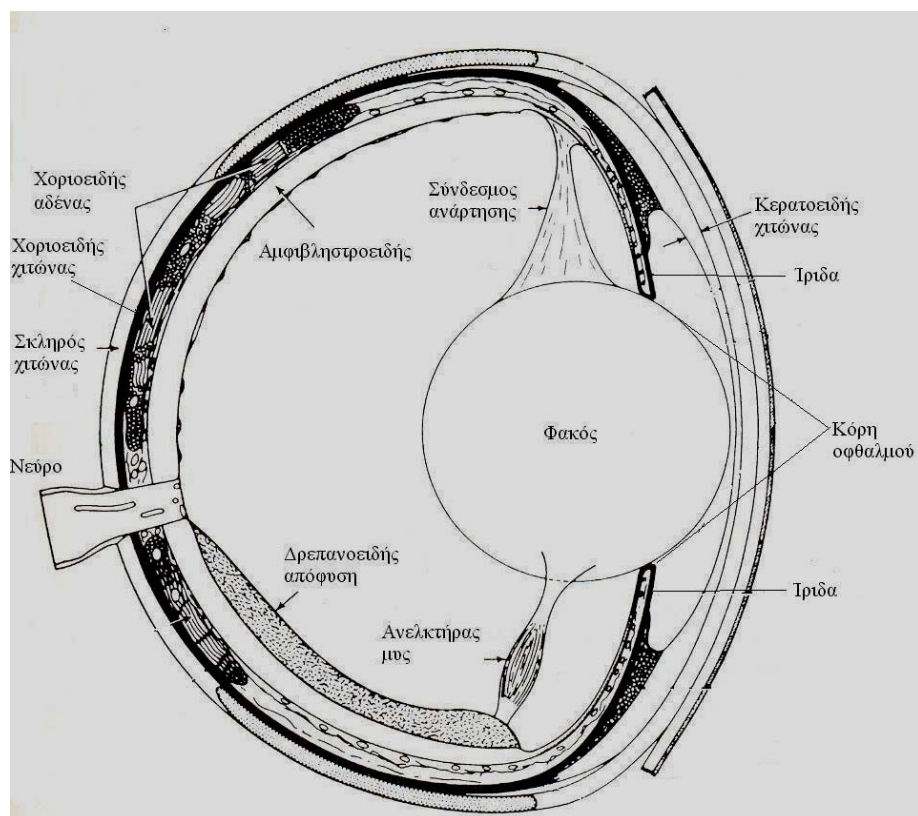
Αν και υπάρχουν πολλές διαφορές μεταξύ των διαφόρων ειδών των ιχθύων τόσο στο σχήμα, όσο και στην κατασκευή των οφθαλμών (Cummings and Partridge, 2001, White et al., 2004, Smirnova, 2006), εντούτοις υπάρχουν πολλές βασικές ομοιότητες. Γενικά, οι οφθαλμοί των ιχθύων έχουν προσαρμοσθεί έτσι ώστε να βλέπουν μέσα στο νερό, γι' αυτό είναι μεγάλοι, σφαιρικοί, με σκληρό φακό (Νεοφύτου, 1997). Οι διαφοροποιήσεις που εμφανίζονται μεταξύ των οφθαλμών των διαφόρων ειδών, σχετίζονται με τις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος διαβίωσης του κάθε είδους. Είδη που συναντώνται σε βάθη ως 1000 μέτρων, εμφανίζουν μεγάλους οφθαλμούς και όργανα βιοφωτισμού (Munk, 1999, Herring and Cope, 2005), ενώ σε μεγαλύτερα βάθη, εμφανίζουν μικρούς οφθαλμούς. Τέλος, είδη που κατά κύριο λόγο συναντώνται σε σπηλιές, τις περισσότερες φορές στερούνται οφθαλμών, π.χ. τα είδη του γένους *Astyanax* (Jeffery et al., 2003, Wilkens et al., 2003, Jeffery, 2005, Tian and Price, 2005).

Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι τα φωτεινά ερεθίσματα στους ιχθύς δεν λαμβάνονται αποκλειστικά από τους οφθαλμούς, τουλάχιστον κατά την ίδια ένταση σε όλα τα είδη. Η αντίδραση στο φως ορισμένων τυφλών ειδών, είναι παρόμοια με είδη που έχουν την δυνατότητα όρασης. Το γεγονός αυτό δείχνει, είτε πως ο ρόλος των οφθαλμών διαφοροποιείται στα διάφορα είδη, είτε πως υπάρχουν και άλλα τμήματα του σώματός που λειτουργούν ως φωτοδέκτης, όπως για παράδειγμα του εγκεφάλου και της επίφυσης (Παπουτσόγλου, 1998).

1.2.1. Ανατομία του οφθαλμού

Ο οφθαλμός (εικ. 1.4) αποτελείται από μια εξωτερική μεμβράνη, ινώδους μορφής, που ονομάζεται σκληροειδής χιτώνας (Sclera). Το εμπρόσθιο τμήμα του χιτώνα αυτού φέρει ένα άνοιγμα (οπή) που φράσσεται από το διαφανή λείο και λίγο καμπύλο χιτώνα του κερατοειδούς (Cornea). Ο κερατοειδής χιτώνας δεν έχει διαθλαστική ισχύ έχοντας τον ίδιο διαθλαστικό δείκτη με το νερό.

Ο σκληροειδής χιτώνας φέρει εσώτερα ένα υμένα, τον χοριοειδή χιτώνα (Choroidea), πλούσιο σε αιμοφόρα αγγεία και κρυστάλλους γουανίνης, ο οποίος πιστεύεται ότι παρέχει θρεπτικά συστατικά και οξυγόνο στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (Moyle and Cech, 2004). Οι Τελεόστεοι ιχθύες, που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην όραση, έχουν πολύ καλά ανεπτυγμένο χοριοειδή αδένου ή πλέγμα, ο οποίος βρίσκεται πίσω από τον αμφιβληστροειδή.



Εικόνα 1.4: Δομή ενός τυπικού οφθαλμού Τελεόστεου ιχθύος. Τα κύρια μέρη του οφθαλμού είναι ο σκληρός χιτώνας, ο χοριοειδής χιτώνας, ο αμφιβληστροειδής, ο κερατοειδής και ο φακός. Στην εικόνα διακρίνεται, επίσης, η ίριδα και η κόρη του οφθαλμού (Moyle and Cech, 2004).

Ο χοριοειδής χιτώνας στους Ελασμοβράγχιους περιέχει μία στιβάδα ανάκλασης, η οποία αυξάνει την οπτική ευαισθησία των φωτοϋποδοχέων του αμφιβληστροειδούς με το να αντανακλά το μεγαλύτερο μέρος του φωτός μέσω του αμφιβληστροειδούς (π.χ. στο σκυλόψαρο *Centroscyrnus coelolepis*, που ζει σε βάθος περίπου 200 m) (Bozzano, 2003). Αυτή η στιβάδα ανάκλασης αποτελείται από κύτταρα ανάκλασης, που περιέχουν ανακλαστική ουσία, καθώς και από μελανοφόρα κύτταρα. Η ανακλαστική ουσία που υπάρχει στην ανακλαστική στιβάδα διαφέρει μεταξύ των ειδών και μπορεί να είναι κρύσταλλοι γουανίνης, μία λιπώδες ουσία, περιδίνη και μελανοειδείς ουσίες (Collin and Collin 1993, Mani-Ponset et al. 1993, Moyle and Cech 2004). Η στιβάδα ανάκλασης αντανακλά το φως στην ίδια κατεύθυνση από την οποία αρχικά διεγέρθηκε ο αμφιβληστροειδής, και με αυτόν τον τρόπο αυξάνει την πιθανότητα να διεγερθούν οι φωτοϋποδοχείς του αμφιβληστροειδούς στην παρουσία χαμηλού φωτισμού. Πολλοί Τελεόστεοι έχουν στιβάδα ανάκλασης, αλλά στους περισσότερους αυτή είναι τοποθετημένη στο επιθήλιο του αμφιβληστροειδή (π.χ. στο λαβράκι *Dicentrarchus labrax*) (Mani-Ponset et al. 1993). Οι Ελασμοβράγχιοι που είναι βαθύβιοι παρουσιάζουν συνεχή δραστηριότητα της ανακλαστικής στιβάδας, ενώ τα πελαγικά είδη που διαβιούν σε φωτεινά νερά μπορούν να καλύψουν την ανακλαστική στιβάδα με τη βοήθεια των μελανών χρωστικών που βρίσκονται στα μελανοφόρα κύτταρα. Η κάλυψη αυτή της ανακλαστικής στιβάδας εμποδίζει την «υπερφόρτωση» των

φωτοϋποδοχέων κάτω από συνθήκες έντονου φωτισμού. Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, η ανακλαστική στιβάδα απαλλάσσεται από την παρουσία των μελανών χρωστικών και επαναδραστηριοποιείται. Η ανακλαστική στιβάδα προσδίδει στους Ελασμοβράγχιους ιχθύς οπτική ευαισθησία περίπου ίση με αυτή που έχουν οι Τελεόστεοι (χωρίς ανακλαστική στιβάδα), οι οποίοι έχουν σχεδόν την διπλάσια συγκέντρωση οπτικών χρωστικών ανά μονάδα επιφάνειας αμφιβληστροειδούς (Moyle and Cech, 2004).

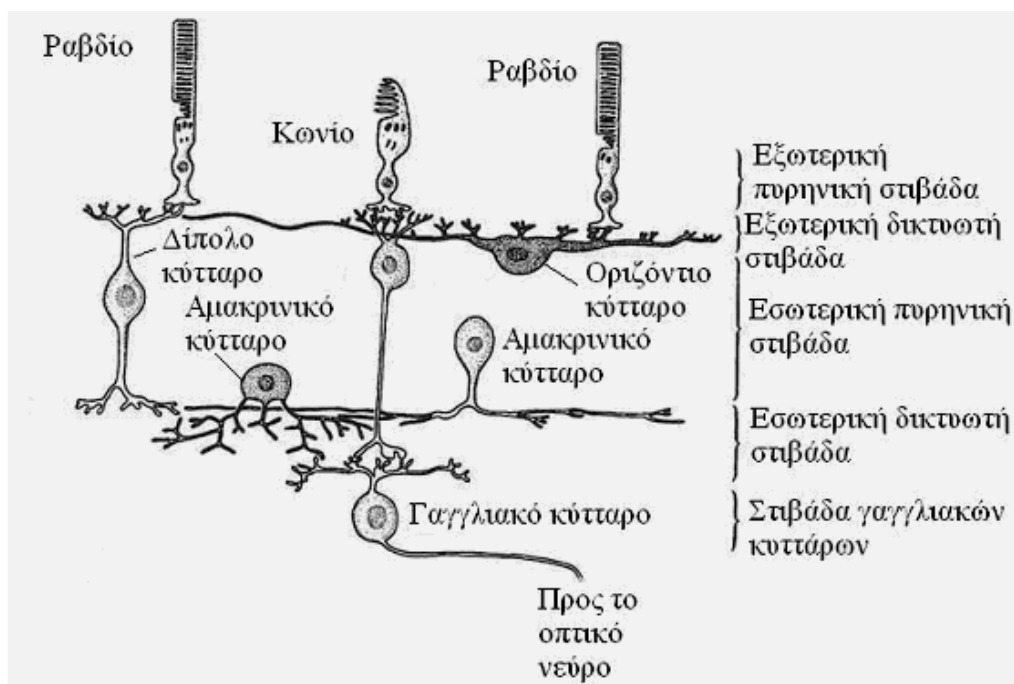
Μπροστά από τον χοριοειδή χιτώνα βρίσκεται ένας δακτύλιος με χρωστικές, η ίριδα (Iris), η οποία περιέχει μία κεντρική οπτική οπή, τη λεγόμενη κόρη του οφθαλμού (Pupille). Οι περισσότεροι Ελασμοβράγχιοι έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν το άνοιγμα της κόρης του οφθαλμού και με τον τρόπο αυτό ρυθμίζουν το επίπεδο του εισερχόμενου φωτός, ωστόσο, αρκετοί που διαβιούν σε βαθιά νερά, έχουν κόρες ματιού αμετάβλητες. Οι περισσότεροι Τελεόστεοι δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα, ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι Τελεόστεοι όπως τα χέλια και τα πλατύψαρα, στα οποία η ίριδα μπορεί να μεταβληθεί και με αυτόν τον τρόπο μεταβάλλουν τη διάμετρο της κόρης του οφθαλμού (Guthrie and Muntz, 1993). Σε ορισμένους ιχθύς (των γενών *Pristis* και *Raja*), που ζουν σε νερά υψηλής θολότητας, υπάρχει ένα κάλυμμα της κόρης, μία αδιαφανής προβολή, που κατεβαίνει για να καλύψει μέρος του ανοίγματος της κόρης του ματιού. Αντίθετα, σε ορισμένους καρχαρίες πιστεύεται ότι χρησιμεύει περισσότερο για την προστασία του οφθαλμού κατά την αρπαγή της τροφής παρά για να ρυθμίσει το επίπεδο του εισερχόμενου φωτός (Gruber, 2002).

Εξωτερικά του χοριοειδούς υπάρχει ο αμφιβληστροειδής χιτώνας (Retina), ο οποίος εμφανίζει στα περισσότερα είδη ιχθύων, δύο ειδών οπτικά κύτταρα: τα ραβδία και τα κωνία. Τα ραβδία βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και συνδέονται με τον ίδιο νευροάξονα. Τα κωνία, αντίθετα, βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση και συνδέονται με διαφορετικό νευροάξονα. Τα ραβδία αποδίδουν καλύτερα σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, χωρίς να παρέχουν ευκρινή οπτική εικόνα και δεν συμβάλλουν στην «έγχρωμη» όραση. Τα κωνία, αντίθετα, δεν διεγείρονται σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, αποδίδοντας καλύτερα σε συνθήκες του ημερήσιου φωτός. Τα κωνία συμβάλλουν επίσης στην αντίληψη φωτός διαφορετικού μήκους κύματος και κατά συνέπεια στην «έγχρωμη» όραση, ιδίως όταν υπάρχουν δύο ή περισσότεροι τύποι κωνίων (Kawamura and Kishimoto, 2002, Matsuda et al., 2005). Οι ιχθύες που διαβιούν σε βαθιά νερά έχουν ως φωτοϋποδοχείς κυρίως ραβδία και λιγότερα κωνία και μπορεί να μην αντιλαμβάνονται το μήκος κύματος. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στα βάθη αυτά, η ποσότητα του φωτός είναι λιγοστή, με αποτέλεσμα τα ραβδία, που είναι ευαίσθητα σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, να είναι απαραίτητα (Guthrie and Muntz, 1993, Bozzano, 2003).

Μερικά κωνία του αμφιβληστροειδή στην πέστροφα *Oncorhynchus mykiss* είναι ευαίσθητα στο υπεριώδες φως, ενώ τα ραβδία δεν παρουσιάζουν τέτοια ευαισθησία (Parkyn and Hawryshyn, 1993). Η ικανότητα για ανίχνευση υπεριώδους ακτινοβολίας (320 – 400 nm) έχει καταδειχθεί σε αρκετούς ιχθύς, όπως στις οικογένειες Cyprinidae και Salmonidae (Novales Flamarique and Hawryshyn, 1998). Η ευαισθησία στην υ-

περιώδη ακτινοβολία μπορεί να διαρκεί καθόλη τη διάρκεια της ζωής του ιχθύος (π.χ. χρυσόψαρο *Carassius auratus*) (Fratzer et al., 1994) ή μπορεί να υπάρχει σε ορισμένα στάδια της ζωής του (π.χ. πέστροφα *Oncorhynchus mykiss*) (Beaudet et al., 1993, Novales Flamarique and Hawryshyn, 1997). Επειδή τα κωνία, που είναι ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία, είναι τοποθετημένα σε περιοχές του αμφιβληστροειδή με χαμηλή πυκνότητα φωτουποδοχέων, πιστεύεται ότι, η ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία πιθανώς δεν συμβάλει στην διεύρυνση του φάσματος φωτός, που μπορεί να δει ο ιχθύς. Ωστόσο, η ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία πιστεύεται ότι προσδίδει ευαισθησία στο πολωμένο φως (Moyle and Cech, 2004).

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας έχει πέντε κύριες τάξεις νευρώνων που σχηματίζουν τρεις στιβάδες (εικ. 1.5). Αυτές οι τάξεις των νευρώνων περιλαμβάνουν τους φωτουποδοχείς, τα δίπολα κύτταρα, τα οριζόντια κύτταρα, τα αμακρινικά κύτταρα (amacrine cells) και τα γαγγλιακά κύτταρα. Οι φωτουποδοχείς, τα δίπολα και τα οριζόντια κύτταρα συνάπτονται μεταξύ τους στην εξωτερική δικτυωτή στιβάδα. Τα δίπολα, τα αμακρινικά και τα γαγγλιακά κύτταρα συνάπτονται μεταξύ τους στην εσωτερική δικτυωτή στιβάδα. Τα δίπολα κύτταρα γεφυρώνουν τις δύο στιβάδες. Η πλέον άμεση οδός για την ροή των πληροφοριών μέσα από τον αμφιβληστροειδή είναι η οδός από τους φωτουποδοχείς στα δίπολα κύτταρα και στη συνέχεια στα γαγγλιακά κύτταρα. Ωστόσο, η ροή των πληροφοριών μπορεί να είναι και πλευρική με τη βοήθεια των οριζόντιων κυττάρων στην εξωτερική δικτυωτή στιβάδα, και με τη βοήθεια των αμακρινικών κυττάρων στην εσωτερική δικτυωτή στιβάδα (Hawryshyn, 1998, Rodriguez and Gisbert, 2001, Kawamura and Kishimoto, 2002).



Εικόνα 1.5: Σύνδεση μεταξύ των πέντε τάξεων των νευρώνων του αμφιβληστροειδούς (Kandel et al., 1998).

Οι περισσότεροι Τελεόστεοι έχουν μία προβολή του χοριοειδούς χιτώνα στο οπίσθιο τμήμα του εσωτερικού του οφθαλμού, που φέρει χρωστική και καλείται δρεπανοειδής απόφυση. Η δρεπανοειδής απόφυση φέρει πλήθος αγγείων και πιστεύεται ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην παροχή θρεπτικών συστατικών (Moyle and Cech, 2004). Πάνω στη δρεπανοειδή απόφυση βρίσκεται προσκολλημένος ο προσαγωγός μυς του οφθαλμού, ο οποίος διαφέρει στους Ελασμοβράγγιους και στους Τελεόστεους (Fernald and Wright, 1985). Ο ρόλος του μυός αυτού είναι να μπορεί να μετατοπίζει το φακό ελαφρά προς τα πίσω και να αλλάζει με τον τρόπο αυτό την εστιακή απόσταση, προβάλλοντας με το κατάλληλο πρότυπο φωτεινότητας, σκίασης και συχνά χρώματος το εισερχόμενο φως, στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Ο δρεπανοειδής σχηματισμός προσφύεται στην πίσω επιφάνεια του κρυσταλλοειδούς φακού και εκτείνεται ως το σημείο εισόδου του οπτικού νεύρου (Neurus Opticus) (Φώτης, 1999).

Ο κρυσταλλοειδής φακός (Lens cristallina) είναι σφαιρικός και είναι τοποθετημένος κεντρικά στον ελλειπτικό οφθαλμό στα περισσότερα είδη ιχθύων παρουσιάζοντας το μεγαλύτερο διαθλαστικό δείκτη ανάμεσα σε όλα τα σπονδυλωτά. Στους Ελασμοβράγγιους είναι ελαφρώς επίπεδος ως προς τον οπτικό άξονα (μονοπάτι της φωτεινής ακτινοβολίας). Η εστίαση του φακού δεν μεταβάλλεται, ενώ ο οφθαλμός εστιάζει με κίνηση του φακού και όχι με την αλλαγή της κυρτότητάς του.

Ο φακός των Τελεόστεων ιχθύων προεξέχει από το άνοιγμα της κόρης και επομένως ο οφθαλμός προεξέχει από την επιφάνεια του σώματος. Το πεδίο όρασης για τους ιχθύς είναι 160°-170° οριζόντια και 180° κάθετα. Μπροστά από τον ιχθύ ένα ευρύ πεδίο 20°-30° καλύπτεται και από τους δυο οφθαλμούς (Moyle and Cech, 2004).

Επιπλέον, στους περισσότερους Τελεόστεους υπάρχει ένας χοριοειδής αδένας ή πλέγμα πίσω από τον αμφιβληστροειδή. Στο χοριοειδή αδένα, η διάταξη των αγγείων παρουσιάζει μηχανισμό αντίθετης ροής με αποτέλεσμα να εξυπηρετείται η μεταφορά οξυγόνου στον αμφιβληστροειδή, όπως στον ιχθύ *Ophichthus rufus* (Bozzano, 2003) και στον οξύρρυγχο *Acipenser baeri* (Rodriguez and Gisbert, 2001). Οι ιχθύες που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην όραση, όπως ο ιχθύς *Pomatomus saltatrix*, έχουν πολύ καλά ανεπτυγμένο χοριοειδή αδένα. Οι ιχθύες που έχουν πολύ καλά ανεπτυγμένο χοριοειδή αδένα παρουσιάζουν υψηλή μερική πίεση οξυγόνου pO₂ στο υγρό του οφθαλμού, που κυμαίνεται μεταξύ 250-820 mm Hg. Οι ιχθύες με λιγότερο ανεπτυγμένο χοριοειδή αδένα παρουσιάζουν χαμηλότερη μερική πίεση οξυγόνου, που κυμαίνεται μεταξύ 20-210 mm Hg, ενώ οι Ελασμοβράγγιοι και κάποιοι Τελεόστεοι οι οποίοι στερούνται χοριοειδή αδένα παρουσιάζουν ακόμη χαμηλότερη μερική πίεση οξυγόνου, που κυμαίνεται μεταξύ 10-20 mm Hg (Moyle and Cech, 2004).

Το οπτικό νεύρο αποτελείται από τέσσερις τύπους νευρικών κυττάρων, συμπεριλαμβανομένων και των απαγωγών. Οι περισσότεροι από τους νευροάξονες του οπτικού νεύρου περνούν στην απέναντι πλευρά του εγκεφάλου και καταλήγουν στα ανώτερα στρώματα του οπτικού λοβού του μεσεγκέφαλου. Διάφοροι κάθετοι σύνδεσμοι ενώνουν τους οπτικούς λοβούς των δύο ημισφαιρίων και με αυτόν τον τρόπο πιστεύεται ότι συμβάλλουν στην διοφθαλμική όραση (Hawryshyn, 1998).

1.2.2. Οι οπτικές (φωτοευαίσθητες) χρωστικές των ιχθύων

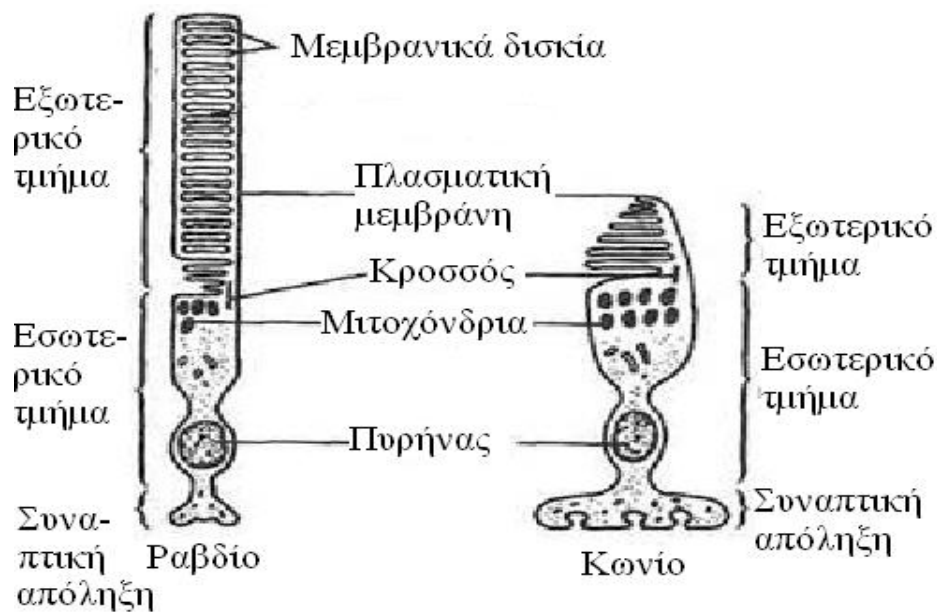
Οι φωτοϋποδοχείς είναι αρκετά ευαίσθητοι στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε νευρική ώση (Hawryshyn, 1998). Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια ουσιών, που είναι ευαίσθητες στο φως και καλούνται οπτικές, φωτοευαίσθητες χρωστικές ή φωτοχρωστικές. Η ευαισθησία στην αντίληψη των «χρωμάτων» διαφοροποιείται μεταξύ των διαφόρων ειδών ιχθύων. Η φωτοευαίσθητη χρωστική αποτελείται από μία πρωτεΐνη, την οψίνη που είναι συνδεδεμένη με ένα χρωμόφορο μόριο.

Φασματική ευαισθησία των φωτοϋποδοχέων του οφθαλμού (κωνία και ραβδία) είναι η έννοια που καθορίζει τα μήκη κύματος, που οι φωτοϋποδοχείς εμφανίζουν τη μέγιστη απορρόφηση (Bowmaker, 1990).

Πολλά θηλαστικά έχουν διχρωματική όραση (αμφιβληστροειδής που περιέχει δύο ειδών οπτικές χρωστικές), οι άνθρωποι, οι περισσότεροι ιχθύες και άλλα είδη έχουν τριχρωματική όραση, το χρυσόψαρο και οι όρνιθες έχουν τετραχρωματική (Kelber, 2002). Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει αυτή η διαφοροποίηση, είναι τα μήκη κύματος του φωτός στο περιβάλλον του οργανισμού, αλλά και πόσο εμφανή είναι αυτά. Το νερό χαρακτηρίζεται ως ένα φωτο-περιοριστικό περιβάλλον, και έτσι ορισμένα μήκη κύματος είναι εμφανέστερα από άλλα. Οι οπτικές χρωστικές εμφανίζονται να διαφοροποιούνται με βάση το περιβάλλον διαβίωσης των ιχθύων (Lythgoe, 1979).

Πιο συγκεκριμένα, στους ιχθύς που ζουν σε μεγάλα βάθη αναμένεται να κυριαρχούν οι οπτικές χρωστικές ευαίσθητες στο κυανό χρώμα, αφού εκεί τα μήκη κύματος κυμαίνονται 470-490 nm (Jobling, 1996). Πολλά βενθικά είδη ιχθύων έχουν χαρακτηριστικές οπτικές χρωστικές που εμφανίζουν τη μέγιστη απορρόφηση στο φάσμα του φωτός που υπάρχει στο περιβάλλον διαβίωσης τους, τις χρυσοψίνες, (Jobling, 1996). Ο τρόπος με τον οποίο διατάσσονται οι φωτοϋποδοχείς πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα ονομάζεται “μωσαϊκό” και αποτελεί χαρακτηριστικό των ιχθύων (Wehner and Gehring, 1997).

Οι φωτοϋποδοχείς αποτελούνται από τρία τμήματα, το εξωτερικό τμήμα, το εσωτερικό τμήμα και τη συναπτική απόληξη (εικ. 1.6). Το εξωτερικό τμήμα περιέχει μία στιβάδα από μεμβρανικά δισκία, όπου εκεί βρίσκεται η φωτοχρωστική. Γενικά, υπάρχει ένα είδος οψίνης σε κάθε φωτοϋποδοχέα. Το εσωτερικό τμήμα συνδέεται με το εξωτερικό τμήμα μέσω ενός κροσσού. Το εσωτερικό τμήμα περιέχει τον πυρήνα, τα μιτοχόνδρια και άλλα οργανίδια. Η συναπτική απόληξη συνδέεται με ένα ή περισσότερα δίπολα κύτταρα. Μία βασική διαφορά ανάμεσα στα κωνία και στα ραβδία είναι ότι στα ραβδία τα μεμβρανικά δισκία καλύπτονται πλήρως από την πλασματική μεμβράνη, κάτι που δεν ισχύει στα κωνία. Στα κωνία, τα διαστήματα ανάμεσα στα μεμβρανικά δισκία επικοινωνούν με το περιβάλλον μέσο (Hawryshyn, 1998).



Εικόνα 1.6: Η δομή των κωνίων και των ραβδίων του αμφιβληστροειδούς (Kandel et al., 1998).

Οι οπτικές χρωστικές, που ανιχνεύονται στους φωτοϋποδοχείς των ιχθύων, συντίθεται από μία αλδεϋδη της βιταμίνης A και μία πρωτεΐνη, την οψίνη (Bridges, 1990). Οι οψίνες είναι γλυκοπρωτεΐνες, δηλαδή σύμπλοκα μόρια πρωτεϊνών και ολιγοσακχαρικών αλυσίδων με μοριακό βάρος περίπου 40.000, ενώ συντίθεται από πολυπεπτιδική αλυσίδα 348 αμινοξέων (Kandel et al., 1991, Stryer, 1997). Η χαρακτηριστική ομάδα των χρωστικών που απορροφούν το φως είναι η ρετινάλη, της οποίας πρόδρομο μόριο είναι η βιταμίνη A (Stryer, 1997). Στους ιχθύς, η 11-cis-ρετινάλη προέρχεται από τη βιταμίνη A1 και ονομάζεται ροδοψίνη, ενώ η 11-cis-3-άνυδρη ρετινάλη προέρχεται από τη βιταμίνη A2 και ονομάζεται πορφυροψίνη. Ο μεγάλος αριθμός χρωστικών οφείλεται στο μεγάλο αριθμό πρωτεϊνών με τον οποίο συνδέονται οι δύο μορφές ρετινάλης (Wehner and Gehring, 1997, Hawryshyn, 1998).

Η πρωτοταγής δομή των πρωτεϊνών εκφράζει έναν αριθμό οψινών που αντιπροσωπεύει τα Σπονδυλωτά και τα Ασπόνδυλα είδη. Οι οπτικές χρωστικές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες με βάση την πολυπεπτιδική αλληλουχία των οψινών, σε υψηλές, μεσαίες και χαμηλές χρωστικές. Οι παραπάνω κατηγορίες αντιπροσωπεύουν τις οψίνες που είναι ευαίσθητες στα αντίστοιχα μήκη κύματος με αποτέλεσμα να έχουμε ευαισθησία υψηλού, μεσαίου και χαμηλού μήκους κύματος (Wehner and Gehring, 1997, Hawryshyn, 1998).

Οι χρωστικές των ειδών του γλυκού νερού διαφέρουν από αυτές των θαλασσινών. Τα θαλάσσια είδη χρησιμοποιούν ως χρωστική τη ροδοψίνη, ενώ του γλυκού νερού την πορφυροψίνη. Η ροδοψίνη απορροφά φως με μήκος κύματος γύρω στα 500 nm. Μία άλλη χρωστική η οποία έχει χρυσαφί χρώμα και καλείται χρυσοψίνη έχει βρεθεί στους φωτοϋποδοχείς του αμφιβληστροειδούς σε τρία είδη Τελεόστεων που

διαβιούν σε βάθος κάτω από 500 m. Η μέγιστη απορρόφηση της χρυσοψίνης παρουσιάζεται στις κυανές ακτινοβολίες (χαμηλότερο μήκος κύματος). Η διαφορά της χρωστικής οφείλεται στο ακριβές μήκος κύματος που η καθεμία εμφανίζει το μέγιστο της απορρόφησης και στη διαφορετική οικολογία διαβίωσης των ιχθύων (Moyle and Cech, 2004).

Στα διάδρομα είδη (ανάδρομα και κατάδρομα), όπως σολομός, χέλι, το “μωσαϊκό” του αμφιβληστροειδή χιτώνα αποτελείται από μίξη των δύο χρωστικών (Wehner and Gehring, 1997). Οι ιχθύες της τάξης Cephalaspidomorpha (Κεφαλασπιδόμορφοι) παρουσιάζουν το εξής χαρακτηριστικό. Όταν μεταναστεύουν από τα γλυκά νερά στην θάλασσα, οι χρωστικές ουσίες που έχουν στους φωτοϋποδοχείς τους αλλάζουν, έτσι ώστε να έχουν καλύτερη οπτική ευαισθησία ανάλογα με το περιβάλλον που ζουν. Οι Κεφαλασπιδόμορφοι στα γλυκά νερά έχουν ως χρωστική στους φωτοϋποδοχείς τους την πορφυροψίνη, ενώ όταν μεταβαίνουν στην θάλασσα έχουν την ροδοψίνη (Hawryshyn, 1998).

Οι ιχθύες που διαβιούν σε μεγάλα βάθη της θάλασσας έχουν στα ραβδία τους φωτοχρωστικές που εμφανίζουν τη μέγιστη απορρόφηση σε σχετικά μικρά μήκη κύματος (470-490 nm), σε σύγκριση με αυτούς που διαβιούν σε ρηχά ή γλυκά νερά. Αυτό πιθανότατα σχετίζεται με τα μικρά μήκη κύματος που διεισδύουν στο περιβάλλον τους (Munk, 1999). Στις περισσότερες περιπτώσεις όλοι οι φωτοϋποδοχείς έχουν την ίδια χρωστική, ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις, που υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη χρωστικής σε διαφορετικά ραβδία. Αυτά τα είδη των ιχθύων έχουν συνήθως μαύρο χρώμα και όργανα βιοφωτισμού, τα οποία εκπέμπουν φως σε σχετικά μεγάλα μήκη κύματος. Πιστεύεται ότι η ύπαρξη δύο χρωστικών οφείλεται σε αυτό το φαινόμενο. Οι ιχθύες του θαλασσινού νερού που ζουν στα επιφανειακά στρώματα του νερού έχουν φωτοϋποδοχείς που περιέχουν ροδοψίνη, με απορρόφηση 494-505 nm. Η ροδοψίνη των οπτικών χρωστικών των μεταναστευτικών ειδών εμφανίζει μέγιστη απορρόφηση περίπου στα 500 nm, ενώ η χρυσοψίνη εμφανίζει μέγιστη απορρόφηση σε μήκη κύματος των 470 nm. Επιπλέον, οι οπτικές χρωστικές των ειδών της παράκτιας ζώνης δεν ακολουθούν τις ίδιες φασματικές απορροφήσεις σε σύγκριση με τα είδη που ζουν σε μεγάλα βάθη. Οι οπτικές χρωστικές των ιχθύων των ρηχών θαλάσσιων υδάτων, εμφανίζουν απορρόφηση σε μήκη κύματος των 500-510 nm (Jobling, 1996, Wehner and Gehring, 1997). Οι ιχθύες που διαβιούν στην θάλασσα, σε μεσαία βάθη έχουν συνήθως δύο είδη χρωστικών στα κωνία τους (ανεξάρτητα από τη χρωστική στα ραβδία), οι οποίες απορροφούν μέγιστα περίπου στα 460 nm και 540 nm, αντίστοιχα. Οι ιχθύες του γλυκού νερού που ζουν στον πυθμένα, ειδικά αυτοί που είναι νυκτόβιοι, έχουν επίσης δύο είδη χρωστικών στα κωνία τους, οι οποίες απορροφούν καλύτερα στα 530 nm και 620 nm, αντίστοιχα. Υποστηρίζεται ότι σε αυτή την ομάδα των ιχθύων, τα κωνία που είναι ευαίσθητα σε μεγάλα μήκη κύματος συμβάλουν στην οπτική ευαισθησία, ενώ τα κωνία που είναι ευαίσθητα σε μικρά μήκη κύματος συμβάλλουν κυρίως στην «έγχρωμη» όραση. Οι ιχθύες που διαβιούν σε πολύ ρηχά γλυκά ή θαλάσσια νερά, έχουν τρία είδη χρωστικών (420, 530, 620 nm), εκ των οποίων τα δύο είναι παρόμοια με αυτά των ιχθύων που διαβιούν σε βαθύτερα νερά, ενώ το τρίτο

παρουσιάζει ευαισθησία στο μπλε χρώμα (Jobling, 1996, Wehner and Gehring, 1997). Η παρουσία τριών τύπων κωνίων οδηγεί σε κάλυψη μεγαλύτερου μέρους του ηλιακού φάσματος, και πιθανότατα αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι στο περιβάλλον διαβίωσης τους το εύρος του ηλιακού φάσματος που παρατηρείται είναι μεγαλύτερο (Matsuda et al., 2005).

Ορισμένα είδη ιχθύων έχουν κωνία που είναι ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία που εμφανίζουν μέγιστο απορρόφησης στα 360 nm. Η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται ταχύτατα από το νερό, επομένως συναντάται μόνο στην επιφάνεια του. Έτσι οι ιχθύες που εμφανίζουν ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία, ζουν κοντά στην επιφάνεια του νερού (Guthrie and Muntz, 1993).

Καθώς το φως πέφτει στους φωτοϋποδοχείς, δηλαδή τα κωνία και τα ραβδία, απορροφάται από την φωτοευαίσθητη χρωστική για παράδειγμα τη ροδοψίνη ή την πορφυροψίνη, που υπάρχει στα κύτταρα αυτά. Οι χρωστικές αποχρωματίζονται αναστρέψιμα όταν εκτίθενται στο φως συγκεκριμένου μήκους κύματος. Η διαδικασία της όρασης ξεκινάει με την απορρόφηση ενός φωτονίου από την φωτοχρωστική. Η ενέργεια του φωτονίου μεταφέρεται στην φωτοχρωστική και προκαλεί τον ισομερισμό της. Στο σκοτάδι, η ρετινάλη είναι δεσμευμένη στην οψίνη με τη μορφή 11-cis-ρετινάλη. Η απορρόφηση φωτός προκαλεί μετατροπή της προς όλο-trans-ρετινάλη, η οποία δεν δεσμεύεται πια στην οψίνη και αυτό προκαλεί την ενεργοποίηση του φωτοϋποδοχέα. Στο σκοτάδι οι φωτοϋποδοχείς έχουν ανοιχτούς διαύλους νατρίου, προκαλώντας την απελευθέρωση του νευροδιαβιβαστή πάνω στα δίπολα και στα οριζόντια κύτταρα. Όταν απορροφάται φως, κλείνουν οι διαύλοι νατρίου, γεγονός που οδηγεί σε υπερπόλωση των φωτοϋποδοχέων και σε μείωση της απελευθέρωσης του νευροδιαβιβαστή, που πιθανότατα είναι το γλουταμινικό οξύ. Σε αυτήν την επεξεργασία πληροφοριών συμμετέχει ένας μηχανισμός ενίσχυσης, που στηρίζεται σε ένα σύστημα δεύτερου αγγελιοφόρου. Η κυκλική μονοφωσφορική γουανοσίνη (cGMP) διατηρεί τους διαύλους νατρίου σε ανοιχτή στερεοδιάταξη. Το φως ενεργοποιεί μία G-πρωτεΐνη, που ονομάζεται μεταγωγίνη, στη φωτοδεκτική μεμβράνη, με τη μετατροπή της τριφωσφορικής γουανοσίνης (GTP) σε διφωσφορική γουανοσίνη (GDP). Η μεταγωγίνη με τη σειρά της ενεργοποιεί μία φωσφοδιεστεράση, η οποία υδρολύει την κυκλική μονοφωσφορική γουανοσίνη (cGMP). Αυτό προκαλεί κλείσιμο των διαύλων νατρίου και υπερπόλωση του φωτοϋποδοχέα (Hawryshyn, 1998).

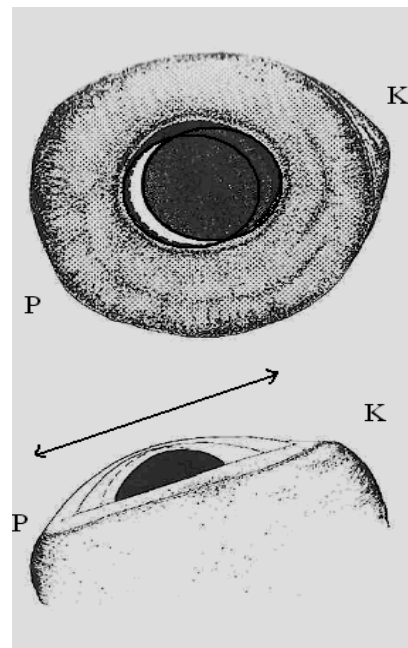
1.2.3. Η λειτουργία του οφθαλμού

Τα κύρια μέρη του οφθαλμού των ιχθύων είναι ο αμφιβληστροειδής χιτώνας που βρίσκεται στο οπίσθιο μέρος του οφθαλμού και ο φακός που βρίσκεται στο πρόσθιο τμήμα. Τα δύο αυτά μέρη λειτουργούν σαν μία κάμερα, καθώς ο φακός προβάλλει τα διάφορα είδωλα των αντικειμένων του περιβάλλοντος στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. (Νεοφύτου, 1997). Το φως το οποίο εστιάζεται από τον φακό προβάλλεται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα με το κατάλληλο πρότυπο φωτεινότητας, σκίασης και συχνά χρώματος.

Τα Σπονδυλωτά της ξηράς, έχουν την ικανότητα να προσαρμόζουν τους οφθαλμούς τους κατά τρόπον ώστε να βλέπουν σε διάφορες αποστάσεις, πράγμα που σημαίνει ότι οι οφθαλμοί εστιάζονται για κοντινά και μακρινά αντικείμενα. Αυτό επιτυγχάνεται με την αλλαγή της κυρτότητας του φακού κάτω από την επίδραση ειδικών μυών. Στους ιχθύς όμως το ίδιο πράγμα επιτυγχάνεται με την αλλαγή της θέσης του φακού μέσα στον οφθαλμό με τη βοήθεια ειδικών μυών (Νεοφύτου, 1997).

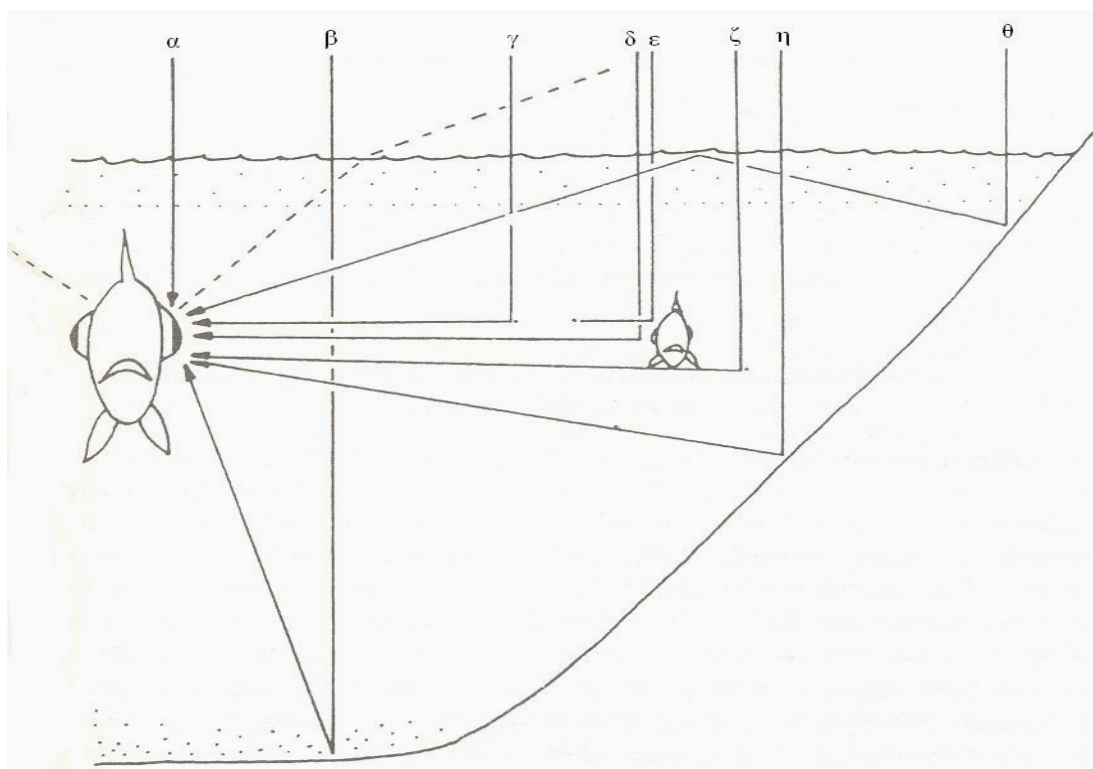
Στους περισσότερους ιχθύς, ο φακός κινείται σχεδόν παράλληλα στο επίπεδο της κόρης. Σε πολύ λίγα είδη ο φακός κινείται κάθετα στο επίπεδο της κόρης, αλλά στους περισσότερους Τελεόστεους, η κίνηση του φακού γίνεται στο επίπεδο της κόρης με μικρή μόνο μετατόπιση κάθετα του επιπέδου της κόρης (δηλαδή μπρος-πίσω) (εικ. 1.7). Αυτό σημαίνει ότι τα διάφορα τμήματα του αμφιβληστροειδή εστιάζουν σε διαφορετικές αποστάσεις ή σε διαφορετικά σημεία του οπτικού πεδίου ταυτόχρονα. Για παράδειγμα όταν ο φακός βρίσκεται κοντά στο ράθωνα, το τμήμα του αμφιβληστροειδούς που εκτείνεται από το κέντρο του ως την κροταφική περιοχή του ιχθύος, εστιάζει για κοντινή όραση, ενώ το τμήμα του αμφιβληστροειδούς που εκτείνεται από το κέντρο του ως τη ρινική περιοχή του ιχθύος, εστιάζει για μακρινή όραση (Kawamura and Kishimoto, 2002).

Η αίσθηση της όρασης στους ιχθύς εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στους οφθαλμούς. Η ποσότητα και η φασματοσκοπική ποιότητα του φωτός που εισέρχεται στον οφθαλμό του ιχθύος εξαρτάται από την οδό που θα ακολουθήσει η δέσμη φωτός πριν εισέλθει στον οφθαλμό (εικ. 1.8). Όταν το φως έρχεται απευθείας πάνω από τον ιχθύ (εικ. 1.8.α), η απόσταση που διανύει είναι η μικρότερη γεγονός που οδηγεί σε μέγιστη ποσότητα και φασματοσκοπική ποιότητα του φωτός. Αντικείμενα που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του νερού μπορούν να γίνουν ορατά από τον ιχθύ μό-



Εικόνα 1.7: Πάνω, πλευρική όψη του οφθαλμού που δείχνει την κατεύθυνση της κίνησης του φακού. Η κίνηση του φακού γίνεται από το ράθωνα (P) ως τον κρόταφο (K) του ιχθύος. Κάτω, ραχιαία όψη του οφθαλμού. Η κίνηση του φακού γίνεται σχεδόν αποκλειστικά στο επίπεδο της κόρης (Fernald and Wright, 1985).

νο αν αυτά βρίσκονται μέσα σε μία γωνία 97° (εικ. 1.8, διακεκομμένη γραμμή). Όταν η δέσμη φωτός προέρχεται από αντανάκλαση στον πυθμένα (εικ. 1.8.β και η), διανύει μεγαλύτερη απόσταση και παρατηρείται μειωμένη ένταση φωτός, με αλλαγμένη φασματοσκοπική ποιότητα εξαιτίας απορρόφησης και ανάκλασης μέρους της. Οι ιχθύες είναι σε θέση να αντιληφθούν το φως που αντανακλάται σε αιωρούμενα σωματίδια (εικ. 1.8.γ και ζ) ή άλλα αντικείμενα (εικ. 1.8.δ). Είναι δυνατό, το φως που ανακλάται σε αντικείμενα, να μην γίνει αντιληπτό εξαιτίας της απορρόφησης του από αιωρούμενα σωματίδια (εικ. 1.8.ε). Τέλος, κατά την ολική αντανάκλαση του φωτός στην επιφάνεια του νερού (εικ. 1.8.θ), η φασματοσκοπική ποιότητα του φωτός είναι υπερβολικά μειωμένη εξαιτίας της μεγαλύτερης απόστασης που διανύει (Guthrie and Muntz, 1993).



Εικόνα 1.8: Τα πιθανά μονοπάτια που ακολουθεί το φως προτού εισέλθει στον οφθαλμό του ιχθύος (Guthrie and Muntz, 1993).

1.3. Η επίδραση του φωτός στους ιχθύς

Η επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων είναι καθοριστική στην ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και άλλες λειτουργίες ζωτικής φύσης των ιχθύων. Οι ιχθύες ως ποικιλόθερμοι οργανισμοί εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τη θερμοκρασία, ενώ και οι υπόλοιποι περιβαλλοντικοί παράγοντες (pH, αλατότητα, διαθέσιμο οξυγόνο) έχουν αποδειχθεί ότι επηρεάζουν την ανάπτυξη (Boeuf and Le Bail, 1999).

Ανάλογα με την ηθολογία διαβίωσης του κάθε είδους (ημερόβιο ή νυκτόβιο) το φως μπορεί να αποτελέσει παράγοντα stress και παράγοντα που επηρεάζει την φυσιολογία της αναπαραγωγής (Boeuf and Le Bail, 1999, Papoutsoglou, 2005). Το φως αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα εκτροφής για τους ιχθύς (Boeuf and Le Bail, 1999, Papoutsoglou, 2005), επηρεάζοντας την ανάπτυξη από το στάδιο του αβγού ως το γεννητικά ώριμο άτομο (Downing, 2002) και πληθώρα μελετών έχουν πραγματοποιηθεί για την κατανόηση της εμπλοκής του.

Η ποιότητα φωτός (διαφορετικό φάσμα), η ποσότητα (ένταση) και η περιοδικότητα (φωτοπερίοδος) διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην εκτροφή των ιχθύων. Στη φύση το φως χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο εύρος ταχύτατων αλλαγών (Sumpter, 1992, Boeuf and Le Bail, 1999, Han et al., 2005).

Η αντίδραση των ιχθύων στην επίδραση των συνθηκών φωτισμού εξαρτάται από το είδος του εκάστοτε ιχθύος, το στάδιο ανάπτυξης του και τη φύση του φωτός. Έχει διαπιστωθεί διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των ιχθύων μεταξύ του τεχνητού και του φυσικού φωτός. Μια συνήθης αντίδραση των ιχθύων, στην παρουσία τεχνητού φωτός, είναι η συνάθροιση και η έλξη από την φωτεινή πηγή, η οποία ενδεχομένως αποσκοπεί στην αποφυγή θηρευτών και την ενίσχυση της διατροφικής αποτελεσματικότητας. Η αντίδραση αυτή των ιχθύων εξαρτάται από το είδος του ιχθύος, τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, τα φυσικά χαρακτηριστικά του νερού και ιδιαίτερα την ένταση και το μήκος κύματος του φωτός (Marchesan et al., 2005).

Όπως παρουσιάζεται από τους Bayarri et al. (2002) για το λαβράκι, το φως πρέπει να κατευθύνεται προς τα κάτω, μιμούμενο το ηλιακό φως, αφού η επίφυση βρίσκεται στην κορυφή του εγκέφαλου (Bayarri et al., 2004).

Τα κύτταρα της επίφυσης και των οφθαλμών, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό είναι αυτά, που υπό την επίδραση του φωτός, ελευθερώνουν την ορμόνη μελατονίνη (Bayarri et al., 2004, Vela et al., 2009). Η μελατονίνη είναι ένας σημαντικός παράγοντας παρέχοντας στους ιχθύς και γενικότερα στα περισσότερα ζώα, πληροφορίες για το χρόνο της μέρας και του έτους, για την σύνθεση και απελευθέρωση του γεννητικού υλικού. Στους ιχθύς, η παραγωγή της μελατονίνης ρυθμίζεται με βάση τον κυρκαδικό κύκλο, μέσω της επίφυσης (Amano et al., 2006).

Έχει αποδειχθεί ότι, κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των ιχθύων, ακατάλληλος φωτισμός ως προς την ένταση, το μήκος κύματος, την φωτοπερίοδο και την κατεύθυνση του φωτός, από αυτή που προϋποθέτει το είδος και η οπτική οντογένεσή του, μπορεί να αποτελέσει αιτία αυξημένων θνησιμοτήτων, μειωμένης ανάπτυξης,

εμφάνισης σκελετικών και ανατομικών δυσμορφιών (απουσία, πλημμελή ανάπτυξη ή υπερτροφία νηκτικής κύστης, μειωμένη απορρόφηση λεκιθικού σάκου, παραμόρφωση σιαγόνας και σπονδυλικής στήλης), μειωμένης ανάπτυξης του πεπτικού σωλήνα και των συναφών σ' αυτόν οργάνων (Firat et al., 2003, Korkut et al., 2006, Villamizar et al., 2009).

1.3.1. Η επίδραση της φωτοπεριόδου στους ιχθύς

Ο πιο θεμελιώδης ρυθμός στη φύση (ημερήσιος ή εποχιακός) σχετίζεται με την περιοδικότητα του φωτός. Φωτοπερίοδος καλείται η εναλλαγή φωτός και σκότους, η οποία χαρακτηρίζεται από σταδιακή ημερήσια αύξηση ή μείωση της φωτεινής ή σκοτεινής χρονικής διάρκειας. Υπάρχουν είδη ιχθύων που εμφανίζουν μέγιστη δραστηριότητα κατά τη διάρκεια του φωτός και λιγότερο του σκότους (ημερόβια), όσο και το αντίθετο (νυκτόβια) (Boeuf and Le Bail, 1999).

Στους περισσότερους ιχθύς, η επίδραση της φωτοπεριόδου θεωρείται καθοριστικής σημασίας, συμβάλλοντας στην παραγωγή ορμονών όπως μελατονίνη, θυροειδικές και γοναδικές ορμόνες. Γενικά, ξεκινά μια διαδικασία αλυσιδωτών αντιδράσεων επηρεάζοντας το ενδοκρινικό σύστημα, ρυθμίζοντας την αναπαραγωγική συμπεριφορά (Παπουτσόγλου, 1998, Boeuf and Le Bail, 1999, Bayarri et al, 2004, Begtashi et al., 2004, Rodriguez, 2005, Oliveira et al., 2007), την επιβίωση και την ανάπτυξη (Barahona-Fernandez, 1979, Krakenes et al, 1991, Jobling, 1994, Downing and Litvak, 1999, Giri et al., 2002, Downing, 2002, Bayarri et al., 2004, Imsland and Jonassen, 2005), ενώ δεν αποκλείεται να επηρεάζει τη διατροφική συμπεριφορά, τον μεταβολισμό, την επιθετικότητα και τον κανιβαλισμό σε αρκετά είδη ιχθύων (Giri et al., 2002, Almazan-Rueda et al., 2004).

Στην εκτροφή, που ο φωτισμός παρέχεται και ελέγχεται τεχνικά, είναι δυνατό να παραταθεί ή να επισπευτεί η γεννητική ωρίμανση των ιχθύων, μέσω της αλλαγής της χρησιμοποιούμενης φωτοπεριόδου. Κατά την εκτροφή του λαβρακιού η φωτοπερίοδος χρησιμοποιείται για την καθυστέρηση της γεννητικής ωρίμανσης ή την μεταβολή της ωοτοκίας (Bayarri et al, 2004), ενώ συνεχής χρήση φωτός έχει διακόψει την ανάπτυξη των γονάδων σε νεαρά ιχθύδια (Begtashi et al., 2004, Rodriguez, 2005). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί και σε άλλα είδη όπως σε εκτρεφόμενους σολομούς (*Salmo salar*) και μπακαλιάρους (*Gadus morhua*) (Oppedal et al., 2003, Hemre et al., 2004).

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα είδη όπως το *Melanogammus aeglefinus*, των οποίων η επιβίωση και η ανάπτυξη δεν φαίνεται να επηρεάζεται σε φωτοπεριόδους 15Φ:9Σ και 24Φ:0Σ (Downing and Litvak, 1999), ενώ υπό αυτές τις συνθήκες τα εκκολαπτόμενα ιχθύδια είναι μικρότερα σε σύγκριση με τη χρήση φωτοπεριόδων (18Φ:6 και 12Φ:12Σ) (Downing and Litvak, 2002). Η χρήση συνεχούς φωτός σε σολομούς προκάλεσε μείωση της κατανάλωσης τροφής για 6 – 8 εβδομάδες μετά την επαναφορά σε φυσιολογική φωτοπερίοδο (Oppedal et al., 2003).

1.3.2. Η επίδραση της έντασης φωτός στους ιχθύς

Η ένταση φωτός μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα στην εκτροφή υδρόβιων οργανισμών και εξαρτάται από τη θολότητα και το βάθος. Η ένταση φωτός που απαιτεί ο κάθε οργανισμός εξαρτάται από το είδος, την ηθολογία διαβίωσής και το στάδιο ανάπτυξής του (Firat et al., 2003, Han et al., 2005, Korkut et al., 2006, Vera et al., 2009), παίζοντας καθοριστικό ρόλο σε λειτουργίες ζωτικής σημασίας των ιχθύων, όπως την ανάπτυξη (Blaxter, 1980, Wallace et al., 1988, Daniels et al., 1996, Denson and Smith, 1997, Boeuf and Le Bail, 1999, Noble et al., 2005, Han et al., 2005, Papoutsoglou et al., 2008), την επιβίωση (Barahona-Fernades, 1979, Ounais-Guschemann, 1989, Hart et al., 1996, Han et al., 2005, Firat et al., 2003, Strad et al., 2007), την κατανάλωση τροφής και την ταχύτητα κολύμβησης (Petrell and Ang, 2001, Mazur and Beauchamp, 2003, Almazan-Rueda et al., 2004, Noble et al., 2005, Strad et al., 2007), την επιθετικότητα (Valdimarsson and Metcalfe, 2001, Castro and Caballero, 2004), τη φυσιολογική κατάσταση (Papoutsoglou et al., 2008), τη συμπεριφορά (Puvanendran and Brown, 2002, Korkut et al., 2006, Torisawa, 2007), την αναπαραγωγική διαδικασία (Ridha and Cruz, 2000), τον κανιβαλισμό, το χρώμα δέρματος και το μεταβολισμό των ιχθύων (Firat et al., 2003, Han et al., 2005, Doolan et al., 2007).

Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση χαμηλής (> 20 lux) ή υψηλής έντασης φωτός (5000 lux), ενδεχομένως να οδηγεί σε μη επιθυμητά αποτελέσματα, αποτελώντας παράγοντα stress ακόμα και αιτία θανάτου, για τους περισσότερους ιχθύς (Boeuf and Le Bail, 1999, Firat et al., 2003, Bayarri et al., 2004, Han et al., 2005, Korkut et al., 2006, MacIntosh and Duston, 2007).

Έχει αναφερθεί ότι, η ένταση του φωτός κατά τη διάρκεια του σκότους (λυκόφως) επιδρά στη δραστηριότητα που εμφανίζουν άτομα λαβρακιού σε δεξαμενές, κατά τη διάρκεια της νύχτας (Rosenthal et al., 1981), ενώ η δυνατότητα διατροφής στις συνθήκες αυτές, ιχθυδίων του είδους *Morone saxatilis* (οικογένεια Moronidae) φαίνεται να βελτιώνονται με την ηλικία (MacIntosh and Duston, 2007).

1.3.3. Η επίδραση του φάσματος φωτός στους ιχθύς

Το φάσμα είναι η παράμετρος του φωτός που έχει ερευνηθεί σε μικρότερο βαθμό από τις υπόλοιπες (ένταση και φωτοπερίοδος). Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι, το μεγαλύτερο μέρος της εκτροφής πραγματοποιείται σε εξωτερικούς χώρους (ιχθυοκλωβούς και χερσαίες δεξαμενές). Σήμερα, η αυξημένη επιβάρυνση των φυσικών υδάτινων πόρων και η ανάγκη αντιμετώπισης μεγάλου μέρους των προβλημάτων της εκτροφής, καθιστούν αναγκαίο τον πλήρη έλεγχο των συνθηκών εκτροφής, μέσω της χρήσης ημίκλειστων συστημάτων παραγωγής, ενώ μεγάλη προσπάθεια καταβάλλεται για την κατανόηση της εμπλοκής παραγόντων όπως το μήκος κύματος του φωτός στη φυσιολογία των ιχθύων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το νερό απορροφά ταχύτατα ένα μεγάλο εύρος φασμάτων, με αποτέλεσμα μετά από βάθος λίγων μέτρων, να κυριαρχούν μόνο το κυανό και το πράσινο φάσμα. Έτσι οι φωτοϋποδοχείς των ιχθύων έχουν προσαρμοστεί στο περιβάλλον φωτός που ζουν, απορροφώντας από το κυανοπράσινο ως το κυανοπράσινο του λυκόφωτος (Oliveira et al., 2007).

Ο Downing (2002) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, τα νεαρά ιχθύδια εμφανίζουν μια ελαστικότητα στην οπτική τους δυνατότητα, παρατηρώντας παρόμοια ανάπτυξη χρησιμοποιώντας διαφορετικά μήκη κύματος. Δεν αποκλείεται, τα ιχθύδια να μην είναι σε θέση να αντιληφθούν το διαφορετικό μήκος κύματος, λόγω της πλημμελούς ανάπτυξης των εμπλεκόμενων οργάνων και μηχανισμών, στην ηλικία αυτή.

Αντίθετα, οι Downing and Litvak (2001) οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι, η τυχαία συνύπαρξη των ιχθυδίων κατά την πρώτη σίτιση με εξωγενή τροφή και της τροφής στο χώρο, ακόμα και υπό καθεστώς διαύγειας, δεν εξασφαλίζουν την επιτυχή κατανάλωση της τροφής. Η μείωση της οπτικής δυνατότητας των ιχθυδίων, η οποία τελικώς οδηγεί σε μείωση ανάπτυξης και επιβίωσης, μπορεί να προκληθεί από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι το φάσμα φωτός,

Ο Ruchin (2004) μελετώντας τρία είδη διαφορετικής ηθολογίας διαβίωσης και διατροφής (*Carassius carassius*, σαρκοφάγο - βένθους, *Percottus glenii*, πλαγκτονοφάγο - μεσόνηρων και *Poecilia reticulata*, πλαγκτονοφάγο - επιφάνειας), διαπίστωσε ότι, το ερυθρό και το κίτρινο φάσμα δεν ευνοούν την ανάπτυξη. Το ερυθρό δε, προκάλεσε μείωση της ανάπτυξης όλων των ειδών. Οι Kusmic and Gualtieri (2000) αναφέρουν ότι η αυξημένη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων (οργανικών και ανόργανων), είναι η αιτία της κυριαρχίας των υψηλών μήκων κύματος (480-590 nm) στα οικοσυστήματα του γλυκού νερού, ενώ η εμφανιζόμενη παραλλακτικότητα είναι αποτέλεσμα της θολότητας, που εμφανίζεται κατά τις περιόδους των βροχοπτώσεων.

Το χρησιμοποιούμενο φάσμα φωτός πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στο φυσικό φως, περιέχοντας όλα τα ορατά μήκη κύματος (Bayarri et al., 2004). Οι Vera et al. (2009) μελετώντας την αποτελεσματικότητα διαφορετικών μήκων κύματος στη μείωση της παραγόμενης μελατονίνης κατά τη διάρκεια της νύχτας, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ευαισθησία του κάθε οργανισμού στο φάσμα φωτός είναι αλληλένδετη με την ηθολογία διαβίωσης του οργανισμού. Έτσι, ιχθύες που εκτελούν συχνά κάθετες μετακινήσεις στη στήλη του νερού, όπως ο μπακαλιάρος, εμφανίζουν παρόμοια ευαισθησία σε μεγάλο εύρος φασμάτων, ενώ εκείνοι που βρίσκονται μονίμως σε νερά, που τα μεγαλύτερα μήκη κύματος έχουν ήδη απορροφηθεί, όπως το λαβράκι, δεν εμφανίζουν ευαισθησία σε αυτό το εύρος φασμάτων. Η περίπτωση του σολομού είναι ιδιαίτερη, λόγω της ιδιαίτερης ηθολογίας διαβίωσης και αναπαραγωγής διαθέτοντας μεγάλο εύρος φωτοχρωστικών (ροδοψίνη κατά την περίοδο που κινείται σε επιφανειακά ωκεάνια, πορφυροψίνη όταν κινείται σε παράκτια και γλυκά νερά). Οι Oliveira et al. (2007) μελετώντας τα επίπεδα μελατονίνης σε ένα νυκτόβιο βενθικό είδος (βάθη 2 – 12 m) παρατήρησαν ότι, τα χαμηλά και τα μεσαία μήκη κύματος γίνονται αντιληπτά από τους ιχθύς και όχι τα υψηλά μήκη κύματος. Οι Marchesan et al. (2005) επιβεβαίωσαν τις παραπάνω παρατηρήσεις παρατηρώντας τη

αντίδραση των ιχθύων (*Sparus aurata*, συναντάται σε μεγάλο εύρος βαθών, *Mugil cephalus*, επιπελαγικό είδος, *Dicentrarchus labrax*, νυκτόβιος θηρευτής, *Lithognathus mormyrus*, ημερόβιο είδος) στην παρουσία τεχνητού φωτός διαφορετικού φάσματος και έντασης.

Οι Szisch et al. (2002) δεν διαπίστωσαν διαφοροποίηση της συγκέντρωσης της γλυκόζης και διαφόρων ορμονών όπως, των θυροειδικών ορμονών (T_3 , T_4), της κορτιζόλης, και της MSH σε άτομα του είδους *Pagrus pagrus*, ούτε διαφοροποίηση της περιεκτικότητας των χρωματοφόρων κυττάρων στο δέρμα, παρόλο που εμφανής ήταν η διαφοροποίηση της φωτεινότητας του δέρματος. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, το διαφορετικό μήκος κύματος επιδρά στην αλληλεπίδραση των χρωματοφόρων κύτταρων για την απόδοση του χρωματισμού του δέρματος και όχι στην ποσότητα τους.

Οι Head and Malison (2000), Barcellos et al. (2006), και Karakatsouli et al. (2008) διαπίστωσαν ότι η χρήση κατάλληλου φάσματος φωτισμού είναι δυνατό να μειώσει την αντίδραση των ιχθύων στο stress. Οι Barcellos et al. (2006), χρησιμοποιώντας δυο φάσματα μικρού μήκους κύματος (κυανό και πράσινο) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, μόνο ένα μικρό φασματικό εύρος μπορεί να προκαλέσει τα ευεργετικά αποτελέσματα της μείωσης της αντίδρασης του stress, το οποίο χαρακτηρίζει το φυσικό περιβάλλον διαβίωσης του εκάστοτε οργανισμού. Οι Head and Malison (2007) και Karakatsouli et al. (2008) παρατήρησαν ότι, το φάσμα φωτός της εμφάνισης καλύτερης αντίδρασης στο stress, μπορεί να διαφέρει αυτού της εμφάνισης βέλτιστης ανάπτυξης, ενώ είναι πιθανόν, τα δύο αυτά φάσματα να διαφέρουν κατά πολύ (κυανό – ερυθρό).

Συμπερασματικά, το οπτικό περιβάλλον των ιχθύων χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από το κυανό, το πράσινο και το ερυθρό φάσμα φωτός (Volpato and Barreto, 2001) και επιδρά σε συγκεκριμένους νευροορμονικούς μηχανισμούς, με αποτέλεσμα να επηρεάζει πολλές παραμέτρους της φυσιολογικής κατάστασης των ιχθύων (πιν. 1.1), όπως: την ανάπτυξη (Stefansson and Hansen, 1989, Head and Malison, 2000, Downing, 2002, Naor et al., 2003, Ruchin, 2004, Karakatsouli et al., 2007, Karakatsouli et al., 2008), το χρώμα εξωτερικής επιφάνειας (Szisch et al., 2002, Van der Salm et al., 2004, Doolan et al., 2007), την παραγωγή και έκκριση ορμονών (Bayarri et al., 2002, Szisch et al., 2002, Naor et al., 2003, Karakatsouli et al., 2007, Vera et al., 2009), την αντιμετώπιση καταστάσεων stress (Head and Malison, 2000, Volpato and Barreto, 2001, Barcellos et al., 2006, Karakatsouli et al., 2008), τη συμπεριφορά (Loukashkin and Grant, 1959, Blaxter, 1980, Loew and Sillman, 1998, Utne-Palm, 1999, Downing and Litvak, 2001, Ruchin, 2001, Marchesan et al., 2005) την αναπαραγωγή (Gamble et al., 2003, Volpato et al., 2004) και την επιβίωση (Downing, 2002).

Η αντίληψη του μήκους κύματος της ακτινοβολίας από τους ιχθύς, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξαρτάται από τους φωτοϋποδοχείς του οφθαλμού και διαφέρει μεταξύ των διαφόρων ειδών. Οι φωτοϋποδοχείς του κάθε είδους είναι προσαρμοσμένοι στην ηθολογία διαβίωσης και αναπαραγωγής των περισσότερων ειδών. Οι Kobayashi

et al.(2002) παρατήρησαν ότι, η ευαισθησία των ιχθύων σε διαφορετικά μήκη κύματος υπέρυθρου φωτός (700, 750, 780 και 800 nm) εμφανίζεται ακόμα και μεταξύ των υποειδών (ποικιλιών) της τιλάπιας *Oreochromis niloticus*.

Πίνακας 1.1: Συνοπτική απεικόνιση των ερευνών της επίδρασης του φάσματος φωτός στους ιχθύς

Μελέτη	Είδος ιχθύος	Βάρος ιχθύων (g)	Μήκος κύματος (nm)	Αποτελέσματα
Bayarri et al., 2002	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	57,9	Κυανό (454) Πράσινο (544) Ερυθρό (640)	Το κυανό εμφάνισε αύξηση των επιπέδων μελατονίνης, ενώ το ερυθρό υπό την κατάλληλη ένταση δεν επηρέασε τα επίπεδα μελατονίνης.
Marchesan et al., 2005	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	15-20	Ιώδες (410) Κυανό (460) Πράσινο (525) Κίτρινο (580) Πορτοκαλί (600) Ερυθρό (650)	Ισχυρή απόθεση στο κυανό και πράσινο χαμηλής έντασης.
Vera et al., 2009	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	368,3	Κυανό (472) Πράσινο (555) Ερυθρό (661) Λευκό	Το πράσινο εμφάνισε την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη μείωση της παραγόμενης μελατονίνης, ακολουθούμενο από το κυανό, ενώ το ερυθρό εμφάνισε την μικρότερη αποτελεσματικότητα.
Villamizar et al., 2009	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	NI	Κυανό (463) Ερυθρό (685)	Οι ιχθύες υπό το κυανό εμφάνισαν τη βέλτιστη ανάπτυξη, ενώ τη μικρότερη στο ερυθρό. Επίσης υπό το κυανό εμφάνισαν τη μεγαλύτερη κατανάλωση τροφής.
Vera et al., 2009	<i>Cadius morhua</i> (μπακαλιάρος Ατλαντικού)	92,9	Κυανό (472) Πράσινο (555) Ερυθρό (661) Λευκό	Εμφάνισαν μεγάλη παραλλακτικότητα στα επίπεδα μελατονίνης σε όλα τα μήκη κύματος.
Marchesan et al., 2005	<i>Lithognathus mormyrus</i> (μουρμούρα)	15-20	Ιώδες (410) Κυανό (460) Πράσινο (525) Κίτρινο (580) Πορτοκαλί (600) Ερυθρό (650)	Ελαφρά έλξη από το πράσινο και μέτρια απόθεση από το ερυθρό
Downing and Litvak, 2001	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	NI	Κυανό (470) Πράσινο (530) Λευκό	Το κυανό εμφάνισε τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην επιτυχή πρόσληψη της τροφής σε σχέση με τα αλλά δυο φάσματα.

Μελέτη	Είδος ιχθύος	Βάρος ιχθύων (g)	Μήκος κύματος (nm)	Αποτελέσματα
Downing, 2002	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	NI	Κυανό (470) Πράσινο (530) Λευκό	Η επιβίωση ιχθυδίων μειώθηκε σημαντικά στο λευκό σε σύγκριση με τα άλλα μήκη κύματος, ενώ δεν εμφανίστηκαν διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη
Downing and Litvak, 2002	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	αβγά	Κυανό (470) Πράσινο (530) Λευκό	Δεν παρουσιάστηκαν διαφοροποιήσεις στον χρόνο εκκόλαψης και στην ανάπτυξη των ιχθυδίων.
Marchesan et al., 2005	<i>Mugil cephalus</i> (κέφαλος)	15-20	Ιώδες (410) Κυανό (460) Πράσινο (525) Κίτρινο (580) Πορτοκαλί (600) Ερυθρό (650)	Έλξη από το κυανό και το ιώδες και απώθηση από το ερυθρό σε υψηλή ένταση.
Szisch et al., 2002	<i>Pagrus pagrus</i> (φαγκρί)	101,5	Κυανό (450-475) Λευκό	Το κυανό διατήρησε τη φωτεινότητα του δέρματος σε αντίθεση με το λευκό, που προκάλεσε σκούρο χρωματισμό .
Vera et al., 2009	<i>Salmo salar</i> (σολομός Ατλαντικού)	256,6	Κυανό (472) Πράσινο (555) Ερυθρό (661) Λευκό	Το ερυθρό φάσμα φωτός εμφάνισε την μικρότερη αποτελεσματικότητα στην μείωση της παραγόμενης μελατονίνης.
Oliveira et al., 2007	<i>Solea senegalensis</i> (γλώσσα Σενεγάλης)	611,9	Ιώδες (368) Ερυθρό (<600) Λευκό	Το ερυθρό δεν προκάλεσε μεταβολή των επιπέδων μελατονίνης σε αντίθεση με το κυανό και το λευκό.
Marchesan et al., 2005	<i>Sparus auratus</i> (τσιπούρα)	15-20	Ιώδες (410) Κυανό (460) Πράσινο (525) Κίτρινο (580) Πορτοκαλί (600) Ερυθρό (650)	Απόθηση από το φως ανεξαρτήτως μήκους κύματος.
Karakatsouli et al., 2007	<i>Sparus aurata</i> (τσιπούρα)	29,8	Κυανό (480) Ερυθρό (605) Λευκό	Το ερυθρό φάσμα αποτελεί παράγοντα stress, έχοντας ως αποτέλεσμα την εμφάνιση της μικρότερης ανάπτυξης.

Μελέτη	Είδος ιχθύος	Βάρος ιχθύων (g)	Μήκος κύματος (nm)	Αποτελέσματα
Ruchin, 2004	<i>Carassius carassius</i> (πεταλούδα)	0,7-3,0	Κυανό Πράσινο Κίτρινο Ερυθρό Λευκό	Εμφάνισε τη βέλτιστη ανάπτυξη στο πράσινο.
Karakatsouli et al., 2007	<i>Oncorhynchus mikiss</i> (ιριδίζουσα πέστροφα)	71,4	Κυανό (480) Ερυθρό (605) Λευκό	Το κυανό αποτελεί παράγοντα stress, ενώ το ερυθρό εμφάνισε τη βέλτιστη ανάπτυξη.
Karakatsouli et al., 2008	<i>Oncorhynchus mikiss</i> (ιριδίζουσα πέστροφα)	145,3	Κυανό (480) Ερυθρό (605) Λευκό	Το ερυθρό εμφάνισε την μέγιστη ανάπτυξη, ενώ το κυανό φάσμα προκάλεσε την μικρότερη αντίδραση του οργανισμού σε stress συνωστισμού.
Volpato and Barreto, 2001	<i>Oreochromis niloticus</i> (τιλάπια Νείλου)	110,16	Κυανό Πράσινο Λευκό	Οι ιχθύες που βρισκόταν υπό την επίδραση του κυανού δεν αύξησαν τα επίπεδα της κορτιζόλης στο πλάσμα σε αντίθεση με τα άλλα δυο εφαρμοζόμενα.
Head and Malison, 2000	<i>Perca flavescens</i>	23	Κυανό (405-530) Ερυθρό (600-750) Λευκό	Το ερυθρό και το λευκό εμφάνισαν το μεγαλύτερο μήκος σώματος, ενώ σε συνθήκες stress το ερυθρό εμφάνισε τις μεγαλύτερες απώλειες.
Ruchin, 2004	<i>Perccottus glenii</i>	0,065-1,0	Κυανό Πράσινο Κίτρινο Ερυθρό Λευκό	Εμφάνισε τη βέλτιστη ανάπτυξη στο κυανό και το πράσινο.
Ruchin, 2004	<i>Poecilia reticulata</i>	12-50 mg	Κυανό Πράσινο Κίτρινο Ερυθρό Λευκό	Εμφάνισε την καλύτερη ανάπτυξη στο κυανό.
Barcellos et al., 2006	<i>Rhamdia quelen</i>	8	Κυανό (436) Πράσινο (480) Λευκό (580)	Το κυανό εμφάνισε τη μικρότερη αύξηση της κορτιζόλης σε αντίθεση με το πράσινο.
Giri et al., 2002	<i>Wallago attu</i>	6	Ερυθρό Λευκό	Αυξημένη επιβίωση και μειωμένη ανάπτυξη κατά τη χρήση του ερυθρού.

NI: Νεοεκκολαθέντα ιχθύδια

1.4. Stress και η αντίδραση των ιχθύων

Κάθε μεταβολή στην ομοιοστασία ή στην κατάσταση προσαρμογής του οργανισμού, εξαιτίας ποικίλων εξωτερικών και εσωτερικών παραγόντων, μπορεί να χαρακτηριστεί ως stress (Παπουτσόγλου, 1998, Σμοκοβίτης, 2007). Ο όρος αυτός περιλαμβάνει την ταυτόχρονη ύπαρξη δράσης και αντίδρασης. Ως δράση χαρακτηρίζεται η βλαπτική επίδραση διαφόρων παραγόντων, εξωτερικής και εσωτερικής προέλευσης, ενώ ως αντίδραση, το αποτέλεσμα της προκαλούμενης «κινητοποίησης» των διαφόρων νευροορμονικών μηχανισμών των οργανισμών, που αποσκοπεί στην αποκατάσταση της διαταραγμένης ομοιοστασίας του οργανισμού (Παπουτσόγλου, 1998).

Οποιοσδήποτε περιβαλλοντικές αλλαγές, είτε φυσικές, είτε αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας, οδηγούν τον οργανισμό σε προσαρμοστικές αλλαγές, που στοχεύουν στην άμεση ανάκαμψη της ομοιοστασίας του, οι οποίες μπορεί να χαρακτηριστούν επιβλαβείς για την φυσιολογία του οργανισμού (Santulli et al., 1999).

Η αντίδραση των ιχθύων στο stress περιλαμβάνει όλα τα επίπεδα του οργανισμού, από το κύτταρο ως το άτομο και αφορά μεταβολές στη λειτουργία του αυτόνομου νευρικού και ενδοκρινικού συστήματος (Iwama et al., 2004). Αυτή η αντίδραση μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το είδος, τη γονοτυπική σύσταση, την ηλικία, το φύλο, την εμπειρία του ατόμου σε stress, τη φυσιολογική και «ψυχολογική» κατάσταση του οργανισμού (Σμοκοβίτης, 2007).

Η αντίδραση όλων των σπονδυλόζωων οργανισμών περιλαμβάνει τρεις φάσεις, και χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη σειρά εξέλιξης. Αρχικά εμφανίζεται η φάση του συναγερμού, η οποία περιλαμβάνει το στάδιο της καταπληξίας και το στάδιο της αντικαταπληξίας και ακολουθούν η φάση της αντίστασης και τέλος, της εξάντλησης.

Στους ιχθύς, κατά τη φάση του συναγερμού δραστηριοποιείται η πρωτογενής αντίδραση του οργανισμού, η οποία έχει παθητικό χαρακτήρα και οδηγεί στην άμεση σύνθεση και έκκριση κατεχολαμινών (αδρεναλίνη και νοραδρεναλίνη) και κορτικοστεροειδών ορμονών (κορτιζόλη) (Παπουτσόγλου, 1998). Η αντίληψη ενός παράγοντα stress, αποτελεί νευρικό ερέθισμα, που έχει σαν αποτέλεσμα την έκκριση κατεχολαμινών από το χρωμόφιλο ιστό, που βρίσκεται στο πρόσθιο νεφρικό σύστημα, ομόλογο του μυελού των επινεφριδίων των θηλαστικών. Η έκκριση της κορτιζόλης πραγματοποιείται από το ενδονεφρικό σύστημα, το ομόλογο του φλοιού των επινεφριδίων των θηλαστικών (Iwama et al., 2004 Huntingford et al., 2006, Ashley, 2007).

Κατά τη φάση της αντίστασης, δραστηριοποιείται η δευτερογενής αντίδραση των ιχθύων, η οποία περιλαμβάνει απότομες μεταβολές των τιμών διαφόρων βιοχημικών και αιματολογικών παραμέτρων (γλυκόζης του πλάσματος, γλυκογόνο του ήπατος, κ.α.), οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την διατροφική κατάσταση των ιχθύων (Roncarati et al., 2006). Αυτές ακολουθούνται από ταχυκαρδία, διούρηση και αλλαγή του χρώματος. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις, που εξαρτώνται από το είδος και τη φυσιολογική κατάσταση του ιχθύος, το είδος και την ένταση του παράγοντα stress, παρατηρείται μείωση του επιπέδου της βιταμίνης C στα επινεφρίδια, αιμορραγία του θύμου, υπερτροφία των επινεφριδίων, καθώς και σαφής τάση μείωσης

του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων και του επιπέδου των πρωτεϊνών των μυών (Παπουτσόγλου, 1998).

Κατά τη φάση της εξάντλησης, παρατηρείται η τριτογενής αντίδραση των ιχθύων. Η ύπαρξη αυτής της φάσης προϋποθέτει τη συνέχιση της επίδρασης του παράγοντα stress και την ανεπιτυχή αντίδραση του οργανισμού στις προηγούμενες φάσεις. Κατά τη φάση αυτή μπορεί να παρατηρηθεί μεγάλης ή μικρής έντασης μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, διαταραχή της αναπαραγωγικής διαδικασίας καθώς και πτώση της ανοσολογικής αντίδρασης του οργανισμού. Η ένταση και η ταχύτητα εμφάνισης των φαινομένων της φάσης της εξάντλησης, σε συνδυασμό με το είδος και τη φυσιολογική κατάσταση κατά την εφαρμογή stress, καθορίζουν τη χρονική διάρκεια της (Παπουτσόγλου, 1998).

1.4.1. Οξύ και χρόνιο stress

Σε ορισμένες περιπτώσεις, κατά την αντίδραση των ιχθύων στο stress, μπορεί να παρατηρηθεί ταχύτατη εξάντληση μέχρι και θάνατος, ενώ σε άλλες η εξάντληση επέρχεται βραδύτατα. χωρίς να αποκλείεται η επιβίωσή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η πρώτη περίπτωση είναι αποτέλεσμα της απότομης και έντονης δράσης του παράγοντα stress και καλείται οξύ, ενώ η δεύτερη είναι αποτέλεσμα της ήπιας και μεγάλης χρονικής διάρκειας δράσης του παράγοντα και καλείται χρόνιο. Η οποιοδήποτε επίπεδου προσαρμογή επιτυγχάνεται στους ιχθύς κατά το χρόνιο stress, συνεπάγεται μικρού ή μεγάλου επιπέδου μεταβολές στη φυσιολογία τους, με τις οποίες επιτυγχάνεται η επιβίωση (Παπουτσόγλου, 1998, Santulli et al., 1999).

Αντίθετα, κατά την περίπτωση του οξέος stress, δεν επιθυμείται ουσιαστικά, καμία προσαρμογή στην απότομη και έντονη κατάσταση stress, με τους ενεργοποιούμενους ορμονικούς μηχανισμούς να αποσκοπούν στην άμεση και επιτυχή αντιμετώπιση της. Εάν θεωρηθεί ότι, η προσπάθεια αυτή, έχει την έννοια της προσαρμογής, τότε αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως προσαρμογή που αποσκοπεί στην ταχύτατη αντιμετώπιση κατάστασης εκτάκτου ανάγκης. Έτσι, χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα έντονη ενεργοποίηση των μηχανισμών της πρωτογενούς και δευτερογενούς αντίδρασης, με αποτέλεσμα είτε την επιτυχή έκβαση της κινητοποίησης των εμπλεκόμενων μηχανισμών, σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα (οξύ stress, σχετικά μικρής χρονικής διάρκειας), είτε την ανεπιτυχή της έκβαση, η οποία συνήθως οδηγεί στη σύντομη εξάντληση και βέβαια στο θάνατο (ιδιαίτερα οξύ stress σχετικά παρατεταμένης χρονικής διάρκειας) (Παπουτσόγλου, 1998).

1.4.2. Παράγοντες που προκαλούν καταστάσεις stress

Οι παράγοντες που εμφανίζονται κατά την εκτροφή των ιχθύων και αποτελούν αιτία πρόκλησης κατάστασης stress στους ιχθύς, μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την προέλευση τους σε δύο κύριες κατηγορίες, τους ενδογενούς και εξωγενούς προέλευσης παράγοντες. Οι εξωγενούς προέλευσης ακολούθως μπορούν να καταταχθούν

σε τρεις υποκατηγορίες τους βιολογικούς, τους περιβαλλοντικούς και τους παράγοντες συνδυασμένης δράσης. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει παράγοντες όπως την πυκνότητα εκτροφής, τη διατροφή και την υγιεινή κατάσταση των ιχθύων. Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται οι περιβαλλοντικοί παράγοντες δηλαδή τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, οι εγκαταστάσεις και η διαχείριση της εκτροφής. Τέλος, στην τρίτη κατηγορία περιλαμβάνεται η συνδυασμένη δράση διάφορων παραγόντων, οι οποίοι μεμονωμένα δεν αποτελούν αιτία πρόκλησης stress (Papoutsoglou, 2005).

Από τους ενδογενείς παράγοντες, stress κατά κύριο λόγο προκαλεί η αναπαραγωγική διαδικασία, που όπως στις περιπτώσεις και άλλων ενδογενών παραγόντων (μεταβολή φυσιολογίας, οσμωτικής και ιοντικής ομοιοστασίας κατά τις μεταναστεύσεις κ.α.), οι μηχανισμοί αντίδρασης των ιχθύων είναι πάντοτε επιτυχείς, με την προϋπόθεση ότι το περιβάλλον διαβίωσής τους είναι το προβλεπόμενο (Παπουτσόγλου, 1998).

Stress, μπορεί να προκληθεί από απότομη και έντονη μεταβολή του επιπέδου, σχεδόν οποιουδήποτε περιβαλλοντικού παράγοντα (θερμοκρασία, αλατότητα, ρύπανση, η τιμή του pH κ.α.), προκαλώντας άλλοτε καταστάσεις οξέος και άλλοτε χρόνιου stress (Roche and Boge, 1996, Παπουτσόγλου, 1998).

1.4.3. Εμφάνιση stress κατά την ελεγχόμενη εκτροφή ιχθύων

Κατά τη διάρκεια της ελεγχόμενης παραγωγής ιχθύων, περιορισμένες είναι οι περιπτώσεις οξέος stress, ενώ αναπόφευκτη είναι η εμφάνιση χρόνιου stress. Ο καταστάσεις χρόνιου stress, είναι σύνθητες φαινόμενο, προκαλώντας μεγάλου ή μικρού μεγέθους οικονομικές απώλειες. Δεν πρέπει να λησμονείται ότι, ο συνεχής εξαναγκασμός αντιμετώπισης χρόνιου stress του οργανισμού, συνεπάγεται συνεχή ενεργοποίηση ενεργειοβόρων βιοχημικών μηχανισμών, που ίσως σχετίζεται με μείωση της παραγωγής και του ρυθμού ανάπτυξης (Παπουτσόγλου, 1998), τη μειωμένη αντίσταση σε ασθένειες, την αναστολή της αναπαραγωγικής διαδικασίας, τη μείωση της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας (Barcellos et al., 1999, Papoutsoglou, 2005).

Κατά τη μαζική παραγωγή ιχθύων, οι σημαντικότερες αιτίες πρόκλησης stress είναι εκείνες που αφορούν τους διάφορους χειρισμούς (μεταφορά, διαλογές, ζύγισμα κ.λπ.), την αυξημένη πυκνότητα εκτροφής, την ύπαρξη ακατάλληλου περιβάλλοντος διαβίωσης (υποβαθμισμένη ποιότητα νερού), καθώς και στην ύπαρξη «κακών σχέσεων» εκτροφέα και εκτρεφόμενων πληθυσμών (ακανόνιστη παροχή τροφής, άσκοπες επισκέψεις στους χώρους εκτροφής κ.λπ.) (Παπουτσόγλου, 1998). Οι επικρατούσες συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, ο φωτισμός και η ατμοσφαιρική πίεση και οι κοινωνικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ιχθύων μπορούν να αποτελέσουν παράγοντες πρόκλησης stress (Sebert et al., 1985, Vazzana et al., 2002).

Η χρήση υποβαθμισμένου νερού εκτροφής, μπορεί να αποτελέσει αιτία εμφάνισης καταστάσεων stress. Η ακατάλληλη θερμοκρασία και αλατότητα, (Roche and Boge, 1996, Varsamos et al., 2006), η μειωμένη συγκέντρωση δεσμευμένου οξυγόνου

(Guerriero et al., 2002) από τα επίπεδα που καθορίζει η ηθολογία διαβίωσης του εκάστοτε ιχθύος, έχει διαπιστωθεί ότι ενεργοποιούν τους μηχανισμούς αντίδρασης του οργανισμού.

Η ύπαρξη διαφόρων ειδών ρυπαντών, όπως βαρέα μέταλλα, έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί παράγοντα stress για τους ιχθύς. Η εμφάνιση stress κυρίως οφείλεται στην απώλεια της ομοιοστασίας του οργανισμού, η οποία προκαλείται είτε από τη φθορά των επιθηλιακών κυττάρων των βραγχίων και του δέρματος, με αποτέλεσμα την εμπλοκή της ανταλλαγής ιόντων και νερού του οργανισμού με το περιβάλλον, είτε από την επίδραση των ίδιων των μολυντών στην ιοντική και ωσμωτική ισορροπία του οργανισμού (Nolan et al., 2003).

Στην εκτροφή, ιδιαίτερη σημασία έχει η ηθολογία διαβίωσης των ιχθύων όσον αφορά την κοινωνική αλληλεπίδραση μεταξύ των ατόμων. Τα ιεραρχικά φαινόμενα και ο κανιβαλισμός έχουν ως συνέπεια την εμφάνιση ανομοιομορφίας μεγεθών στους εκτρεφόμενους πληθυσμούς και αυξημένη θνησιμότητα (Fernandez and Volpato, 1993, Molnár et al., 2003). Κάποια είδη ιχθύων, όπως το *Salvelinus alpinus*, η πέστροφα *Salmo trutta* και η τιλάπια *Oreochromis niloticus* σχηματίζουν ιεραρχικές κοινωνικές δομές, διακρίνοντας τον πληθυσμό σε κυρίαρχα και υποτακτικά άτομα. Τα περισσότερα είδη, που εμφανίζουν ιεραρχική συμπεριφορά, χαρακτηρίζονται από μοναχική και χωροκτητική ηθολογία διαβίωσης, όπως η τιλάπια, η οποία υπερασπίζεται το χώρο της από άλλα άτομα (Fernandez and Volpato, 1993). Τα υποτακτικά άτομα παρουσιάζουν συμπτώματα χρόνιου stress, που γίνεται αντιληπτό από τον αυξημένο αναπνευστικό και μεταβολικό ρυθμό, τη μειωμένη κινητικότητα και κατανάλωση τροφής, με αποτέλεσμα τη μειωμένη ανάπτυξη (Hoglund et al., 2001). Stress όμως εμφανίζουν και τα κυρίαρχα άτομα, των οποίων τα συμπτώματα δεν γίνονται αντιληπτά, αφού παραμένουν ιδιαίτερα κινητικά, επιθετικά και η κατανάλωση τροφής δεν παρουσιάζει μείωση. Σε κοινωνικά είδη, όπως το *Haplochromis burtoni*, το αναπαραγωγικό στάδιο και η σταθερότητα της κοινωνικής δομής αποτελούν αιτία εμφάνισης stress (Fox et al., 1997).

Η πυκνότητα, εκτροφής, είναι ένας περίπλοκος παράγοντας εκτροφής ο οποίος περιλαμβάνει πολλούς αλληλένδετους παράγοντες, όπως την ποιότητα του νερού εκτροφής, το διαθέσιμο χώρο του κάθε ιχθύος και τη διαθεσιμότητα τροφής (Ruane et al., 2002a, Huntingford et al., 2006, Adams et al., 2007, Di Marco et al., 2008). Πρόκειται για ένα αναπόφευκτο παράγοντα stress κατά την εκτροφή, που αποτελεί αιτία εμφάνισης άλλοτε χρόνιου (κατά την εκτροφή ιχθύων σε αυξημένες πυκνότητες) και άλλοτε οξέος stress στους ιχθύς (κατά τον περιορισμό των ιχθύων σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, για μικρά χρονικά διαστήματα) (Marino et al., 2001, Vazzana et al., 2002, Van der Salm et al., 2002, Trenzado et al., 2006). Το αν μια πυκνότητα αποτελεί ή όχι παράγοντα stress, εξαρτάται από το είδος, το στάδιο ανάπτυξης, την ηθολογία διαβίωσης και το μέγεθος του ιχθύος (Van der Salm et al., 2002, Adams et al., 2007). Έτσι stress μπορεί να προκαλεί τόσο η πολύ μεγάλη (Sammouth et al., 2008), όσο και η πολύ μικρή πυκνότητα των ιχθύων (Molnár et al., 2004). Μια πυκνότητα που μπορεί να είναι ιδανική για κάποιο είδος, είναι δυνατό να αποτελεί αιτία stress

για κάποιο άλλο, επηρεάζοντας την κοινωνική αλληλεπίδραση μεταξύ των ατόμων (Adams et al., 2007, Di Marco et al., 2008). Οι Turnbull et al. (2005) μελετώντας άτομα σολομού *Salmo salar* διαπίστωσαν ότι πυκνότητες της τάξης των 22 kg/m³ εμφανίζουν την καλύτερη απόδοση, ενώ μειωμένη απόδοση εμφανίζεται σε χαμηλότερες πυκνότητες των 15 και μεγαλύτερες των 25 kg/m³.

Οι Marino et al. (2001) προσδιορίζοντας τα επίπεδα διαφόρων αιματολογικών παραμέτρων (κορτιζόλη, γλυκόζη, ωσμωμοριακότητα κ.α.) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ακόμα και η αναισθησία ενδεχομένως να αποτελεί παράγοντα stress. Επίσης, δεν αποκλείεται ιδιαίτερα βίαιοι χειρισμοί σε ιχθύς ακόμα και υπό το καθεστώς αναισθησίας, να εμφανίσουν μεταβολή των επιπέδων των παραμέτρων αυτών.

Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι οποιοσδήποτε χειρισμός έρχεται αντιμέτωπος με τη φυσιολογία διαβίωσης των ιχθύων, μπορεί να αποτελέσει έναν δυνητικό παράγοντα πρόκλησης κατάστασης stress. Το κατά πόσο μια μεταβολή των συνθηκών θα αποτελέσει ή όχι παράγοντα stress φαίνεται να εξαρτάται τόσο από την ένταση της μεταβολής όσο και τον χρόνο έκθεσης των ιχθύων στις συνθήκες αυτές (Rotllant et al., 2003).

1.4.4. Οι μεταβολές στη φυσιολογία των ιχθύων λόγω του οξέος stress

Όλες οι περιπτώσεις οξέος stress, ανεξαρτήτως του παράγοντα που τις προκαλεί, χαρακτηρίζονται από μικρής ή μεγάλης χρονικής διάρκειας αυξημένων επιπέδων κορτιζόλης, η οποία προκαλεί μεταβολές στη συγκέντρωση αρκετών φυσιολογικών παραμέτρων του πλάσματος όπως της γλυκόζης, των ελεύθερων λιπαρών οξέων, των ιόντων και των θυροειδικών ορμονών. Κατά την αντίδραση των ιχθύων στο stress μπορεί να περιλαμβάνει απώλεια ηλεκτρολυτών, μείωση του αιματοκρίτη και αιμόλυση, αύξηση της διαπερατότητας των βράγχων ή την αύξηση των απωλειών ιόντων μέσω της ούρησης (Wang et al., 2004). Σημειώνεται ότι τα διάφορα είδη ιχθύων αντιδρούν διαφορετικά στον ίδιο παράγοντα stress. Η διαφοροποίηση αυτή, μπορεί να φτάσει μέχρι το επίπεδο του ατόμου και εκφράζεται κυρίως, με διαφορετικά επίπεδα βιοχημικών-αιματολογικών παραμέτρων (κατεχολαμίνες, κορτιζόλη, γλυκόζη κ.α.), από τα οποία, όπως έχει καθιερωθεί, προσδιορίζεται η ευαισθησία κάθε είδους ή και ατόμου σε καταστάσεις stress. Η αποτελεσματικότητα, του τρόπου αντίδρασης και της ευαισθησίας κάθε είδους στις διάφορες καταστάσεις stress, δεν φαίνεται ότι μπορεί να προδικάζεται μόνο από τα επίπεδα των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν (Παπουτσόγλου, 1998).

Οι παράμετροι αυτοί, πέραν της αντίδρασης του οργανισμού κατά το stress, επηρεάζονται από πληθώρα παραγόντων όπως το είδος, το μέγεθος, τη διατροφική κατάσταση, το στάδιο ανάπτυξης, τον εγκλιματισμό του οργανισμού στο stress, την εποχή και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, το είδος, τη διάρκεια και την ταυτόχρονη δράση περισσότερων του ενός παράγοντα stress. Έτσι για την εκτίμηση της κατάστασης ενός ιχθύος ή την αντίδραση του σε ένα ερέθισμα stress, δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μόνο μια αιματολογική παράμετρος (Marino et al., 2001).

Εξαιτίας της μεγάλης παραλλακτικότητας των παραπάνω παραμέτρων, δεν υπάρχει μια ασφαλής τιμή κάθε παραμέτρου, που να διαβεβαιώνει αν ένας οργανισμός βρίσκεται ή όχι σε κατάσταση stress, ενώ η εκτίμηση της κατάστασης του οργανισμού μπορεί να γίνει μόνο συγκριτικά (Iwama et al., 2004). Ως πιο αξιόπιστοι δείκτες διαφοροποίησης των ιχθύων που έχουν υποστεί ή όχι stress χρησιμοποιούνται η μεταβολή των επιπέδων της κορτιζόλης, της γλυκόζης, των τριακυλγλυκεριδίων, της χοληστερόλης, της αιμογλοβίνης του πλάσματος και του αιματοκρίτη (Roche and Boge, 1996, Marino et al., 2001, Vazzana et al., 2002, Simontacchi et al., 2008). Ορισμένοι ερευνητές, εκτός των παραπάνω παραμέτρων, ως δείκτη stress έχουν χρησιμοποιήσει την αλλαγή της συμπεριφοράς και του χρωματισμού του δέρματος, την κατανάλωση οξυγόνου και των αποθεμάτων γλυκογόνου στο ήπαρ και στους ιστούς, την ανάπτυξη και την επιβίωση των ιχθύων (Adams et al., 2007).

Η κορτιζόλη εμπλέκεται και συχνά συνδέεται με τις επιβλαβείς επιδράσεις του stress, όπως τη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, της κατανάλωσης τροφής, της αντοχής σε ασθένειες και της επιβίωσης (Molnár, et al., 2004), την αναπαραγωγική δυσλειτουργία, την αλλοίωση του χρωματισμού του δέρματος (Wang et al., 2004, Turnbull et al., 2005, Trenzado et al., 2006, Van der Salm et al., 2006). Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι η κορτιζόλη ή άλλες ορμόνες, η έκκριση των οποίων διεγείρεται από την έκκριση της κορτιζόλης, συμμετέχουν στην παρεμπόδιση των αναβολικών και την προώθηση των καταβολικών λειτουργιών του οργανισμού (Nolan et al., 2003). Η παρατηρούμενη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης κατά την περίοδο μετά το stress ενδεχομένως να οφείλεται στην αυξημένη δραστηριότητα της ηπατικής αμινοτρανσφεράσης και στον καταβολισμό των πρωτεϊνών που παρατηρείται (Jentoft et al., 2005).

Κατά την ελεγχόμενη εκτροφή, αυξημένα και μη αναμενόμενα ποσοστά θνησιμότητας καθ' όλη την διάρκεια της εκτροφής μπορεί να είναι αποτέλεσμα έντονου ή και χρόνιου stress. Αυτό οφείλεται κατά μεγάλο βαθμό στην εμπλοκή των ορμονών που παράγονται κατά την αντίδραση στο stress, στον μεταβολισμό και την κυτταρική κατάσταση, συμπεριλαμβανομένων επιδράσεων στη φυσική κυτταρική ανοσία και στη δράση του ανοσοποιητικού συστήματος (Παπουτσογλου, 1998). Το γεγονός αυτό οφείλεται στην εμπλοκή της κορτιζόλης στην προαγωγή των μηχανισμών μειωμένης παραγωγής αντισωμάτων, λεμφοκυττάρων, καθώς και των μηχανισμών μειωμένης φαγοκυτταρικής δραστηριότητας. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι η ευχερέστερη προσβολή των εκτρεφόμενων πληθυσμών από παθογόνους παράγοντες (ιούς, βακτήρια, μύκητες, παράσιτα) και κατ' επέκταση την εμφάνιση θνησιμοτήτων συνήθως μεγάλης έκτασης (Παπουτσογλου, 1998, Vazzana et al., 2002, Nolan et al., 2003).

Οι ιχθύες, που βρίσκονται υπό το καθεστώς οξέος stress, εμφανίζουν διαφοροποίηση στη συμπεριφορά τους, η οποία ενδεχομένως αποσκοπεί στη μείωση των δυσμενών συνεπειών των περιβαλλοντικών προκλήσεων. Αρκετές μελέτες έχουν εμφανίσει συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων των κατεχολαμινών και της συμπεριφοράς των ιχθύων. Διαφοροποίηση συμπεριφοράς μπορεί να εμφανίζεται ακόμα και μεταξύ των

ατόμων του ίδιου είδους, στον ίδιο παράγοντα stress. Οι στρατηγικές που συνήθως εμφανίζονται από τους ιχθύς, είναι δύο. Η πρώτη χαρακτηρίζεται κυρίως από αυξημένη επιθετικότητα και αυξημένο βαθμό αποφυγής των συνηθισμένων κινήσεων των ιχθύων, με μεγάλη κινητική δραστηριότητα, όταν εκτίθενται σε καταστάσεις οξέος stress, ενώ κατά την δεύτερη, η οποία εμφανίζεται σπανιότερα, τα άτομα αντιδρούν παθητικά στην κατάσταση οξέος stress που παρατηρείται, με ακινησία (Schjolden et al., 2006, Adams et al., 2007, Di Marco et al., 2008). Θεωρείται σχεδόν βέβαιο το γεγονός ότι ορισμένα άτομα του ίδιου είδους μπορεί να επιβιώσουν, σε καταστάσεις stress, μειώνοντας δραστικά τον μεταβολικό τους ρυθμό και εμφανίζοντας χαμηλότερα επίπεδα κατεχολαμινών και αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης. Αντίθετα, άλλα αντιδρούν αυξάνοντας έντονα τον μεταβολικό τους ρυθμό, και καταλήγουν στο θάνατο. Αυτό οφείλεται στη μη αντιστρεπτή μείωση της τιμής του pH του αίματός τους, εξαιτίας της προκαλούμενης κατάστασης ανοξίας, λόγω της έντονης κατανάλωσης οξυγόνου στις συνθήκες αυτές (Παπουτσόγλου, 1998, Wang et al., 2004).

Έχει διαπιστωθεί ότι οι ιχθύες είναι δυνατόν να εξοικειώνονται στο stress και γενικότερα να εμφανίζουν σταδιακά μείωση της παραγόμενης ποσότητας κορτιζόλης, ταχύτερη επαναφορά της όρεξης κ.α. (Wang et al., 2004). Η προσαρμοστική δυνατότητα έχει διαπιστωθεί και σε άλλα είδη ιχθύων όπως την πέστροφα *Oncorhynchus mykiss* (Nolan et al., 2003, Jentoft et al., 2005), την πέρκα *Perca fluviatilis* (Jentoft et al., 2005), τον κυπρίνο *Cyprinus carpio* (Ruane et al., 2002b), τον σολομό *Salmo salar* (Adams et al., 2007) και το είδος *Morone saxatilis* (Wang et al., 2004). Αντίθετα, οι Head and Malison (2000), μελετώντας άτομα πέρκας *Perca flavescens*, διαπίστωσαν ότι, οι ιχθύες δεν δείχνουν σημάδια εγκλιματισμού στις επαναλαμβανόμενες επιδράσεις stress. Οι Varsamos et al. (2006) διαπίστωσαν ότι η επίδραση του stress σε ιχθύδια λαβρακιού μπορεί να έχει δραματικές συνέπειες σε μετέπειτα πρόσθετο stress και προσβολή από παθογόνους οργανισμούς.

Η κορτιζόλη αφορά μια άμεση και παροδική αντίδραση του ιχθύος στο οξύ stress (Vazzana et al., 2002, Rotllant et al., 2003, Di Marco et al., 2008). Τα επίπεδα της κορτιζόλης παρουσιάζουν μια έντονη αύξηση μετά τα πρώτα λεπτά του ερεθισμού του ιχθύος, φτάνοντας το μέγιστο μετά από 1 h περίπου, ενώ ο χρόνος μετά από τον οποίο επανέρχονται σε φυσιολογικά επίπεδα φαίνεται να εξαρτάται από την ένταση (Santulli et al., 1999) και την επαναληψιμότητα του ερεθίσματος και την ταυτόχρονη επίδραση παραγόντων (Papoutsoglou et al., 1999).

1.4.5. Προσπάθειες που έχουν καταβληθεί για ελαχιστοποίηση των συνεπειών του stress.

Ανατομικά, φαρμακολογικά και δεδομένα συμπεριφοράς δείχνουν ότι οι ιχθύες, δεν αποκλείεται, να είναι σε θέση να βιώσουν καταστάσεις «φόβου», «πόνου» και stress σε παρόμοιο βαθμό με τα τετράποδα. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει την ικανότητά τους να υποφέρουν και να αναδεικνύουν την ανάγκη για ευζωία (Chandross et al., 2004, Huntingford et al., 2006, Braithwaite and Boulcott, 2007).

Από τα παραπάνω μπορεί να διατυπωθεί η άποψη ότι σε κάθε εκτροπή υδρόβιων οργανισμών, η επίτευξη της επιδιωκόμενης ελαχιστοποίησης των δυσμενών συνεπειών του stress αποτελεί ιδιαίτερα εξειδικευμένη περίπτωση, της οποίας τα χαρακτηριστικά, όχι μόνο διαφέρουν από εκείνα οποιασδήποτε άλλης, αλλά μπορεί ευκολότατα να μεταβληθούν ακόμη και στην ίδια τη μονάδα (απρογραμματίστες και εσφαλμένες αλλαγές χειρισμών κ.λπ.) (Παπουτσόγλου, 1998, Di Marco et al. 2008). Για το λόγο αυτό, πληθώρα ερευνών έχουν ασχοληθεί με την κατανόηση της επίδρασης του stress στους ιχθύς, όπως και το χρόνο επαναφοράς της φυσιολογικής κατάστασης των ιχθύων ύστερα από την επίδραση κάποιου παράγοντα stress. Τα αποτελέσματα ορισμένων ερευνών παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2.

Έχει επιχειρηθεί η χρήση πρόσθετης ποσότητας αντιοξειδωτικών ουσιών στην τροφή, για τη μείωση των οξειδωτικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την «μετά stress» περίοδο, επιταχύνοντας την επαναφορά της φυσιολογικής κατάστασης του οργανισμού. Οι Guerriero et al. (2002) μελετώντας την επαναφορά της φυσικής κατάστασης ατόμων λαβρακιού, μετά την υποβολή σε υποξία διαπίστωσαν ότι, οι ιχθύες που διατρέφονταν με αυξημένη ποσότητα αντιοξειδωτικών μείωσαν τον χρόνο επαναφοράς, με την α-τοκοφερόλη (βιταμίνη E) να εμφανίζει ταχύτερη επαναφορά, σε σύγκριση με εκείνα που διατρέφονταν με αυξημένη ποσότητα ασκορβικού οξέος (βιταμίνης C).

Έχει διαπιστωθεί ότι ορισμένοι ιχθύες που εμφανίζουν μειωμένη αντίδραση στο stress, ίσως να εμφανίζουν καλύτερες επιδόσεις ως προς την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή ή την ανθεκτικότητα σε ασθένειες, σε αντίθεση με άλλους που εμφανίζουν αυξημένη αντίδραση. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στη μικρότερη απώλεια ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, που απαιτεί η αντιμετώπιση των καταστάσεων stress από τον οργανισμό. Επιπλέον τα άτομα που εμφανίζουν μειωμένη ευαισθησία στο stress, είναι δυνατό να διατρέφονται συνεχώς και να εμφανίζουν συμπεριφορά κυρίαρχων ατόμων, με ταχύτερη ανταπόκριση στην παρουσία τροφής. Η ενέργεια που εξοικονομείται από την αποφυγή της αντίδρασης στο stress, τελικά έχει ως αποτέλεσμα, να διατίθεται για άλλες λειτουργίες του οργανισμού όπως την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή (Pottinger and Carrick, 1999, Wang et al., 2004, Pottinger, 2006, Trenzado et al., 2006).

Η διαφοροποίηση των ιχθύων στην αντίδραση κατά το stress έχει χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό των υποειδών (ποικιλιών) σε αρκετά είδη ιχθύων όπως το *Morone saxatilis* (Wang et al., 2004) και *Oncorhynchus mykiss* (Pottinger, 2006, Schjolden et al., 2006). Επίσης, η εφαρμογή προγραμμάτων επιλεκτικής αναπαραγωγής έχουν αποδείξει ότι, η αντίδραση στο stress μπορεί να είναι κληρονομική (Pottinger and Carrick, 1999, Wang et al., 2004, Pottinger, 2006).

Μια στρατηγική για την μείωση των απωλειών, που εμφανίζεται λόγω των μακροχρόνιων και αθροιστικών συνεπειών του stress κατά την εκτροφή, είναι η δημιουργία πληθυσμών ιχθύων μειωμένης αντίδρασης στο stress. Η ευαισθησία του ιχθύος στο stress αποτελεί κληρονομικό χαρακτηριστικό, δίνοντας τη δυνατότητα δημιουργίας και διατήρησης τέτοιων πληθυσμών, μέσω της επιλεκτικής διασταύρωσης

ατόμων με το γνώρισμα αυτό (Pottinger, 2006). Κλειδί για την επιλογή των ατόμων αυτών μπορεί να είναι η αύξηση των επιπέδων της κορτιζόλης, που όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελεί την κύρια αιτία των αρνητικών επιδράσεων του stress (Mommssen et al., 1999).

Πίνακας 1.2: Η επίδραση stress στην φυσιολογία των ιχθύων

Μελέτη	Είδος	Βάρος ιχθύος (g)	Είδος χειρισμού	Αποτέλεσμα
Roche and Boge, 1996	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	50-150	Αλατοτητα από 37 σε 0‰ σε 2h, Θερμοκρασία από 13 σε 23 °C σε 1h, Χημικό stress CuSO ₄ , ZnCl ₂ , Cr ₂ O ₇ ⁻² , φαινόλη για 15 ημέρες	Αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης και γλυκόζης κατά το stress. Αυξημένα επίπεδα αιματοκρίτη, χωρίς την μεταβολή των επιπέδων της αιμογλοβίνης κατά το stress με θερμοκρασία. Αυξημένα επίπεδα αιμογλοβίνης, χωρίς τη μεταβολή του αιματοκρίτη κατά το stress με αλατοτητα και το χημικό με ανόργανα συστατικά. Μειωμένα επίπεδα αιματοκρίτη και αιμογλοβίνης παρατηρήθηκαν κατά το χημικό stress με φαινόλη ενώσεις και αυξημένα. Μεγαλύτερη αύξηση της γλυκόζης κατά το θερμικό stress, ενώ, η κορτιζόλη στο οσμωτικό (αλατοτητα, ποσότητα μετάλλων και οργανικών ουσιών).
Marino et al., 2001	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	371,6	Περιορισμός 50 kg/m ³ για 15 min	Αύξηση κορτιζόλης, γλυκόζης, Cl, Na καθώς και ωσμωμοριακότητας κατά το stress. Δεν παρουσιάστηκε μεταβολή στα επίπεδα των ολικών πρωτεϊνών.
Vazzana et al., 2002	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	200 – 250	Περιορισμός 10, 60 kg/m ³ για 3 & 48 h	Αύξηση των επιπέδων κορτιζόλης, γλυκόζης και ωσμωμοριακότητας πλάσματος κατά τον περιορισμό 3h σε σχέση με τους μάρτυρες (10 kg/m ³). Τα επίπεδα της κορτιζόλης, στην αυξημένη πυκνότητα εκτροφής εμφανίστηκε υψηλότερη απ' όλους τους άλλους χειρισμούς. Μείωση της φαγοκυτταρικής δραστηριότητας των λευκοκυττάρων τόσο κατά τον περιορισμό όσο και κατά την αυξημένη πυκνότητα εκτροφής.
Rotllant et al., 2003	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	97 - 148	Περιορισμός 70 kg/m ³ για 24h	Τα επίπεδα της κορτιζόλης εμφάνισαν μια ταχύτατη αύξηση 6 min μετά το stress, φτάνοντας τα μέγιστα επίπεδα 1h μετά το stress, τα οποία παρέμειναν υψηλά για περίοδο 24h. Υπερπλασία των υπεύθυνων κυττάρων για την παραγωγή κορτιζόλης του ενδονεφρικού συστήματος. Μείωση της ευαισθησίας των κυττάρων του ενδονεφρικού συστήματος, των ατόμων που έχουν ήδη υποστεί stress (4h πριν), αν και η ποσότητα της κορτιζόλης δεν διαφοροποιείται

Μελέτη	Είδος	Βάρος ιχθύος (g)	Είδος χειρι- σμού	Αποτέλεσμα
Roncarati et al., 2006	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	2,5	ΠΕ 20, 40 kg/m ³ για 18 μήνες	Αυξημένα επίπεδα γλυκόζης, και ολικών πρωτεϊνών του πλάσματος σε ΠΕ 40 kg/m ³ σε σύγκριση με ΠΕ 0,2 και 20 kg/m ³ . Αυξημένα επίπεδα τριακυλγλυκεριδίων και χοληστερόλης του πλάσματος καθώς και τιμές ηπατοσωματικού δείκτη παρατηρήθηκαν σε 20 και 40 kg/m ³ σε σύγκριση με τους μάρτυρες (0,2 kg/m ³). Δεν παρουσιάστηκε διαφοροποίηση στην ανάπτυξη, την επιβίωση και τη σύσταση σάρκας.
Varsamos et al., 2006	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	8-22	Συνδυασμοί Θερμοκρασίας 17, 23 °C, ΣΑ* 17-23°C και Χειρισμών για 0, 3, 6 μή- νες	Σε σταθερά υψηλή θερμοκρασία εμφανίστηκε η καλύτερη αντίδραση στο stress (μειωμένα επίπεδα κορτιζόλης, γλυκόζης, ολικών πρωτεϊνών), στην μεταβαλλόμενη θερμοκρασία, τη χειρότερη, ενώ στην σταθερά χαμηλή εμφανίστηκε ενδιάμεση αντίδραση. Δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση της αντοχής σε ασθένειες κατά το stress. Η μεταβαλλόμενη θερμοκρασία προκάλεσε αύξηση της κορτιζόλης και της ωσμομοριακότητας και μείωση της ανάπτυξης.
Di Marco et al., 2008	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	139	ΠΕ 10, 15, 45 kg/m ³ για 6 Εβ και Περιορισμός 100 kg/m ³ για 15 min	Δεν παρουσιάστηκε διαφοροποίηση της ανάπτυξης, της επιβίωσης, της κορτιζόλης και των παραμέτρων δευτερογενούς αντίδρασης των ιχθύων μεταξύ των διαφορετικών ΠΕ (χρόνιο stress) με εξαίρεση των NEFA* που αυξήθηκαν στην ΠΕ 45 kg/m ³ . Αύξηση κορτιζόλης και NEFA και μείωση γλυκόζης παρουσιάστηκε κατά την επίδραση του οξέος stress (100 kg/m ³) στους ιχθύες της ΠΕ 45 kg/m ³ σε σύγκριση με ΠΕ 15 και 30 kg/m ³ . Επαναφορά των αιματολογικών παραμέτρων στα προ-stress επίπεδα σε διάστημα 24-48 h.
Sammouth et al., 2009	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Ευρωπαϊκό λαβράκι)	135	ΠΕ 10, 40, 70, 100 kg/m ³ για 63 ημέρες	Μείωση της ανάπτυξης παρουσιάστηκε σε ΠΕ μεγαλύτερες των 70 kg/m ³ . Καμία διαφοροποίηση δεν διαπιστώθηκε στην επιβίωση, στην κατανάλωση και στην εκμετάλλευση της τροφής.

Μελέτη	Είδος	Βάρος ιχθύος (g)	Είδος χειρισμού	Αποτέλεσμα
Wang et al., 2004	<i>Morone saxatilis</i>	1900-3500	Περιορισμός 1 min, 1φορά το μήνα για 6 μήνες	Τα επίπεδα των πρωτεϊνών του πλάσματος μειωνόταν στο ελάχιστο 24h μετά το stress. Αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης και γλυκόζης ενώ μειωμένα του χλωρίου παρατηρήθηκαν κατά το stress. Οι υπόλοιποι παράγοντες που μετρήθηκαν δεν διαφοροποιούνταν. Δεν παρατηρήθηκε διάφορα στη νοσηρότητα, την θνησιμότητα και την ανάπτυξη.
Van der Salm et al., 2004	<i>Pagrus pagrus</i> (φαγκρί)	380	ΠΕ 10, 25 kg/m ³ για 8, 16, 30 ημέρες και Μήκος κύματος Κυανό-Λευκό	Η συγκεντρώσεις νατρίου και καλίου ήταν χαμηλότερες στην υψηλή ΠΕ ενώ, η κορτιζόλη και η γλυκόζη δεν διαφοροποιήθηκαν.
Papoutsoglou et al., 1999	<i>Sparus aurata</i> (τσιπούρα)	194,2	Περιορισμος για 15, 30,45 60-75-90 min	Αύξηση κορτιζόλης μετά από 45 min, δυο μέγιστα της γλυκόζης στα 15 και 45 min. Αύξηση της ωσμωμοριακοτητας στα 15 min, που συνέχισαν να αυξάνονται μέχρι τα 60 min όπου παρέμειναν. Μείωση της συγκέντρωσης του K ⁺ στα 45 min. Συνεχόμενη αύξηση των συγκεντρώσεων των Na ⁺ και Cl ⁻ από τα 15 min μέχρι και τα 90 min.
Roncarati et al., 2006	<i>Sparus aurata</i> (τσιπούρα)	2,7	Π.Ε. 0,2, 20, 40 kg/m ³ για 17 μήνες	Αυξημένα επίπεδα γλυκόζης, και ολικών πρωτεϊνών του πλάσματος ενώ μείωση των τιμών του ηπατοσωματικού δείκτη παρατηρήθηκαν σε ΠΕ 40 kg/m ³ σε σύγκριση με ΠΕ 0,2 και 20 kg/m ³ . Τα επίπεδο των τριακυλγλυκεριδίων εμφανίστηκαν υψηλότερα σε ΠΕ 40 kg/m ³ , χαμηλότερα σε ΠΕ 0,2 kg/m ³ , ενώ σε ΠΕ 20 kg/m ³ εμφανίστηκαν σε ενδιάμεσα επίπεδα. Αυξημένες τιμές ηπατοσωματικού δείκτη παρατηρήθηκαν σε ΠΕ 20 και 40 kg/m ³ .

Μελέτη	Είδος	Βάρος ι- χθύος (g)	Είδος χειρι- σμού	Αποτέλεσμα
Roncarati et al., 2006	<i>Sparus aurata</i> (τσιπούρα)	2,7	Π.Ε. 0,2, 20, 40 kg/m ³ για 17 μήνες	Αυξημένα επίπεδα γλυκόζης, και ολικών πρωτεϊνών του πλάσματος ενώ μείωση των τιμών του ηπατοσωματικού δείκτη παρατηρήθηκαν σε ΠΕ 40 kg/m ³ σε σύγκριση με ΠΕ 0,2 και 20 kg/m ³ . Τα επίπεδο των τριακυλγλυκεριδίων εμφανίστηκαν υψηλότερα σε ΠΕ 40 kg/m ³ , χαμηλότερα σε ΠΕ 0,2 kg/m ³ , ενώ σε ΠΕ 20 kg/m ³ εμφανίστηκαν σε ενδιάμεσα επίπεδα. Αυξημένες τιμές ηπατοσωματικού δείκτη παρατηρήθηκαν σε ΠΕ 20 και 40 kg/m ³ .
Ruane et al., 2002a	<i>Cyprinus carpio</i> (κοινός κυπρίνος)	85,1	ΠΕ 28,4, 56,8, 113,6 kg/m ³ για 15, 39, 87 h	Αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης στην υψηλή ΠΕ μετά από 15h. Αύξηση της γλυκόζης και των ΕΛΟ* κατά την αύξηση της ΠΕ.
Pottinger and Carrick, 1999	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (ιριδίζουσα πέστροφα)	422-533	4 Μηνιαίοι Περιορισμοί για 3h	Τα άτομα αυξημένης αντίδρασης στο stress εμφάνισαν μεγαλύτερο βάρος, χωρίς διαφοροποίηση των συντελεστών ανάπτυξης. Χαμηλότερα επίπεδα κορτιζόλης και υψηλότερα γλυκόζης στο πλάσμα παρατηρήθηκε στα άτομα χαμηλής αντίδρασης.
Nolan et al., 2003	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (ιριδίζουσα πέστροφα)	150-200	ENE* Νερό Ρήνου για 31 ημέρες	Αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης και γλυκόζης και μειωμένη ανάπτυξη.
Jentoft et al., 2005	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (ιριδίζουσα πέστροφα)	16,1	Χειρισμοί για 8 Εβ	Μειωμένη ανάπτυξη και αυξημένη ποσότητα κορτιζόλης και γλυκόζης κατά το stress.
Schjolden et al., 2006	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (ιριδίζουσα πέστροφα)	121 – 233	Περιορισμός σε 70 kg/m ³ για 1 ή 3h	Οι χαμηλής αντίδρασης ιχθύες εμφάνισαν μεγαλύτερα επίπεδα κατεχολαμινών. Τα επίπεδα κορτιζόλης αυξήθηκαν κατά το stress χωρίς να διαφοροποιούνται μεταξύ των χαμηλής και υψηλής αντίδρασης ατόμων.
Trenzado et al., 2006	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (ιριδίζουσα πέστροφα)	33,75	ΠΕ 20, 100 kg/m ³ για 2 Εβ	Οι αυξημένης αντίδρασης ιχθύες εμφάνισαν μικρότερη ανάπτυξη, αυξημένα επίπεδα αιματοκρίτη, αιμογλοβίνης, γλυκόζης ενώ χαμηλότερα γλυκογόνου ήπατος.

Μελέτη	Είδος	Βάρος ιχθύος (g)	Είδος χειρισμού	Αποτέλεσμα
Karakatsouli et al., 2008	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (ιριδίζουσα πέστροφα)	145,3	Περιορισμός 10, 25 kg/m ³ για 1h & φάσμα φωτός (λευκό, ερυθρό, κυανό)	Υπό την επίδραση του κυανού φάσματος παρουσιάστηκε μειωμένη αύξηση της κορτιζόλης και απουσία κινητοποίησης των λιπιδίων του ήπατος. Δεν παρουσιάστηκε διαφοροποίηση της ανάπτυξης με εξαίρεση το ολικό μήκος σώματος όπου ήταν μεγαλύτερο στο ερυθρό φάσμα.
Fernandez and Volpato, 1993	<i>Oreochromis niloticus</i> (τιλάπια Νείλου)	155-625	ΚΣ* υπό ασιτία 2-4 ημέρες	Τα υποτελή άτομα εμφάνισαν αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης, ταχύτερη κατανάλωση των υδατανθρακικών αποθεμάτων κατά την 4ημερη επίδραση, και αυξημένα επίπεδα γλυκόζης κατά τη 2ημερη επίδραση. Τα κυρίαρχα άτομα εμφάνισαν μεγαλύτερη ανάπτυξη.
Head and Malison, 2000	<i>Perca flavescens</i>	23	Ποικιλία χειρισμών 2-4 φορές/ημέρα για 87 ημέρες	Μικρότερη ανάπτυξη και χαμηλότερος συντελεστής ευρωστίας κατά το stress. Αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης και μειωμένα περιπλαστικού λίπους κατά το stress.
Jentoft et al., 2005	<i>Perca fluviatilis</i>	9,6	Χειρισμοί 1-2 φορές/ Εβ για 8 Εβ	Μειωμένη ανάπτυξη και αυξημένη ποσότητα κορτιζόλης και γλυκόζης κατά το stress.
Adams et al., 2007	<i>Salmo salar</i> (σολομός Ατλαντικού)	980	ΠΕ 15, 25, 35 kg/m ³ & Χειρισμοί για 51 ημέρες	Καλύτερα αποτελέσματα (κατάσταση πτερύγιων, κορτιζόλη, γλυκόζη, συντελεστής ευρωστίας) στην ενδιάμεση ΠΕ, η οποία ακολουθείται από την αυξημένη ΠΕ, ενώ η χαμηλή ΠΕ εμφανίστηκε χειρότερη όλων με αύξηση της επιθετικότητας. Η ενδιάμεση ΠΕ επηρεάστηκε σε μικρότερο βαθμό από την επίδραση χειρισμών. Η συχνότερη υποβολή των ιχθύων στους χειρισμούς εμφάνισαν τα καλύτερα αποτελέσματα.
Sloman et al., 2000	<i>Salmo trutta</i>	58,67	ΚΣ για 2 Εβ	Τα υποτελή άτομα εμφάνισαν αυξημένο μεταβολικό ρυθμό, ο οποίος εμφανίζεται να εξαρτάται από την επιθετικότητα των κυρίαρχων.

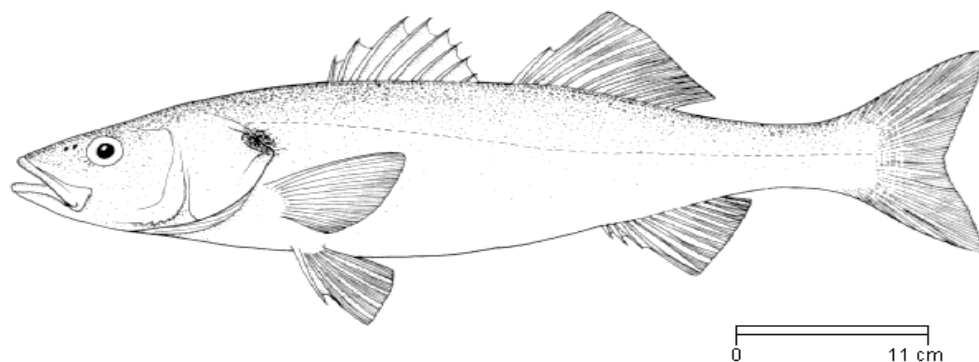
ΕΒ: Εβδομάδα, **ΕΛΟ:** Ελευθέρη Λιπαρά Οξέα, **ΕΝΕ:** Επιβαρημένο Νερό Εκτροφής (ποικίλης φύσεως μολυντές), **ΚΣ:** Stress Κοινωνικής Συμπεριφοράς, **ΠΕ:** Πυκνότητα εκτροφής, **ΣΑ:** Σταδιακή αύξηση, **NEFA** (Non-Esterified Fatty Acid): Μη Εστεροποιημένα Λιπαρά Οξέα

1.5. Το Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*)

1.5.1. Γενικά

Το ευρωπαϊκό λαβράκι *Dicentrarchus labrax* (Lineus, 1975) (εικ. 1.9) συστηματικά ταξινομείται ως εξής:

Ομοταξία	:	Osteichthyes
Υφομοταξία	:	Actinopterygii
Υπέρταξη	:	Teleostei
Τάξη	:	Peciformes
Υπόταξη	:	Percidei
Οικογένεια	:	Moronidae
Γένος	:	<i>Dicentrarchus</i>
Είδος	:	<i>Dicentrarchus labrax</i>



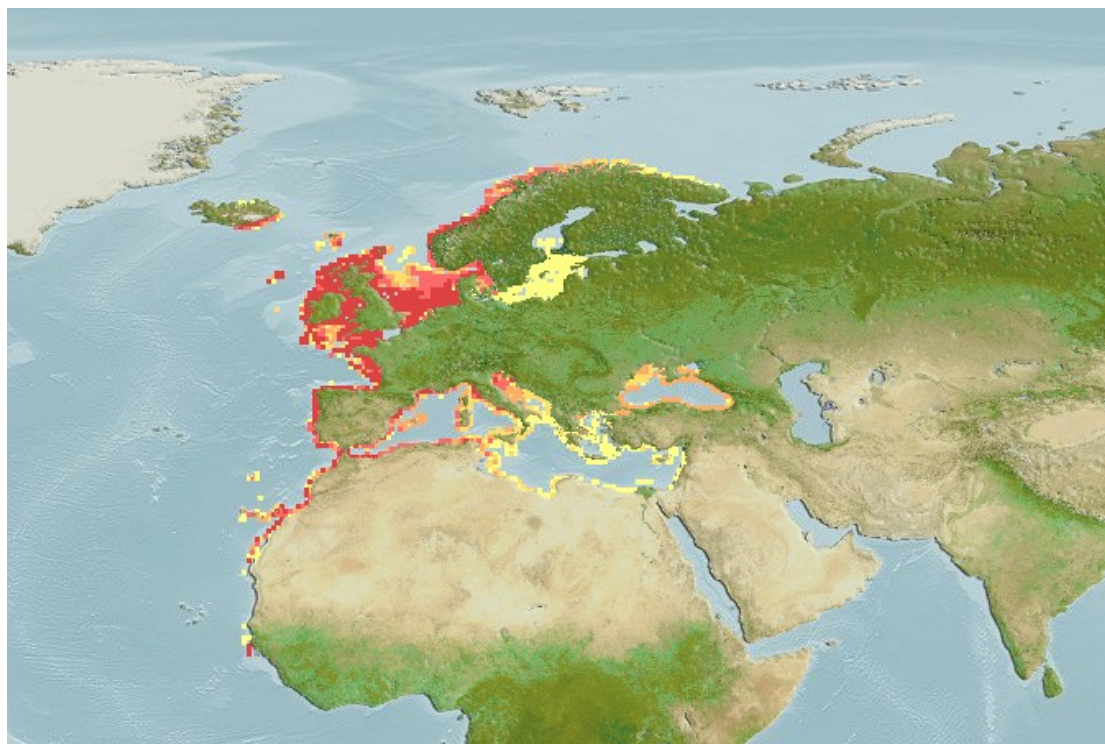
FAO

Εικόνα 1.9: Σχηματική απεικόνιση λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) (www.fishbase.org)

Στο ίδιο γένος ανήκει και το είδος *Dicentrarchus punctatus* (Bloch, 1792), το οποίο διαφέρει από το ευρωπαϊκό λαβράκι σε τρία σημεία (Χώτος και Ρογδάκης, 1992):

- Το *D. punctatus* παρουσιάζει μόνιμες σκοτεινές κηλίδες στη ράχη και στις πλευρές. Αντιθέτως στο *D. labrax* οι κηλίδες εμφανίζονται κατά το πρώτο και σπανίως κατά το δεύτερο έτος της ζωής τους, ενώ απουσιάζουν εντελώς από τα ενήλικα άτομα.
- Στο είδος *D. punctatus* τα δόντια της ινιακής περιοχής του ουρανίσκου εξαπλώνονται σε όλη την περιοχή σχηματίζοντας ένα είδος βέλους ενώ στο *D. labrax* υπάρχουν μόνο στο πρόσθιο μέρος του ουρανίσκου και σχηματίζουν ένα ανοιχτό U.
- Η διάμετρος του ματιού σε σχέση με τη μεσοκογχική απόσταση είναι μεγαλύτερη στο *D. punctatus* από την αντίστοιχη του *D. labrax*.

Το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) είναι ένα από τα πιο δημοφιλή και εμπορικά σημαντικά είδη στην περιοχή της Μεσογείου. Παρουσιάζει αρκετά ευρεία εξάπλωση (εικ. 1.10). Συναντάται στον Ατλαντικό ωκεανό από τις ακτές του Μαρόκου ως τη Βαλτική (Χώτος και Ρογδάκης, 1992).



Εικόνα 1.10: Η διασπορά του λαβρακιού (www.fishbase.org)

1.5.2. Περιβάλλον διαβίωσης

Απαντάται κυρίως σε υφάλμυρα και θαλάσσια νερά, ενώ δεν αποκλείεται η παρουσία του και σε γλυκά νερά. Όταν βρίσκεται στην ανοιχτή θάλασσα συναντάται σε επιφανειακά νερά και φθάνει σε βάθη της τάξης των 50 – 60 m και σπανίως ως 100 m. Όταν κινείται σε νερά με μικρό βάθος προτιμά αμμώδεις, βραχώδεις ή καλυμμένους με βλάστηση πυθμένες και σπανίως λασπώδεις. Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι προτιμά ρηγά, καθαρά νερά παρακτίων υδατοσυλλογών, χωρίς να αποκλείεται η παρουσία του σε νερά πλούσια σε αιωρούμενα σωματίδια και αυξημένη θολότητα (Παπουτσόγλου, 2008).

Το λαβράκι πραγματοποιεί μικρής έκτασης μετακινήσεις, οι οποίες οφείλονται στην ικανοποίηση των βιολογικών του αναγκών, τη διατροφή και την αναπαραγωγή. Τα ενήλικα και γεννητικά ώριμα άτομα στην αρχή της χειμερινής περιόδου κινούνται από τα υφάλμυρα και παράκτια νερά προς την ανοιχτή θάλασσα για την ωοτοκία. Τα αβγά και τα ιχθύδια της πρώτης, πλαγκτονικής φάσης αιωρούνται στην περιοχή γέννησής τους, στα επιφανειακά στρώματα της παραλιακής ζώνης σε βάθη που δεν ξεπερνάν τα 30 m. Τα νεαρά ιχθύδια που εμφανίζουν δυναμική κινητικότητα, κινούνται προς τις παράκτιες περιοχές, εκβολές ποταμών και λιμνοθαλασσών, νερά που είναι πιο θερμά και πλούσια σε τροφή. Τα ιχθύδια στο τέλος της θερινής περιόδου κινούνται προς την ανοιχτή θάλασσα, όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι σταθερότερες. Την άνοιξη, επιστρέφουν σε παράκτιες περιοχές, για την αναζήτηση τροφής. Τα ενήλικα άτομα συνεχίζουν τις ετήσιες μεταναστεύσεις από και προς τις παράκτιες περιοχές έως ότου ωριμάσουν γεννητικά (Χώτος και Ρογδάκης, 1992).

1.5.2.1. Συνθήκες διαβίωσης και εκτροφής

Είναι ένα κατ' εξοχήν ευρύαλο και ευρύθερμο είδος, που μπορεί να προσαρμοστεί με ευκολία ακόμα και σε γλυκά νερά. Στο φυσικό του περιβάλλον, κινείται σε μικρές ομάδες ατόμων, στα επιφανειακά θαλάσσια και υφάλμυρα νερά. Γενικότερα, το λαβράκι εμφανίζει βέλτιστη ανάπτυξη σε αλατότητα 20-30 ‰ και θερμοκρασία 14-24 °C και αυτές οι τιμές επιδιώκονται κατά την εκτροφή. Βέβαια είναι δυνατό να επιβιώσει σε αλατότητα από 0,5 ως 70‰ και θερμοκρασία από 2-3 ως 27-29 °C, ενώ σε θερμοκρασίες κάτω των 10 °C διακόπτεται η ανάπτυξή του και κάτω από 7 °C σταματά να διατρέφεται (Χώτος και Ρογδάκης, 1992, Varsamos, 2002).

Το δεσμευμένο οξυγόνο, στο φυσικό περιβάλλον, βρίσκεται σε επίπεδα κορεσμού, ενώ σπανίως παρατηρούνται θνησιμότητες λόγω ανοξίας. Στην εκτροφή, η συγκέντρωσή του υπερβαίνει τα 4,5 ppm, υπερβαίνοντας το 80 % του επιπέδου κορεσμού, ενώ δεν έχει παρατηρηθεί κάποια θνησιμότητα σε συγκεντρώσεις της τάξης των 2-3 ppm (Χώτος και Ρογδάκης, 1992, Πνευματικός, 1996).

1.5.2.2. Η διατροφή του λαβρακιού στο φυσικό περιβάλλον και στην εκτροφή

Το ευρωπαϊκό λαβράκι ανήκει στην κατηγορία των σαρκοφάγων αρπακτικών ιχθύων. Η διαρρύθμιση των δοντιών, τα είδη και η δραστικότητα των πεπτικών ενζύμων που εκκρίνονται σ' όλο το μήκος του πεπτικού σωλήνα καθώς και η διαμόρφωση του, ερμηνεύουν απόλυτα αυτό το συμπέρασμα. Πρόκειται για ένα δυνητικό θηρευτή, που κυνηγά ατομικά στα επιφανειακά υδάτινα στρώματα. Επιλέγει τη λεία του από άποψη μεγέθους, την εντοπίζει και επιτιθέμενο από κάτω την αρπάζει και την καταπίνει άμεσα (Χώτος και Ρογδάκης, 1992).

Στο φυσικό περιβάλλον η τροφή του ποικίλει ανάλογα με την φάση της ανάπτυξής του. Τα νεαρά άτομα από τη στιγμή που αρχίζουν να καταναλώνουν εξωτερική τροφή ως τη μορφή των ατελών ιχθυδίων διατρέφονται με ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς, αβγά, λεκιθοφόρα και ατελή ιχθυύδια και διάφορες προνύμφες εντόμων ενώ τα τέλεια άτομα κατά κύριο λόγο με διάφορα καρκινοειδή, μαλάκια και ιχθύες.

Κατά την εκτροφή, από την απορρόφηση του λεκιθικού σάκου ως την 50^η ημέρα περίπου χορηγείται ζωντανή τροφή. Έπειτα, πραγματοποιείται σταδιακή αντικατάσταση του σιτηρεσίου, με βιομηχανοποιημένη τροφή (σύμπηκτα) σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών, η οποία χρησιμοποιείται ως την επίτευξη του εμπορεύσιμου μεγέθους. Οι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται ως τροφή είναι δυο. Κατά το πρώτο διάστημα (6^η – 10^η ημέρα), χορηγούνται Τροχόζωα του είδους *Brachionus plicatilis*, και κατά το δεύτερο (7^η – 50^η ημέρα), ναύπλιοι του Καρκινοειδούς *Artemia spp.* Η ζωντανή τροφή που χρησιμοποιείται, συνήθως εμπλουτίζεται με βιταμίνες και αμινοξέα (Παπουτσόγλου, 2008). Ο ακριβής χρόνος μετάβασης μεταξύ των ειδών τροφής εξαρτάται από την ανάπτυξη του οργανισμού, ενώ το μέγεθος και ο αριθμός των γευμάτων από το στάδιο ανάπτυξης, την ηλικία και το μέγεθος του οργανισμού, τη θερμοκρασία του νερού και την επιδιωκόμενη ανάπτυξη του οργανισμού.

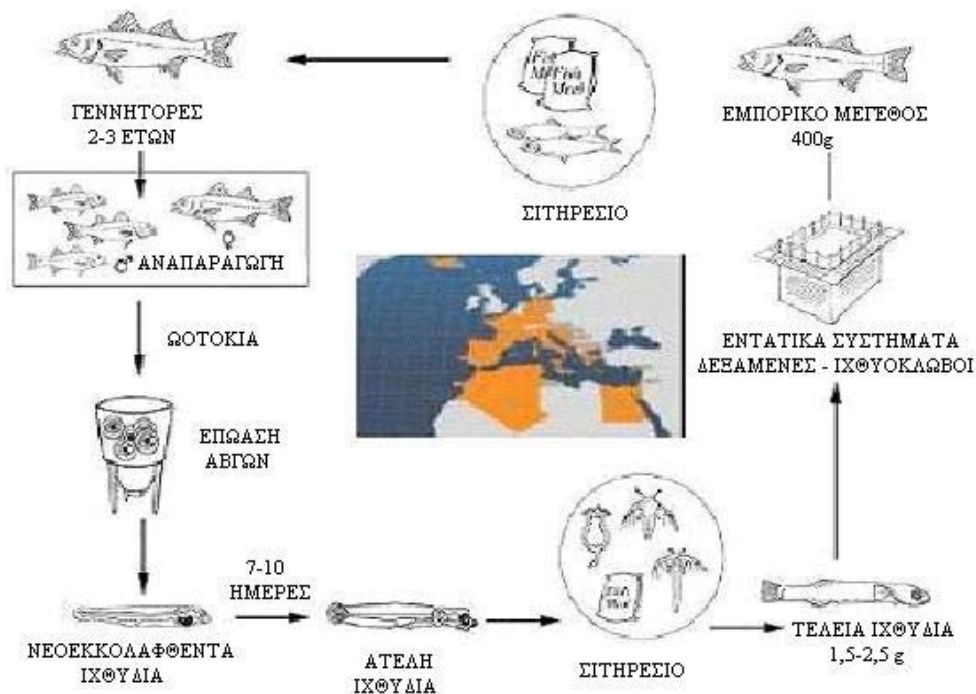
1.5.3. Η εκτροφή του ευρωπαϊκού λαβρακιού

Η επιτυχής εκτροφή του ευρωπαϊκού λαβρακιού (εικ. 1.11), πραγματοποιείται σε δυο φάσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει την αναπαραγωγή και την ανάπτυξη των πρώτων σταδίων του οργανισμού, ενώ η δεύτερη, την ανάπτυξη των ατόμων μέχρι την επίτευξη του εμπορεύσιμου μεγέθους (Χώτος και Ρογδάκης, 1992).

Η πρώτη φάση πραγματοποιείται με την παραγωγή και ανάπτυξη νεαρών ιχθυδίων, σε διάφορων μεγεθών και σχημάτων δεξαμενές, σε ιχθυογεννητικούς σταθμούς, οι οποίοι περιλαμβάνουν τμήμα διατήρησης των γεννητικά ώριμων ατόμων, τμήμα επώασης και εκκόλαψης των αβγών, τμήμα ανάπτυξης των ατελών και τέλειων ιχθυδίων καθώς επίσης και τμήμα παράγωγης ζωντανής τροφής (φυτοπλαγκτονικοί και ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί) (Χώτος και Ρογδάκης, 1992).

Είναι δυνατόν να αποφευχθεί κατά ένα μεγάλο βαθμό η πρώτη φάση της εκτροφής, διότι είναι δυνατή η αλιεία νεαρών ιχθυδίων από τις παράκτιες περιοχές και τις εκβολές ποταμών. Σίγουρα στις εντατικές και υπερεντατικές μορφές εκτροφής,

αυτή η τακτική δεν ακολουθείται, διότι παρέχει μικρής ποσότητας και αμφίβολου υγιεινής κατάστασης ιχθύδια. Σήμερα τα ιχθύδια του λαβρακιού προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από την τεχνητή αναπαραγωγή του είδους, σε χερσαίες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 1.11: Σχηματική απεικόνιση του κύκλου εκτροφής του Ευρωπαϊκού λαβρακιού (www.fao.org)

Η δεύτερη φάση πραγματοποιείται σε ημιεντατικά, εντατικά συστήματα παραγωγής, σε πλωτούς κλωβούς και σε συστήματα δεξαμενών. Η εκτροφή του λαβρακιού, σε υπερεντατικά συστήματα παραγωγής, αναπτύσσεται ταχύτατα, με την εφαρμογή ημίκλειστων συστημάτων παραγωγής (Χώτος και Ρογδάκης, 1992, Papoutsoglou, 1998, Di Marco et al., 2008).

1.5.3.1. Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η εκτροφή του λαβρακιού

Οι δυσκολίες της εκτροφής του είδους αυτού οφείλονται σε ένα μεγάλο πλήθος παραγόντων οι οποίοι είτε αντιμετωπίζονται είτε προκαλούν ένα ποσοστό απωλειών, οι οποίες όμως δεν καθιστούν οικονομικά ασύμφορη την εκτροφή του. Απώλειες κατά την εκτροφή οφείλονται στην έλλειψη αξιόπιστης πηγής αβγών και ιχθυδίων, στην εμφάνιση αυξημένων θνησιμοτήτων κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των ιχθυδίων, και στην εμφάνιση κανιβαλισμού σχεδόν καθόλη τη διάρκεια της ζωής του.

Η έλλειψη αξιόπιστης πηγής αβγών και νεαρών ιχθυδίων είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η εκτροφή του λαβρακιού. Αν και με την τεχνητή αναπαραγωγή του είδους, αποφεύγεται κατά ένα μεγάλο βαθμό η

ύπαρξη ασθενειών και άλλων νοσημάτων, που μαστίζουν και δύσκολα αντιμετωπίζονται στην ηλικία αυτή, εντούτοις γενετικής φύσεως προβλήματα δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν.

Η εμφάνιση θνησιμοτήτων τόσο στα πρώτα στάδια ανάπτυξης όσο και σε μεγαλύτερα άτομα είναι αυτό που καθορίζει τη οικονομική βιωσιμότητα της εκάστοτε επιχείρησης. Οι απώλειες των νεαρών ιχθυδίων οφείλονται στη γέννηση πολύ μικρών αβγών (1,1 - 1,2 mm) με συνέπεια την εκκόλαψη πολύ μικρών ιχθυδίων (3,5 mm). Η εμφάνιση θνησιμοτήτων απαντάται κατά τις αλλαγές του είδους τροφής, δηλαδή κατά την απορρόφηση του λεκιθικού σάκου και την έναρξη κατανάλωσης ζωντανής τροφής καθώς και κατά την έναρξη της χορήγησης τυποποιημένης τροφής. Κατά την ίδια περίοδο οι απώλειες μπορεί να οφείλονται και σε παραμορφώσεις, σκελετικές ή μυϊκές, οι οποίες οφείλονται είτε σε γενετικά αίτια, είτε σε λανθασμένους χειρισμούς των γεννητόρων, των αβγών ή των ιχθυδίων. Έχει διαπιστωθεί ότι, υψηλή ένταση φωτός (>2000 lux) κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των ιχθυδίων, προκαλεί αδυναμία σχηματισμού ή πλημμελή ανάπτυξη της νηκτικής κύστης (Barnabe, 1990).

Θνησιμότητες κατά την εκτροφή, σε μεγαλύτερα άτομα, οφείλονται στην έντονη επιθετικότητα που εμφανίζεται μεταξύ ατόμων του ίδιου είδους (κανιβαλισμός). Ο κανιβαλισμός εμφανίζεται από τη φάση των τέλειων ιχθυδίων, ως τη φάση των ωρίμων ατόμων και οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ανομοιορφία των εκτρεφόμενων πληθυσμών (Χώτος και Ρογδάκης, 1992).

Η φυλογενετική διαφοροποίηση του λαβρακιού, κατά κανόνα πραγματοποιείται κατά το δεύτερο έτος της ηλικίας του (καλοκαίρι – φθινόπωρο). Η πρόωρα γεννητική ωρίμανση των αρσενικών ατόμων κατά το πρώτο έτος της ηλικίας τους (χειμώνας – φθινόπωρο), σε ποσοστό της τάξης του 20 % της συνολικής παραγωγής, προκαλεί μείωση της ανάπτυξής τους και της ανθεκτικότητας τους σε ασθένειες, ενώ είναι πιθανόν να μειώσει την εμπορικότητα των ιχθύων αυτών (Begtashi et al., 2004, Rodriguez, 2005).

Μολονότι οι συνθήκες διαβίωσης του λαβρακιού καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών, εντούτοις πρόκειται για έναν ιδιαίτερα ευάλωτο οργανισμό στην επίδραση περιβαλλοντικών παραμέτρων και χειρισμών, εμφανίζοντας συμπτώματα κατάστασης stress. Οι αρνητικές συνέπειες της έντονης αντίδρασης στο stress παρατηρούνται καθόλη την διάρκεια της ζωής του, με αποτέλεσμα την μειωμένη ανάπτυξη, την αύξηση της ευαισθησίας του σε προσβολές από διάφορους παθογόνους οργανισμούς και την αυξημένη θνησιμότητα (Varsamos et al., 2006, Παπουτσογλου, 2008). Η αυξημένη κινητική δραστηριότητα που εμφανίζουν τα άτομα του λαβρακιού, υπό την επίδραση οξέος stress, όπως κεραυνοί και λανθασμένοι χειρισμοί, προκαλεί την έντονη σύγκρουσή τους στις πλευρές και τον πυθμένα των εγκαταστάσεων, με αποτέλεσμα την πρόκληση χαρακτηριστικών εκδορών στην κεφαλή και το σώμα (κυρίως περιμετρικά των περύγιων). Οι εκδορές αυτές αποτελούν υπόστρωμα προσκολλήσεις διαφόρων μικροοργανισμών, παθογόνων και μη, ενώ καθιστούν σχεδόν το αλίευμα εμπορικώς ακατάλληλο, προκαλώντας μεγάλες οικονομικές απώλειες στον παραγωγό (προσωπική εμπειρία του συγγραφέα).

Πέραν των απωλειών, οι υπάρχουσες γνώσεις των διατροφικών απαιτήσεων (ποιότητα, ποσότητα τροφής, συχνότητα, μέγεθος γευμάτων) του είδους και την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων (φως, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού ανθρώπινοι χειρισμοί, πυκνότητα εκτροφής, κ.α.), στην ανάπτυξη και τη φυσιολογική κατάστασή του, είναι ακόμη περιορισμένες, παρόλη τη σημαντική ερευνητική προσπάθεια που έχει ήδη καταβληθεί (Παπουτσόγλου, 2008). Τα αίτια των μειωμένων γνώσεων για την ανάπτυξη και τη διατροφή, ίσως είναι η έντονη διαφοροποίηση των περιβαλλοντικών παραγόντων που απαιτεί το είδος αυτό στις διάφορες φάσεις ανάπτυξής του (αβγό, ατελές και τέλειο ιχθύδιο, ανώριμο και ώριμο άτομο). Στο συμπέρασμα αυτό οδηγεί η πραγματοποίηση πολυάριθμων μικρών μετακινήσεων (από και προς την ανοιχτή θάλασσα), καθόλη τη διάρκεια της ζωής του στο φυσικό περιβάλλον.

1.6. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας

Το ευρωπαϊκό λαβράκι είναι ένα από τα εντατικά εκτρεφόμενα είδη της λεκάνης της Μεσογείου με σημαντικό οικονομικό ενδιαφέρον για την παραγωγή υδρόβιων οργανισμών. Πρόκειται για ένα ευρύαλο και ευρύθερμο είδος, με την όραση να παίζει καθοριστικό ρόλο στην ηθολογία διαβίωσης και διατροφής του. Για το λόγο αυτό, το φως και τα χαρακτηριστικά του παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιβίωση και την ανάπτυξη του (Marchesan et al., 2005). Η έρευνα έχει επιτρέψει τη ρύθμιση πολλών αβιοτικών παραγόντων της εκτροφής του, παρόλο που η αντίδραση του σε ορισμένες εντάσεις φωτός και φωτοπερίόδους μπορεί να έχουν τόσο θετικές, όσο και αρνητικές συνέπειες στην ανάπτυξη (Villamizar et al., 2009).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί (κεφάλαιο 1.3.3), το μήκος κύματος του φωτός, αν και επηρεάζει πολλές παραμέτρους της φυσιολογικής κατάστασης των ιχθύων, εντούτοις πολύ λίγες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε σχέση με τις άλλες παραμέτρους (φωτοπερίοδος και ένταση) του φωτός. Εξαιτίας της ελλιπούς επιστημονικής πληροφόρησης, οι εκτροφείς σε εσωτερικούς χώρους επιλέγουν εμπειρικά τη χρήση του φυσικού φάσματος, το οποίο εμφανίζει την μεγαλύτερη ομοιότητα της φασματικής σύνθεσης του φυσικού φωτός (Boeuf and Le Bail, 1999), αγνοώντας αν η χρήση φασμάτων διαφορετικού μήκους κύματος εμφανίζουν καλύτερα αποτελέσματα (Villamizar et al., 2009).

Το stress αποτελεί την κυριότερη αρνητική επίπτωση κατά την εκτροφή του λαβρακιού (κεφάλαιο 1.5.3.1.), γι' αυτό έχει απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα για περισσότερα από 35 έτη. Η πλήρης κατανόηση της αντίδρασης του λαβρακιού στο stress, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την παραγωγικότητα, την αντίσταση σε ασθένειες και την επιβίωση (Varsamos et al., 2006). Ο έλεγχος του stress είναι ο κύριος τρόπος ώστε να διασφαλιστεί η ευζωία των οργανισμών (Conte, 2004, Huntingford et al., 2006, Ashley, 2007).

Ελάχιστες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για τη μελέτη της επίδρασης του μήκους κύματος του φωτός στην αντίδραση των ιχθύων στο stress, σε σύγκριση με άλλους παράγοντες που αποτελούν αιτία χρόνιου stress, όπως ημερήσια αναστάτωση (Head and Malison, 2000), αυξημένη πυκνότητα εκτροφής (Van der Salm et al., 2004) ή οξέος stress, όπως περιορισμός (Volpato and Barreto, 2001, Karakatsouli et al., 2008) ή κινήγημα (Barcellos et al., 2006). Αν και οι εμπλεκόμενοι μηχανισμοί στο stress δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως, οι παραπάνω μελέτες έχουν δείξει ότι το φάσμα φωτός μπορεί να διαφοροποιήσει την αντίδραση των ιχθύων στο stress και ενδεχομένως να αποτελέσει μέσο μείωσης των αρνητικών συνεπειών του. Η μεγάλη παραλλακτικότητα των ιχθύων όσον αφορά την ηθολογία διαβίωσης και την αντίληψη του μήκους κύματος, όσο και η έντονη παραλλακτικότητα της αντίδρασης των ιχθύων στο stress καθιστούν αναγκαία τη περαιτέρω μελέτη της ταυτόχρονης επίδρασης τους.

Στην παρούσα εργασία, κύριος σκοπός ήταν να μελετηθεί το κατά πόσο η χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός (κυανό και λευκό) σταθερής έντασης (350 lux) και

φωτοπεριόδου (12Φ:12Σ), μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά στην αντιμετώπιση οξέος stress του λαβρακιού, αλλά και αν μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις του χρόνιου stress, που παρατηρούνται κατά τις συνθήκες εκτροφής. Η επιλογή των χρησιμοποιούμενων φασμάτων (λευκό και κυανό) έγινε με βάση τις επικρατούσες συνθήκες στο περιβάλλον εκτροφής και διαβίωσης του λαβρακιού. Το πλήρες φάσμα είναι αυτό που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται κατά την εκτροφή, είτε αυτή πραγματοποιείται στην ανοιχτή θάλασσα, σε ιχθυοκλωβούς, είτε σε χερσαίες εγκαταστάσεις. Το κυανό φάσμα χρησιμοποιήθηκε εφόσον αυτό κυριαρχεί στο βάθος που συνήθως συναντώνται τα ενήλικα άτομα. Η έντονη κίνηση των ατόμων του λαβρακιού προς μεγαλύτερα βάθη κατά την επίδραση κάποιου παράγοντα stress (παρατήρηση του συγγραφέα), συνέβαλε στην επιλογή του κυανού φάσματος. Η εφαρμογή κατάστασης stress μέσω περιορισμού των ιχθύων έγινε για να προσομοιώσει τη συνηθέστερη αιτία πρόκλησης stress κατά την εκτροφή.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειραματόζωα και πειραματικός σχεδιασμός

Για τον σκοπό του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 8 ομοιογενείς πληθυσμοί των 10 ατόμων του είδους *Dicentrarchus labrax* μέσου αρχικού βάρους $130,9 \pm 0,44$ g (αρχικής πυκνότητας εκτροφής $6,07$ kg/m³) σε ημίκλειστο σύστημα θαλασσινού νερού με αλατότητα $35,3 \pm 0,06$ ‰. Τα άτομα των ιχθύων επιλέχθηκαν ύστερα από προζύγισμα ενώ είχαν εγκλιματιστεί στις συνθήκες του εργαστηρίου. Στη συνέχεια οι 8 πληθυσμοί κατανεμήθηκαν τυχαία ανά δύο, σε τέσσερις επεμβάσεις σύμφωνα με παραγοντικό σχέδιο 2 x 2, το οποίο περιελάμβανε δύο διαφορετικά χρώματα φωτός σταθερής έντασης (κυανό και λευκό) και την πρόκληση ή μη οξέος stress (Stress και μάρτυρας). Στον παρακάτω πίνακα (πίν. 2.1) παρουσιάζονται αναλυτικά για την κάθε δεξαμενή, η επέμβαση που εφαρμόστηκε και ο πληθυσμός των ιχθύων που τοποθετήθηκε σε καθεμία από αυτές.

Πίνακας 2.1: Σωματομετρήσεις αρχικού πληθυσμού ιχθύων

Δεξαμενή	Χρώμα Φωτός	Stress	Αρχικό Ζων Βάρος (g)	Αρχικό Ολικό Μήκος (cm)	Αρχικό Σταθερό Μήκος (cm)	Συντελεστής Ευρωστίας
B1	Κυανό	Stress	130,7±1,43	24,9±0,11	23,6±0,12	0,84±0,005
B2	Κυανό	Stress	131,3±1,27	25,3±0,14	24,0±0,10	0,82±0,015
B3	Κυανό	Μάρτυρας	130,7±1,33	24,6±0,18	23,4±0,19	0,88±0,020
B5	Κυανό	Μάρτυρας	130,7±1,23	24,6±0,23	23,3±0,22	0,89±0,027
B6	Λευκό	Stress	130,9±1,31	24,7±0,34	23,5±0,31	0,88±0,040
B8	Λευκό	Stress	131,2±1,39	24,6±0,21	23,5±0,17	0,88±0,022
B9	Λευκό	Μάρτυρας	131,1±1,21	24,9±0,15	23,7±0,24	0,84±0,009
B10	Λευκό	Μάρτυρας	130,7±1,22	24,5±0,12	23,5±0,13	0,89±0,012
Επίπεδο Σημαντικότητας (P)			ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

ΜΣ: Μη Σημαντικό.

Το βάρος των ιχθύων μετρήθηκε με ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας 0,1g, ενώ οι διαστάσεις του σώματος ελήφθησαν με ωρολογιακό παχύμετρο ακριβείας 0,1 mm. Για κάθε ιχθύ υπολογίστηκε ο συντελεστής ευρωστίας.

Η διάρκεια της κύριας πειραματικής περιόδου ήταν 9 εβδομάδες. Τη δεύτερη ημέρα της πειραματικής περιόδου τοποθετήθηκαν λαμπτήρες φθορισμού (Cool White fluorescence lamps, OSRAM DULUX D/E 26W/840 G24Q-3) πάνω από τις δεξαμενές και σταθεροποιήθηκε η έντασή τους. Το χρώμα φωτός επιτεύχθηκε με την χρήση κατάλληλου έγχρωμου φίλτρου (Κυανό #165 LEE Filters, Andover, Hampshire, England, UK), ενώ για το λευκό χρώμα φωτός δεν χρησιμοποιήθηκε φίλτρο (πλήρες

φάσμα φωτός). Για το κυανό φίλτρο η μέγιστη απορρόφηση μετρήθηκε στα 480 nm με φασματοσκόπιο τύπου Kruss (απόδοσης 83% από τον κατασκευαστή).

2.2. Πειραματικές εγκαταστάσεις: περιγραφή του συστήματος και των πειραματικών δεξαμενών

Το πείραμα διεξήχθη σε ημίκλειστο σύστημα θαλασσινού νερού, του Εργαστηρίου Εφηρμοσμένης Υδροβιολογίας. Το κύκλωμα διέθετε συστήματα μηχανικού (σπόγγοι) και βιολογικού (χαλίκια) καθαρισμού του νερού, καθώς και 10 λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας, με σκοπό τον έλεγχο παθογόνων μικροοργανισμών, και σύστημα ψύξης του νερού, για την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας.

Για την εκτροφή των ιχθύων χρησιμοποιήθηκαν 8 γυάλινες δεξαμενές διαστάσεων: 36cm x 68cm x 88cm (ύψος x πλάτος x μήκος) και συνολικό όγκο ανά δεξαμενή 215,5 l. Κάθε δεξαμενή διέθετε σύστημα παροχής νερού, σύστημα παροχής ατμοσφαιρικού αέρα και σύστημα αποχέτευσης και διατήρησης σταθερής στάθμης. Η παροχή του νερού ήταν σταθερή και βρισκόταν στην επιφάνεια του νερού, ενώ η απομάκρυνση του, πραγματοποιούταν από σωλήνα τοποθετημένο στο ύψος της στάθμης του νερού. Όλες οι δεξαμενές κατά τη δεύτερη μέρα της πειραματικής περιόδου καλύφθηκαν ερμητικά με φελιζόλ πάχους 1 cm, ώστε ο φωτισμός της δεξαμενής να προέρχεται αποκλειστικά από αυτόν του λαμπτήρα της εκάστοτε δεξαμενής. Το κομμάτι του φελιζόλ, με το οποίο καλυπτόταν η επάνω επιφάνεια των δεξαμενών, έφερε ορθογώνια οπή, στην οποία προσαρμοζόταν πλήρως ο λαμπτήρας φθορισμού της εκάστοτε δεξαμενής. Με τον τρόπο αυτό το παραγόμενο φως διοχετευόταν στο εσωτερικό των δεξαμενών, χωρίς να υφίσταται καμία αλλοίωση. Ο ρυθμός ανανέωσης του νερού καθόλη την πειραματική περίοδο ήταν ρυθμισμένος στα 300 ml/10sec ή 108 l/h (πλήρης ανανέωση του νερού 12,03 φορές ημερησίως). Η διοχέτευση ατμοσφαιρικού αέρα στο νερό γίνονταν μέσω πλαστικών σωληνίσκων διαμέτρου 6 mm, που κατέληγαν σε ειδικές κατασκευές ομοιόμορφης απελευθέρωσης του αέρα μέσα στο νερό με την μορφή μικροσκοπικών φυσαλίδων (αερόπετρες). Σε ότι αφορά την ένταση του φωτισμού, οι λαμπτήρες φθορισμού οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί στις δεξαμενές, παρήγαγαν φως έντασης 350 lux, στην επιφάνεια του νερού με σταθερή φωτοπερίοδο 12 ώρες φως : 12 ώρες σκοτάδι (12Φ:12Σ) (07:00πμ-19:00μμ), με μισή ώρα προσομοίωση ανατολής και δύσης. Τόσο η ένταση όσο και η φωτοπερίοδος ρυθμίστηκε από κεντρικό υπολογιστή (winDim 4.0e PC software).

2.3. Οι πραγματοποιούμενες επεμβάσεις

Εκτός από τις επιθυμητές διαφοροποιήσεις (φάσμα φωτός και οξύ stress) στις συνθήκες εκτροφής κατά την πειραματική περίοδο και με σκοπό να δέχονται όλοι οι πληθυσμοί τις ίδιες εξωτερικές παρεμβάσεις, κρίθηκε αναγκαίο οι επεμβάσεις να γίνονται σε προκαθορισμένα τακτά χρονικά διαστήματα και όσον το δυνατόν κάτω από τις ίδιες συνθήκες για όλους τους πληθυσμούς. Βασική επιδίωξη κατά τη διάρκεια

των επεμβάσεων ήταν η ελάχιστη παρενόχληση των ιχθύων προς αποφυγή εκδήλωσης συμπτωμάτων stress. Οι επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν σε καθημερινή βάση και κατά μεγαλύτερες χρονικές περιόδους.

2.3.1. Καθημερινές επεμβάσεις

Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή του είδους και του χρόνου εφαρμογής των επεμβάσεων του πειράματος, οι οποίες πραγματοποιούνταν σε καθημερινή βάση (εκτός Κυριακής) και ήταν πανομοιότυπες για όλους τους πληθυσμούς.

2.3.1.1. Χορήγηση τροφής

Για την διατροφή των ιχθύων χρησιμοποιήθηκε ιχθυοτροφή εμπορίου υπό μορφή συμπύκτων (pellets). Η καταλληλότητα του μεγέθους προσδιορίστηκε ανάλογα με το μέγεθος του στόματος των ιχθύων. Κατά τη διάρκεια της κύριας πειραματικής περιόδου χορηγήθηκε ένα είδος τροφής (υγρασία 7,06 %, πρωτεΐνες 45,69 %, λιπαρές ουσίες 21,63 %, τέφρα 6,27 %, ENEO 19, 35 %). Η χημική σύσταση της τροφής (υγρασία, τέφρα, ολικές πρωτεΐνες και ολικά λίπη) προσδιορίστηκε με τις ίδιες μεθόδους με τις οποίες έγινε ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης του σώματος των ιχθύων.

Η σίτιση των ιχθύων γινόταν σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Από Δευτέρα έως Παρασκευή η χορήγηση της τροφής γινόταν σε δύο γεύματα. Το πρώτο χορηγούνταν στις 08:30, και το δεύτερο στις 14:30. Το Σάββατο χορηγούνταν ένα γεύμα, στις 10:00. Την Κυριακή οι ιχθύες διατηρούνταν άσιτοι. Η ποσότητα της χορηγούμενης τροφής ανά γεύμα ήταν ίση με το 0,5 % του ζώντος βάρους.

Η παροχή της τροφής γινόταν από το επάνω μέρος του καλύμματος της επιφάνειας των δεξαμενών, από την οπή που διοχετευόταν το φως, αφού είχε προηγηθεί ελαφριά μετακίνηση του λαμπτήρα. Κάθε γεύμα χορηγούνταν σε μια δόση με τη μέγιστη δυνατή διασπορά. Η χορήγηση κάθε γεύματος, παρέχονταν σε όλες τις δεξαμενές με την ίδια σειρά. Κατά τη χορήγηση κάθε γεύματος ελεγχόταν η κατανάλωση της τροφής και η συμμετοχή των ατόμων της δεξαμενής στο γεύμα. Για τον λόγο αυτό, αλλά και τον έλεγχο της υγιεινής κατάστασης ή άλλων αξιοπρόσεκτων συμπεριφορών των ιχθύων, το μπροστινό κάλυμμα είχε τη δυνατότητα μικρής μετακίνησης (~ 2 - 3 cm από τον πυθμένα της δεξαμενής) για λίγα δευτερόλεπτα, κάθε ημέρα, μετά τη χορήγηση του γεύματος, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή ώστε αυτό να μην προκαλεί stress στους ιχθύς.

Κάθε τρεις εβδομάδες πραγματοποιούνταν ζύγισμα των ιχθυοπληθυσμών με σκοπό τον προσδιορισμό της βιομάζας των δεξαμενών και την αναπροσαρμογή της ποσότητας της τροφής.

2.3.1.2. Μέτρηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού

Καθημερινά, 30 λεπτά πριν τη χορήγηση του πρώτου γεύματος και 30 λεπτά μετά την χορήγηση του τελευταίου, λαμβάνονταν οι τιμές της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης του δεσμευμένου οξυγόνου, του κορεσμού του νερού σε οξυγόνο και της τιμής του pH σε κάθε δεξαμενή. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και του δεσμευμένου οξυγόνου χρησιμοποιήθηκε φορητός μετρητής τύπου Oxyguard (Handy Gamma) ο οποίος στο ηλεκτρόδιο διαθέτει ενσωματωμένο ψηφιακό θερμόμετρο. Για την τιμή του pH χρησιμοποιήθηκε φορητός μετρητής τύπου Oxyguard (Handy Gamma).

Για την σταθεροποίηση της τιμής του pH του νερού εκτροφής χρησιμοποιούνταν διαλυμένη ποσότητα CaCO_3 .

2.3.1.3. Λήψη και ανάλυση των δειγμάτων του νερού

Παράλληλα με τη λήψη των μεσημβρινών μετρήσεων (30 λεπτά μετά από το μεσημβρινό γεύμα) λαμβάνονταν δείγματα νερού από κάθε δεξαμενή. Τα δείγματα συλλέγονταν μετά από διήθηση με τη βοήθεια ηθμού, σε φιαλίδια χωρητικότητας 100 ml. Η ποσότητα νερού που συλλέγονταν ήταν 100 ml από κάθε δεξαμενή, η οποία μεταφέρονταν σε φιάλη των 1000 ml και καταψυχόταν. Τα παραπάνω δείγματα χρησιμοποιούνταν για τον εβδομαδιαίο προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων και της ολικής αμμωνίας του νερού εκτροφής.

Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων (NO_2^- -N) προσδιορίστηκε φωτομετρικά με την μέθοδο του σχηματισμού ρόδιου ερυθροϊώδους χρώματος σε pH 2.0-2.5, προερχόμενο από την αντίδραση των νιτρικών με διάλυμα σουλφανιλαμίδης και με NED (N-Cl-naphthyl-Ethylenediamine Dihydrochloride) (Greenberg et al., 1992). Η μέτρηση της οπτικής απορρόφησης πραγματοποιήθηκε σε φασματοφωτόμετρο (Helias α , Thermo Electron Cooperodion).

Η συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3 - \text{N}$) προσδιορίστηκε φωτομετρικά μέσω της αντίδρασης της αμμωνίας με φαινόλη και υποχλωριώδες διάλυμα, σε αλκαλικό περιβάλλον, δίνοντας μπλε της ινδοφαινόλης. Η ένταση του γαλάζιου χρώματος της ένωσης αυτής προσδιορίζεται με τη χρήση νιτροπρωσσικού νατρίου (Greenberg et al., 1992). Για τη μέτρηση της οπτικής απορρόφησης χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο του ίδιου τύπου με παραπάνω.

Η συγκέντρωση της μη ιονισμένης, τοξικής μορφής της αμμωνίας ($\text{NH}_3 - \text{N}$) υπολογίστηκε μέσω του τύπου:

Τοξική NH_3 = [ολική αμμωνία] x 1 / [antilog($\text{pK}_a \text{S}(\text{T}) - \text{pH}$)] (ppm)

Όπου:

[ολική αμμωνία] συγκέντρωση της ολικής αμμωνίας (ppm)

$\text{pK}_a \text{S}(\text{T}) = \text{pK}_a \text{S}(\text{T} = 298^\circ\text{K}) + 0.0324 (298 - \text{T}^\circ\text{K})$,

$\text{pK}_a \text{S}(\text{T} = 298^\circ\text{K})$ σταθερά που εξαρτάται από την αλατότητα, την θερμοκρασία και την τιμή του pH.

T θερμοκρασία ($^\circ\text{K}$)

2.3.2. Περιοδικές επεμβάσεις

Πέραν των καθημερινών, απαραίτητες ήταν και άλλες επεμβάσεις οι οποίες πραγματοποιούνταν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η καθεμία από αυτές καθώς και ο χρόνος εφαρμογής τους περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω.

2.3.2.1. Μέτρηση έντασης φωτός

Μία φορά την εβδομάδα πραγματοποιούνταν έλεγχος της έντασης των λαμπτήρων. Βασικός σκοπός ήταν να τηρείται η αρχική προϋπόθεση του πειράματος της σταθερής έντασης του φωτός στην τιμή των 350 lux. Η μέτρηση της έντασης του φωτός γινόταν με την βοήθεια ψηφιακού μετρητή εντάσεως φωτός (RS 180-7133, RS Components Ltd., Corby, Northants, UK). Η ρύθμιση της εντάσεως των φωτεινών λαμπτήρων γινόταν από κεντρικό υπολογιστή (winDim 4.0e PC software).

2.3.2.2. Ζύγισμα ιχθυοπληθυσμών

Κάθε τρεις εβδομάδες (21 ημέρες) πραγματοποιούνταν στους πειραματικούς πληθυσμούς ατομικό ζύγισμα με σκοπό την εκτίμηση της διαφορετικής ανάπτυξης με βάση το χρώμα φωτισμού. Κάθε ιχθυοπληθυσμός ανά δεξαμενή μεταφερόταν σε ειδικό χώρο που υπήρχε νερό κυκλώματος, παροχή αέρα και αναισθητικό (2-phenoxyethanol), ανάλογο της αναμενόμενης βιομάζας (εκτίμηση του αναμενόμενου βάρους, με βάση το ρυθμό ανάπτυξης, που προϋποθέτει η ηλικία και το μέγεθος των ιχθύων του προηγούμενου ζυγίσματος) της κάθε δεξαμενής. Μετά την αναισθητοποίηση των ιχθύων πραγματοποιούνταν ατομικό ζύγισμα με την βοήθεια ζυγού ακρίβειας 0.1g. Στην συνέχεια κάθε ιχθύς μεταφερόταν στην δεξαμενή εκτροφής του. Μετά το ατομικό ζύγισμα των ιχθύων ακολουθούσε προσδιορισμός της βιομάζας ανά δεξαμενή και η αναπροσαρμογή της ποσότητας της τροφής ανά δεξαμενή.

2.3.2.3. Καθαρισμοί

Ο καθαρισμός των μηχανικών φίλτρων του κυκλώματος πραγματοποιούνταν δύο φορές την ημέρα, μια φορά νωρίς το πρωί και μια αργά το μεσημέρι ώστε να αποτραπεί το ενδεχόμενο της απόφραξης τους.

Ο καθαρισμός των πειραματικών δεξαμενών του κυκλώματος πραγματοποιούνταν μια φορά την εβδομάδα, και περιλάμβανε τον καθαρισμό των γυάλινων επιφανειών με τη βοήθεια σπόγγου και αφαίρεση νερού (περίπου $\frac{1}{2}$ του όγκου δεξαμενής) με σιφωνισμό.

Οι αερόπετρες των δεξαμενών καθαρίζονταν δυο φορές την εβδομάδα. Ο καθαρισμός περιλάμβανε τόσο την απομάκρυνση των διαφόρων υλικών που επικάθονταν στην επιφάνεια με τη χρήση σπόγγου, όσο και τον καθαρισμό των πόρων μέσω της διέλευσης αέρα υψηλής πίεσης.

2.4. Εφαρμογή οξέος stress

Στο τέλος της κύριας πειραματικής περιόδου, στις δεξαμενές των πληθυσμών, οι οποίοι προοριζόταν για την εφαρμογή οξέος stress, μειώθηκε ο όγκος νερού εκτροφής, σε 29,92 l (ύψος στάθμης: 5 cm) για μια ώρα (πυκνότητα εκτροφής 54,4 kg/m³). Κατά τα πρώτα 5 λεπτά του χρονικού διαστήματος αυτού, οι πληθυσμοί κυνηγήθηκαν με τη βοήθεια απόχης. Μετά το πέρας της μιας ώρας οι πληθυσμοί θανατώθηκαν με την χορήγηση αναισθητικού. Οι πληθυσμοί οι οποίοι προοριζόταν για μάρτυρες (πυκνότητα εκτροφής 7,6 kg/m³), θανατώθηκαν με τη χρήση αναισθητικού, χωρίς κάποια άλλη επέμβαση. Η αναισθητική ουσία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η 2 phenoxyethanol σε ποσότητα 0,01895 ml αναισθητικού /lt νερού /g ζώντος βάρους.

2.5. Μετρήσεις και αναλύσεις στους ιχθυοπληθυσμούς

Μετά τη θανάτωση του πληθυσμού της κάθε δεξαμενής, μετρήθηκε για κάθε άτομο χωριστά το ολικό και το σταθερό μήκος (cm), το ύψος (cm), το πλάτος (cm) και το βάρος (g). Το βάρος των ιχθύων μετρήθηκε με ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας 0,1g, ενώ οι διαστάσεις του σώματος ελήφθησαν με ωρολογιακό παχύμετρο ακριβείας 0,1 mm.

Έπειτα, λήφθηκε δείγμα αίματος από την ραχιαία φλέβα. Για την αιμοληψία χρησιμοποιήθηκαν ηπαρινισμένες σύριγγες του 1ml καθώς και ηπαρινισμένα φιαλίδια των 1,5 ml για την αποφυγή της πήξης των δειγμάτων. Μια ποσότητα του δείγματος χρησιμοποιήθηκε για τον μέτρηση του αιματοκρίτη (12000 x g για 10 λεπτά) με τη βοήθεια μικροφυγόκεντρου (Micro-haematocrit Centrifuge, Hawksley and Sons Ltd). Το υπόλοιπο δείγμα φυγοκεντρήθηκε (12000 x g για 10 λεπτά) για την απομόνωση του πλάσματος. Τέλος το πλάσμα συντηρήθηκε σε κατάψυξη (-30 °C), για να χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων αλβουμίνης, γλυκόζης, τριακυλγλυκεριδίων (με τη χρήση ενζυματικών φωτομετρικών μεθόδων, Elitechdiagnostics, Sees, France), της ωσμομοριακότητας (με κρυσκοπικό ωσμόμετρο, Gonotec

Osmomat 010) και της συγκέντρωσης κορτιζόλης, που μετρήθηκε με ραδιοανοσολογική μέθοδο, χρησιμοποιώντας τυποποιημένη μέθοδο εμπορίου (kit) (Coat-A-Count Cortisol, DPC, Los Angeles, CA, USA).

Έπειτα απομονώθηκε το ήπαρ, ο σπλήνας, το περισπλαχνικό λίπος και ο πεπτικός σωλήνας, τα οποία και ζυγίστηκαν ξεχωριστά με ζυγό ακριβείας 0,1 mg (SCIENTECH SA 210) προκειμένου να προσδιορισθούν αντίστοιχα ο ηπατοσωματικός δείκτης, ο σπληνοσωματικός δείκτης, ο δείκτης του περισπλαχνικού λίπους και το σχετικό βάρος του πεπτικού σωλήνα. Η λήψη πραγματοποιήθηκε με αφαίρεσή τους από το κάθε άτομο με τη βοήθεια ψαλιδιού, χειρουργικού νυστεριού, ανατομικής βελόνας και λαβίδων. Ο πεπτικός σωλήνας αποθηκεύτηκε σε κατάψυξη (-30°C), ώστε να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω αναλύσεις.

Τα άτομα κάθε ιχθυοπληθυσμού, ομογενοποιήθηκαν άνευ εντοσθίων, με την βοήθεια κιμαδομηχανής. Στα ομογενοποιημένα μίγματα έγινε ο προσδιορισμός υγρασίας (105 °C, για 24 ώρες) και τέφρας (600 °C, για 12 ώρες) του σώματος των ιχθύων. Στη συνέχεια, τα νωπά ομογενοποιημένα μίγματα διατηρήθηκαν σε κατάψυξη (-30 °C). Τα κατεψυγμένα δείγματα υποβλήθηκαν σε ξήρανση με την διαδικασία της λυοφιλίωσης (Unitop 600SL Freezemobile 12, VIRTIS) και ακολούθησε προσδιορισμός των ολικών πρωτεϊνών με τη μέθοδο Kjeldahl και των ολικών λιπών με τη μέθοδο Soxhlet (AOAC, 1984). Αντίστοιχα προσδιορίστηκε και η χημική σύσταση της χορηγούμενης τροφής.

Κατόπιν, ο πεπτικός σωλήνας διαχωρίστηκε σε στόμαχο, πυλωρικά τυφλά και έντερο, τα οποία εκφράστηκαν ως εκατοστιαία αναλογία σε σχέση με το συνολικό βάρος του πεπτικού σωλήνα και το βάρος του σώματος των ιχθύων. Το κάθε τμήμα του πεπτικού σωλήνα ομογενοποιήθηκε (με συσκευή υπερήχων Sonics Vibra cell Ultrasonic Processor) με φυσιολογικό ορό (σε αναλογία 1/10), φυγοκεντρήθηκε σε φυγόκεντρο Jouan GR 422 στα 3500 x g (4300 στροφές)/λεπτό, σε θερμοκρασία 4 °C, για 10 λεπτά και το υπερκείμενο συντηρήθηκε στους -30 °C έως ότου χρησιμοποιηθεί για τις αναλύσεις πεπτικών ενζύμων, δηλαδή τις καρβοϋδράσες και πρωτεάσες.

Ο προσδιορισμός των ολικών πρωτεασών έγινε με τη μέθοδο υδρόλυσης της καζεΐνης όπως αναφέρεται από τον Kunitz, (1947) και τροποποιήθηκε από τον Walter (1984). Οι αναλύσεις έγιναν σε τιμές pH 1,5, 7,0 και 10,0 προκειμένου να εκτιμηθεί η ενεργότητα συγκεκριμένων πρωτεασών (Hidalgo et al., 1999). Η ένδειξη της ενεργότητας συγκεκριμένων πρωτεασών παρουσιάζεται σε συγκεκριμένες τιμές του pH. Έτσι η πεψίνη δρά σε τιμή pH 1,5, η θρυψίνη και η χυμοθρυψίνη σε pH 7 έως 8, και τέλος η καρβοξυπεπτιδάση, η αμινοπεπτιδάση, η κολλαγεννάση και η ελαστάση παρουσιάζουν δραστηριότητα μεταξύ του pH 9-10. Το ενζυμικό εκχύλισμα (0,1 ml), η καζεΐνη (υπόστρωμα) διαλυμένη σε νερό (0,25 ml) και τα κατάλληλα ρυθμιστικά διαλύματα (0,25 ml buffer), επώστηκαν για 60 λεπτά στους 25 °C (θερμοκρασία διαβίωσης των ιχθύων στο τέλος της πειραματικής περιόδου). Για την κατασκευή της καμπύλης αναφοράς, ως πρότυπο διάλυμα, χρησιμοποιήθηκε η τυροσίνη. Η απορρόφηση των προϊόντων της αντίδρασης των πρωτεασών μετρήθηκε σε φασματοφωτόμετρο

(Helias α, Thermo Electron Cooperodion) στα 280 nm και οι μονάδες μέτρησης είναι mg τυροσίνη/min/g ιστού.

Για τον καθορισμό της συνολικής ενεργότητας των καρβουδρασών (α- αμυλάση, α-γλυκοσιδάση) εφαρμόστηκε η μέθοδος Nelson - Somogyi όπως αναφέρεται από τους Papoutsoglou and Lyndon (2005). Χρησιμοποιήθηκε μια ποσότητα ενζυμικού εκχυλίσματος (0,1 ml), άμυλο (0,5 ml διαλύματος αμύλου 5 %) ως υπόστρωμα και κατάλληλο ρυθμιστικό διάλυμα (1 ml). Η τιμή του pH του ρυθμιστικού διαλύματος ήταν 7,6. Η θερμοκρασία επώασης ήταν 25 °C (θερμοκρασία διαβίωσης των ιχθύων στο τέλος της πειραματικής περιόδου) και ο χρόνος επώασης ήταν 90 λεπτά. Η απορρόφηση των προϊόντων της αντίδρασης των καρβουδρασών μετρήθηκε σε φασματοφωτόμετρο (Helias α, Thermo Electron Cooperodion) στα 600nm. Η γλυκόζη αποτελεί πρότυπο διάλυμα και χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της καμπύλης αναφοράς. Οι μονάδες μέτρησης της ενεργότητας των καρβουδρασών είναι mg γλυκόζης/min/g ιστού. Αντίστοιχα για την κάθε μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν τα κατάλληλα τυφλά διαλύματα και διαλύματα μάρτυρες. Τέλος, το πρωτεϊνικό περιεχόμενο του υπερκείμενου διαλύματος καθορίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του Lowry (Lowry et al. 1951).

2.6. Παράμετροι που υπολογίστηκαν

2.6.1. Δείκτες ανάπτυξης

Οι δείκτες ανάπτυξης που υπολογίστηκαν για κάθε πληθυσμό ιχθύων του πειράματος, ήταν οι εξής

- Ειδικός Ρυθμός Ανάπτυξης (SGR):

$$SGR = [(\ln B_t - \ln B_a) / t] \times 100$$

Όπου: B_t το μέσο τελικό βάρος ιχθύος(g).

B_a το μέσο αρχικό βάρος ιχθύος(g).

t η χρονική διάρκεια εκτροφής (ημέρες).

- Εκατοστιαία Αύξηση Ζώντος Βάρους (% WG)

$$\% WG = [(B_t - B_a) / B_a] \times 100$$

- Συντελεστής Ευρωστίας (CF):

$$CF = \{ B_t (g) / [\text{ολικό μήκος(cm)}]^3 \} \times 100$$

2.6.2. Δείκτες αξιοποίησης των συστατικών της τροφής (Λιπών και Πρωτεϊνών)

- Συντελεστής Εκμετάλλευσης Τροφής (FCR):

$$FCR = \text{ποσότητα καταναλισκόμενης τροφής (g)} / \text{αύξηση ζώντος βάρους (g)}$$

- Δείκτης του Επιπέδου των Παραχθεισών Λιπών (LPV)

$$LPV = [Αύξηση σωματικού λίπους (g) / Καταναλωθέν λίπος (g)] \times 100$$
- Συντελεστής Απόδοσης των Καταναλωθεισών Λιπών (LER)

$$LER = Αύξηση ζώντος βάρους (g) / Καταναλωθέν λίπος (g)$$
- Δείκτης του Επιπέδου των Παραχθεισών Πρωτεϊνών (PPV)

$$PPV = [Αύξηση σωματικής πρωτεΐνης (g) / Καταναλωθείσα πρωτεΐνη (g)] \times 100$$
- Συντελεστής Απόδοσης των Καταναλωθεισών Πρωτεϊνών (PER)

$$PER = Αύξηση ζώντος βάρους (g) / Καταναλωθείσα πρωτεΐνη (g)$$

2.6.3. Οι οργανοσωματικοί δείκτες

- Δείκτης Περισπλαχνικού Λίπους (ΔΠΛ)

$$\Delta\Pi\Lambda = [\text{Βάρος περισπλαχνικού λίπους (g)} / \text{ζων βάρος (g)}] \times 100$$
- Σπληνοσωματικός Δείκτης (ΣΣΔ):

$$\Sigma\Sigma\Delta = [\text{βάρος σπλήνα (g)} / \text{ζων βάρος (g)}] \times 100$$
- Γοναδοσωματικός Δείκτης (ΓΣΔ):

$$\Gamma\Sigma\Delta = [\text{βάρος γονάδων (g)} / \text{ζων βάρος (g)}] \times 100$$
- Ηπατοσωματικός Δείκτης (ΗΣΔ):

$$\text{H}\Sigma\Delta = [\text{βάρος ήπατος (g)} / \text{ζων βάρος (g)}] \times 100$$

2.6.4. Βιομετρικά χαρακτηριστικά πεπτικού συστήματος

- Σχετικό Μήκος Εντέρου (REL):

$$REL = \text{μήκος εντέρου (cm)} / \text{ολικό μήκος σώματος (cm)}$$
- Βάρος Πεπτικού Σωλήνα % Ζώντος Βάρους (ΒΠΣ % ΖΒ):

$$B\Pi\Sigma \% ZB = [B\Pi\Sigma (g) / ZB (g)] \times 100$$
- Βάρος Τμήματος % Ζώντος Βάρους (BT % ΖΒ):

$$BT \% ZB = [BT (g) / ZB (g)] \times 100$$

Όπου: BT Βάρος Τμήματος πεπτικού σωλήνα (στόμαχος, πυλωρικά τυφλά, έντερο)
- Βάρος Τμήματος % Βάρους Πεπτικού Σωλήνα (BT % ΒΠΣ):

$$BT \% B\Pi\Sigma = [BT (g) / B\Pi\Sigma (g)] \times 100$$

2.6.5. Παράμετροι εκτίμησης της ενζυμικής δραστηριότητας του πεπτικού σωλήνα

- Ενεργότητα κατά Lowry (E_L)

$$E_L = \text{ενεργότητα ενζύμου (mg/min/g) / mg πρωτεΐνης}$$

- Πεπτική Ικανότητα (ΠΙ)

$$\text{ΠΙ} = \text{ενεργότητα ενζύμου (mg/min/g)} \times \text{BT (g)}$$

- Πεπτική Ικανότητα (ΠΙ/ZB)

$$\text{ΠΙ} = \text{ενεργότητα ενζύμου (mg/min)} \times \text{BT (g)} / \text{ZB (g)}$$

- Πεπτική Ικανότητα στο σύνολο του τμήματος (pH7,0 & 10,0) (για πυλωρικά τυφλά ή έντερο) (ΠΙ₇₋₁₀)

$$\text{ΠΙ}_{7-10} = \text{ΠΙ}_7 \text{ (mg/min)} + \text{ΠΙ}_{10} \text{ (mg/min)}$$

Όπου ΠΙ₇ Η πεπτική ικανότητα της ομάδας πρωτεασων που εμφανίζουν τη βέλτιστη ενζυμική δραστηριότητα στην τιμή του pH = 7 του τμήματος του πεπτικού σωλήνα.

ΠΙ₁₀ Η πεπτική ικανότητα της ομάδας πρωτεασων που εμφανίζουν τη βέλτιστη ενζυμική δραστηριότητα στην τιμή του pH = 10 του τμήματος του πεπτικού σωλήνα.

- Ενεργότητα πρωτεασων στο σύνολο του τμήματος του πεπτικού σωλήνα (pH7,0 & 10,0) (για πυλωρικά τυφλά ή έντερο) (E₇₋₁₀)

$$E_{7-10} = \text{ΠΙ}_{7-10} \text{ (mg/min)} / \text{BT (g)}$$

- Συνολική Πεπτική Ικανότητα ομάδας πρωτεασων βέλτιστης ενζυμικής δραστηριότητας στην τιμή του pH = a, στα πυλωρικά τυφλά και στο έντερο (ΠΙ_a)

$$\text{ΠΙ}_a = \text{ΠΠ}_a \text{ (mg/min)} + \text{ΠΕ}_a \text{ (mg/min)}$$

Όπου: ΠΠ_a Η πεπτική ικανότητα της ομάδας πρωτεασων που εμφανίζουν τη βέλτιστη ενζυμική δραστηριότητα στην τιμή του pH = a των πυλωρικών τυφλών.

ΠΕ_a Η πεπτική ικανότητα της ομάδας πρωτεασων που εμφανίζουν τη βέλτιστη ενζυμική δραστηριότητα στην τιμή του pH = a του εντέρου.

- Συνολική Ενεργότητα ομάδας πρωτεασων βέλτιστης ενζυμικής δραστηριότητας στην τιμή του pH = a, στα πυλωρικά τυφλά και στο έντερο (ΣE_a)

$$\Sigma E_a = \text{ΠΙ}_a \text{ (mg/min)} / \text{βάρος (πυλωρικών τυφλών + εντέρου) (g)}$$

Όπου: ΕΠ_a Η ενεργότητα της ομάδας πρωτεασων που εμφανίζουν τη βέλτιστη ενζυμική δραστηριότητα στην τιμή του pH = a των πυλωρικών τυφλών.

EE_a Η ενεργότητα της ομάδας πρωτεασων που εμφανίζουν τη βέλτιστη ενζυμική δραστηριότητα στην τιμή του pH = a του εντέρου.

- Συνολική Πεπτική Ικανότητα πεπτικού σωλήνα (ΣΠΙ)

$$\Sigma\Pi = \Pi\Sigma \text{ (mg/min)} + \Pi\Pi \text{ (mg/min)} + \Pi\text{E} \text{ (mg/min)}$$

Όπου: ΠΣ Η πεπτική ικανότητα των πεπτικών ενζύμων (πρωτεασων ή καρβοϋδρασών) του στομάχου.

ΠΠ Η πεπτική ικανότητα των πεπτικών ενζύμων (πρωτεασων ή καρβοϋδρασών) των πυλωρικών τυφλών.

ΠΕ Η πεπτική ικανότητα των πεπτικών ενζύμων (πρωτεασων ή καρβοϋδρασών) του εντέρου.

- Συνολική Ενεργότητα πεπτικού σωλήνα (ΣΕ)

$$\Sigma\text{E} = [\Pi\Sigma \text{ (mg/min)} + \Pi\Pi \text{ (mg/min)} + \Pi\text{E} \text{ (mg/min)}] / \text{B}\Pi\Sigma \text{ (g)}$$

2.7. Στατιστική επεξεργασία

Τα αποτελέσματα του πειράματος αναλύθηκαν με το στατιστικό λογισμικό Statgraphics plus 4.0. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης (τελικό βάρος, SGR, %WG, CF), οι δείκτες αξιοποίησης της τροφής και των συστατικών της (FCR, LPV, LER, PPV, LPV) αναλύθηκαν με μονοπαραγοντική ανάλυση παραλλακτικότητας (one-way ANOVA). Η χημική σύσταση σώματος, οι οργανοσωματικοί δείκτες, οι αιματολογικές παράμετροι, τα βιομετρικά χαρακτηριστικά του πεπτικού συστήματος και οι παράμετροι εκτίμησης της ενζυμικής δραστηριότητας του πεπτικού συστήματος, που μπορεί να επηρεάζονται τόσο από το χρώμα φωτός, όσο και από την αντίδραση του οργανισμού στο οξύ stress, αναλύθηκαν με διπαραγοντική ανάλυση παραλλακτικότητας (two-way ANOVA). Δεν διαπιστώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των επαναλήψεων κάθε επέμβασης ($P > 0,05$) και τα δεδομένα που προέκυψαν για κάθε επέμβαση, ομαδοποιήθηκαν. Όλα τα δεδομένα ελέγχθηκαν αν ακολουθούν την κανονική κατανομή και την ομοιογένεια της διασποράς, ενώ έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές (λογαρίθμηση, τετραγωνική ρίζα, κ.τ.λ.) όπου αυτές δεν ίσχυαν. Για τη σύγκριση των μέσων χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο Duncan, ενώ οι διαφορές κρίθηκαν σημαντικές όταν $P < 0,05$. Στους πίνακες, τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι \pm ΤΣ (τυπικό σφάλμα) χωρίς μετατροπή, ενώ στις περιπτώσεις που εντοπίζεται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους, η διαφοροποίηση εμφανίζεται με διαφορετικά γράμματα στους εκθέτες.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού

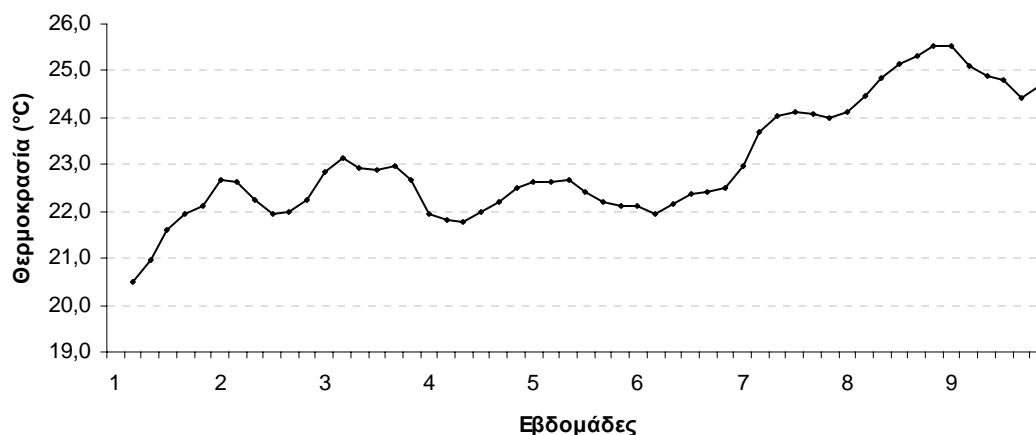
Στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση εμφανίζεται μεταξύ της χρήσης διαφορετικού φάσματος φωτός, στο επίπεδο κορεσμού του νερού σε οξυγόνο και στην τιμή του pH, τόσο στις πρωινές όσο και στις μεσημβρινές μετρήσεις. Έτσι τα επίπεδα κορεσμού σε οξυγόνο όσο και οι τιμές του pH εμφανίζονται χαμηλότερες στη χρήση πλήρους φάσματος φωτός σε σχέση με αυτές του κυανού. Για τα υπόλοιπα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά (πιν. 3.1) δεν εμφανίσθηκε καμία στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση.

Πίνακας 3.1: Η επίδραση του φάσματος φωτός στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού εκτροφής.

		ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
		ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
ΠΡΩΙ (08:00)	Δεσμευμένο Οξυγόνο (ppm)	6,42 ± 0,015	6,39 ± 0,014	ΜΣ
	Κορεσμός σε Οξυγόνο (%)	93,3 ± 0,09 ^b	92,8 ± 0,11 ^a	***
	pH	7,30 ± 0,002 ^b	7,29 ± 0,003 ^a	***
	T (°C)	23,0 ± 0,09	23,0 ± 0,09	ΜΣ
ΜΕΣΗΜΕΡΙ (15:00)	Δεσμευμένο Οξυγόνο (ppm)	6,36 ± 0,017	6,32 ± 0,016	ΜΣ
	(%) Κορεσμός σε Οξυγόνο	92,1 ± 0,10 ^b	91,7 ± 0,12 ^a	**
	pH	7,21 ± 0,004 ^b	7,19 ± 0,004 ^a	*
	T (°C)	23,0 ± 0,09	23,0 ± 0,09	ΜΣ
	(NH ₄ ⁺ + NH ₃)-N (ppm)	0,273 ± 0,0097	0,279 ± 0,0087	ΜΣ
	NH ₃ - N (ppm)	0,0017 ± 0,00009	0,0017 ± 0,00009	ΜΣ
	NO ₂ - N (ppm)	0,045 ± 0,0014	0,042 ± 0,0010	ΜΣ

(NH₄⁺ + NH₃)-N: Άζωτο Ολικής Αμμωνίας (Περιλαμβάνει το μετρούμενο αμμωνιακό άζωτο που προέρχεται από την ιονισμένη και μη ιονισμένη μορφή αμμωνίας. NH₃-N: Άζωτο Τοξικής Αμμωνίας (Περιλαμβάνει το μετρούμενο αμμωνιακό άζωτο που προέρχεται από την μη ιονισμένη μορφή αμμωνίας. NO₂-N: Άζωτο Νιτρωδών Ιόντων (Περιλαμβάνει το μετρούμενο άζωτο που προέρχεται από τα Νιτρωδη Ιόντα). P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Στο παρακάτω διάγραμμα (διάγρ. 3.1) παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας καθόλη την διάρκεια της κύριας πειραματικής περιόδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τα μέσα της έβδομης εβδομάδας έως το τέλος της πειραματικής περιόδου παρατηρούνται τιμές μεγαλύτερες του εύρους βέλτιστης ανάπτυξης του λαβρακιού.



Διάγραμμα 3.1: διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της κύριας πειραματικής περιόδου

3.2. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης

Καμία στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση στην τιμή του ζώντος βάρους (πίν. 3.2), τις σωματομετρήσεις (πίν. 3.3), τον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης (SGR) (πίν. 3.4) και την εκατοστιαία αύξηση του ζώντος βάρους (%WG) (πίν. 3.5) δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των επεμβάσεων σε όλα τα ζυγίσματα καθόλη τη χρονική διάρκεια της πειραματικής περιόδου.

3.2.1. Ζων βάρος

Πίνακας 3.2: Η επίδραση του φάσματος φωτός στο ζων βάρος (g) κατά την πειραματική περίοδο.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΖΥΓΙΣΜΑΤΟΣ	ΗΜΕΡΕΣ ΕΚΤΡΟΦΗΣ	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
		ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
(1) 07/04/08	0	130,83 ± 0,634	130,96 ± 0,619	ΜΣ
(2) 28/04/08	21	142,63 ± 1,356	142,99 ± 1,707	ΜΣ
(3) 19/05/08	42	155,61 ± 1,973	155,45 ± 2,302	ΜΣ
(4) 09/06/08	63	164,78 ± 2,478	163,51 ± 2, 812	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό.

3.2.2. Σωματομετρήσεις

Πίνακας 3.3: Οι σωματομετρήσεις του πληθυσμού στο τέλος της πειραματικής περιόδου

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
Τελικό Ολικό Μήκος (cm)	25,78 ± 0,105	25,83 ± 0,130	ΜΣ
Τελικό Σταθερό Μήκος (cm)	22,49 ± 0,093	22,46 ± 0,123	ΜΣ
Τελικό Ύψος (cm)	5,15 ± 0,035	5,12 ± 0,038	ΜΣ
Τελικό Πλάτος (cm)	3,39 ± 0,026	3,38 ± 0,028	ΜΣ
Τελικός Συντελεστής Ευρωστίας	0,96 ± 0,011	0,95 ± 0,012	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό.

3.2.3. Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (SGR: Specific Growth Rate)

Πίνακας 3.4: Η επίδραση του φάσματος φωτός στον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης μεταξύ των ζυγισμάτων της πειραματικής περιόδου.

	ΗΜΕΡΕΣ ΕΚΤΡΟΦΗΣ	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
		ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
SGR 12	21	0,411±0,0223	0,418±0,0269	ΜΣ
SGR 23	21	0,424±0,0310	0,398±0,0130	ΜΣ
SGR 34	21	0,267±0,0227	0,240±0,0252	ΜΣ
SGR 14	63	0,367±0,0205	0,352±0,0176	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό.

3.2.4. Εκατοστιαία αύξηση του ζώντος βάρους (% WG: Weight Gain)

Πίνακας 3.5: Η επίδραση του φάσματος φωτός στην εκατοστιαία αύξηση του ζώντος βάρους μεταξύ των ζυγισμάτων της πειραματικής περιόδου

	ΗΜΕΡΕΣ ΕΚΤΡΟΦΗΣ	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
		ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
% WG 12	21	9,01 ± 0,512	9,19 ± 0,616	ΜΣ
% WG 23	21	9,34 ± 0,708	8,71 ± 0,296	ΜΣ
% WG 34	21	5,77 ± 0,506	5,18 ± 0,557	ΜΣ
% WG 14	63	26,08 ± 1,616	24,85 ± 1,382	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό.

3.3. Δείκτες αξιοποίησης της τροφής και των συστατικών της

Καμία στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση δεν παρατηρήθηκε στην αξιοποίηση της χορηγούμενης τροφής, κατά τη χρονική διάρκεια της πειραματικής περιόδου. Η αξιοποίηση της χορηγούμενης τροφής περιγράφονται από το συντελεστή εκμετάλλευσης τροφής (FCR) (πίν. 3.6), τους δείκτες απόδοσης καταναλωθιμών πρωτεϊνών (πίν. 3.7) και λιπαρών ουσιών (πίν. 3.8) καθώς και τους συντελεστές επιπέδου παραχθιμών πρωτεϊνών και λιπαρών ουσιών (πίν. 3.9).

3.3.1. Συντελεστής εκμετάλλευσης της τροφής (FCR: Food Conversion Ratio)

Πίνακας 3.6: Η επίδραση του φάσματος φωτός στο συντελεστή εκμετάλλευση της τροφής μεταξύ των ζυγισμάτων της πειραματικής περιόδου.

	ΗΜΕΡΕΣ ΕΚΤΡΟΦΗΣ	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
		ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
FCR 12	21	1,74 ± 0,101	1,71 ± 0,117	ΜΣ
FCR 23	21	1,75 ± 0,153	1,84 ± 0,056	ΜΣ
FCR 34	21	2,57 ± 0,205	2,90 ± 0,327	ΜΣ
FCR 14	63	1,95 ± 0,121	2,04 ± 0,105	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό.

3.3.2. Δείκτης απόδοσης των καταναλωθιμών πρωτεϊνών της τροφής (PER: Protein Efficiency Ratio)

Πίνακας 3.7: Η επίδραση του φάσματος φωτός στο δείκτη απόδοσης των καταναλωθιμών πρωτεϊνών της τροφής μεταξύ των ζυγισμάτων της πειραματικής περιόδου.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
PER 12	1,27 ± 0,070	1,30 ± 0,087	ΜΣ
PER 23	1,27 ± 0,095	1,19 ± 0,038	ΜΣ
PER 34	0,87 ± 0,079	0,78 ± 0,085	ΜΣ
PER 14	1,14 ± 0,065	1,08 ± 0,056	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό.

3.3.3. Δείκτης απόδοσης των καταναλωθεισών λιπαρών ουσιών της τροφής (LER: Lipid Efficiency Ratio)

Πίνακας 3.8: Η επίδραση του φάσματος φωτός στο δείκτη απόδοσης των καταναλωθεισών λιπαρών ουσιών της τροφής μεταξύ των ζυγισμάτων της πειραματικής περιόδου.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
LER 12	2,69 ± 0,148	2,74 ± 0,183	ΜΣ
LER 23	2,70 ± 0,202	2,52 ± 0,080	ΜΣ
LER 34	1,84 ± 0,166	1,65 ± 0,179	ΜΣ
LER 14	2,40 ± 0,137	2,29 ± 0,118	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό.

3.3.4. Συντελεστές του επιπέδου των παραχθεισών πρωτεϊνών και λιπαρών ουσιών

Πίνακας 3.9: Η επίδραση του φάσματος φωτός στους συντελεστές παραχθεισών πρωτεϊνών και λιπαρών ουσιών της τροφής καθόλη την πειραματική περίοδο

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ		P
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	
Συντελεστής του Επιπέδου των Παραχθεισών Πρωτεϊνών	31,79±1,162	28,78±1,347	ΜΣ
Συντελεστής του Επιπέδου των Παραχθεισών Λιπαρών Ουσιών	26,66±2,581	28,33±0,217	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό.

3.4. Η χημική σύσταση του σώματος των ιχθύων

Καμία διαφοροποίηση δεν προκύπτει στη χημική σύσταση του σώματος μεταξύ των πληθυσμών, όσον αφορά το φάσμα φωτός ή την αλληλεπίδραση αυτού με το οξύ stress (πίν. 3.10α και 3.10β). Εξαιρέση αποτελούν τα επίπεδα της υγρασίας, τα οποία εμφανίζουν στατιστικώς σημαντική μείωση όταν οι ιχθύες υποβάλλονται σε οξύ stress.

Πίνακας 3.10α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στη χημική σύσταση του σώματος των ιχθύων.

		ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
		ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
%	Υγρασία	71,0±0,22	71,2±0,22	71,5±0,14 ^b	70,8±0,14 ^a	ΜΣ	*	ΜΣ
% Νωπού Βάρους	Πρωτεΐνες	19,50±0,037	19,14±0,232	19,19±0,240	19,45±0,087	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Λίπη	5,49±0,206	5,69±0,061	5,47±0,074	5,71±0,194	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Τέφρα	4,90±0,095	4,59±0,171	4,67±0,120	4,82±0,188	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
% Ξηρού Βάρους	Πρωτεΐνες	66,73±0,451	66,55±0,634	66,62±0,614	66,66±0,483	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Λίπη	18,76±0,617	19,76±0,073	18,97±0,393	19,54±0,586	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
	Τέφρα	16,87±0,353	15,95±0,579	15,32±0,392	16,49±0,666	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, **ΜΣ:** Μη Σημαντικό, ***P**<0,05. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 3.10β: Οι μέσες τιμές της χημικής σύστασης του σώματος των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

		ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
		ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
%	Υγρασία	71,3±0,22	71,6±0,07	70,8±0,34	70,9±0,04
% Νωπού Βάρους	Πρωτεΐνες	19,46±0,035	18,92±0,445	19,55±0,055	19,36±0,160
	Λίπη	5,35±0,080	5,58±0,000	5,62±0,460	5,79±0,020
	Τέφρα	4,81±0,065	4,54±0,215	4,99±0,180	4,65±0,350
% Ξηρού Βάρους	Πρωτεΐνες	66,6±0,54	66,7±1,41	66,9±0,94	66,4±0,64
	Λίπη	18,30±0,095	19,65±0,040	19,22±1,360	19,86±0,090
	Τέφρα	16,68±0,125	15,97±0,810	17,06±0,810	15,93±1,165

3.5. Οργανοσωματικοί δείκτες

Ο δείκτης περισπλαχνικού λίπους και ο γοναδοσωματικός δείκτης (πιν. 3.10α και 3.10β) δεν υπέστη καμία επίδραση από το φάσμα φωτός και το οξύ stress. Ο ηπατοσωματικός δείκτης (πιν. 3.11α) μειώνεται κατά την επίδραση οξέος stress. Ο σπληνοσωματικός δείκτης (πιν. 3.11β) με την επίδραση διαφορετικού φάσματος εμφανίζεται υψηλότερος στην περίπτωση του κυανού, ενώ υπό την επίδραση οξέος stress παρατηρείται μείωση και στα δυο χρησιμοποιούμενα φάσματα φωτός. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση του κυανού φάσματος, ο σπληνοσωματικός δείκτης εμφανίζει τη μεγαλύτερη μείωση υπό την επίδραση οξέος stress, και οι τιμές του δείκτη μετά την υποβολή των ιχθύων σε οξύ stress, ανεξαρτήτως του χρησιμοποιούμενου φάσματος φωτός, βρίσκονται σε παρόμοια επίπεδα.

Πίνακας 3.11α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στους οργανοσωματικούς δείκτες των ιχθύων.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
Δείκτης Περισπλαχνικού Λίπους	2,94±0,247	3,17±0,217	2,99±0,241	3,12±0,225	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Σπληνοσωματικός Δείκτης	0,103±0,0095 ^b	0,089±0,0068 ^a	0,136±0,0073 ^b	0,056±0,0017 ^a	*	***	**
Γοναδοσωματικός Δείκτης	0,071±0,0045	0,075±0,0046	0,069±0,0044	0,077±0,0046	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ηπατοσωματικός Δείκτης	0,762±0,0269	0,801±0,0264	0,816±0,0246 ^b	0,749±0,0277 ^a	ΜΣ	*	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό, *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 3.11β: Οι μέσες τιμές των οργανοσωματικών δεικτών των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
Δείκτης Περισπλαχνικού Λίπους	3,03±0,422	2,95±0,258	2,85±0,278	3,39±0,350
Σπληνοσωματικός Δείκτης	0,153±0,0102 ^c	0,120±0,0091 ^b	0,054±0,0022 ^a	0,058±0,0027 ^a
Γοναδοσωματικός Δείκτης	0,068±0,0063	0,069±0,0063	0,073±0,0065	0,082±0,0066
Ηπατοσωματικός Δείκτης	0,771±0,0322	0,857±0,0352	0,752±0,0433	0,745±0,0359

Μέσοι όροι, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

3.6. Αιματολογικές παράμετροι

Η συγκέντρωση της αλβουμίνης και της γλυκόζης στο πλάσμα καθώς και η ωσμωμοριακότητα αυξάνονται υπό την επίδραση οξέος stress (πίν. 3.12α). Η συγκέντρωση των τριακυλγλυκεριδίων (πίν. 3.12β) στους μάρτυρες εμφανίζει υψηλότερα επίπεδα υπό το κυανό φάσμα φωτός, σε σύγκριση με το λευκό. Υπό την επίδραση οξέος stress τα επίπεδα των τριακυλγλυκεριδίων αυξάνουν υπό το λευκό φάσμα, ενώ υπό το κυανό παραμένουν αμετάβλητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, τα επίπεδα των τριακυλγλυκεριδίων υπό την επίδραση οξέος stress βρίσκονται σε παρόμοια επίπεδα, ανεξαρτήτως χρησιμοποιούμενου φάσματος φωτός. Η κορτιζόλη και ο αιματοκρίτης (πίν. 3.12β) στους μάρτυρες εμφανίζονται σε παρόμοια επίπεδα, αλλά αυξάνονται με την επίδραση οξέος stress. Τα επίπεδα της κορτιζόλης εμφανίζουν μεγαλύτερη αύξηση κατά τη χρήση κυανού φάσματος, ενώ ο αιματοκρίτης εμφανίζει τη μεγαλύτερη αύξηση κατά την χρήση του λευκού φάσματος φωτός.

Πίνακας 3.12α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στις αιματολογικές παραμέτρους των ιχθύων.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
Αιματοκρίτης (%)	27,7±0,48	28,4±0,67	26,0±0,54 ^a	30,1±0,43 ^b	ΜΣ	***	**
Κορτιζόλη (ng/ml)	107,4±21,27 ^b	74,4±15,39 ^a	6,6±0,62 ^a	189,6±12,78 ^b	**	***	**
Γλυκόζη (mg/100ml)	184,0±14,30	181,1±13,23	144,9±7,52 ^a	224,0±15,38 ^b	ΜΣ	***	ΜΣ
Ωσμωμοριακότητα (Osmol/kg)	0,392±0,0036	0,389±0,0034	0,379±0,0017 ^a	0,403±0,0036 ^b	ΜΣ	***	ΜΣ
Τριακυλγλυκερίδια (mg/100ml)	213,3±4,96	198,4±7,80	194,2±7,12 ^a	216,4±5,77 ^b	ΜΣ	*	*
Αλβουμίνη (g/100ml)	1,61±0,028	1,63±0,029	1,57±0,028 ^a	1,66±0,027 ^b	ΜΣ	*	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, **ΜΣ:** Μη Σημαντικό, ***P**<0,05, ****P**<0,01, *****P**<0,001. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 3.12β: Οι μέσες τιμές των αιματολογικών παραμέτρων των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
Αιματοκρίτης (%)	26,5±0,76 ^a	25,6±0,77 ^a	29,0±0,33 ^b	31,0±0,66 ^c
Κορτιζόλη (ng/ml)	7,9±0,94 ^a	5,5±0,74 ^a	221,1±17,22 ^c	158,0±15,12 ^b
Γλυκόζη (mg/100ml)	145,3±9,55	144,4±11,79	225,4±23,77	222,7±20,37
Ωσμωμοριακότητα (Osmol/kg)	0,380±0,0023	0,377±0,0025	0,405±0,0054	0,402±0,0049
Τριακυλγλυκερίδια (mg/100ml)	213,9±6,68 ^b	177,6±10,55 ^a	212,8±7,30 ^b	220,5±9,22 ^b
Αλβουμίνη (g/100ml)	1,55±0,033	1,59±0,043	1,65±0,040	1,67±0,038

Μέσοι όροι, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

3.7. Βιομετρικά χαρακτηριστικά πεπτικού συστήματος

Συνοπτικά, καμία στατιστικώς σημαντική επίδραση στα βιομετρικά χαρακτηριστικά του πεπτικού συστήματος (σχετικό μήκος εντέρου και σχετικά βάρη του πεπτικού συστήματος και των τμημάτων του σε συνάρτηση με το ζων βάρος και το βάρος του πεπτικού σωλήνα) δεν φαίνεται να προκαλεί η διατήρηση των ιχθύων σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού (πίν. 3.13α και 3.13β).

Αντίθετα, οι ιχθύες που υποβάλλονται σε συνθήκες οξέος stress εμφανίζουν αύξηση του σχετικού μήκους εντέρου και μείωση του σχετικού βάρους του πεπτικού σωλήνα, του βάρους του στομάχου και των πυλωρικών τυφλών σε συνάρτηση με το ζων βάρος. Όσον αφορά το βάρος του εντέρου, σε συνάρτηση με το ζων βάρος και όλων των τμημάτων με το βάρος του πεπτικού σωλήνα, δεν εμφανίζεται καμία στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση σε καμία από τις δυο επεμβάσεις.

Πίνακας 3.13α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στα βιομετρικά χαρακτηριστικά του πεπτικού συστήματος των ιχθύων.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
Σχετικό Μήκος Εντέρου	0,390±0,0181	0,418±0,0173	0,376±0,0175 ^a	0,432±0,0171 ^b	ΜΣ	*	ΜΣ
ΒΠΣ % ΖΒ	2,10±0,033	2,16±0,038	2,20±0,032 ^b	2,06±0,037 ^a	ΜΣ	**	ΜΣ
Βάρος Στομάχου % ΖΒ	0,88±0,024	0,90±0,027	0,93±0,028 ^b	0,85±0,019 ^a	ΜΣ	*	ΜΣ
Βάρος Πυλωρικών % ΖΒ	0,177±0,0077	0,168±0,0064	0,184±0,0062 ^b	0,161±0,0071 ^a	ΜΣ	*	ΜΣ
Βάρος Εντέρου % ΖΒ	0,864±0,0210	0,834±0,0234	0,872±0,0249	0,827±0,0176	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Βάρος Στομάχου % ΒΠΣ	45,6±0,75	45,3±0,71	46,4±0,67	45,1±0,77	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Βάρος Πυλωρικών % ΒΠΣ	8,96±0,305	8,63±0,250	9,08±0,192	8,51±0,337	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Βάρος Εντέρου % ΒΠΣ	43,8±0,71	44,0±0,63	43,4±0,63	44,4±0,69	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, **ΜΣ:** Μη Σημαντικό, **ΖΒ:** Ζων Βάρος, **ΒΠΣ:** Βάρος Πεπτικού Σωλήνα, ***P**<0,05, ****P**<0,01. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 3.13β: Οι μέσες τιμές των βιομετρικών χαρακτηριστικών του πεπτικού συστήματος των ι-χθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
Σχετικό Μήκος Εντέρου	0,345±0,0166	0,405±0,0292	0,433±0,0288	0,430±0,0190
ΒΠΣ % ΖΒ	2,18±0,051	2,21±0,040	2,02±0,039	2,10±0,06
Βάρος Στομάχου % ΖΒ	0,906±0,0410	0,944±0,0386	0,854±0,0120	0,850±0,0320
Βάρος Πυλωρικών % ΖΒ	0,184±0,0091	0,183±0,0090	0,170±0,0126	0,152±0,0060
Βάρος Εντέρου % ΖΒ	0,883±0,0373	0,859±0,0344	0,845±0,0199	0,805±0,0304
Βάρος Στομάχου % ΒΠΣ	45,9±0,79	46,8±1,11	45,3±1,33	44,9±0,79
Βάρος Πυλωρικών % ΒΠΣ	9,09±0,247	9,07±0,307	8,83±0,573	8,19±0,356
Βάρος Εντέρου % ΒΠΣ	43,7±0,95	43,2±0,86	44,0±1,09	44,8±0,89

ZB: Ζων Βάρος, **ΒΠΣ:** Βάρος Πεπτικού Σωλήνα.

3.8. Πεπτικά ένζυμα

3.8.1. Η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών στα τμήματα του πεπτικού σωλήνα

3.8.1.1. Η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών στο στόμαχο των ιχθύων

Όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες (πίν. 3.14α και 3.14β) η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του στομάχου (κυρίως πεψίνη) δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τη χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός. Με την υποβολή των ιχθύων σε οξύ stress προκαλείται αύξηση της ενεργότητας όταν εκφράζεται σε mg τυροσίνης /min /g ιστού, η οποία δεν παρατηρείται όταν εκφράζεται σε mg τυροσίνης /min /mg πρωτεΐνης. Οι υπόλοιποι παράγοντες που μελετήθηκαν δεν εμφάνισαν καμία στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση.

Πίνακας 3.14α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στην ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του στομάχου των ιχθύων.

pH 1,5	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	KYANO	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,441±0,0224	0,427±0,0229	0,395±0,0199 ^a	0,467±0,0219 ^b	ΜΣ	*	ΜΣ
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/mg Π)	0,142±0,0124	0,153±0,0067	0,152±0,0094	0,144±0,0106	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,727±0,0489	0,647±0,0380	0,680±0,0427	0,694±0,0466	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,425±0,0259	0,382±0,0213	0,391±0,0235	0,415±0,0246	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό, T: Τυροσίνη, Π: Πρωτεΐνη, ZB: Ζων Βάρος, *P<0,05. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 3.14β: Οι μέσες τιμές της ενζυμικής δραστηριότητας των πρωτεασών του στομάχου των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

pH 1,5	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	KYANO	ΛΕΥΚΟ	KYANO	ΛΕΥΚΟ
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,431±0,0148	0,363±0,0323	0,449±0,0413	0,484±0,0196
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,151±0,0132	0,152±0,0143	0,134±0,0208	0,153±0,0049
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,725±0,0514	0,634±0,0680	0,728±0,0864	0,659±0,0379
Πεπτική Ικανότητα /g Z.B. (mg T/min)	0,432±0,0301	0,351±0,0325	0,418±0,0437	0,413±0,0253

ZB: Ζων Βάρος, Π: Πρωτεΐνη.

3.8.1.2. Η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών στα πυλωρικά τυφλά των ιχθύων.

Στους παρακάτω πίνακες (πίν. 3.15α και 3.15β) παρουσιάζεται η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών που δραστηριοποιούνται στα πυλωρικά τυφλά των ιχθύων. Οι πρωτεάσες έχουν ομαδοποιηθεί ανάλογα με την περιοχή του pH που εμφανίζουν τη μέγιστη ενζυμική δραστηριότητά τους καθώς και τη συνολική ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών των πυλωρικών τυφλών.

Η ενεργότητα των πρωτεασών στο σύνολο του ιστού και η ενεργότητα των πρωτεασών στην περιοχή 10,0 του pH (κυρίως καρβοξυπεπτιδάση, αμινοπεπτιδάση, κολλαγενάση, ελαστάση), εκφραζόμενη σε mg τυροσίνης /min/ mg πρωτεΐνης, εμφανίζουν στατιστικώς σημαντική αύξηση υπό την επίδραση οξέος stress στους ιχθύς.

Κατά την αλληλεπίδραση των δυο επεμβάσεων (φάσμα φωτός και οξύ stress) παρατηρείται μια παρόμοια επίδραση στην πεπτική ικανότητα των πυλωρικών τυφλών, τόσο σε κάθε περιοχή του pH που εξετάστηκε, όσο και στο σύνολο του ιστού, είτε αυτή έχει υπολογιστεί ως απόλυτη τιμή, είτε ως πεπτική ικανότητα ανά ζων βάρος. Σε όλες τις περιπτώσεις, η χρήση κυανού φάσματος στους μάρτυρες εμφανίζει στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερες τιμές πεπτικής ικανότητας, από τις αντίστοιχες του λευκού. Υπό την επίδραση οξέος stress, η πεπτική ικανότητα στο κυανό φάσμα αυξάνεται. Η αύξηση που παρατηρείται είναι στατιστικώς σημαντική για την πεπτική ικανότητα αναγμένη ανά ζων βάρος καθώς και την απόλυτη τιμή της στην περιοχή 10,0 του pH, ενώ στις απόλυτες τιμές της στην περιοχή 7,0 του pH (κυρίως θρυψίνη, χυμοθρυψίνη) και στο σύνολο του ιστού, η αύξηση μόνο ως τάση μπορεί να διατυπωθεί. Στην περίπτωση του λευκού φάσματος, η εφαρμογή οξέος stress, δεν διαφοροποίησε στατιστικώς σημαντικά τις τιμές της πεπτικής ικανότητας και μόνο μια τάση μείωσης μπορεί να διαπιστωθεί.

Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι στους μάρτυρες, οι τιμές της πεπτικής ικανότητας είναι στατιστικά μεγαλύτερες στο λευκό φάσμα σε σχέση με το κυανό, ενώ με την επίδραση οξέος stress, η πεπτική ικανότητα στο κυανό φάσμα αυξήθηκε χωρίς να διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από την αντίστοιχη του λευκού.

Πίνακας 3.15α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στην ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών των πλωρικών τυφλών των ιχθύων.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
pH 7,0							
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,165±0,0111	0,166±0,0108	0,155±0,0113	0,177±0,0098	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,029±0,0019	0,031±0,0024	0,029±0,0023	0,031±0,0020	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,045±0,0033	0,049±0,0046	0,047±0,0049	0,046±0,0033	ΜΣ	ΜΣ	**
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,026±0,0019	0,028±0,0024	0,027±0,0025	0,028±0,0019	ΜΣ	ΜΣ	*
pH 10,0							
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,202±0,0125	0,220±0,0130	0,195±0,0121	0,226±0,0127	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,037±0,0026	0,041±0,0025	0,036±0,0023 ^a	0,043±0,0027 ^b	ΜΣ	*	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,051±0,0036	0,064±0,0055	0,058±0,0056	0,060±0,0049	ΜΣ	ΜΣ	**
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,033±0,0019	0,037±0,0028	0,034±0,0027	0,036±0,0024	ΜΣ	ΜΣ	*
pH 7,0 & 10,0							
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,358±0,0244	0,386±0,0225	0,340±0,0232 ^a	0,405±0,0213 ^b	ΜΣ	*	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,095±0,0061	0,113±0,0099	0,106±0,0102	0,104±0,0072	ΜΣ	ΜΣ	**
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,059±0,0038	0,066±0,0051	0,060±0,0052	0,064±0,0042	ΜΣ	ΜΣ	*

P: Επίπεδο σημαντικότητας, **ΜΣ:** Μη Σημαντικό, **T:** Τυροσίνη, **Π:** Πρωτεΐνη, **ZB:** Ζων Βάρους, ***P**<0,05, ****P**<0,01. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 15β: Οι μέσες τιμές της ενζυμικής δραστηριότητας των πρωτεασών των πυλωρικών τυφλών των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
pH 7,0				
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,144±0,0152	0,166±0,0168	0,188±0,0129	0,167±0,0146
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,028±0,0030	0,030±0,0036	0,031±0,0023	0,032±0,0034
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,036±0,0032 ^a	0,056±0,0074 ^b	0,052±0,0044 ^{ab}	0,041±0,0047 ^{ab}
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,022±0,0020 ^a	0,031±0,0039 ^b	0,030±0,0026 ^b	0,026±0,0029 ^{ab}
pH 10,0				
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,171±0,0176	0,214±0,0146	0,227±0,0137	0,225±0,0222
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,033±0,0035	0,039±0,0027	0,043±0,0029	0,043±0,0044
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,041±0,0027 ^a	0,072±0,0074 ^b	0,065±0,0012 ^b	0,057±0,0078 ^{ab}
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,027±0,0011 ^a	0,040±0,0036 ^b	0,038±0,0022 ^b	0,035±0,0044 ^{ab}
pH 7,0 & 10,0				
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,295±0,0305	0,381±0,0303	0,421±0,0244	0,391±0,0348
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,078±0,0055 ^a	0,128±0,0145 ^b	0,111±0,0071 ^{ab}	0,098±0,0121 ^{ab}
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg T/min)	0,047±0,0036 ^a	0,071±0,0074 ^b	0,068±0,0046 ^b	0,061±0,0070 ^{ab}

ZB: Ζων Βάρος, **Π:** Πρωτεΐνη. Μέσοι όροι, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

3.8.1.3. Η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του εντέρου των ιχθύων.

Όταν οι ιχθύες βρίσκονται υπό την επίδραση stress, οι πρωτεάσες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή 10,0 του pH (κυρίως καρβοξυπεπτιδάση, αμινοπεπτιδάση, κολλαγενάση, ελαστάση), παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικά αυξημένη ενεργότητα σε σχέση με αυτή των μαρτύρων. Καμία άλλη στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση δεν παρατηρήθηκε στη δραστηριότητα των πρωτεασών του εντέρου (πίν. 3.16α και 3.16β).

Πίνακας 3.16α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στην ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του εντέρου των ιχθύων.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
pH 7,0							
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,126±0,0077	0,129±0,0067	0,126±0,0084	0,130±0,0057	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,022±0,0010	0,023±0,0011	0,022±0,0013	0,023±0,0008	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,181±0,0109	0,189±0,0142	0,190±0,0145	0,180±0,0103	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,107±0,0059	0,110±0,0066	0,109±0,0073	0,108±0,0049	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
pH 10,0							
ENTEPO							
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,131±0,0091	0,144±0,0093	0,120±0,0096 ^a	0,153±0,0073 ^b	ΜΣ	**	ΜΣ
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,024±0,0008	0,026±0,0017	0,024±0,0018	0,026±0,0012	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,192±0,0125	0,214±0,0168	0,187±0,0170	0,218±0,0128	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,117±0,0093	0,123±0,0086	0,111±0,0093	0,133±0,0069	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
pH 7,0 & 10,0							
ENTEPO							
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,269±0,0169	0,273±0,0130	0,255±0,0171	0,286±0,0116	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,395±0,0244	0,408±0,0279	0,394±0,0293	0,409±0,0233	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,227±0,0134	0,234±0,0131	0,223±0,0148	0,238±0,0113	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό, T: Τυροσίνη, ZB: Ζων Βάρος, Π: Πρωτεΐνη, **P<0,01. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 3.16β: Οι μέσες τιμές της ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του εντέρου των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
pH 7,0				
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,122±0,0124	0,129±0,0118	0,131±0,0094	0,129±0,0073
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,022±0,0018	0,023±0,0019	0,023±0,0009	0,023±0,0013
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,177±0,0156	0,203±0,0246	0,185±0,0159	0,175±0,0140
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,106±0,0094	0,112±0,0117	0,108±0,0076	0,108±0,0066
pH 10,0				
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,108±0,0163	0,127±0,0119	0,144±0,0089	0,164±0,0116
Ενεργότητα κατά Lowry (mg T/min/ mg Π)	0,023±0,004	0,024±0,0026	0,024±0,0010	0,029±0,0021
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,163±0,0187	0,202±0,0243	0,209±0,0146	0,230±0,0229
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg T/min)	0,110±0,0173	0,111±0,0112	0,125±0,0027	0,139±0,0119
pH 7,0 & 10,0				
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,253±0,0347	0,256±0,0179	0,279±0,0163	0,295±0,0171
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,378±0,0408	0,405±0,0421	0,407±0,0313	0,412±0,0374
Πεπτική Ικανότητα /g Z.B. (mg T/min)	0,224±0,0265	0,223±0,0183	0,229±0,0136	0,249±0,0187

ZB: Ζων Βάρος, **Π:** Πρωτεΐνη.

3.8.1.4. Η συνολική ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών στα πυλωρικά τυφλά και στο έντερο των ιχθύων.

Στους παρακάτω πίνακες (πίν. 3.17α και 3.17β) παρουσιάζεται η ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών που δραστηριοποιούνται στα πυλωρικά τυφλά και το έντερο των ιχθύων συνολικά. Οι πρωτεάσες έχουν ομαδοποιηθεί ανάλογα με την περιοχή του pH που εμφανίζουν τη μέγιστη ενζυμική δραστηριότητά τους.

Στατιστικώς σημαντική αύξηση παρατηρείται στην ενεργότητα των πρωτεασών που δραστηριοποιούνται στην περιοχή 10,0 του pH (κυρίως καρβοξυπεπτιδάση, αμινοπεπτιδάση, κολλαγενάση, ελαστάση), όταν οι ιχθύες βρίσκονται υπό την επίδραση οξέος stress. Ενώ καμία άλλη στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση δεν παρατηρήθηκε.

Πίνακας 3.17α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στην συνολική ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών των πυλωρικών τυφλών και του εντέρου των ιχθύων.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	KYANO	ΛΕΥΚΟ	MARTYPAΣ	STRESS	LC	S	LC x S
pH 7,0							
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,134±0,0063	0,135±0,0060	0,130±0,0072	0,139±0,0047	MΣ	MΣ	MΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,236±0,0132	0,238±0,0171	0,241±0,0172	0,233±0,0129	MΣ	MΣ	MΣ
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg T/min)	0,135±0,0063	0,138±0,0077	0,138±0,0085	0,136±0,0051	MΣ	MΣ	MΣ
pH 10,0							
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,148±0,0084	0,156±0,0079	0,139±0,0087 ^a	0,164±0,0065 ^b	MΣ	*	MΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,264±0,0137	0,279±0,0197	0,261±0,0190	0,283±0,0153	MΣ	MΣ	MΣ
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg T/min)	0,153±0,0073	0,160±0,0094	0,148±0,0095	0,164±0,0071	MΣ	MΣ	MΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, **MΣ:** Μη Σημαντικό, **T:** Τυροσίνη, **ZB:** Ζων Βάρους, ***P**<0,05. Μέσοι όροι, για τον ίδιο παράγοντα, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

Πίνακας 3.17β: Οι μέσες τιμές στις συνολικής ενζυμικής δραστηριότητας των πρωτεασών των πλω-
ρικών τυφλών και του εντέρου των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
pH 7,0				
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,125±0,0104	0,135±0,0103	0,142±0,0067	0,135±0,0067
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,222±0,0176	0,259±0,0295	0,250±0,0195	0,216±0,0162
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg T/min)	0,132±0,0105	0,143±0,0137	0,138±0,0072	0,134±0,0076
pH 10,0				
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,134±0,0171	0,142±0,0095	0,157±0,0073	0,172±0,0112
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	0,242±0,0230	0,274±0,0283	0,281±0,0153	0,285±0,0289
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg T/min)	0,144±0,0159	0,151±0,0123	0,159±0,0059	0,172±0,0143

ZB: Ζων Βάρος.

3.8.1.5. Η συνολική ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του πεπτικού σωλήνα των ιχθύων.

Στους παρακάτω πίνακες (πίν. 3.18α και 3.18β) παρουσιάζεται η δραστηριότητα των πρωτεασών στο σύνολο του πεπτικού σωλήνα των ιχθύων. Καμία στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση δεν παρατηρήθηκε υπό την επίδραση των εφαρμοσμένων επεμβάσεων.

Πίνακας 3.18α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στην ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών του πεπτικού σωλήνα των ιχθύων.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,381±0,0154	0,351±0,0141	0,343±0,0144	0,384±0,0142	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	1,24±0,069	1,17±0,065	1,19±0,068	1,22±0,067	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg T/min)	0,735±0,0353	0,674±0,0309	0,680±0,0360	0,716±0,0314	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό, T: Τυροσίνη, ZB: Ζων Βάρος.

Πίνακας 3.18β: Οι μέσες τιμές της ενζυμικής δραστηριότητας των πρωτεασών του πεπτικού σωλήνα των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση..

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
Ενεργότητα (mg T/min/g ιστού)	0,379±0,0162	0,321±0,0180	0,382±0,0233	0,387±0,0149
Πεπτική Ικανότητα (mg T/min)	1,23±0,057	1,17±0,106	1,25±0,108	1,17±0,070
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg T/min)	0,768±0,0044	0,645±0,0462	0,722±0,0494	0,710±0,0381

ZB: Ζων Βάρος.

3.8.1.6. Η εκατοστιαία συμμετοχή της πεπτικής ικανότητας των πρωτεασών των τμημάτων του πεπτικού σωλήνα, στην συνολική πεπτική ικανότητα των πρωτεασών του.

Κατά την αλληλεπίδραση των δύο επεμβάσεων (φάσμα φωτός και οξύ stress), η συμμετοχή των πρωτεασών των πυλωρικών τυφλών, στους μάρτυρες του κυανού φάσματος εμφανίζεται χαμηλότερη, από την αντίστοιχη του λευκού. Με την υποβολή των ιχθύων σε συνθήκες οξέος stress, στο κυανό φάσμα, εμφανίζεται μια στατιστικώς σημαντική αύξηση της συμμετοχής των πρωτεασών αυτών, ενώ στην περίπτωση του λευκού, παρατηρείται μια τάση μείωσης της συμμετοχής τους. Καμία άλλη μεταβολή δεν παρατηρήθηκε στην εκατοστιαία συμμετοχή της πεπτικής ικανότητας των πρωτεασών των τμημάτων του πεπτικού σωλήνα, στην συνολική πεπτική ικανότητα των πρωτεασών του (πίν. 3.19α και 3.19β).

Πίνακας 3.19α: Η εκατοστιαία συμμετοχή της πεπτικής ικανότητας των πρωτεασών του κάθε τμήματος του πεπτικού σωλήνα στη συνολική πεπτική ικανότητα των πρωτεασών κατά την επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
Στόμαχος (pH 1,5)	58,6±2,07	55,3±1,60	57,0±1,97	56,8±1,79	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πυλωρικά Τυφλά (pH 7,0 & 10,0)	8,72±0,926	8,85±0,598	8,43±0,643	9,05±0,805	ΜΣ	ΜΣ	**
Έντερο (pH 7,0 & 10,0)	32,2±1,84	35,1±1,50	33,2±1,96	34,2±1,43	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό, **P<0,01.

Πίνακας 3.19β: Οι μέσες τιμές της εκατοστιαίας συμμετοχής της πεπτικής ικανότητας του κάθε τμήματος του πεπτικού σωλήνα στη συνολική πεπτική ικανότητα των πρωτεασών για κάθε πειραματική επέμβαση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
Στόμαχος (pH 1,5)	61,3±3,29	54,0±2,08	56,7±2,63	56,9±2,55
Πυλωρικά Τυφλά (pH 7,0 & 10,0)	6,21±0,490 ^a	9,81±0,595 ^b	9,97±1,193 ^b	7,80±0,956 ^{ab}
Έντερο (pH 7,0 & 10,0)	30,6±3,66	35,0±2,11	33,3±1,89	35,2±2,26

Μέσοι όροι, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

3.8.2. Η ενζυμική δραστηριότητα των καρβουδρασών στα διάφορα τμήματα και στο σύνολο του πεπτικού σωλήνα.

Καμία στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση δεν παρατηρήθηκε στην ενζυμική δραστηριότητα των καρβουδρασών του πεπτικού σωλήνα των ιχθύων (πίν. 3.20α και 3.20β), κατά την μεμονωμένη επίδραση των εφαρμοσμένων επεμβάσεων.

Κατά την αλληλεπίδραση των δύο επεμβάσεων, παρατηρείται μια παρόμοια μεταβολή στην ενζυμική δραστηριότητα των καρβουδρασών σχεδόν στο σύνολο τους. Η πεπτική ικανότητα των καρβουδρασών των μαρτύρων στο λευκό φάσμα είναι υψηλότερη απ' ό τι στο κυανό, αύξηση η οποία εμφανίζεται στατιστικώς σημαντική μόνο όταν αυτή εκφράζεται ως απόλυτη τιμή, στην περιοχή των πυλωρικών τυφλών. Η επίδραση του stress στο κυανό φάσμα φωτός δεν προξενεί στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση της πεπτικής ικανότητας, ενώ σημαντική είναι η μείωση που παρατηρείται στο λευκό φάσμα. Αποτέλεσμα των παραπάνω μεταβολών είναι τελικά, η πεπτική ικανότητα των καρβουδρασών μετά την εφαρμογή του stress να εμφανίζεται ελαφρώς μεγαλύτερη στο κυανό φάσμα σε σχέση με το λευκό, στα επιμέρους τμήματα του πεπτικού σωλήνα. Οι τιμές της πεπτικής ικανότητας των καρβουδρασών στο σύνολο του πεπτικού σωλήνα (εφόσον οι καρβουδράσες απουσιάζουν από το στόμαχο) εμφανίζονται σαφώς υψηλότερες στο κυανό φάσμα σε σύγκριση με το λευκό.

Ανεπηρέαστη στις επεμβάσεις εμφανίζεται η ενεργότητα των καρβουδρασών σε καθένα από τους ιστούς. Στο σύνολο του πεπτικού σωλήνα όμως, ενώ η ενεργότητα παρουσιάζεται παρόμοια στους μάρτυρες, εντούτοις κατά την επίδραση οξέος stress παρατηρείται μια μη σημαντική αύξησή της στο κυανό φάσμα και μια μη σημαντική μείωσή της στο λευκό. Αποτέλεσμα των παραπάνω μεταβολών είναι τελικά η ενεργότητα των καρβουδρασών του πεπτικού σωλήνα, μετά την επίδραση του οξέος stress, να διαφοροποιείται στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των δυο φασμάτων, με την τιμή της υπό το κυανό φάσμα να εμφανίζεται μεγαλύτερη του λευκού.

Πίνακας 3.20α: Η επίδραση του φάσματος φωτός και του οξέος stress στην ενζυμική δραστηριότητα των καρβουδρασών του πεπτικού σωλήνα των ιχθύων.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (S)		P		
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
ΠΥΛΩΡΙΚΑ ΤΥΦΛΑ							
Ενεργότητα (mg Γ/min/g ιστού)	2,03±0,350	2,05±0,263	2,05±0,295	2,03±0,326	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ενεργότητα κατά Lowry (mg Γ/min/ mg Π)	0,363±0,059	0,380±0,0503	0,378±0,0537	0,365±0,0558	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg Γ/min)	0,607±0,0992	0,627±0,0957	0,703±0,1054	0,535±0,0857	ΜΣ	ΜΣ	**
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg Γ/min)	0,353±0,0558	0,347±0,0511	0,395±0,0559	0,305±0,0493	ΜΣ	ΜΣ	**
ΕΝΤΕΡΟ							
Ενεργότητα (mg Γ/min/g ιστού)	1,871±0,1418	1,748±0,1736	1,876±0,1541	1,742±0,1611	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ενεργότητα κατά Lowry (mg Γ/min/ mg Π)	0,333±0,0248	0,313±0,0337	0,346±0,0329	0,302±0,0248	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Πεπτική Ικανότητα (mg Γ/min)	2,72±0,215	2,56±0,259	2,80±0,255	2,50±0,215	ΜΣ	ΜΣ	*
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg Γ/min)	1,674±0,1370	1,423±0,1313	1,664±0,1491	1,420±0,1091	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
ΠΥΛΩΡΙΚΑ ΤΥΦΛΑ & ΕΝΤΕΡΟ							
Ενεργότητα (mg Γ/min/g ιστού)	1,905±0,1651	1,716±0,1578	1,903±0,1535	1,808±0,1847	ΜΣ	ΜΣ	*
Πεπτική Ικανότητα (mg Γ/min)	3,45±0,301	3,21±0,351	3,66±0,343	3,04±0,289	ΜΣ	ΜΣ	*
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg Γ/min)	2,026±0,1702	1,786±0,1756	2,082±0,1831	1,758±0,1589	ΜΣ	ΜΣ	*

P: Επίπεδο σημαντικότητας, **ΜΣ:** Μη Σημαντικό, **Γ:** Γλυκόζη, **Π:** Πρωτεΐνη, **ZB:** Ζων Βάρος, ***P**<0,05, ****P**<0,01.

Πίνακας 3.20β: Οι μέσες τιμές της ενζυμικής δραστηριότητας των καρβουδρασών του πεπτικού σωλήνα των ιχθύων για κάθε πειραματική επέμβαση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ	ΚΥΑΝΟ	ΛΕΥΚΟ
ΠΥΛΩΡΙΚΑ ΤΥΦΛΑ				
Ενεργότητα (mg Γ/min/g ιστού)	1,59±0,392	2,62±0,382	2,51±0,576	1,60±0,305
Ενεργότητα κατά Lowry (mg Γ/min/ mg Π)	0,298±0,0711	0,478±0,0713	0,436±0,0933	0,302±0,0626
Πεπτική Ικανότητα (mg Γ/min)	0,520±0,1344 ^a	0,930±0,1354 ^b	0,704±0,1481 ^{ab}	0,384±0,0706 ^a
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg Γ /min)	0,310±0,0785 ^{ab}	0,501±0,0657 ^b	0,401±0,0805 ^{ab}	0,210±0,0391 ^a
ΕΝΤΕΡΟ				
Ενεργότητα (mg Γ/min/g ιστού)	1,831±0,2284	1,927±0,2170	1,915±0,1728	1,570±0,2702
Ενεργότητα κατά Lowry (mg Γ/min/ mg Π)	0,315±0,0398	0,374±0,0515	0,347±0,0324	0,246±0,0293
Πεπτική Ικανότητα (mg Γ/min)	2,52±0,367 ^{ab}	3,07±0,350 ^b	2,90±0,244 ^{ab}	2,05±0,314 ^a
Πεπτική Ικανότητα /g ZB (mg Γ/min)	1,646±0,2402	1,683±0,1828	1,708±0,0972	1,131±0,1329
ΠΥΛΩΡΙΚΑ ΤΥΦΛΑ & ΕΝΤΕΡΟ				
Ενεργότητα (mg Γ/min/g ιστού)	1,804±0,2102 ^{ab}	2,044±0,2283 ^{ab}	2,125±0,2595 ^b	1,333±0,0441 ^a
Πεπτική Ικανότητα (mg Γ/min)	3,27±0,463 ^{ab}	4,22±0,464 ^b	3,65±0,390 ^{ab}	2,42±0,330 ^a
Πεπτική Ικανότητα / g ZB (mg Γ/min)	1,957±0,2725 ^{ab}	2,261±0,2211 ^b	2,103±0,2084 ^b	1,370±0,1615 ^a

ZB: Ζων Βάρος, **Γ:** Γλυκόζη, **Π:** Πρωτεΐνης. Μέσοι όροι, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

3.8.2.1. Η εκατοστιαία συμμετοχή της πεπτικής ικανότητας των καρβοϋδρασών των τμημάτων του πεπτικού σωλήνα στη συνολική πεπτική ικανότητά του.

Καμία στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση δεν παρατηρήθηκε υπό την μεμονωμένη επίδραση των εφαρμοσμένων επεμβάσεων στην εκατοστιαία συμμετοχή της πεπτικής ικανότητας των καρβοϋδρασών των τμημάτων του πεπτικού σωλήνα (πίν. 3.21α και 3.21β). Κατά την αλληλεπίδραση των δυο επεμβάσεων παρατηρείται ότι, στους μάρτυρες η συμμετοχή των πυλωρικών τυφλών είναι μεγαλύτερη και του εντέρου μικρότερη στο λευκό σε σύγκριση με το κυανό φάσμα. Με την εφαρμογή οξέος stress, στο κυανό δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση της συμμετοχής των τμημάτων του πεπτικού σωλήνα, ενώ στο λευκό παρατηρήθηκε μείωση της συμμετοχής των πυλωρικών τυφλών και αύξηση του εντέρου.

Πίνακας 3.21α: Η εκατοστιαία συμμετοχή της πεπτικής ικανότητας των καρβοϋδρασών του κάθε ιστού του πεπτικού σωλήνα στη συνολική πεπτική ικανότητα κατά την επίδραση διαφορετικού φάσματος φωτός και οξέος stress.

	ΧΡΩΜΑ ΦΩΤΟΣ (LC)		STRESS (LC)		P		
	KYANO	ΛΕΥΚΟ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	STRESS	LC	S	LC x S
Πυλωρικά Τυφλά	14,7±1,92	19,0±2,22	17,5±2,42	16,3±1,88	ΜΣ	ΜΣ	**
Έντερο	85,3±1,92	81,0±2,22	82,5±2,42	83,7±1,88	ΜΣ	ΜΣ	**

P: Επίπεδο σημαντικότητας, ΜΣ: Μη Σημαντικό, **P<0,01.

Πίνακας 3.21β: Οι μέσες τιμές της εκατοστιαίας συμμετοχής της πεπτικής ικανότητας των καρβοϋδρασών του κάθε ιστού του πεπτικού σωλήνα στη συνολική πεπτική ικανότητα για κάθε πειραματική επίδραση.

	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		STRESS	
	KYANO	ΛΕΥΚΟ	KYANO	ΛΕΥΚΟ
Πυλωρικά Τυφλά	11,5±2,56 ^a	25,2±2,16 ^b	18,0±2,56 ^{ab}	14,7±2,76 ^a
Έντερο	88,5±2,56 ^b	74,8±2,16 ^a	82,0±2,56 ^{ab}	85,3±2,76 ^b

Μέσοι όροι, με κοινό γράμμα εκθέτη, δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα περισσότερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού εκτροφής, κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου, δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφοροποιήσεις και κυμάνθηκαν εντός των ορίων που απαιτούνται για την εκτροφή των ιχθύων σε κλειστά κυκλώματα νερού. Τα επίπεδα της τοξικής (0,0018 ppm) και ολικής αμμωνίας (0,288 ppm) καθώς και των νιτρικών ιόντων (0,046 ppm) που παρατηρήθηκαν ήταν εντός του εύρους των διεθνώς αποδεκτών τιμών, για την ομαλή εκτροφή μίας μεγάλης ποικιλίας ειδών ιχθύων. Συγκεκριμένα, για την αμμωνία η οριακή τιμή επιβίωσης, βρίσκεται μεταξύ των ορίων 0,2 - 2,0 ppm, ενώ για τα νιτρικά <0,55 (Παπουτσόγλου, 1997). Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι, άτομα λαβρακιού επηρεάστηκαν αρνητικά, όταν τα επίπεδα αμμωνίας ξεπέρασαν τα 10 ppm, ενώ τιμές τοξικής αμμωνίας της τάξης των 0,26 ppm δεν ήταν ικανές να επηρεάσουν αρνητικά την ανάπτυξη (Lemarié et al., 2004). Η ελάχιστη διακύμανση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού, καθόλη τη διάρκεια του πειράματος, διαβεβαιώνει ότι τα παραπάνω χαρακτηριστικά του νερού δεν είχαν κάποια επίδραση στη φυσιολογική κατάσταση των ιχθύων.

Στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση παρουσιάστηκε στον εκατοστιαίο κορεσμό του δεσμευμένου οξυγόνου καθώς και στις τιμές του pH, κατά τη χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός, τόσο πριν το πρώτο, όσο και μετά το τελευταίο γεύμα. Η παρατηρούμενη διαφοροποίηση μεταξύ των χειρισμών και στις δυο περιπτώσεις δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερης βιολογικής σημασίας. Τα επίπεδα του κορεσμού σε οξυγόνο βρισκόταν πολύ υψηλότερα από το επίπεδο του 80 %, όριο πάνω από το οποίο έχει διαπιστωθεί ότι δεν προκαλείται καμία επίπτωση στην επιβίωση και την κατανάλωση τροφής (Thetmeyer et al., 1999). Η τιμή του pH βρισκόταν εντός των ορίων ασφαλούς διαβίωσης (6,5-8,5) των ιχθύων (Παπουτσόγλου, 1997).

Αν και σε αρκετές εργασίες, το διαφορετικό μήκος κύματος φωτός έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί διαφοροποίηση της ανάπτυξης, σε διάφορα είδη ιχθύων όπως την πέστροφα (Karakatsouli et al., 2007), την τσιπούρα (Karakatsouli et al., 2007), την πέρκα *Perca flavescens* (Head and Malison, 2000), την πεταλούδα *Carassius carassius*, και τα είδη *Percottus glenii* και *Poecilia reticulata* (Rushin, 2004), στην τιλάπια *Oreochromis niloticus* (Luchiarì and Freire, 2009), στην παρούσα εργασία δεν προέκυψε καμία σημαντική διαφοροποίηση σε κάποιο δείκτη ανάπτυξης (ζών βάρος, σωματομετρήσεις, SGR, % WG). Μη διαφοροποίηση της ανάπτυξης έχει διαπιστωθεί στο είδος *Melanogrammus aeglefinus* (Downing, 2002) και στο είδος *Wallago attu* (Giri et al., 2002). Η παρατηρούμενη διαφοροποίηση μεταξύ των ειδών, ενδεχομένως να οφείλεται στη διαφορετική ηθολογία διαβίωσης και οπτική ικανότητα του εκάστοτε είδους.

Υψηλότερη ανάπτυξη στο κυανό φάσμα σε σύγκριση με το ερυθρό έχει διαπιστωθεί σε ιχθύδια λαβρακιού (Παπαδάτου, 2007, Villamizar et al., 2009). Η απουσία διαφοροποίησης της ανάπτυξης, στην παρούσα εργασία, ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι, η διάρκεια της πειραματικής περιόδου (63 ημέρες) δεν ήταν επαρκής ώστε, τα άτομα της ηλικίας και του μεγέθους (ζώντος βάρους 130,9±0,4 g) που χρη-

σιμοποιήθηκαν, να διαφοροποιηθούν στατιστικά στην ανάπτυξη. Όπως έχει διαπιστωθεί τόσο η ηλικία, όσο και το μέγεθος (ζων βάρος) των ιχθύων, επηρεάζουν το ρυθμό ανάπτυξης, που γενικά, μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας και του βάρους (Παπουτσόγλου, 1997). Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρατηρούμενη διαφοροποίηση της ανάπτυξης των ατόμων λαβρακιού βάρους $13,73 \pm 0,117$ g, υπό τη χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός (κυανό [480 nm], ερυθρό [605 nm], και λευκό) εμφάνισαν αυξημένη ανάπτυξη στο κυανό φάσμα μετά από διάστημα 124 ημερών (Παπαδάτου, 2007). Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόμοια κατάσταση έχει διαπιστωθεί για την ιριδίζουσα πέστροφα, όπου η χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός για 111 ημέρες δεν παρουσίασε διαφοροποίηση σε άτομα βάρους $145,3 \pm 1,5$ g (Karakatsouli et al., 2008), ενώ άτομα βάρους $71,4 \pm 0,30$ g, εμφάνισαν μειωμένη ανάπτυξη στο κυανό φάσμα [480 nm] σε σύγκριση με το λευκό και ερυθρό [605 nm] μετά από διάστημα 11 εβδομάδων (Karakatsouli et al., 2007). Στη μικρής διάρκειας πειραματική περίοδο, ενδεχομένως να οφείλεται και η απουσία διαφοροποίησης στους δείκτες εκμετάλλευσης της τροφής.

Στην παρούσα εργασία παρατηρήθηκε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης στο διάστημα μεταξύ των δυο τελευταίων ζυγισμάτων (διάστημα τριών εβδομάδων), σε σύγκριση με τις άλλες ενδιάμεσες περιόδους. Η μείωση ως ένα βαθμό, της ανάπτυξης είναι αναμενόμενη λόγω της αύξησης του μεγέθους και της ηλικίας των ιχθύων. Το μέγεθος όμως της παρατηρούμενης μείωσης του ρυθμού ανάπτυξης, δεν αποκλείεται να οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας (διάγρ. 3.1, σελ. 61) σε υψηλότερα επίπεδα εκείνων που χαρακτηρίζουν τη βέλτιστη ανάπτυξη του λαβρακιού (βλέπε κεφ. 1.5.2.1).

Ο κυριότερος ίσως δείκτης της αντίδρασης οξέος stress των ιχθύων είναι τα επίπεδα κορτιζόλης στο πλάσμα και έπονται τα επίπεδα γλυκόζης, τριακυλγλυκεριδίων, αλβουμίνης στο πλάσμα, ο αιματοκρίτης καθώς και η διαταραχή της ιοντικής και ωσμωτικής ισορροπίας (Παπουτσογλου, 1998). Βέβαια, η μικρής διάρκειας νηστεία που προηγήθηκε της αιμοληψίας ενδεχομένως να επηρέασε τα επίπεδα των μεταβολιτών του αίματος, αν και τα επίπεδα γλυκόζης και τριακυλγλυκεριδίων δεν φαίνεται να επηρεάζονται στο λαβράκι ύστερα από εικοσιτετράωρη νηστεία (Di Marco et al., 2008).

Στην παρούσα εργασία, η συγκέντρωση της κορτιζόλης στο πλάσμα των μαρτύρων, ανεξαρτήτως χρησιμοποιούμενου φάσματος φωτός, βρισκόταν σε παρόμοια χαμηλά επίπεδα, συγκρινόμενα με εκείνα που αναφέρονται για άτομα λαβρακιού (Marino et al., 2001, Vazzana et al., 2002, Rotllant et al., 2003, Di Marco et al., 2008). Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι τιμές των παραπάνω αιματολογικών παραμέτρων (κυρίως κορτιζόλης και γλυκόζης), που έχουν προσδιοριστεί από πληθώρα ερευνητών στο λαβράκι, εμφανίζουν μεγάλη παραλλακτικότητα, τόσο μεταξύ των επεμβάσεων περιορισμού όσο και μεταξύ των μαρτύρων, πράγμα που δεν επιτρέπει ευχερώς τη σύγκρισή τους (Vazzana et al., 2002). Ενδεχομένως, η παραλλακτικότητα αυτή να οφείλεται στη διαφοροποίηση των συνθηκών εκτροφής, των εγκαταστάσεων, του πειραματικού σχεδιασμού κάθε μελέτης, της ηλικίας των ιχθύων και των χειρισμών

(αιμοληψία, χρήση ή μη αναισθητικού κ.α.) (Marino et al., 2001, Rotllant et al., 2003). Σε κάθε περίπτωση, οι χαμηλότερες τιμές κορτιζόλης στην παρούσα εργασία (5,5–7,9 ng/ml) σε σύγκριση με άλλων ερευνητών σε λαβράκι (10 ng/ml Vazzana et al. 2002, 17,3 ng/ml Rotllant et al., 2003), πιστοποιούν τις βέλτιστες συνθήκες διαβίωσης και δειγματοληψίας, που επικρατούσαν (Rotllant et al., 2003).

Κατά την εφαρμογή οξέος stress, στους ιχθύς υπό το κυανό φάσμα, η αύξηση των επιπέδων της κορτιζόλης ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με τα επίπεδα των ιχθύων υπό το λευκό φάσμα. Έχει αναφερθεί ότι, σε άτομα λαβρακιού (Di Marco et al., 2008) και κυπρίνου (Ruane et al., 2002a), η αύξηση της κορτιζόλης κατά την επίδραση οξέος stress είναι υψηλότερη, σε άτομα που προηγουμένως βρισκόταν υπό το καθοστώσ χρόνιου stress (υψηλή πυκνότητα εκτροφής), παρατήρηση που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το κυανό φάσμα φωτός δεν αποκλείεται να αποτελεί παράγοντα χρόνιου stress. Το μέγεθος και ο χρόνος αύξησης της κορτιζόλης σε λαβράκια που έχουν υποστεί οξύ stress (περιορισμός), έχουν προσδιοριστεί ότι είναι περίπου 400 % στα πρώτα 15 λεπτά και 1000 % στα πρώτα 45 λεπτά (Marino et al., 2001). Στην παρούσα εργασία, το ποσοστό της αύξησης των επιπέδων της κορτιζόλης είναι πολύ υψηλότερο κατά το οξύ stress και αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στις ιδιαίτερα χαμηλές τιμές που παρουσίασαν οι μάρτυρες. Η παραπάνω παρατήρηση σε συνδυασμό με τις ενδιάμεσες τιμές κορτιζόλης (158,0-221,1 ng/ml) της παρούσας εργασίας, σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις που έχουν προσδιοριστεί για το λαβράκι σε άλλες μελέτες εφαρμογής οξέος stress (451-679 ng/ml Simontacchi et al., 2008, 80-100 ng/ml Di Marco et al., 2008), οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, η χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός, δεν είναι απίθανο να προκαλεί μεταβολή του χρόνου απελευθέρωσης της κορτιζόλης από το ενδο-νεφρικό σύστημα, του χρόνου εμφάνισης της μέγιστης συγκέντρωσης κορτιζόλης στο πλάσμα ή του χρόνου επαναφοράς των επιπέδων της κορτιζόλης στα προ-stress επίπεδα. Δεν αποκλείεται λοιπόν, τα διαφορετικά επίπεδα της κορτιζόλης που προσδιορίστηκαν μεταξύ των δύο φασμάτων φωτός να οφείλονται σε διαφοροποίηση του χρόνου εμφάνισης των μέγιστων της συγκέντρωσης κορτιζόλης στο αίμα λόγω του διαφορετικού φάσματος. Το ενδεχόμενο της χρονικής μετατόπισης της μέγιστης συγκέντρωσης της κορτιζόλης στο πλάσμα, λόγω των διαφορετικών συνθηκών φωτισμού, επιβεβαιώνεται από η απουσία διαφοροποίησης των επιπέδων των υπολοίπων αιματολογικών παραμέτρων (γλυκόζης, αλβουμίνης, τριακυλγλυκεριδίων) μεταξύ των ιχθύων υπό τις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, κατά την επίδραση του οξέος stress, παράγοντες οι οποίοι επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη δράση της κορτιζόλης.

Εκτός αυτού, η μεγαλύτερη αύξηση των επιπέδων της κορτιζόλης κατά το stress στο κυανό φάσμα φωτός, σε σύγκριση με το λευκό, δεν αποκλείει την εμφάνιση και μεγαλύτερης ανάπτυξης στο κυανό φάσμα. Σε άτομα του είδους *Morone saxatilis* (Moronidae) που εμφάνισαν μεγαλύτερη στιγμιαία αύξηση των επιπέδων της κορτιζόλης σε οξύ stress, παρατηρήθηκε ότι εμφάνισαν και μεγαλύτερη ανάπτυξη, σε σύγκριση με τα άτομα που εμφάνισαν χαμηλότερα επίπεδα κορτιζόλης (Wang et al., 2004).

Σε άτομα της πέρκας *Perca flavescens*, το ερυθρό φάσμα φωτός [600-750 nm] εμφάνισε τη χειρότερη αντίδραση στο οξύ stress σε σχέση με το λευκό και κυανό φάσμα [405-530 nm] (Head and Malison, 2000), ενώ σε άτομα γατόψαρου *Rhamdia quelen*, τη μεγαλύτερη αύξηση των επιπέδων της κορτιζόλης, κατά την αντίδραση σε οξύ stress, προκάλεσε το πράσινο φάσμα [480 nm], σε σχέση με το λευκό και το κυανό [436 nm], που παρέμειναν σταθερά (Barcellos et al., 2006). Σε άτομα τιλάπιας *Oreochromis nilotica* (Volpato and Barreto, 2001) και πέστροφας *Oncorhynchus mykiss* (Karakatsouli et al., 2008), το κυανό φάσμα [480 nm] εμφάνισε καλύτερη αντίδραση στο οξύ stress εμφανίζοντας τη μικρότερη αύξηση των επιπέδων της κορτιζόλης, σε σύγκριση με το λευκό - πράσινο και λευκό - ερυθρό [605 nm] αντίστοιχα.

Αυξημένα επίπεδα γλυκόζης στο πλάσμα έχουν παρατηρηθεί σε άτομα λαβρακιού, μετά την επίδραση οξέος stress (Roche and Boge, 1996, Marino et al., 2001, Vazzana et al., 2002). Αναμενόμενη λοιπόν μπορεί να χαρακτηριστεί, η αύξηση των επιπέδων της γλυκόζης του πλάσματος που εμφανίζεται μετά την επίδραση οξέος stress. Η παρόμοια αύξηση των επιπέδων της γλυκόζης, σε σύγκριση με τη διαφοροποίηση των επιπέδων της κορτιζόλης που παρατηρήθηκε στην παρούσα εργασία, αντιτίθεται σε προηγούμενα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης χρόνιου (πυκνότητα εκτροφής) και οξέος stress σε λαβράκι (Di Marco et al., 2008) και καθιστά τη χρήση του κυανού φωτός αιτία χρονικής διαφοροποίησης της έντασης της αντίδρασης του οργανισμού κατά το οξύ stress και όχι παράγοντα χρόνιου stress.

Ο ηπατοσωματικός δείκτης, στην παρούσα εργασία, δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές κατά τη χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός. Τα παρόμοια επίπεδα του ηπατοσωματικού δείκτη συμφωνούν με τα παρόμοια επίπεδα γλυκόζης που διαπιστώθηκαν κατά τη χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός. Απουσία διαφοροποίησης του ηπατοσωματικού δείκτη έχει διαπιστωθεί και σε άλλα είδη ιχθύων όπως η ιριδίζουσα πέστροφα (Karakatsouli et al., 2007, 2008) και η τσιπούρα (Karakatsouli et al., 2007), υπό την επίδραση διαφορετικού φάσματος φωτός (ερυθρό, κυανό και λευκό). Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, αντιτίθενται στην εμφάνιση αυξημένων τιμών του ηπατοσωματικού δείκτη υπό το κυανό φάσμα φωτός [480 nm] σε σύγκριση με το λευκό και το ερυθρό [605 nm] που έχουν παρατηρηθεί σε λαβράκια (Παπαδάτου, 2007). Όσον αφορά την επίδραση οξέος stress, τότε παρατηρείται στατιστικώς σημαντική μείωση του ηπατοσωματικού δείκτη, η οποία πιθανόν συνδέεται με κινητοποίηση των αποθεμάτων ενέργειας, κυρίως γλυκογόνου και λίπους. Αντίθετα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, αύξηση της τιμής του ηπατοσωματικού δείκτη έχει παρατηρηθεί κατά την επίδραση οξέος stress σε άτομα πέστροφας (Trenzado et al., 2006, Karakatsouli et al., 2008), κι αυτό ίσως να οφείλεται στις ιδιαίτερες συνθήκες διαβίωσης και διατροφής του κάθε οργανισμού.

Όσον αφορά τα επίπεδα των τριακυλγλυκεριδίων, στους μάρτυρες, υπό το λευκό φάσμα εμφανίζονται χαμηλότερα, απ' ό τι στα άτομα υπό το κυανό φάσμα φωτός. Η παραπάνω παρατήρηση ενδεχομένως να είναι αποτέλεσμα καλύτερης διατροφικής κατάστασης των ιχθύων υπό το κυανό φάσμα. Αυξημένα επίπεδα τριακυλγλυκεριδίων παρατηρήθηκαν σε άτομα λαβρακιού και τσιπούρας, κατά την εντατική εκτροφή,

ακόμα και σε ιδιαίτερα χαμηλή πυκνότητα, σε σύγκριση με τα επίπεδα κατά την ημιεντατική εκτροφή των ιχθύων (Roncarati et al., 2006), επιβεβαιώνοντας ότι τα επίπεδα των τριακυλγλυκεριδίων είναι αλληλένδετα με τη διατροφική κατάσταση των ιχθύων. Διαφοροποίηση των επιπέδων των τριακυλγλυκεριδίων έχουν αναφερθεί κατά τη χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός για άτομα πέστροφας (Karakatsouli et al., 2008). Σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε άτομα λαβρακιού, υπό διαφορετικές συνθήκες εκτροφής (πυκνότητα εκτροφής), δεν έχει αναφερθεί διαφοροποίηση του επιπέδου των τριακυλγλυκεριδίων στο πλάσμα (Roncarati et al., 2006, Di Marco et al., 2008). Κατά την υποβολή των ιχθύων σε οξύ stress τα επίπεδα των τριακυλγλυκεριδίων στο λευκό φάσμα παρουσιάζουν μια αύξηση, ενώ στην περίπτωση του κυανού, παραμένουν αμετάβλητα. Η μη διαφοροποίηση των τριακυλγλυκεριδίων υπό το κυανό φάσμα, υποδεικνύει ότι τα επίπεδα τους επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών του οργανισμού και δεν απαιτείται περαιτέρω καταβολή ενέργειας για την παραγωγή και απελευθέρωση τους. Αντίθετα, τα χαμηλά επίπεδα των τριακυλγλυκεριδίων στο λευκό φάσμα απαιτούν την απελευθέρωση ποσοτήτων τους για την κάλυψη των αναγκών που προκύπτουν κατά το stress.

Αιματοκρίτης είναι ο εκατοστιαίος όγκος των ερυθροκυττάρων (ερυθρών αιμοσφαιρίων και αιμοπεταλίων) σε σχέση με τον όγκο του αίματος (Σμοκοβίτης, 2007). Κατά τον προσδιορισμό των επιπέδων του αιματοκρίτη, στην παρούσα εργασία, παρατηρήθηκαν παρόμοιες τιμές στους μάρτυρες, παρατήρηση που συμφωνεί με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών σε λαβράκι υπό την επίδραση διαφορετικού φάσματος φωτός (Παπαδάτου, 2007). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί σε άτομα κυπρίνου (Ruane et al., 2002a), πέστροφας (Olsen et al., 2005, Karakatsouli et al., 2007, 2008) και τσιπούρας (Karakatsouli et al., 2007). Κατά την αντίδραση των ιχθύων στο οξύ stress, τα επίπεδα του αιματοκρίτη αυξάνονται, με την αύξηση υπό το λευκό φάσμα να εμφανίζεται μεγαλύτερη. Η αύξηση του αιματοκρίτη κατά την επίδραση του stress είναι αναμενόμενη, λόγω της κινητοποίησης των αποθεμάτων του σπλήνα που διαπιστώθηκε στην παρούσα εργασία. Αύξηση του αιματοκρίτη κατά την επίδραση οξέος stress έχει διαπιστωθεί σε άτομα λαβρακιού (Roche and Boge, 1996), πέστροφας (Trenzado et al., 2006, Karakatsouli et al., 2008) και σολομού (Olsen et al., 2003). Η μεγαλύτερη αύξηση που παρατηρείται στα επίπεδα του αιματοκρίτη υπό το λευκό φάσμα, ενδεχομένως να είναι ένδειξη των αυξημένων αναγκών σε οξυγόνο υπό το λευκό φάσμα .

Ο σπλήνας αποτελεί ένα σημαντικό όργανο παραγωγής και καταστροφής ερυθρών αιμοσφαιρίων, αιμοπεταλίων και λευκοκυττάρων, καθώς και σημαντική αποθήκη αίματος (Σμοκοβίτης 2007). Στην παρούσα εργασία, ο σπλήνας στους μάρτυρες εμφανίστηκε μεγαλύτερος υπό το κυανό φάσμα σε σύγκριση με το λευκό που συμφωνεί με τις αυξημένες τιμές σπληνοσωματικού δείκτη υπό το κυανό φάσμα σε σχέση με το λευκό, που έχουν αναφερθεί σε λαβράκι (Παπαδάτου, 2007), κοινό κυπρίνο (Καρακατσούλη προσωπική επικοινωνία) και μυτάκι (Μπρέζας, 2008), ενώ παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί για πτηνά και άλλα ανώτερα θηλαστικά (Vriend and Lauber, 1973, Xie et al., 2008). Η παρατήρηση παρόμοιων αποτελεσμάτων σε αυξη-

μένο αριθμό ειδών αποκλείει τη συμπτωματική διαφοροποίηση του σπλήνα σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Η επίδραση του μήκους κύματος του φωτός σε αρκετούς νευροορμονικούς μηχανισμούς (Bayarri et al., 2002), δεν αποκλείεται να είναι η αιτία της διαφοροποίησης της λειτουργίας του σπλήνα. Αντίθετα, σε άτομα πέστροφας (Karakatsouli et al., 2007, 2008) και τσιπούρας (Karakatsouli et al., 2007) δεν παρατηρήθηκε καμία διαφοροποίηση κατά τη χρήση διαφορετικού φάσματος φωτός. Κατά την επίδραση stress παρατηρείται σύσπαση του σπλήνα, με αποτέλεσμα το μέγεθος του να καταλήγει σε παρόμοιο μέγεθος μεταξύ των ιχθύων που διατηρούνταν σε λευκό και κυανό φάσμα. Η σύσπαση του σπλήνα και η απελευθέρωση αίματος με συμυκνωμένη μάζα ερυθροκυττάρων, με στόχο την αποτελεσματικότερη οξυγόνωση των ιστών είναι αναμενόμενη (Σμοκοβίτης, 2007) και συμφωνεί με τη μείωση του σπλήνα που έχει παρατηρηθεί σε συνθήκες οξέος stress σε άτομα πέστροφας (Karakatsouli et al., 2008). Αποτέλεσμα της πραγματοποιούμενης σύσπασης είναι η μείωση του μεγέθους του σπλήνα (Παπουτσόγλου, 1998).

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα του αιματοκρίτη και του ηπατοσωματικού δείκτη στην παρούσα εργασία παρατηρείται μια ασυμφωνία. Ενώ η σύσπαση του σπλήνα ήταν μεγαλύτερη στο κυανό φάσμα κατά το οξύ stress, εντούτοις μεγαλύτερος αιματοκρίτης εμφανίστηκε στο λευκό φάσμα. Δεν αποκλείεται η ασυμφωνία που παρατηρείται να οφείλεται σε διαφοροποίηση του όγκου των ερυθροκυττάρων του αίματος μεταξύ των διαφορετικών συνθηκών φωτισμού. Οι Roche and Boge (1996) παρατήρησαν ότι κατά την επίδραση οξέος stress σε άτομα λαβρακιού που προηγουμένως βρισκόταν σε διαφορετικές συνθήκες εκτροφής (θερμοκρασία, αλατοτητα) εμφάνισαν διαφορετική αντίδραση σε επίπεδα αιματοκρίτη και αιμογλοβίνης στο αίμα.

Η ωσμωμοριακότητα του πλάσματος είναι μια μεταβλητή, μέτρησης των επιπέδων ορισμένων συστατικών του αίματος και των ιόντων τους, μέσω της ωσμωτικής τους πίεσης. Η ωσμωμοριακότητα κυρίως χρησιμοποιείται για να εκφράσει το βαθμό της παρατηρούμενης αφυδάτωσης. Καμία διαφοροποίηση στις τιμές της ωσμωμοριακότητας δεν παρουσιάστηκε στους μάρτυρες υπό την επίδραση διαφορετικού φάσματος. Ο προσδιορισμός της ωσμωμοριακότητας σε άτομα φαγκριού *Pagrus pagrus* έδειξαν χαμηλότερες τιμές στο κυανό φάσμα απ' ότι στο λευκό (Van der Salm et al., 2006), ενώ σε άτομα πέστροφας το ερυθρό φάσμα εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές ακολουθούμενο από το κυανό και το λευκό (Karakatsouli et al., 2008). Στην παρούσα εργασία, η ωσμωμοριακότητα εμφανίζεται να αυξάνεται κατά την αντίδραση στο οξύ stress, πιθανώς ως αποτέλεσμα της μείωσης των επιπέδων της υγρασίας, ή/και αύξησης των επιπέδων των διαφόρων ιόντων του αίματος. Η μείωση της υγρασίας κατά το οξύ stress, οφείλεται στην απώλεια της ιοντικής και ωσμωτικής ισορροπίας του οργανισμού, με έντονη εισροή ιόντων προς τον οργανισμό και αποβολής νερού από τα βράγχια και τους νεφρούς για την εξίσωση της διαφορετικής ωσμωτικής πίεσης μεταξύ οργανισμού και περιβάλλοντος. Παρόμοια αύξηση των επιπέδων της ωσμωμοριακότητας κατά την επίδραση οξέος stress έχουν αναφερθεί σε άτομα λαβρακιού (Marino et al., 2001, Vazzana et al., 2002) και πέστροφας (Karakatsouli et al., 2008). Μια ακόμη πιθανή αιτία της αύξησης της ωσμωμοριακότητας είναι η μεταφορά του υγρού

από το εξωκυτταρικό στο ενδοκυτταρικό μέρος και γενικότερη μείωση του ορού του αίματος (Marino et al., 2001).

Στην πρόσκαιρη απώλεια της ιοντικής και ωσμωτικής ισορροπίας του οργανισμού κατά το οξύ stress (Van der Salm et al., 2006), ενδεχομένως να οφείλεται και η μείωση των επιπέδων της υγρασίας του σώματος, η οποία παρατηρήθηκε στην παρούσα εργασία. Η αύξηση της διαπερατότητας των επιθηλιακών κυττάρων των βραγχίων και του δέρματος, που προκαλούνται από τη δράση των κατεχολαμινών και κορτικοστεροειδών ορμονών, που είναι αυξημένα κατά το οξύ stress (Reid et al., 1998, Mommsen et al., 1999, Nolan et al., 2003), έχουν ως αποτέλεσμα την μεταβολή των επιπέδων της υγρασίας και των ηλεκτρολυτών του αίματος και του σώματος (Papoutsoglou et al., 1999, Marino et al., 2001, Trenzado et al., 2006). Η παρατηρούμενη μείωση των επιπέδων της υγρασίας του σώματος οφείλεται στο υπερτονικό περιβάλλον διαβίωσης των θαλάσσιων ιχθύων, και ίσως αυτή να είναι η αιτία της απουσίας παρόμοιων αποτελεσμάτων σε άτομα πέστροφας (Karakatsouli et al., 2007).

Η αλβουμίνη είναι μια πρωτεΐνη με βασικούς της ρόλους τη διατήρηση και ρύθμιση της κολοειδοσμωτικής πίεσης του αίματος καθώς και τη μεταφορά διαφόρων ουσιών (Σμοκοβίτης, 2007). Η μεταφορά της κορτιζόλης προς τους υποδοχείς της (Mommsen et al., 1999) και των λιπαρών οξέων (Sheridan, 1993), γίνεται με τη βοήθεια της αλβουμίνης. Τα επίπεδα της αλβουμίνης στην παρούσα εργασία εμφανίζονται αυξημένα υπό την επίδραση οξέος stress, πιθανόν λόγω της απώλειας της ιοντικής και ωσμωτικής ισορροπίας και τις αυξημένες ανάγκες μεταφοράς διαφόρων ουσιών, που κινητοποιούνται για την αντιμετώπιση των αυξημένων ενεργειακών αναγκών.

Λίγες είναι οι πληροφορίες που αφορούν την ακεραιότητα του γαστρεντερικού σωλήνα κατά το stress (Olsen, 2003). Στην παρούσα εργασία παρατηρήθηκε μείωση του βάρους του πεπτικού σωλήνα κατά το οξύ stress, γεγονός που οφείλεται στην παρατηρούμενη μείωση του βάρους του στόμαχου και των πυλωρικών τυφλών. Η μείωση του βάρους των τμημάτων αυτών, πιθανόν να οφείλεται σε σύσπαση τους και πιθανή απώλεια υγρασίας, ενώ δεν αποκλείεται η σύσπαση αυτή να προκαλεί προώθηση του οποίου περιεχομένου του πεπτικού σωλήνα προς το έντερο. Αποτέλεσμα της πραγματοποιούμενης σύσπασης ήταν η μείωση βακτηριακού φορτίου (παθογόνα βακτήρια και μικροχλωρίδα) του εντέρου σε καταστάσεις οξέος stress σε άτομα σολομού *Salmo salar* (Olsen et al., 2003) και πέστροφας (Olsen et al., 2005), που συμφωνούν μ' αυτή την υπόθεση. Ανανέωση του βακτηριακού φορτίου έχει διαπιστωθεί ότι πραγματοποιείται σε διάφορα θηλαστικά είδη σε κατάσταση οξέος stress (Sengupta and Sharma, 1993, Saunders et al., 1994, Prabhu et al., 2000, Santos et al. 2000), μέσω της αυξημένης περισταλτικής δραστηριότητας του εντέρου (Bueno and Gue, 1988, Garrick et al., 1988). Η αύξηση του μήκους του εντέρου χωρίς την διαφοροποίηση του βάρους του συμφωνεί με την έκταση των εντεροκυττάρων που παρατηρήθηκε σε άτομα πέστροφας σε οξύ stress και επαναφορά στο αρχικό τους μέγεθος μετά από διάστημα δυο ημερών (Olsen et al., 2005). Ενδεχομένως η κένωση του γαστρεντερικού σωλήνα να αποσκοπεί σε μείωση της ποσότητας των πεπτικών ενζύμων και

την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του οργανισμού για την πέψη (Olsen et al., 2002).

Οι πεπτικές διαδικασίες των ιχθύων δεν είναι πλήρως γνωστές και αυτό ίσως να είναι κύρια αιτία των προβλημάτων που αντιμετωπίζει η εκτροφή τους (Dabrowski and Glogowski, 1977). Η χρήση των θρεπτικών ουσιών από τους ιχθύς εξαρτάται από την ενεργότητα των πεπτικών ενζύμων που υπάρχουν στα διάφορα τμήματα του πεπτικού σωλήνα (Natalia et al., 2004). Η ενεργότητα των πεπτικών ενζύμων φαίνεται να επηρεάζεται από ορμόνες και συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί ότι η αδρεναλίνη είτε διεγείρει την ενεργότητά τους (in vitro), είτε όχι (in vivo) (Kuzmina, 2000, Kuzmina et al., 2003). Τα πεπτικά ένζυμα, στην παρούσα εργασία, μελετήθηκαν με σκοπό, να διερευνηθεί η επίδραση του φάσματος φωτός και της πρόκλησης οξέος stress στην διαδικασία της πέψης, χωρίς να γίνει κάποια επέμβαση στη σύσταση, το είδος και την ποσότητα της χορηγούμενης τροφής.

Ο ρυθμός ανάπτυξης των ιχθύων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πεπτική ικανότητα. Η ενζυμική δραστηριότητα των πεπτικών ενζύμων και η χρησιμοποίηση των θρεπτικών συστατικών της τροφής είναι ένας παράγοντας κλειδί, για την βελτιστοποίηση των τεχνικών σίτισης των ιχθύων (Papoutsoglou and Lyndon, 2005, Debnath et al., 2007). Το προφίλ των πεπτικών ενζύμων αντικατοπτρίζει τον διατροφικό τύπο του ιχθύος (φυτοφάγο, σαρκοφάγο, παμφάγο) και επιπλέον την πεπτική ικανότητά του (Papoutsoglou and Lyndon, 1998, 2004, Tramati et al., 2005, Debnath et al., 2007). Ο τύπος, η προέλευση και η ποσότητα των θρεπτικών συστατικών μπορούν να μεταβάλουν το ενζυμικό προφίλ ή/και την συγκέντρωση των ενζύμων στον πεπτικό σωλήνα. Αλλαγή όμως του προφίλ των πεπτικών ενζύμων με σταθερή την ποσότητα και την σύνθεση της τροφής είναι δείγμα της αντίδρασης των ιχθύων, ώστε να αντιμετωπίσουν τις υφισταμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η γνώση του τρόπου προσαρμογής του οργανισμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάλληλη επιλογή της τροφής (τύπος, ποσότητα), στις συνθήκες οξέος stress. Η πεπτική ικανότητα των ενζύμων στους ιχθύς, ποικίλει μεταξύ των ειδών και μπορεί να επηρεάζεται τόσο από την ηλικία, και το στάδιο ανάπτυξης του ιχθύος, όσο από την ποσότητα και τη σύσταση της τροφής (Tramati et al., 2005, Debnath et al., 2007). Τα πεπτικά ένζυμα ορισμένες φορές φαίνεται να σχετίζονται με την ανάπτυξη του οργανισμού (Lemieux et al., 1999), ενώ σε άλλες δεν παίζουν κάποιο ρόλο (Blieer et al., 2002). Εξάλλου, πιστεύεται ότι σε ορισμένους ιχθύς, ο αυξημένος ρυθμός ανάπτυξης σχετίζεται με την καλύτερη χρήση των λιπιδίων ως πηγή ενέργειας (Company et al., 1999).

Σε ότι αφορά την δραστηριότητα των πρωτεασών στα διάφορα τμήματα του πεπτικού σωλήνα, η ενεργότητα της πεψίνης παρουσιάστηκε υψηλότερη κατά το οξύ stress, που συμφωνεί με τα αποτελέσματα που έχουν αναφερθεί στην πέρκα *Sander canadensis* στο είδος *Lota lota* (Kuzmina, 2000). Η πεψίνη είναι το κύριο πεπτικό ένζυμο του στόμαχου που δραστηριοποιείται για την πέψη μέσω της υδρόλυσης και μετουσίωσης των πρωτεϊνών (Lemieux et al., 1999). Η σύσπαση του στόμαχου, που παρατηρήθηκε, δεν αποκλείεται να ευθύνεται για την εμφανιζόμενη αύξηση αυτής της

τιμής κατά το οξύ stress. Στο συμπέρασμα αυτό οδηγεί το γεγονός ότι στην προκείμενη περίπτωση, η μείωση του βάρους του στομάχου αφορά κυρίως απώλεια υγρασίας, εφόσον είχε προηγηθεί σαρανταοκτώωρη ασιτία.

Στην περιοχή των πυλωρικών τυφλών παρατηρείται μια αύξηση της ενεργότητας των καρβοξυπεπτιδασών και αμινοπεπτιδασών (pH = 10), αναγμένες ανά πρωτεϊνικό περιεχόμενο κατά το οξύ stress, γεγονός που δεν αποκλείεται να συνδέεται με την σύσπαση που παρατηρήθηκε στο τμήμα αυτό του πεπτικού σωλήνα. Η μη διαφοροποίηση της απόλυτης τιμής της ενεργότητας συνηγορεί σε μια τέτοια υπόθεση. Όσον αφορά την πεπτική ικανότητα των πυλωρικών τυφλών, μια παρόμοια κατάσταση παρουσιάζεται τόσο για τη θρυψίνη και τη χυμοθρυψίνη (pH = 7), όσο και για τις καρβοξυπεπτιδάσες και τις αμινοπεπτιδάσες (pH = 10) κατά την αλληλεπίδραση των δυο επεμβάσεων. Σε όλες σχεδόν τις ομάδες πρωτεασών παρατηρείται αυξημένη πεπτική ικανότητα στους μάρτυρες του λευκού και μια χαμηλότερη στους μάρτυρες του κυανού φάσματος. Η διαφοροποίηση της πεπτικής ικανότητας που εμφανίζεται μεταξύ των μαρτύρων, ενδεχομένως να αποτελεί προσαρμογή βελτίωσης της πέψης σε καταστάσεις δυσχερούς διαβίωσης, παρουσιάζοντας αυξημένη πεπτική ικανότητα για τη βελτιστοποίηση της αξιοποίησης της τροφής με σκοπό την κάλυψη των αναγκών των ιχθύων σε πρωτεΐνες. Η αυξημένη παρουσία των πρωτεασών υπό το λευκό φάσμα πιθανόν να παραπέμπει είτε σε περιορισμένη ικανότητα αξιοποίησης των πρωτεϊνών της τροφής, είτε στην απαίτηση μεγαλύτερων ποσοτήτων πρωτεϊνών υπό αυτές τις συνθήκες. Αυξημένες τιμές ενεργότητας και πεπτικής ικανότητας των πρωτεασών διαπιστώθηκαν κατά τη σίτιση ατόμων του σαρκοφάγου είδους *Anarhichas minor*, με τροφή χαμηλότερου επιπέδου πρωτεΐνης σε σύγκριση με άλλα, που διατρεφόταν με υψηλότερα επίπεδα (Papoutsoglou and Lyndon, 2006). Η αντίθετη εικόνα εμφανίζεται στην περίπτωση του κυανού φάσματος, όπου η χαμηλότερη πεπτική ικανότητα των πρωτεασών ήταν μάλλον επαρκής, για την κάλυψη των αναγκών σε πρωτεΐνες. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί σε άτομα λαβρακιού κατά τη χρήση κυανού και λευκού φάσματος φωτός (Παπαδάτου, 2007). Κατά την επίδραση stress παρατηρείται μια αύξηση της πεπτικής ικανότητας των πυλωρικών τυφλών των ιχθύων υπό το κυανό φάσμα, ενώ σε παρόμοια επίπεδα παραμένει η πεπτική ικανότητα στους ιχθύς υπό το λευκό φάσμα.

Η ποσοτική παρουσία και η ενεργότητα των καρβοϋδρασών στους σαρκοφάγους ιχθύς εξαρτάται από το είδος, το μέγεθος και την ηλικία των ιχθύων, την χημική σύσταση της τροφής, τη θερμοκρασία και την αλατοτητα του νερού εκτροφής, καθώς και από την τιμή του pH του αυλού του εντέρου (Παπουτσογλου, 2008). Το λαβράκι, όπως και άλλα σαρκοφάγα είδη παρουσιάζουν περιορισμένη δυνατότητα χρησιμοποίησης των απλών υδατανθράκων ως πηγή ενέργειας ενώ οι διατροφικές απαιτήσεις καλύπτονται από τροφές με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (Lanari et al., 1999, Peres and Oliva-Teles, 2002). Η επίδραση των επεμβάσεων στην πεπτική ικανότητα των καρβοϋδρασών (α -αμυλάσης και α -γλυκοσιδάσης), τόσο μεταξύ των τμημάτων, όσο και στο σύνολο του πεπτικού σωλήνα, είναι παρόμοια. Η πεπτική ικανότητα στους μάρτυρες εμφανίζεται, υψηλότερη στο λευκό σε σύγκριση με το κυανό φάσμα.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί για το λαβράκι κατά τη χρήση κυανού και λευκού φάσματος φωτός (Παπαδάτου, 2007). Η αυξημένη ενεργότητα που εμφανίζεται στο λευκό φάσμα, ενδεχομένως να είναι αποτέλεσμα διαφοροποίησης των απαραίτητων επίπεδων πρωτεϊνών για την κάλυψη των αναγκών του, ενώ στο κυανό φάσμα οι ανάγκες του οργανισμού φαίνεται να καλύπτονται με χαμηλότερα επίπεδα καρβουδρασών. Κατά την επίδραση οξέος stress, τόσο σε κάθε τμήμα του πεπτικού σωλήνα (πυλωρικά τυφλά, έντερο) όσο και στο σύνολό του, παρατηρείται μείωση της πεπτικής ικανότητας των καρβουδρασών στο λευκό φάσμα φωτός, ενώ στο κυανό φάσμα παραμένει αμετάβλητη. Η παραπάνω κατάσταση δεν αποκλείει το ενδεχόμενο ότι, στο λευκό φάσμα οι ήδη αυξημένες ανάγκες του οργανισμού σε υδατάνθρακες, κατά το stress να παρουσιάζουν περαιτέρω αύξηση, η οποία τελικά οδηγεί σε αδυναμία του οργανισμού να καλύψει τις ανάγκες σε καρβουδράσες, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται χαμηλότερες. Αύξηση της ενζυμικής δραστηριότητας των καρβουδρασών έχει παρατηρηθεί στα είδη *Abramis brama*, *Esox lucius* και *Sander canadensis* (Kusmina, 2000), κατά την εφαρμογή οξέος stress και αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στη διαφορετική ηθολογία διαβίωσης και διατροφής των παραπάνω ειδών.

Έχει διαπιστωθεί ότι, ο ρυθμός ανάπτυξης και ο συντελεστής εκμετάλλευσης της τροφής των σαρκοφάγων ιχθύων εξαρτάται από την ενζυμική δραστηριότητα των πρωτεασών και ιδιαίτερα την πεπτική ικανότητα της θρυψίνης και της χυμοθρυψίνης (pH = 7), διότι είναι απαραίτητη για την υποστήριξη της πρωτεϊνοσύνθεσης των ιστών (Lemieux et al., 1999, Blier et al., 2002). Η απουσία διαφοροποίησης στην ανάπτυξη και στην εκμετάλλευση της τροφής μεταξύ των ιχθύων διαφορετικού φάσματος, παρόλη την εμφάνιση αυξημένης ενζυμικής δραστηριότητας των πεπτικών ενζύμων, στο σύνολο τους και ιδιαίτερα των πρωτεασών στο λευκό φάσμα σε σχέση με το κυανό, υποδηλώνουν τις μεγαλύτερες ανάγκες συντήρησης των ιχθύων υπό το λευκό φάσμα. Σε ιχθύδια του σαρκοφάγου είδους *Paralichthys olivaceus* διαπιστώθηκε ότι, τα άτομα που υπέστησαν οξύ stress, εμφάνισαν αύξηση της ενεργότητας της θρυψίνης (Bolasina et al., 2006). Επίσης, τα αυξημένα επίπεδα χυμοθρυψίνης στο σολομό *Salmo salar* συνδύαστηκαν με την μειωμένη ανάπτυξη που παρατηρήθηκε (Rungruangsak-Torrissen et al., 2006).

Συμπερασματικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι, η χρήση του κυανού φάσματος φωτός αν και δεν παρουσίασε κάποια διαφοροποίηση στους δείκτες ανάπτυξης και εκμετάλλευσης της τροφής, εντούτοις τα αποτελέσματα της ενζυμικής δραστηριότητας των πεπτικών ενζύμων δεν αποκλείουν την διαφοροποίηση της ανάπτυξης σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Επίσης, η αναντιστοιχία των αποτελεσμάτων της κορτιζόλης και των υπόλοιπων δεικτών αντίδρασης του οργανισμού στο οξύ stress που ελέγχθηκαν, καθιστούν απαραίτητη τη διερεύνηση της πιθανής διαφοροποίησης του χρόνου εμφάνισης της μέγιστης συγκέντρωσης της κορτιζόλης στο αίμα και του χρόνου επαναφοράς της στα προ-stress επίπεδα, ώστε να κατανοηθεί η εμπλοκή του φάσματος φωτός στην αντίδραση των ιχθύων στο stress.

Εκτιμώντας την κατάσταση των ιχθύων τόσο πριν όσο και κατά την αντίδραση στο stress, μπορεί να ειπωθεί ότι η χρήση του κυανού φάσματος δεν προξενεί κάποια

αρνητική συνέπεια στον οργανισμό, ενώ οι μεταβολές ορισμένων δεικτών (τριακυλ-γλυκερίδια) αποτελούν ενδείξεις αυξημένης ετοιμότητας των ιχθύων για την αντιμετώπιση δυσμενών καταστάσεων. Η συνδυασμένη χρήση του φάσματος φωτός με την έντασή του και το χρώμα των εγκαταστάσεων εκτροφής ίσως καταλήξουν σε πιο ξεκάθαρα αποτελέσματα, εφόσον ο συνδυασμός των παραπάνω χαρακτηρίζουν τελικά το οπτικό περιβάλλον των ιχθύων, ενώ δεν αποκλείεται η χρήση φωτός παραπλήσιου μήκους κύματος με το κυανό (πράσινο ή ιώδες) να εμφανίσουν ανάλογα ή καλύτερα αποτελέσματα στην ανάπτυξη και στην αντίδραση στο stress.

BIBLIOGRAFIA

- A.O.A.C., (1984). Official Methods of Analysis, 14th edition, International Arlington, VA, USA.
- Adams C.E., Turnbull J.F., Bell A., Bron J.E., Huntingford F.A., (2007). Multiple determinants of welfare in farmed fish: stocking density, disturbance, and aggression in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64: 336-344.
- Alarcon F.J., Garcia-Carreno F.L., Navarrete del Toro M.A., (2001). Effect of plant protease inhibitors on digestive proteases in two fish species, *Lutjanus argentiventris* and *L. novemfasciatus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 24: 179–189.
- Almazan-Rueda P., Schrama J.W., Verreth J.A.J., (2004). Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *Aquaculture*, 231: 347–359.
- Amano M., Iigo M., Kitamura S., Amiya N., Yamamori K., (2006). Changes in melatonin binding sites under artificial light–dark, constant light and constant dark conditions in the masu salmon brain. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 144: 509–513.
- Ashley P. J., (2007). Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104: 199-235.
- Aguggini G., Beghelli V., Giulio L., (1991). Fisiologia degli animali domestici con elementi di etologia, Ed, Utet, Torino.
- Barahona-Fernandes M.H., (1979). Some effects of light intensity and photoperiod on the sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) reared at the Centre Oceanologique de Bretagne. *Aquaculture*, 17: 311-321.
- Barcellos L.J.G., Nicolaiewsky S., De Souza S.M.G., Lulhier F., (1999). Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.), previously exposed to chronic stress. *Aquaculture Research*, 30: 437-444.
- Barcellos L.J.G., Ritter F., Kreutz C.L., Da Silva L.B., Cericato L., Quevedo R.M., (2006). The color of illumination affects the stress response of jundiá (*Rhamdia quelen*, Quoy & Gaimard, Heptapteridae). *Ciência Rural, Santa Maria*, 36: 1249-1252.
- Barnabe G., (1990). Rearing bass and gilthead bream. In: Aquaculture, Vol. 2. Ellis Horwood series in aquaculture and fisheries support, English edition.

- Bayarri M.J., Madrid J.A., Sanchez-Vasquez F.J., (2002). Influence of light intensity, spectrum and orientation on sea bass plasma and ocular melatonin. *Journal Pineal Research*, 32: 34-40.
- Bayarri M.J., Rodriguez L., Zanuy S., Madrid J.A., Sanchez-Vazquez F.J., Kagawa H., Okuzawa K., Carrillo M., (2004). Effect of photoperiod manipulation on the daily rhythms of melatonin and reproductive hormones in caged European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *General and Comparative Endocrinology*, 136: 72–81.
- Beudet L., Browman H.I., Hawryshyn C.W., (1993). Optic nerve response and retinal structure in rainbow trout of different sizes. *Vision Research*, 33: 1739-1746.
- Begtashi I., Rodriguez L., Moles G., Zanuy S., Carrillo M., (2004). Long-term exposure to continuous light inhibits precocity in juvenile male European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). I. Morphological aspects. *Aquaculture*, 241: 539–559.
- Blaxter J.H.S., (1980). Vision and feeding of fishes. In: Bardach J.E., Magnuson J. J., May R.C., Reinhart J.M. (Eds), *Fish Behavior and Its Use in the Capture and the Culture of Fishes*. ICLARM Conference Proceedings 5, Manila, Philippines.
- Blier P.U., Lemieux H., Devlin R.H., (2002). Is the growth rate of fish set by digestive enzymes or metabolic capacity of the tissues? Insight from transgenic coho salmon. *Aquaculture*, 209: 379-384.
- Boeuf G. and Le Bail P.Y., (1999). Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, 177: 129-152.
- Bolasina S., Tagawa M., Yamashita Y., Tanaka M., (2006). Effect of stocking density on growth, digestive enzyme activity and cortisol level in larvae and juveniles of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 259: 432–443.
- Bowmaker J.K., (1990). Visual pigments of fishes. In *The Visual System of Fish* (eds. Douglas R.H., Djamgoz M.B.A.) Chapter 4. Chapman and Hall Ltd, London.
- Bozzano A., (2003). Vision in the rufus snake eel, *Ophichthus rufus*: adaptive mechanisms for a burrowing life-style. *Marine Biology*, 143: 167-174.
- Braithwaite V.A. and Boulcott P., (2007). Pain perception and fear in fish. *Diseases in Aquatic Organisms*, 75: 131-138.
- Bridges C.D.B., (1990). Vision. In “*The Physiology of Fishes*” (ed. Evans D.H.) Second edition. CRC Press LLC.
- Bueno L. and Gue M., 1988. Evidence for the involvement of corticotrophin-releasing factor in the gastrointestinal disturbances induced by acoustic and cold stress in mice. *Brain Research*, 441: 1–4.

- Castro J.J. and Caballero C., (2004). Effect of the light intensity upon the agonistic behaviour of juvenile of white-seabream (*Diplodus sargus cadenati* de la Paz, Bauchot and Daget, 1974). *Aggressive Behavior*, 30: 313-318.
- Cerda-Reverter J.M., Zanuy S., Carrillo M., Madrid J.A., (1998). Time-Course Studies on Plasma Glucose, Insulin, and Cortisol in Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Held under Different Photoperiodic Regimes. *Physiology & Behavior*, 64: 245-250.
- Chandroo K.P., Duncan I.J.H., Moccia R.D., (2004). Can fish suffer?: perspectives on sentience, pain, fear and stress. *Applied Animal Behaviour Science*, 86: 225-250.
- Collin S.P. and Collin H.B., (1993). The visual system of the Florida garfish, *Lepisosteus platyrhincus* (Ginglymodi). *Retina. Brain, Behavior and Evolution*, 42: 77-97.
- Cummings M. and Partridge J., (2001). Visual pigments and optical habitats of surf-perch (Embiotocidae) in the California kelp forest. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 187: 875-889.
- Company R., Caldach-Giner J.A., Perez-Sanchez J., Kaushik J. S., (1999). Protein sparing effect of dietary lipids in common dentex (*Dentex dentex*): a comparative study with sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources*, 12: 23-30.
- Conte F.S., (2004). Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science*, 86: 205-223.
- Cui Y. and Wootton R. J., (1988). Effects of ration, temperature and body size on the body composition, energy content and condition of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.). *Journal of Fish Biology*, 32: 749-764.
- Dabrowski K. and Glogowski J., (1977). Studies on the role of exogenous proteolytic enzymes in digestion process in fish. *Hydrobiologia*, 54: 129-134.
- Daniels H.V., Berlinsky D.L., Hodson R.G., Sullivan C.V., (1996). Effects of stocking density, salinity and light intensity on growth and survival of Southern flounder *Paralichthys lethostigma*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27: 153-159.
- Debnath D., Pal A.K., Sahu N.P., Yengkokpam S., Baruah K., Choudhury D., Venkateshwarlu G., (2007). Digestive enzymes and metabolic profile of *Labeo rohita* fingerlings fed diets with different crude protein levels. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 146: 107-114.
- Denson M.R. and Smith T.I.J., (1997). Diet and light intensity effects on survival, growth and pigmentation of *Paralichthys lethostigma*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 28: 366-371.

- Di Marko P., Priori A., Finiona M.G., Massari A., Mandich A., Marino G., (2008). Physiological responses of European sea bass *Dicentrarchus labrax* to different stocking densities and acute stress challenge. *Aquaculture*, 275: 319 – 328.
- Doolan B.J., Booth M.A., Jones P.L., Allan G.L., (2007). Effect of cage colour and light environment on the skin colour of Australian snapper *Pagrus auratus* (Bloch & Schneider, 1801). *Aquaculture Research*, 38: 1395-1403.
- Downing G., (2002). Impact of spectral composition on larval haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L., growth and survival. *Aquaculture Research*, 33: 251-259.
- Downing G. and Litvak M.K., (1999). The effect of photoperiod, tank colour and light intensity on growth of larval haddock. *Aquaculture International*, 7: 369–382.
- Downing G. and Litvak M.K., (2001). The effect of light intensity and spectrum on the incidence of first feeding by larval Haddock. *Journal of Fish Biology*, 59: 1566- 1578.
- Downing G. and Litvak M.K., (2002). Effects of light intensity, spectral composition and photoperiod on development and hatching of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) embryos. *Aquaculture*, 213: 265–278.
- Fernald R.D. and Wright S.E., (1985). Growth of the visual system in the African cichlid fish, *Haplochromis burtoni*. *Vision Research*, 25: 155-61.
- Fernandes M.O. and Volpato G.L., (1993). Heterogeneous Growth in the Nile Tilapia: Social Stress and Carbohydrate Metabolism. *Physiology & Behavior*, 54: 319-323.
- Firat K., Saka S., Coban D., (2003). The effect of light intensity on early life development of common dentex *Dentex dentex* (L. 1758) larvae. *Aquaculture Research*, 34: 727-732.
- Fox H.E., White S.A., Kao M.H., Fernald R.D., (1997). Stress and dominance in a social fish. *Journal of Neuroscience*, 17: 6463-9.
- Fratzer C., Dorr S., Neumeier C., (1994). Wavelength discrimination of the Goldfish in the Ultraviolet Spectral Range. *Vision Research*, 34: 1515-1520.
- Gamble S., Lindholm A.K., Endler J.A., Brooks R., (2003). Environmental variation and maintenance of polymorphism: the effect of ambient light spectrum on mating behaviour and sexual selection in guppies. *Ecology Letters*, 6: 463-472.
- Garrick T., Veiseh A., Sierra A., Weiner H., Taché Y., (1988). Corticotrophin-releasing factor acts centrally to suppress stimulated gastric contractility in the rat. *Regulatory Peptides*, 21: 173–181.
- Giri S.S., Sahoo S.K., Sahu B.B., Sahu A.K., Mohanty S.N., Mukhopadhyay P.K., Ayyappan S., (2002). Larval survival and growth in *Wallago attu* (Bloch and Schneider): Effects of light, photoperiod and feeding regimes. *Aquaculture*, 213: 151-161.

- Gruber S., (2002). The Visual System of Sharks: Adaptations and Capability. *Integrative and Comparative Biology*, 17: 453-469.
- Guerriero G., Di Finizio A., Ciarcia G., (2002). Stress-induced changes of plasma antioxidants in aquacultured sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 132: 205–211.
- Guthrie D.M. and Muntz W.R.A., (1993). Role of vision in fish behaviour. Behaviour of Teleost Fishes.
- Han D., Xie S., Lei W., Zhu X., Yang Y., (2005). Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Gunther). *Aquaculture*, 248: 299– 306.
- Hart P.R., Hutchinson W.G., Purser G.J., (1996). Effects of photoperiod, temperature and salinity on hatchery-reared larvae of the greenback flounder (*Rhombosolea timpirina* Gunther, 1862). *Aquaculture*, 144: 303-311.
- Hawryshyn C.W., (1998). Vision. The Physiology of Fishes. 2nd ed. Florida USA: CRC Press LLC.
- Head A.B. and Malison J.A., (2000). Effects of lighting spectrum and disturbance level on the growth and stress response of Yellow Perch *Perca flavescens*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 31: 73-80.
- Hemre G.I., Karlsen O., Eckhoff K., Tveit K., Mangor-Jensen A., Rosenlund G., (2004). Effect of season, light regime and diet on muscle composition and selected quality parameters in farmed Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture Research*, 35: 683-697.
- Herring P.J. and Cope C., (2005). Red bioluminescence in fishes: on the suborbital photophores of Malacosteus, Pachystomias and Aristostomias. *Marine Biology*, 148: 383-394.
- Hidalgo M.C., Urea E., Sanz A., (1999). Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture*, 170: 267-283.
- Hoglund E., Kolm N., Winberg S., (2001). Stress-induced changes in brain serotonergic activity, plasma cortisol and aggressive behavior in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) is counteracted by L-DOPA. *Physiology & Behavior*, 74: 381– 389.
- Huntingford F.A., Adams C., Braithwaite V.A., Kadri S., Pottinger T.G., Sandoe P., Turnbull J.F., (2006). Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology*, 68: 332-372.
- Imsland A.K. and Jonassen T.M., (2005). The relation between age at first maturity and growth in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) reared at four different light regimes. *Aquaculture Research*, 36: 1-7.

- Iwama G.K., Afonso L.O.B., Vijayan M.M., (2004). Stress in Fish. AquaNet Workshop on Fish Welfare, Campbell River, B.C. Canada.
- Jeffery W.R., Strickler A.G., Yamamoto Y., (2003). To See or Not to See: Evolution of Eye Degeneration in Mexican Blind Cavefish. *Society for Integrative and Comparative Biology*, 43: 531-541.
- Jeffery W.R., (2005). Adaptive evolution of eye degeneration in the Mexican blind cavefish. *Journal of Heredity*, 96: 185–196.
- Jentoft S., Aastveit A.H., Torjesen P.A., Andersen O., (2005). Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Comparative Biochemistry and Physiology*, 141: 353 – 358.
- Jerlov N.G., (1970). Light-general introduction, *Marine ecology*, 1: 95-102.
- Jobling M., (1994). Fish Bioenergetics. Chapman and Hall, Fish and Fisheries Series 13.
- Jobling M., (1996). Environmental biology of fishes. Chapman and Hall, Fish and Fisheries Series 16.
- Kandel E.R., Schwartz J.H., Jessel T.M., (1998). From Vision. In: Evans D.H. The Physiology of fishes, CRC press, Boca Raton New York.
- Karakatsouli N, Papoutsoglou S. E., Pizzonia G., Tsatsos G., Tsopelakos A., Chadio S., Kalogiannis D., Dalla C., Polissidis A., Papadopoulou-Daifoti Z., (2007). Effects of light spectrum on growth and physiological status of gilthead seabream *Sparus aurata* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions. *Aquaculture engineering*, 36: 302-309.
- Karakatsouli N., Papoutsoglou, S.E., Panopoulos, G., Papoutsoglou, E.S., Chadio, S., Kalogiannis, D., (2008). Effects of light spectrum on growth and stress response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions. *Aquaculture Engineering*, 38: 36- 42.
- Kawamura G. and Kishimoto T., (2002). Color vision, accommodation and visual acuity in the largemouth bass. *Fisheries Science*, 68: 1041-1046.
- Kelber A., (2002). Pattern discrimination in a hawkmoth: Innate preferences, learning performance and ecology. *Proceedings of the Royal Society London B*, 269: 2573-2577.
- Kobayashi R., Endo M., Yoshizaki G., Takeuchi T., (2002). Sensitivity of tilapia to infrared light measured using a rotating striped drum differs between two strains. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 68: 646-651.
- Korkut A.Y., Saka S., Firat K., (2006). The effects of different light intensities on early life development of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*, Cetti, 1777) Larvae. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 30: 381-387.

- Krakenes R., Hansen T., Stefansson S.O., Taranger G.L., (1991). Continuous light increases growth rate of Atlantic salmon *Salmo salar* L. postsmolts in sea cages. *Aquaculture*, 95: 281–287.
- Kusmika and Gualtieri, (2000). Morphology and spectral sensitivities of retinal and extraretinal photoreceptors in freshwater teleosts. *Micron*, 31: 183–200.
- Kuzmina V.V., (2000). Hormonal Regulation of Metabolism and Processes of Exotrophy in Fish. Polyfunctionality and Polypotentiality (Review). *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 36: 670-684.
- Kuzmina V.V., Garina D.V., Yablochkina E.V., (2003). Effect of Adrenaline on Amylolytic Activity of the Intestinal Mucosa, Glycemia Level, and Glycogen Concentration in Tissues of the Golden Carp *Carassius auratus* and Crucian Carp *Carassius carassius*. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 39: 184-189.
- Lanari D., Poli B.M., Ballestrazzi R., Lupi P., D' Agaro E., Mecatti M., (1999). The effects of dietary fat and NFE levels on growing European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Growth rate, body and fillet composition, carcass traits and nutrient retention efficiency. *Aquaculture*, 179: 351-364.
- Lemieux H., Blier P., Dutil J. D., (1999). Do digestive enzymes set a physiological limit on growth rate and food conversion efficiency in the Atlantic cod (*Gadus morhua*)? *Fish Physiology and Biochemistry*, 20: 293-303.
- Loew E. and Sillman, A., (1998). An action spectrum for the light independent inhibition on swimming behavior in newly hatched white sturgeon (*Acipenser transmontannus*). *Vision Research*, 38: 111-114.
- Loukashkin A.S. and Grant N., (1959). Behavior and reactions of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea* (Girard), under the influence of white and colored lights and darkness. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 29: 509-548.
- Lowry O.H., Rosebrough N. J., Farr A.L., Randall R.J., (1951). Protein measurement with the Folin-Phenol reagents. *Journal of Biological Chemistry*, 193: 265-275.
- Luchiari A. C. and Freire F. A. M., (2009). Effects of environmental colour on growth of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), maintained individually or in groups. *Journal of Applied Ichthyology*, 25: 162–167.
- Lythgoe J.N., (1979). The Ecology of vision, Clarendon Press, Oxford. In “The Physiology of Fishes” (ed. Evans D.H.) Second edition. CRC Press LLC (1998).
- MacIntosh K.E. and Duston J., (2007). Effect of light intensity and eye development on prey capture by larval striped bass *Morone saxatilis*. *Journal of Fish Biology*, 71: 725–736.

- Mani-Ponset L., Diaz J.P., Divanach-Kentouri M., Connes R., (1993). Retina structure and visual capacities related with trophic habits in adult sea-bass (*Dicentrarchus labrax*) and through its development. *European Aquaculture Society, Special Publication*, 18: 359-372.
- Marchesan M., Spoto M., Verginella, L., Ferrero E., (2005). Behavioral effects of artificial light on fish species of commercial interest. *Fisheries Research*, 73: 171-185.
- Marino G., Di Marco P., Mandich A., Finoia M.G., Cataudella S., (2001). Changes in serum cortisol, metabolites, osmotic pressure and electrolytes in response to different blood sampling procedures in cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Journal of Applied Ichthyology*, 17: 115–120.
- Matsuda K., Torisawa S., Hirashi T., Nashimoto K., Yamamoto K., (2005). Visual acuity and spectral sensitivity of the elkhorn sculpin *Alcichthys alcicornis*. *Fisheries Science*, 71: 1136-1142.
- Mazur M.M. and Beauchamp D.A., (2003). A comparison of visual prey detection among species of piscivorous salmonids: effects of light and low turbidities. *Environmental Biology of Fishes*, 67: 397–405.
- Molnár T., Hancz Cs, Bódis M., Müller T., Bercsényi M., Horn P., (2004). The effect of initial stocking density on growth and survival of pike-perch fingerlings reared under intensive conditions. *Aquaculture International*, 12: 181–189.
- Mommsen T.P., Vijayan M.M., Moon T.W., (1999). Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9: 211–268.
- Moyle P.B. and Cech J.J., (2004). *Fishes, an introduction to ichthyology*, Prentice Hall.
- Munk O., (1999). The escal photophore of ceratioids (Pisces; Ceratioidei) - a review of structure and function. *Acta Zoologica* 80: 265-284.
- Naor A., Segev N., Bressler K., Peduel A., Hadas E., Ron B., (2003). The influence of the pineal organ and melatonin on the reproductive system and of light intensity and wavelength on melatonin in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Journal of Aquaculture*, 55: 230.
- Natalia Y., Hashim R., Ali A., Chong A., (2004). Characterization of digestive enzymes in a carnivorous ornamental fish, the Asian bony tongue *Scleropages formosus* (Osteoglossidae). *Aquaculture*, 233: 305-320.
- Noble C., Mizusawa K., Tabata M., (2005). Does light intensity affect self-feeding and food wastage in group-held rainbow trout and white-spotted charr? *Journal of Fish Biology*, 66: 1387–1399.

- Nolan D.T., Spanings F.A.T., Ruane N.M., Hadderingh R.H., Jenner H.A., Wendelaar Bonga S.E., (2003). Exposure to Water from the Lower Rhine Induces a Stress Response in the Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45: 247–257.
- Novales Flamarique I. and Hawryshyn C.W., (1998). The common white sucker (*Catostomus commersoni*): A fish with ultraviolet sensitivity that lacks polarization sensitivity. *Journal of Comparative Physiology A*, 182: 331-341.
- Oliva-Teles A., (2000). Recent advances in European sea bass and gilthead sea bream nutrition. *Aquaculture*, 8: 477-492.
- Oliveira C., Ortega A., López-Olmeda J.F., Vera L.M., Sánchez-Vázquez F.J., (2007). Influence of Constant Light and Darkness, Light Intensity, and Light Spectrum on Plasma Melatonin Rhythms in Senegal Sole. *Chronobiology International*, 24: 615 – 627.
- Olsen R.E., Sundell K., Hansen T., Hemre G.I., Myklebust R., Mayhew T.M., Ringo E., (2003). Acute stress alters the intestinal lining of Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: An electron microscopical study. *Fish Physiology and Biochemistry*, 26: 211–221.
- Olsen R.E., Sundell K., Mayhew T.M., Myklebust R., Ringo E., (2005). Acute stress alters intestinal function of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture*, 250 480– 495.
- Oppedal F., Taranger G.L., Hansen T., (2003). Growth performance and sexual maturation in diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in seawater tanks exposed to continuous light or simulated natural photoperiod. *Aquaculture*, 215: 145–162.
- Ounais-Guschemann N., (1989). Definition d'un modele d'elevage larvaire intensif pour la daurade, *Sparus auratus*. Thèse de doctorat de l' Université d'Aix-Marseille II.
- Papoutsoglou E.S. and Lyndon A.R., (1998). Comparisons between the digestive carbohydrases in two Mediterranean fish species, the herbivore *Sparisoma cretense* and the carnivore *Uranoscopus scaber*. *VIII International Symposium on Fish Physiology, Toxicology and Water Quality*, 15-18, Uppsala, Sweden.
- Papoutsoglou E.S. and Lyndon A.R., (2004). Digestive carbohydrase activity and capacity along the digestive tract of carnivorous and herbivorous aquaculture species. *European Aquaculture Society Special Publication*, No. 34.
- Papoutsoglou E.S. and Lyndon A.R., (2005). Effect of incubation temperature on carbohydrate digestion in important teleosts for aquaculture. *Aquaculture Research*, 36: 1252-1264.

- Papoutsoglou E.S. and Lyndon A.R., (2006). Digestive proteases and carbohydrases along the alimentary tract of the stargazer, *Uranoscopus scaber* L. *Mediterranean Marine science*, 7: 5-14.
- Papoutsoglou S.E., (2005). Stress factors affecting production in intensive and super-intensive rearing systems in finfish culture. *Animal Science Review*, 33: 71-80.
- Papoutsoglou S.E., Miliou H., Chadio S., Karakatsouli N., Zarkada A., (1999). Studies on stress responses and recovery from removal in gilthead sea bream *Sparus aurata* (L.) using recirculated seawater system. *Aquacultural Engineering*, 21: 19-32.
- Papoutsoglou S.E., Karakatsouli N., Koustas P., (2005). Effects of dietary L-tryptophan and lighting conditions on growth performance of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles reared in a recirculating water system. *Journal of Applied Ichthyology*, 21: 520-524.
- Papoutsoglou S.E., Karakatsouli N., Batzina A., Papoutsoglou E.S., Tsopeidakis A., (2008). Effect of music stimulus on gilthead seabream *Sparus aurata* physiology under different light intensity in a re-circulating water system. *Journal of Fish Biology*, 73: 980-1004.
- Parkyn D.C. and Hawryshyn C.W., (1993). Polarized-light sensitivity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Comparative Physiology*, 172: 493-500.
- Peres H. and Oliva-Teles A., (2002). Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 205: 287-299.
- Petrell R.J. and Ang K.P., (2001). Effects of pellet contrast and light intensity on salmonid feeding behaviours. *Aquacultural Engineering*, 25: 175-186.
- Planas J., Gutierrez J., Fernandez J., Carrillo M., Canals P., (1990). Annual and daily variations of plasma cortisol in sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. *Aquaculture*, 91: 171-178.
- Pottinger T.G., (2006). Context dependent differences in growth of two rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) lines selected for divergent stress responsiveness., *Aquaculture*, 256: 140-147.
- Pottinger T.G. and Carrick T.R., (1999). A comparison of plasma glucose and plasma cortisol as selection markers for high and low stress-responsiveness in female rainbow trout. *Aquaculture*, 175: 351-363.
- Prabhu R., Anup R., Balasubramanian K.A., (2000). Surgical stress induces phospholipid degradation in the intestinal brush border membrane. *Journal of Surgical Research*, 94: 178-184.
- Puvanendran V. and Brown J.A., (2002). Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquaculture*, 214: 131-151.

- Reid S.G., Bernier N.J., Perry S.F., (1998). Review. The adrenergic stress response in fish: control of catecholamine storage and release *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 120: 1–27.
- Ridha M.T. and Cruz E.M., (2000). Effect of light intensity and photoperiod on Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. seed production. *Aquaculture Research*, 31: 609-617.
- Rodriguez A. and Gisbert E., (2001). Morphogenesis of the eye of Siberian sturgeon. *Journal of Fish Biology*, 59: 1427-1429.
- Rodriguez L., Begtashi I., Zanuy S., Carrillo M., (2005). Long-term exposure to continuous light inhibits precocity in European male sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.): hormonal aspects. *General and Comparative Endocrinology*, 140: 116–125.
- Roche H. and Boge G., (1996). Fish Blood Parameters as a Potential Tool for Identification of Stress Caused by Environmental Factors and Chemical Intoxication. *Marine Environmental Research*, 41: 27-43.
- Roncarati A., Melotti P., Dees A., Mordenti O., Angellotti L., (2006). Welfare status of cultured seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) and seabream (*Sparus aurata* L.) assessed by blood parameters and tissue characteristics. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 225-234.
- Rosenthal H., Andjus R., Kruner G., (1981). Daily variations of water quality parameters under intensive culture conditions in a recycling system. Proceedings of the World Symposium. *Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation Systems*, 1: 113–120.
- Rotllant J., Ruane N.M., Caballero M.J., Montero D., Tort L., (2003). Response to confinement in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) is characterised by an increased biosynthetic capacity of interrenal tissue with no effect on ACTH sensitivity. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 136: 613-620.
- Ruane N.M., Carballo E.C., Komen J., (2002^a). Increased stocking density influences the acute stress response of common carp *Cyprinus carpio* (L.). *Aquaculture Research*, 33: 777-784.
- Ruane N.M., Huisman E.A., Komen J., (2002^b). The influence of feeding history on acute stress response of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 210: 245-257.
- Ruchin A.B., (2001). Some peculiarities of the fish young growth under lightgradient conditions. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 37: 312- 313.
- Ruchin A.B., (2004). Influence of colored light on growth rate of juveniles of fishes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 30: 175-178.

- Rungruangsak-Torrissen K., Moss R., Andresen L.H., Berg A., Waagbo R., (2006). Different expressions of trypsin and chymotrypsin in relation to growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Fish Physiology and Biochemistry*, 32: 7–23.
- Santulli A., Modica A., Messina C., Ceffa L., Curatolo A., Rivas G., Fabi G., D'Amelio V., (1999). Biochemical Responses of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.) to the Stress Induced by Off Shore Experimental Seismic Prospecting. *Marine Pollution Bulletin*, 38: 1105-1114.
- Sammouth S., Orbcastel E.R., Gasset E., Lemarie G., Breuil G., Marino G., Coeurdacier J.L., Fivelstad S., Blancheton J.P., (2009). The effect of density on sea bass (*Dicentrarchus labrax*) performance in a tank-based recirculating system. *Aquacultural Engineering*, 40: 72–78.
- Santos J., Benjamin M., Yang P.C., Prior T., Perdue, M.H., (2000). Chronic stress impairs rat growth and jejunal epithelial barrier function: role of mast cells. *American Journal of Physiology. Gastrointestinal and Liver Physiology*, 278: 847–854.
- Saunders P.R., Kosecka U., McKay D.M., Purdue M.H., (1994). Acute stressors stimulate ion secretion and increase epithelial permeability in rat intestine. *American Journal of Physiology. Gastrointestinal and Liver Physiology*. 30: 794–799.
- Schjolden J., Pulman K.G.T., Pottinger T.G., Tottmar O., Winberg S., (2006). Serotonergic characteristics of rainbow trout divergent in stress responsiveness. *Physiology & Behaviour*, 87: 938-947.
- Sebert P. and Barthelemy L., (1985). Effects of high hydrostatic pressure per se, 101 atm on eel metabolism. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 78: 719-722.
- Sengupta A. and Sharma R.K., (1993). Acute heat stress in growing rats: Effect on small intestinal morphometry and in vivo absorption. *Journal of Thermal Biology*, 18: 145–151.
- Sheridan M.A., (1993). Regulation of lipid metabolism in poikilothermic vertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 107: 495-508.
- Sloman K.A., Motherwell G., O' Connor K.I., Taylor A.C., (2000). The effect of social stress on the Standard Metabolic Rate (SMR) of brown trout, *Salmo trutta*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 23: 49–53.
- Simontacchi C., Poltronieri C., Carraro C., Bertotto D., Xiccato G., Trocino A., Radaelli G., (2008). Alternative stress indicators in sea bass *Dicentrarchus labrax*, L. *Journal of Fish Biology*, 72: 747–752.
- Smirnova O.G., (2006). Evolutionary changes of eyes of some bottom species of Baikalian cottoid fishes. *Hydrobiologia*, 568: 219-223.

- Stefansson S.O. and Hansen T., (1989). The Effect of Spectral Composition in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and Subsequent Growth in Sea Cages. *Aquaculture*, 82: 155-162.
- Strand A., Alanara A., Staffan F., Magnhagen C., (2007). Effects of tank colour and light intensity on feed intake, growth rate and energy expenditure of juvenile Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L. *Aquaculture*, 272: 312–318
- Stryer L., (1997). Βιοχημεία. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- Sumpter J.P., (1992). Control of growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 100: 299-320.
- Szisch V., Van der Salm A.L., Wendelaar Bonga S.E., Pavlidis M., (2002). Physiological colour changes in the red porgy *Pargus pargus*, following adaptation to blue lighting spectrum. *Fish Physiology and Biochemistry*, 27: 1-8.
- Thetmeyer H., Waller U., Black K.D., Inselman S., Rosenthal H., (1999). Growth of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) under hypoxic and oscillating oxygen conditions. *Aquaculture*, 174: 355-367.
- Tian N.M. and Price D.J., (2005). Why cavefish are blind. *Bioessays*, 27: 235-8.
- Torisawa S., Takagi T., Fukuda H., Ishibashi Y., Sawada Y., Okada T., Miyashita S., Suzuki K., Yamane T., (2007). Schooling behaviour and retinomotor response of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* under different light intensities. *Journal of Fish Biology*, 71: 411–420.
- Tramati C., Savona B., Mazzola A., (2005). A study of the pattern of digestive enzymes in *Diplodus puntazzo* (Cetti, 1777) (Osteichthyes, Sparidae): evidence for the definition of nutritional protocols, *Aquaculture International*, 13: 1-2.
- Trenzado C.E., Morales A.E., Higuera M., (2006). Physiological effects of crowding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, selected for low and high stress responsiveness. *Aquaculture*, 258: 583–593.
- Turnbull J., Bell A., Adams C., Bron J., Huntingford F, (2005). Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. *Aquaculture*, 243: 121– 132.
- Utne-Palm A.C., (1999). The effect of prey mobility, prey contrast, turbidity and spectral composition on the reaction distance of *Gobisculus flavescens* to its planktonic prey. *Journal of Fish Biology*, 54: 1244–1258.
- Valdimarsson S.K. and Metcalfe N.B., (2001). Is the level of aggression and dispersion in territorial fish dependent on light intensity? *Animal Behaviour*, 61: 1143–1149.

- Van der Salm A.L., Nolan D.T., Wendelaar Bonga S.E., (2002). In vitro evidence that cortisol directly modulates stress-related responses in the skin epidermis of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Fish Physiology and Biochemistry*, 27: 9–18.
- Van der Salm A.L., Martinez M., Flik G., Wendelaar Bonga S.E., (2004). Effects of husbandry conditions on the skin colour and stress response of red porgy *Pagrus pagrus*. *Aquaculture*, 241: 371-386.
- Van der Salm A.L., Pavlidis M., Flik G., Wendelaar Bonga S.E., (2006). The acute stress response of red porgy, *Pagrus pagrus*, kept on a red or white background. *General and Comparative Endocrinology*, 145: 247–253.
- Varsamos S., (2002). Tolerance range and osmoregulation in hypersaline conditions in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82: 1047-1048.
- Varsamos S., Flik G., Pepin J.F., Wendelaar Bonga S.E., Breuil G., (2006). Husbandry stress during early life stages affects the stress response and health status of juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Fish & Shellfish Immunology*, 20: 83-96.
- Vazzana M., Cammarata M., Cooper E.L., Parinello N., (2002). Confinement stress in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) depresses peritoneal leukocyte cytotoxicity. *Aquaculture*, 210: 231-243.
- Vera L.M., Davie A., Taylor J.F., Migaud H., (2009). Differential light intensity and spectral sensitivities of Atlantic salmon, European sea bass and Atlantic cod pineal glands ex vivo. *General and Comparative Endocrinology*, xxx: xxx–xxx (in press).
- Villamizar N., García-Alcazar A., Sánchez-Vázquez F.J., (2009). Effect of light spectrum and photoperiod on the growth, development and survival of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Aquaculture*, 292: 80–86.
- Volpato G.L. and Barreto R.E., (2001). Environmental blue light prevents stress in the fish Nile tilapia. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 34: 1041-1045.
- Volpato G.L., Duarte C.R.A., Luchiari A.C., (2004). Environmental color affects Nile tilapia reproduction. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 37: 479-483.
- Vriend J., and Lauber L.K., (1973). Effects of light intensity, wavelength and quanta on gonads and spleen of deer mouse. *Nature*, 244: 37-38.
- Wallace J.C., Kolbeinshavn A., Aassjord D., (1988). Observations on the effect of light intensity on the growth of Arctic charr fingerlings *Salvelinus alpinus* and salmon fry *Salmo salar*. *Aquaculture*, 72: 81–84.

- Wang C., King W.V., Woods C., (2004). Physiological indicators of divergent stress responsiveness in male striped bass broodstock. *Aquaculture*, 232: 665-678.
- Wehner R. and Gehring W., (1997). Zoologia. Edizione prima italiana - ristampa, Zanichelli.
- Wilkens H. and Strecker U., (2003). Convergent evolution of the cavefish *Astyanax* (Characidae, Teleostei): genetic evidence from reduced eye-size and pigmentation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 80: 545-554.
- Wing-Keong N., Kim-Sun L., Hashim R., Ali A., (2000). Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. *Aquaculture International*, 8: 19-29.
- www.fao.org/fishery/culturedspecies/Dicentrarchus_labrax/en
- www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?id=63
- www.geo.auth.gr/courses/gge/gge768e/E_OCEAN_ALBANAKIS/PDF/_KEF_4_PHYSICOCHEMICAL_PROPERTIES_OF_WATER.pdf
- Xie D., Wang Z., Cao j., Dong Y., Chen Y., (2008). Effects of monochromatic light on proliferation response of spleenocyte in broilers. *Anatomia, histologia, embryologia*, 37: 332-337.
- Μουστάκα Γούνη Μ., (1997). Ωκεανογραφία. Μία βιολογική προσέγγιση. Εκδόσεις EXIN.
- Μπρέζας Α., (2008). Διερεύνηση της αλληλεπίδρασης του χρώματος φωτισμού και του επιπέδου διατροφής στην ανάπτυξη του είδους *Diplodus puntazzo*. Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής και Υδατοκαλλιεργειών. Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «εκτροφή υδρόβιων οργανισμών». Αθήνα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Μεταπτυχιακή διατριβή: 115.
- Νεοφύτου Χ.Ν., (1997). Ιχθυολογία. Θεσσαλονίκη, University Studio Press.
- Παπαδάτου Μ., (2007). Η επίδραση του χρώματος (μήκους κύματος) του φωτός στην ανάπτυξη νεαρών ατόμων λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*). Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής και Υδατοκαλλιεργειών. Αθήνα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Μεταπτυχιακή διατριβή: 131.
- Παπουτσόγλου Σ.Ε., (1997). Εφηρμοσμένη υδροβιολογία. Εισαγωγή στις υδατοκαλλιεργείες. Εκδόσεις Σταμούλη.
- Παπουτσόγλου Σ.Ε., (1998). Ενδοκρινολογία Ιχθύων. Αθήνα, Α. Σταμούλης.
- Παπουτσόγλου Σ.Ε., (2008). Διατροφή Ιχθύων. Αθήνα, Α. Σταμούλης.
- Πνευματικός Γ.Η., (1996). Ιχθυοτροφία και Ιχθυοπαθολογία. Θεσσαλονίκη-Αθήνα, Αδελφοί Κυριακίδη Α.Ε.
- Σμοκοβίτης Α., (2007). Φυσιολογία. Θεσσαλονίκη, Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη.

Φώτης Γ., (1999). Εκτροφή και παθολογία ιχθύων. Τόμος Α. Εκδόσεις Σύγχρονης Παιδείας, Θεσσαλονίκη.

Χώτος Γ. και Ρογδάκης Ι., (1992). Υδατοκαλλιέργειες ευρύαλων ψαριών, λαβράκι και τσιπούρα, τεχνικές της αναπαραγωγής και πάχυνσης. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.