



ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

με τίτλο

« Μελέτη οντογένεσης συμπεριφοράς λαβρακιού
Dicentrarchus labrax, (Linnaeus, 1758) ».



ΛΑΒΡΑΚΙΟ «Λάβραξ ο Λύκος», - ο ΒΑΣΙΛΙΑΣ των ψαριών!

Το λαβράκι έχει το καλύτερο κρέας και γι αυτό το λόγο αλλά και λόγο της ομορφιάς και της δύναμης του, το χαρακτηρίζουν ως τον βασιλιά των ψαριών!!

Νεοφύτου Μαρία

Ηράκλειο, 2015

Εξεταστική επιτροπή

Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Κρήτης: **Μαρουδιώ Κεντούρη**
(Κύρια Επιβλέπουσα)

Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης: **Ιωάννης Καρακάσης**

Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης: **Γεώργιος Κουμουνδούρος**
(μέλος της τριμελούς Επιτροπής Παρακολούθησης)

Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης: **Μιχάλης Παυλίδης**
(μέλος της τριμελούς Επιτροπής Παρακολούθησης)

Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης: **Νίκος Πουλακάκης**

Διευθυντής Ερευνών Ινστιτούτου Υδατοκαλλιεργειών Ελληνικού κέντρου
Θαλασσιών Ερευνών: **Pascal Divanach**

Κύριος Ερευνητής Ινστιτούτου Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων Ελληνικού
Κέντρου Θαλασσιών Ερευνών: **Στέλιος Σωμαράκης**

*Η παρούσα μελέτη χρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα με τίτλο
FASTFISH (Ref. 022720) on Farm Assessment of Stress level in FISH
(2006-2009).*

Στους γονείς μου Σάββα και Ανδρονίκη...

Πρόλογος

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος FASTFISH για την εκτίμηση του επιπέδου στρες στα ψάρια, όπου το πειραματικό κομμάτι πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Ιχθυοκαλλιεργειών του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών Κρήτης και στο Ενυδρείο Κρήτης «Θαλασσόκοσμος», ενώ η ανάλυση των δεδομένων έγινε στο εργαστήριο Υδατοκαλλιεργειών του Τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Η διατριβή αποτέλεσε για μένα μια πρόκληση μέσα από την οποία εξερεύνησα, έμαθα, συνεργάστηκα, εξοικειώθηκα με τον επιστημονικό τρόπο σκέψης, τις τεχνικές της έρευνας, τις δυσκολίες της, τις ιδιαιτερότητες της, τις «χαρές» της...Μέσα από μία πολύχρονη τριβή με έμπυχο αλλά και άψυχο υλικό έγινα πιο δυνατή, πιο «ανθεκτική» και πιο κριτική..Ο πολυδιάστατος κόσμος της έρευνας και η εξερεύνηση του ήταν για μένα μια πολύ ενδιαφέρουσα πτυχή που μου έδωσε τα εφόδια εκείνα που χρειάζεται πιστεύω κάποιος για να συνεχίσει πιο σίγουρος, πιο συνειδητοποιημένος και πιο εξοπλισμένος στο δρόμο της βαθύτερης σκέψης και αναζήτησης της επιστήμης!

Αρκέτες ήταν οι προκλήσεις και οι επιφυλάξεις από την αρχή, κατά την πορεία, αλλά και κατά την ολοκλήρωση αυτής της διατριβής..και πολλοί ήταν αυτοί που βρέθηκαν στο δρόμο μου..άλλοι συνοδοιπόροι από την αρχή, άλλοι περαστικοί..που όλοι όμως συνεισφέραν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό και για αυτό θα ήθελα να τους ευχαριστήσω!

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον άνθρωπο που μου έδωσε την δυνατότητα να πραγματοποιήσω την διδακτορική αυτή διατριβή και που ήταν δίπλα μου από την αρχή μέχρι το τέλος με αμέριστη συμπαράσταση, καθοδήγηση, εμπιστοσύνη, υπομονή και πολλά άλλα που δεν αποτυπώνονται σε λίγες γραμμές. Αυτός ο υπέροχος άνθρωπος και επιστήμονας είναι η καθηγήτρια μου κ. Μαρουδιώ Κεντούρη, η οποία αποτέλεσε για μένα πηγή

έμπνευσης και δύναμης από τα πρώτα βήματα της ερευνητικής μου πορείας κατά τα προπτυχιακά μου χρόνια. Ήταν απλά συγκινητική...

Θέλω στη συνέχεια να ευχαριστήσω τον σύζυγο της καθηγήτριας μου Δρ Divanach Pascal, ο οποίος πέρα από μέλος της επιταμελούς μου, Διευθυντής του Ινστιτούτου Ιχθυοκαλλιέργειών και του Ενυδρείου στις εγκαταστάσεις των οποίων έγινε η μελέτη, ήταν και ο επιβλέπων του πειραματικού κομματιού της έρευνας μου εκεί. Ο κύριος Pascal είναι ο ορισμός του ερευνητή για εμένα και θεωρώ μεγάλη τιμή που είχα την δυνατότητα να συνεργαστώ μαζί του και να μάθω τόσα πολλά δίπλα του. Είχε πάντα την λύση για όλα! Από το μικρότερο τεχνικό πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπίζα μέχρι τον πιο πολύπλοκο σχεδιασμό πειραμάτων..και σίγουρα καταλύτης στην πορεία της ολοκλήρωσης αυτών.

Ευχαριστώ τον αναπληρωτή καθηγητή και μέλος της τριμελούς μου συμβουλευτικής επιτροπής κ. Γιώργο Κουμουνδούρο για τις χρήσιμες παρατηρήσεις και υποδείξεις του κατά την συγγραφή και παρουσίαση της διατριβής. Ο κ. Κουμουνδούρος αποτελεί άλλο ένα πυλώνα της ερευνητικής μου πορείας με τον οποίο είχα την τύχη να συνεργαστώ από τα πρώτα βήματα της και ήταν ο άνθρωπος που προσπάθησε να μου μάθει τον επιστημονικό τρόπο σκέψης με την απίστευτη μεταδοτικότητα του και να με μάθει να πιστεύω στον εαυτό μου και τις δυνάμεις μου!

Ευχαριστώ τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Μιχάλη Παυλίδη και τρίτο μέλος της συμβουλευτικής μου επιτροπής για τις παρατηρήσεις κατά την πορεία της πραγματοποίησης αυτής της διατριβής και την γενική συμβολή του στην ολοκλήρωση της. Θερμές ευχαριστίες και στον καθηγητή κ. Ιωάννη Καρακάση και τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Νίκο Πουλακάκη για την συμμετοχή τους στην επιταμελή εξεταστική μου επιτροπή, την εποικοδομητική συζήτηση που είχαμε κατά τη διάρκεια της εξέτασής μου και την συνολική διάθεση τους.

Ιδιαίτερα δε ευχαριστώ τον Ερευνητή Α' ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Δρ Στέλιο Σωμαράκη και επίσης μέλος της επιταμελούς εξεταστικής μου επιτροπής, για τον οποίο τρέφω μεγάλη εκτίμηση και τον οποίο θεωρώ ένα εξαιρετο επιστήμονα και άνθρωπο. Τον ευχαριστώ θερμά για την συμβολή του στο κομμάτι της στατιστικής ανάλυσης. Ήταν πάντα στη διάθεση μου με το

αστείρευτο χιούμορ του να μετατρέπει την κατά τα άλλα δύσκολη ανάλυση σε μια ευχάριστη εμπειρία!

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον ερευνητή Δρ. Βασίλη Παπαδάκη για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την ανάλυση ενός μέρους των δεδομένων με την δημιουργία του λογισμικού XY quantifier. Την ερευνήτρια Δρ. Ασπασία Στεριώτη για την ευγενή παροχή των εγκαταστάσεων του Θαλασσόκοσμου και την γενική συμβολή της κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων εκεί. Τον φίλο και συνάδελφο Πετρούτσο Ιάσωνα για την συμμετοχή του στην ανάλυση των δεδομένων ενός μέρους της μελέτης. Τον ερευνητή Δρ. Νίκο Παπανδρουλάκη για την επίβλεψη των εκτροφών στα πλαίσια των πειραμάτων όπου διεξήχθησαν στις εγκαταστάσεις του Ινστιτούτου Ιχθυοκαλλιεργειών του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Ένα τεράστιο ευχαριστώ και σε όλο το τεχνικό προσωπικό του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε και του Ενυδρείου Κρήτης που παρόλο τον φόρτο εργασίας τους έβρισκαν πάντα χρόνο για να με εξυπηρετήσουν και να με βοηθήσουν σε ό,τι χρειαζόμουν αλλά και για το ευχάριστο κλίμα που φρόντιζαν να δημιουργούν. Ευχαριστώ λοιπόν, τους Νομικό Νικόλα, Στεφανάκη Στέλιο, Κοπιδάκη Νίκο, Σέκερη Νικόλαο, Σφακάκη Ευσεβεία, Παπαδάκη Μαρία, Συγγελάκη Ειρήνη, Βαρδάνη Γιώργο, Χρύσα Δόξα και Παπαδάκη Γιάννη. Απολογούμαι αν ξεχνάω κάποιον...Ευχαριστώ επίσης τον Μίλτο Δαμιανάκη για την παροχή και το στήσιμο του εξοπλισμού καταγραφής, αλλά και την προθυμία του να τον επιδιορθώνει όποτε είχε πρόβλημα ακόμα και τα μαύρα μεσάνυχτα..Του χρωστάω ένα κιλό χαλλούμια είπαμε!!

Δική του παράγραφο ευχαριστιών απέκτησε δικαίως ο ερευνητής του εργαστηρίου Ιχθυοκαλλιεργειών του Πανεπιστημίου Κρήτης Δρ Δημήτρης Σφακιανάκης παρόλο που δεν είχε συμμετοχή στην μελέτη. Οι λόγοι καθαρά συναισθηματικοί μιας και ο Δημήτρης ήταν αυτός που με «μύησε» στον κόσμο των ψαριών ως προπτυχιακή φοιτήτρια και πάντα θα λαμβάνει τις ευχαριστίες μου γι αυτό. Επίσης, ως πιο «παλιός» ο Δημήτρης με βοήθησε δίνοντας μου συμβουλές για διάφορα θέματα που με απασχολούσαν κατά καιρούς στην πορεία της διατριβής μου.

Πίσω από κάθε εργασία υπάρχουν αφανείς αλλά σημαντικότεροι άνθρωποι. Και για μένα αυτοί οι αφανείς ήρωες ήταν και συνεχίζουν να είναι

οι γονείς μου! Σε αυτούς χρωστάω το τι είμαι σήμερα και για το ότι έχω καταφέρει. Τους ευχαριστώ για την συνεχή συμπαράσταση τους, οικονομική και ηθική, την ανεξάντλητη υπομονή τους αλλά κυριώς για την πίστη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια..Ότι και να πω θα ήταν λίγο και δεν αποτυπώνεται εύκολα στο χαρτί.

Τέλος, ευχαριστώ όσους με βοήθησαν με τον οποιοδήποτε τρόπο, και σε όσους πίστεψαν στις δυνάμεις μου..

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Κεφάλαιο 1. Γενική Εισαγωγή

1.1. Περιληπτική σύνοψη	2
1.2. Abstract	3
1.3. Υδατοκαλλιέργεια - Ιχθυοκαλλιέργεια	4
1.4. Οντογένεση συμπεριφοράς ιχθύων	5
1.5. «Ευζωία» (Welfare), συμπεριφορά, στρες	11
1.6. Υπόθεση και στόχοι παρούσας μελέτης	17
1.7. Γενικό περίγραμμα μελέτης	18

Κεφάλαιο 2. Οντογένεση συμπεριφοράς λαβρακιού σε δύο διαφορετικά συστήματα εκτροφής (εντατική και μεσοκόσμου)

2.1. Περίληψη	21
2.2. Εισαγωγή	25
2.3. Υλικά και Μέθοδοι	
2.3.1. Εντατική μέθοδος εκτροφής	27

2.3.2. Εκτροφή με την μέθοδο του Μεσοκόσμου (ή ημιεντατική μέθοδος)	30
2.3.3. Συλλογή και ανάλυση δεδομένων	33
2.4. Αποτελέσματα	
2.4.1. Εντατική μέθοδος εκτροφής	
➤ Λεκθοφόρο νυμφικό στάδιο (Αυτότροφο)	
2.4.1.1. Γενική Συμπεριφορά	46
2.4.1.2. Μέτρηση Αδράνειας έναντι Ενεργητικότητας	52
➤ Νυμφικό στάδιο (Ετερότροφο)	
2.4.1.3. Γενική Συμπεριφορά	55
2.4.1.4. Συμπεριφορά κολύμβησης	
2.4.1.4.α) Εξέλιξη της ταχύτητας κολύμβησης	55
2.4.1.4.β) Εξέλιξη του προσανατολισμού/κατεύθυνσης κολύμβησης	58
2.4.2: Μέθοδος μεσοκόσμου	
➤ Λεκθοφόρο νυμφικό (Αυτότροφο)	
2.4.2.1. Γενική Συμπεριφορά	65
2.4.2.2. Μέτρηση Αδράνειας έναντι Ενεργητικότητας	70
➤ Νυμφικό στάδιο (Ετερότροφο)	
2.4.2.3. Γενική Συμπεριφορά	73
2.4.2.4. Συμπεριφορά κολύμβησης	74

2.4.2.4.α) Εξέλιξη της ταχύτητας κολύμβησης	74
2.4.2.4.β) Εξέλιξη του προσανατολισμού/κατεύθυνσης κολύμβησης	77
2.4.3. Συμπεριφορά τροφοληψίας (σε εντατική εκτροφή και εκτροφή μεσοκόσμου)	84
2.4.4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων εκτροφής ως προς την οντογένεση της συμπεριφοράς	
2.4.4.1. Αυτότροφη φάση	92
2.4.4.2. Ετερότροφη φάση	94
2.5. Συζήτηση	96

Κεφάλαιο 3. Μελέτη συμπεριφοράς ιχθυδίων λαβρακιού στη φάση της προπάχυνσης

3.1. Περίληψη	107
3.2. Εισαγωγή	109
3.3. Υλικά και Μέθοδοι	111
3.4. Αποτελέσματα	

3.4.1. Μεταφορά ιχθυδίων σε δεξαμενές διαφορετικού χρώματος υπόβαθρου	114
3.4.2. Εισαγωγή σιφωνίου, μείωση όγκου νερού και ταυτόχρονο ψάρεμα για διαλογή (sorting)	125
3.4.3. Επίδραση ιχθυοφόρτισης στο κοπάδιασμα	127
3.5. Συζήτηση	128

Κεφάλαιο 4. Μελέτη συμπεριφοράς ιχθυδίων λαβρακιού σε πιθανά στρεσογόνα περιβάλλοντα.

4.1. Περίληψη	135
4.2. Εισαγωγή	137
4.3. Υλικά και Μέθοδοι	
4.3.1. Πειραματικός σχεδιασμός	141
4.3.2. Συλλογή δεδομένων	145
4.3.3. Ανάλυση δεδομένων	
4.3.3.1. Μελέτη της κατανομής των ιχθυδίων	146
4.3.3.2. Προσδιορισμός συμπεριφορών προσαρμογής ή κακής υγείας: πρότυπα έκφρασης μη φυσιολογικής συμπεριφοράς	148

4.4. Αποτελέσματα	
4.4.1. Εξέλιξη των διάφορων πληθυσμών	149
4.4.2. Κατανομή ιχθυδίων στο διοδιάστατο πεδίο (κατακόρυφη και οριζόντια κατανομή).....	153
4.4.3. Προσδιορισμός συμπεριφορών προσαρμογής ή κακής υγείας: πρότυπα έκφρασης μη φυσιολογικής συμπεριφοράς	160
4.5. Συζήτηση	176
Κεφάλαιο 5. Γενικά συμπεράσματα	187
Βιβλιογραφία	201

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΔΟΥΣ

Βασίλειο:	Ζώα (<i>Animalia</i>)
Συνομοταξία:	Χορδωτά (<i>Chordata</i>)
Ομοταξία:	Ακτινοπτερύγια (<i>Actinopterygii</i>)
Τάξη:	Περκόμορφα (<i>Perciformes</i>)
Οικογένεια:	Μορονίδες (<i>Moronidae</i>)
Γένος:	<i>Δικέντραρχος</i> (<i>Dicentrarchus</i>)
Είδος:	<i>D. labrax</i>

Διώνυμο

Dicentrarchus labrax

(Λινναίος, 1758)

Κεφάλαιο 1



Η εικόνα ενός ψαρά, όπως εμφανίζεται σε Μινωική τοιχογραφία που ανακαλύφθηκε στο νησί Θήρα, και χρονολογείται από τον 16^ο αιώνα π.Χ. (-πηγή: διαδίκτυο, <http://peripluscd.wordpress.com>).

Γενική εισαγωγή.

1.1 Περιληπτική σύνοψη

Η μελέτη της συμπεριφοράς και η οντογένεση της μπορεί να αποκαλύψει τις σχέσεις μεταξύ του ζώου και του περιβάλλοντος του, και να κατευθύνει τον άνθρωπο στην επιλογή των καταλληλότερων συνθηκών διαβίωσης και εκτροφής προκειμένου να εξασφαλιστεί η ευζωία των «αιχμάλωτων» ψαριών. Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στην συγκριτική περιγραφή της οντογένεσης της συμπεριφοράς κολύμβησης και διατροφής του εκτρεφόμενου λαυρακιού υπό δύο διαφορετικές συνθήκες εκτροφής: εντατική μέθοδος και μέθοδος μεσοκόσμου. Η μελέτη της οντογένεσης πραγματοποιήθηκε από τα προνυμφικά στάδια του λαυρακιού μέχρι και την φάση των μεταμορφωμένων ιχθυδίων (γόνου: Κεφάλαιο 2). Στη συνέχεια, έγιναν διάφορες παρεμβάσεις στο περιβάλλον κολύμβησης των ιχθυδίων, στο στάδιο της προπάχυνσης (γόνου), προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση τους στην κολύμβηση και γενικότερα στην συμπεριφορά τους. Οι παρεμβάσεις αυτές αφορούσαν σε αιφνίδιες (acute) αλλαγές μέσα στο μέσο κολύμβησης που πιθανόν να λειτουργούσαν ως διαταραχές (Κεφάλαιο 3). Οι συνθήκες διαβίωσης των ψαριών στην αιχμαλωσία είναι μεταβλητές και οι τιμές αυτών των μεταβλητών μπορεί να επηρεάσουν σε πολλές περιπτώσεις την ευζωία των ψαριών. Μπορεί να τα οδηγήσουν σε αρνητικές καταστάσεις και υιοθέτηση προτύπων μη φυσιολογικής συμπεριφοράς. Έτσι, ιχθύδια λαυρακιού υποβλήθηκαν σε μία σειρά στρεσογόνων συνθηκών διαβίωσης προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση αυτών στην κατανομή τους στον χώρο αλλά και στην συμπεριφορά τους γενικότερα με απώτερο στόχο την εκτίμηση των παραμέτρων αυτών ως προς την ευζωία του λαυρακιού στο αναπτυξιακό αυτό στάδιο κατά την αιχμαλωσία του (Κεφάλαιο 4).

1.2. Abstract

The study of behaviour and its ontogenesis can reveal the relationships between an animal and its environment and also can lead humans to better choices concerning the rearing conditions in order to ensure welfare for fish in captivity. The present study was focused in the comparative description of the ontogenesis of behaviour and feeding behaviour of European sea bass reared with two different techniques: intensive and mesocosm. The study of ontogenesis was conducted from the prelarval stages of sea bass to the stage of early juveniles (Chapter 2). Later on, during nursery phase, several acute stressors were applied in order to study their effect on the swimming activity and behaviour in general (Chapter 3). The rearing conditions of fish under captivity can be variable and the levels of these variables can on many occasions affect fish's welfare. They may lead fish to negative situations and to adopt abnormal behavioural patterns. So, sea bass juveniles were subjected to a series of potentially stressful rearing conditions in order to study the effect of these conditions on the distribution of sea bass and on their behaviour in general. The working goal of the latter study was to evaluate the impact of these parameters on the welfare of sea bass during this ontogenetic stage in captivity (Chapter 4).

1.3. Υδατοκαλλιέργεια - Ιχθυοκαλλιέργεια

Ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους της ζωικής παραγωγής σε ολόκληρο το κόσμο και καλύπτει σχεδόν το ένα τρίτο της παγκόσμιας ζήτησης ιχθύων για κατανάλωση από τον άνθρωπο, διαγράφοντας ανοδική πορεία κατά 8,8% ανά έτος, την περίοδο 1970-2008, ενώ ο αντίστοιχος ρυθμός αύξησης της αλιείας και της κτηνοτροφίας ήταν 1,4% και 2,8% αντίστοιχα (FAO, 2010). Τη συγκεκριμένη περίοδο, η παγκόσμια κατά κεφαλήν προσφορά ψαριών εκτροφείου αυξήθηκε από 0,7 σε 7,8 κιλά. Οι ετήσιοι ρυθμοί ανάπτυξης του τομέα κυμαίνονται μεταξύ 6-8% κατά μέσο όρο και η παγκόσμια παραγωγή το 2006 έφτασε τους 52 εκατ. τόνους (εξαιρουμένων των φυτικών προϊόντων), δηλαδή αυξήθηκε κατά 30% από την αρχή της χιλιετίας. Και αυτό σε μόλις 6 χρόνια! Αυτή η ταχεία πρόοδος οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εντυπωσιακή ανάπτυξη που επιτεύχθηκε στην Ασία και τη Νότια Αμερική.

Οι υδατοκαλλιέργειες εντάσσονται στον Τομέα της Θαλάσσιας (ή γαλάζιας) Βιοτεχνολογίας και χαρακτηρίζονται ως «γαλάζια επανάσταση», καθώς αποτελούν όχι μόνο τον ταχύτερα αναπτυσσόμενο κλάδο παραγωγής τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά ταυτόχρονα προσφέρουν μία εναλλακτική λύση στην κατανάλωση των απειλούμενων θαλάσσιων ειδών που αλιεύονται στους ωκεανούς. Με συνολική παραγωγή ύψους 52 εκατομμυρίων τόνων το 2006, η υδατοκαλλιέργεια προβάλλει για πολλούς, ως η μόνη λύση για την αναπλήρωση του ελλείμματος που δημιουργείται σε ψάρια, λόγω της αύξησης της κατανάλωσης και της υπεραλίευσης μιας και αυτή την στιγμή έχουμε μείωση, της τάξης του 88% των αποθεμάτων της ευρωπαϊκής αλιείας (FAO, 2006). Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Ταμείο

για τη Φύση (WWF) και την Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί την πλέον αειφόρο λύση στο παγκόσμιο επισιτιστικό πρόβλημα. Επιπλέον, τα ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας - που αποτελούν εξαιρετική πηγή πρωτεϊνών και πολυακόρεστων λιπαρών οξέων όταν παράγονται με αρχές και κανόνες ορθής πρακτικής - συμβάλουν ουσιαστικά στη προστασία του περιβάλλοντος.

Εκτιμάται πως έως το 2030 - μόνο λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού - θα απαιτούνται επιπλέον 37 εκατομμύρια τόνοι ψαριού ετησίως. Για τη κάλυψη της αγοράς αυτής ο ευρύτερος τομέας της υδατοκαλλιέργειας θα πρέπει να διπλασιάσει τη παραγωγή του μέσα στα επόμενα 20 χρόνια (FAO, 2005). Αξίζει να τονισθεί ότι σημαντικότερος και αποδοτικότερος κλάδος της υδατοκαλλιέργειας είναι αυτός της ιχθυοκαλλιέργειας. Ήδη σήμερα, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του Συνδέσμου Ελληνικών Θαλασσοκαλλιεργειών (ΣΕΘ), περί το 43% των ιχθύων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση προέρχεται από την ιχθυοκαλλιέργεια, ενώ η αυξανόμενη ζήτηση σε ψάρια τα επόμενα χρόνια αναμένεται να καλυφθεί από την ιχθυοκαλλιεργητική παραγωγή (De Slilva, 2001).

Η ευρωπαϊκή αγορά θαλάσσιων προϊόντων διατροφής αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες παγκοσμίως. Ωστόσο, συγκριτικά με τη δεκαετία του '80 και του '90, όπου υπήρξε η μεγαλύτερη ανάπτυξη στον τομέα της ιχθυοκαλλιέργειας, η συνέχεια δεν ήταν εξίσου ενθαρρυντική. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθετεί καινούργια στρατηγική σε μία προσπάθεια της να καταπολεμήσει τη στασιμότητα, έχοντας ως κύριο σκοπό της στρατηγικής αυτής την εξέταση των παραγόντων που εμποδίζουν την ανάπτυξη της ιχθυοκαλλιέργειας και

των τρόπων με τους οποίους αυτή θα αναπτύξει την πλήρη της δυναμική (www.alieia.info).

Για την Ελλάδα, η ιχθυοκαλλιέργεια είναι ένας κλάδος σχετικά καινούριος. Οι πρώτες μονάδες άρχισαν να λειτουργούν το 1983 και ενώ αρχικώς η ανάπτυξη του κλάδου ήταν αργή, η πρόοδος από το 1993 και μετά ήταν εντυπωσιακή. Σήμερα, η Ελληνική παραγωγή λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) και τσιπούρας (*Sparus aurata*), που είναι τα δύο κατ'εξοχήν εκτρεφόμενα είδη, αποτελούν το 55% της Ευρωπαϊκής παραγωγής, ποσοστό αρκετά υψηλό, αν αναλογιστεί κανείς το σύνολο των εκτάσεων που είναι αφιερωμένες στην ιχθυοκαλλιέργεια πανευρωπαϊκά. Τα παραγόμενα ψάρια καλύπτουν τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των καταναλωτών, για ιχθυηρά με υψηλή ποιότητα και προσιτή τιμή. Τα προϊόντα αυτά προορίζονται τόσο για την εσωτερική κατανάλωση όσο και για εξαγωγές σε χώρες όπως η Ιταλία, η Γαλλία, κ.α. (ec.europa.eu).

Οι ιχθυοκαλλιέργειες στην Ελλάδα είναι ένας από τους πλέον ανταγωνιστικούς τομείς που συμβάλλει σημαντικά στο ΑΕΠ και στην τοπική ανάπτυξη. Ειδικότερα, στα περίπου 16.000 χιλιόμετρα των ελληνικών ακτών, βρίσκονται εγκατεστημένες περισσότερες από 200 μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας και 25 σταθμοί παραγωγής γόνου, ενώ συνολικά απασχολούνται 40.000 άτομα και παράγονται πάνω από 231.000 τόνοι ιχθυρών. Στα μεσογειακά είδη, κυρίως τσιπούρα και λαβράκι, η ελληνική παραγωγή ανέρχεται στους 90.000 τόνους αναδεικνύοντας τη χώρα μας σε πρώτη θέση στη Μεσόγειο. Η τσιπούρα καλύπτει περισσότερο από το 40% της παραγωγής και τα τελευταία χρόνια οι ελληνικές επιχειρήσεις έχουν προχωρήσει στη μαζική παραγωγή και νέων, συγγενικών με την τσιπούρα και το λαβράκι ειδών, όπως η συναγρίδα, το μυτάκι, ο σαργός, ο κέφαλος, το

φαγκρί και η γλώσσα (Ανώνυμος 2007). Πάντως, αν και οι άλλοι Ευρωπαίοι είναι φανατικοί καταναλωτές των ελληνικών ψαριών, στην Ελλάδα η κατανάλωση είναι ακόμα περιορισμένη καθώς αρκετοί έχουν ακόμα επιφυλάξεις, παρά τις διαβεβαιώσεις επιστημόνων για την αξία των ψαριών αυτών στην ανθρώπινη διατροφή (Ιχθυοκαλλιέργεια: www.nearhus.gr).

Τα ελληνικά ψάρια θαλασσοκαλλιέργειας έγιναν μέσα σε δυο δεκαετίες το δεύτερο σημαντικότερο εξαγωγίμο προϊόν, έχοντας πλησιάσει κατά πολύ το ελαιόλαδο στις πωλήσεις στο εξωτερικό. Καταγράφοντας συνολικό τζίρο, που άγγιξε το 2006 τα 430 εκατ. ευρώ, οι ελληνικές εταιρείες ιχθυοκαλλιέργειας αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους κλάδους του πρωτογενούς τομέα και τα ψάρια θαλασσοκαλλιέργειας βρίσκονται στη δεύτερη θέση κατάταξης των σημαντικότερων εξαγωγίμων ελληνικών προϊόντων. Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ΣΕΘ, 15 επιχειρήσεις ιχθυοκαλλιέργειας κατατάσσονται στις 100 πρώτες εταιρείες τροφίμων της χώρας και ανάμεσα στις μεγαλύτερες εξαγωγικές επιχειρήσεις του κλάδου τροφίμων (Ανώνυμος, 2007).

Οι σημαντικότερες ανταγωνίστριες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στο σύνολο της, είναι αυτές της Ασίας και της Λατινικής Αμερικής. Για τη χώρα μας η μεγαλύτερη πρόκληση προέρχεται από τη γειτονική Τουρκία, η οποία εν αντιθέσει με την νομοθεσία της Ε.Ε., επιδοτεί το προϊόν, με αποτέλεσμα πολλές φορές να δημιουργεί συνθήκες αθέμιτου ανταγωνισμού για τα ελληνικά προϊόντα (Δελδήμου, 2007).

(FAO)*: Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας.

1.4. Οντογένεση συμπεριφοράς ιχθύων

Οι αποκρίσεις ενός ζώου στα ερεθίσματα που προέρχονται από το περιβάλλον του είναι υψηλά οργανωμένα και πολύπλοκα πρότυπα δραστηριότητας τα οποία χαρακτηρίζονται ως συμπεριφορά, και μελετώνται από την επιστήμη της **ηθολογίας**. Από την αναπτυξιακή σκοπιά, η συμπεριφορά εξαρτάται από την ύπαρξη και διεύθυνση νευρωνικών και ορμονικών διασυνδέσεων. Ως αποτέλεσμα, η εμβρυϊκή και η μετά την γέννηση (ή εκκόλαψη) ανάπτυξη των νευρικών και ορμονικών συστημάτων, πολλά εκ των οποίων βρίσκονται υπό γενετικό έλεγχο, επηρεάζουν το εύρος και την ποικιλία των αναπτυξιακών αποκρίσεων (Dorit *et al.*, 1991).

Ψυχολόγοι αλλά και ηθολόγοι έχουν αναγνωρίσει δύο είδη συμπεριφοράς, την ενστικτώδη και την αποκτηθείσα με μάθηση. Η *ενστικτώδης* είναι ενδογενής και αυστηρά καθορισμένη συμπεριφορά που συνίσταται από πρότυπα κίνησης που εκτελούνται ορθώς από την πρώτη κίβλας εμφάνιση τους γιατί είναι προκαθορισμένα και προγραμματισμένα από πριν, π.χ, καθορισμένα από ομάδες νευρικών διασυνδέσεων που αναπτύσσονται μετά από τον έλεγχο των γονιδίων. Η *αποκτηθείσα με μάθηση* συμπεριφορά αναπτύσσεται από μία αλληλεπίδραση μεταξύ μιας νευρωνικής βάσης και επαναλαμβανόμενων εισαγόμενων πληροφοριών από το περιβάλλον. Το ποιά από τις δύο συμπεριφορές κυριαρχεί έναντι της άλλης έχει αποτελέσει την βάση για διαμάχη μεταξύ των ερευνητών στο παρελθόν που συνεχίζει ακόμη, με την κύρια διαφωνία τους να επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο η συμπεριφορά αναπτύσσεται. Έτσι αβίαστα προκύπτει το ερώτημα: σε ποιο βαθμό η συμπεριφορά αναδύεται από την αλληλεπίδραση της προγραμματισμένης βάσης νευρώνων με το περιβάλλον; Με την

ωρίμανση όμως της γνώσης της συγκριτικής συμπεριφοράς οι ηθολόγοι αναγνώρισαν ότι τα περισσότερα ζώα έχουν κάποια πρότυπα δραστηριότητας σταθερά που καθορίζονται από ενδογενείς μηχανισμούς και κάποια άλλα που οφείλονται στην αλληλεπίδραση με το περιβάλλον (Dorit *et al.*, 1991). Επομένως, η γνώση της οντογένεσης και της εμφάνισης μιας συμπεριφοράς μπορεί να προσδιορίσει τις σημαντικές περιόδους για την ανάπτυξη της και να συμβάλει στην αποτίμηση των περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων που ελέγχουν τον φαινότυπο της (Engeszer *et al.*, 2007).

Μελέτες της οντογένεσης της συμπεριφοράς στα ψάρια σπάνια λαμβάνουν σοβαρά υπόψη την σημασία της σειράς εμφάνισης των διαφόρων συμπεριφορών. Πειραματικές μελέτες και παρατηρήσεις πεδίου σχετικά με την οντογένεση της διατροφής, την αποφυγή θηρευτών και την αγωνιστική (agonistic) συμπεριφορά νεαρών ατόμων largemouth bass (*Micropterus salmoides*), rock bass (*Ambloplites rupestris*), και pumpkinseed, (*Lepomis gibbosus*), υποδεικνύουν ότι η σειρά εμφάνισης των διαφόρων συστημάτων συμπεριφοράς προάγει την επιβίωση των νεαρών σταδίων. Στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις, όλα τα είδη κατά τις πρώτες εβδομάδες όταν δεν κολυμπούν ζοδεύουν τον μεγαλύτερο χρόνο τους τρεφόμενα. Κατά την διάρκεια της αντίστοιχης περιόδου στην φύση τα νεαρά άτομα είτε καταλαμβάνουν περιοχές μακριά από την ακτή όπου δεν υπάρχουν πολλοί θηρευτές (όπως κάνει το rock bass και το pumpkinseed) ή προστατεύονται από έναν γονέα (όπως συμβαίνει στο largemouth bass) οπότε ο κίνδυνος θήρευσης τους είναι μικρός. Όταν τα νεαρά άτομα όμως βρίσκονται σε περιβάλλον πλούσιο σε θηρευτές (περιοχές κοντά στην ακτή) τόσο η συμπεριφορά αποφυγής των θηρευτών (escape) όσο και η αγωνιστική (agonistic) συμπεριφορά

αναπτύσσονται πολύ καλά. Η αγωνιστική (agonistic) συμπεριφορά είναι η τελευταία που εμφανίζεται και ίσως εξυπηρετεί στον διασκορπισμό των νεαρών ατόμων. Ο διασκορπισμός μπορεί να σχετίζεται με τον τύπο τροφοληψίας των διαφόρων σταδίων και μπορεί επίσης να μειώνει την πιθανότητα θήρευσης. Είναι εμφανές ότι οι διαδοχικές εκκινήσεις των συστημάτων συμπεριφοράς είναι σύμφωνες με τα οικολογικά γεγονότα και τις επιλεκτικές πιέσεις που συναντούν τα νεαρά centarchid (Brown, 1985).

Πέρα από μελέτες πεδίου σχετικές με την κατακόρυφη κατανομή νυμφών (Ahlstrom, 1959, Olivar & Sabatés, 1997, Flores-Coto, *et al.*, 2001), η συμπεριφορά των πρώτων αναπτυξιακών σταδίων έχει μελετηθεί σε λίγα ψάρια της οικογένειας Carangidae. Εκτεταμένη έρευνα έχει γίνει σχετικά με τον κανιβαλισμό, την επιθετική συμπεριφορά και την συμπεριφορά κοπαδιάσματος σε εκτρεφόμενες νύμφες και ιχθύδια του Japanese amberjack (*Seriola quinqueradiata*) και του white trevally (*Pseudocaranx dentex*) υπό εργαστηριακές συνθήκες (Masuda & Tsukamoto 1996, 1998, 1999, Sakakura & Tsukamoto 1996, 1999). Με *in situ* μεθόδους αλλά και υπό εργαστηριακές συνθήκες, οι Leis *et al.* (2006) μελέτησαν την εξέλιξη των κολυμβητικών ικανοτήτων, των ικανοτήτων προσανατολισμού και την κατακόρυφη κατανομή στο *Caranx ignobilis*. Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι οι συμπεριφορές αυτές που μελέτησαν είναι σημαντικές για την διασπορά (dispersal), την τροφοληψία, τις αλληλεπιδράσεις με τους θηρευτές και την επιβίωση γενικότερα στα πρώτα αναπτυξιακά στάδια του είδους.

Τα ερωτήματα που μπορούν να τεθούν για την οντογένεση της συμπεριφοράς είναι αρκετά και εύλογα. Για παράδειγμα, ένα νέο γονιμοποιημένο ωάριο θα μπορούσε να έχει συμπεριφοριστικές

εκφράσεις ή όχι; Ένα ενήλικο ψάρι ανταποκρίνεται ως γνωστόν στο περιβάλλον του μέσα από ένα ρεπερτόριο πολύπλοκων συμπεριφορών προσαρμογής (Dawkins, 1983). Τι γίνεται όμως στο ενδιάμεσο, δηλαδή μεταξύ γονιμοποιημένου αυγού και ενήλικου ψαριού; Πότε στην διαδικασία οντογένεσης αναπτύσσονται συντονισμένοι τύποι συμπεριφοράς και πως γίνεται αυτό; Πότε και πως δημιουργούνται κοινωνικές σχέσεις μεταξύ των ψαριών και ποιος ο ρόλος τους στη ζωή των νεαρών ψαριών; Πως τα εξωτερικά ερεθίσματα ελέγχουν τη συμπεριφορά των ψαριών διαφόρων ηλικιών; Πότε και πως τα ερεθίσματα αυτά λειτουργούν ως παρότρυνση για τα ενήλικα άτομα τα οποία χαρακτηρίζονται από συστήματα συμπεριφοράς; Για να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα χρειάζεται γνώση σχετικά με το πως ακριβώς ενεργούν τα άτομα σε κάθε αναπτυξιακό στάδιο από το αυγό μέχρι το ενήλικο ψάρι. Εξίσου μπορεί να προκύψει το ερώτημα πως γίνεται διαφορετικά είδη, φύλα και άτομα να δείχνουν διαφορετικές αποκρίσεις συμπεριφοράς. Το ερώτημα αυτό για να απαντηθεί απαιτεί γνώση των παραγόντων που επηρεάζουν τη σειρά των αναπτυξιακών γεγονότων αλλά και του τρόπου με τον οποίο τα επηρεάζουν.

1.5. «Ευζωία» (Welfare), συμπεριφορά, καταπόνηση (stress)

Με την ανάπτυξη της ιχθυοκαλλιέργειας, και πιθανότατα λόγω της ταχείας της εξάπλωσης, η ευζωία (welfare) των εκτρεφόμενων ειδών είναι ένα θέμα ανησυχίας του κοινού που ολοένα μεγαλώνει

(FSBI, 2002). Για αρκετό καιρό το θέμα της ευζωίας των ψαριών ήταν για τον καταναλωτή λιγότερο σημαντικό σε σχέση με την εντατική παραγωγή χερσαίων ζώων. Αυτό είχε, εν μέρει, να κάνει με το γεγονός ότι τα ψάρια θεωρούνται κατώτερα, με εξελικτικούς όρους, από τα θηλαστικά ή τα πτηνά (Rose, 2002). Επιπλέον, η διαχείριση (εκτροφή) των ψαριών είναι λιγότερο γνωστή από αυτή των χερσαίων ζώων και το υδάτινο περιβάλλον γίνεται αντικείμενο σύγκρισης από τους ανθρώπους δυσκολότερα. Η εκτροφή των ψαριών σχετίζεται ολοένα και περισσότερο με προβλήματα που μέχρι τώρα ήταν μόνο γνωστά από την εντατική εκτροφή για παράδειγμα των βοοειδών και των πουλερικών. Δυστυχώς η γνώση μας για την ευζωία των εκτρεφόμενων ψαριών είναι ακόμη περιορισμένη. Λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος του κοινού για την ευζωία των ψαριών, υπάρχει και μία αυξανόμενη πίεση προς τους νομοθέτες για την προστασία της. Συχνά η πίεση για προστασία υπερτερεί της επιστημονικής κατανόησης για την φύση, την εκτίμηση και τον έλεγχο της ευζωίας (Turnbull *et al.*, 2008).

Η ευζωία των ψαριών δεν είναι εύκολο να καθοριστεί ως ιδέα και σκέψη. Δύο μόνο σημεία έχουν μελετηθεί σε σχέση με αυτήν (1) ο ορισμός της ευζωίας και (2) ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος εκτίμησης της (Ashley, 2007, Dawkins, 1998). Η διατύπωση ορισμού για την ευζωία των ζώων δεν είναι απλή υπόθεση, κυρίως γιατί η ιδέα της ευζωίας των ζώων είναι πολύπλοκη και η λέξη έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορα περιβάλλοντα και περιπτώσεις. Γενικά, οι περισσότεροι ορισμοί μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις ευρείες κατηγορίες: (1) ορισμοί σχετιζόμενοι με το *συναίσθημα*, βασισμένοι σε υποκειμενικές νοητικές καταστάσεις (2) ορισμοί σχετιζόμενοι με την *λειτουργία*, βασισμένοι στην φυσική κατάσταση του ζώου, και (3) ορισμοί

σχετιζόμενοι με την *φύση*, βασισμένοι στην βιολογική λειτουργία του ζώου (Duncan & Fraser, 1997, Fraser *et al.*, 1997).

Στην έρευνα, ένας μεγάλος αριθμός από παραμέτρους φυσιολογίας και συμπεριφοράς έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ευζωίας. Πολλές φορές η προσπάθεια να εκτιμηθεί η επίδραση αυτών των παραμέτρων με μονοπαραγοντικές (univariate) αναλύσεις έχει τους περιορισμούς της καθώς είναι δύσκολο να συσχετιστούν ποσοτικά τέτοιες μετρήσεις για την κατάσταση της ευζωίας των ψαριών και η σχέση μεταξύ των δεικτών δεν είναι πάντοτε σταθερή (Turnbull *et al.*, 2008). Πρόσφατα, είχε προταθεί η χρήση πολυπαραγοντικών (multivariate) αναλύσεων για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα (Turnbull *et al.*, 2005). Οι πολυπαραγοντικές αναλύσεις συνδυάζουν ένα εύρος δεικτών ευζωίας, βασισμένους στις παρατηρούμενες στατιστικές σχέσεις μεταξύ τους (Manly, 1994).

Όμως ποια είναι η έννοια των όρων συμπεριφορά και ευζωία; Κατ' αρχήν πρόκειται για δύο όρους που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς τομείς της επιστήμης. Η συμπεριφορά αναφέρεται σε όλες εκείνες τις δραστηριότητες στις οποίες εμπλέκεται το ζώο (Jensen, 2002). Η ευζωία αναφέρεται στην «ποιότητα» της ζωής του, και αυτό περιλαμβάνει πολλές πλευρές όπως υγεία, ευτυχία και μακροβιότητα (Duncan & Fraser, 1997) και προάγεται όταν τα ζώα είναι ικανά να πραγματοποιούν τις ενέργειες που πλησιάζουν πιο πολύ το ρεπερτόριο συμπεριφοράς των ελευθέρων ομοειδών τους (Broom & Johnson, 1993). Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ευζωία των ψαριών. Το ζώο θα αντιδράσει σε διαφορετικά επίπεδα στις ακατάλληλες για την ευζωία του συνθήκες, από ενδοκρινικές αλλαγές σε ατυπικές (π.χ στερεοτυπικές)

συμπεριφορές. Δεν είναι όλες οι αντιδράσεις σε στρεσογόνους παράγοντες μοναδικές και ούτε της ίδιας έντασης. Ο όρος ευζωία συχνά θεωρείται συνώνυμο της **καταπόνησης**. Παρόλο που το υψηλό επίπεδο καταπόνησης σχετίζεται με «κακή» κατάσταση ευζωίας, οι δύο όροι είναι διαφορετικοί και απλά συμπληρώνουν ο ένας τον άλλο. Ενώ η ευζωία σχετίζεται με την αίσθηση της «ευτυχίας» και/ή της «ευχαρίστησης», η καταπόνηση σχετίζεται με την αίσθηση του πόνου και του φόβου (Broom, 1998). Ένας άλλος ορισμός αναφέρει την καταπόνηση ως μία κατάσταση κατά την οποία η δυναμική ισορροπία των ζωικών οργανισμών, η ομοιόσταση, διαταράσσεται ή απειλείται ως αποτέλεσμα της δράσης εγγενών (εσωτερικών) ή εξωτερικών ερεθισμάτων που κοινώς αναφέρονται ως στρεσογόνα (Wendelaar Bonga, 1997).

Γενικά, η χρόνια καταπόνηση επιδρά συχνά στη συμπεριφορά οδηγώντας μερικές φορές σε ατυπικές συμπεριφορές όπως στερεότυπα. Η μέτρηση του επιπέδου καταπόνησης συνήθως πραγματοποιείται με ανάλυση παραμέτρων του αίματος όπως η κορτιζόλη κλπ (Barton & Iwama, 1991). Επειδή οι παράμετροι του πλάσματος τείνουν να προσαρμόζονται σε χρόνιους στρεσογόνους παράγοντες και είναι έτσι λιγότερο κατάλληλοι για εκτίμηση του χρόνιου στρες, η περιγραφή της συμπεριφοράς μπορεί να παίξει αποφασιστικό ρόλο σε αυτό (Pickering & Stewart, 1984). Επίσης, στην εκτίμηση του βαθμού «νοιώθω καλά» (feeling well) μέχρι τώρα δεν είναι γνωστοί άλλοι δείκτες πέρα από τις αποκρίσεις της συμπεριφοράς.

Οι συνθήκες της ιχθυοκαλλιέργειας, από τις εκτατικές μέχρι και τις υπερεντατικές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα συμπεριφοράς, όπως χαμηλή πρόσληψη τροφής, επιθετικότητα, στερεοτυπική συμπεριφορά (stereotypes),* και θάνατο που κυρίως

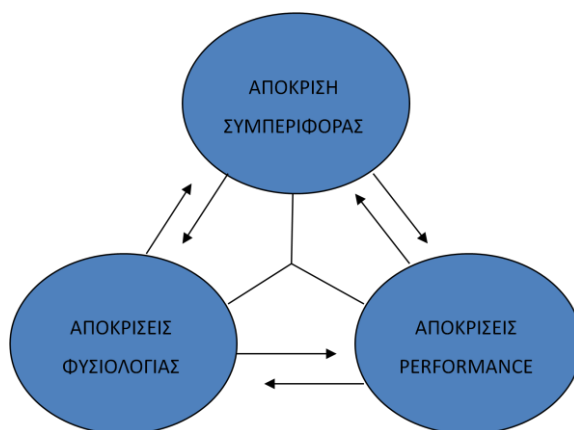
οφείλονται στην εντατικοποίηση της παραγωγής. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να λυθούν ή τουλάχιστον να μειωθούν αν κατανοηθούν οι αιτίες τους. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να έχει μελετηθεί και προσδιοριστεί η «φυσιολογική» συμπεριφορά των ψαριών κάτω από συνθήκες καλλιέργειας. Η «φυσιολογική» συμπεριφορά είναι αυτή που έχει αναπτυχθεί κατά την εξελικτική προσαρμογή (Keeling & Jensen, 2002).

Η φυσιολογική συμπεριφορά θα πρέπει να προάγει την βιολογική λειτουργία με την έννοια της επιβίωσης, υγείας και αναπαραγωγικής επιτυχίας (Duncan & Fraser, 1997). Κάτω από συνθήκες καλλιέργειας όμως εμφανίζεται και μη φυσιολογική συμπεριφοράς αποτέλεσμα του περιορισμού του χώρου.

Οι παράμετροι για την εκτίμηση της επίδρασης των συνθηκών διαχείρισης στην ευζωία των οργανισμών μπορούν να χωριστούν σε: 1) αποκρίσεις «επίδοσης» (performance responses), 2) αποκρίσεις φυσιολογίας, και 3) αποκρίσεις συμπεριφοράς. Αυτές οι τρεις αποκρίσεις έχουν λειτουργικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους γι' αυτό και δεν μπορεί κάποιος να τις δει ξεχωριστά (Εικόνα 1 από Rueda, 2004).

Για την εκτίμηση της ευζωίας των ζώων της ξηράς, συνήθως μελετούνται και τα τρία είδη αποκρίσεων. Όμως στους θαλάσσιους οργανισμούς, επειδή η μελέτη της ευζωίας είναι σε σχετικά πρώιμα στάδια, η πιθανή επίδραση των συνθηκών διαχείρισης, που μπορεί να προκαλούν καταπόνηση προσδιορίζεται με μελέτη των αποκρίσεων επίδοσης (performance) και/ή φυσιολογίας (Rueda, 2004). Η έρευνα στην ιχθυοκαλλιέργεια τα τελευταία 20 χρόνια έχει κυρίως επικεντρωθεί σε μετρήσεις του ρυθμού ανάπτυξης σε διαφορετικές

συνθήκες εκτροφής, διατροφής , και διαχείρισης. Η διαταραχή της φυσιολογίας και η ακόλουθη απόκριση στο στρες έχει μελετηθεί εκτενώς (Barton & Iwama 1991, Iwama *et al.* 1997, Wendelaar Bonga 1997, Iwama *et al.* 1999, Perry & Berbier 1999, Ruane 2002). Όμως για την συμπεριφοριστική απόκριση των ψαριών σε διαχειριστικούς στρεσογόνους παράγοντες, δεν είναι πολλά γνωστά μέχρι σήμερα, γεγονός που δημιουργεί ένα πολύ μεγάλο κενό στην γνώση και την μελέτη της ευζωίας των ψαριών. Τέλος, πολύ λίγα έχουν δημοσιευτεί που να αφορούν τις επιπτώσεις στην φυσιολογία και την συμπεριφορά ταυτόχρονα (Britz & Pienaar 1992, Kaiser *et al.* 1995 a, b, Hecht & Uys 1997, Appelbaum & Kamler 2000, Ellis *et al.* 2002).



Εικόνα 1 (από Rueda, 2004). Λειτουργικές αλληλεπιδράσεις αποκρίσεων των ψαριών υπό την επίδραση των συνθηκών διαχείρισης τους.

* Stereotypes (ή Στερεοτυπική συμπεριφορά) είναι η συμπεριφορά που εμφανίζουν τα αιχμάλωτα ζώα, τα οποία ζουν εγκλωβισμένα σε κλουβιά. Σύμφωνα με τους ειδικούς στερεοτυπική ονομάζεται μια ΜΗ φυσιολογική συμπεριφορά που επαναλαμβάνεται σταθερά και μονότονα και που κάτω από κανονικές συνθήκες ΔΕΝ παρατηρείται και δεν χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο είδος ζώου (www.zoosos.gr).

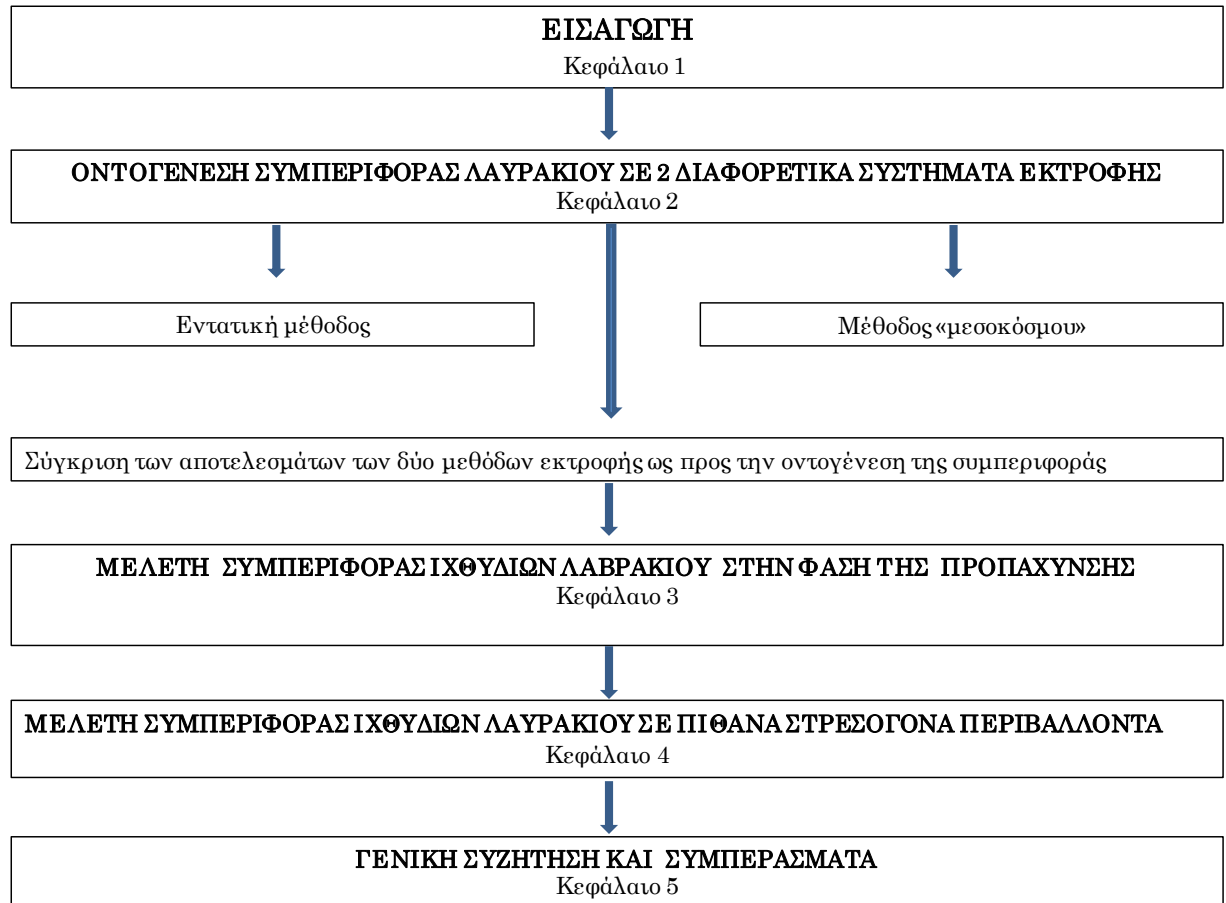
1.6. Υπόθεση και στόχοι παρούσας μελέτης

Η γενική υπόθεση αυτής της μελέτης είναι συμπεριφορική απόκριση στις περιβαλλοντικές συνθήκες των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης του λαβρακιού, η οποία εκφράζεται μέσα από την ανάπτυξη συμπεριφορών σε κάθε στάδιο ανάπτυξης και φάση εκτροφής, χάρις στην οποία επιτυγχάνεται η προσαρμογή τους στις συνθήκες εκτροφής που εμπίπτουν στο φάσμα βιωσιμότητας του είδους.

Οι επιμέρους στόχοι της παρούσας μελέτης είναι (α) η μελέτη της οντογένεσης της συμπεριφοράς του λαβρακιού σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα εκτροφής: εντατική εκτροφή και εκτροφή με την μέθοδο του μεσοκόσμου, (β) η μελέτη της κολύμβησης και γενικά της συμπεριφοράς ιχθυδίων λαβρακιού προπάχυνσης μετά από αιφνίδιες αλλαγές στο περιβάλλον μέσο κολύμβησης, και (γ) ο προσδιορισμός της επίδρασης πιθανών στρεσογόνων περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως είναι η ιχθυοφόρτιση, οι συνθήκες διατροφής και η θερμοκρασία, στην ευζωία του λαβρακιού εκφραζόμενη ως αποκρίσεις στην συμπεριφορά χωρικής κατανομής και προτύπων συμπεριφοράς γενικότερα.

1.7. Γενικό περίγραμμα μελέτης

Η διάρθρωση της μελέτης δίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2. Γενικό περίγραμμα της μελέτης.

Το πρώτο και εκτενέστερο κεφάλαιο της παρούσας μελέτης (Κεφάλαιο 2) επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μίας χρονολογικής σειράς «βάσης δεδομένων» για την οντογένεση του λαβρακιού σε φυσιολογικές συνθήκες εκτροφής. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται και συγκρίνεται η συμπεριφορά κολύμβησης και διατροφής των

νυμφικών σταδίων του λαβρακιού όταν αυτά εκτρέφονται υπό δύο διαφορετικές συνθήκες (εντατικές καλλιέργειες/μεσόκοσμος).

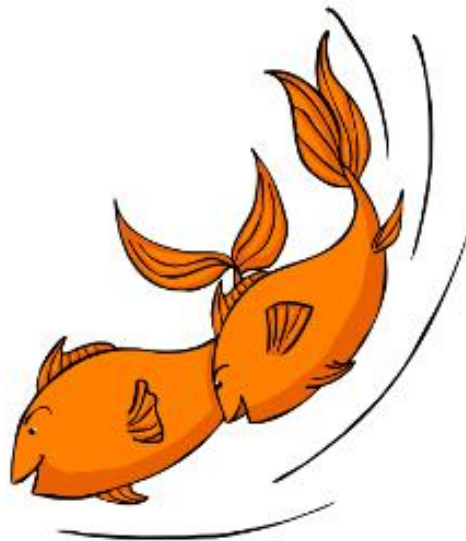
Το δεύτερο κεφάλαιο (**Κεφάλαιο 3**) αφορά στην επίδραση κάποιων αιφνίδιων αλλαγών στο περιβάλλον μέσω κολύμβησης των νεαρών ατόμων λαβρακιού στην φάση της προπάχυνσης. Περιγράφεται η συμπεριφορά κολύμβησης και η συμπεριφορά γενικά των ιχθυδίων μετά από την εφαρμογή αυτών των παρεμβάσεων οι οποίες αποτελούν δυνητικά στρεσογόνες καταστάσεις με αρνητικές συνεπαγόμενες αντιδράσεις από τα ψάρια.

Το τρίτο κεφάλαιο αφιερώνεται στην διερεύνηση της συμπεριφοράς νεαρών ιχθυδίων λαυρακιού (μετά την μεταμόρφωση) υπό διαφορετικές συνθήκες εκτροφής όπως ιχθυοφόρτισης, διατροφικής συνθήκης και θερμοκρασίας (**Κεφάλαιο 4**). Σε αυτή την εκτίμηση της επίδρασης των προαναφερθέντων συνθηκών στην συμπεριφορά, λήφθηκε υπόψη και η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών, καθώς και ο χρόνος επίδρασης αυτών μετρούμενος ως «ημέρα παρατήρησης». Οι παράγοντες αυτοί μελετήθηκαν αφού εφαρμόστηκαν διαφορετικά επίπεδα/τιμές (contrast) μεταξύ αυτών.

Τέλος, όλα τα αποτελέσματα και η σημασία τους συζητιούνται στο τελευταίο κεφάλαιο (**Κεφάλαιο 5**) όπου παρατίθενται και τα κυριότερα συμπεράσματα της διατριβής.

Κεφάλαιο 2

Οντογένεση συμπεριφοράς λαβρακιού σε δύο διαφορετικά συστήματα εκτροφής (εντατικό και μεσοκόσμου).



2.1. Περίληψη

Η μελέτη της οντογενέσεως της συμπεριφοράς του λαβρακιού στα συστήματα εκτροφής –εντατικό και μεσοκόσμου- έγινε σε δύο επιμέρους και διακριτές μεταξύ τους φάσεις, την αυτότροφη και την ετερότροφη. Κατά την πρώτη φάση (λεκιθοφόρες νυμφες) μελετήθηκαν τα πρότυπα συμπεριφοράς που εκδηλώθηκαν, και μετρήθηκε η διάρκεια της δραστηριότητας σε σχέση με την αδράνεια. Στην ετερότροφη φάση, η οποία περιλαμβάνει το στάδιο των νυμφών και ιχθυδίων μελετήθηκαν πέντε αναπτυξιακά στάδια (μορφολογικά και διαχειριστικά/φάσεις εκτροφής): (α) πρώτη πρόσληψη εξωγενούς τροφής, (β) μετάβαση από τα Τροχόζωα στην *Artemia sp.*, (γ) κάμψη νωτοχορδής, (δ) αρχή μεταμόρφωσης/αποκοπή από την ζωντανή τροφή και (ε) μέσο μεταμόρφωσης. Η μελέτη επικεντρώθηκε στις δραστηριότητες κολύμβησης και διατροφής και πιο συγκεκριμένα στην «sustained» (σταθερή) κολύμβηση και στην κατεύθυνση κίνησης. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια υποβρύχιων συστημάτων καταγραφής και η ανάλυση με κατάλληλα λογισμικά επεξεργασίας. Μελετήθηκαν 30 άτομα ανά στάδιο και οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$.

Στην εντατική εκτροφή, οι λεκιθοφόρες νύμφες επέδειξαν γενικά στερεοτυπικές μη προσανατολισμένες κινήσεις οι οποίες άρχισαν να γίνονται πιο συντονισμένες όταν τα μάτια άρχισαν να γίνονται λειτουργικά, το στόμα άνοιξε και η λέκιθος είχε καταναλωθεί. Το λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο διήρκεσε 9 ημέρες (dph: days post hatching), δηλαδή από την εκκόλαψη (3.5 mm) μέχρι το ολικό (TL) μήκος των 5.3 mm. Τον περισσότερο χρόνο οι λεκιθοφόρες νύμφες παρέμεναν αδρανείς. Σημαντικά στατιστικές διαφορές στις κινήσεις παρατηρήθηκαν στην ηλικία των 2 dph όπου άρχισαν να χρωματίζονται τα μάτια, των 5 dph όπου είχε επέλθει πλήρης χρωματισμός

των ματιών, των 6 και 7 dph όπου άνοιξε το στόμα και των 8 dph όπου παρατηρήθηκε πλήρης απορρόφηση της λεκίθου και ξεκίνησε ο σχηματισμός της νηκτικής κύστης . Στο ετερότροφο στάδιο, οι νύμφες που είχαν μεταμορφωθεί (10.3 mm TL και 32 dph) εμφάνισαν αποφυγή (escape response) και αρνητικό φωτοτροπισμό. Η φάση της πρώτης εξωγενούς διατροφής (5.3 mm TL και 10 dph) χαρακτηρίστηκε από μια αύξηση στην κολυμβητική ικανότητα. Εμφανής αύξηση της «sustained» κολύμβησης παρουσιάστηκε στα στάδια από το *πρώτο τάισμα* ως την *κάμψη της νωτοχορδής*, από την *κάμψη της νωτοχορδής* ως την *έναρξη της μεταμόρφωσης* και από την *έναρξη* ως την *ολοκλήρωση της μεταμόρφωσης*. Ο προσανατολισμός των νυμφών ήταν ακόμη τυχαίος αλλά επιδεικνυαν πιο σταθερές κινήσεις από ότι στο ετερότροφο στάδιο που ουσιαστικά ήταν μία συμπεριφορά στρατηγικής «διερεύνησης του περιβάλλοντος χώρου». Οι νύμφες των σταδίων «*έναρξης*» και «*μέσο μεταμόρφωσης*» επέδειξαν σημάδια συμπεριφοράς «κοπαδιάσματος/schooling».

Σε συνθήκες εκτροφής τύπου μεσοκόσμου, οι λεκιθοφόρες νύμφες τον περισσότερο χρόνο ήταν σε αδράνεια. Αύξηση της δραστηριότητας καταγράφηκε την 4^η και 5^η dph όπου τα μάτια είχαν χρωματιστεί πλήρως και τα θωρακικά πτερύγια είχαν σχηματιστεί. Το λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο διήρκησε 4 dph (έως τα 4.9 mm TL). Κατά το ετερότροφο στάδιο οι νύμφες επέδειξαν πιο αυθόρμητες κινήσεις με σποραδικές εκρήξεις (burst) διάρκειας 2-3 s. Υιοθέτησαν μια θέση επίθεσης (τοποθέτηση σώματος σε σχήμα τελικού οίγμα –ς). Στο στάδιο «*μετάβαση στην Αρτέμια*» (5.6 mm TL – 6 dph) επέδειξαν θετικό φωτοτροπισμό με συνεχόμενη κολύμβηση (5-10 s) που διακοπτόταν από ανάπαυση 1-2 s και θετικό ρεστακτισμό. Στη «*μεταμόρφωση*» (14.8 mm TL, 31 dph) παρουσίασαν αντιδράσεις αποφυγής

και αρνητικό φωτοτροπισμό. Εμφανίστηκε σημαντική στατιστική διαφορά στην μέση τιμή της ταχύτητας κολύμβησης μεταξύ του σταδίου «*πρώτο τάισμα*» – «*κάμψη νωτοχορδής*», «*έναρξη μεταμόρφωσης*» – «*μέσο μεταμόρφωσης*» και «*μετάβαση στην Αρτέμια*» – «*μέσο μεταμόρφωσης*». Η μελέτη του προσανατολισμού κίνησης έδειξε παρόμοια αποτελέσματα με αυτά της εντατικής εκτροφής.

Όσον αφορά στην συμπεριφορά τροφοληψίας, και στις δύο εκτροφές τα ψάρια κατά την μετάβαση τους από την αυτότροφη (προनुμφική) στην ετερότροφη (νυμφική) φάση άρχισαν να υιοθετούν δραστηριότητες εξερεύνησης και κυνηγιού (9 dph για την εντατική εκτροφή και 4 dph για την εκτροφή του μεσοκόσμου). Πέρα από την προαναφερθείσα τακτική κυνηγιού –ς , παρατηρήθηκε άλλη μία δευτερογενής στρατηγική η οποία φάνηκε να συνδέεται με την κίνηση αιφνιδιασμού κατά την τροφοληψία που παρομοιάζει το αγγλικό γράμμα C.

Σύγκριση των δύο εκτροφών, όσον αφορά τις περιόδους αδράνειας/δραστηριότητας των λεκιθοφόρων νυμφών, έδειξε ότι για το στάδιο «*100% χρωματισμός ματιών*» οι νύμφες της εντατικής εκτροφής ξόδευαν περισσότερο χρόνο για αναπαύση παρά για δραστηριότητα. Υπήρξε διαφορά και όσον αφορά την κατανομή και διασπορά στην δεξαμενή κάθε εκτροφής. Οι λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής ισοκατανέμονταν στον όγκο του νερού, ενώ του μεσοκόσμου έδειξαν μία σειρά μετατοπίσεων όπου κινούνταν σε βαθύτερα στρώματα νερού στον αναπτυξιακό χρόνο. Επίσης, ενώ οι λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής εκτροφής είχαν τυχαίο προσανατολισμό, οι λεκιθοφόρες νύμφες του μεσοκόσμου στο τέλος του αυτότροφου σταδίου (4^η dph) άρχισαν να έχουν θετικό φωτοτροπισμό. Κατά το ετερότροφο στάδιο, οι νύμφες του μεσοκόσμου εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερες τιμές ταχυτήτων

«sustained» κολύμβησης κατά τα αναπτυξιακά στάδια: «μετάβαση στην *Αρτέμια*», «κάμψη νωτοχορδής», «έναρξη και «ολοκλήρωση» μεταμόρφωσης. Ενώ και στις δύο εκτροφές από την τελευταία ημέρα του αυτότροφου σταδίου εμφανίστηκε συμπεριφορά «εξερεύνησης», στην εκτροφή μεσοκόσμου οι νύμφες επέδειξαν άλλο ένα πρότυπο όπου έδειχναν ενδιαφέρον και προτίμηση για κάποιες από τις λείες που δοκίμαζαν. λειών και για κάποιες από αυτές. Οι νύμφες του μεσοκόσμου στην «μετάβαση τροφής στην *Αρτέμια*» (5.6 mm TL, 6 dph) επέδειξαν θετικό φωτοτροπισμό και θετικό ρεοτακτισμό. Στη συνέχεια οι νύμφες αφήνονταν να συμπαρασυρθούν από το ρεύμα του νερού μέσα στην δεξαμενή και έπειτα παρατηρείτο ανάκαμψη της διακεκομμένης κολύμβησης, ενώ στις νύμφες της εντατικής εκτροφής δεν εμφανίστηκε κανένα τέτοιο παρόμοιο πρότυπο συμπεριφοράς.

Η κατανόηση των διαφορετικών προτύπων της συμπεριφοράς και των ικανοτήτων/δραστηριοτήτων που εμφανίζουν τα λαβράκια στα πρώιμα στάδια της ζωής τους είναι απαραίτητη για την πιο αποτελεσματική διαχείριση, καθώς το ηθόγραμμα των νυμφών θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της ευζωίας των εκτρεφόμενων ψαριών, το οποίο θα μπορούσε να συνδυαστεί με άλλα εργαλεία τα οποία ήδη χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ποιότητας ψαριών.

Λέξεις-Κλειδιά: λαβράκι, λεκιθοφόρες νύμφες, νύμφες, εντατική εκτροφή, μεσοκόσμος, ταχύτητα κολύμβησης, προσανατολισμός κίνησης, τροφοληψία.

2.2. Εισαγωγή

Το λαβράκι είναι ένα από τα δύο θαλάσσια είδη, μαζί με την τσιπούρα, τα οποία έχουν χαρακτηρίσει την ανάπτυξη της θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας στην λεκάνη της Μεσογείου τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η σημαντική αύξηση των επιπέδων παραγωγής των ειδών αυτών κατέστη εφικτή λόγω της προοδευτικής βελτίωσης των τεχνολογιών παραγωγής ιχθυδίων στα εκκολαπτήρια (FAO, Moretti *et al.*, 1999). Οι μελέτες που έχουν γίνει και αφορούν την οντογένεση και τον προσδιορισμό των νυμφικών σταδίων ψαριών γλυκού (Able & Fahay 1998, Kamler 2002, Nogueira *et al.* 2012) και θαλασσινού νερού (Barnabe 1976, Divanach & Kentouri 1983, Koumoundouros 1998, Georgalas *et al.*, 2007) έχουν τονίσει την ανάγκη για επικέντρωση σε μελέτες της συμπεριφοράς των νυμφών, καθώς αυτές μπορούν να αποτελέσουν κριτήριο εκτίμησης των τεχνικών και συστημάτων εκτροφής των ιχθύων.

Η μελέτη του προτύπου συμπεριφοράς των ψαριών στο φυσικό τους περιβάλλον είναι δύσκολη. Για αυτό τον λόγο μια εναλλακτική λύση είναι η χρήση πιο ήπιων (temperate) συνθηκών εκτροφής όπως είναι ο «μεσοκόσμος». Η εκτροφή με την μέθοδο του μεσοκόσμου «μιμείται» αβιοτικές και βιοτικές συνθήκες φυσικών ενδιατημάτων και οι νύμφες έχουν έτσι την δυνατότητα να διαλέξουν μεταξύ μιας ποικιλίας φυσικών πλαγκτονικών πληθυσμών που αναπτύσσονται ενδογενώς στο μέσο εκτροφής (Kentouri 1985, Divanach & Kentouri 2000). Έχει τεκμηριωθεί μέσα από την βιβλιογραφία ότι αυτή η τεχνική επιτρέπει την παραγωγή ψαριών που μοιάζουν κατά πολύ, όσο τουλάχιστον αφορά στη γενική μορφολογία τους, με τα ομοειδή τους στο φυσικό περιβάλλον (Divanach *et al.*, 1996, Koumoundouros *et al.*, 1997, Cataudella *et al.*, 2001). Παρόλο που αυτή η

τεχνική δεν χρησιμοποιείται επί του παρόντος για μαζική παραγωγή νυμφών, συνιστά ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη ειδών των οποίων οι διατροφικές και περιβαλλοντικές προτιμήσεις δεν είναι και τόσο γνωστές (Divanach & Kentouri 1983, Kentouri, 1985). Η εντατική μέθοδος εκτροφής από την άλλη, είναι μια δαπανηρή, σύνθετη τεχνική της οποίας η παραγωγική απόδοση εξαρτάται αποκλειστικά από τον άνθρωπο και την τεχνολογία. Γι αυτό το λόγο μόνο λίγα σχετικά θαλασσινά είδη (*Dicentrarchus labrax*, *Sparus aurata*, *Diplodus sargus*, *Solea solea*, and *Scophthalmus maximus*) είναι αρκετά καλά γνωστά για την επιτυχή εκτροφή τους σε βιομηχανική κλίμακα με αυτή την τεχνική (Divanach & Kentouri, 2000). Η νυμφική εκτροφή θεωρείται ως η «στενωπός» (bottle neck) της θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας. Όπως ξεκάθαρα δήλωσαν οι Brown et al. (1997), οι μελέτες της συμπεριφοράς θα μπορούσαν να προάγουν τον σχεδιασμό καλύτερων συνθηκών εκτροφής κατά την νυμφική παραγωγή.

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η σύγκριση της συμπεριφοράς των πρώιμων αναπτυξιακών σταδίων (νυμφικών σταδίων και πρώιμων ιχθυδίων) του λαβρακιού που εκτρέφεται με την εντατική τεχνική και με την τεχνική του μεσοκόσμου, με έμφαση στις δραστηριότητες κολύμβησης και διατροφής. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με διαθέσιμα δεδομένα συμπεριφοράς νυμφών και νεαρών ιχθυδίων άλλων θαλασσινών ειδών και συζητείται η ενδεχόμενη χρήση τους στην προσπάθεια εκτίμησης της ευζωίας (welfare) των εκτρεφόμενων ψαριών ως δείκτες της ποιότητας τους. Αν και η οντογένεση κάποιων μορφολογικών δομών και οι επιπτώσεις των συνθηκών εκτροφής στο σχήμα του σώματος στο λαβράκι έχουν ήδη μελετηθεί (Loy et al. 2000, Koumoundouros et al. 2001, Koumoundouros et al. 2002a, b, Wilkes et al. 2001, Diaz et al. 2003, Georgakopoulou et al. 2007), μόνο μία

μελέτη συμπεριφοράς που αφορά τα νυμφικά στάδια του είδους έχει, απ' όσο γνωρίζουμε, μέχρι τώρα δημοσιευθεί (Georgalas *et al.*, 2007).

2.3. Υλικά και Μέθοδοι

2.3.1. Εντατική μέθοδος εκτροφής

Για την εντατική εκτροφή χρησιμοποιήθηκαν αυγά που παραχωρήθηκαν από την εταιρεία «ΝΗΡΕΥΣ Α.Ε». Τα αυγά τοποθετήθηκαν, σε συγκέντρωση 100/l, σε κυλινδροκωνική πολυεστερική δεξαμενή μαύρου χρώματος και χωρητικότητας 0.5 m³ συνδεδεμένη με κλειστό κύκλωμα ανανέωσης νερού εξοπλισμένου με βιολογικό φίλτρο. Στην ίδια δεξαμενή έγινε η εκκόλαψη και η εντατική εκτροφή. Οι δεξαμενές φωτιζόνταν τεχνητά (φωτοπερίοδος: 12D:12L) και η θερμοκρασία νερού, ενώ αρχικά ήταν ρυθμισμένη στους 15 °C, αυξήθηκε στην συνέχεια σταδιακά στους 17,2±0.3 °C. Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε σύστημα ελαφρού αερισμού από τον πυθμένα, μέσω ενός ξύλινου διαχυτή (Εικόνα 1, 3Α). Η δεξαμενή τροφοδοτούνταν με φιλτραρισμένο θαλασσινό νερό αλατότητας 37‰ με ωριαίο ρυθμό ανανέωσης ο οποίος σταδιακά αυξήθηκε από 10%/h/l σε 40%/h/l στις 35 ημέρες μετά την εκκόλαψη (days post hatching: dph). Η τροφή ήταν εξωγενούς προέλευσης και αποτελούνταν διαδοχικά από τροχόζωα (*Brachionus plicatilis*) εμπλουτισμένα με “Protein Selco”, (INVE S.A., Belgium) (5 άτομα. ml⁻¹), από νεοεκκολαφθέντες

ναύπλιους *Artemia sp* (EG, Artemia Systems S.A, Belgium), από εμπλουτισμένους με “Selco” (Artemia Systems INVE S.A., Belgium) ναύπλιους *Artemia sp*. μιας ημέρας (0.5-1.0 άτομα ml⁻¹) και τέλος από βιομηχανική ξηρή τροφή (INVE S.A., Belgium). Τις πρώτες 15 ημέρες της εκτροφής στην δεξαμενή εισάγονταν καθημερινά ποσότητα καλλιέργειας του φυτοπλαγκτονικού είδους *Chlorella minutissima* ικανή για να διατηρήσει την συγκέντρωσή του στο νερό εκτροφής σε $650 \pm 300 \times 10^3$ κύτταρα ml⁻¹. Ο πυθμένας της δεξαμενής καθαριζόταν καθημερινά την ίδια ώρα και ακολουθούσε καταμέτρηση των νεκρών ατόμων. Το ίδιο συνέβαινε και με την επιφάνεια του νερού η οποία καθαριζόταν από το επιφανειακό λιπαρό στρώμα με την χρήση ειδικής συσκευής (Chatain & Ounais-Guschemann, 1990) προκειμένου να εξασφαλισθεί η πλήρωση της νηκτικής κύστης με αέρα. Το πρωτόκολλο εκτροφής ήταν παρόμοιο με αυτό που περιγράφεται από τους Papandroulakis *et al.* (2002).

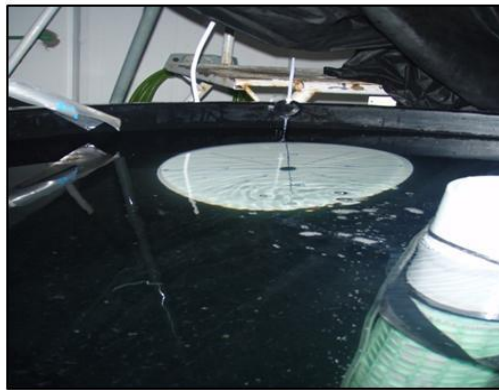
I)



II)



III)



Εικόνα 1 (I-II). Πειραματική δεξαμενή εντατικής εκτροφής νυμφών λαβρακιού χωρητικότητας 0.5 m^3 νερού. I) εξωτερική εμφάνιση σειράς δεξαμενών εκκολαπτηρίου με σκέπαστρα, η χρήση των οποίων ήταν απαραίτητη για την διατήρηση ελεγχόμενης φωτοπεριόδου, II) εσωτερικό της δεξαμενής όπου φαίνεται το φίλτρο του κλειστού κυκλώματος ανανέωσης του νερού καθώς και νύμφες να κολυμπούν τριγύρω από αυτό, III) εσωτερικό της δεξαμενής όπου φαίνεται ο δίσκος (πλαίσιο αναφοράς) που χρησιμοποιήθηκε στην συλλογή των δεδομένων (§2.3.3).

2.3.2. Εκτροφή με την μέθοδο του Μεσοκόσμου

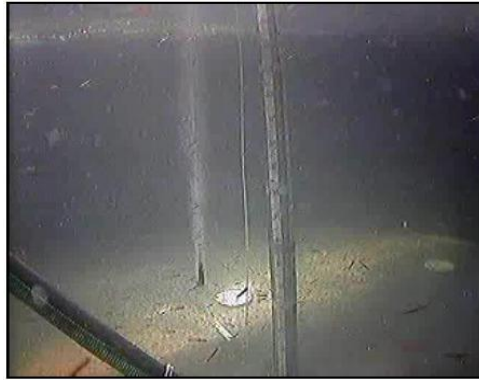
Βασική αρχή της εκτροφής με την μέθοδο του μεσοκόσμου είναι η μίμηση της φυσικής τροφικής αλυσίδας με την προαγωγή της ανάπτυξης της διαδοχικής αλυσίδας πλαγκτονικών ειδών που απαντώνται σε αυτή και που, εξ ορισμού αποτελούν την φυσική -άρα καταλληλότερη- τροφή των νυμφών των ψαριών. Επιδιώκοντας λοιπόν αυτόν τον στόχο, αυγά τα οποία παραχωρήθηκαν από την εταιρεία «ΝΗΡΕΥΣ Α.Ε» τοποθετήθηκαν σε κυλινδρική πολυεστερική δεξαμενή μαύρου χρώματος και χωρητικότητας 40m³ σε συγκέντρωση 8-10/l (μεσόκοσμος ημιεντατικής φιλοσοφίας: Divanach & Kentouri, 2000) η οποία είχε πληρωθεί με φιλτραρισμένο θαλασσινό νερό μερικές ημέρες πριν. Στην ίδια δεξαμενή έγινε η εκκόλαψη καθώς και η περαιτέρω εκτροφή των νυμφών. Η εκτροφή ήταν ουσιαστικά ημι-εντατικής φιλοσοφίας, δεδομένου ότι χορηγούνταν εξωγενής τροφή αλλά λόγω της χαμηλής ιχθυοφόρτισης (δηλ της χαμηλής θήρευσης) και της παρουσίας φυτοπλαγκτού στο νερό υπήρχε και μία ενδογενής παραγωγή που συμπλήρωνε την διατροφή των ψαριών. Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος η φωτοπερίοδος ήταν φυσική. Η θερμοκρασία, από 15 °C όπου είχε ρυθμιστεί αρχικά, σταθεροποιήθηκε στους 17.4±0.3 °C από την εκκόλαψη και μετά. Το νερό αναμιγνυόταν ελαφρά από τον πυθμένα, με χρήση τεσσάρων ξύλινων διαχυτών, ένα στην μέση της δεξαμενής και τρεις περιφερειακά, δίπλα από τα τοιχώματα (Εικόνα 2, 3B). Η δεξαμενή τροφοδοτούνταν με φιλτραρισμένο θαλασσινό νερό αλατότητας 37‰ με ωριαίο ρυθμό ανανέωσης ο οποίος σταδιακά αυξήθηκε από 5%/1 σε 200%/1 στις 30-35 ημέρες μετά την εκκόλαψη (dph). Παρόλο που στην κλασική εκτροφή μεσοκόσμου (όπου η ιχθυοφόρτιση είναι περίπου 2 με 4 αυγά/l) δεν γίνεται προσθήκη εξωγενούς τροφής, στην παρούσα περίπτωση, λόγω της

μεγαλύτερης αρχικής συγκέντρωσης αυγών, η ενδογενής τροφική αλυσίδα που είχε δημιουργηθεί συμπληρωνόταν σε καθημερινή βάση με εξωγενή τροφή που σταδιακά άλλαξε από τροχόζωα (Rotifers) *B. plicatilis* (συγκέντρωση: 2 άτομα/ml), σε εμπλουτισμένους ναύπλιους *Artemia* (“Selco”, Artemia Systems INVE S.A., Belgium, συγκέντρωση: 0.1-1.5 άτομα.ml⁻¹ και τέλος σε βιομηχανική ξηρή τροφή (INVE S.A., Belgium). Τις πρώτες 15 ημέρες της εκτροφής στην δεξαμενή υπήρχε καθημερινή εισαγωγή καλλιέργειας του φυτοπλαγκτονικού είδους *Chlorella minutissima* με στόχο την διατήρηση της ημερήσιας συγκέντρωσης του σε $650 \pm 300 \times 10^3$ κύτταρα/ml. Για την εξασφάλιση της πλήρωσης την νηκτικής κύστης η επιφάνεια του νερού καθαριζόταν από το επιφανειακό λιπαρό στρώμα με την χρήση ειδικών συστημάτων καθαρισμού. Το πρωτόκολλο εκτροφής ακολούθησε την τεχνική που περιγράφεται από τους Divanach & Kentouri (2000).

I)



II)



III)



Εικόνα 2 (I-II). Πειραματική δεξαμενή εκτροφής μεσοκόσμου νυμφών λαβρακιού χωρητικότητας 40 m^3 νερού. I) εξωτερική εικόνα της δεξαμενής στις εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιεργειών του Φάρου Ηρακλείου όπου ξεκίνησαν τα πειράματα, II) εικόνα τους εσωτερικού της δεξαμενής όπως εμφανιζόταν στις καταγραφές από μία από τις υποβρύχιες κάμερες που χρησιμοποιήθηκαν. Στον πυθμένα της δεξαμενής είναι εμφανές ένα κυλινδρικό λευκό πλαίσιο αναφοράς που χρησιμοποιούνταν στις εκτιμήσεις της ιχθυοπυκνότητας, καθώς και μερικές ιχθυονύμφες που κολυμπούσαν εκεί, ο αερισμός και ο κεντρικός σωλήνας/φίλτρο, III) μέρος της δεξαμενής στις εγκαταστάσεις των Γουρνών Ηρακλείου, όπου συνεχίστηκαν και ολοκληρώθηκαν τα πειράματα, και όπου φαίνονται πλαστικοί σωλήνες σε σχήμα σταυρού που είχαν χρησιμοποιηθεί για διευκόλυνση κάποιων μετρήσεων με τις κάμερες.

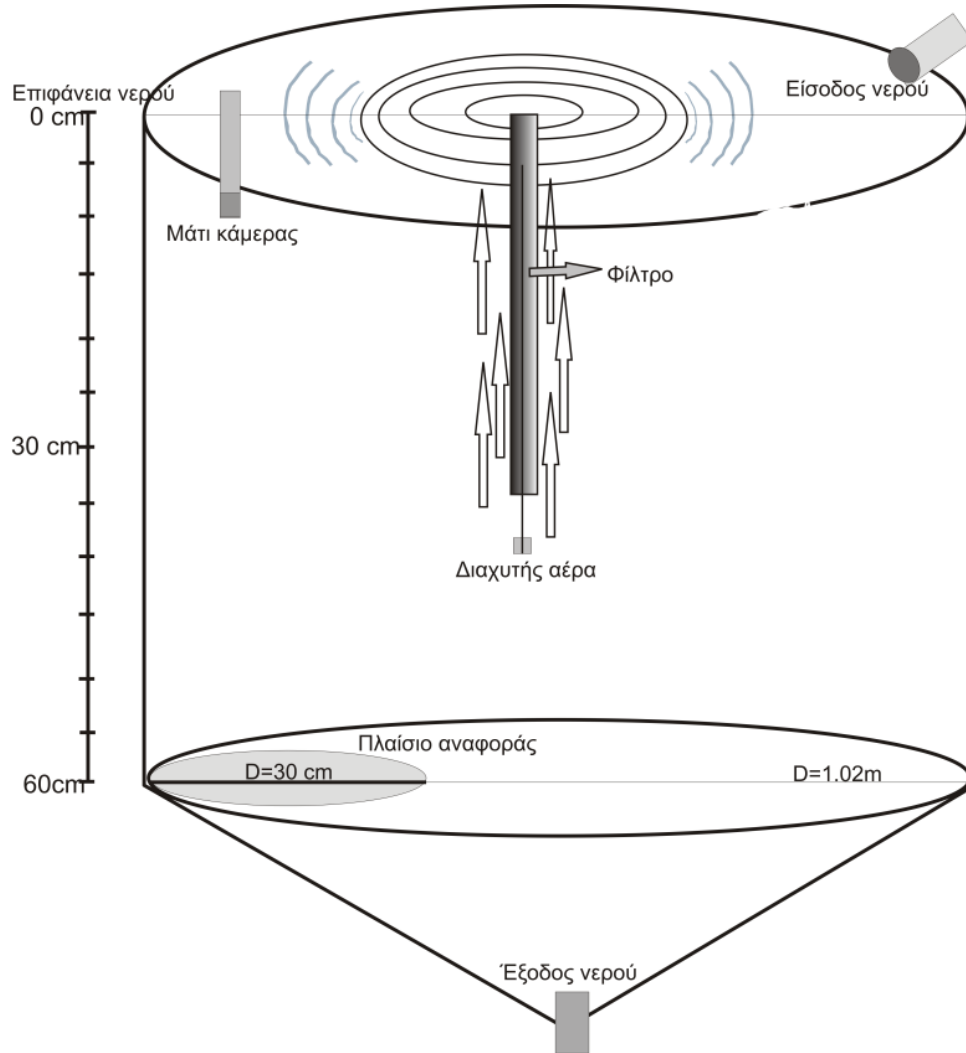
2.3.3. Συλλογή και ανάλυση δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων περιελάμβανε παρατήρηση με το μάτι αλλά και βιντεοκαταγραφές με την χρήση συστήματος υποβρύχιων καμερών. Το σύστημα αυτό αποτελούσαν 4 υποβρύχιες κάμερες συνδεδεμένες με πομπούς και δέκτες σήματος, συνδεδεμένους με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Εικόνα 4). Έτσι επιτυγχανόταν η όσο το δυνατόν λιγότερο επεμβατική διαχείριση και δινόταν η δυνατότητα παρακολούθησης και κατά την διάρκεια της νύχτας μιας και οι κάμερες ήταν εφοδιασμένες και με υπέρυθρο φως. Οι καταγραφές ξεκίνησαν με την εκκόλαψη των αυγών μέχρι και την τελευταία ημέρα πριν μεταφερθούν τα ιχθύδια σε εγκαταστάσεις προπάχυνσης. Καθ' όλη την διάρκεια των εκτροφών καταγράφονταν οι τιμές των αβιοτικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του διαλυμένου O_2 , ο ρυθμός ανανέωσης του νερού και η ένταση του φωτός. Επίσης, γίνονταν καθημερινά παρατηρήσεις σε δείγμα ψαριών ($n=10$) κάτω από στερεοσκόπιο για τον προσδιορισμό του αναπτυξιακού τους σταδίου (μέσω αλλαγής και εμφάνισης συγκεκριμένων δομών, π.χ χρωματισμός ματιών, άνοιγμα στόματος, εμφάνιση πτερυγίων κ.ά), αλλά και μέτρηση κάποιων εκ των μορφολογικών στοιχείων των ψαριών (όπως διάμετρος λιπιδικής σταγόνας, διάμετρος λεκιθικού σάκου). Τέλος, τα ψάρια φωτογραφίζονταν σε κάθε αναπτυξιακό στάδιο με τη βοήθεια φωτογραφική μηχανής (Olympus Camedia C-3030Zoom) προσαρμοσμένης σε στερεοσκοπικό μικροσκόπιο (Olympus SZX-ILLD200) υπό συνθήκες διερχόμενου και/ή προσπίπτοντος φωτισμού.

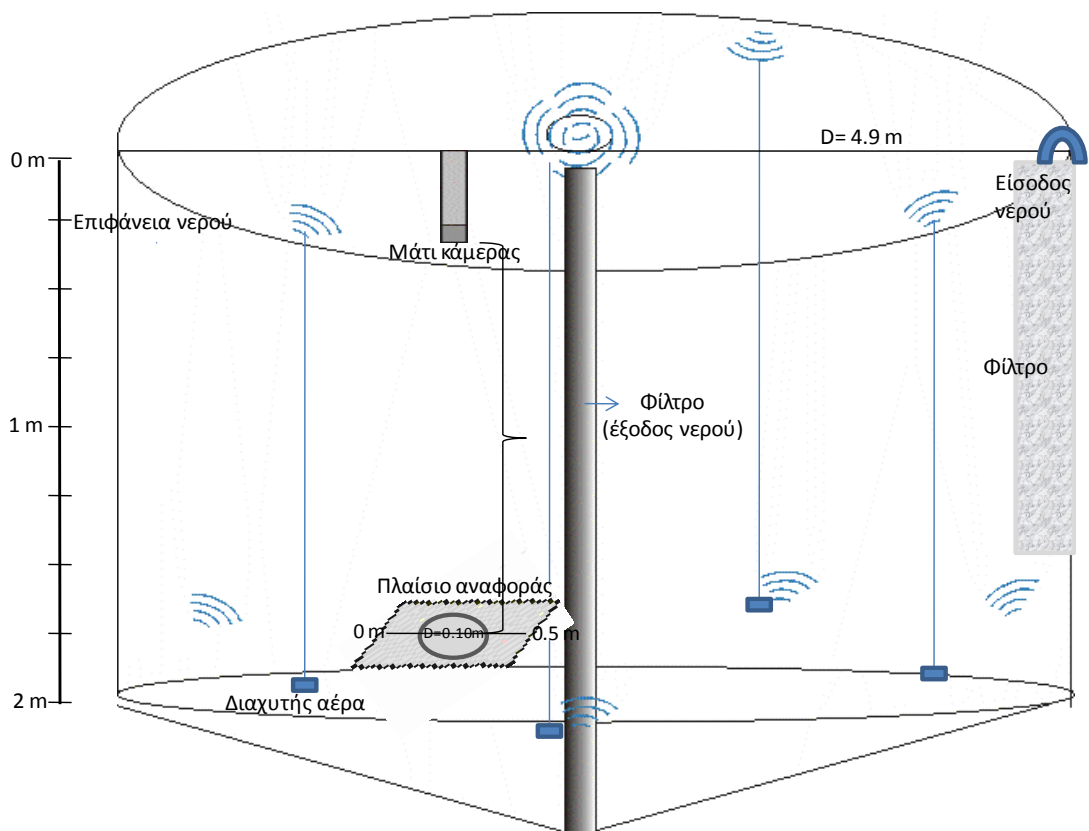
Οι βιντεοκαταγραφές αναλύθηκαν με την βοήθεια τεχνικών ανάλυσης εικόνας προκειμένου να ταυτοποιηθούν χαρακτηριστικά πρότυπα

συμπεριφοράς (κολύμβησης, τροφοληψίας) και να εκτιμηθεί ο προσανατολισμός, η κατανομή στον χώρο, η διάρκεια δραστηριότητας και αδράνειας και οι ταχύτητες κολύμβησης των ψαριών. Στην δεξαμενή των 0.5 m³ είχε τοποθετηθεί ένα λευκό κυκλικό πλαίσιο (d=30 cm), ενώ στον πυθμένα της δεξαμενής των 40 m³ είχε τοποθετηθεί ένα ορθογώνιο πλαίσιο (60x40 cm) με σχεδιασμένο στην μέση του ένα κύκλο (d=10 cm), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως πλαίσια αναφοράς που βοήθησαν στην μελέτη του προσανατολισμού των νυμφών (εικόνα 3A, B). Η κατανομή των ψαριών μέσα στην δεξαμενή και η μεταβολή της με την πάροδο του χρόνου εκτιμήθηκαν με την βοήθεια ενός κατακόρυφου συμβόλου αναφοράς το οποίο είχε τοποθετηθεί στην μέση κάθε πειραματικής δεξαμενής και κάλυπτε από την επιφάνεια του νερού μέχρι τον πυθμένα της δεξαμενής.

A)



B)



Εικόνα 3. Απεικόνιση πειραματικών δεξαμενών, **A:** 0.5 m^3 (εντατική εκτροφή), **B:** 40 m^3 (εκτροφή με την μέθοδο του μεσοκόσμου).

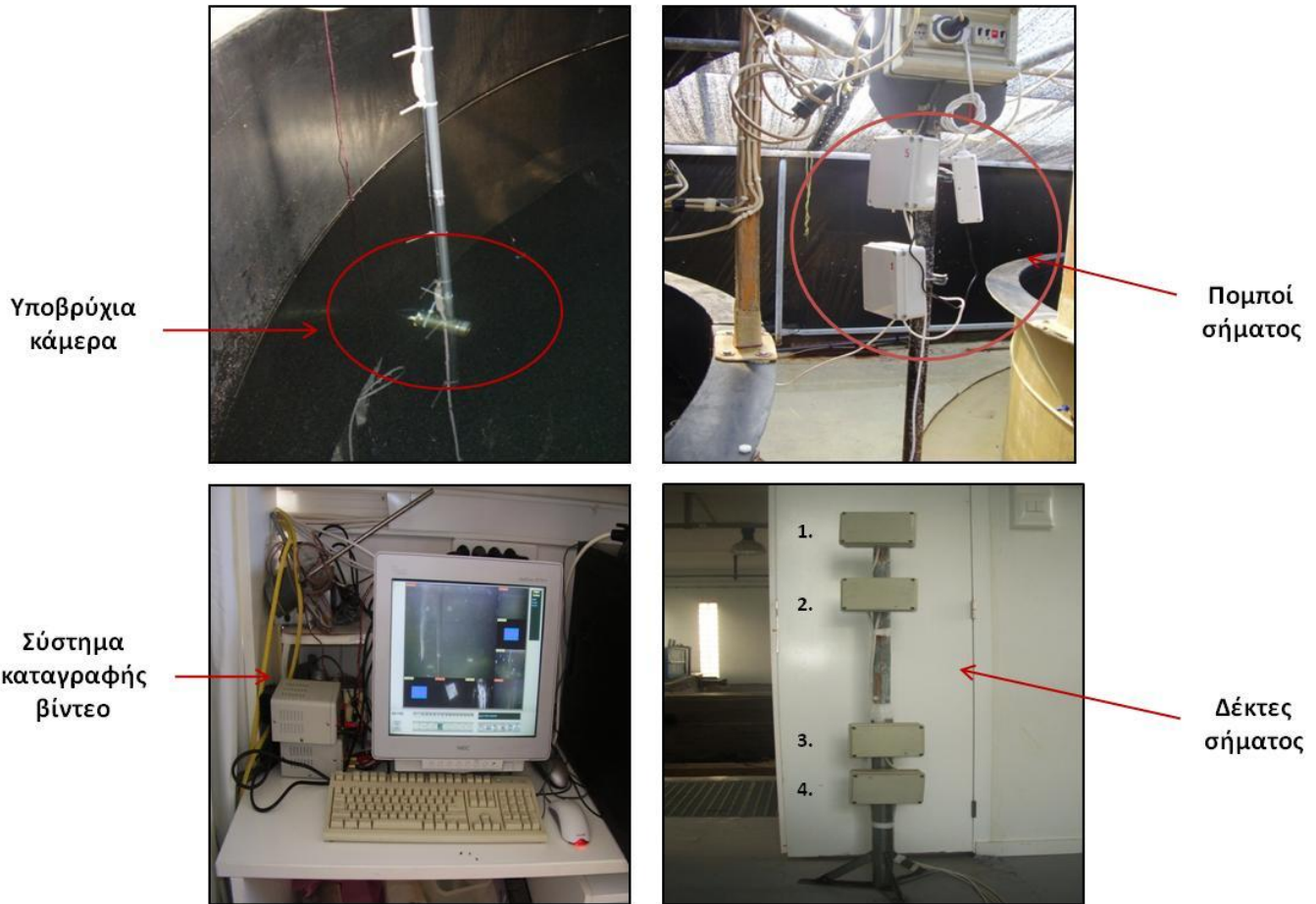
Τα αναπτυξιακά στάδια που μελετήθηκαν προσδιορίστηκαν με βάση μορφολογικά χαρακτηριστικά που εμφάνισαν τα ιχθύδια στην πορεία του χρόνου (π.χ κάμψη νωτοχορδής) καθώς και διαχειριστικά μέτρα που εφαρμόστηκαν, εννοώντας χειρισμούς που ξεχώριζαν τις διάφορες φάσεις εκτροφής (π.χ μετάβαση στην *Artemia* sp.). Οι διάφορες μεταβολές της

συμπεριφοράς αναλύθηκαν με αναφορά στο ολικό μήκος (TL σε mm). Οι ηλικίες αναφέρονται ως ημέρες μετά την εκκόλαψη (dph) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Κύρια χαρακτηριστικά (μορφολογικά και διαχειριστικά/φάσεις εκτροφής) των αναπτυξιακών σταδίων που μελετήθηκαν στις δύο συνθήκες εκτροφής: εντατική (Εντ.) και μεσοκόσμου (Μεσ.). Οι ηλικίες δίνονται σε ημέρες μετά την εκκόλαψη (dph) και τα μήκη σε ολικά μήκη (TL), αριθμός ατόμων που μελετήθηκαν για καθορισμό κάθε σταδίου, n=10.

Εντατική εκτροφή (Εντ) και εκτροφή με την μέθοδο του Μεσοκόσμου (Μεσ.)					
Μελετώμενα αναπτυξιακά στάδια και φάσεις εκτροφής	Ηλικία (dph)		Μήκος (mm TL)		Κύρια χαρακτηριστικά
	Εντ.	Μεσ.	n=10		
			Εντ.	Μεσ.	
Λεκιθοφόρες νύμφες	0-9	0-4	Μέχρι 4.7±0.7	Μέχρι 4.7±1.0	Εύθραυστες μικροσκοπικές νύμφες πλήρως εξαρτημένες από τα λεκιθικά τους αποθέματα (στόμα κλειστό, μάτια μη λειτουργικά)
Πρώτο τάισμα	10	5	5.3±0.6	4.9±3	Έναρξη εξωγενούς διατροφής (πλαγκτονικοί οργανισμοί), άνοιγμα στόματος, πλήρης απορρόφηση λεκιθικών αποθεμάτων, σταγόνα λιπιδίου ακόμη παρούσα, ανάπτυξη θωρακικών πτερυγίων (τα μόνα παρόντα πτερύγια)

Μετάβαση στην <i>Artemia</i> sp.	15	6	6.3±0.7	5.6±0.4	Αλλαγή εξωγενούς τροφής (από Rotifers σε <i>Artemia</i> sp.), εμφάνιση ουραίου πτερυγίου, απορρόφηση της σταγόνας λιπιδίου
Κάμψη Νωτοχορδής (Flexion)	26	20	9.2±1.9	10±1.7	Κάμψη/συστροφή ουρόστουλου, εμφάνιση πρώιμων δομών του ραχιαίου και εδρικού πτερυγίου
Αρχή μεταμόρφωσης/coo-feeding (Απογαλακτισμός)	32	31	10.6±4.4	13.6±2.4	Έναρξη σχηματισμού ραχιαίου και εδρικού πτερυγίου, φάση απογαλακτισμού (προοδευτική εξάλειψη ζωντανής τροφής)
Μέσο μεταμόρφωσης (μετά-νύμφη/στάδιο πρώιμου ιχθυδίου)	40	38	14.4±1.1	15±1.7	Νύμφες με όλα τα πτερύγια πλήρως σχηματισμένα (πρώιμο ιχθύδιο)



Εικόνα 4. Το σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε, αποτελούμενο από υποβρύχιες κάμερες, πομπές και δέκτες σήματος και λογισμικό καταγραφής εικόνας στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ο τύπος κολύμβησης στον οποίο μπόρεσε να γίνει υπολογισμός της ταχύτητας κολύμβησης στην παρούσα μελέτη, εκ των τριών που έχουν περιγραφεί από τους μελετητές («sustained»: σταθερής ταχύτητας, «prolonged»: παρατεταμένης κολύμβησης, «burst»: εκτίναξης), ήταν αυτός της «sustained» κολύμβησης. Ο τύπος αυτός αφορά κολυμβήσεις που

μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα (μεγαλύτερα από 200 min), χωρίς να καταλήγουν σε μυϊκή κόπωση (Hammer, 1995).

Οι καταγραφές αναλύθηκαν για 30 άτομα από κάθε αναπτυξιακό στάδιο (μορφολογικό και διαχειριστικό/φάση εκτροφής). Είχε υπολογιστεί η μέση ταχύτητα «sustained», κολύμβησης τους, όπως και οι βαθμοί αλλαγής προσανατολισμού της (κατεύθυνση κολύμβησης). Η ταχύτητα υπολογίστηκε από την απόσταση που διανύθηκε, εκφρασμένη σε μήκη σώματος (BLs) ανά δευτερόλεπτο με την χρήση προγράμματος επεξεργασίας εικόνας (Image Analysis Pro 4.5, Media Cybernetics) στα 10 frames sec⁻¹. Η ανάλυση αυτή με την χρήση του λογισμικού εντοπίζει την μετατόπιση του κάθε ψαριού στο πεδίο παρατήρησης σε ένα συγκεκριμένο βαθμό frame για συγκεκριμένο χρόνο και μετά διαγράφει την πορεία της μετακίνησης του ψαριού. Πιο συγκεκριμένα τα βήματα που ακολουθήθηκαν περιελάμβαναν 5 στάδια τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω στην εικόνα 5.

Βήματα επεξεργασίας καταγραφών:

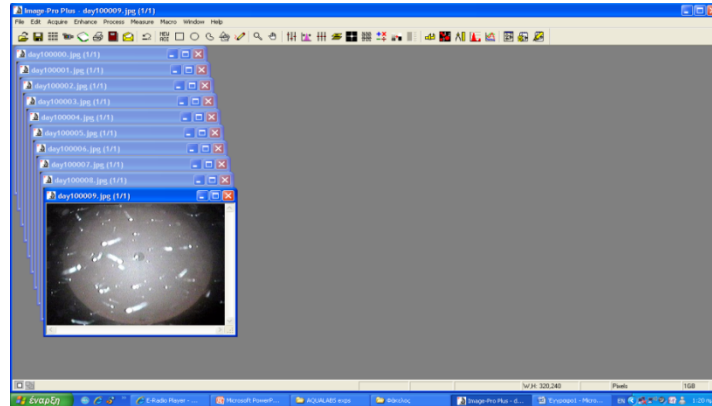
- 1) παρακολούθηση πεντάλεπτων καταγραφών – αφού έχουν αναλυθεί σε frames – σε αργή κίνηση και επιλογή ατόμων προς μέτρηση (Windows Media Classic).
- 2) αποκοπή των πεντάλεπτων καταγραφών σε μικρότερης διάρκειας frames με την βοήθεια του λογισμικού Virtual Dub 1.6.12.



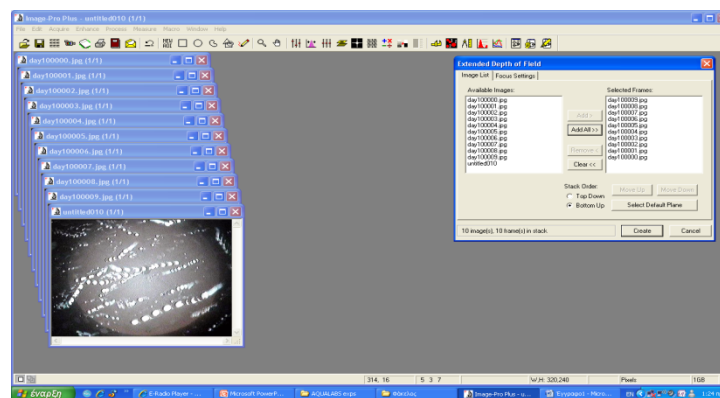
- 3) αποκοπή σε frames, για παράδειγμα $10 \text{ frames sec}^{-1}$ –η κάμερα γράφει σε $30 \text{ frames sec}^{-1}$ – οπότε γίνεται αναγωγή των 30 στα 10 frames και έτσι σχηματίζονται 10 συνεχόμενες εικόνες για την κίνηση του ατόμου σε 1 sec.



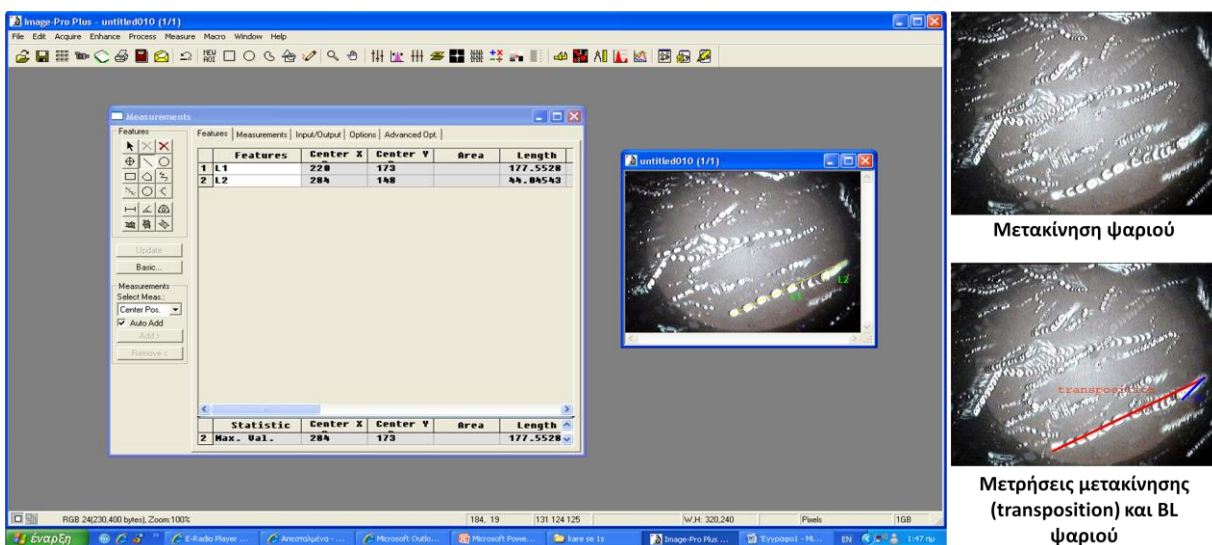
- 4) εισαγωγή των συνεχόμενων εικόνων – frames στο λειτουργικό Image Analysis Pro 4.5 και στην συνέχεια επικάλυψη των εικόνων – overlapping



και μέσα από μια σειρά άλλων λειτουργιών του προγράμματος όπως εκτεταμένη βαθύτητα των πεδίων (extended depth of fields), «πρόσθεση», «δημιουργία» καταλήγει σε μια τελική εικόνα όπου παρουσιάζεται η μετακίνηση του ατόμου (από την 1^η μέχρι την 10^η εικόνα) μέσα σε ένα δευτερόλεπτο καθώς και η κατεύθυνση της κίνησης.



- 5) μέτρηση από την μπάρα λειτουργιών του προγράμματος του μήκους σώματος (BL), της μετακίνησης του ψαριού και έτσι της ταχύτητας κολύμβησης του σε $BL \text{ sec}^{-1}$.

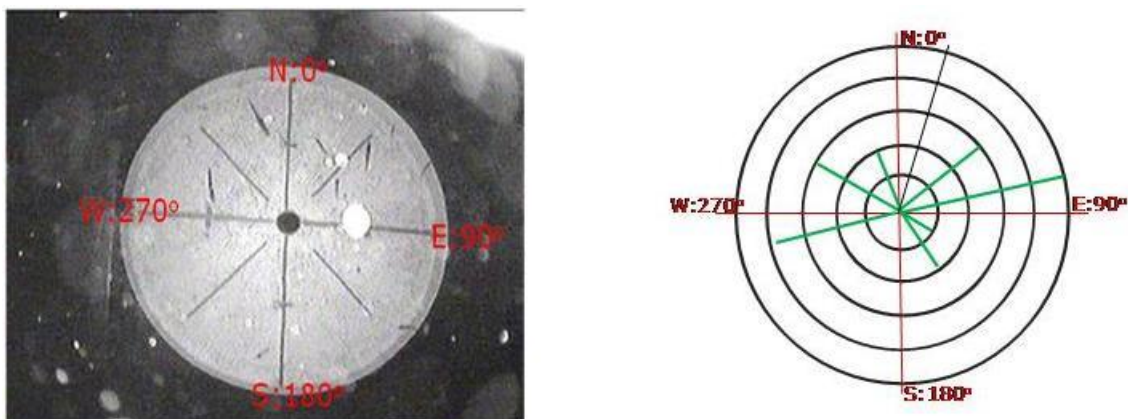


Εικόνα 5. Βήματα επεξεργασίας (1 έως 5) της ανάλυσης εικόνας για την μέτρηση της ταχύτητας κολύμβησης των ψαριών (BL/s) χρησιμοποιώντας το λογισμικό (VirtualDub. 1.6.12, Image Analysis Pro. Plus 4.5, Media Cybernetics).

Για τους έλεγχους και συγκρίσεις, όπου πληρούνταν οι προϋποθέσεις της κανονικότητας και της ομοιοσκεδαστικότητας χρησιμοποιήθηκε Student t-test αλλιώς τα μη παραμετρικά Kruskal-Wallis, Median test ANOVA by ranks και Mann Whitney U test. Για τις περιόδους αδράνειας/δραστηριότητας για το λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο χρησιμοποιήθηκε Student t-test (επίπεδο σημαντικότητας P αποδεκτό στο 0.05-διάστημα εμπιστοσύνης 95%), για τον έλεγχο επίδρασης της ηλικίας

στην ταχύτητα κολύμβησης χρησιμοποιήθηκε Kruskal-Wallis και Median test ANOVA by ranks (επίπεδο σημαντικότητας P αποδεκτό στο 0.05 - διάστημα εμπιστοσύνης 95%), και για την σύγκριση μεταξύ των ανεξάρτητων ομάδων ταχυτήτων κολύμβησης στις πέντε διαφορετικές ηλικιακές φάσεις χρησιμοποιήθηκε Mann Whitney U test (επίπεδο σημαντικότητας P αποδεκτό στο 0.05). Για την σύγκριση των ατόμων του ίδιου αναπτυξιακού σταδίου που προέρχονταν από τους δύο διαφορετικούς τύπους εκτροφών ως προς τις περιόδους αδράνειας/δραστηριότητας και ταχυτήτων κολύμβησης εφαρμόστηκε Student t-test: (επίπεδο σημαντικότητας P αποδεκτό στο 0.05- διάστημα εμπιστοσύνης 95%). Όλη η επεξεργασία των δεδομένων και η στατιστική ανάλυση, πραγματοποιήθηκε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με την χρήση του Microsoft Excel (2007) και του στατιστικού πακέτου Statistica (7.0. 61.0, StatSoft, Inc. 2004). Η τροχιά/κατεύθυνση κολύμβησης (γνωστή και ως συχνότητα στροφής) υπολογίστηκε από την κατεύθυνση της κίνησης στις καταγραφές. Οι διεργασίες κυκλικής στατιστικής (circular statistical) που εφαρμόστηκαν για την εύρεση της τροχιάς κολύμβησης (μετρημένη σε μοίρες) έγιναν σύμφωνα με τον Bratschelet (1981) και τον Zar (1996). Το μέσο διάνυσμα (r) που εμφανίζεται στα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι ένα μέτρο συγκέντρωσης των κυκλικών δεδομένων ως αποτέλεσμα της γωνιακής διασποράς που ευρύνεται από 0 (μέγιστη διασπορά) σε 1 (έλλειψη διασποράς, δηλ. τα δεδομένα είναι συγκεντρωμένα προς την ίδια κατεύθυνση) (Εικόνα 6). Για τον έλεγχο υποθέσεων που αφορούν την μέση κατεύθυνση της κολύμβησης εφαρμόστηκε το Rayleigh test (single-sample hypotheses) και για τον έλεγχο της διαφορετικότητας των μέσων διανυσμάτων (multi-sample hypotheses) το Watson-Williams F-test (για $p < 0.05$). Οι κυκλικές στατιστικές διεργασίες εκτελέστηκαν με το λογισμικό Oriana (vers. 2, Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, UK). Να αναφερθεί ότι για

όλα τα στατιστικά τεστ παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές P, αλλά η τιμή $P < 0.05$ θεωρείται ως το σημαντικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 6. Μεθοδολογία ανάλυσης του προσανατολισμού της κίνησης χρησιμοποιώντας το λογισμικό Oriana 2.0. **Αριστερά:** φωτογραφία του κυκλικού πλαισίου αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε στις πειραματικές δεξαμενές, **Δεξιά:** Γράφημα που αντιπροσωπεύει την συχνότητα κατανομής των διαδρομών/κατευθύνσεων που ομαδοποιούνται σε διαστήματα 45°. Η ακτίνα που διαπερνά τον εξωτερικό κύκλο (λεπτή μαύρη γραμμή) δείχνει την μέση κατεύθυνση. Ο αριθμός των κυκλικών γραμμών είναι αντιπροσωπευτικός του αριθμού των τροχιών που καταγράφηκαν για κάθε νύμφη. Οι πράσινες γραμμές δείχνουν τις κατευθύνσεις κολύμβησης.

2.4 Αποτελέσματα

❖ 2.4.1. Εντατική μέθοδος εκτροφής

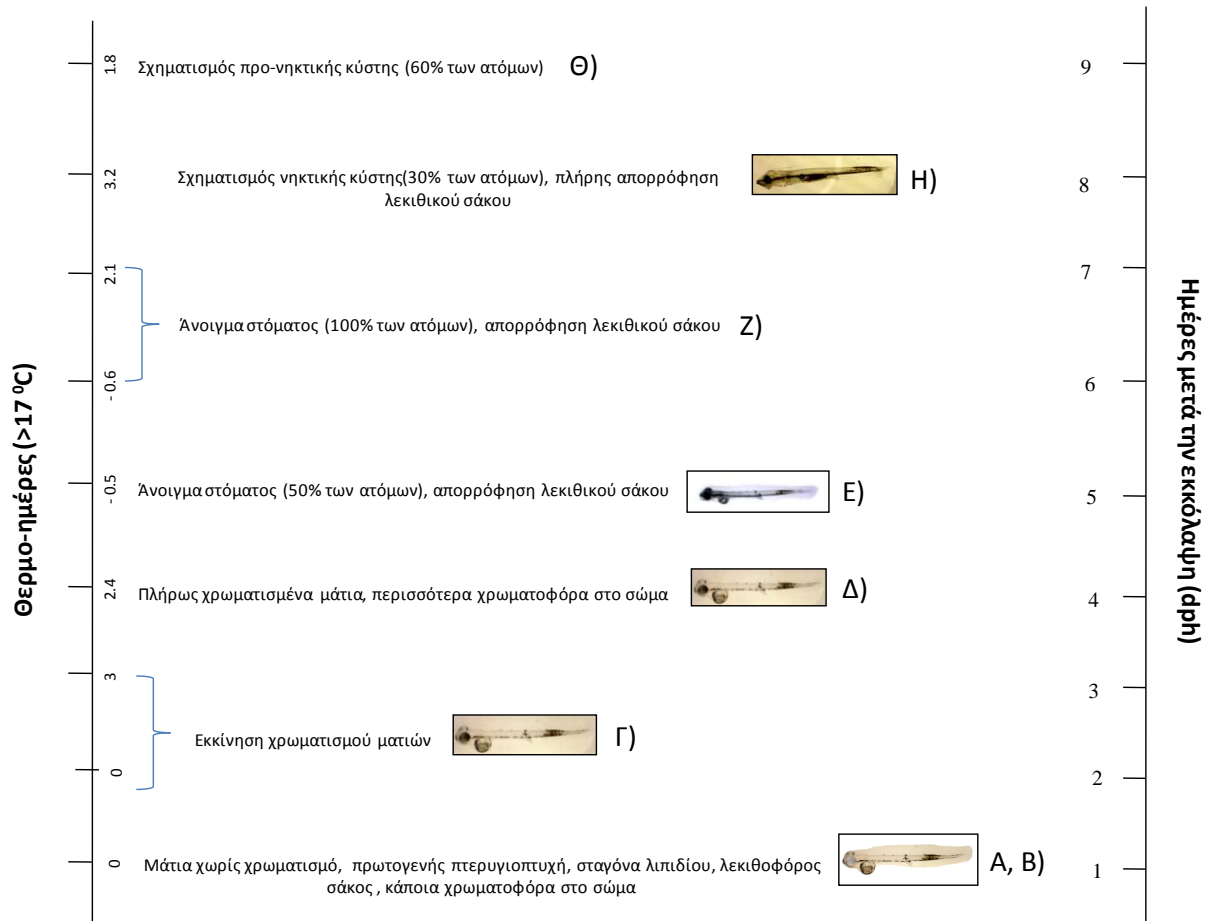
Λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο

2.4.1.1. Γενική Συμπεριφορά

Σε γενικές γραμμές, κατά το αναπτυξιακό αυτό στάδιο τα ψάρια επιδεικνύουν στερεοτυπικές μη προσανατολισμένες κινήσεις, οι οποίες έχουν έναν ενδογενή ρυθμό, εννοώντας ότι είναι υπό επίδραση ενδογενών αιτιών, αλλά ταυτόχρονα επηρεάζονται και από περιβαλλοντικά αίτια που στην περίπτωση της παρούσας μελέτης είναι τα χαρακτηριστικά του μέσου εκτροφής (για παράδειγμα της θερμοκρασίας). Όταν τα μάτια γίνουν λειτουργικά, το στόμα ανοίγει και τα λεκιθικά αποθέματα έχουν σχεδόν καταναλωθεί (σε χρόνο που εξαρτάται από τις συνθήκες θερμοκρασίας) οι λεκιθοφόρες νύμφες αρχίζουν να εκτελούν συντονισμένες κινήσεις. Στη συνέχεια, οι κινήσεις αυτές γίνονται κολύμβηση διαφόρων εντάσεων, η έναρξη της οποίας οφείλεται σε φυσικά ερεθίσματα όπως το φως, το ρεύμα του νερού και η βαρύτητα. Οι κολυμβητικές αυτές δραστηριότητες «αναγκάζουν» την λεκιθοφόρα νύμφη να μετακινηθεί μέσα στο νερό σε πιο πλεονεκτικές θέσεις για την μετέπειτα νυμφική της ζωή.

Πιο λεπτομερώς, το *λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο* (από την εκκόλαψη μέχρι τα 5.3 mm TL), φάση που διαρκεί 9 dph ή 55.17 θερμοημέρες (d.d –πάνω από την θερμοκρασία των 17 °C -: Εικόνα 7), χαρακτηρίζεται από μία σειρά διαδοχικών μορφολογικών αλλαγών οι

οποιές σχετίζονται με συγκεκριμένες δραστηριότητες και αλλαγές στην συμπεριφορά των ψαριών όπως αυτές περιγράφονται παρακάτω.



Εικόνα 7. Αλληλουχία των μορφολογικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά την διάρκεια του λεκιθοφόρου νυμφικού σταδίου (από την εκκόλαψη μέχρι τα 5.3 mm TL). Ο αναπτυξιακός χρόνος δίνεται σε ημέρες μετά την εκκόλαψη (dph) αλλά και σε αντίστοιχες θερμο-ημέρες (d.d –πάνω από την θερμοκρασία των 17 °C). Τα ποσοστά των σταδίων (σχηματισμός νηκτικής κύστης και άνοιγμα στόματος) αναφέρονται στο ποσοστό του πληθυσμού που παρουσιάζει το εκάστοτε χαρακτηριστικό.

Συμπεριφορικές αλλαγές που παρουσιάζονται στην εικόνα 4 ως Α-Θ:

A) 0 dph (εκκόλαψη): οι λεκιθοφόρες νύμφες αφήνονται να παρασυρθούν από το ρεύμα του νερού μέσα στην δεξαμενή, επιδεικνύουν μία ουδέτερη πλευστότητα και κατανέμονται σε όλη την δεξαμενή (Εικόνα 8Α).

B, Γ) 1,2,3 dph: οι λεκιθοφόρες νύμφες παρουσιάζουν παρόμοιο πρότυπο συμπεριφοράς με αυτό της προηγούμενης ημέρας (0 dph) αλλά επιδεικνύουν επιπλέον και άλλες συμπεριφορές όπως: αρνητικό ρεστακτισμό (αντίθετη κίνηση προς το ρεύμα κίνησης του νερού) και κολύμβηση μακριά από τον αερισμό και κοντά στα τοιχώματα της δεξαμενής. Το 20% των ατόμων αρχίζουν να κολυμπούν προς τα εμπρός με διακοπτόμενες κινήσεις (εκτινάξεις) μακριά από τον αερισμό και προς όλες τις κατευθύνσεις (διάρκεια κίνησης 1-2 sec), και επίσης εμφανίζουν «στροβιλώδεις» κινήσεις κατακόρυφες στο νερό (Εικόνα 8B).

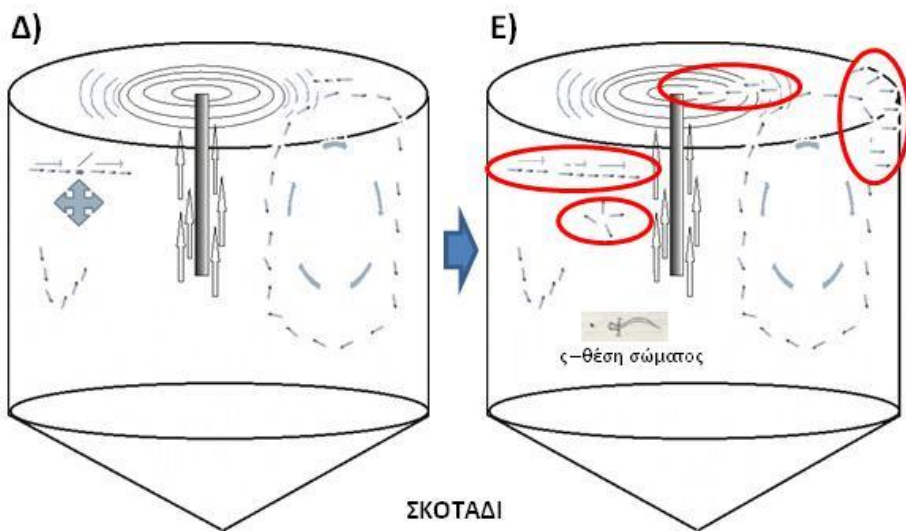
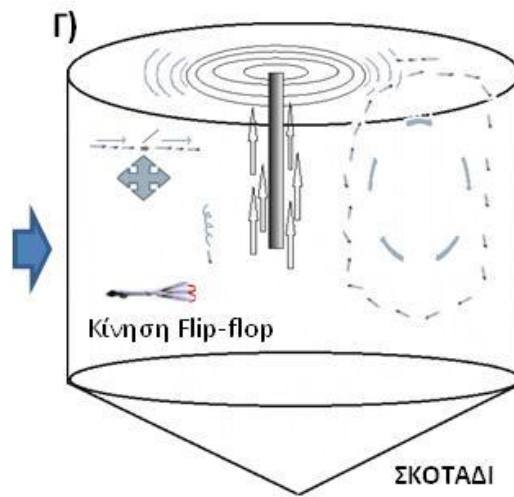
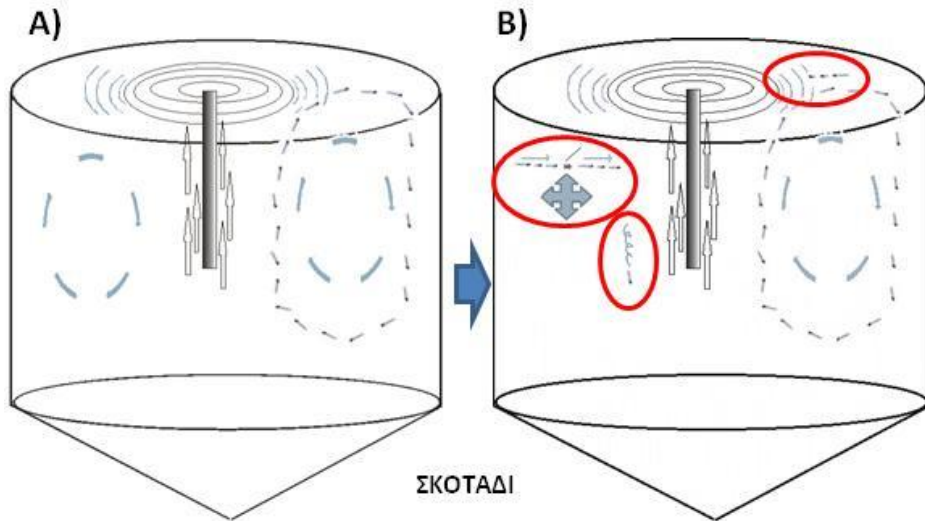
Δ) 4 dph: οι λεκιθοφόρες νύμφες παρουσιάζουν παρόμοιο πρότυπο δραστηριοτήτων με τις λεκιθοφόρες νύμφες των προηγούμενων δύο ημερών (2, 3 dph), συν την ανάπτυξη μίας επιπλέον κίνησης, προς τα δεξιά/αριστερά (Flip Flop), που την πραγματοποιούν με το ουραίο τμήμα του σώματος τους (Εικόνα 8Γ).

Ε, Ζ, Η) 5,6,7,8 dph: οι λεκιθοφόρες νύμφες παρουσιάζουν παρόμοιο πρότυπο δραστηριοτήτων με αυτό της προηγούμενης ημέρας (4 dph) αλλά οι κινήσεις τους δείχνουν να είναι πιο ενεργητικές, (διάρκειας από 3 έως 7 sec) με εμπρόσθια διακοπτόμενη κολύμβηση μακριά από τον αερισμό. Όλα τα άτομα εκτελούν κίνηση προς τα

εμπρός με εκτίναξη που διαρκεί περίπου 0.5 με 1 sec (Εικόνα 8Δ). Την 8^η dph, οι λεκιθοφόρες νύμφες παρουσιάζουν παρόμοιο πρότυπο δραστηριοτήτων με τις λεκιθοφόρες νύμφες των προηγούμενων δύο ημερών (6, 7 dph) με πιο ενεργητικές όμως κινήσεις. Παρόλο που οι περιοδοί όπου αφήνονται να παρασύρονται από το ρεύμα του νερού και τα βυθίσματα συνεχίζουν να υπάρχουν, οι λεκιθοφόρες νύμφες γρήγορα επιστρέφουν στις κολυμβητικές τους προσπάθειες (Εικόνα 8Δ).

Θ) 9 dph: οι λεκιθοφόρες νύμφες παρουσιάζουν παρόμοιο πρότυπο δραστηριοτήτων με τις λεκιθοφόρες νύμφες της προηγούμενης ημέρας (8 dph) αλλά με μία σαφώς πιο συνεχόμενη κίνηση παρόλο που ακόμη παρουσιάζουν κάποια αρνητική πλευστότητα. Οι χρόνοι δραστηριότητας φαίνονται στην Εικόνα 10. Εμφανίζονται επίσης να έχουν ακόμη πιο ενεργητικές κινήσεις και έναν αντίθετο ρεστακτισμό δίπλα στον αερισμό. Αρχίζουν να υιοθετούν μία στάση σώματος (σε «S») που υποδηλώνει ότι είναι έτοιμες για κυνήγι και αρπαγή λείας παρόλο που ακόμη στο μέσο εκτροφής δεν έχει προστεθεί τροφή. Αρχίζουν να διερευνούν («κινήσεις ψαξίματος») τον όγκο του νερού προς όλες τις κατευθύνσεις και τα τοιχώματα της δεξαμενής τα οποία αγγίζουν και χτυπούν με το μπροστινό μέρος του στόματος τους (Εικόνα 8Ε).

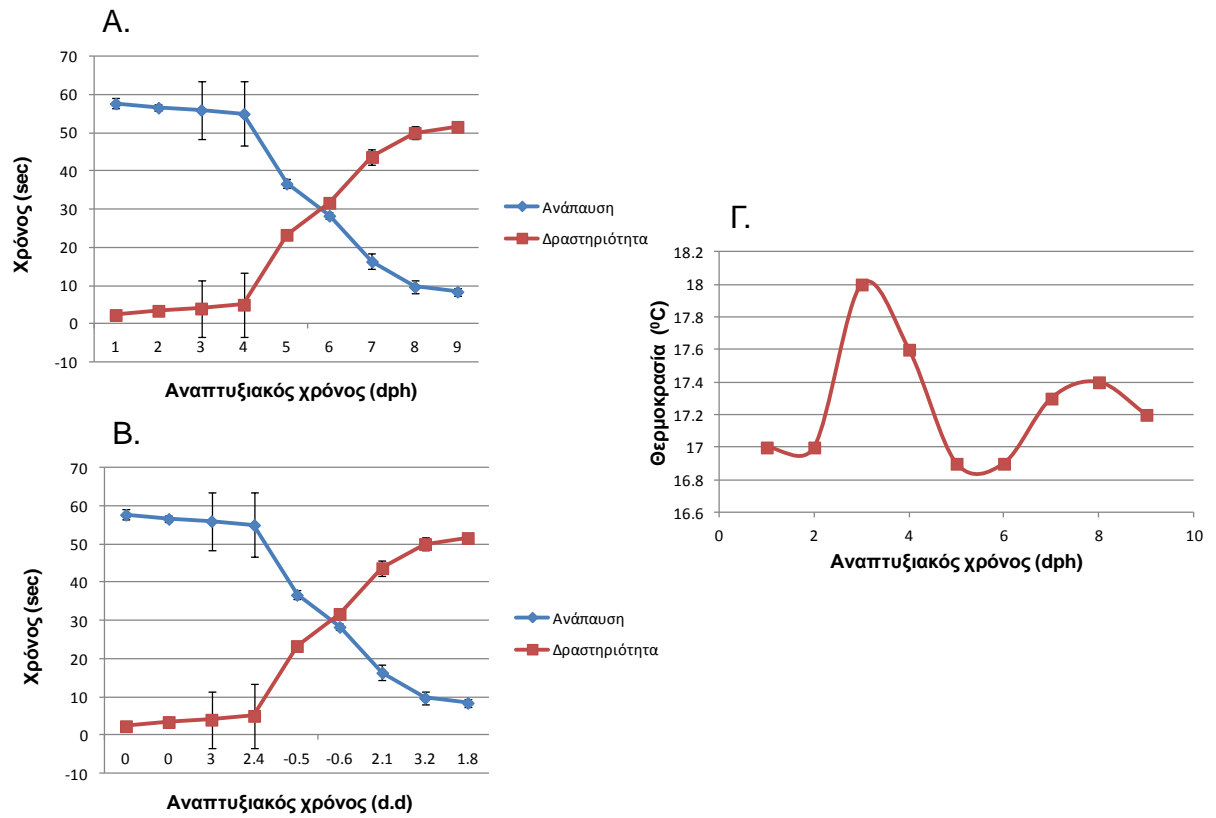
Εικόνα 8 (δίπλα). Απεικόνιση των προτύπων κατανομής και δραστηριότητας των λεκιθοφόρων νυμφών υπό συνθήκες εντατικής εκτροφής από την εκκόλαψη μέχρι τα 5.3 mm TL, μία φάση που διαρκεί 9 dph: Α) 0 dph (εκκόλαψη), Β) 1, 2, 3 dph, Γ) 4 dph, Δ) 5, 6, 7, 8 dph, Ε) 9 dph.



Η κατεύθυνση της κολύμβησης μέσα στην δεξαμενή κατά την διάρκεια του αυτότροφου σταδίου ήταν τυχαία και οι λεκιθοφόρες νύμφες εμφανίζονταν να καταλαμβάνουν όλο τον όγκο του νερού της δεξαμενής.

2.4.1.2. Μέτρηση Αδράνειας έναντι Ενεργητικότητας

Οι λεκιθοφόρες νύμφες κατά τις πρώτες μέρες της ζωής τους ξοδεύουν περισσότερο χρόνο για ανάπαυση (αδράνεια) παρά για δραστηριότητα (Εικόνα 9). Μια απότομη αύξηση της δραστηριότητας παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια των ημερών 4 και 5 dph (όταν είχαν χρωματιστεί πλήρως τα μάτια) και μεταξύ των ημερών 6 και 7 dph (όταν όλα τα άτομα είχαν ανοίξει το στόμα). Τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ των ημερών για να διαφανεί κατά πόσο στην πορεία του αναπτυξιακού χρόνου (dph) η περίοδος αδράνειας/δραστηριότητας είχε στατιστικά σημαντική διαφορά από την προηγούμενη ημέρα έδειξε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις ημέρες 1 με 2, 4 με 5, 5 με 6, 6 με 7 και 7 με 8 dph (Πίνακας 2): όπου την ημέρα 2 είχαν αρχίσει να χρωματίζονται τα μάτια, την ημέρα 5 είχαν χρωματιστεί πλήρως τα μάτια, την ημέρα 6 και 7 όλα τα άτομα είχαν ανοίξει το στόμα και την ημέρα 8 είχε ξεκινήσει ο σχηματισμός της νηκτικής κύστης και το 30% των ατόμων είχαν απορροφήσει πλήρως τον λεκιθικό σάκο.



Εικόνα 9. Χρόνος αδράνειας έναντι χρόνου δραστηριότητας των λεκιθοφόρων νυμφών εντατικής εκτροφής μετρούμενος σε δευτερόλεπτα ανά λεπτό παρατήρησης: **A.** σε αναπτυξιακό χρόνο ημέρες μετά την εκκόλαψη, **B.** σε αναπτυξιακό χρόνο βαθμο-ημέρες (d.d -πάνω από την θερμοκρασία των 17 °C), **Γ.** θερμοκρασία κατά την λεκιθοφόρο νυμφική περίοδο, S.D: 0.37. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στο S.D. (τυπική απόκλιση) για τις μέσες τιμές. n=15, 135 min παρατήρησης.

Πίνακας 2. Σύγκριση των περιόδων αδράνειας/δραστηριότητας στις εννέα ημέρες (dph) που διήρκησε το λεκιθοφόρο αυτότροφο στάδιο, ως προς την στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών διάρκειας αυτών, σε δευτερόλεπτα ανά λεπτό παρατήρησης. Παρουσιάζονται οι τιμές (p-values) που εμφάνισε το Student-t test σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$. Οι p-values που υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές τονίζονται με βαθύ γκριζο χρώμα.

Αναπτυξιακός χρόνος (dph)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	0.049	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	0.34	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	0.0001	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	0.001	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	0.0001	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	0.001	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0.062
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Νυμφικό στάδιο (Ετερότροφο)

2.4.1.3. Γενική Συμπεριφορά

Οι νύμφες κατανέμονταν σε όλη την δεξαμενή εκτός από τις περιόδους τροφοληψίας όπου ατομικά ανέβαιναν σε ανώτερα στρώματα του νερού όπου η τροφή ήταν πιο άφθονη. Στο στάδιο της μεταμόρφωσης (10.3 mm TL & 32 dph) οι νύμφες παρουσίασαν συμπεριφορές αποφυγής λόγω της παρουσίας του παρατηρητή ή λόγω των σκιών των διαφόρων αντικειμένων ή λόγω των δονήσεων που μπορεί να λάμβαναν χώρα στα τοιχώματα των δεξαμενών. Επίσης παρουσίασαν αποστροφή προς τον έντονο φωτισμό (αρνητικός φωτοτροπισμός).

2.4.1.4. Συμπεριφορά κολύμβησης

2.4.1.4.α) Εξέλιξη της ταχύτητας κολύμβησης

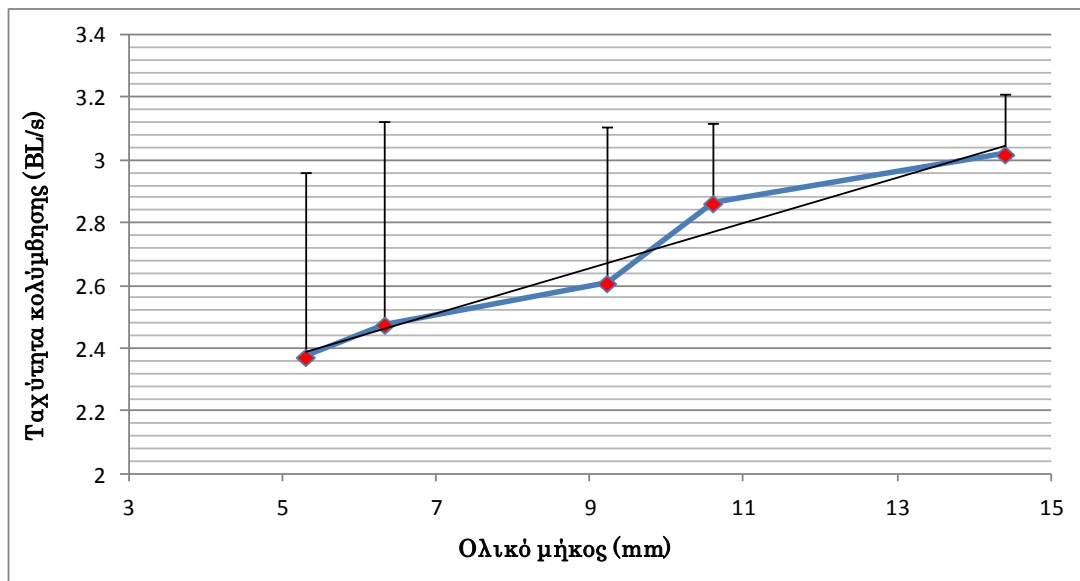
Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο σύνολο των δεδομένων έδειξε ότι η ηλικία των ψαριών και συνεπώς το αναπτυξιακό στάδιο/φάση εκτροφής έχει σημαντική επίδραση στην ταχύτητα κολύμβησης των ατόμων ($p < 0.05$, Kruskal Wallis, Median test ANOVA by ranks). Επίσης, μετά και την εφαρμογή του μη παραμετρικού ελέγχου Mann-Whitney U test ($p < 0.05$), διαφάνηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τις μέσες τιμές της ταχύτητας κολύμβησης των διαφόρων ηλικιών (αναπτυξιακών σταδίων). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παραπάνω ελέγχου εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές της

ταχύτητας κολύμβησης μεταξύ των σταδίων: α) «*Πρώτο ταΐσμα*» με τα στάδια «*έναρξη μεταμόρφωσης*» και «*μέσο μεταμόρφωσης*», β) «*μετάβαση στην Artemia spp.*» με τα στάδια «*έναρξη μεταμόρφωσης*» και «*μέσο μεταμόρφωσης*», γ) «*κάμψη της νωτοχορδής*» με τα στάδια «*έναρξη μεταμόρφωσης*» και «*μέσο μεταμόρφωσης*» και δ) «*έναρξη μεταμόρφωσης*» με το στάδιο «*μέσο μεταμόρφωσης*» (Πίνακας 3).

Το νυμφικό στάδιο, που ξεκίνησε από την πρώτη εξωγενή διατροφή στα 5.3 mm TL (10 dph), είχε χαρακτηριστεί από μια αύξηση στην κολυμβητική ικανότητα των νυμφών. Κατά την διάρκεια του νυμφικού σταδίου καταγράφηκαν τρεις περίοδοι όπου οι νύμφες φάνηκαν να παρουσιάζουν εμφανή αύξηση της παρατεταμένης (“sustained”) κολύμβησης: α) από το στάδιο του πρώτου ταΐσματος μέχρι το στάδιο της κάμψης της νωτοχορδής, β) από το στάδιο της κάμψης της νωτοχορδής μέχρι την έναρξη της μεταμόρφωσης και γ) από την έναρξη μέχρι το μέσο της μεταμόρφωσης η οποία χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό όλων των πτερυγίων (Εικόνα 10).

Πίνακας 3. Σύγκριση των μέσων τιμών ταχύτητας των πέντε αναπτυξιακών σταδίων που μελετήθηκαν. Παρουσιάζονται οι τιμές (p-values) που εμφάνισε το Mann-Whitney U test σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών αυτών τονίζονται με βαθύ γκριζο χρώμα.

Αναπτυξιακό στάδιο	Πρώτο τάισμα α	Μετάβαση στην <i>Artemia spp.</i>	Κάμψη νωτοχορδή ς	Έναρξη μεταμόρφωσ ης	Μέσο μεταμόρφωσ ης
Πρώτο τάισμα	—	0.542205	0.192198	0.000820	0.000007
Μετάβαση στην <i>Artemia spp.</i>	—	—	0.306576	0.001610	0.000058
Κάμψη νωτοχορδής	—	—	—	0.010977	0.000035
Έναρξη μεταμόρφωσης	—	—	—	—	0.031941
Μέσο μεταμόρφωσης	—	—	—	—	—



Εικόνα 10. Μέσες ταχύτητες κολύμβησης ($BL \cdot Sec^{-1} \pm S.D.$ (τυπική απόκλιση) των ατόμων 5 διαφορετικών αναπτυξιακών σταδίων (TL). $n=30$ για κάθε στάδιο μελέτης.

2.4.1.4.β) Εξέλιξη του προσανατολισμού/κατεύθυνσης κολύμβησης

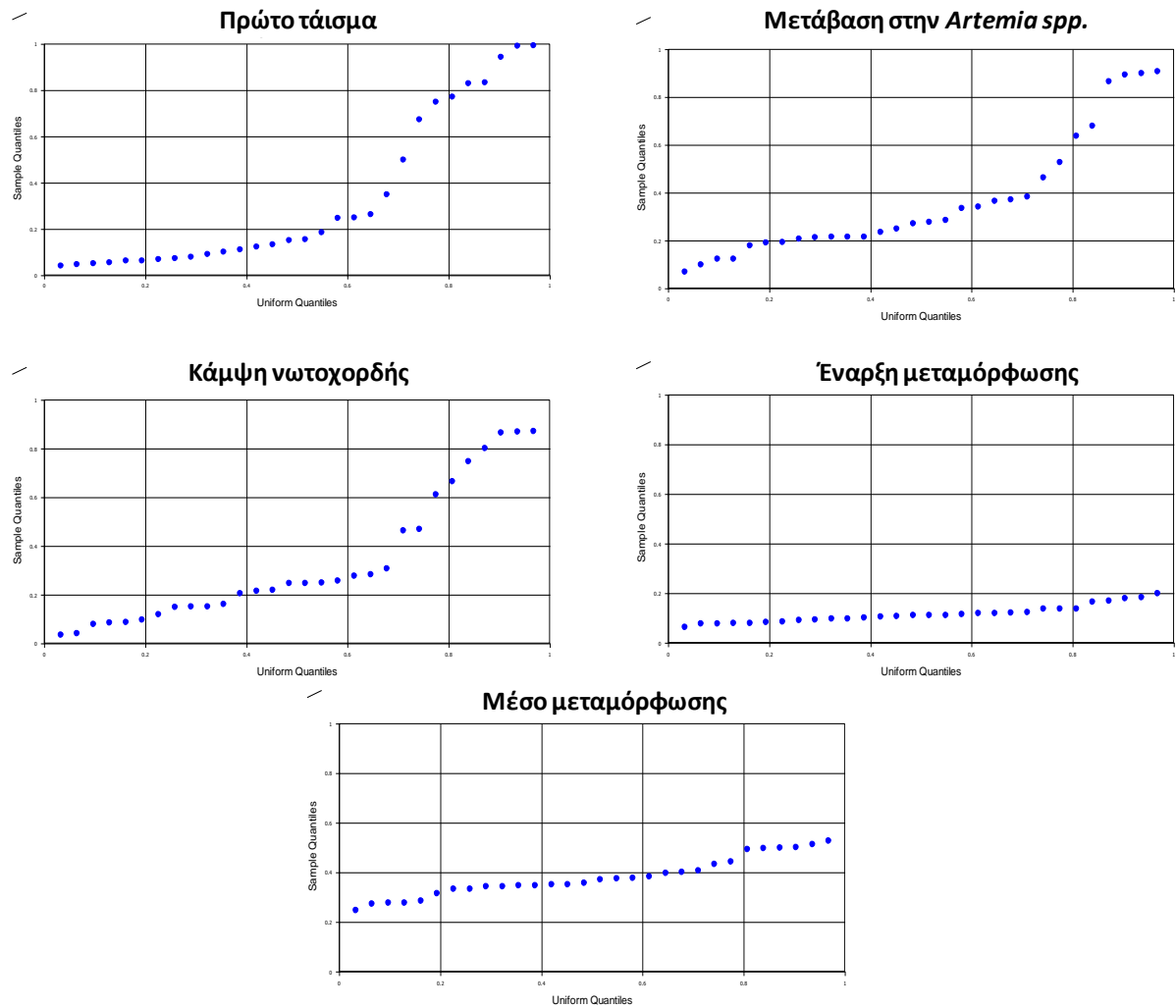
Ο προσανατολισμός των νυμφών (κατεύθυνση κίνησης), κατά το ετερότροφο στάδιο, μέσα στην δεξαμενή ήταν ακόμη σχετικά τυχαίος αλλά τα ψάρια επιδεικνυαν πιο σταθερές κινήσεις από ότι στο λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο, οι οποίες αφορούσαν ουσιαστικά την στρατηγική «ψαξίματος» που υιοθετούσαν κατά το στάδιο αυτό και η οποία έχει αναφερθεί προηγουμένως αλλά περιγράφεται και λεπτομερέστερα παρακάτω στο κεφάλαιο.

Οι τροχιές κατεύθυνσης, που υπολογίστηκαν με την βοήθεια του λογισμικού Oriana 2.0, παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Οι τιμές (p-values) του Reyleigh ελέγχου ($P < 0.05$) και για τα πέντε αναπτυξιακά στάδια που μελετήθηκαν εμφανίζονται μικρότερες από το επιλεχθέν επίπεδο σημαντικότητας 0.05, το οποίο υποδηλώνει ότι τα δεδομένα δεν έχουν μία ενιαία κυκλική κατανομή αλλά υποδεικνύουν ότι υπάρχει προτιμητέα κατεύθυνση (Πίνακας 4). Το F στατιστικό Watson-Williams, εμφάνισε τιμή $p = 1E-12 < 0.05$, που δηλώνει διαφορετικότητα των μέσων διανυσμάτων των κυκλικών δεδομένων ανάμεσα στα πέντε αναπτυξιακά στάδια που μελετήθηκαν. Το μήκος του μέσου διανύσματος (r) όμως, ως μέτρηση της συγκέντρωσης των κυκλικών δεδομένων και αποτέλεσμα της γωνιακής διασποράς, έδειξε μία σαφή κατεύθυνση, πιο κατευθυνόμενη κίνηση και λιγότερο τυχαία, (r που προσεγγίζει το 1 και ισούται με έλλειψη διασποράς, δηλ. τα δεδομένα είναι συγκεντρωμένα προς την ίδια κατεύθυνση) στα αναπτυξιακά στάδια της έναρξης της μεταμόρφωσης και του μέσου μεταμόρφωσης όπου είχαν αναπτυχτεί πλήρως όλα τα πτερύγια (Πίνακας 4, Εικόνες 11, 12).

Οι τιμές (p-values) του Reyleigh ελέγχου ($P < 0.05$) στα δύο προαναφερθέντα αναπτυξιακά στάδια επαυξάνουν την δύναμη του αμέσως προηγούμενου αναφερθέντος αποτελέσματος καθώς εμφανίζονται μικρότερες από το επιλεχθέν επίπεδο σημαντικότητας 0.05, κάτι το οποίο δηλώνει προτιμητέα κατεύθυνση (Πίνακας 4). Οι νύμφες των αναπτυξιακών σταδίων έναρξης της μεταμόρφωσης και μέσο μεταμόρφωσης (ανάπτυξης όλων των πτερυγίων) επέδειξαν έναρξη κολύμβησης παράλληλης με τα τοιχώματα της δεξαμενής με συνοχή μεταξύ τους (κάτι που υποδηλώνει πρώτα σημάδια συμπεριφοράς «κοπαδιάσματος/schooling»).

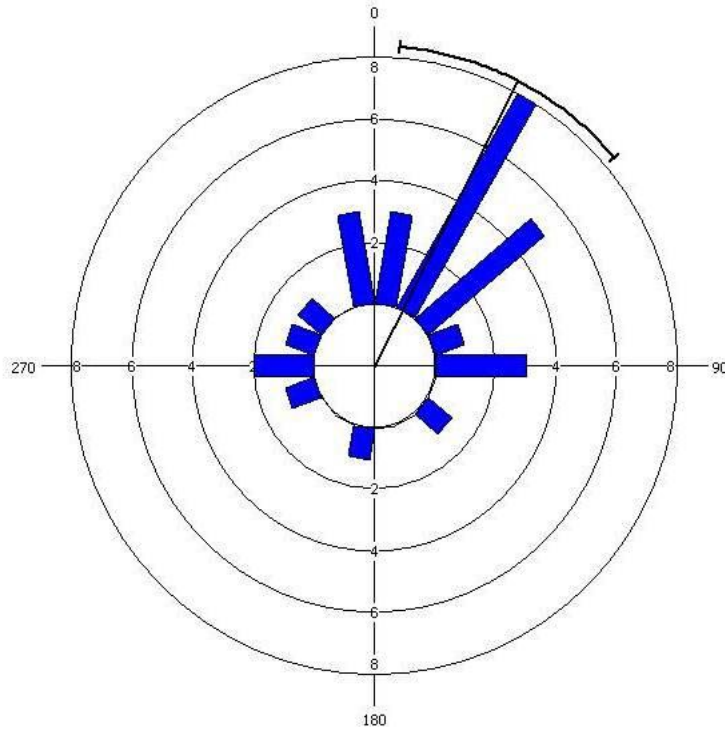
Πίνακας 4. Προσανατολισμός της κατεύθυνσης κολύμβησης των νυμφών και των πρώιμων ιχθυδίων λαβρακιού σε πέντε διαφορετικά αναπτυξιακά στάδια. «r»: το μήκος του μέσου διανύσματος, το οποίο κυμαίνεται από 0 έως 1 (όσο υψηλότερες είναι οι τιμές του «r», τόσο πιο κατευθυνόμενη είναι η τροχιά κίνησης των ψαριών). n=30

Αναπτυξιακό στάδιο	Μέρες μετά την εκκόλαψη	Μήκος (mm TL)	P value (Rayleigh test, P<0.05)	Μέσο διάνυσμα (μ)	Μήκος μέσου διανύσματος (r)
Πρώτο τάισμα	10	5.3	1.60E-5	26.967	0.582
Μετάβαση στην <i>Artemia</i> <i>spp.</i>	15	6.3	4.38E-4	82.949	0.495
Κάμψη νωτοχορδής	26	9.2	0.002	56.48	0.446
Έναρξη μεταμόρφωσης	32	10. 6	4.20E-12	41.923	0.977
Μέσο μεταμόρφωσης	40	14. 4	2.15E-10	136.657	0.888

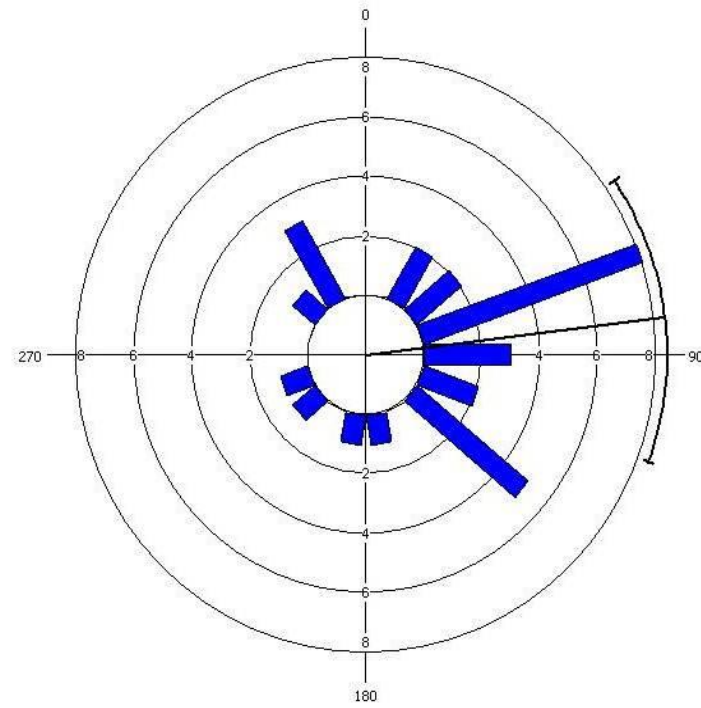


Εικόνα 11. Διάγραμμα ομοιομορφίας των κυκλικών δεδομένων για κάθε αναπτυξιακό στάδιο που μελετήθηκε. Κάθε στοιχείο (κουκίδα) του διαγράμματος παρουσιάζεται διαγραμματικά έναντι της αναμενόμενης τιμής για αυτό το στοιχείο για επιθυμητή κατανομή. Συγκρίνεται στο διάγραμμα η γωνία κατεύθυνσης (τροχιά) έναντι μιας ενιαίας/ομοιόμορφης κατανομής για τεταρτημόριο 45°. Τα στάδια έναρξης μεταμόρφωσης και μέσου μεταμόρφωσης δείχνουν μια συνοχή/συγκέντρωση έναντι των υπολοίπων αναπτυξιακών σταδίων όπου υπάρχουν αρκετές αποκλίσεις από την μέση τιμή των στοιχείων (διασπορά).

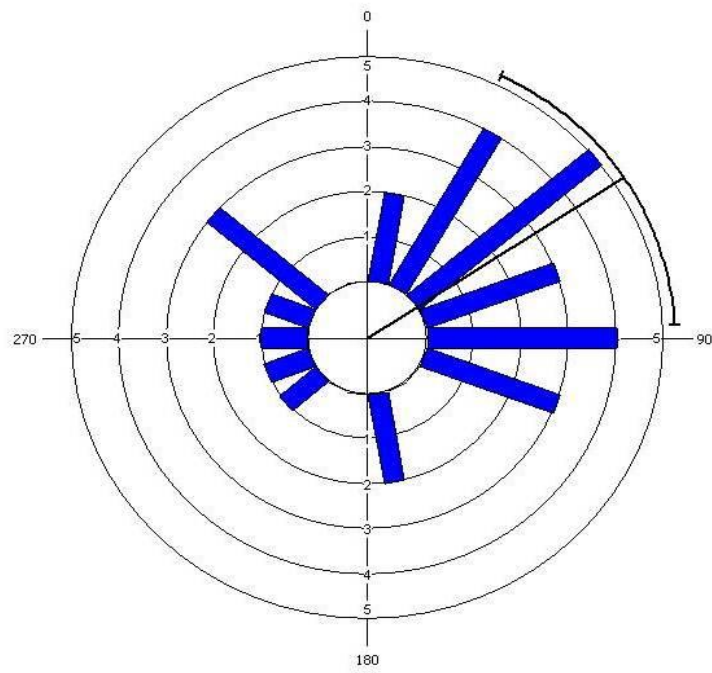
Πρώτο τάισμα



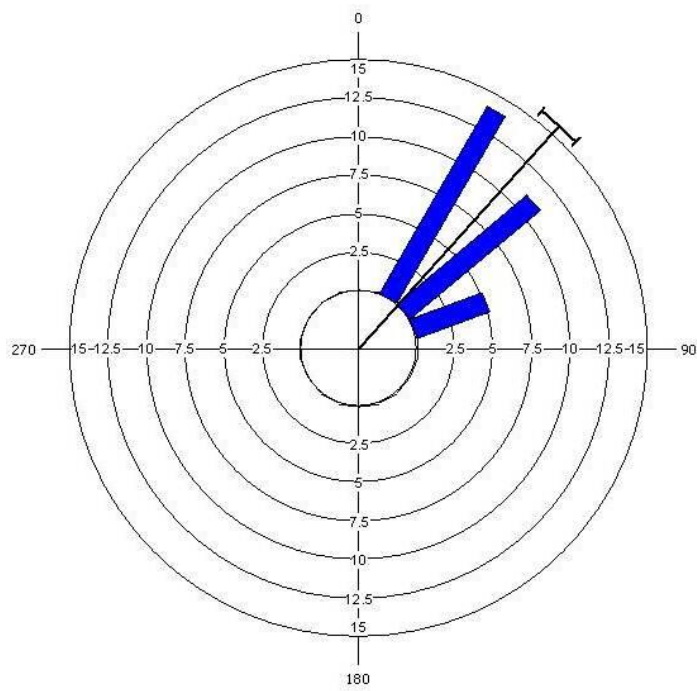
Μετάβαση στην *Artemia* spp.



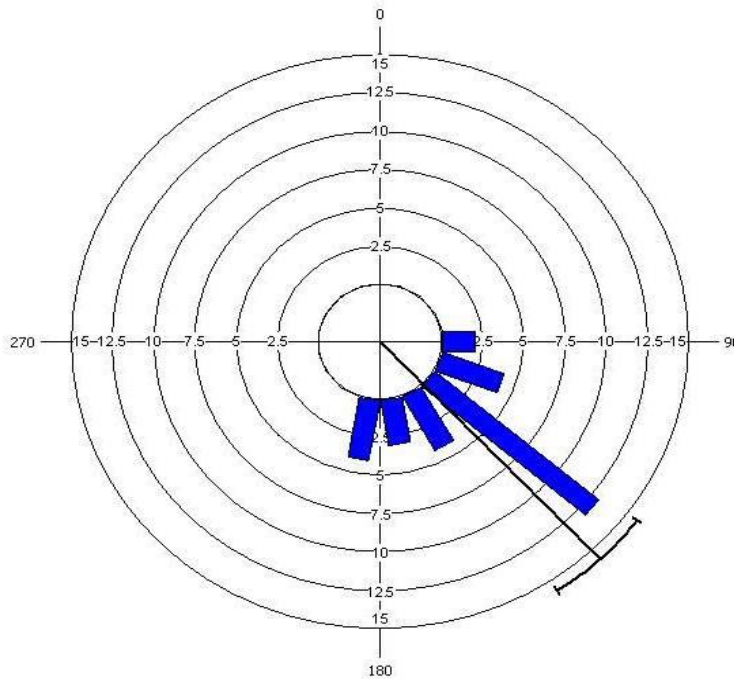
Κάμψη νωτοχορδής



Έναρξη μεταμόρφωσης



Μέσο μεταμόρφωσης



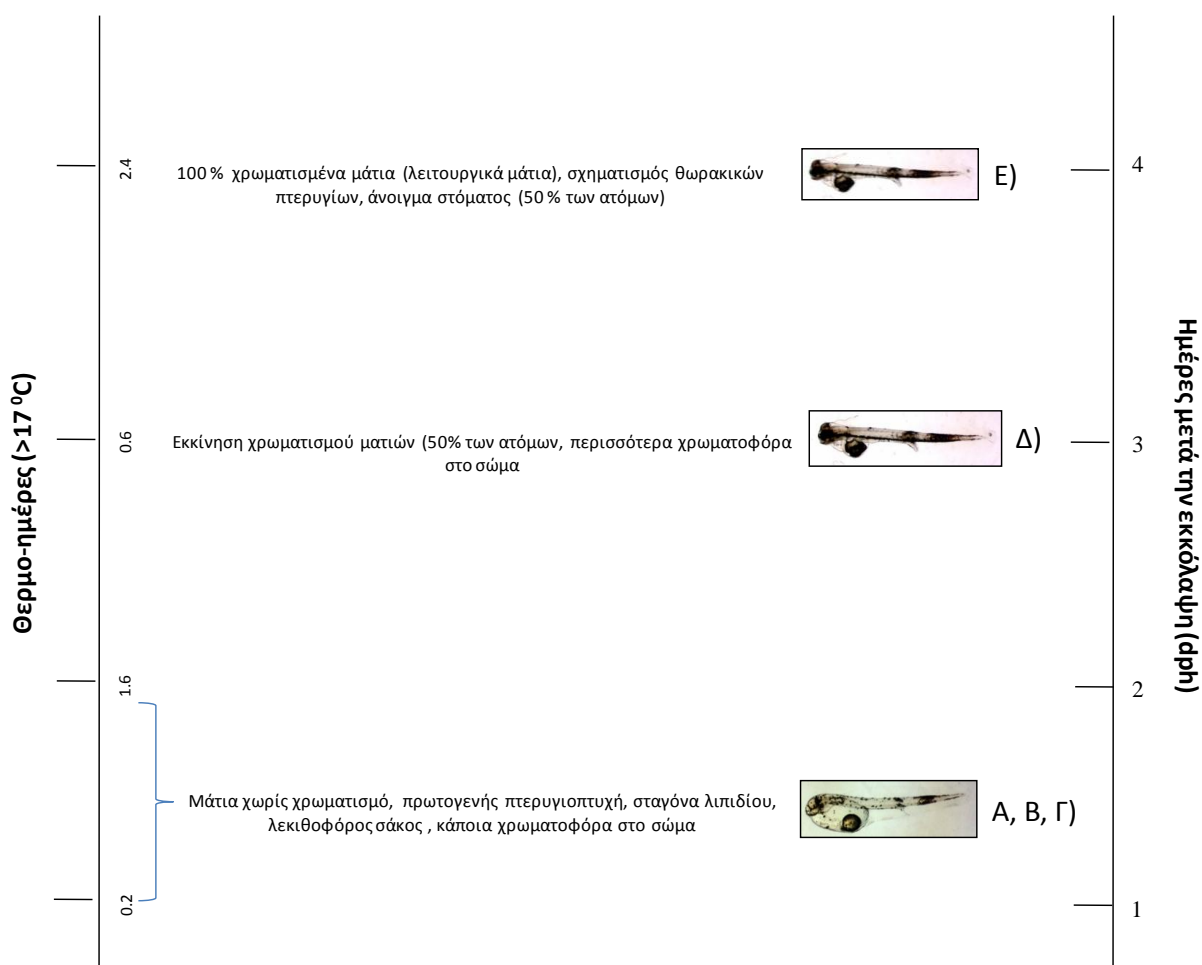
Εικόνα 12. Συχνότητα κατανομής των κατευθύνσεων κολύμβησης των ατόμων των πέντε αναπτυξιακών σταδίων που μελετήθηκαν. Η ακτίνα που διαπερνά τον εξωτερικό κύκλο (λεπτή γραμμή) αντιπροσωπεύει την μέση κατεύθυνση. Αυτή η σημαντική κατανομή κατεύθυνσης (Rayleigh test, p value) έχει ένα r (μήκος του μέσου διανύσματος) το οποίο δείχνει την συνολική ομοιομορφία/σταθερότητα της κατεύθυνσης κολύμβησης (Πίνακας 4). Οι αριθμοί (στις διαμέτρους) αντιστοιχούν στον αριθμό των φορών που συγκεκριμένη κατεύθυνση κολύμβησης καταγράφηκε για κάθε άτομο.

❖ 2.4.2. Μέθοδος Μεσοκόσμου

Λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο

2.4.2.1 Γενική Συμπεριφορά

Οι νύμφες του λεκιθοφόρου νυμφικού σταδίου (από την εκκόλαψη μέχρι τα 4.9 mm TL), μία φάση που διαρκεί 5 ημέρες μετά την εκκόλαψη (dph), εμφανίζονται με μία σειρά αλληλοδιαδεχομένων μορφολογικών αλλαγών σχετιζόμενων με την σειρά των αλλαγών συμπεριφοράς που παρατηρούνται σε αντίστοιχες ημέρες μετά την εκκόλαψη (dph) και σε αντίστοιχες θερμο-ημέρες (d.d –πάνω από την θερμοκρασία των 17 °C-: Εικόνα 13) και δραστηριότητες συμπεριφοράς που περιγράφονται ως εξής:



Εικόνα 13. Αλληλουχία των μορφολογικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά την διάρκεια του λεκιθοφόρου νυμφικού σταδίου (από την εκκόλαψη μέχρι τα 4.9 mm TL). Ο αναπτυξιακός χρόνος δίνεται σε ημέρες μετά την εκκόλαψη (dph) αλλά και σε αντίστοιχες θερμο-ημέρες (d.d –πάνω από την θερμοκρασία των 17 °C). Τα ποσοστά των σταδίων (έναρξη χρωματισμού ματιών, χρωματισμένα μάτια και άνοιγμα στόματος) αναφέρονται στο ποσοστό του πληθυσμού που παρουσιάζει το εκάστοτε χαρακτηριστικό.

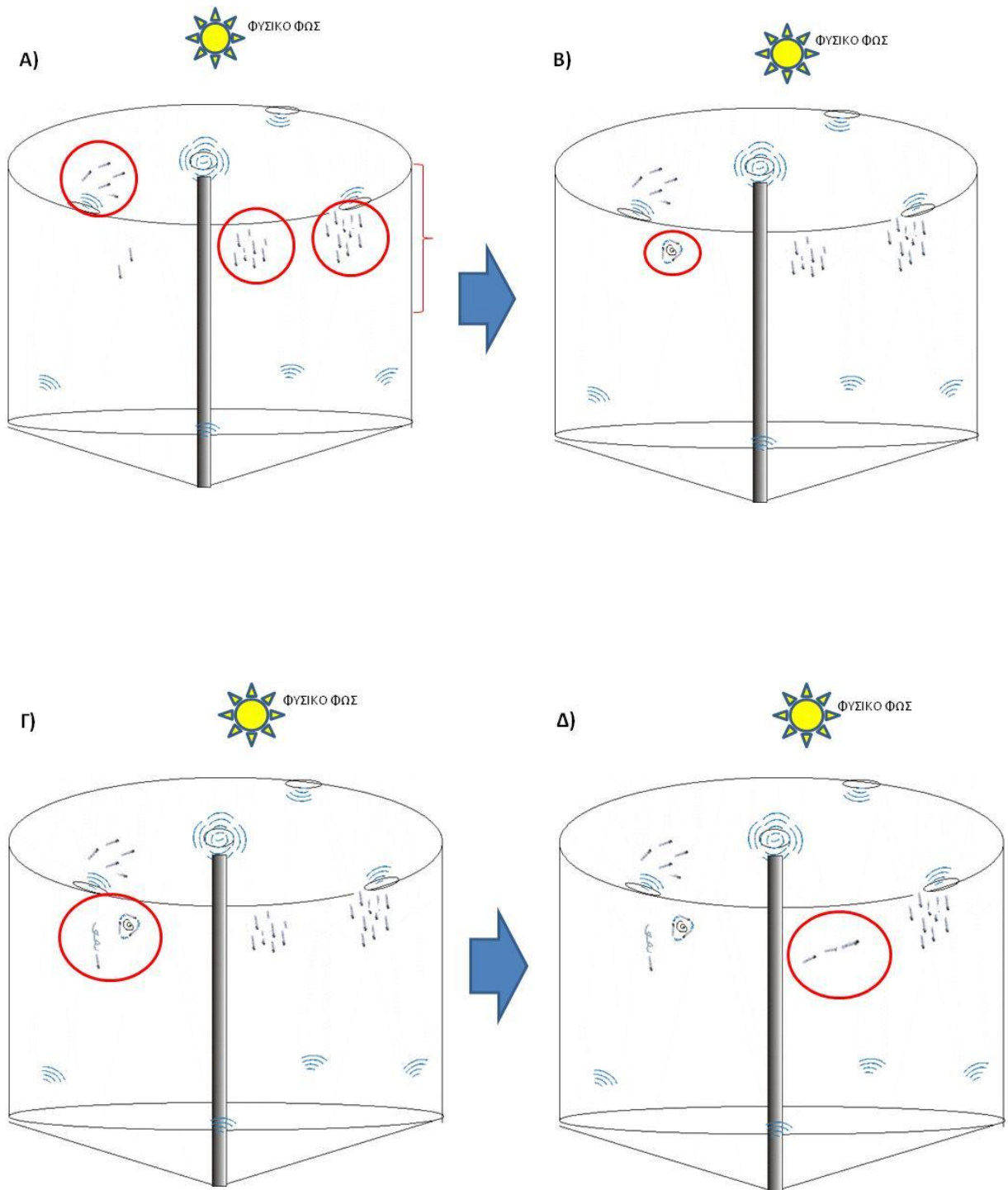
A) 0 dph (εκκόλαψη): οι λεκιθοφόρες νύμφες είναι κυρίως παθητικές με μη προσανατολισμένες κινήσεις και αφήνονται να παρασυρθούν από το ρεύμα του νερού μέσα στην δεξαμενή. Κατέχουν υπονευστονική θέση δηλαδή βρίσκονται κατανεμημένες ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του νερού (όπως συμβαίνει με τα αυγά) σχηματίζοντας σμήνη δηλαδή ομάδες ατόμων διασκορπισμένες σε όλη την δεξαμενή. Ένα 10% των νυμφών παρατηρείται σε μία ανενεργή κατάσταση κατακόρυφα μέσα στην στήλη του νερού με τον κεφάλι προς τα κάτω (Εικόνα 14A).

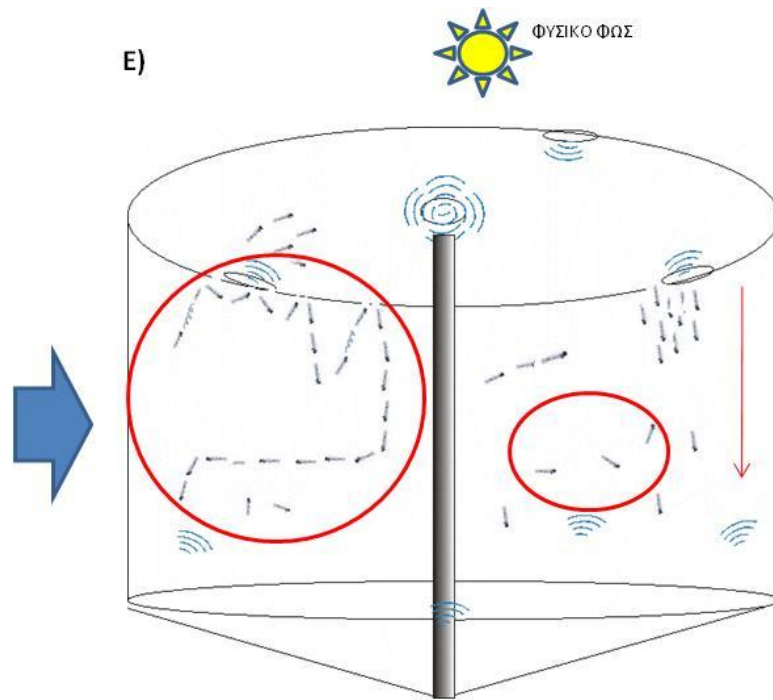
B) 1 dph: οι λεκιθοφόρες νύμφες συνεχίζουν να παρουσιάζουν το πρότυπο το οποίο εμφάνισαν και οι λεκιθοφόρες νύμφες της προηγούμενης ημέρας (0 dph) αλλά ένα 30% από αυτές άρχισαν να δείχνουν σημάδια δραστηριότητας που χαρακτηριζόταν ουσιαστικά από ασυνεχείς οπασμωδικές κινήσεις όπως επίσης και «στροβιλώδεις» κινήσεις γύρω από τον εαυτό τους (Εικόνα 14B).

Γ) 2 dph: οι λεκιθοφόρες νύμφες παρουσιάζουν παρόμοιο πρότυπο δραστηριοτήτων με τις λεκιθοφόρες νύμφες της προηγούμενης ημέρας (1 dph) συνοδευόμενο όμως με «στροβιλώδεις» προς τα κάτω κινήσεις κατακόρυφα μέσα στην στήλη του νερού (Εικόνα 14Γ).

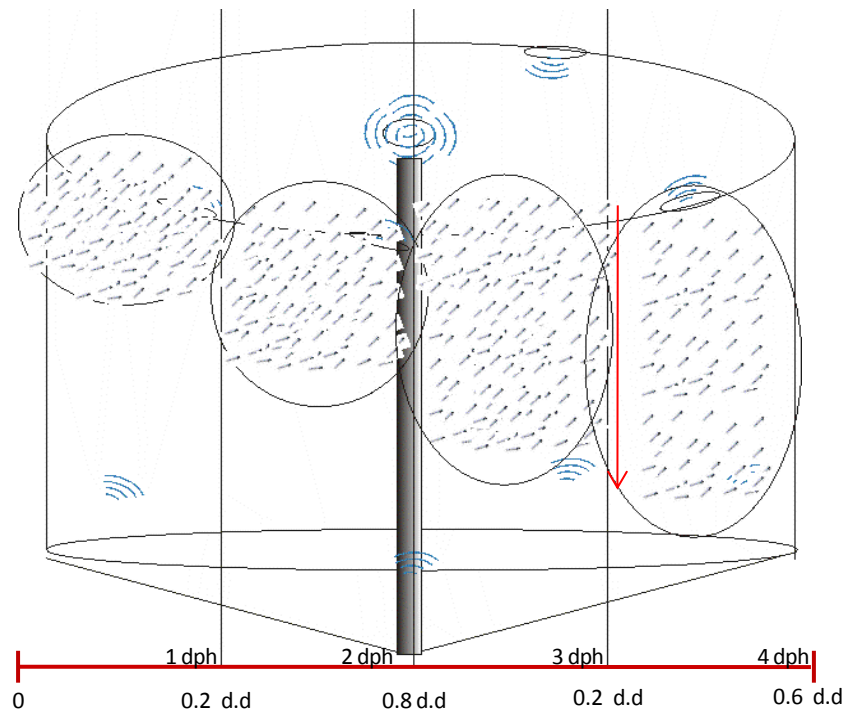
Δ) 3 dph: οι λεκιθοφόρες νύμφες συνεχίζουν να εμφανίζουν και το πρότυπο δραστηριοτήτων με τις λεκιθοφόρες νύμφες της προηγούμενης ημέρας (2 dph) αλλά επίσης αρχίζουν και μία διακοπτόμενη κολύμβηση με αυθόρμητες κινήσεις προς τα εμπρός με εκτινάξεις που έχουν μία μέση διάρκεια 0.5-1 sec (Εικόνα 14Δ).

Ε) 4 dph: οι λεκιθοφόρες νύμφες αρχίζουν να υιοθετούν μία πιο οριζόντια τοποθέτηση μέσα στην στήλη του νερού και μία καθαρή κίνηση προς τις πιο φωτεινές ζώνες της δεξαμενής πιο κοντά δηλαδή προς την επιφάνεια, δείχνοντας έτσι μία σταδιακή προσαρμογή προς το φυσικό φως. Επίσης άρχισαν να μετακινούνται και σε βαθύτερες ζώνες καθώς και να κατανέμονται σε όλη την δεξαμενή. Η κίνηση τους περιγράφεται ως εξής: αφήνονται αρχικά να παρασυρθούν από το ρεύμα του νερού μέσα στην δεξαμενή με το κεφάλι προς τα κάτω, μετά, με μία στροβιλώδη κίνηση, προσπαθούν να φτάσουν μέχρι την επιφάνεια του νερού και αφού τα καταφέρουν αντιδρούν με μία κίνηση διαφυγής (escape response) με αποτέλεσμα να βυθίζονται μέχρι ένα σημείο μέσα στην στήλη του νερού από το οποίο ξαναρχίζουν πάλι τις ίδιες κινήσεις από την αρχή καταλήγοντας έτσι σε έναν επαναλαμβανόμενο κύκλο κινήσεων (Εικόνα 14Ε).





Εικόνα 14. Απεικονίσεις των προτύπων δραστηριότητας του αυτότροφου σταδίου εκτροφής με την μέθοδο του μεσοκόσμου από την εκκόλαψη μέχρι τα 4.9 mm TL, μία φάση που διαρκεί 5 dph: Α) 0 dph (εκκόλαψη), Β) 1 dph, Γ) 2 dph, Δ) 3 dph, Ε) 4 dph.

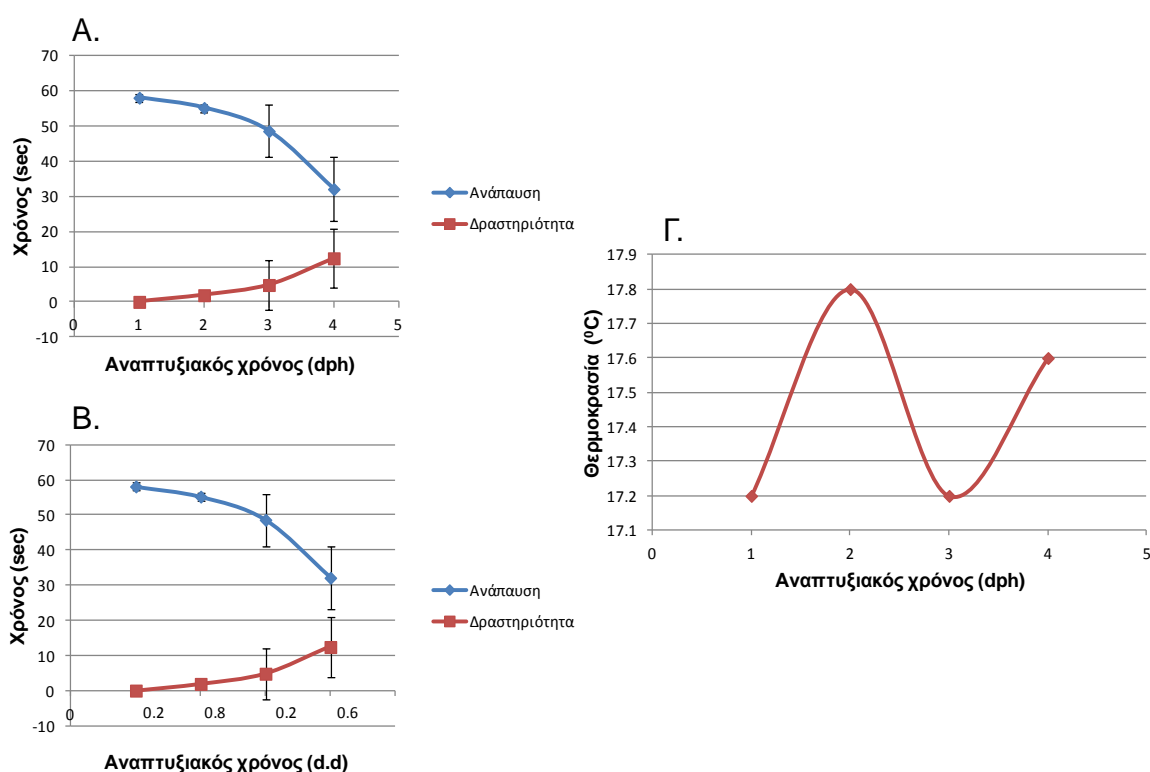


Εικόνα 15. Κατανομή των νυμφών κατά την διάρκεια του λεκιθοφόρου νυμφικού σταδίου (0-5 ημέρες μετά την εκκόλαψη:dph ή 0-43.2 βαθμομέρες:d.d-πάνω από την θερμοκρασία των 17 °C-) μέσα στην δεξαμενή εκτροφής με την μέθοδο του μεσοκόσμου.

2.4.2.2. Μέτρηση Αδράνειας έναντι Ενεργητικότητας

Οι λεκιθοφόρες νύμφες κατά τις πρώτες μέρες της ζωής τους ξοδεύουν περισσότερο χρόνο για ανάπαυση παρά για δραστηριότητα (Εικόνα 16). Μια απότομη αύξηση της δραστηριότητας παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια της ημέρας 4 και 5 dph όταν είχαν χρωματιστεί πλήρως τα μάτια και είχαν σχηματιστεί τα θωρακικά πτερύγια αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ των ημερών για να διαφανεί κατά πόσο στην πορεία του αναπτυξιακού χρόνου (dph) η περίοδος ανάπαυσης/δραστηριότητας είχε στατιστικά

σημαντική διαφορά έδειξαν διαφορές και για τις τέσσερις ημέρες που διήρκησε η αυτότροφη φάση (Πίνακας 5): όπου την ημέρα 2 τα μάτια ήταν ακόμη αχρωμάτιστα και υπήρχε ακόμη η σταγόνα λιπιδίου, την ημέρα 3 όπου είχαν αρχίσει να χρωματίζονται τα μάτια στο 50% του πληθυσμού και το σώμα εμφάνιζε περισσότερα χρωματοφόρα και την 4^η και τελευταία ημέρα του αυτότροφου σταδίου όπου πλέον όλος ο πληθυσμός είχε αποκτήσει λειτουργικά μάτια, είχαν σχηματιστεί τα θωρακικά πτερύγια και το 50% του πληθυσμού είχε ανοίξει το στόμα.



Εικόνα 16. Χρόνος ανάπαυσης έναντι χρόνου δραστηριότητας των λεκιθοφόρων νυμφών εκτροφής μεσοκόσμου μετρούμενος σε δευτερόλεπτα ανά λεπτό παρατήρησης [μέσος όρος +/- τυπική απόκλιση (S.D.)]: **A.** ηλικία σε ημέρες μετά την εκκόλαψη, **B.** ηλικία σε βαθμο-ημέρες (d.d -πάνω από την θερμοκρασία των 17 °C-) μετά την εκκόλαψη, **Γ.** θερμοκρασία κατά την λεκιθοφόρο νυμφική περίοδο, SD: 0.26, n=15, 60 min παρατήρησης.

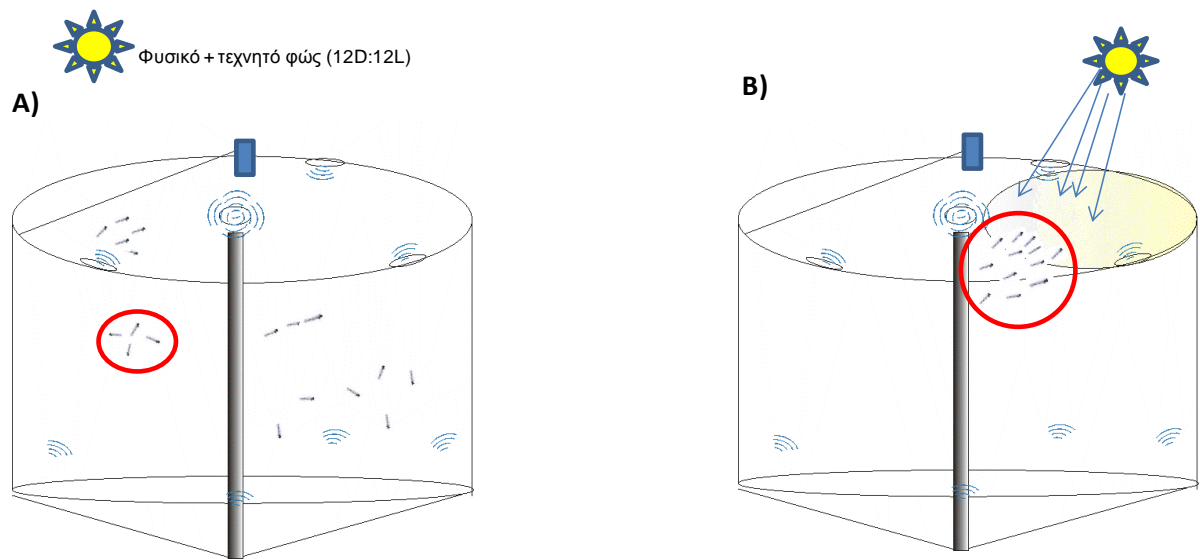
Πίνακας 5. Σύγκριση των περιόδων ανάπαυσης/δραστηριότητας στις τέσσερις ημέρες (dph) που διήρκησε το αυτότροφο στάδιο ως προς την στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών διάρκειας αυτών σε δευτερόλεπτα ανά λεπτό παρατήρησης. Παρουσιάζονται οι τιμές (p-values) που εμφάνισε το Student's t-test σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$. Όλες οι p-values που υπολογίστηκαν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Αναπτυξιακός χρόνος (dph)	1	2	3	4
1	-	0.001	-	-
2	-	-	0.012	-
3	-	-	-	0.0004
4	-	-	-	-

Νυμφικό στάδιο (Ετερότροφο)

2.4.2.3. Γενική Συμπεριφορά

Το νυμφικό στάδιο άρχισε από την στιγμή κατανάλωσης της πρώτης εξωγενούς τροφής στα 4.9 mm TL (5 dph). Οι νύμφες στο στάδιο αυτό έτειναν να κολυμπούν με αυθόρμητες κινήσεις και με την εμφάνιση ομοιαστικών εκρήξεων προς τα εμπρός (burst) διάρκειας 2-3 s. Η σειρά αυτών των σύντομων κολυμβητικών δραστηριοτήτων συνοδεύεται πλέον από ένα γρήγορο και συνεχόμενο κτύπημα δεξιά/αριστερά του δεύτερου μισού μέρους του σώματος τους. Οι νύμφες ξεκινούν τις κινήσεις «έρευνας» σε όλες τις διευθύνσεις στην στήλη του νερού. Επίσης, υιοθετούν μια θέση επίθεσης που χαρακτηρίζεται με μια τοποθέτηση του σώματος σε θέση που μπορεί να παρομοιαστεί με το ελληνικό τελικό ς (Εικόνα 17A). Οι νύμφες της μεταβατικής φάσης (μετάβαση στην *Artemia* sp.) στα 5.6 mm TL (6 dph) επιδεικνύουν μια ξεκάθαρη κίνηση προς το φως (θετικός φωτοτροπισμός) με συνεχόμενη κολύμβηση διάρκειας 5-10 sec η οποία διακόπτεται από περιόδους ανάπαυσης διάρκειας 1-2 sec. Επίσης, οι νύμφες αρχίζουν να δείχνουν μια ξεκάθαρη κολύμβηση αντίθετη προς το ρεύμα (θετικός ρεστακτισμός) η οποία ακολουθείται από μια παθητική κίνηση και μετά μία επαναφορά της διακοπτόμενης κολύμβησης και όλο αυτό συνεχίζεται μέχρι την 15^η dph (Εικόνα 17B). Οι νύμφες του σταδίου της μεταμόρφωσης στα 14.8 mm TL (31 dph) παρουσίασαν αντιδράσεις αποφυγής λόγω της παρουσίας του παρατηρητή ή λόγω των σκιών των διαφόρων αντικειμένων ή λόγω των δονήσεων που μπορεί να λάμβαναν χώρα στα τοιχώματα των δεξαμενών. Επίσης παρουσίασαν αποστροφή προς τον έντονο φωτισμό (αρνητικός φωτοτροπισμός).



Εικόνα 17. Κολυμβητικές δραστηριότητες των νυμφών που εισέρχονται στην ετερότροφη (A) και μεταβατική φάση (B).

2.4.2.4. Συμπεριφορά κολύμβησης

2.4.2.4.α) Εξέλιξη της ταχύτητας κολύμβησης

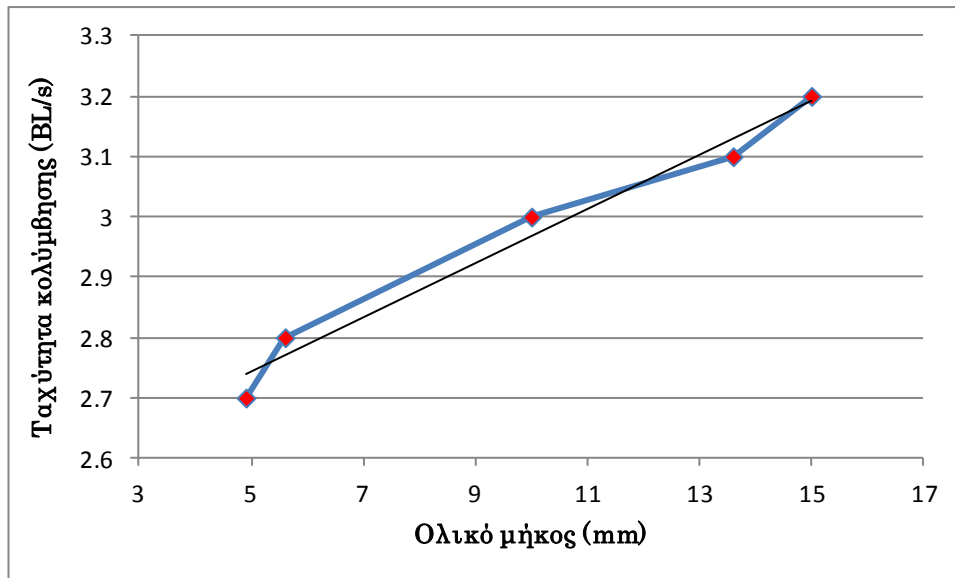
Υπολογίστηκαν οι μέσες ταχύτητες κολύμβησης ($BL \cdot Sec^{-1}$) σε τρεις διαφορετικές οντογενετικές στιγμές και φάσεις κατά την διάρκεια της νυμφικής ζωής [Πρώτο τάισμα, μετάβαση τροφής από Rotifers σε *Artemia* spp., κάμψη νωτοχορδής), και δύο στην μετα-νυμφική ζωή-post larval [έναρξη μεταμόρφωσης (σχηματισμός του

ραχιαίου και εδρικού πτερυγίου ο οποίος συνέπιπτε με την φάση απογαλακτισμού) και μέσο μεταμόρφωσης (σχηματισμός όλων των πτερυγίων)] (Εικόνα 18). Μιας και το πρώτο τάισμα και η μετάβαση τροφής από Rotifers σε *Artemia* spp., συνέβηκε σε συνεχόμενες μέρες αρχικά θεωρήθηκαν στην ανάλυση ως μία φάση με μία μέση τιμή της ταχύτητας κολύμβησης μεταξύ τους. Είχαν θεωρηθεί τρεις ξεχωριστές φάσεις στην εξέλιξη των ταχυτήτων κολύμβησης (Α: από το πρώτο τάισμα/μετάβαση στην *Artemia* s.p μέχρι την κάμψη της νωτοχορδής, Β: από την κάμψη της νωτοχορδής μέχρι την έναρξη της μεταμόρφωσης και Γ: έναρξη της μεταμόρφωσης μέχρι το μέσο της μεταμόρφωσης). Ο υπολογισμός της κλίσης της παλινδρόμησης για κάθε φάση (Α: 0.02, Β: 0.01, Γ: 0.01) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά στον ρυθμό αλλαγής της ταχύτητας κολύμβησης.

Η στατιστική ανάλυση όμως που πραγματοποιήθηκε στο σύνολο των δεδομένων έδειξε ότι η ηλικία των ψαριών και συνεπώς το αναπτυξιακό στάδιο έχει σημαντική επίδραση στην ταχύτητα κολύμβησης των ατόμων ($p < 0.05$, Kruskal Wallis, Median test ANOVA by ranks,). Επίσης μεταξύ των διαφορετικών αναπτυξιακών σταδίων εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικά διαφορετικές, ως προς την μέση τιμή της ταχύτητας κολύμβησης, όπως δείχθηκε με τον μη παραμετρικό έλεγχο Mann-Whitney U test ($p < 0.05$). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παραπάνω ελέγχου εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών της ταχύτητας κολύμβησης μεταξύ του σταδίου *πρώτο τάισμα* με τα στάδια *κάμψη νωτοχορδής*, *έναρξη μεταμόρφωσης* και *μέσο μεταμόρφωσης* και μεταξύ του σταδίου *μετάβαση στην Artemia spp.* με το στάδιο *μέσο μεταμόρφωσης* (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Σύγκριση της διαφορετικότητας των πέντε αναπτυξιακών σταδίων που μελετήθηκαν ως προς την στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών ταχύτητας του καθενός. Παρουσιάζονται οι τιμές (p-values) που εμφάνισε το Mann-Whitney U test σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$. Οι p-values που υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές τονίζονται με βαθύ γκριζο χρώμα.

Αναπτυξιακό στάδιο	Πρώτο τάισμα	Μετάβαση στην <i>Artemia spp.</i>	Κάμψη νωτοχορδής	Έναρξη μεταμόρφωσης	Μέσο μεταμόρφωσης
Πρώτο τάισμα	-	0.0950	0.0087	0.0023	0.000107
Μετάβαση στην <i>Artemia spp.</i>	-	—	0.2327	0.1029	0.0079
Κάμψη νωτοχορδής	-	—	—	0.7666	0.1339
Έναρξη μεταμόρφωσης	-	—	—	—	0.1290
Μέσο μεταμόρφωσης	-	—	—	—	—



Εικόνα 18. Μέσες ταχύτητες κολύμβησης ($BL \cdot Sec^{-1}$) \pm S.D. (τυπική απόκλιση) σε 5 διαφορετικά αναπτυξιακά στάδια (TL). $n=30$ για κάθε στάδιο μελέτης.

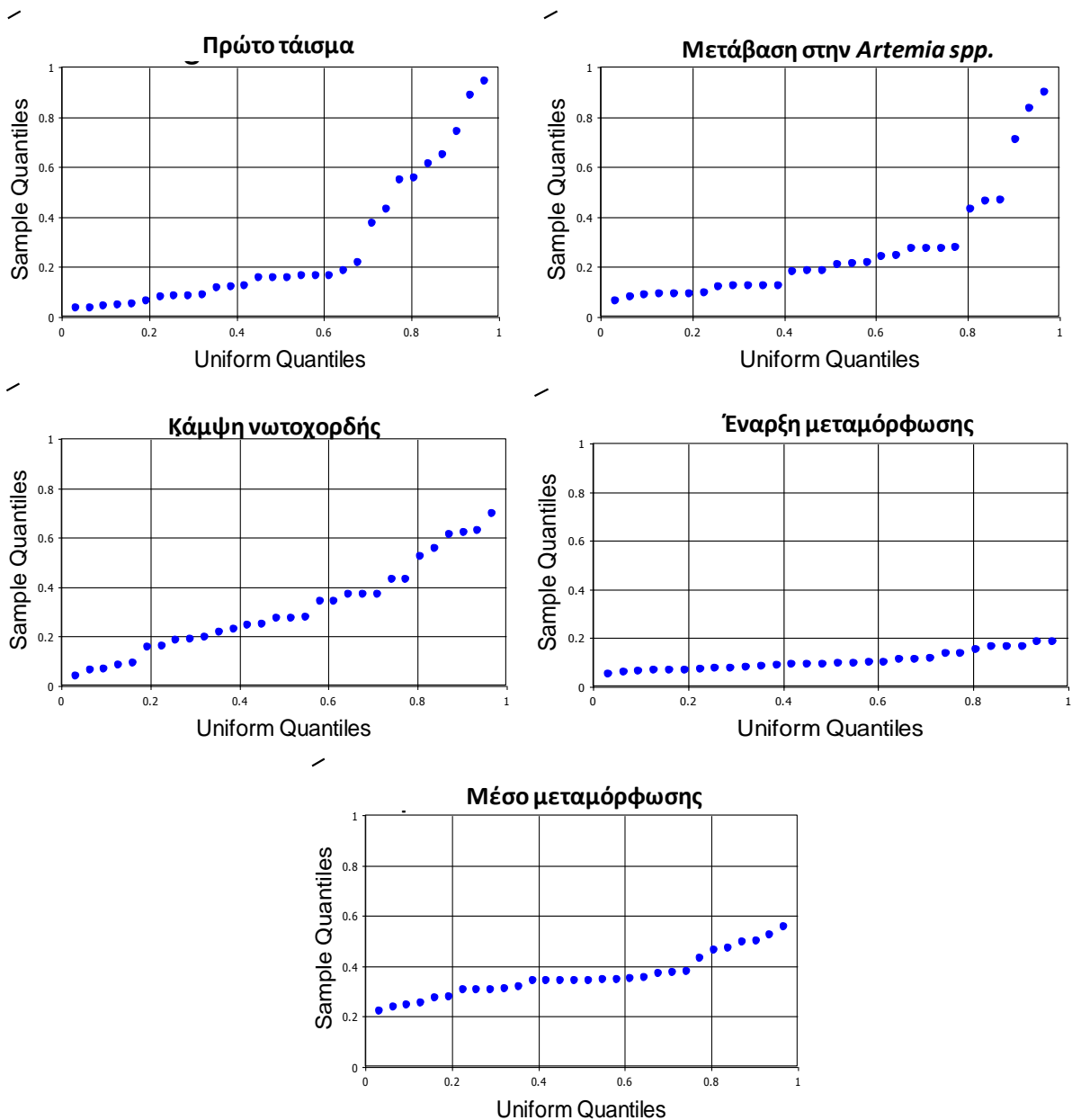
2.4.2.4.β) Εξέλιξη του προσανατολισμού/κατεύθυνσης κολύμβησης

Η ανάλυση του προσανατολισμού (κατεύθυνση κίνησης) των ψαριών της εκτροφής μεσοκόσμου έδειξε παρόμοια αποτελέσματα με αυτά της μελέτης του προσανατολισμού στα ψάρια της εντατικής εκτροφής. Οι νύμφες, κατά το ετερότροφο στάδιο, μέσα στην δεξαμενή είχαν ακόμη ένα σχετικά τυχαίο προσανατολισμό που όμως σταδιακά επιδεικνυαν πιο σταθερές κινήσεις οι οποίες ταίριαζαν με την στρατηγική «ψαξίματος» που υιοθετούσαν κατά την φάση αυτή. Οι τροχιές κατεύθυνσης που υπολογίστηκαν με την βοήθεια του λογισμικού Oriana 2.0 παρουσιάζονται στον πίνακα 7. Οι τιμές (p-values) του Reyleigh τεστ ($P < 0.05$) και για τα πέντε αναπτυξιακά

στάδια που μελετήθηκαν εμφανίζονται μικρότερες από το επιλεχθέν επίπεδο σημαντικότητας 0.05, κάτι το οποίο δηλώνει ότι τα δεδομένα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα (δηλαδή δεν έχουν μία ενιαία κυκλική κατανομή) αλλά υποδεικνύουν στοιχεία προτιμητέας κατεύθυνσης (Πίνακας 7). Το F στατιστικό Watson-Williams, εμφάνισε τιμή $p < 1E-12 < 005$, που δηλώνει διαφορετικότητα των μέσων διανυσμάτων των κυκλικών δεδομένων ανάμεσα στα πέντε αναπτυξιακά στάδια που μελετήθηκαν. Το μήκος του μέσου διανύσματος (r) όμως, ως μέτρηση της συγκέντρωσης των κυκλικών δεδομένων και αποτέλεσμα της γωνιακής διασποράς, έδειξε μία σαφής κατεύθυνση, πιο κατευθυνόμενη κίνηση και λιγότερο τυχαία, (r που προσεγγίζει το 1 και ισούται με έλλειψη διασποράς, δηλ. τα δεδομένα είναι συγκεντρωμένα προς την ίδια κατεύθυνση), τα ψάρια έτειναν να κολυμπούν παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής) στα αναπτυξιακά στάδια της έναρξης της μεταμόρφωσης και του μέσου της μεταμόρφωσης όπου είχαν αναπτυχτεί πλήρως όλα τα πτερύγια (Πίνακας 7, Εικόνες 19, 20). Αυτή η κατευθυνόμενη κίνηση δηλώνει πιθανότατα πρώτα σημάδια συμπεριφοράς «κοπαδιάσματος/schooling»). Επίσης οι τιμές (p -values) του Reyleigh τεστ στα δύο προαναφερθέντα αναπτυξιακά στάδια επαυξάνουν την δύναμη των αποτελεσμάτων καθώς εμφανίζονται μικρότερες από το επιλεχθέν επίπεδο σημαντικότητας 0.005, κάτι το οποίο δηλώνει ότι τα δεδομένα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα (δηλαδή δεν έχουν μία ενιαία κυκλική κατανομή) αλλά υποδεικνύουν στοιχεία προτιμητέας κατεύθυνσης (Πίνακας 7). Επίσης παρομοίως με τα ψάρια της εντατικής εκτροφής, οι νύμφες κατανέμονταν σε όλη την δεξαμενή εκτός από τις περιόδους τροφοληψίας όπου ατομικά ανέβαιναν σε ανώτερα στρώματα του νερού όπου η τροφή ήταν πιο άφθονη.

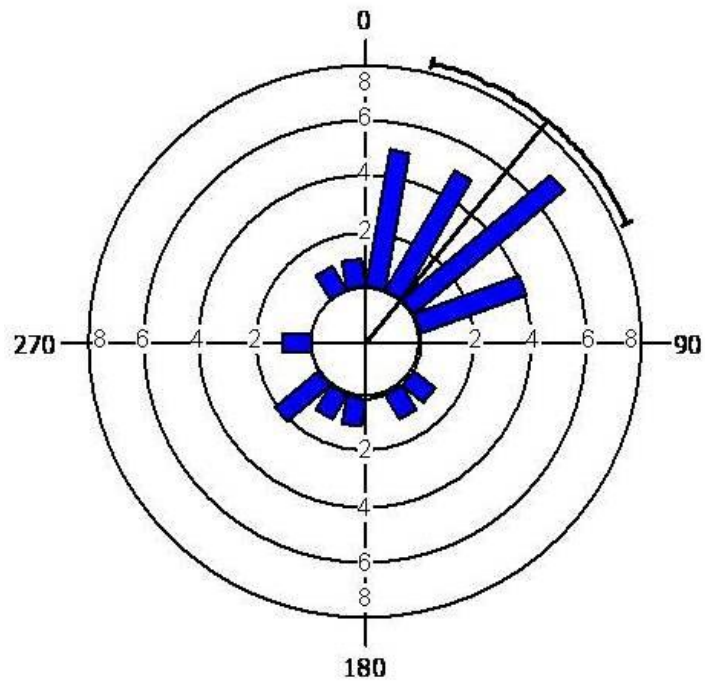
Πίνακας 7. Προσανατολισμός νυμφών και πρώιμων ιχθυδίων λαβρακιού σε πέντε διαφορετικά αναπτυξιακά στάδια. r : το μήκος του μέσου διανύσματος, το οποίο κυμαίνεται από 0 σε 1), όσο υψηλότερο εμφανίζεται το r , τόσο πιο κατευθυνόμενη είναι η τροχιά κίνησης. $n=30$

Αναπτυξιακό στάδιο	Μέρες μετά την εκκόλαψη	Μήκος (mm TL)	P value (Rayleigh test, $P<0.05$)	Μέσο διάνυσμα (μ)	Μήκος μέσου διανύσματος (r)
Πρώτο τάισμα	5	4.9	2.16E-4	39.447°	0.516
Μετάβαση στην <i>Artemia spp.</i>	6	5.6	8.82E-7	62.298°	0.648
Κάμψη ουρόστυλου	20	10.0	3.87E-4	101.138°	0.499
Έναρξη μεταμόρφωσης	31	14.8	5.50E-12	38.065°	0.971
Μέσο μεταμόρφωσης	38	15.0	5.15E-10	127.865°	0.865

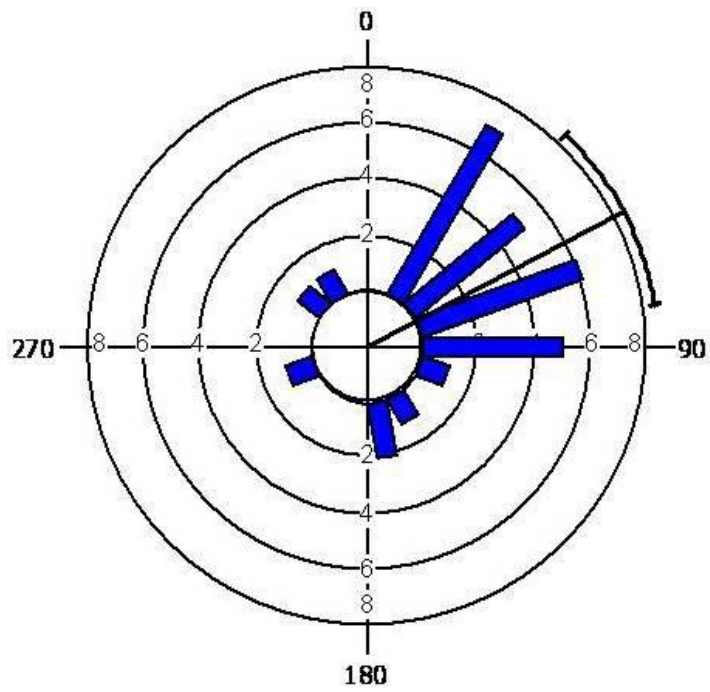


Εικόνα 19. Διάγραμμα ομοιομορφίας των κυκλικών δεδομένων για κάθε αναπτυξιακό στάδιο που μελετήθηκε. Κάθε στοιχείο (κουκίδα) του διαγράμματος παρουσιάζεται διαγραμματικά έναντι της αναμενόμενης τιμής για αυτό το στοιχείο για επιθυμητή κατανομή. Συγκρίνεται στο διάγραμμα η γωνία κατεύθυνσης (τροχιά) έναντι μιας ενιαίας/ομοιόμορφης κατανομής για τεταρτημόριο 45°. Τα στάδια έναρξης μεταμόρφωσης και μέσο μεταμόρφωσης δείχνουν μία συνοχή/συγκέντρωση έναντι των υπολοίπων αναπτυξιακών σταδίων όπου υπάρχουν αρκετές αποκλίσεις από την μέση τιμή των στοιχείων (διασπορά).

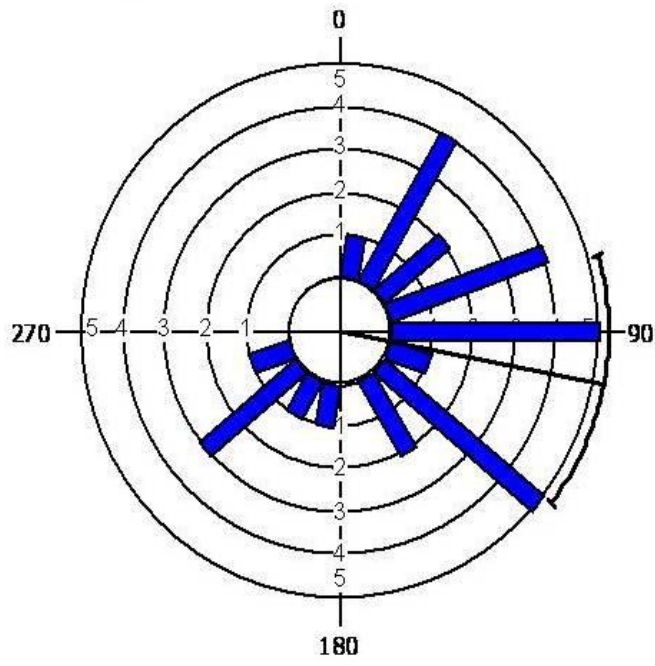
Πρώτο τάισμα



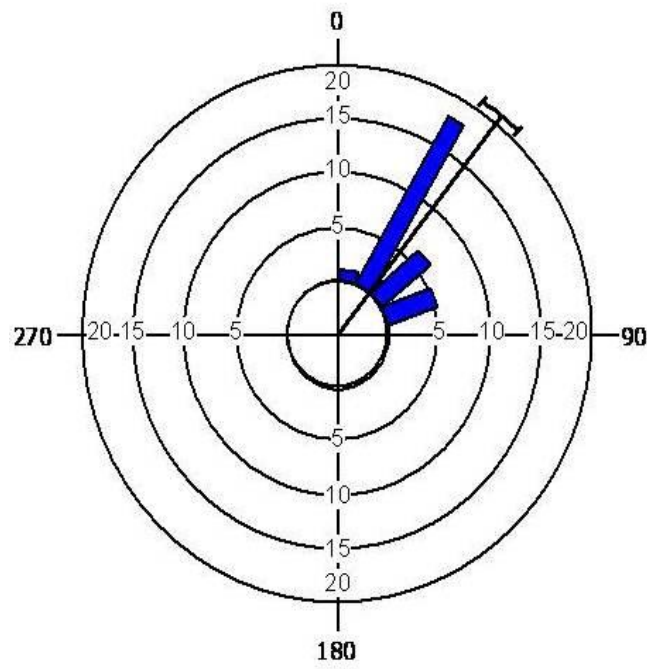
Μετάβαση στην *Artemia* spp.

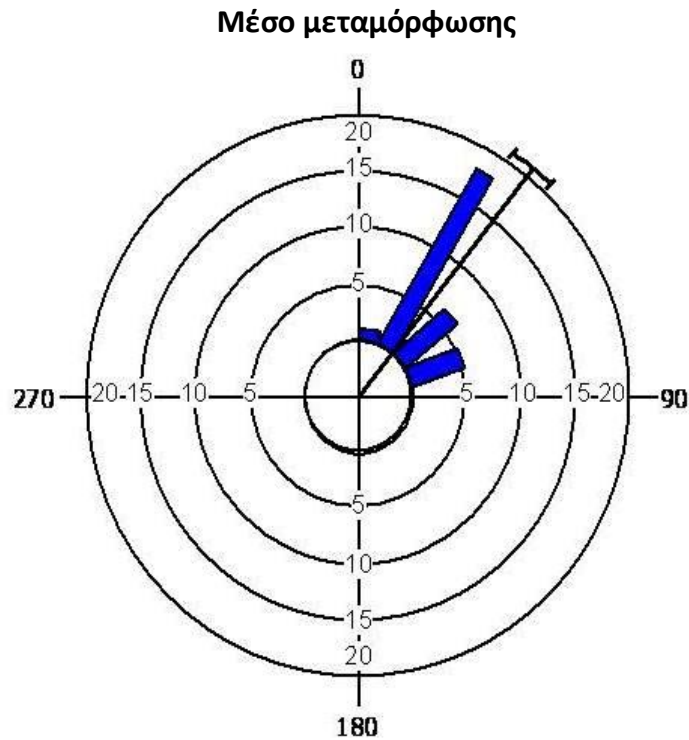


Κάμψη νωτοχορδής



Έναρξη μεταμόρφωσης





Εικόνα 20. Συχνότητα κατανομής των κατευθύνσεων κολύμβησης των πέντε αναπτυξιακών σταδίων που μελετήθηκαν. Η ακτίνα που διαπερνά τον εξωτερικό κύκλο (λεπτή γραμμή) αντιπροσωπεύει την μέση κατεύθυνση. Αυτή η σημαντική κατανομή κατεύθυνσης (Rayleigh test, p value) έχει ένα r (μήκος του μέσου διανύσματος) το οποίο δείχνει την συνολική ομοιομορφία/σταθερότητα της κατεύθυνσης κολύμβησης (Πίνακας 4). Οι αριθμοί των διακεκομμένων γραμμών αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των φορών που συγκεκριμένη κατεύθυνση κολύμβησης καταγράφηκε για κάθε άτομο.

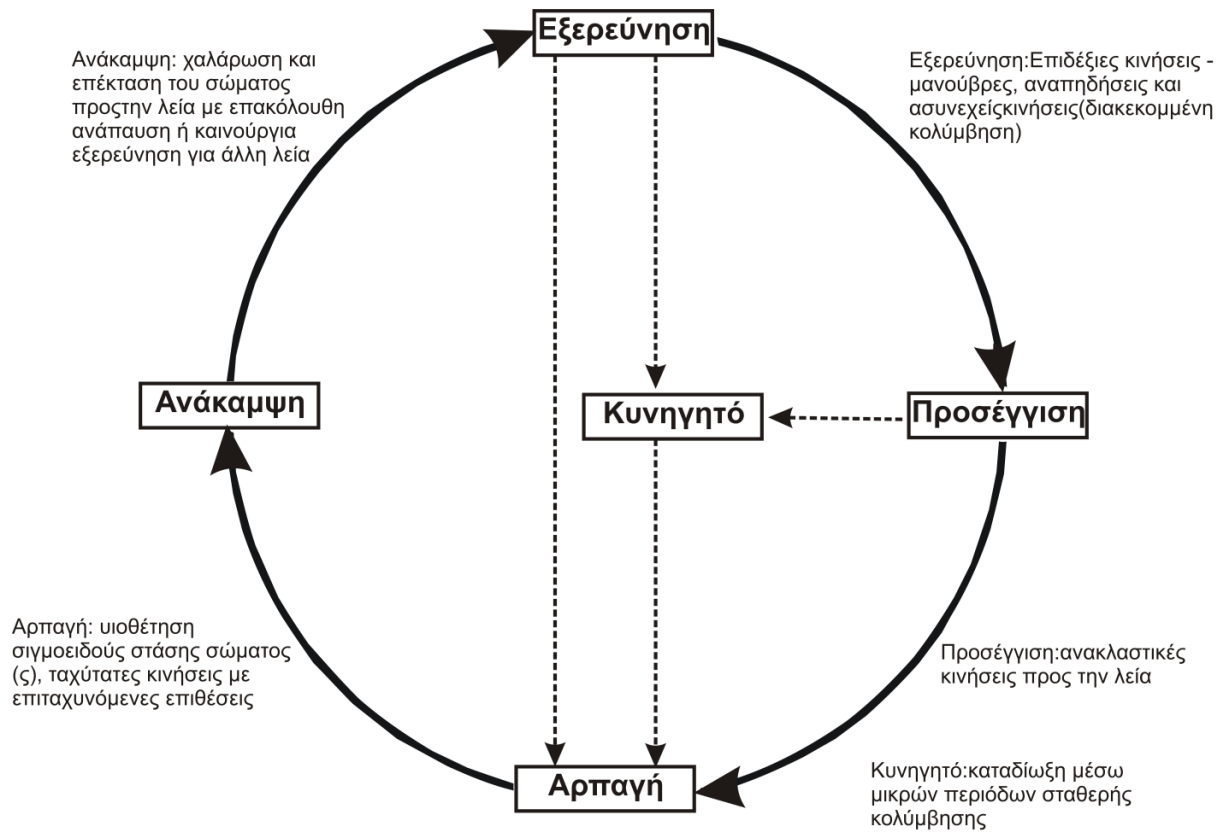
2.4.3. Συμπεριφορά Τροφοληψίας (σε εντατική εκτροφή και εκτροφή μεσοκόσμου)

Κατά την οντογενετική φάση του λαβρακιού όπου τα λεκιθικά αποθέματα έχουν απορροφηθεί πλήρως, το στόμα έχει ανοίξει, και τα μάτια είναι πλέον λειτουργικά, οι νύμφες εμφανίζουν περισσότερο συντονισμένες και προσανατολισμένες κινήσεις. Συνεπώς, γίνονται ικανές να αντιλαμβάνονται ζωντανούς οργανισμούς στο γύρω περιβάλλον τους και να αναπτύσσουν στρατηγικές τροφοληψίας (εντοπισμού και σύλληψης της τροφής). Η κολύμβηση που χαρακτηρίζεται από μία διακεκομμένη κίνηση των λεκιθοφόρων νυμφών στο φυσικό ενδιαίτημα τους, τους επιτρέπει να συναντούν πλαγκτονικούς οργανισμούς που μεταφέρονται με τα θαλάσσια ρεύματα και έτσι ξεκινάει σε αυτή την φάση μία συμπεριφορά τροφοληψίας που οφείλεται σε φυσικά ερεθίσματα (Barnabe, 1976). Μία αντίστοιχη συμπεριφορά εξερεύνησης παρατηρήθηκε και στην παρούσα μελέτη πριν από την έναρξη της εξωγενούς διατροφής και κατά την διάρκεια της τελευταίας ημέρας της λεκιθοφόρου νυμφικής ζωής για κάθε περίπτωση εκτροφής που μελετήθηκε (9 dph για την εντατική εκτροφή και 4 dph για την εκτροφή του μεσοκόσμου). Και στις δύο εκτροφές, οι νύμφες της φάσης μετάβασης από την λεκιθοφόρο νυμφική στην νυμφική ζωή άρχισαν να υιοθετούν δραστηριότητες εξερεύνησης και κυνηγιού. Στις συνθήκες εκτροφής του μεσοκόσμου, η συμπεριφορά αυτή είναι πιο αναμενόμενη μίας και οι ζωντανοί οργανισμοί είναι ήδη εγκαθιδρυμένοι στο μέσο πριν την έναρξη της εξωγενούς διατροφής κάτι το οποίο διεγείρει τις λεκιθοφόρες νύμφες στο να δείξουν ενδιαφέρον στις διάφορες αυτές λείες. Το ίδιο συμβαίνει και στην εντατική εκτροφή αλλά καθώς δεν

υπάρχουν λείες παρούσες στο μέσο πριν από την έναρξη της εξωγενούς διατροφής στην περίπτωση αυτή, η υιοθέτηση συμπεριφοράς εξερεύνησης και κυνηγιού δίνει στοιχεία που υποστηρίζουν ότι αυτές οι παρορμητικές δραστηριότητες έχουν ενδογενή κίνητρα.

Η φυσική ανάγκη των νυμφών για ενέργεια και συνεπώς λήψη τροφής, τις οδηγεί στην υιοθέτηση συγκεκριμένων προτύπων κίνησης, μέσα στο μέσο της εκτροφής, που διευκολύνουν την προσπάθεια τους αυτή. Μέσα από κάποια τυπικά στάδια ενός κύκλου θήρευσης της λείας διακρίνονται ουσιαστικά δύο μεγάλες φάσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κινήσεις και είναι η «εξερεύνηση» και η «τροφοληψία». Η φάση της «εξερεύνησης» χαρακτηρίζεται από κινήσεις ψαξίματος σε όλο το μέσο εκτροφής και εντοπισμού της λείας, ενώ η φάση της «τροφοληψίας» χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη μηχανική κίνηση των σιαγώνων που έχει ως αποτέλεσμα την αρπαγή της λείας (ή την προσπάθεια αρπαγής της). Επιπλέον, οι δύο αυτές φάσεις διαφέρουν πέρα από τις κινητικές δραστηριότητες και στον χρόνο διεξαγωγής κάθε μίας: ενώ η φάση της εξερεύνησης μπορεί να κρατήσει για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, η θήρευση-τροφοληψία (αρπαγή της λείας) γίνεται εξαιρετικά γρήγορα. Μόλις η λεία γίνει αντιληπτή από το ψάρι, αυτό υιοθετεί μία συγκεκριμένη κίνηση για την επιτυχή σύλληψη της. Στην κίνηση αυτή σημαντικό ρόλο έχουν τα ζυγά πτερύγια και ο κορμός του σώματος, που βοηθούν την σωστή τοποθέτηση του σώματος σε σχέση με την θέση της λείας στο μέσο εκτροφής. Έτσι, γίνεται πιο αποτελεσματική η αρπαγή της μέσω γρήγορων επιθέσεων και καταδίωξης της με υψηλές ταχύτητες κολύμβησης. Επίσης, ανάλογα με την θέση της λείας, η κίνηση του ψαριού στο μέσο εκτροφής μπορεί να περιλαμβάνει γρήγορη αλλαγή κατεύθυνσης, φρενάρισμα και

αντίστροφη κίνηση σώματος. Έτσι, τα πρότυπα συμπεριφοράς που παρατηρούνται κατά την προσπάθεια του ψαριού να τραφεί, από την εξερεύνηση του μέσου εκτροφής μέχρι την λήψη της τροφής, περιγράφονται μέσα από μία σειρά κινήσεων που τακτά συναντούν μηχανικά εμπόδια λόγω της φύσης του υγρού μέσου της εκτροφής. Οι κινήσεις αυτές είναι άλλοτε σταθερές (συνεχόμενη κολύμβηση) και άλλοτε μη σταθερές (επιταχύνσεις και συστροφές). Οι φάσεις της θήρευσης και ο τύπος της κολυμβητικής δραστηριότητας που σχετίζεται με αυτές και αναγνωρίστηκαν στο λαβράκι στην παρούσα μελέτη απεικονίζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 21.



Εικόνα 21. Τυπικά στάδια ενός επιτυχούς κύκλου θήρευσης (προσαρμοσμένος από Webb, 1986). Οι φάσεις του κύκλου θήρευσης (σε πλαίσιο) τυπικά περιλαμβάνουν την εξερεύνηση/ψάξιμο της λείας, προσέγγιση της αφότου έχει εντοπιστεί και στοχοποιηθεί, την αρπαγή της και την ανάκαμψη. Η ανάκαμψη συχνά ακολουθείται από μια καινούργια εξερεύνηση για την επόμενη λεία. Η σειρά των φάσεων υποδεικνύεται από τα τόξα. Οι διακεκομμένες γραμμές δηλώνουν εναλλακτικές διαδρομές.

Πιο συγκεκριμένα, οι νύμφες που εισέρχονται στην ετερότροφη φάση της ζωής τους ενώ είναι ακόμη αρκετά αδέξιες χρησιμοποιούν μία μακριά και περίπλοκη στρατηγική κυνηγιού η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 22 και περιγράφεται ως εξής:

A) Περιοχή οπτικής οξύτητας των νυμφών και αντίληψη της λείας: σύμφωνα με την διαθέσιμη οπτική περιοχή κάθε ατόμου στο

οριζόντιο και κάθετο πλάνο, η απόσταση αντίληψης της ζωντανής λείας εμφανίζεται να είναι η ίδια στην εντατική εκτροπή και την εκτροπή μεσοκόσμου και υπολογίστηκε περίπου στα 3-8 mm.

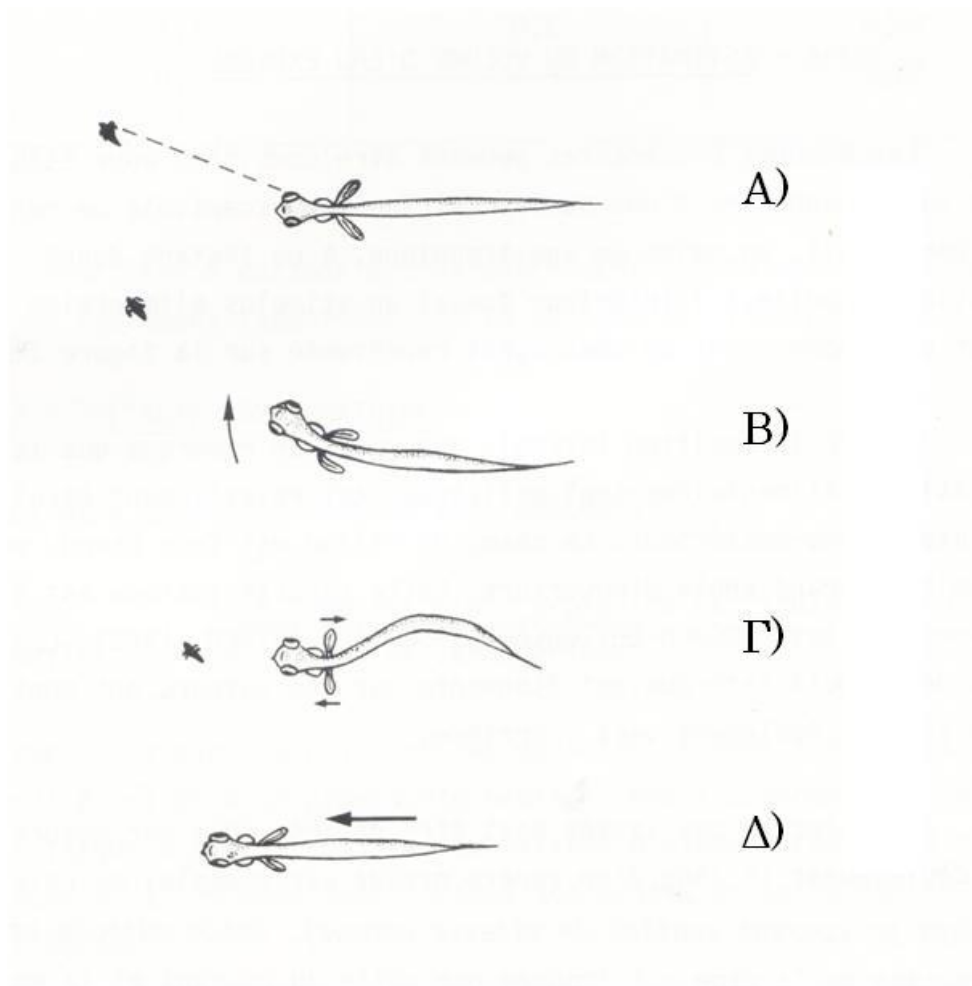
Β) Συντονισμένη κίνηση προς την λεία: οι νύμφες δείχνουν να αντιδρούν μόνο σε λείες οι οποίες βρίσκονται στον ίδιο άξονα με το σώμα τους ή/και σε απόκλιση 10-15° από αυτό. Όταν οι νύμφες στοχεύσουν μία λεία, μετακινούν τα σώματά τους προς το μέρος αυτής σαν μία ανακλαστική κίνηση. Οι νύμφες κινούνται προς την λεία και μετά σταματούν σε μία απόσταση 3-4 mm απέναντι από αυτήν. Τα θωρακικά πτερύγια φαίνεται να παίζουν ένα σημαντικό ρόλο κατά την διάρκεια αυτής της τελευταίας ενέργειας με το να βοηθούν τις νύμφες να διατηρούν αυτή την θέση ακινησίας πριν την επίθεση.

Γ) στάση «ς» και επίθεση: οι νύμφες υιοθετούν μία σιγμοειδή στάση σώματος που παρομοιάζει με το ελληνικό τελικό σίγμα (ς) (Εικόνα 22Γ, 23E₁). Στην θέση αυτή το κεφάλι μένει σταθερό και το σώμα λυγίζει στο δεύτερο του μισό (ουραίο μέρος). Οι νύμφες μπορούν να παραμείνουν σε αυτή την θέση για 0.5 με 3.0 δευτερόλεπτα.

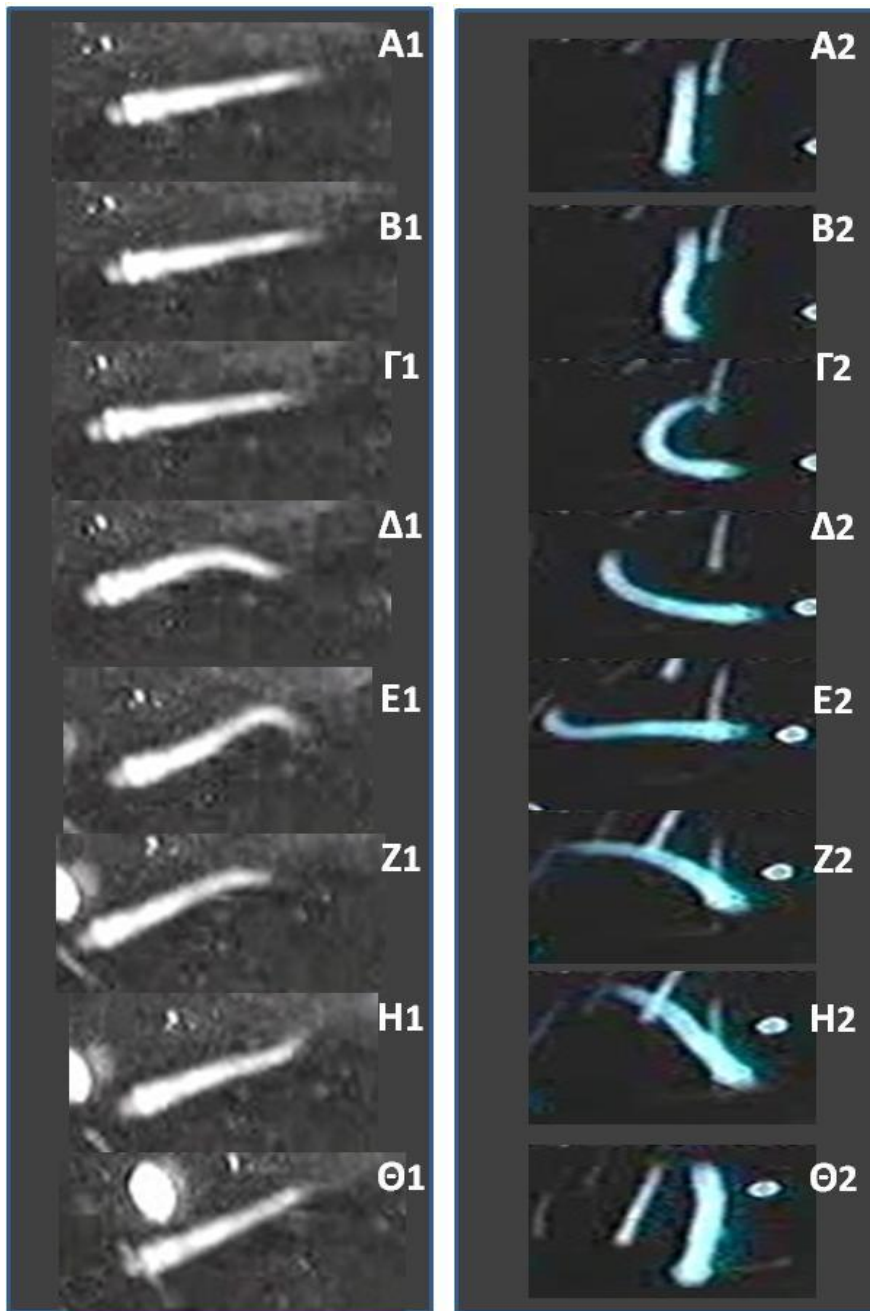
Δ) Χαλάρωση-εκτίναξη: οι νύμφες μετά την υιοθέτηση της σιγμοειδούς στάσης σώματος εκτείνουν τα σώματά τους προς την λεία με συνεχόμενα κτυπήματα των θωρακικών πτερυγίων φέρνοντας έτσι τα σώματά τους σε ευθυγράμμιση με την λεία και προτάσσοντας το στόμα τους ανοικτό προς την λεία.

Ε) Κατανάλωση: η νύμφη καταναλώνει την λεία και σταματά την κυνηγετική δραστηριότητα όταν ο πεπτικός σωλήνας είναι γεμάτος ακόμη και στην παρουσία άφθονης λείας.

Πέρα από την πιο πάνω περιγραφείσα τακτική κυνηγιού, παρατηρήθηκε άλλη μία δευτερογενής θα λέγαμε στρατηγική η οποία φάνηκε να συνδέεται με την κίνηση αιφνιδιασμού κατά την τροφοληψία. Παρατηρήθηκε κυρίως σε φάση όπου έπεφτε η τροφή από ψηλά μέσα στην δεξαμενή κολύμβησης των νυμφών οι οποίες καθόριζαν την τροχιά κίνησης ρίψης της λείας η οποία βρισκόταν υπό γωνία και ακολούθως αρπαγή της. Η αρχική κίνηση των νυμφών για να προεκτείνουν το σώμα τους ούτως ώστε να συλλάβουν την λεία χαρακτηριζόταν από μία κάμψη αυτού που παρομοιάζει το αγγλικό γράμμα C (Εικόνα 23Γ₂). Η κίνηση μοιάζει πολύ με την κίνηση στάσης -s (Εικόνα 22Γ, 23Ε₁) στο ότι και οι δύο κινήσεις αποτελούν γρήγορες αποκρίσεις με μεγάλη γωνιακή επιτάχυνση και παρόμοια απόσταση στροφής. Μία διαφορά που παρουσιάζεται ανάμεσα στις δύο κινήσεις πέρα από την στάση σώματος είναι ότι στην πρώτη κατά την φάση κάμψης του σώματος σε στάση -s το κεφάλι παραμένει σταθερό σε ευθεία θέση με το σώμα ενώ στην δεύτερη κατά την φάση κάμψης του σώματος σε στάση -C το κεφάλι παρουσιάζει σημαντική γωνιακή κίνηση σε σχέση με το σώμα. Επίσης, η στάση C παρουσιάζεται με την πάροδο του χρόνου, ενοσώντας ότι αποτελούσε μία εξέλιξη της στάσης -s, αφού είχε αποκτηθεί εμπειρία και αργότερα το μόνο που παρατηρείται είναι μία ελαφρά εκτίναξη ή μόνο το άνοιγμα του στόματος και η κατάποση της τροφής.



Εικόνα 22 (από Barnabe, 1976). Στρατηγική καταδίωξης που υιοθετούν νύμφες λαβρακιού: Α) αντίληψη της λείας, Β) συντονισμένη κίνηση προς την λεία, Γ) στάση –ς και επίθεση, Δ) Χαλάρωση-εκτίναξη προς τα εμπρος.



Εικόνα 23. Παρουσίαση στρατηγικών καταδίωξης που υιοθετούν οι νύμφες λαβρακιού μέσα από σιγμιότυπα καταγραφής της κίνησης αυτών κατά την διατροφή τους. Με τα γράμματα Α1-Θ1 παρουσιάζονται τα στάδια κίνησης κατά την οποία οι νύμφες υιοθετούν την στάση σώματος –S πριν την επίθεση και με τα γράμματα Α2-Θ2 τα στάδια κίνησης κατά την οποία οι νύμφες υιοθετούν την στάση σώματος –C πριν την επίθεση.

2.4.4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων εκτροφής ως προς την οντογένεση της συμπεριφοράς

2.4.4.1 Λεκιθοφόρος νυμφική φάση

Η σύγκριση των περιόδων αδράνειας και δραστηριότητας των νυμφών του λαβρακιού στο ίδιο αναπτυξιακό στάδιο (100% χρωματισμός ματιών και 50% άνοιγμα στόματος) στις δύο διαφορετικές εκτροφές χρησιμοποιώντας τον παραμετρικό έλεγχο Student's t-test ($n=10$, $P<0.05$) έδειξε τα εξής:

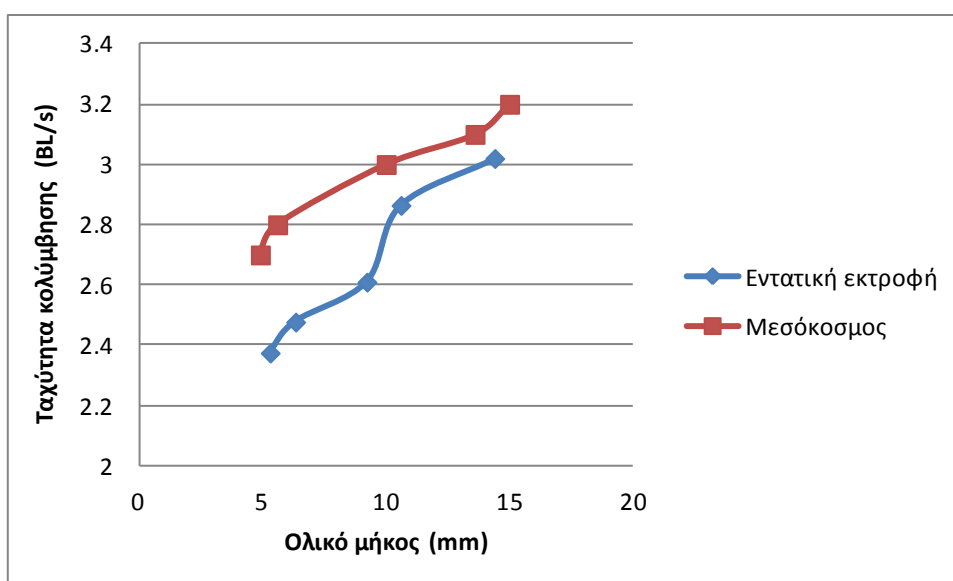
- Για το αναπτυξιακό στάδιο «100% χρωματισμός ματιών», που λαμβάνει χώρα την 4^η dph και στους δύο πληθυσμούς (εντατικής εκτροφής και μεσοκόσμου), οι περίοδοι αδράνειας και δραστηριότητας είναι στατιστικά διαφορετικοί ($n=10$, $P=0.06 > 0.05$: 55s έναντι 33.1s για την περίοδο αδράνειας και 5s έναντι 26.9s για την περίοδο δραστηριότητας) δείχνοντας ότι οι νύμφες της εντατικής εκτροφής ξοδεύουν περισσότερο χρόνο για ανάπαυση (αδράνεια) και λιγότερο για δραστηριότητα από ότι οι νύμφες της εκτροφής με την μέθοδο του μεσοκόσμου κατά την αναπτυξιακή αυτή φάση.
- Για το αναπτυξιακό στάδιο «50% άνοιγμα στόματος», που συμβαίνει την 5^η dph για τον πληθυσμό της εντατικής εκτροφής και την 4^η dph για τον πληθυσμό της εκτροφής με την μέθοδο του μεσοκόσμου, οι περίοδοι αδράνειας και δραστηριότητας δεν έδειξαν σημαντικά στατιστική διαφορά ($n=10$, $P=0.002<0.05$ και για τους δύο πληθυσμούς) δείχνοντας ότι οι μέσες τιμές μεταξύ των δύο πληθυσμών (37s έναντι 32 s για την περίοδο

ανάπαυσης και 23s έναντι 26s για την περίοδο δραστηριότητας) δεν διαφέρουν για αυτή την φάση.

Είχε επίσης παρατηρηθεί διαφορά στην συμπεριφορά όσον αφορά την κατανομή και διασπορά των νυμφών ανάμεσα στις δεξαμενές των δύο πληθυσμών. Οι νύμφες της εντατικής εκτροφής έδειχναν να κατανέμονται σε όλο τον όγκο του νερού καθ' όλη τη διάρκεια της αυτότροφης φάσης χωρίς να επιδεικνύουν κάποια ιδιαίτερα πρότυπα, ενώ οι νύμφες της εκτροφής μεσοκόσμου έδειξαν μία σειρά μετατόπισης θέσης μέσα στην δεξαμενή στον αναπτυξιακό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, οι νύμφες του αυτότροφου σταδίου (0 dph) εμφανίζονταν σε σμήνη ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του νερού και από την 2^η dph άρχιζαν να μετατοπίζονται σε βαθύτερες ζώνες μέσα στο νερό αλλά ακόμη στο πρώτο μισό της δεξαμενής από την επιφάνεια. Προοδευτικά μετακινούνταν σε βαθύτερες ακόμη ζώνες (την 3^η dph είχαν καταλάβει μέχρι τα 2/3 της δεξαμενής σε βάθος) και μέχρι το τέλος του αυτότροφου σταδίου (4^η dph) οι νύμφες ήταν κατανεμημένες σε όλο τον όγκο του νερού. Ενώ οι νύμφες της εντατικής εκτροφής είχαν ένα τυχαίο προσανατολισμό μέσα στον όγκο του νερού, οι νύμφες του μεσοκόσμου στο τέλος της αυτότροφης φάσης (4^η dph) άρχισαν να έχουν μία θετική κίνηση προς το φυσικό φώς (θετικός φωτοτροπισμός).

2.4.4.2. Ετερότροφη φάση

Τα αποτελέσματα του παραμετρικού ελέγχου Student's t-test που εφαρμόστηκε για την σύγκριση των δύο εκτροφών ως προς την μέση ταχύτητα κολύμβησης σε αντίστοιχα αναπτυξιακά στάδια έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο στάδιο της μετάβασης στην *Artemia spp.*, το στάδιο κάμψης της νωτοχορδής, στο στάδιο έναρξης και στο στάδιο ολοκλήρωσης της μεταμόρφωσης, δηλαδή στην εκτροφή του μεσοκόσμου κατά τα αναπτυξιακά αυτά στάδια τα ψάρια κολυμπούσαν με σημαντικά μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι τα ψάρια της εντατικής εκτροφής (Εικόνα 24, Πίνακας 8).



Εικόνα 24. Σύγκριση των αντίστοιχων πέντε αναπτυξιακών σταδίων (ως ολικά μήκη) που μελετήθηκαν ως προς την στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών ταχύτητας στις δύο εκτροφές (εντατικής και μεσοκόσμου).

Πίνακας 8. Σύγκριση της διαφορετικότητας των αντίστοιχων πέντε αναπτυξιακών σταδίων που μελετήθηκαν ως προς την στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών ταχύτητας στις δύο εκτροφές (εντατικής και μεσοκόσμου). Παρουσιάζονται οι τιμές (p-values) που εμφάνισε το Student's t-test σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$. Οι p-values που υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές τονίζονται με βαθύ γκριζο χρώμα.

Αναπτυξιακό στάδιο	Πρώτο τάισμα	Μετάβαση στην <i>Artemia spp.</i>	Κάμψη νωτοχορδής	Έναρξη μεταμόρφωσης	Μέσο μεταμόρφωσης
Πρώτο τάισμα	0.12	-	-	-	-
Μετάβαση στην <i>Artemia spp.</i>	-	0.0028	-	-	-
Κάμψη νωτοχορδής	-	-	>0.001	-	-
Έναρξη μεταμόρφωσης	-	-	-	>0.001	-
Μέσο μεταμόρφωσης	-	-	-	-	0.0006

Ενώ και στις δύο περιπτώσεις οι νύμφες φάνηκαν να υιοθετούν παρόμοια συμπεριφορά «εξερεύνησης» (που εμφανίστηκε και στους δύο πληθυσμούς από την τελευταία ημέρα του αυτότροφου σταδίου), στην εκτροφή με την μέθοδο του μεσοκόσμου οι νύμφες επέδειξαν άλλο ένα πρότυπο. Κατά το πρότυπο αυτό οι νύμφες επιδεικνυαν ενδιαφέρον, δοκιμή διαφορετικών λειών και προτίμηση για κάποιες από αυτές. Οι νύμφες της εκτροφής μεσοκόσμου στην μεταβατική φάση (μετάβαση τροφής στην *Artemia spp.*) στα 5.6 mm TL (6 dph) επέδειξαν ένα καθαρό προσανατολισμό προς το φως (θετικός φωτοτροπισμός) και άρχισαν να δείχνουν μία ξεκάθαρη κίνηση αντίθετα στο ρεύμα νερού (θετικός ρεστακτισμός). Στη συνέχεια οι νύμφες αφήνονταν να συμπαρασυρθούν από το ρεύμα του νερού μέσα στην δεξαμενή και έπειτα παρατηρείτο ανάκαμψη της διακεκομμένης κολύμβησης, ενώ στις νύμφες της εντατικής εκτροφής δεν εμφανίστηκε κανένα τέτοιο παρόμοιο πρότυπο συμπεριφοράς.

2.5. Συζήτηση

Η μελέτη της συμπεριφοράς και της οντογένεσης της μπορούν να αποκαλύψουν τις σχέσεις που συνδέουν το ζώο με το περιβάλλον του. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην οντογένεση της συμπεριφοράς κολύμβησης και τροφοληψίας του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*, 1758) σε αιχμαλωσία, σε δύο διαφορετικά συστήματα εκτροφής.

Το υπό μελέτη είδος μελετήθηκε υπό συνθήκες εκτροφής μεσοκόσμου και εντατικής εκτροφής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κατά την διάρκεια της οντογένεσης τα άτομα παρουσιάζουν ορισμένες ξεκάθαρές αλλαγές στην συμπεριφορά τους, οι οποίες είναι ισχυρά σχετιζόμενες με την μορφολογική τους οντογένεση καθώς και το σύστημα εκτροφής στο οποίο μεγαλώνουν. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την κολυμβητική τους δραστηριότητα (sustained/normal swimming), τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι από το λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο μέχρι το νυμφικό στάδιο αλλάζει από μια σπασμωδική κολύμβηση με διακεκομμένες κινήσεις όπου οι λεκιθοφόρες νύμφες ξόδευαν τον περισσότερο χρόνο τους στην ανάπαυση, σε μία πιο ενεργητική, συνεχόμενη και συντονισμένη κίνηση. Το προηγούμενο παρατηρήθηκε και στα δύο υπό μελέτη συστήματα εκτροφής.

Οι λεκιθοφόρες νύμφες της εκτροφής μεσοκόσμου στο στάδιο “100% χρωματισμός ματιών” εμφανίστηκαν πιο ενεργητικές από ότι οι λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής εκτροφής, αλλά δεν έδειξαν διαφορές στην δραστηριότητα τους στο στάδιο “50% άνοιγμα στόματος”, το οποίο στάδιο ξεκίνησε μία μόνο ημέρα αργότερα. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι στο μέσο του μεσοκόσμου, σε αντίθεση με αυτό της εντατικής εκτροφής, οι πλανγκτονικοί οργανισμοί είναι ήδη υπάρχοντες, κάτι το οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει ως ερέθισμα για τις λεκιθοφόρες νύμφες για να ξεκινήσουν δραστηριότητα κυνηγιού (καθώς στο ίδιο στάδιο 50% των λεκιθοφόρων νυμφών μεσοκόσμου είχαν ήδη ανοίξει το στόμα τους). Επίσης, το φως στην εκτροφή μεσοκόσμου, που είναι παρόν καθόλη την περίοδο του αυτότροφου σταδίου σε αντίθεση με την εντατική εκτροφή, θα μπορούσε να λειτουργήσει ως ένα φυσικό ερέθισμα για την δραστηριότητα των λεκιθοφόρων νυμφών. Κατά την διάρκεια του

σταδίου “50% άνοιγμα στόματος” (το οποίο εμφανίζεται με μία μόνο ημέρα διαφορά από το στάδιο “100% χρωματισμός ματιών” στις λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής εκτροφής) δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στην διάρκεια της δραστηριότητας μεταξύ των λεκιθοφόρων νυμφών των δύο υπό μελέτη συστημάτων εκτροφής. Αυτό το γεγονός τονίζει την πιθανή σημαντική επίδραση που έχει το άνοιγμα τους στόματος στην αύξηση της διάρκειας της περιόδου δραστηριότητας των λεκιθοφόρων νυμφών.

Στην παρούσα μελέτη, ενώ και στις δυο εκτροφές (μεσόκοσμος και εντατική) η θερμοκρασία του νερού είναι περίπου η ίδια με μη σημαντική διαφορά ($17,2 \pm 0,3$ °C με $17,4 \pm 0,3$ °C αντίστοιχα) και έτσι τα άτομα βρίσκονται στο ίδιο αναπτυξιακό στάδιο στην ίδια ηλικία (dph) όπως ήταν εξάλλου και αναμενόμενο, στον πληθυσμό της εντατικής εκτροφής αργεί να χορηγηθεί η πρώτη τροφή (9^η dph) σε σχέση με τον πληθυσμό του μεσοκόσμου στον οποίο χορηγείται από την 5^η dph. Αυτό συνέβη λόγω του ότι τα άτομα της εντατικής εκτροφής εμφάνισαν καθυστέρηση όσον αφορά τον σχηματισμό νηκτικής κύστης. Ένα ποσοστό 30% των ατόμων σχημάτισε νηκτική κύστη την 8^η ημέρα με το ποσοστό να διπλασιάζεται την επόμενη ημέρα (9^η dph). Οπότε και η χορήγηση της εξωγενούς τροφής ξεκίνησε την 10^η dph για τον πληθυσμό της εντατικής εκτροφής. Συνεπώς στην μελέτη εμφανίζεται το λεκιθοφόρο στάδιο να διαρκεί 9 ημέρες για την εντατική εκτροφή και μόλις 4 για την εκτροφή μεσοκόσμου. Αυτός ο διαχωρισμός είναι επομένως πλασματικός οντογενετικά αλλά πραγματικός διαχειριστικά. Στον μεσόκοσμο της παρούσας μελέτης ο σχηματισμός την νηκτικής κύστης εμφανίστηκε να συγχρονίζεται με την μετάβαση από την κάθετη στην οριζόντια θέση των λεκιθοφόρων νυμφών (4^η dph) όπου οι λεκιθοφόρες νύμφες μπορούσαν πλέον να

ελέγξουν την πλευστότητα τους στη στήλη του νερού. Η νηκτική κύστη στους τελεόστεους ιχθύες αποτελεί όργανο της υδροστατικής ρύθμισης (Chatain 1989), αντίληψης και παραγωγής ήχων καθώς και της αναπνοής. Οι νύμφες για να επιτύχουν πλήρωση της νηκτικής κύστης τους με αέρα ανεβαίνουν στη μεσοφάση νερού-αέρα για την κατάποση της φυσαλίδας αέρα που ακολούθως θα οδηγήσει στην φυσιολογική τους ανάπτυξη (Chatain & Ounais-Guschemann, 1990). Μελέτες που έχουν γίνει στο θέμα έχουν επισημάνει διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό και την πλήρωση της νηκτικής κύστης στους φυσόκλειστους εκτρεφόμενους ιχθύες, όπως αλατότητα και ρευματικές συνθήκες δεξαμενής εκτροφής (Battaglione & Talbot 1993), παρουσία επιφανειακού ελαιώδους φιλμ (Chatain 1986), ένταση του φωτός και της φωτοπερίοδου (Battaglione et al. 1994) και θερμοκρασία (Hadley et al. 1987). Επίσης στους Divanach & Kentouri (2000) αναφέρεται το πράσινο νερό κλειστού κυκλώματος της ημι-εντατικής τεχνικής εκτροφής ως παράγοντας στον οποίο οφείλεται η έλλειψη νηκτικής κύστης στο λαβράκι. Εφόσον στην παρούσα μελέτη οι συνθήκες εκτροφής ήταν σχεδόν κοινές εκτός της ιχθυοφόρτισης για τους πειραματικούς πληθυσμούς, ο μόνος παράγοντας που μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνος για τη διαφοροποίηση του χρόνου που χρειάστηκε για τον σχηματισμό λειτουργικής νηκτικής κύστης είναι η ιχθυοφόρτιση. Οι λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής εκτροφής αντιμετώπιζαν ένα συνωστισμό ο οποίος 'μπορεί να ήταν ανασταλτικός για την μετάβαση τους στην μεσόφαση νερού-αέρα και κατάποση της φυσαλίδας αέρα. Η ταχύτητα κολύμβησης ωστόσο στο στάδιο *Πρώτο τάισμα* μεταξύ των δύο πειραματικών εκτροφών δεν έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά.

Υπό εντατικές συνθήκες εκτροφής, η ταχύτητα “sustained” κολύμβησης (Hammer, 1995) (η λεγόμενη “routine speed”), αμέσως μετά την είσοδο των νυμφών στην ετερότροφη φάση, παρουσίασε αύξηση μεταξύ των σταδίων που μελετήθηκαν, με μία σημαντική αύξηση μεταξύ του σταδίου της κάμψης της νωτοχορδής (flexion) και της έναρξης της μεταμόρφωσης. Μετά από αυτό το στάδιο, η ταχύτητα κολύμβησης μειώθηκε πάλι, από το στάδιο της έναρξης της μεταμόρφωσης μέχρι το στάδιο της ολοκλήρωσης όλων των πτερυγίων (μέσο μεταμόρφωσης), αλλά παρέμεινε υψηλότερη από την μέση ταχύτητα κολύμβησης που βρέθηκε στο στάδιο του πρώτου ταισίματος μέχρι το στάδιο της κάμψης της νωτοχορδής. Στην εκτροφή του μεσοκόσμου, παρόλο που και εκεί παρουσιάστηκε αύξηση των ταχυτήτων κολύμβησης κατά την διάρκεια του αναπτυξιακού χρόνου, δεν παρατηρήθηκε έντονη αύξηση μεταξύ των μελετούμενων σταδίων όπως θα ήταν αναμενόμενο για τα στάδια μεταξύ κάμψης της νωτοχορδής και έναρξης της μεταμόρφωσης (σχετικά με τις μορφολογικές αλλαγές που συμβαίνουν, όπως η κάμψη της νωτοχορδής και ο σχηματισμός του ουραίου και του εδρικού πτερυγίου) όπως παρατηρήθηκε στην εντατική εκτροφή. Αυτή η διαφορά θα μπορούσε να εξηγηθεί αν ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές συνθήκες που επικρατούσαν σε κάθε εκτροφή. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εκτροφή του μεσοκόσμου είναι μία μέτριας έντασης τεχνική σε σύγκριση με την εντατική, στην οποία οι συνθήκες που επικρατούν παρομοιάζουν περισσότερο με τις φυσικές συνθήκες. Όπως άλλοι Τελεόστεους (Brown 1986, Pittman *et al.*, 1990, Munk 1995, Rabe and Brown 2001, Utne-Palm and Stiansen 2002, Leis *et al.*, 2005), τα ψάρια στον μεσόκοσμο υφίστανται τις ίδιες μορφολογικές αλλαγές από το στάδιο της κάμψης της νωτοχορδής μέχρι την έναρξη της μεταμόρφωσης όπως και τα ψάρια της εντατικής

εκτροφής, αλλά αυτή η σημαντική μορφολογικά αλλαγή δεν φαίνεται να έχει μεγάλη επίδραση στην κολυμβητική δραστηριότητα πιθανόν επειδή τα τα ψάρια έχουν περισσότερο “χώρο” από ότι τα ψάρια στην εντατική εκτροφή (σχεδόν δέκα φορές πολλαπλάσιο όγκο νερού). Παρόλα αυτά, αυτή η αύξηση της κολυμβητικής ικανότητας των νυμφών της εντατικής εκτροφής είναι ισχυρά συνδεδεμένη με την μορφολογική αλλαγή που συνέβη σε εκείνο το στάδιο που είναι η κάμψη του ουρόστυλου και ο σχηματισμός του ουραίου και του εδρικού πτερυγίου. Μία σημαντική αύξηση της κολυμβητικής ικανότητας των νυμφών του λαβρακιού, μεταξύ 10 και 20 dph, αναφέρθηκε και από τους Georgalas *et al.*, 2007.

Οι ιδιαίτερα αυξημένες κολυμβητικές ταχύτητες της “sustained” κολύμβησης των νυμφών του μεσοκόσμου σε σύγκριση με αυτές της εντατικής εκτροφής και στις τρεις φάσεις που μελετήθηκαν (Α: από το πρώτο τάισμα μέχρι την κάμψη της νωτοχορδής, Β: από την κάμψη της νωτοχορδής μέχρι την έναρξη της μεταμόρφωσης και Γ: από την έναρξη της μεταμόρφωσης μέχρι το μέσο της μεταμόρφωσης) μπορούν να αποδοθούν στην διαφορά του διαθέσιμου “χώρου” κολύμβησης για κάθε άτομο, που αναφέρθηκε και προηγουμένως (ο διαθέσιμος “χώρος” στην εκτροφή του μεσοκόσμου είναι δεκαπλάσιος του αντίστοιχου στην εντατική εκτροφή). Επίσης, θα μπορούσε να οφείλεται στον μικρότερο ανταγωνισμό για τροφή μεταξύ των ατόμων του μεσοκόσμου ο οποίος σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη ελευθερία “χώρου” προάγει την ευζωΐα (welfare) των ψαριών. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι οι ταχύτητες ρουτίνας (“routine speeds”) που υπολογίστηκαν στην παρούσα μελέτη είναι μέσα στο εύρος αυτών που αναφέρονται για τα είδη Sparidae (Kentouri 1985).

Οι παρατηρούμενες αλλαγές των παραμέτρων συμπεριφοράς που “εξετάστηκαν” στην παρούσα μελέτη είναι σε αντιστοιχία/συμφωνία με την οντογένεση της συμπεριφοράς τροφοληψίας των ψαριών. Η αλλαγή και τα διαφορετικά πρότυπα συμπεριφοράς που περιγράφησαν είναι ουσιαστικά. Για παράδειγμα, ο χρωματισμός των ματιών σήμανε την έναρξη του κυνηγιού. Η συμπεριφορά κυνηγιού εμφανίστηκε την 1η και 2η dph, μετά την οριζόντια τοποθέτηση στο νερό και την προσαρμογή στο φυσικό φώς των λεκιθοφόρων νυμφών του μεσόκοσμου, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι το φώς διεγείρει την ενέργεια αυτή. Από την άλλη πλευρά, η εκδήλωση μίας συμπεριφοράς ψαξίματος και κυνηγιού από τις λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής εκτροφής πριν από την προσθήκη οποιασδήποτε λείας στο μέσον, συνηγορεί υπέρ μίας εσωτερικής υποκίνησης η οποία ευθύνεται για την ενέργεια/δράση αυτή.

Η περιγραφείσα μορφή κυνηγιού με τα τα διακριτά στάδια και φάσεις που παρουσιάστηκε στην παρούσα μελέτη για τα λαβράκια, είναι μία ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ των cruising θηρευτών (που πρέπει να κινούνται συνεχώς για να βρουν την λεία τους και αυτών που κάθονται και περιμένουν (Norton, 1991) και η οποία είναι γνωστή ως saltatory searching (O’ Brien *et al.*, 1986, 1989, 1990). Σύμφωνα με αυτό τον τρόπο κυνηγιού τα ψάρια ψάχνουν για την λεία τους, την καταδιώκουν, την αρπάζουν και καταλήγουν σε μία παύση για διαχείριση της λείας πριν να επαναλάβουν τον κύκλο (O’ Brien *et al.*, 1986, 1990). Τέτοια τακτική κυνηγιού απαιτεί ενεργητικά αποδοτικό σταμάτημα και επανεκκίνηση (που συχνά επιτυγχάνεται με τα ζευγαρωτά πτερύγια) (Kendall *et al.*, 2007) και αποτελεί κοινή τακτική κυνηγιού για πολλά ψάρια, κυρίως των πλαγκτονοφάγων (Davis & Birdsong, 1973, Hobson, 1991). Αυτά τα ψάρια διαφέρουν

στην διάρκεια της κολυμβητικής δραστηριότητας ή την διάρκεια της παύσης ανάλογα με το ρίσκο θήρευσης ή την πυκνότητα της κατάλληλης τροφής (O' Brien *et al.*, 1989). Η σιγμοειδής στάση σώματος που υιοθέτησαν οι νύμφες της παρούσας μελέτης και παρομοιάζει με το ελληνικό τελικό σίγμα (ξ), είναι στερεοτυπική των νυμφών των θαλάσσιων ψαριών (Blaxter 1963, Rosenthal and Hempel 1969, Hunter 1972, Kentouri 1985, Munk and Kiorbe 1985, Temple *et al.*, 2004, Georgalas *et al.*, 2007), και βοηθάει στην αποτελεσματική ώθηση της νύμφης προς το μέρος της λείας με τη μέγιστη επιτάχυνση.

Οι δραστηριότητες που ακολουθούν την μετάβαση από το λεκιθοφόρο νυμφικό στο νυμφικό στάδιο μπορούν εύκολα να εξηγηθούν από τις συνεχόμενες αλλαγές των μορφολογικών δομών. Είναι προφανές ότι ο σχηματισμός των ακτινών των πτερυγίων, η αύξηση των διαστάσεων του σώματος και του στόματος τροποποιούν τις κολυμβητικές ικανότητες και την συμπεριφορά τροφοληψίας. Επίσης, η αποδοτικότητα της συμπεριφοράς που σχετίζεται με το ψάξιμο και το κυνηγητό λείας είναι ισχυρά συνδεδεμένη με την πλήρη ανάπτυξη της νηκτικής κύστης που συμβαίνει στις 10 dph για τις νύμφες της εντατικής εκτροφής και στις 5 dph για αυτές της εκτροφής του μεσοκόσμου. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί και με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν από τους Chatain (1986) και Georgalas *et al.* (2007), σχετικά με την ανάπτυξη της νηκτικής κύστης στο λαβράκι. Οι συγγραφείς αυτοί αναφέρουν παρόμοιες αλλαγές στην κολυμβητικά συμπεριφορά των νυμφών που θα μπορούσε να σχετίζεται με την ολοκληρωμένη ανάπτυξη της νηκτικής κύστης.

Κατά την διάρκεια της φάση “cofeeding” (σταδιακή απάλειψη της ζωντανής λείας στην τροφή) οι νύμφες συνεχίζουν να έχουν ισχυρή προτίμηση στην ζωντανή τροφή, παρόλο το γεγονός ότι η ξηρή

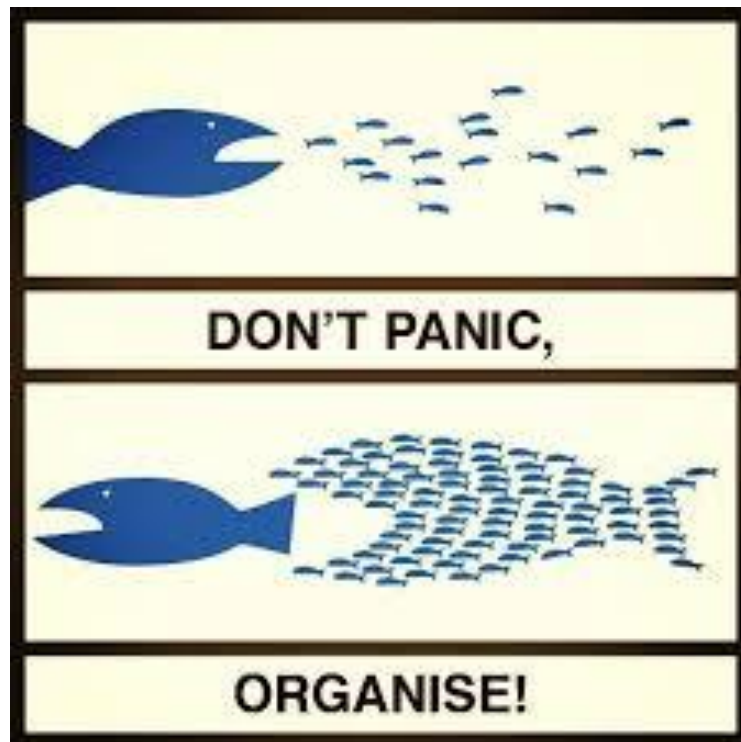
τροφή είχε εισαχθεί λίγες μέρες πριν δίνοντας έτσι στις νύμφες το περιθώριο χρόνου να “μάθουν” την καινούργια λεία. Αυτό υποστηρίζει την ανάγκη για ζωντανά ερεθίσματα (“δονήσεις” στο μέσο κολύμβησης από τις επανατοποθετήσεις) για την διαμόρφωση της αντίδρασης τους στο κυνήγι. Η φάση του “cofeeding” δεν θα μπορούσε να συμβεί νωρίτερα από τις 31 και 32 dph για την εντατική εκτροφή και την εκτροφή μεσοκόσμου αντίστοιχα, επιδεικνύοντας μία περίοδο προσαρμογής και “μάθησης” των νυμφών για την καινούργια τροφή (ξηρές νιφάδες/pellets) φανερώνοντας έτσι μία οντογενετική εξέλιξη στην συμπεριφορά.

Οι νύμφες και από τις δύο εκτροφές έδειξαν μία σαφή κατεύθυνση (τα ψάρια τείνουν να κολυμπούν παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής) στα αναπτυξιακά στάδια της εκκίνησης της μεταμόρφωσης και του σχηματισμού όλων των πτερυγίων (πρώιμα ιχθύδια). Αυτό είναι ένα πρώτο σημάδι της συμπεριφοράς κοπαδιάσματος το οποίο στα φυσικά ενδιατήματα συμβαίνει περισσότερο στα ιχθύδια και εκδηλώνεται με τοποθέτηση αντίθετα στο ρεύμα (ρεοτακτισμός: Barnabe, 1976). Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν για τις μετα-νύμφες (postlarvae) του giant trevally (*Caranx ignobilis*) όπου τα άτομα βρέθηκαν να κολυμπούν με συγκεκριμένη κατεύθυνση χωρίς ωστόσο αυτή η συμπεριφορά προσανατολισμού να αλλάζει αναλογικά με την οντογενετική τους ανάπτυξη, ούτε σε ποσοστά ατόμων ούτε στην ακρίβεια της κατεύθυνσης (Leis *et al.*, 2006). Ο προσανατολισμός, εξάλλου, είναι απαραίτητος κατά την μετακίνηση των μετα-νυμφών (late-stage larvae) στο επόμενο τους ενδιαίτημα, αυτό της αναπαραγωγής των ιχθυδίων (nursery habitat), εποικισμός που μπορεί να επηρεάσει αρκετά τις τροχιές διασποράς τους (Shanks, 1995, Leis & Carson-Ewart, 2003).

Χρησιμοποιήσαμε νύμφες εκτροφής στην μελέτη μας και είναι πιθανόν η συμπεριφορά που παρατηρήσαμε να διαφέρει από αυτή των άγριων ατόμων. Σκοπός της μελέτης ήταν η σύγκριση των δύο τεχνικών εκτροφής και τα αποτελεσμάτα από αυτή έδειξαν κάποιες ομοιότητες αλλά επίσης και κάποιες διαφορές μεταξύ των δύο εκτρεφόμενων πληθυσμών. Οι πιο αξιοσημείωτες διαφορές αφορούσαν στην κολυμβητική απόδοση και ταχύτητα αλλά επίσης κάποια διαφορά παρουσιάστηκε και στην συμπεριφορά θήρευσης. Βάση των προηγούμενων θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι τα ψάρια της εντατικής εκτροφής παρουσιάζουν μία “καθυστέρηση” σε σύγκριση με αυτά της εκτροφής του μεσοκόσμου και αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι οι συνθήκες του μεσοκόσμου προσομοιάζουν αυτές του φυσικού ενδιατήματος τους, ενώ οι εντατικές συνθήκες αποτελούν ένα πιο στρεσογόνο περιβάλλον για τα εκτρεφόμενα ψάρια. Αυτό το στρεσογόνο περιβάλλον πιθανότατα έχει επίδραση στην εξέλιξη της συμπεριφοράς των ψαριών σε αιχμαλωσία. Επιπλέον, λίγα είναι γνωστά για την συμπεριφορά των νυμφών του λαβρακιού και συνεπώς συγκρίσεις είναι δύσκολο να γίνουν.

Η κατανόηση των διαφορετικών προτύπων της συμπεριφοράς και των ικανοτήτων/δραστηριοτήτων που εμφανίζουν τα λαβράκια στα πρώιμα στάδια της ζωής τους είναι απαραίτητη για την πιο αποτελεσματική διαχείριση, καθώς το ηθόγραμμα των νυμφών θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της ευζωίας των εκτρεφόμενων ψαριών, το οποίο θα μπορούσε να συνδυαστεί με άλλα εργαλεία τα οποία ήδη χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ποιότητας ψαριών.

Κεφάλαιο 3



Μελέτη της συμπεριφοράς ιχθυδίων λαβρακιού
στη φάση της προπάχυνσης

3.1. Περίληψη

Στην παρούσα μελέτη ιχθύδια λαβρακιού στην φάση της προπάχυνσης μετά την εφαρμογή απότομων αλλαγών (acute stressors) στο περιβάλλον μέσω τους μελετήθηκαν ως προς την κολύμβηση τους και γενικότερα την συμπεριφορά τους. Τα ιχθύδια είχαν μεταφερθεί από την εκτροφή του μεσοκόσμου, ήταν ήδη προσαρμοσμένα σε τεχνητά σιτηρέσια, είχαν ηλικιά 80 dph. μέσο βάρος 0.79 g και μέσο μήκος 25.5 ± 1.04 mm. Παρατηρήθηκε η συμπεριφορά κοπαδιάσματος (schooling) μετά από τρεις χειρισμούς (acute stressors): (α) μεταφορά σε δεξαμενές διαφορετικού χρώματος υπόβαθρου (από μαύρο σε γαλάζιο), (β) είσοδος σιφονίου καθαρισμού στην δεξαμενή, μείωση όγκου νερού με ταυτόχρονη διαλογή και μεταφορά σε άλλη δεξαμενή και (γ) διαφορετική ιχθυοφόρτιση (1000 έναντι 30.000 άτομα/δεξαμενή). Έγινε παρακολούθηση *de vivo* και καταγραφή με υποβρύχιες κάμερες. Μετρήθηκαν η μέση ταχύτητα κολύμβησης (BL/s) και οι βαθμοί αλλαγής προσανατολισμού κίνησης των ιχθυδίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεταφορά στην γαλάζια δεξαμενή προκάλεσε «νευρική» κολύμβηση με πολλές επανατοποθετήσεις, όπου τα ιχθύδια υιοθέτησαν μία «flight» αντίδραση και κατέβηκαν στο πυθμένα της δεξαμενής κοπαδιάζοντας. Παρόμοια αντίδραση παρατηρήθηκε και στην εισαγωγή του σιφονίου και διαλογή των ιχθυδίων. Τα ιχθύδια αντιδρούσαν με κινήσεις αποφυγής, με ταχύτατες επανατοποθετήσεις μέσα στο νερό και εμφάνιση «στροβίλου» γύρω από το σιφόνι και σύμφωνα με την κίνηση ρεύματος του νερού (θετική ρεόταξη). Επίσης, κολυμβούσαν παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής και σε συνάφεια με αυτά. Τα ιχθύδια της χαμηλής ιχθυοφόρτισης δεν έδειξαν σημάδια ομαδοποίησης όπως έδειξαν τα ιχθύδια της μεγάλης ιχθυοφόρτισης στην οποία κοπάδιαζαν

και κολυμβούσαν παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής. Όλα τα ιχθύδια της μελέτης κατά τις περιόδους τροφοληψίας αραιώναν τις συγκεντρώσεις τους. Από την μελέτη διαφάνηκε ότι οι διάφοροι ανθρωπίνου χειρισμοί μέσα στο περιβάλλον μέσω των ιχθυδίων της προπάχυνσης μπορούν να αποβούν στρεσογόνοι και να οδηγήσουν τα ιχθύδια σε συμπεριφορές μη φυσιολογικές οι οποίες δεν πρέπει να αψηφούνται από τους καλλιεργητές ενώ θα μπορούσαν να αποτελέσουν δείκτες εκτίμησης της «ευζωίας» (welfare) των ιχθυδίων σε εκτροφή προπάχυνσης.

Λέξεις-Κλειδιά: προπάχυνση, ιχθύδια, στρεσογόνα, συμπεριφορά, κολύμβηση, κοπάδιασμα, ευζωία.

3.2. Εισαγωγή

Με τον όρο "προπάχυνση" εννοούμε τη φάση της εκτροφής του ιχθυδίου (γόνου) από το βάρος των 0,3 g ως το στάδιο της πώλησής του, το οποίο, ανάλογα με την εποχή και τις περιστάσεις (διαθεσιμότητα χώρων, επιλογή πελάτη, μορφή πάχυνσης), κυμαίνεται συνήθως από 1,5 ως 10 g. Η προπάχυνση θεωρείται το ευκολότερο, από ζωοτεχνικής άποψης, τμήμα ενός ιχθυογεννητικού σταθμού, γιατί τα ψάρια εκτρέφονται σε στάδια, στα οποία έχουν μάθει πλέον να καταναλώνουν τη συνθετική τροφή, το χρησιμοποιούμενο θαλασσινό νερό απαιτεί στοιχειώδη επεξεργασία, οι ρυθμοί αύξησης των ψαριών είναι υψηλοί, η θνησιμότητα είναι περιορισμένη, οι θεραπείες των ψαριών δια μέσου της τροφής ή με τη βοήθεια λουτρών γίνονται εύκολα και είναι αποδοτικές. Από την άλλη, η προπάχυνση είναι σημαντικότερο τμήμα της διαδικασίας εκτροφής, καθώς παράγει το τελικό προϊόν και έτσι είναι αυτό που βρίσκεται πιο κοντά στον πελάτη – ιχθυοπαραγωγό (Κλαδάς Γ., 2006).

Η προπάχυνση αφορά σε άτομα, με αυξημένες μεταβολικές ανάγκες εξαιτίας των οποίων πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης μεγάλων ποσοτήτων νερού και οξυγόνου. Η ποσότητα της τροφής που χορηγείται υπολογίζεται πλέον με κριτήριο την βιομάζα των ψαριών και όχι τον όγκο της δεξαμενής, όπως συμβαίνει με τις νυμφικές εκτροφές. Η διαχείριση των πληθυσμών συνεπάγεται πρόσθετες ιχθυοκομικές φροντίδες, όπως είναι οι διαλογές, οι οποίες παράλληλα εξυπηρετούν και τον προγραμματισμό των πωλήσεων των ιχθυδίων. Η ποιότητα του γόνου, η οποία συνήθως εκφράζεται ως το ποσοστό των ατόμων χωρίς σκελετικές ή μορφολογικές δυσμορφίες, είναι μια βασική παράμετρος της εμπορευσιμότητας του τελικού προϊόντος. Στο στάδιο της προπάχυνσης, τα ψάρια χωρίς νηκτική

κύστη απομακρύνονται, ενώ πραγματοποιούνται προληπτικοί εμβολιασμοί, έναντι ευρέως διαδεδομένων ασθενειών, όπως για παράδειγμα η δονακίωση (*Vibrio* sp.) στο λαβράκι. Οι εμβολιασμοί γίνονται σε ψάρια άνω του 1 g, πριν πουληθούν, καθώς το μέγεθος αυτό θεωρείται το ελάχιστο, στο οποίο το ψάρι αναπτύσσει το δευτερογενές ανοσοποιητικό του σύστημα (παραγωγή αντισωμάτων). Το θαλασσινό νερό, το οποίο τροφοδοτεί τις εκτροφές στο τμήμα της προπάχυνσης, μπορεί να προέρχεται απ' ευθείας από άντληση θαλασσινού νερού, ή νερού γεώτρησης (ανοιχτό σύστημα) ή να υφίσταται επεξεργασία (μηχανικά, βιολογικά και χημικά), να θερμαίνεται και να ανακυκλώνεται (κλειστό κύκλωμα). Εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων που απαιτούνται, στα ανοιχτά συστήματα δεν τίθεται θέμα θέρμανσης του νερού (ασύμφορο) με αποτέλεσμα ο ρυθμός αύξησης των ψαριών να εξαρτάται κυρίως από την εξέλιξη των εποχικών θερμοκρασιών, και της φωτοπεριόδου, ενώ στα κλειστά συστήματα η αύξηση εξαρτάται κυρίως από το φωτοπεριοδικό κύκλο (Κλαδάς Γ., 2006).

Οι παρεμβάσεις που έγιναν κατά την διάρκεια αυτής της μελέτης είχαν σαν στόχο να διερευνήσουν την επίδραση απότομων (acute) αλλαγών (πιθανών διαταραχών) του περιβάλλοντος μέσου στην κολύμβηση και γενικότερα στην συμπεριφορά των ιχθυδίων λαβρακιού προπάχυνσης.

3.3. Υλικά και Μέθοδοι

Ιχθύδια λαβρακιού ηλικίας 80 dph, μέσου βάρους 0.79 g και μέσου μήκους 25.5 ± 1.04 mm, τα οποία είχαν πλήρως προσαρμοστεί σε τεχνητά σιτηρέσια (βιομηχανική τροφή) μεταφέρθηκαν από τις εγκαταστάσεις εκτροφής με την μέθοδο του μεσοκόσμου σε εγκαταστάσεις εκτροφής προπάχυνσης δηλαδή σε πολυεστερικές υποτετράγωνες δεξαμενές μαύρου και γαλάζιου χρώματος χωρητικότητας 500 λίτρων. Οι δεξαμενές τροφοδοτούνταν με θαλασσινό νερό γεώτρησης σταθερής θερμοκρασίας (19.4 ± 1 °C) και η ανανέωση του νερού ήταν της τάξης των 3,3 λίτρων/s.

Έγιναν τρεις έλεγχοι όσον αφορά την συμπεριφορά των ιχθυδίων λαβρακιών στην φάση αυτή της εκτροφής. Ο πρώτος αφορούσε στην αντίδραση των ιχθυδίων αμέσως μετά την μεταφορά και εγκατάσταση τους σε δεξαμενές διαφορετικού χρώματος υποβάθρου (Εικόνα 1, 2). Προς τούτο, σε κάθε δεξαμενή μαύρου ή γαλάζιου χρώματος τοποθετήθηκαν περίπου 50.000 ψάρια σε περιβάλλον όπου η ταχύτητα κίνησης του νερού ήταν 0.03 m/s. Οι καταγραφές έγιναν ταυτόχρονα σε δύο δεξαμενές μαύρου και γαλάζιου χρώματος υπόβαθρου προκειμένου να μελετηθούν τυχόν διαφορές ως προς την συμπεριφορά των ιχθυδίων σε περιβάλλον που παρομοίαζε (μαύρη δεξαμενή) με το προηγούμενο περιβάλλον εκτροφής των ιχθυδίων (μαύρες δεξαμενές μεσοκόσμου) σε σύγκριση με ένα περιβάλλον πολύ διαφορετικό (γαλάζια δεξαμενή) από το προηγούμενο περιβάλλον εκτροφής και πιθανότατα και στρεσογόνο. Η καταγραφή της συμπεριφοράς των ψαριών διήρκεσε μέχρι την στιγμή που εμφάνισαν σημάδια εγκλιματισμού στο καινούργιο τους περιβάλλον (περίπου 3 ώρες μετά την είσοδο στην δεξαμενή). Έγιναν παρατηρήσεις και μετρήσεις για την ταχύτητα κολύμβησης (Bl/s)

αμέσως μετά την είσοδο τους στις δεξαμενές ελέγχου, μετά την πάροδο τριών ωρών από την είσοδο τους και ένα εικοσιτετράωρο μετά την είσοδο τους. Υπολογίστηκαν επίσης οι βαθμοί αλλαγής προσανατολισμού της κίνησης των ψαριών (κατεύθυνση κολύμβησης) αμέσως μετά την είσοδο τους στις δεξαμενές ελέγχου, όταν έδειξαν στοιχεία εγκλιματισμού και ένα εικοσιτετράωρο μετά την είσοδο τους.

Ο δεύτερος έλεγχος αφορούσε την καταγραφή της αντίδρασης των λαβρακιών σε δύο πιθανά στρεσογόνα. Το πρώτο αφορούσε, στην είσοδο σιφωνίου καθαρισμού στην δεξαμενή και το δεύτερο στην μείωση του όγκου του νερού με ταυτόχρονο ψάρεμα για διαλογή (sorting) και μεταφορά σε άλλη δεξαμενή (Εικ 5). Το δεύτερο πιθανό στρεσογόνο πραγματοποιήθηκε στην ίδια δεξαμενή 6 ώρες μετά το πρώτο. Ο έλεγχος έγινε στα λαβράκια της γαλάζιας δεξαμενής 20 ημέρες μετά το πέρας του πρώτου ελέγχου (έλεγχος αντίδρασης σε διαφορετικού χρώματος υποβάθρο). Τα λαβράκια, μετά το ψάρεμα και την διαλογή (sorting), μεταφέρθηκαν σε άλλες δεξαμενές μαύρου υποβάθρου.

Ο τρίτος και τελευταίος έλεγχος αφορούσε στην επίδραση της ιχθυοφόρτισης στην συμπεριφορά κοπαδιάσματος (schooling). Ο έλεγχος αυτός έγινε σε δύο δεξαμενές μαύρου υποβάθρου όπου είχαν τοποθετηθεί λαβράκια 90 dph σε διαφορετική ιχθυοφόρτιση. Στην μία τοποθετήθηκαν γύρω στα 1.000 λαβράκια και στην άλλη γύρω στα 30.000 λαβράκια (Εικόνα 6).

Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς σε κάθε έλεγχο έγινε *de vivo* και η καταγραφή με την βοήθεια συστήματος υποβρύχιων καμερών συνδεδεμένων με πομπές σήματος και δέκτες συνδεδεμένους με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στις δεξαμενές ήταν

επίσης τοποθετημένο ένα ορθογώνιο πλαίσιο (60x40 cm) με σχεδιασμένο στην μέση του ένα κύκλο ($d=10$ cm), το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως πλαίσιο αναφοράς που βοήθησε στην μελέτη του προσανατολισμού των νυμφών. Είχε υπολογιστεί η **μέση ταχύτητα κολύμβησης τους (BL/s)** όπως επίσης και οι **βαθμοί αλλαγής προσανατολισμού της κίνησης των ψαριών (κατεύθυνση κολύμβησης)**. Η ταχύτητα είχε υπολογιστεί από την απόσταση που διανύθηκε, εκφρασμένη ως μήκη σώματος (BLs) ανά δευτερόλεπτο με την χρήση προγράμματος επεξεργασίας εικόνας (Image Analysis Pro 4.5, Media Cybernetics) στα $10 \text{ frames sec}^{-1}$. Από το ίδιο πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας μετρήθηκαν και οι γωνίες διαχωρισμού μεταξύ των ατόμων μετρημένες ως γωνίες πόλωσης των ατόμων από έναν παράλληλο προσανατολισμό, οι οποίες αφορούσαν στον υπολογισμό της κατεύθυνσης κολύμβησης. Όσο πιο μικρή η γωνία διαχωρισμού τόσο πιο συγκεντρωμένη και κατευθυνόμενη θεωρείτο η κατεύθυνση κολύμβησης και όσο πιο μεγάλη η γωνία διαχωρισμού τόσο πιο ακανόνιστη και τυχαία θεωρείτο με γωνίες που πλησίαζαν τις 90° να χαρακτηρίζουν μια χαστική κίνηση.

Δοκιμές ελέγχων και σύγκρισης για τις γωνίες διαχωρισμού και τις ταχύτητες κολύμβησης είχαν πραγματοποιηθεί με παραμετρικά στατιστικά τεστ (Student t-test: (επίπεδο σημαντικότητας P αποδεκτό στο 0.05-διάστημα εμπιστοσύνης 95%).

3.4. Αποτελέσματα

3.4.1. Μεταφορά ιχθυδίων σε δεξαμενές διαφορετικού χρώματος υποβάθρου.

Αμέσως μετά την μεταφορά τους από την εκτροφή του μεσοκόσμου στις δεξαμενές προπάχυνσης, τα ιχθύδια που τοποθετήθηκαν στις δύο δεξαμενές διαφορετικού χρώματος υποβάθρου έδειξαν διαφορές στην συμπεριφορά τους. Αμέσως μετά την είσοδο τους στην μαύρη δεξαμενή προπάχυνσης τα ιχθύδια παρουσίασαν μία ακανόνιστη κίνηση τυχαίας κατεύθυνσης (μέση γωνία διαχωρισμού = $24.5^{\circ} \pm 10$, Εικόνα 1α, 4Α) η οποία όμως πολύ σύντομα (μέσα σε διάστημα πέντε λεπτών) άρχισε να γίνεται πιο κατευθυνόμενη (μέση γωνία διαχωρισμού = $1.8^{\circ} \pm 0.6$, Εικόνα 1β), δηλαδή τα ιχθύδια άρχισαν να περιστρέφονται γύρω από την δεξαμενή σύμφωνα με το ρεύμα που δημιουργούσε η κίνηση του περιεχόμενου νερού και σε παράλληλη διάταξη με τα τοιχώματα της δεξαμενής. Αντίστοιχα, στη γαλάζια δεξαμενή προπάχυνσης, τα ιχθύδια επέδειξαν επίσης μια τυχαία κολύμβηση με την είσοδο τους στη δεξαμενή (μέση γωνία διαχωρισμού = $68.6^{\circ} \pm 22.1$, Εικόνα 2α, 4Γ) αλλά πιο νευρική από αυτά της μαύρης δεξαμενής (4.3 ± 0.12 BL/s έναντι 3.5 ± 0.09 BL/s, $p=0.0001 < 0.05$, Εικόνα 3Γ) στοιχείο που υποδήλωνε σαφώς μία αντίδραση επιπλέον καταπόνησης (στρες), πέρα από αυτήν που υπέστησαν και οι δύο πληθυσμοί λόγω της μεταφοράς, λόγω της απότομης αλλαγής του χρώματος υποστρώματος από ένα σκούρο σε ένα αρκετά πιο έντονο φωτεινό περιβάλλον.

Μεγάλο μέρος της ομάδας των ιχθυδίων της γαλάζιας δεξαμενής πραγματοποιούσε αιφνίδιες αλλαγές θέσης μέσα στο νερό με μη συνεχόμενη κολύμβηση συνδεδεμένη με κάθετες τοποθετήσεις προς τον πυθμένα της δεξαμενής (Εικόνα 2β). Με την πάροδο όμως περίπου τριών ωρών από την μεταφορά τους άρχισαν και αυτά να εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με τα ιχθύδια της μαύρης δεξαμενής δηλαδή κολύμβηση παράλληλα στα τοιχώματα δείχνοντας (μέση γωνία διαχωρισμού = $2.9^{\circ} \pm 1.3$, $U_{\text{μέση}} = 4.0 \pm 0.03$ BL/s, Εικόνα 3B) ότι άρχισαν να εγκλιματίζονται με τον χώρο. Παρόλα αυτά η ταχύτητα κολύμβησης των ψαριών της γαλάζιας δεξαμενής εμφανίζονταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη από ότι της μαύρης ($p=0.0001 < 0.05$, Εικόνα 3Γ).

Άλλο ένα σημείο ένδειξης καταπόνησης λόγω της μεταφοράς και εισόδου σε ένα πιο φωτεινό περιβάλλον μέσο είναι το γεγονός ότι τα ιχθύδια της γαλάζιας δεξαμενής εμφάνισαν πέρα από την περιστρεφόμενη παράλληλα προς τα τοιχώματα κολύμβηση, ένα στρόβιλο στην μέση της δεξαμενής γύρω από το κεντρικό φίλτρο, συμπεριφορά η οποία συνεχίστηκε μέχρι και δύο ώρες μετά την είσοδο τους στη δεξαμενή (Εικόνα 2δ, 23, 4Δ).

Άλλη μια διαφορά που παρατηρήθηκε μεταξύ των ιχθυδίων των δύο δεξαμενών είναι ότι στη γαλάζια δεξαμενή τα ιχθύδια κολυμπούσαν σε χαμηλότερο επίπεδο και πολύ κοντύτερα στον πυθμένα από ότι τα ιχθύδια της μαύρης δεξαμενής κάτι το οποίο παρατηρήθηκε από την ώρα που εισήχθησαν στην δεξαμενή (Εικόνα 2δ). Στην πορεία του χρόνου βέβαια και μέχρι την ώρα που δόθηκε τροφή (δύο ώρες μετά την είσοδο στην δεξαμενή) όπου τότε ανέβηκαν όλα τα ιχθύδια της γαλάζιας δεξαμενής στην θέση όπου έπεφτε η τροφή χωρίς εμφανείς διαφορές με τα ιχθύδια της μαύρης δεξαμενής

όσον αφορά την συμπεριφορά τους, ανέβαιναν σταδιακά από τον πυθμένα όπου είχαν μαζευτεί αρχικά προς τα πάνω καλύπτοντας σταδιακά όλη την στήλη του νερού.

Ένα εικοσιτετράωρο μετά την μεταφορά των ιχθυδίων στην προπάχυνση και αφότου είχαν μπει δίκτυα περιμετρικά των δεξαμενών, τα οποία εξυπηρετούσαν στην ανακοπή και ελάττωση της μεγάλης ταχύτητας κολύμβησης που είχαν αναπτύξει τα ιχθύδια λόγω των υδροδυναμικών συνθηκών των δεξαμενών εκτροφής, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη σκελετικών δυσμορφιών, έγιναν πάλι παρατηρήσεις και μετρήσεις των γωνιών διαχωρισμού και της ταχύτητας κολύμβησης στις δύο δεξαμενές διαφορετικού χρωματισμού. Στην γαλάζια δεξαμενή τα ιχθύδια είχαν ανέβει σε πιο ψηλό επίπεδο μέσα στην στήλη του νερού από ότι την προηγούμενη ημέρα της μεταφοράς τους. Εξακολουθούσε όμως να στριφογυρίζει ένας μεγάλος αριθμός από αυτά γύρω από τον κεντρικό σωλήνα/φίλτρο της δεξαμενής δημιουργώντας «στρόβιλο». Τα υπόλοιπα ιχθύδια της γαλάζιας δεξαμενής κολυπούσαν παράλληλα στα τοιχώματα της δεξαμενής αποφεύγοντας τα δίκτυα που παρεμβάλλονταν στην πορεία τους (μέση γωνία διαχωρισμού = $2.5^{\circ} \pm 0.6$, $U_{μέση} = 3.6 \pm 0.05$ BL/s, Εικόνα 3A). Στην μαύρη δεξαμενή τα ιχθύδια είχαν παρόμοια συμπεριφορά με την προηγούμενη ημέρα δηλαδή συνέχιζαν να κινούνται παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής σύμφωνα με την κίνηση του νερού μέσα στην δεξαμενή (μέση γωνία διαχωρισμού = $2.7^{\circ} \pm 0.4$, $U_{μέση} = 3.4 \pm 0.11$ BL/s, Εικόνα 1γ, 3A) με παράλληλη αποφυγή των εμποδίων (διχτυών) και παρουσία κάποιων ατόμων στην μέση της δεξαμενής όπου εμφανίστηκαν να κάνουν την στροβιλώδη κίνηση γύρω από το φίλτρο όπως αυτή παρατηρήθηκε και στα ιχθύδια της γαλάζιας δεξαμενής (Εικόνα 1δ, 4B). Όσον αφορά στην ταχύτητα

κολύμβησης μεταξύ των δύο δεξαμενών, 24 ώρες μετά την είσοδο στην δεξαμενή, δεν έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p=0.057>0.05$, Εικόνα 3Γ).

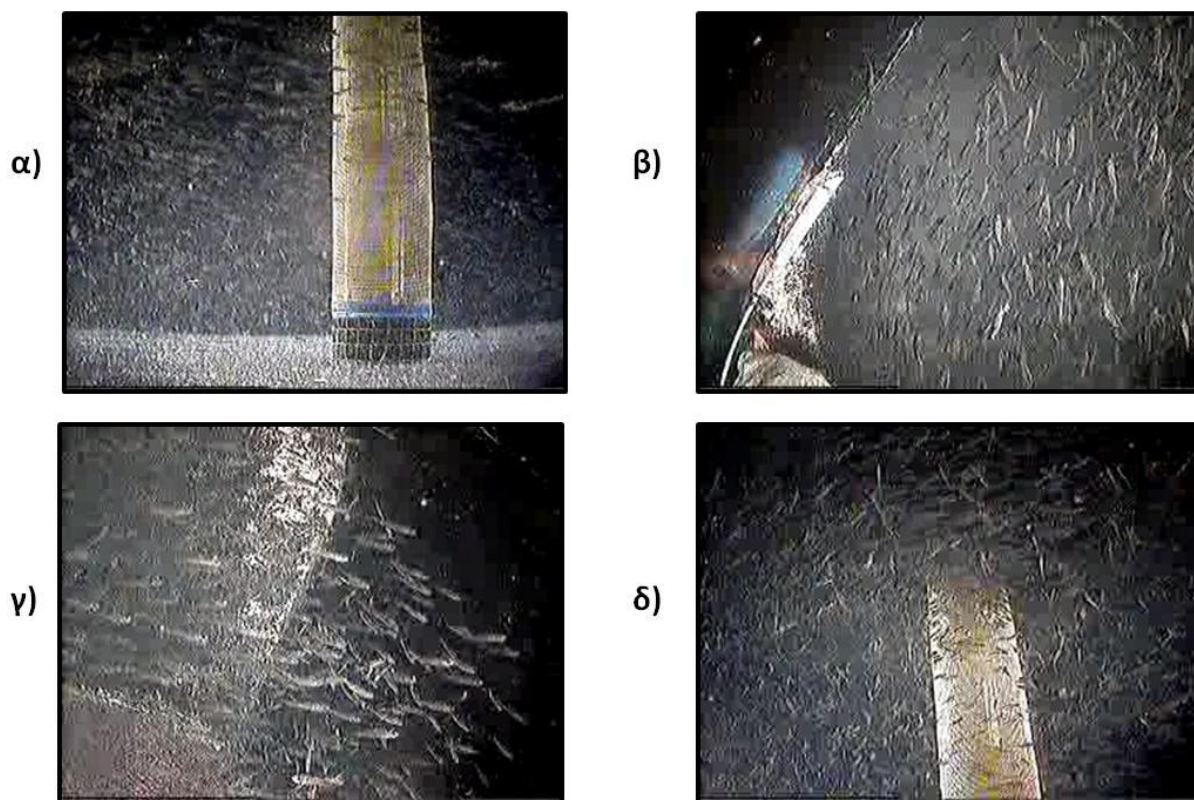
Τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου που εφαρμόστηκε (Student t-test) για τις μέσες γωνίες διαχωρισμού και τις ταχύτητες κολύμβησης στις τρεις χρονικές στιγμές που εξετάστηκαν για κάθε δεξαμενή παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2.

Πίνακας 1. Σύγκριση της διαφορετικότητας των γωνιών προσανατολισμού μεταξύ των τριών χρονικών στιγμών που εξετάστηκαν για κάθε δεξαμενή προπάχυνσης διαφορετικού χρώματος. Παρουσιάζονται οι τιμές (p-values) που εμφάνισε το Student-t test σε επίπεδο σημαντικότητας $p<0.05$. $n=10$ για κάθε χρονική στιγμή που μελετήθηκε.

Δεξαμενή προπάχυνσης	Σύγκριση χρονικών στιγμών μελέτης μέσω τιμών γωνιών διαχωρισμού (Pvalue=0.05)	
Γαλάζια	<u>Είσοδος έναντι παρόδου 3h</u> 0.008	<u>Πάροδος 3h έναντι Μετά από 24h</u> 0.77
Μαύρη	<u>Είσοδος έναντι παρόδου 5 min</u> 0.03	<u>Πάροδος 5 min έναντι Μετά από 24h</u> 0.26

Πίνακας 2. Σύγκριση της διαφορετικότητας των ταχυτήτων κολύμβησης μεταξύ των τριών χρονικών στιγμών που εξετάστηκαν για κάθε δεξαμενή προπάχυνσης διαφορετικού χρώματος. Παρουσιάζονται οι τιμές (p-values) που εμφάνισε το Student-t test σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0.05$. $n=10$ για κάθε χρονική στιγμή που μελετήθηκε.

Δεξαμενή προπάχυνσης	Σύγκριση χρονικών στιγμών μελέτης μέσω ταχυτήτων κολύμβησης (Pvalue=0.05)		
Γαλάζια	<u>Είσοδος (5 λεπτά πάροδος) έναντι παρόδου 3h</u> 0.026	<u>Πάροδος 3h έναντι Μετά από 24h</u> 0.0001	<u>Είσοδος (5 λεπτά πάροδος) έναντι παρόδου 24h</u> 0.0001
Μαύρη	<u>Είσοδος (5 λεπτά πάροδος) έναντι παρόδου 3h</u> 0.57	<u>Πάροδος 3h έναντι Μετά από 24h</u> 0.82	<u>Είσοδος (5 λεπτά πάροδος) έναντι παρόδου 24h</u> 0.39

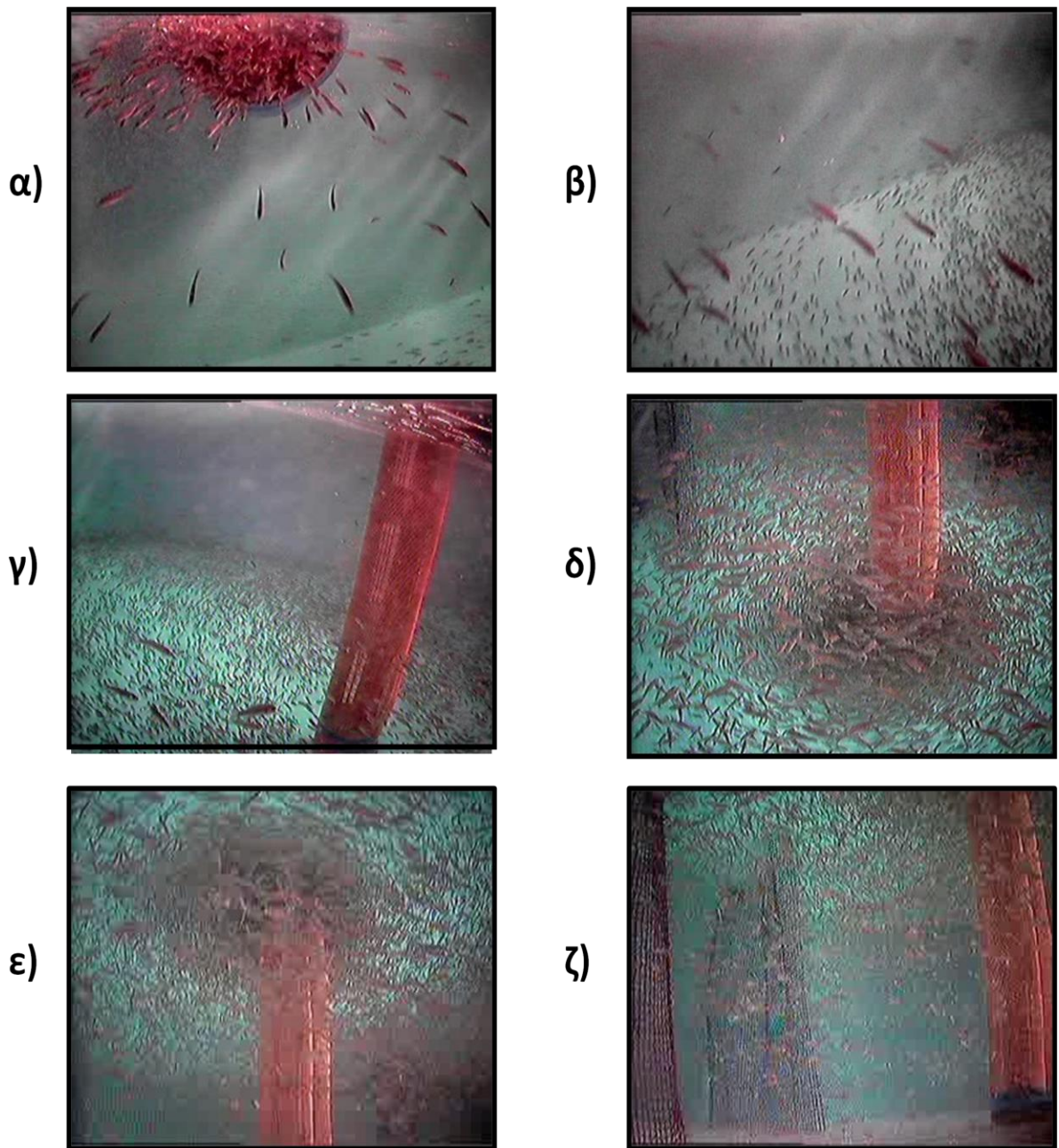


Εικόνα 1. Αποκρίσεις συμπεριφοράς ιχθυδίων λαυρακιού μετά από μεταφορά από εκτροφή μεσοκόσμου σε δεξαμενή προπάχυνσης μαύρου υπόβαθρου.

α) τυχαία κολύμβηση στα κατώτερα επιπέδα της στήλης του νερού με την είσοδο στην δεξαμενή και σταδιακή κατανομή σε όλο τον όγκο του νερού.

β, γ) παράλληλη κολύμβηση με τα τοιχώματα της δεξαμενής σύμφωνα με την κίνηση του ρεύματος νερού, πέντε λεπτά μετά την είσοδο στην δεξαμενή.

δ) εμφάνιση μέρους του πληθυσμού να στριφογυρίζει γύρω από το κεντρικό φίλτρο της δεξαμενής, με το πέρας εικοσιτεσσάρων ωρών μετά την είσοδο τους και μετά την τοποθέτηση διχτυών περιμετρικά της δεξαμενής.



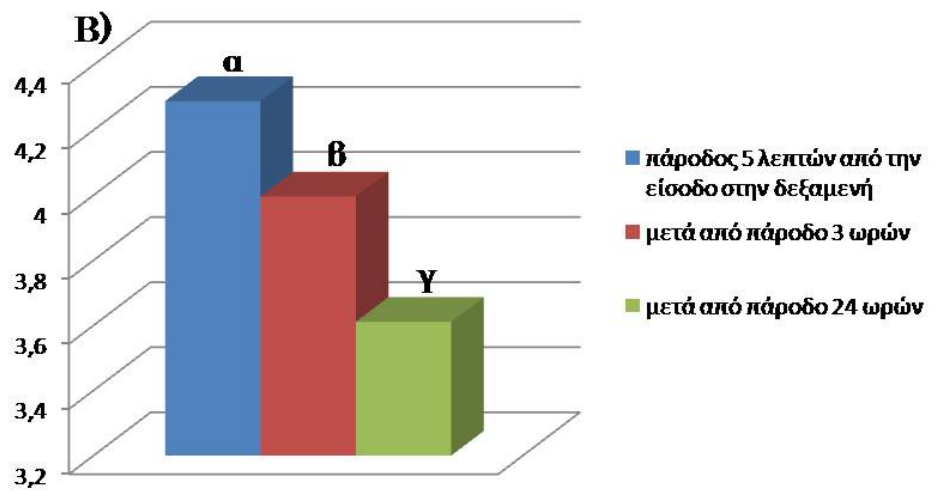
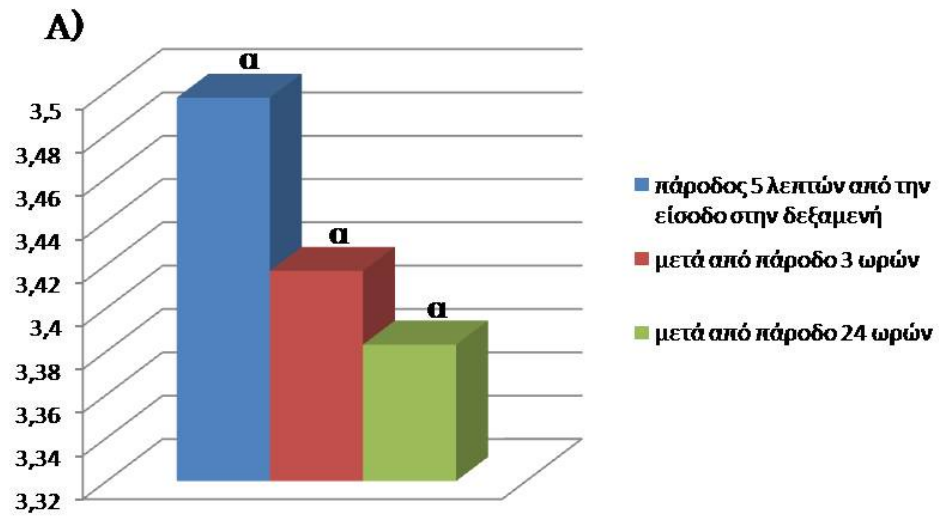
Εικόνα 2. Αποκρίσεις συμπεριφοράς ιχθυδίων λαυρακιού μετά από μεταφορά από εκτροφή μεσοκόσμου σε δεξαμενή προπάχυνσης γαλάζιου υπόβαθρου.

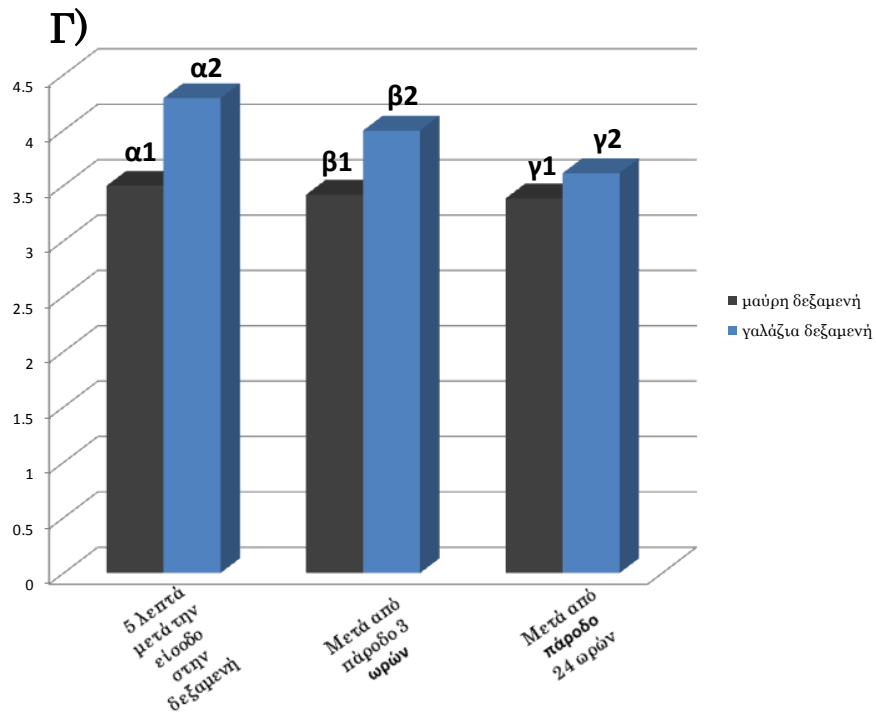
- α) διασπορά στην δεξαμενή με την είσοδο
- β) κίνηση προς τον πυθμένα με νευρική κολύμβηση
- γ) συγκέντρωση στον πυθμένα

δ) σταδιακή άνοδος προς τα πάνω με συγκέντρωση γύρω από τον κεντρικό φίλτρο σχηματίζοντας «στρόβιλο» γύρω από αυτό.

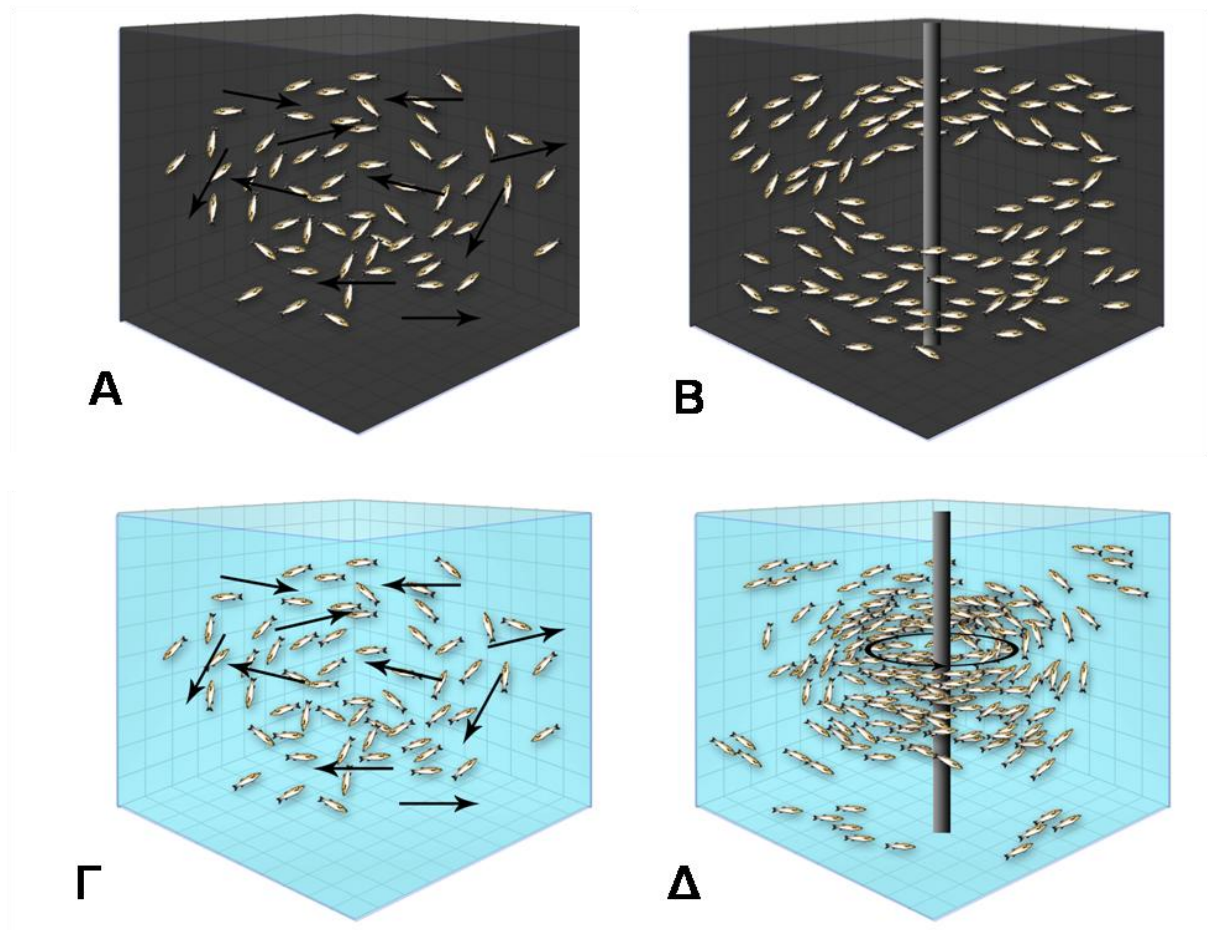
ε) μετακίνηση σε υψηλότερα επίπεδα μέσα στην δεξαμενή με το πέρας τριών ωρών από την είσοδο τους με εμφανή την συγκέντρωση γύρω από το κεντρικό φίλτρο της δεξαμενής.

ζ) κατανομή σε όλη την δεξαμενή με το πέρας εικοσιτεσσάρων ωρών μετά την είσοδο τους και μετά την τοποθέτηση διχτυών περιμετρικά της δεξαμενής. Εμφάνιση μέρους του πληθυσμού να στριφογυρίζει γύρω από το κεντρικό φίλτρο της δεξαμενής.





Εικόνα 3. Μέσες ταχύτητες κολύμβησης ($BL.Sec^{-1}$) σε τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές για κάθε δεξαμενή. Α) δεξαμενή μαύρου υποβάθρου, Β) δεξαμενή γαλάζιου υποβάθρου, τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (Student's t-test, $P < 0.05$): $\alpha \neq \beta \neq \gamma$. Γ) σύγκριση των δύο δεξαμενών, τα γράμματα υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (Student's t-test, $P < 0.05$): $\alpha_1 \neq \alpha_2$; $\beta_1 \neq \beta_2$, $\gamma_1 = \gamma_2$. $n=10$ για κάθε χρονική στιγμή που μελετήθηκε.

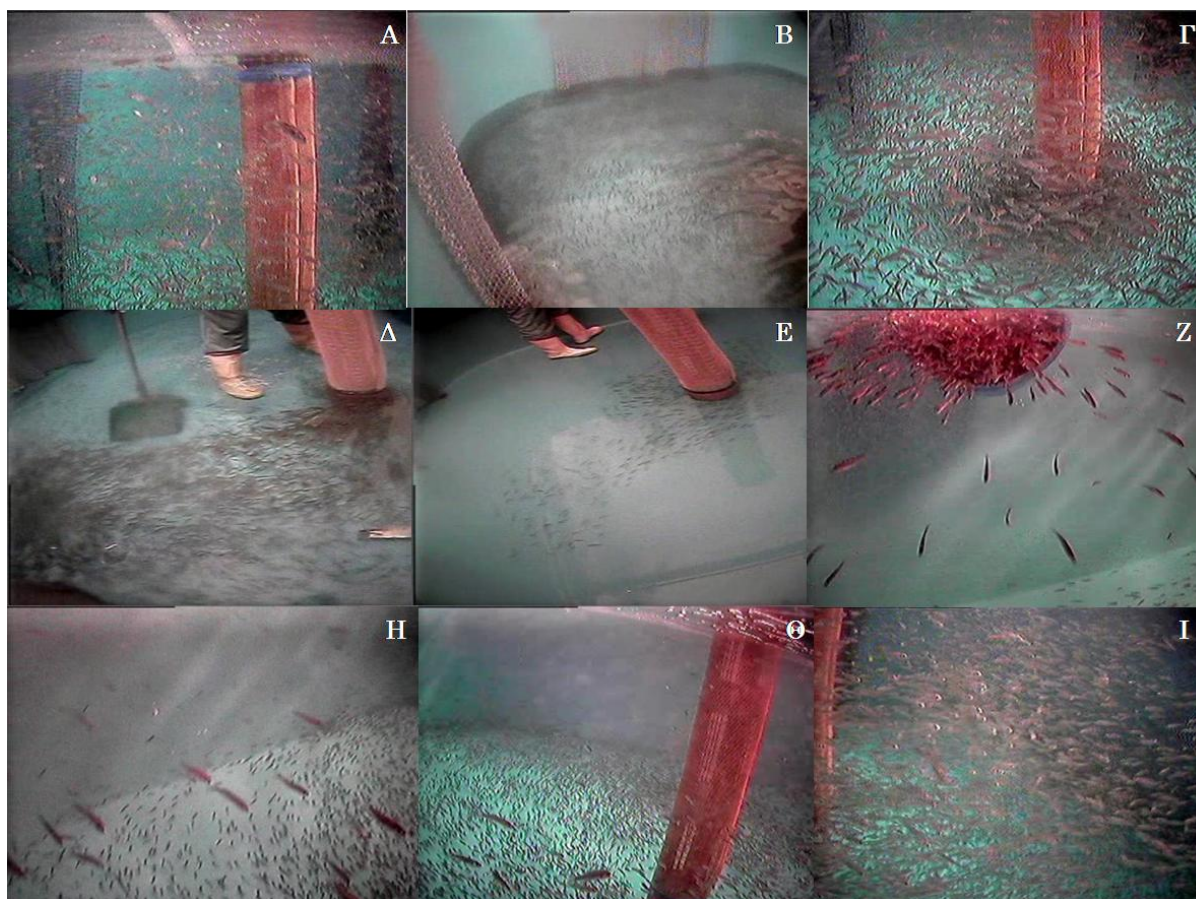


Εικόνα 4. Σχηματική απεικόνιση κίνησης ψαριών μέσα στις δύο δεξαμενές διαφορετικού χρώματος υποβάθρου. Α) Τυχαία κολύμβηση μέσα στην δεξαμενή μαύρου υποβάθρου, Β) προσανατολισμένη κίνηση παράλληλα προς τα τοιχώματα της δεξαμενής μαύρου υποβάθρου, Γ) τυχαία κολύμβηση στην δεξαμενή γαλάζιου υποβάθρου, Δ) προσανατολισμένη κολύμβηση παράλληλα προς τα τοιχώματα της δεξαμενής γαλάζιου υποβάθρου με ταυτόχρονη εμφάνιση «στροβίλου» στην μέση της δεξαμενής γύρω από το κεντρικό φίλτρο.

3.4.2. Εισαγωγή σιφωνίου, μείωση όγκου νερού με ταυτόχρονο ψάρεμα για διαλογή (sorting).

Τα ψάρια πριν την εισαγωγή του σιφωνίου κολυμπούσαν με μέση ταχύτητα 3.7 ± 0.07 , BL/s ($n=10$). Με την είσοδο του σιφωνίου τα ψάρια γύρω από αυτό άρχισαν να κινούνται νευρικά, να απομακρύνονται από το σιφόνι με γρήγορες μανούβρες επιταχύνοντας την κολύμβηση τους (4.0 ± 0.03 BL/s, $n=10$) η οποία εμφανίστηκε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη ($p=0.003 < 0.05$). Με την απομάκρυνση του σιφωνίου συνέχιζαν να είναι νευρικά για περίπου 30 min. Με το πέρας του μισάωρου άρχιζαν να κολυμπούν πάλι με μέση περίπου ταχύτητα κολύμβησης 3.7 ± 0.06 BL/s ($n=10$) και γενικότερα έδειχναν ότι επανέκαμψαν από το στρεσάρισμα που είχαν προηγουμένως υποστεί. Την ίδια μέρα και μετά από περίπου 6 ώρες στον ίδιο πληθυσμό της γαλάζιας δεξαμενής άρχισε σταδιακά να μειώνεται ο όγκος του νερού για να είναι πιο εύκολο το ψάρεμα για την διαλογή. Τα ψάρια άρχισαν πάλι να έχουν νευρική κολύμβηση και να στριφογυρίζουν γύρω από το σιφόνι. Αφού είχε μειωθεί ο όγκος του νερού στο 1/10 του αρχικού εισήχθη στο νερό απόχη ψαρέματος. Τα ψάρια κοπαδιάσαν αμέσως και όλα μαζί ξεκίνησαν κινήσεις αποφυγής της απόχης αλλάζοντας ταχύτατα την θέση τους μέσα στην δεξαμενή. Μετά το ψάρεμα/συλλογή τους μεταφέρθηκαν σε άλλες δεξαμενές μαύρου υπόβαθρου. Με την εισαγωγή τους στο καινούργιο περιβάλλον άρχισαν να κολυμπούν νευρικά προς τον πάτο της δεξαμενής καταλαμβάνοντας τα κατώτερα σημεία της στήλης του νερού για περίπου μισή ώρα πριν αρχίσουν σταδιακά να ανεβαίνουν σε ανώτερα επίπεδα και να κατανέμονται σε όλη την δεξαμενή με μια μέση ταχύτητα κολύμβησης 3.8 BL/s ± 0.05 ($n=10$) η οποία δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p=0.36 > 0.05$, $n=10$) από την

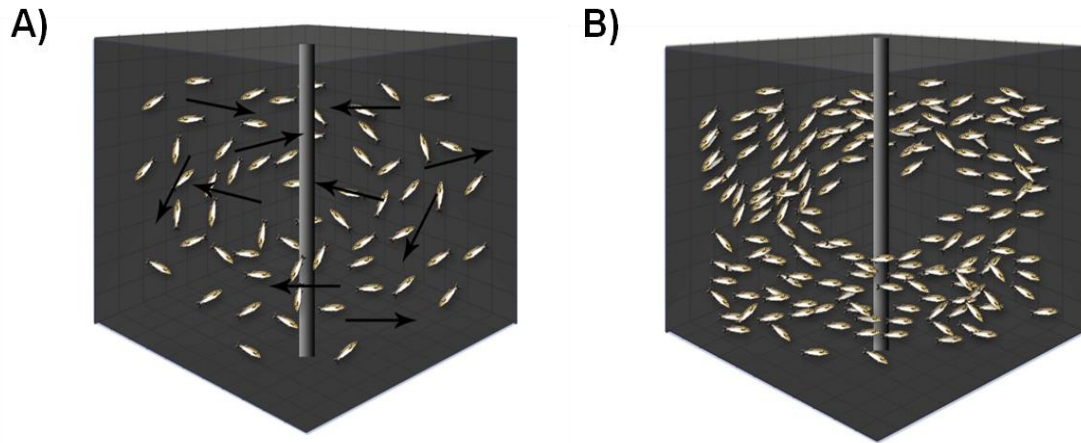
ταχύτητα που είχαν στην γαλάζια δεξαμενή (3.7 ± 0.06 BL/s) (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Α) Κανονική κατανομή και κολύμβηση, Β) Μείωση όγκου νερού/κατέβασμα νερού δεξαμενής – νευρική κολύμβηση, Γ) Φαινόμενο «στροβίλου» / κολύμβηση γύρω από το κεντρικό φίλτρο της δεξαμενής, Δ) Ψάρεμα με δίχτυ – αντίδραση αποφυγής/απόδρασης, Ε) Αλλαγές θέσης με νευρική κολύμβηση, Ζ) Μεταφορά ψαριών σε άλλη δεξαμενή, Η) Κολύμβηση προς τον πάτο της δεξαμενής / νευρική κολύμβηση, Θ) Κατοχή των κατώτερων επιπέδων της στήλης του νερού, Ι) Σταδιακή επαναφορά προς τα ανώτερα επίπεδα της στήλης του νερού, κατανομή σε όλη την δεξαμενή/επανάκαμψη στην κανονική συμπεριφορά.

3.4.3. Επίδραση ιχθυοφόρτισης στο κοπάδιασμα.

Τα ψάρια της χαμηλότερης εκ των δύο ιχθυοφορτίσεων (1000 ιχθύδια) παρέμειναν ως ένα πλήθος (swarm) διάσπαρτο (μέση γωνία διαχωρισμού=78.6°±21.9) μέσα στην δεξαμενή καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας με μέση ταχύτητα κολύμβησης 3.1±0.1 BL/s. Τα ψάρια ήταν κατά βάση μοναχικά ενώ κατά διαστήματα παρατηρούνταν κάποιες μικρές ομάδες 2-3 ατόμων στην περιοχή όπου έπεφτε η τροφή. Τα ψάρια της υψηλότερης ιχθυοφόρτισης, έδειξαν σαφή προσανατολισμένη κολύμβηση (μέση γωνία διαχωρισμού=2.5°±2.5) παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής μαύρου υποβάθρου. Η σύγκριση των μέσων γωνιών διαχωρισμού μεταξύ των δύο ιχθυοφορτίσεων έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά (Pvalue=0.003<0.05). Η μέση ταχύτητα κολύμβησης στην υψηλή ιχθυοφόρτιση ήταν 3.3±0.1 BL/s. Η ταχύτητα κολύμβησης μεταξύ των δύο ιχθυοφορτίσεων δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά (Pvalue=0.27>0.05). Στις περιπτώσεις όπου τα ψάρια πήγαιναν προς τις περιοχές ρίψης της τροφής για να τραφούν έχαναν αυτή την συνοχή/συνάφεια και οι αποστάσεις μεταξύ τους μεγάλωναν (Εικόνα 6). Οι μετρήσεις των γωνιών διαχωρισμού και ταχύτητας κολύμβησης έγιναν σε 10 άτομα ανα ιχθυοφόρτιση.



Εικόνα 6. Σχηματική απεικόνιση κίνησης ψαριών μέσα στις δύο δεξαμενές διαφορετικής ιχθυοφόρτισης. Α) Τυχαία κολύμβηση μέσα στην δεξαμενή για την χαμηλή ιχθυοφόρτιση, Β) προσανατολισμένη κίνηση παράλληλα προς τα τοιχώματα της δεξαμενής για την υψηλή ιχθυοφόρτιση.

3.5. Συζήτηση

Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα ζώα σχηματίζουν ομάδες με συλλογική δράση δεν συνεπάγεται και την κατανόηση του λόγου δημιουργίας τους. Κάποια είδη το πράττουν διότι είναι εξελικτικά ωφέλιμο για την ομάδα, ενώ πολλές φορές δημιουργούνται λόγω της ωφέλειας που έχουν για το άτομο. Για όποιο λόγο και αν σχηματιστούν, οι ομάδες δρουν σαν να έχουν συλλογικό νου, κινούνται, δηλαδή, σαν ομάδα.

Για τα ζώα που ζουν σε ομάδες, η ικανότητα κάθε ατόμου ποικίλει ως αποτέλεσμα του μεγέθους της ομάδας, έτσι ώστε η

απόφαση που παίρνει η ομάδα αντικατοπτρίζει μία δυναμική “ανταλλαγή” μεταξύ του κόστους και των ωφελημάτων από την συμμετοχή σε αυτήν (Pulliam & Caraco, 1984). Τυπικά, ο συναγωνισμός για τις πηγές αυξάνει, ενώ το ρίσκο θήρευσης και συγκεκριμένα το κόστος κυνηγιού μειώνονται με την αύξηση του μεγέθους της ομάδας (Alexander, 1974). Αυτή η “ανταλλαγή” έχει μελετηθεί εκτεταμένα για τα ψάρια που κοπαδιάζουν (Pitcher & Parrish, 1993), στα οποία αλλαγές τόσο στο μέγεθος της ομάδας όσο και στην σύνθεση της μπορεί να είναι κοινές υπό φυσικές συνθήκες (Pitcher *et al.*, 1996, Machinson *et al.*, 1999, Krause *et al.*, 2000, Svensson *et al.*, 2000), δίνοντας την ευκαιρία στα άτομα να χρησιμοποιούν την ομαδοποίηση (κοπάδιασμα) ως μια ευέλικτη στρατηγική απόκρισης στις αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών ή των εσωτερικών καταστάσεων κάθε ψαριού (internal state).

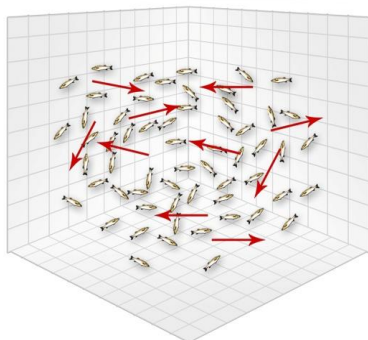
Στην παρούσα μελέτη η απότομη αλλαγή των συνθηκών του περιβάλλοντος μέσου (acute stress) στην περίπτωση της μεταφοράς σε γαλάζιου χρώματος υπόβαθρο προκαλεί «νευρική» κολύμβηση με πολλές επανατοποθετήσεις και αποτελεί κοινή αντίδραση μετά την έκθεση σε συνθήκες οξείας καταπόνησης «acute stressor» (μετά και από άλλες προσωπικές μου παρατηρήσεις που συνηγορούν σε αυτό, από μελέτες σε διαφορετικά στρεσογόνα περιβάλλοντα που έγιναν στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος). Η συγκεκριμένη αντίδραση αποτελεί κλασικό παράδειγμα αντίδρασης τύπου «fight or flight or freeze», όπου στην περίπτωση της παρούσας μελέτης τα ψάρια υιοθέτησαν την δεύτερη αντίδραση, δηλαδή τα ψάρια κατέβηκαν αμέσως στον πάτο της δεξαμενής με γρήγορη κολύμβηση όπου και σχημάτισαν κοπάδι (schooling). Παρέμειναν στον πυθμένα μέχρι να ανακάμψουν. Έτσι συμπερασματικά μια αιτία σχηματισμού του

κοπαδιού είναι για επανάκαμψη μετά από έκθεση σε κάποιο παράγοντα καταπόνησης.

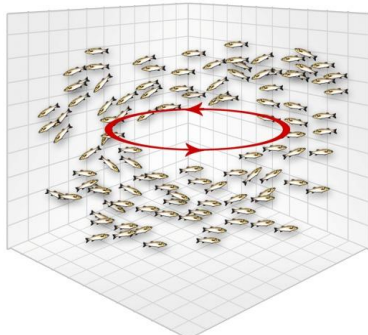
Παρόμοιες αποκρίσεις “flight” παρατηρήθηκαν και στις περιπτώσεις εισαγωγής του σιφονίου στην δεξαμενή και της διαλογής των ψαριών. Τα ψάρια αντιδρούσαν σε αυτές τις ενέργειες με κινήσεις αποφυγής “escape responses” με ταχύτατες επανατοποθετήσεις μέσα στον όγκο του νερού και εμφάνιση του φαινομένου «στροβίλου» γύρω από το σιφόνι της δεξαμενής κολύμβησης (σαν «δαχτυλίδι») δηλαδή γύρω από το σιφόνι και σύμφωνα με την κίνηση του ρεύματος νερού (θετική ρεόταξη) που δημιουργείται γύρω από αυτό. Το γεγονός της στροβιλώδους κολύμβησης γύρω από το φίλτρο θα μπορούσε να αποδοθεί στο ότι το νερό γύρω από το φίλτρο είναι πιο οξυγονωμένο και τα ψάρια μετά από μία καταπόνηση αναζητούν περιοχές μέσα στο νερό που θεωρούνται πιο «ασφαλείς». Επίσης το φίλτρο θα μπορούσε να λειτουργήσει και σαν υπόστρωμα για αυτά και έτσι κατάφευγαν κοντά σε αυτό κολυμπώντας σε συνάφεια όπως παρατηρήθηκαν να πράττουν και με τα τοιχώματα της δεξαμενής. Μία μελέτη στην ιριδιζούσα πέστροφα (*O. mykiss*), κατά την διαλογή και μεταφορά της, όπου χρησιμοποιήθηκε τηλεμετρία ηλεκτρομυογράφηματος (electromyogram telemetry) έδειξε έντονη κολυμβητική ενέργεια στα ψάρια και αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου (Chandroo *et al.*, 2005), ενδυναμώνοντας τα συμπεράσματα μας για αναζήτηση των ψαριών, μετά από καταπόνηση, περιοχών με μεγαλύτερη συγκέντρωση οξυγόνου.

Στην παρούσα μελέτη τα ψάρια σε χαμηλή ιχθυοφόρτιση δεν έδειξαν σημάδια ομαδοποίησης οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι ένα άτομο για να συμμετάσχει σε ένα «κοπάδι» θέλει προφανώς ένα συγκεκριμένο αριθμό άλλων ατόμων παρόντα. Μελέτες που έχουν

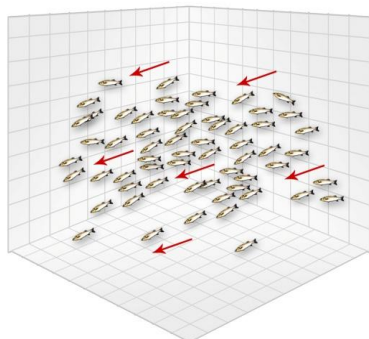
γίνει πάνω στο θέμα συμμετοχής σε διαφορετικού μεγέθους πληθυσμού ομάδες έδειξαν ότι τα ψάρια που κοπαδιάζουν στην φύση, όταν αυτά βρεθούν σε συνθήκες εκτροφής και έχουν την δυνατότητα να επιλέξουν μεταξύ διαφόρων μεγεθών πληθυσμούς, προτιμούν να συμμετάσχουν σε μεγαλύτερα κοπάδια (Keenleyside, 1955, Hager & Helfman, 1991, Ashley *et al.*, 1993, Krause & Godin, 1994, Svensson *et al.*, 2000) ενώ ψάρια που αρέσκονται στην «μοναξιά» παραμένουν μοναχικά ή συμμετέχουν μόνο σε κοπάδια με λίγα άτομα (π.χ banded killifish: Godin & Morgan, 1985, spottail shiner, *Notropis hudsonicus*: Seghers, 1981, guppy, *Poecilia reticulata*: Dugatkin & Godin, 1992, rainbowfish spp.: Brown, 2000) παρόλη την πλειάδα των στοιχείων που αποδεικνύουν ότι τα άτομα είναι πιο ασφαλή στην ομάδα. Θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να γίνει και περαιτέρω μελέτη για την διαπίστωση του ακριβή αριθμού λαβρακιών που πρέπει να υπάρχουν στη δεξαμενή προπάχυνσης για να πυροδοτηθεί ο σχηματισμός κοπαδιού κατά την κολύμβηση. Σε δεξαμενή προπάχυνσης βέβαια είναι δύσκολο να ειπωθεί ότι τα άτομα είναι μοναχικά λόγω του συγκριτικά περιορισμένου χώρου σε σχέση με το φυσικό τους περιβάλλον, αλλά μπορεί σίγουρα να ειπωθεί ότι τα λαβράκια δεν εμφάνισαν την προσανατολισμένη κίνηση σε ομάδα που κολυμπούσε παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής την περισσότερη ώρα, όπως αυτό παρατηρήθηκε στην μεγάλη συγκριτικά ιχθυοφόρτιση. Όλες οι κινήσεις του λαβρακιού που παρατηρήθηκαν στην παρούσα μελέτη συγκεντρώθηκαν σε μία προσπάθεια διαγραμματικής προσομοίωσης της κολύμβησης τους (Εικόνα 7).



Ένα πλήθος (swarm) μπορεί να σχηματιστεί εάν κάθε ψάρι απωθεί και ελκύει το άλλο, αλλά δεν προσπαθεί να προσανατολιστεί σύμφωνα με το γειτονικό του.



Ένα κοπάδι κυκλικής παράταξης (topus) που κινείται σε έναν άδειο κέντρο μπορεί να σχηματιστεί εάν τα άτομα προσπαθούν να προσανατολιστούν με τα γειτονικότερα άτομα τους.



Ένα κοπάδι (school) που κινείται ως ομάδα προς μία κατεύθυνση μπορεί να σχηματιστεί καθώς τα άτομα αρχίζουν να προσανατολιζονται πιο έντονα με άλλα άτομα της ομάδας.

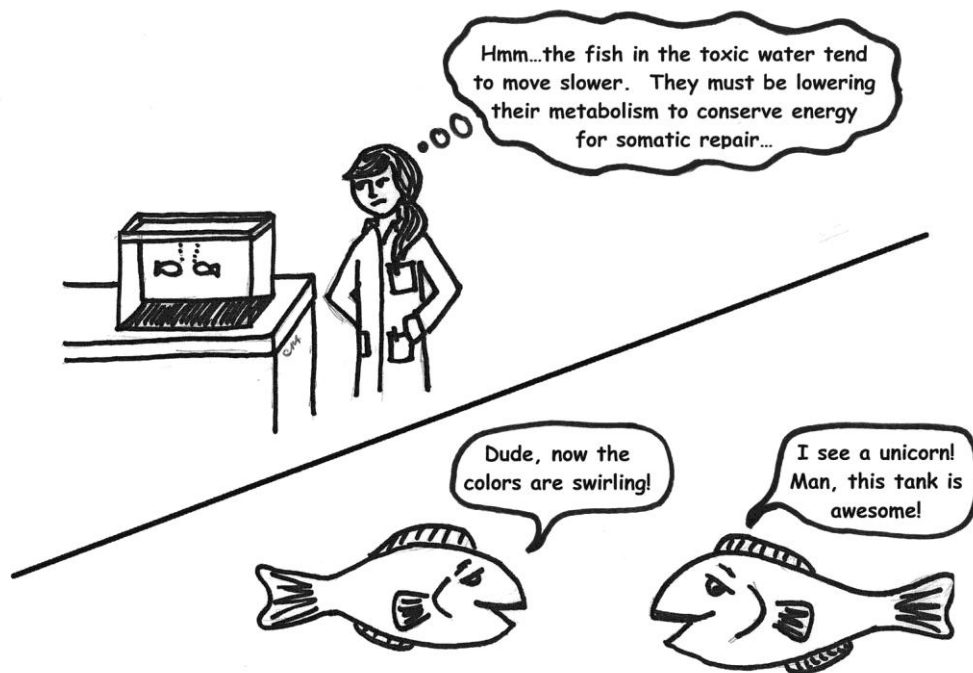


Εικ.7 Διαγραμματική απεικόνιση (προσομοίωση) των κινήσεων του λαβρακιού κατά την μέλετη στις συνθήκες προπάχυνσης.

Όλα τα ψάρια της μελέτης που εμφάνισαν συμπεριφορά κοπαδιάσματος στην παρούσα μελέτη κατά τις περιόδους τροφοληψίας αραιώναν τις συγκεντρώσεις τους. Αυτό έχει παρατηρηθεί και σε άλλες μελέτες όπου ερευνήθηκε διεξοδικά το θέμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ατόμων σε περιόδους τροφοληψίας και μη, που έδειξαν ότι τα άτομα αυξάνουν τις αποστάσεις μεταξύ τους όταν είναι πεινασμένα (Keenleyside, 1955, Robinson & Pitcher, 1989).

Από την παρούσα μελέτη διαφαίνεται ότι οι διάφοροι χειρισμοί που γίνονται κατά την διάρκεια εκτροφής των ψαριών στην φάση της προπάχυνσης επηρεάζουν την συμπεριφορά κολύμβησης τους και, όπως έχει αποδειχτεί από διάφορες μελέτες, όταν οι χειρισμοί αυτοί γίνονται χωρίς την λήψη μέτρων, μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά το αποτέλεσμα της εκτροφής. Καταγραφή συμπεριφορών, όπως έχουν περιγραφεί παραπάνω στην παρούσα μελέτη, υποδηλώνει μη φυσιολογικές συμπεριφορές με πιθανά αίτια τις ελεγχόμενες συνθήκες διαβίωσης των ψαριών και τους ανθρώπινους χειρισμούς, κάτι που μπορεί να αψηφήσουν οι καλλιεργητές ψαριών, οπότε τέτοιες συμπεριφορές θα μπορούσαν να αποτελέσουν δείκτες εκτίμησης «καλής υγείας» (welfare) των ιχθυδίων λαβρακιού σε εκτροφή προπάχυνσης.

Κεφάλαιο 4



Μελέτη συμπεριφοράς των ιχθυδίων
λαυρακιού σε πιθανά στρεσογόνα περιβάλλοντα.

4.1. Περίληψη

Η παρούσα μελέτη είχε σαν στόχο να εξετάσει την επίδραση διαφορετικών συνθηκών εκτροφής στην κατανομή στον χώρο (spatial distribution) (ηλικία: 76 ημέρες μετά την εκκόλαψη) και να εξαγάγει συμπεράσματα σχετικά με την πλαστικότητα της συμπεριφοριστικής αυτής παραμέτρου και την πιθανή χρήση της για την εκτίμηση της ευζωίας του είδους. Προς τούτο, μελετήθηκαν με την χρήση βιντεοκαταγραφών η οριζόντια και η κατακόρυφη κατανομή των ιχθυδίων, σε τρεις διαφορετικές ιχθυοφορτίσεις (5 άτομα/l, 10 άτομα/l και 20 άτομα/l), σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες (16 και 23 °C) και σε δύο διαφορετικές διατροφικές συνθήκες (παροχή τροφής και στέρηση τροφής). Επίσης μελετήθηκε η γενικότερη συμπεριφορά των ιχθυδίων και προτάθηκε ηθόγραμμα φυσιολογικής συμπεριφοράς καθώς και οι αποκλίσεις που οφείλονται σε παραμέτρους που δεν συνάδουν με την ευζωία του είδους αυτού στο συγκεκριμένο στάδιο της ζωής του. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων με την χρήση Γενικών Γραμμικών Μοντέλων (GLM) έδειξαν μία σημαντική επίδραση των μεταβλητών *ιχθυοφόρτιση*, *διατροφική συνθήκη* και *ημέρα παρατήρησης* στην κατανομή των ιχθυδίων στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Η μεταβλητή *θερμοκρασία* φαίνεται να επιδρά στην κατανομή όταν συνδυάζεται με τις μεταβλητές *ιχθυοφόρτιση* και *διατροφική συνθήκη*, αλλά αυτή η επίδραση αλληλεπικαλύπτεται από την αντίστοιχη των άλλων μεταβλητών. Τα πρότυπα συμπεριφοράς που υιοθετούν τα ιχθύδια λαβρακιού μετά από την έκθεση στους άνω παράγοντες φαίνεται ότι επηρεάζονται από τον χρόνο έκθεσης σε αυτούς (χρόνιο στρες - chronic stress), καθώς επιτελείται προσθετική άθροιση της επίδρασης αυτών με τον χρόνο. Η αντίσταση, η προσαρμογή και/ή ανάκτηση της καλής κατάστασης των ατόμων δεν

φαίνεται ότι επιτυγχάνεται και αντ'αυτού εμφανίζεται μια «αντίστροφη μέτρηση» της υγείας τους και σταδιακή εξασθένιση των ατόμων (κακή ευζωία-bad welfare). Συνεπώς, υποθέτουμε ότι οι πιο πάνω αναφερθήςες μεταβλητές (συνθήκες εκτροφής) μπορεί να έχουν αρνητικές επιδράσεις στην ευζωία του λαβρακιού οπότε στην προσπάθεια διατήρησης της ευζωίας του κατά την εκτροφή του θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και να γίνονται προσεκτικοί χειρισμοί κατά την εφαρμογή τους.

Λέξεις-Κλειδιά: *Dicentrarchus labrax*, δισδιάστατη χωρική κατανομή, ιχθυοφόρτιση, διατροφική συνθήκη, θερμοκρασία, ημέρα παρατήρησης, ευζωία, πρότυπα συμπεριφοράς, ηθόγραμμα.

Το μεγαλύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού έχει δημοσιευτεί στο *Journal of Biological Research-Thessaloniki*.

Accepted after revision: 24 June 2012 Published: volume 19, 2013

M. Neofytou, S. Somarakis, V. Papadakis, P. Divanach, A. Sterioti and M. Kentouri.

Effect of temperature, stocking density, feeding conditions and experimental day on the horizontal and vertical distribution of sea bass fry *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758)
pp. 99-110.

4.2. Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία, η ευζωία (welfare) των εκτρεφόμενων ψαριών, αποτελεί αντικείμενο εκτενών επιστημονικών μελετών και παρεμβάσεων ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει ένα συνεχώς αυξανόμενο δημόσιο ενδιαφέρον (FSBI, 2002). Έχει αποδειχθεί ότι αποκλίσεις από τις φυσιολογικές συνθήκες διαβίωσης προκαλούν μη-ειδικές αποκρίσεις στα ψάρια, οι οποίες, ανάλογα με τον τύπο, την ένταση και την διάρκειά τους, μπορεί να έχουν προσαρμοστικό χαρακτήρα, όταν τα καθιστούν ικανά να αντιμετωπίσουν επιτυχώς τις διαταραχές αυτές και να διατηρήσουν την ομοιόστασή τους ή να είναι απειλητικές για την υγεία και την επιβίωσή τους (Barton, 2002). Για να σχεδιαστούν και να αναπτυχθούν αποτελεσματικά συστήματα εκτροφής τα οποία να εξασφαλίζουν την ευζωία των εκτρεφόμενων ψαριών, άρα την αποτελεσματική τους ανάπτυξη, είναι απαραίτητο να είναι γνωστά τα όρια ανοχής των εκάστοτε εκτρεφόμενων ειδών και σταδίων στις διάφορες συνθήκες που συνθέτουν το περιβάλλον διαβίωσής τους π.χ. στην ένταση της ιχθυοφόρτισης, (Huntingford, 2004) καθώς και στην διαβάθμιση των αποκρίσεών τους, όπως αυτή αποτυπώνεται μέσα από την διακύμανση της συμπεριφοράς τους.

Συνήθως, στην εντατική ιχθυοκαλλιέργεια, που είναι η πλέον διαδεδομένη πρακτική, τα ζώα διατηρούνται σε συνθήκες υψηλής ιχθυοφόρτισης, δηλαδή υπέρμετρου συνωστισμού σε σχέση με τα ισχύοντα στους φυσικούς πληθυσμούς, ενώ όλες οι λοιπές παράμετροι της εκτροφής τροποποιούνται με τρόπο που να ικανοποιεί κυρίως το όφελος και συμφέρον του καλλιεργητή. Αυτές οι επιβαλλόμενες συνθήκες, μπορεί, σε κάποιες περιπτώσεις, να είναι ανεκτές έως βλαπτικές και να προκαλέσουν αντιδράσεις μέσα από τις οποίες να

μπορεί να εκτιμηθεί η κατάσταση ευζωίας του είδους και να γίνουν οι κατάλληλες διορθωτικές παρεμβάσεις.

Συμπεριφορές που σχετίζονται με την λήψη τροφής, την αποφυγή των θηρευτών, την μετανάστευση και την προτίμηση ενδιαιτήματος είναι κρίσιμες για την επιβίωση ενός οργανισμού και κατέπекταση ενός πληθυσμού, και χρησιμοποιούνται κοινώς ως δείκτες καταλληλότητας των συνθηκών διαβίωσης (Little, 2002). Επίσης, είναι κοινώς αποδεκτό ότι οι συμπεριφορικές αποκρίσεις αποτελούν την πρώτη γραμμή άμυνας του οργανισμού έναντι επιβλαβών αλλαγών των συνθηκών διαβίωσης και οι αποκρίσεις αυτές συχνά προκαλούνται από τα ίδια ερεθίσματα που διεγείρουν την εκκίνηση της πρωτογενούς απόκρισης στρες (primary stress response). Σε κάθε περίπτωση, η συμπεριφορά απόκρισης που εκφράζεται εξαρτάται από το είδος και την ένταση της διαταραχής/στρεσογόνου παράγοντα που εμπλέκεται. Για παράδειγμα, όταν τα ψάρια δέχονται την επίθεση κάποιου θηρευτή μπορεί να αντιδράσουν με κοπάδιασμα (shoaling) (Pitcher & Parrish, 1993), «πάγωμα θέσης» (Goodey & Liley, 1985), αναζήτηση καταφυγίου (Brown & Warburton, 1999) ή αλλαγή του χρώματος (Endler, 1986, O'Connor *et al.*, 2000), ενώ η δραστηριότητα διατροφής μπορεί να τροποποιηθεί, να καθυστερήσει ή να εμποδιστεί (Hart, 1997) και τα ψάρια να αποφεύγουν τις περιοχές στις οποίες έχουν δεχτεί επίθεση (Lima, 1998). Συγκεκριμένα πρότυπα συμπεριφοράς προσαρμογής παρατηρούνται επίσης ως απόκριση στην βλάβη κάποιου ιστού (Verheijen & Buwalda, 1988) ή λόγω ασθενειών από παράσιτα (Furevik *et al.*, 1993). Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να παρατηρηθούν διάφορα πρότυπα συμπεριφοράς από μειωμένη λήψη τροφής, και επιθετικότητα μέχρι προθανάτιες αντιδράσεις. Η

κατανομή του ψαριού στο χώρο, που θεωρείται μέρος του ρεπερτορίου της συμπεριφοράς του, επηρεάζεται και τροποποιείται από τις αλλαγμένες συνθήκες εκτροφής που εφαρμόζονται και μπορεί να αποτελέσει ένα τρόπο έγκαιρης διάγνωσης συνθηκών που προκαλούν καταπόνηση (Stein & Magnuson, 1976, Sogard & Olla, 1996, Kristiansen *et al.*, 2004, Pihl *et al.*, 2005, Garcia *et al.*, 2006, Stien *et al.*, 2007). Έτσι, πληροφορίες για την συμπεριφορά του ζώου και την διασπορά-κατανομή του σε τέτοιες συνθήκες μπορεί να χρησιμεύσουν στην εκτίμηση της κατάστασης του ευ ζην του.

Το λαβράκι ήταν ένα από τα πρώτα είδη ψαριών μετά τον σολομό που καλλιεργήθηκαν εκτενώς στην Ευρώπη. Ιστορικά εκτρεφόταν σε παράκτιες λιμνοθάλασσες και δεξαμενές θαλάσσιων παλιρροιακών υπερχειλίσεων, πριν την ανάπτυξη τεχνικών μαζικής παραγωγής του στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Αποτελεί το πιο σημαντικό εμπορικό ψάρι που καλλιεργείται ευρέως στην Ευρώπη. Οι πιο σημαντικές χώρες παραγωγής του είναι η Ελλάδα, η Τουρκία, Ιταλία, Ισπανία, Κροατία και Αίγυπτος. Η ετήσια παραγωγή του ήταν περισσότερη από 120.000 τόνους το 2010 (FAO, 2009). Στην φύση, η γεωγραφική κατανομή του λαυρακιού οριοθετείται μεταξύ των 72°B - 11°B και 19°Δ - 42°Α (Lloris, 2002) και εκτείνεται από τα βόρεια παράλια της Νορβηγίας μέχρι και τις ακτές του Μαρόκου στην Αφρική και τον Ανατολικό Ατλαντικό Ωκεανό συμπεριλαμβανομένων των Καναρίων Νήσων. Επίσης έχει έντονη παρουσία στη Μεσόγειο και την Μαύρη θάλασσα (Bauchot, 1987). Έχει χαρακτηριστεί ως είδος ευρύαλο και ευρύθερμο δεδομένου ότι μπορεί να επιβιώσει σε εύρος αλατότητας από 0 ‰ έως 38 ‰ (Chervinsky, 1974) και σε εύρος θερμοκρασίας από 2°C έως 32°C ως ενήλικο ψάρι παρόλο που σταματάει να τρέφεται κάτω από τους 7°C (Barnabé, 1990). Όμως,

θεωρείται κατ'εξοχήν υποτροπικό είδος διότι απαντάται κυρίως σε θερμοκρασίες νερού από 8°C μέχρι 24°C (Moreira *et al.*, 1992) αλλά έχει εκτραφεί και σε τροπικά περιβάλλοντα (25°C και 29°C: Barnabé, 1990) στα οποία παρατηρήθηκαν σοβαρές διαταραχές κατά την διάρκεια της σεξουαλικής του ωρίμανσης.

Η ανθεκτικότητα του λαβρακιού και η ικανότητα του για προσαρμογή σε αλλαγές της θερμοκρασίας (Alliot *et al.*, 1983), όπως επίσης και σε υψηλές ιχθυοφορτίσεις (Dalla Via *et al.*, 1998, Papoutsoglou *et al.*, 1998, Paspatis *et al.*, 2003) υποδηλώνει ένα είδος με μεγάλη προσαρμοστικότητα και πλαστικότητα σε διαφορετικές συνθήκες εκτροφής. Επομένως, η μία από τις δύο υποθέσεις που διερευνούνται στην παρούσα μελέτη σχετίζεται με το κατά πόσο, κάτω από την πίεση συγκεκριμένων συνθηκών εκτροφής, η κατανομή του είδους στο χώρο παραμένει αμετάβλητη, λόγω της μεγάλης του πλαστικότητας ή εάν ακραίες καταστάσεις οδηγούν σε συγκεκριμένες κατανομές. Για τον λόγο αυτό, μελετάται και συγκρίνεται η οριζόντια και η κατακόρυφη κατανομή ιχθυδίων εκτρεφόμενων σε ενυδρεία, σε τρεις διαφορετικές ιχθυοφορτίσεις (5 άτομα/l, 10 άτομα/l και 20 άτομα/l), σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού (16 και 23 °C) και σε δύο διαφορετικές συνθήκες διατροφής (χορήγηση τροφής και στέρηση τροφής).

Ο όρος «ευζωία» (welfare) είναι δύσκολο να προσδιοριστεί στα ζώα γενικότερα, αλλά αναφέρεται στην ποιότητα ζωής τους δηλαδή (την σχέση μεταξύ του φυσικού και νοητικού σταδίου τους και του περιβάλλοντος τους) (Ellis *et al.*, 2002). Οι συνθήκες στις οποίες ζει το ψάρι σε αιχμαλωσία, το περιβάλλον του δηλαδή μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές αποκρίσεις από το ψάρι σύμφωνα με όλη την προαναφερθείσα βιβλιογραφία, επομένως, υποθέτουμε ότι

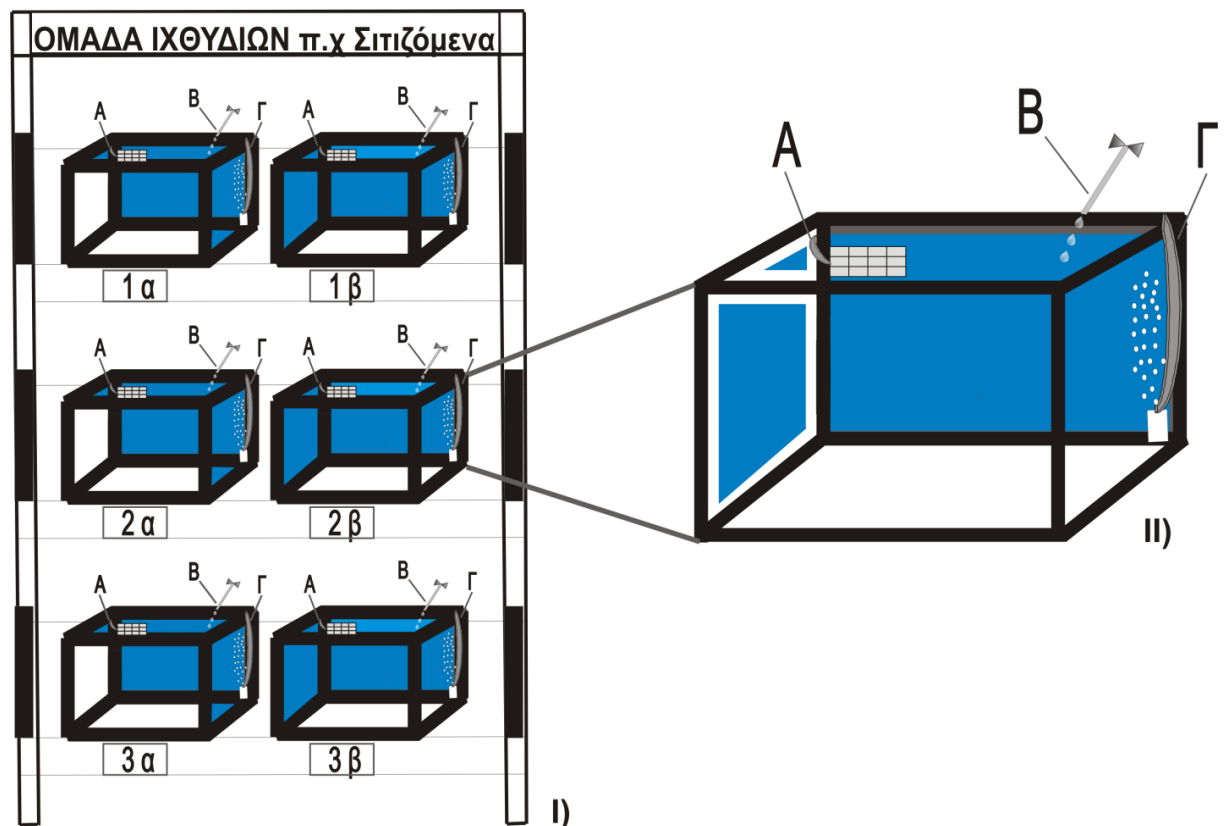
συγκεκριμένες συνθήκες προσδιορίζουν συγκεκριμένες αποκρίσεις του ψαριού. Δεδομένου ότι το λαβράκι εκτρέφεται σε μεγάλη κλίμακα, κυρίως στις Μεσογειακές χώρες, υπάρχει αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον για την καλύτερη δυνατή προσαρμογή του, ούτως ώστε να εξασφαλιστεί η μεγαλύτερη επιβίωση και η αποδοτικότερη ανάπτυξή του. Ως εκ τούτου, παράλληλος στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός συμπεριφορών, των νεαρών ιχθυδίων λαβρακιού, πέρα από τα φυσιολογικά όρια (πρότυπα μη φυσιολογικής συμπεριφοράς) ως αποτέλεσμα των συνθηκών ιχθυοφόρτισης, θερμοκρασίας νερού, και διατροφής, περιβαλλοντικών δηλαδή παραμέτρων που, πέρα από κάποια όρια αποτελούν παράγοντες καταπόνησης για τα ψάρια.

4.3. Υλικά και Μέθοδοι

4.3.1. Πειραματικός σχεδιασμός

Τα ιχθύδια που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη προέρχονταν από τις πειραματικές εγκαταστάσεις του εκκολαπτηρίου του Τμήματος Υδατοκαλλιεργειών του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) Κρήτης όπου εκτράφηκαν με μεθόδους εντατικής καλλιέργειας σε περιβάλλον θερμοκρασίας 17 ± 2 °C (Papandroulakis *et al.*, 2002). Σε ηλικία 76 ημερών (από την εκκόλαψη των αυγών: dph), σε μέσο βάρος 0.057 ± 0.010 g (\pm S.E) και 1.810 ± 0.040 cm ολικό μήκος (\pm S.E), μεταφέρθηκαν στις εγκαταστάσεις του ενυδρείου Κρήτης “Θαλασόκοσμος”, όπου και διεξήχθη το πείραμα. Τα ιχθύδια κατανεμήθηκαν τυχαία σε 24 διαφανή πλαστικά ενυδρεία, όγκου 6 λίτρων το καθένα (29.5 cm x 19 cm x 17 cm) σε δύο διαφορετικές

θερμοκρασίες νερού (16 ± 1 και 23 ± 1 °C) και τρεις διαφορετικές ιχθυοφορτίσεις (5, 10 και 20 ψάρια/l). Για την αποφυγή στρεσαρίσματος, της διαδικασίας εισαγωγής των ιχθυδίων στην υψηλότερη θερμοκρασία (23 °C) προηγήθηκε σταδιακός εγκλιματισμός τους. Όλα τα πειράματα έγιναν σε δύο επαναλήψεις ενώ αποφασίσθη οι μισοί πληθυσμοί (δύο από κάθε διαφορετική συνθήκη) να ταΐζονται κανονικά και οι άλλοι μισοί να νηστέψουν παντελώς. Κάθε ενυδρείο τροφοδοτούνταν με φιλτραρισμένο θαλασσινό νερό στην θερμοκρασία των 16 ή 23 °C (αλατότητα S:35 g/l) κατά τρόπο ώστε, να επιτυγχάνεται 32 % ανανέωση του όγκου του την ώρα. Επίσης ήταν εφοδιασμένο με πορώδης πέτρα αερισμού μέσα από την οποία διαχέονταν μικρός αριθμός φυσαλίδων αέρα από τον πυθμένα της δεξαμενής στην επιφάνεια σε μία κυκλική ροή η οποία εξασφάλιζε μία πολύ ήπια μίξη του νερού. Η φωτοπερίοδος ήταν τεχνητή (10L:14D). Για την αποφυγή ταραχής των ιχθυδίων λόγω οπτικής επαφής μεταξύ γειτονικών ενυδρείων, 2 τοιχώματα στα 4 περιμετρικά (τα πλαϊνά και τα πίσω γειτονικά) βάφτηκαν με μπλε σκούρα βαφή. Αυτό διευκόλυνε παράλληλα τις βιντεοσκοπήσεις για την μελέτη της συμπεριφοράς και την ανάλυση των εικόνων λόγω της αντίθεσης του χρώματος των ιχθυδίων με αυτό του υποβάθρου (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Στα ιχθύδια που ταΐζονταν, η ημερήσια ποσότητα τροφής (σε ξηρό βάρος) ήταν ίση με 100% (σε ξηρό βάρος) της βιομάζας των ψαριών και αποτελούνταν κατά 80% (ξηρό βάρος) από εμπλουτισμένους ναύπλιους *Artemia* (Instar I, “Selco”, INVE S.A., Belgium) και κατά 20% από βιομηχανική ξηρή τροφή {2/3 commercial crumbles (R1 100, Proton 2/3 particle size 200-300 μm)}. Η τροφή χορηγούνταν 4 φορές την ημέρα, στις 9:00, 12:00 πμ και 15:00, 18:00 μμ. Η θνησιμότητα καταγραφόταν καθημερινά και τα νεκρά ιχθύδια απομακρύνονταν από τα ενυδρεία.



Εικόνα 1. Πειραματική διάταξη όπου είχαν τοποθετηθεί οι υπό μελέτη ομάδες ιχθυδίων ανά ιχθυοφόρτιση και ανά επανάληψη. Η ίδια διάταξη είχε 2 πλευρές (σιτιζόμενα από την μία και ασίτιστα από την άλλη) και ήταν τοποθετημένη σε 2 διαφορετικές θερμοκρασίες (πίνακας 1). Το μπλε χρώμα αντιπροσωπεύει την μπλε σκούρα βαφή που είχε χρησιμοποιηθεί στα πλαϊνά και τα πίσω γειτονικά τοιχώματα των ενυδρείων. (I) μπροστινή πλευρά της πειραματικής διάταξης που παρουσιάζει την ομάδα των σιτιζόμενων ιχθυδίων, (II) μεγέθυνση ενός ενυδρείου: A) έξοδος νερού (φίλτρο), B) είσοδος νερού, Γ) αερισμός (πορώδες πέτρα).

Πίνακας 1. Πειραματικός σχεδιασμός. Ιχθυοφορτίσεις: χαμηλή (5 ιχθ./l), ενδιάμεση (10 ιχθ./l), υψηλή (20 ιχθ./l).

Ενυδρείο		Διατροφική συνθήκη	Ιχθυοφόρτιση (ιχθ./l)	Θερμοκρασία (°C)
Επαναλήψεις				
1α	1β	σιτιζόμενα	χαμηλή	16±1
2α	2β	σιτιζόμενα	ενδιάμεση	16±1
3α	3β	σιτιζόμενα	υψηλή	16±1
1α	1β	ασίτιστα	χαμηλή	16±1
2α	2β	ασίτιστα	ενδιάμεση	16±1
3α	3β	ασίτιστα	υψηλή	16±1
1α	1β	σιτιζόμενα	χαμηλή	23±1
2α	2β	σιτιζόμενα	ενδιάμεση	23±1
3α	3β	σιτιζόμενα	υψηλή	23±1
1α	1β	ασίτιστα	χαμηλή	23±1
2α	2β	ασίτιστα	ενδιάμεση	23±1
3α	3β	ασίτιστα	υψηλή	23±1

4.3.2. Συλλογή δεδομένων

Η παρατήρηση της συμπεριφοράς των ψαριών και της κατανομής τους στον χώρο έγινε με την βοήθεια ψηφιακών βιντεοκαμερών (SONY HANDYCAM, DCR-HC27E, SONY DIGITAL HANDYCAM, DCR-TRV830E) οι οποίες τοποθετήθηκαν μπροστά από κάθε ενυδρείο υπό γωνία 90° επιτρέποντας, κατ' αυτόν τον τρόπο, η βιντεοσκοπηση να αφορά σε ολόκληρο τον όγκο νερού του. Βιντεοσκοπήσεις γίνονταν δυο φορές την ημέρα, σε όλα τα ενυδρεία και διαρκούσαν ένα λεπτό εκάστη. Τα ιχθύδια που ταΐζονταν βιντεοσκοπούνταν πριν από το πρώτο και το τελευταίο τάισμα της ημέρας (στις 9 και 18 η ώρα αντίστοιχα) και μία ώρα μετά από αυτά. Τα ιχθύδια που δεν σιτιζόντουσαν βιντεοσκοπούνταν επίσης μία φορά το πρωί και μία το απόγευμα σε αντίστοιχες ώρες με αυτές των σιτιζόμενων ιχθυδίων. Οι καταγραφές γίνονταν καθημερινά δυο φορές την ημέρα σε όλα τα ενυδρεία. Τα ιχθύδια που ταΐζονταν καταγράφονταν πριν το τάισμα και μία ώρα μετά το τάισμα δύο φορές την ημέρα (κατά το πρώτο και τελευταίο τάισμα της ημέρας). Τα ιχθύδια που δεν ταΐζονταν καταγράφονταν μία φορά το πρωί και μία το απόγευμα σε αντίστοιχες ώρες με τις καταγραφές των ταϊσμένων ιχθυδίων. Η καταγραφή σταμάτησε μετά από 15 ημέρες πειράματος όταν παρατηρήθηκε σημαντική θνησιμότητα στα ασίτιστα ιχθύδια των 23°C (Εικόνα 2). Λαμβάνονταν επίσης καθημερινά φωτογραφίες ενός ιχθυδίου, in vivo σε κάτοψη, ανά συνθήκη χρησιμοποιώντας φωτογραφική μηχανή Olympus Camedia C3030-zoom υπό συνθήκες προσπίπτοντος φωτισμού.

4.3.3. Ανάλυση δεδομένων

4.3.3.1. Μελέτη της κατανομής των ιχθυδίων

Λογισμικό

Η μελέτη της εξέλιξης της θέσης των ιχθυδίων στη στήλη του νερού απαιτεί τον ακριβή προσδιορισμό των κέντρων μάζας αυτών. Προκειμένου να γίνει αυτό δυνατό, οι καταγραφές βίντεο, επεξεργάστηκαν με την εφαρμογή Windows Movie Maker (MS-Office 2007), προκειμένου να γίνει η εξαγωγή των επιλεγμένων frames. Κάθε frame αναλύθηκε μέσω ενός εξειδικευμένου λογισμικού που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο στην γλώσσα προγραμματισμού LabView (National Instruments) ειδικά για την παρούσα μελέτη και που το ονομάσαμε XY-quantifier. Με το λογισμικό αυτό, σε κάθε ξεχωριστό frame, ανιχνεύτηκε αυτόματα το ολικό μήκος κάθε ενυδρείου όπως και η θέση του κέντρου μάζας κάθε ιχθυδίου. Στην συνέχεια υπολογίστηκαν αυτόματα όλες οι θέσεις κέντρου, που αντιπροσώπευαν την πραγματική θέση κάθε ιχθυδίου στην στήλη του νερού, σε X (οριζόντιες) και Y (κατακόρυφες) διαστάσεις. Στη συνέχεια, όλα τα δεδομένα θέσης εξάχθηκαν σε ένα σύνηθες αρχείο κειμένου, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση. Η χρήση της παραπάνω μεθόδου πραγματοποιήθηκε για τρεις διαφορετικές ημερομηνίες πειράματος (1^η, 6^η και 15^η ημέρα από την εκκίνηση του πειράματος) όπου είχαν παρατηρηθεί σημαντικές αλλαγές στην συμπεριφορά των ιχθυδίων.

Στατιστική Ανάλυση

Οι επιδράσεις της *διατροφικής συνθήκης*, της *ιχθυοφόρτισης* και της *θερμοκρασίας* στις X-Y συντεταγμένες των ιχθυδίων μέσα στο ενυδρείο αναλύθηκαν με την χρήση των Γενικών Γραμμικών Μοντέλων (General Linear Models). Οι μεταβλητές *ημέρα παρατήρησης* (D) καθώς και η *επανάληψη* (R) είχαν επίσης συμπεριληφθεί στα μοντέλα. Για να διορθωθούν οι διαφορές που προέκυψαν στον αριθμό των ιχθυδίων που προσμετρούνταν, λόγω της συσσωρευτικής θνησιμότητας κατά την διάρκεια του πειράματος (π.χ την ημέρα 15 του πειράματος είχαν εναπομείνει ελάχιστα ιχθύδια στην ομάδα αυτών που δεν ταΐζονταν) οι μετρήσεις θέσης είχαν σταθμιστεί (weighted) ανάλογα με τον αριθμό των ιχθυδίων στο ενυδρείο (βαθμός επιβίωσης) (Faraway, 2005). Το γενικό γραμμικό μοντέλο είχε την μορφή:

$$Position = \mu + FC + SD + T + D + R + interactions + \varepsilon$$

Όπου Position: κατακόρυφη (Y) ή οριζόντια (X) θέση

FC: διατροφική συνθήκη

SD: ιχθυοφόρτιση

T: θερμοκρασία

D: ημέρα παρατήρησης

R: επανάληψη

Interactions: κάθε δυνατός συνδυασμός
αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο μεταβλητών

μ: ο ολικός μέσος

ε: προσθετικός όρος σφάλματος

Όλες οι μεταβλητές και οι αλληλεπιδράσεις τους (two-way interactions) είχαν αρχικά συμπεριληφθεί στο μοντέλο, αλλά μόνο οι σημαντικές ($P < 0.05$) τελικά επιλέχθηκαν, με τη μέθοδο της σταδιακής αφαίρεσης (stepwise backward removal method). Για κάθε στατιστικά σημαντικό όρο του GLM υπολογίστηκαν σταθμισμένοι μέσοι όροι (marginal means) και τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (confidence intervals).

4.3.3.2. Προσδιορισμός συμπεριφορών προσαρμογής ή κακής υγείας: πρότυπα έκφρασης μη φυσιολογικής συμπεριφοράς

Προκειμένου να αναγνωρισθούν διαταραχές στη συμπεριφορά και να προσδιορισθούν πιθανά πρότυπα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των βιντεο-καταγραφών με σκοπό την αναγνώριση και προσδιορισμό προτύπων έκφρασης μη φυσιολογικής συμπεριφοράς (Πρότυπα Έκφρασης Συμπεριφοράς - ΠΕΣ), συμπεριφορών δηλαδή που να υποδηλώνουν κάποιο στρες. Οι δραστηριότητες των ιχθυδίων

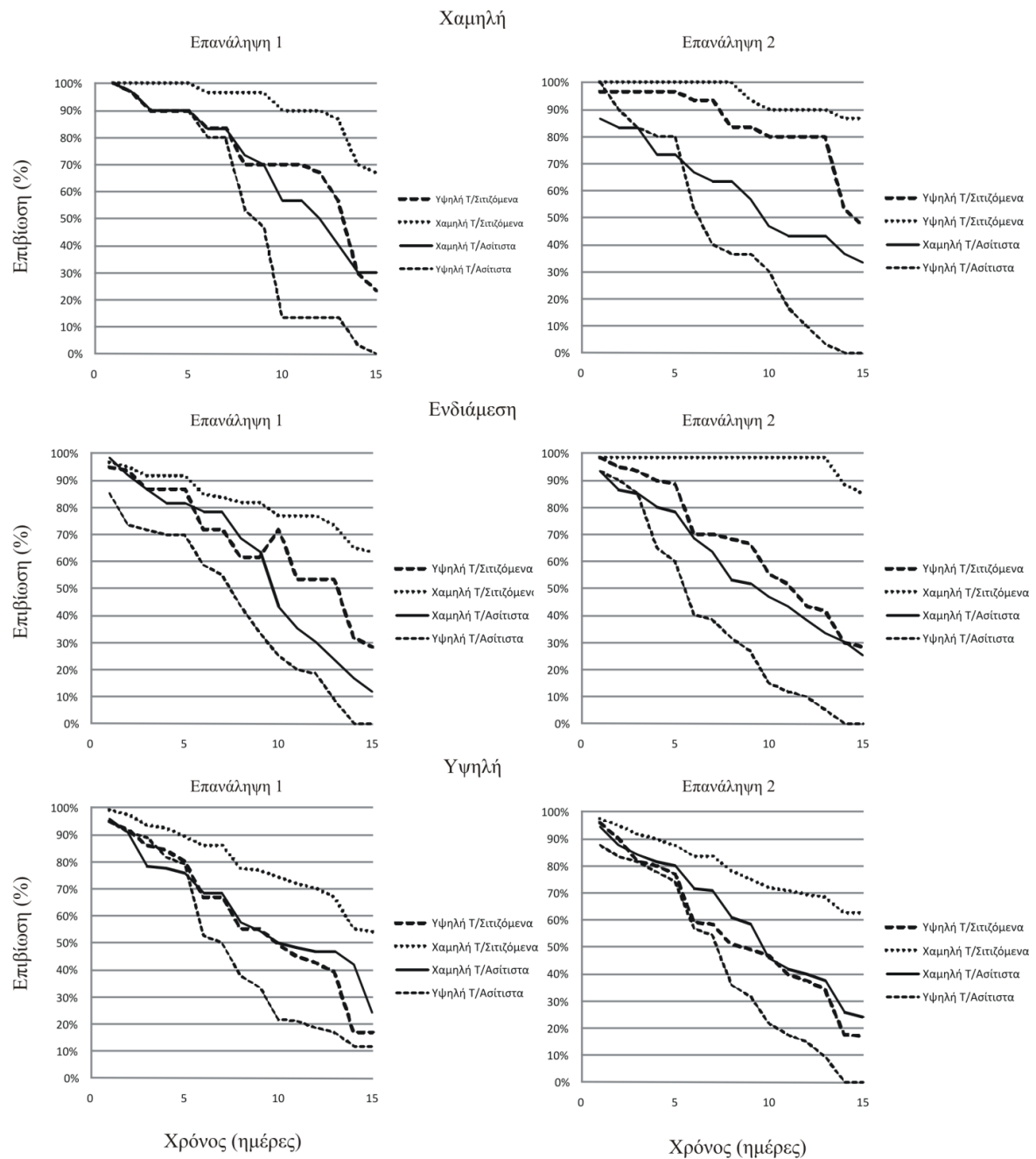
κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την χρονική διάρκεια τους σε «γεγονότα/περιπτώσεις» όταν η διάρκεια τους ήταν πολύ μικρή (συνήθως μικρότερη/ίση των 2 sec) και σε «δραστηριότητες» όταν είχαν κάποια μετρήσιμη διάρκεια πέραν των 2 sec (συνήθως ≈ 1 min). Παρατηρούνταν όλα τα ψάρια καθ' όλη την διάρκεια της κάθε μονόλεπτης καταγραφής. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόστηκε περιγραφική στατιστική, η οποία περιλαμβάνει συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων των ΠΕΣ με υπολογισμό μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης. Το σύνολο των αποτελεσμάτων των ΠΕΣ παρουσιάζονται σε γραφικές παραστάσεις κατανομών συχνότητας για το κάθε ένα από αυτά, για τις μέρες και τις συνθήκες όπου εμφανίστηκε ως μέσος όρος συχνότητας εμφάνισης των δύο επαναλήψεων.

4.4. Αποτελέσματα

4.4.1. Εξέλιξη των διαφόρων πληθυσμών

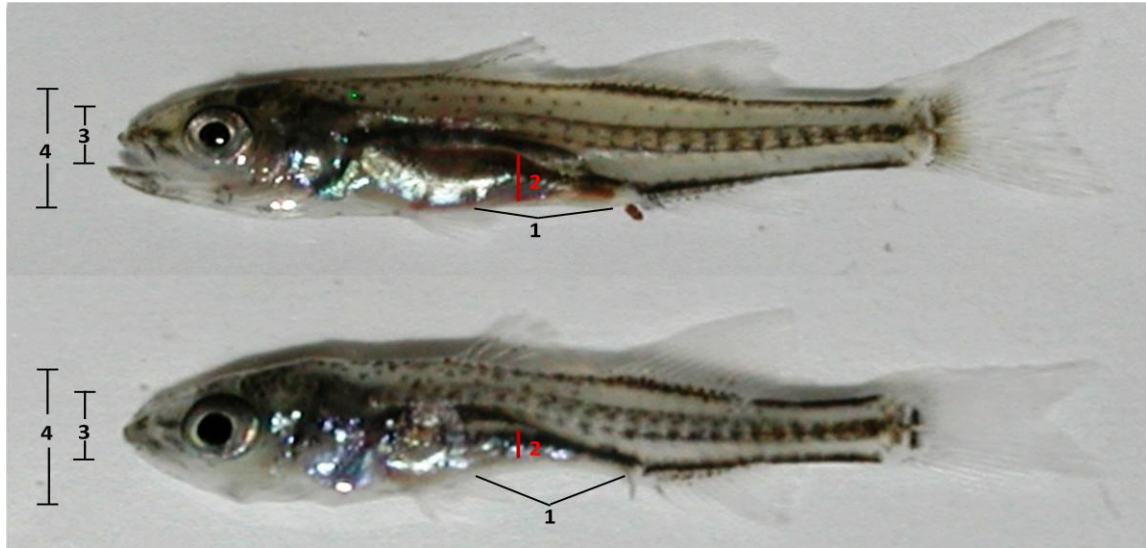
Τα ιχθύδια όλων των συνθηκών και των δύο επαναλήψεων (υψηλή/χαμηλή θερμοκρασία, σιτιζόμενα/ασίτιστα και χαμηλή/ενδιάμεση/υψηλή ιχθυοφόρτιση) έδειξαν μια φθίνουσα πορεία στον πειραματικό χρόνο ως προς τα ποσοστά επιβίωσης τους (Εικόνα 2). Πιο συγκεκριμένα, ο συνδυασμός συνθηκών *υψηλή θερμοκρασία/ασίτιστα* εμφάνισε το μεγαλύτερο ποσοστό θνησιμότητας, ακολουθούμενο από τον συνδυασμό συνθηκών *χαμηλή θερμοκρασία/ασίτιστα* ομοίως ακολουθούμενο από τον συνδυασμό συνθηκών *υψηλή θερμοκρασία/σιτιζόμενα* και τέλος ο συνδυασμός

χαμηλή θερμοκρασία/στιζόμενα εμφάνισε τα υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης. Το πιο πάνω μοτίβο ίσχυσε κυρίως για την χαμηλή και την ενδιάμεση ιχθυοφόρτιση, διότι στην υψηλή ιχθυοφόρτιση εμφανίστηκε απόκλιση στον συνδυασμό συνθηκών *υψηλή θερμοκρασία/στιζόμενα* ο οποίος παρουσίασε μεγαλύτερη θνησιμότητα από τον συνδυασμό *χαμηλή θερμοκρασία/ασίτιστα*.



Εικόνα 2. Ποσοστά επιβίωσης στον πειραματικό χρόνο (ημέρα παρατήρησης) για τους πληθυσμούς των ιχθυδίων των τριών διαφορετικών ιχθυοφορτίσεων {χαμηλή (5 ιχθ./l), ενδιάμεση (10 ιχθ./l) και υψηλή (20 ιχθ./l)} και για τις δύο επαναλήψεις των διαφορετικών θερμοκρασιών (υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή θερμοκρασία) και των διατροφικών συνθηκών (σιτιζόμενα και ασίτιστα). T: θερμοκρασία.

Η φθίνουσα αυτή πορεία αφορούσε και στην ευρωστία των ιχθυδίων με σαφείς αλλαγές στην εξωτερική όψη των ιχθυδίων που δεν σιτιζόνταν με την πάροδο του πειραματικού χρόνου. Τα ιχθύδια εμφάνισαν μία σταδιακή κατάπτωση του σώματος τους με εμφανείς αλλαγές στην κοιλιακή χώρα μεταξύ του κοιλιακού και του εδρικού πτερυγίου (που οριοθετεί την «κοιλιακή γωνία») όπου παρουσιάστηκε μία σταδιακή ολοένα και εντονότερη προς τα μέσα καμπυλότητα της εξωτερικής γραμμής του σώματος (μείωση της «κοιλιακής γωνίας»). Ο πεπτικός σωλήνας επίσης εμφάνισε μια εμφανή συστολή τόσο στην διάμετρο όσο και στο μήκος του με πιο εμφανή την μείωση της διαμέτρου στην περιοχή του συκωτιού. Στην πορεία του χρόνου εμφανίστηκε επίσης μία τάση αλλαγής του πάνω μέρους της κεφαλής των ιχθυδίων από κυρτό σε κοίλο και αυτό ήταν μετρήσιμο από την αναλογία ύψους ματιού προς ύψος κεφαλής, μιας και το ύψος ματιού έμενε σταθερό, σε σχέση με ένα φυσιολογικό ιχθύδιο που ταϊζόταν κανονικά (Εικόνα 3). Η αλλαγή αυτή στο κρανίο ήταν πιο εμφανής στις τελευταίες πειραματικές ημέρες. Επίσης υπήρξε μία εμφανής σταδιακή συρρίκνωση του σώματος και κατά μήκος αλλά και κατά ύψος όπως και εμφανείς αλλοιώσεις στα λέπια του σώματος με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 3. Ιχθύδιο λαυρακιού 82 dph (6^{ης} πειραματικής ημέρας). Πάνω: οτιζόμενο, Κάτω: αοίτιστο. Θωρακική ή Κοιλιακή γωνία-περιοχή μεταξύ κοιλιακού και εδρικού πτερυγίου (1), κατακόρυφο μήκος στομάχου (2), αναλογία ύψους ματιού-κεφαλιού (3:4).

4.4.2. Κατανομή ιχθυδίων στο δισδιάστατο πεδίο (κατακόρυφη και οριζόντια κατανομή)

Τα αποτελέσματα της προσαρμογής των Γενικών Γραμμικών Μοντέλων (GLMs) που παρουσιάζονται στους πίνακες 2 και 3 έδειξαν ότι: (α) η κατακόρυφη θέση (συντεταγμένες στον άξονα των Y), επηρεάζεται σημαντικά από την *ιχθυοφόρτιση*, τη *διατροφική συνθήκη* και την *ημέρα παρατήρησης* καθώς και από τις αλληλεπιδράσεις (*διατροφική συνθήκη x ημέρα παρατήρησης*, *ιχθυοφόρτιση x θερμοκρασία* και *διατροφική συνθήκη x θερμοκρασία*) (Πίνακας 2), ενώ (β) η οριζόντια θέση (συντεταγμένες στον άξονα των

X) συσχετίζεται σημαντικά με την *ημέρα παρατήρησης* και την αλληλεπίδραση *ημέρα παρατήρησης x θερμοκρασία* (Πίνακας 3).

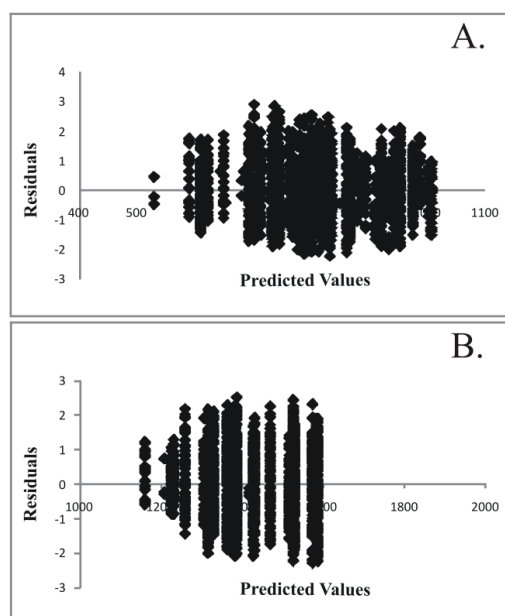
Πίνακας 2. Πίνακας ANOVA για το τελικό σταθμισμένο (weighted) γενικό γραμμικό μοντέλο προσαρμοσμένο στην μεταβλητή «κατακόρυφη θέση» (Y).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9207.28	14	657.66	11.75	.000
Intercept	105803.36	1	105803.36	1890.10	.000
SD	635.00	2	317.50	5.67	.003
FC	263.19	1	263.19	4.70	.030
D	488.11	2	244.05	4.36	.013
FC * D	1526.26	2	763.13	13.63	.000
SD * T	2062.62	2	1031.31	18.42	.000
FC * T	743.59	1	743.59	13.28	.000
Error	113634.88	2030	55.98		
Total	766148.88	2045			
Corrected Total	122842.16	2044			

Πίνακας 3. Πίνακας ANOVA για το τελικό σταθμισμένο (weighted) γενικό γραμμικό μοντέλο προσαρμοσμένο στην μεταβλητή «οριζόντια θέση» (X).

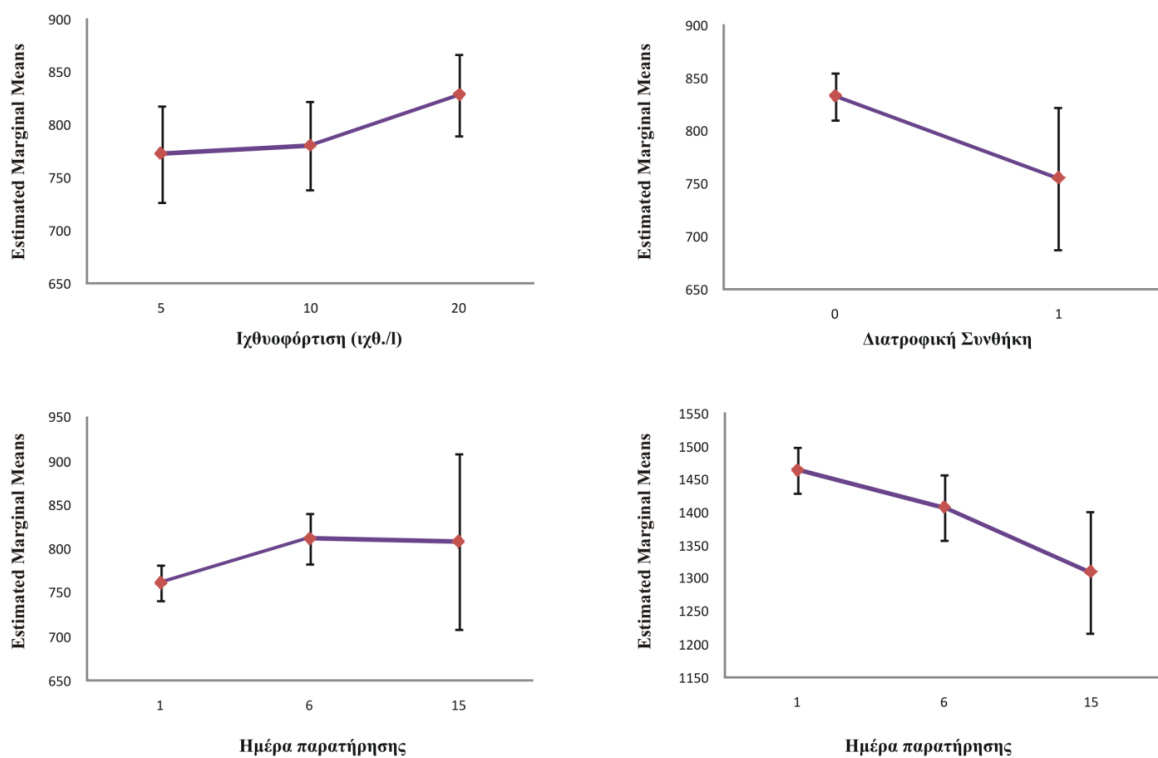
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11173.00	7	1596.14	8.33	.000
Intercept	971472.52	1	971472.52	5067.79	.000
D	2041.12	2	1020.56	5.32	.005
FC * T	5798.11	2	2899.05	15.12	.000
Error	390483.46	2037	191.69		
Total	2503490.87	2045			
Corrected Total	401656.46	2044			

Και τα δύο μοντέλα έδωσαν μια καλή προσαρμογή (good fit) των δεδομένων όπως φαίνεται στα αντίστοιχα γραφήματα των residuals (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Γραφήματα των residuals των τελικών γενικών γραμμικών μοντέλων προσαρμοσμένων στην Α) κατακόρυφη (Y) θέση και Β) οριζόντια (X) θέση.

Οι εκτιμώμενες μέσες τιμές (estimated marginal means: EMM) των παραγόντων που έχουν βρεθεί να έχουν σημαντική επίδραση στα δύο GLM μοντέλα παρουσιάζονται στην εικόνα 5. Η *ιχθυοφόρτιση* φαίνεται να αποτελεί μια σημαντική μεταβλητή για την κατακόρυφη θέση με την μεγαλύτερη ιχθυοφόρτιση (20 ιχθ./l) να εμφανίζει την μεγαλύτερη EMM (Εικόνα 5Α). Η *διατροφική συνθήκη* φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά, με τα ιχθύδια που δεν σιτίζονταν να έχουν μια σημαντικά χαμηλότερη μέση κατακόρυφη κατανομή σε σύγκριση με τα ιχθύδια που ταΐζονταν (Εικόνα 5Β). Ο μεταβλητή *ημέρα παρατήρησης*, επίσης, βρέθηκε να επηρεάζει σημαντικά, με τα ιχθύδια στην αρχή του πειράματος (ημέρα 1) να είναι κατανεμημένα χαμηλότερα στην στήλη του νερού σε σχέση με την ημέρα 6 και 15 (Εικόνα 5Γ). Αναφορικά με την οριζόντια κατανομή, η μόνη σημαντική επίδραση που βρέθηκε ήταν η *ημέρα της παρατήρησης*, με τα ιχθύδια να επιδεικνύουν μια σταδιακή αλλαγή στην EMM προς το αριστερό μέρος του ενυδρείου (αντίθετα από τον αερισμό) με το πέρασμα του χρόνου (Εικόνα 5Δ).



Εικόνα 5. Εκτιμώμενες μέσες τιμές της κατακόρυφης (Y) και οριζόντιας (X) θέσης με 95% διαστήματα εμπιστοσύνης για τις στατιστικά σημαντικές κύριες επιδράσεις των δύο μοντέλων (Α) Y: ιχθυοφόρτιση, (Β) Y: διατροφική συνθήκη, (Γ) Y: ημέρα παρατήρησης και (Δ) X: ημέρα παρατήρησης. 0: σιτιζόμενα, 1: ασίτιστα.

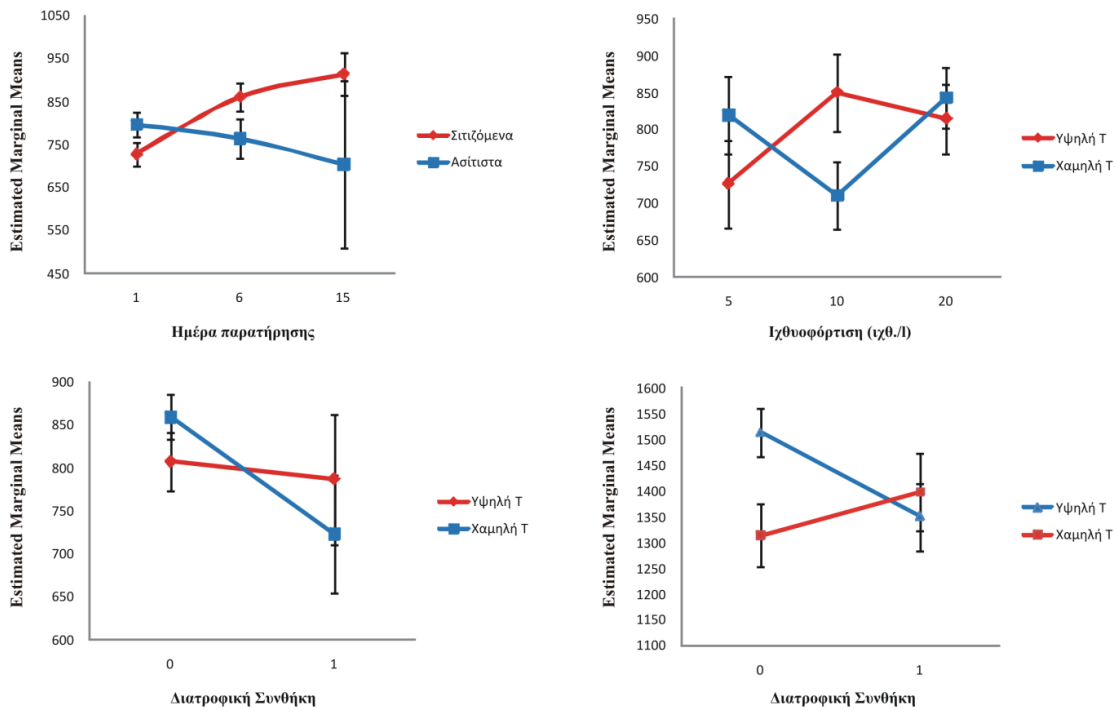
Οι εκτιμώμενες μέσες τιμές (EMM) για τις σημαντικές αλληλεπιδράσεις στα δύο μοντέλα παρουσιάζονται στην εικόνα 6. Τα ιχθύδια που δεν ταΐζονταν εμφάνισαν μια τάση μείωσης της μέσης κατακόρυφης κατανομής τους με το πέρασμα του χρόνου, ενώ αντίθετη τάση εμφάνισαν τα ιχθύδια που ταΐζονταν κανονικά (Εικόνα 6Α).

Οι διαφορετικές ιχθυοφορτίσεις επηρέασαν διαφορετικά την θέση των ψαριών στο κατακόρυφο επίπεδο στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Αυτό ήταν ιδιαίτερα εμφανές στην ενδιάμεση

ιχθυοφόρτιση (10 ιχθ./l) στην οποία η κατακόρυφη τοποθέτηση ήταν χαμηλότερη στην χαμηλή θερμοκρασία (Εικόνα 6B).

Παρόλο που στην υψηλή θερμοκρασία δεν είχε παρατηρηθεί διαφορά στην μέση κατακόρυφη κατανομή μεταξύ των ιχθυδίων που ταΐζονταν και αυτών που δεν ταΐζονταν, αυτό δεν συνέβαινε στην χαμηλή θερμοκρασία στην οποία τα ιχθύδια κατανέμονταν σε υψηλότερα επίπεδα μέσα στην στήλη του νερού από ότι τα ιχθύδια που δεν ταΐζονταν (Εικόνα 6Γ).

Αναφορικά με την οριζόντια τοποθέτηση, οι διαφορές παρατηρήθηκαν κυρίως για την ομάδα των ιχθυδίων που ταΐζονταν στην οποία τα ιχθύδια είχαν συγκεντρωθεί πιο κοντά στο δεξιό μέρος του ενυδρείου (προς τον αερισμό) στην χαμηλή θερμοκρασία (Εικόνα 6Δ).



Εικόνα 6. Εκτιμώμενες μέσες τιμές της κατακόρυφης (Y) και οριζόντιας (X) θέσης με 95% διαστήματα εμπιστοσύνης για τους σημαντικούς αλληλεπιδρώντες όρους των δύο μοντέλων (A) Y: διατροφική συνθήκη*ημέρα παρατήρησης, (B) Y: ιχθυοφόρτιση*θερμοκρασία, (Γ) Y: παροχή τροφής*θερμοκρασία και (Δ) X: παροχή τροφής*θερμοκρασία. 0: σιτιζόμενα, 1: ασίτισα.

4.4.3. Προσδιορισμός συμπεριφορών προσαρμογής ή κακής υγείας : πρότυπα έκφρασης μη φυσιολογικής συμπεριφοράς

Από την ανάλυση των βιντεο-καταγραφών αναγνωρίστηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν έντεκα Πρότυπα Έκφρασης Συμπεριφοράς (ΠΕΣ) εκ των οποίων τα πρώτα τέσσερα με χρονική διάρκεια $\leq 2s$ εντάχθηκαν στην κατηγορία «Γεγονότα/Περιπτώσεις» και τα υπόλοιπα εφτά με χρονική διάρκεια $>2s$ στην κατηγορία «δραστηριότητες» (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Περιγραφή Προτύπων Έκφρασης Συμπεριφοράς (ΠΕΣ) στο λαβράκι. 1-4: Γεγονότα/Περιπτώσεις (διάρκεια $\leq 2s$) και 5-11: δραστηριότητες ($>2s$).

Γεγονότα / Περιπτώσεις	1.Αποφυγή και φόβος	Αποφυγή στη θέα παρατηρητή με γρήγορη απομάκρυνση μέσω ομαδικών απότομων τιναγμάτων και επιταχύνσεων προς αντίθετες κατευθύνσεις ή συσπείρωση/κρύψιμο πίσω από «καταφύγια» όπως η πέτρα του αερισμού ή το φίλτρο.
	2.Επιθετικότητα	Στιγμαίες κινήσεις που υποδηλώνουν σαφή επιθετικότητα ενός ψαριού προς ένα άλλο όπως αρπαγή ενός άλλου ψαριού (ή και κανιβαλισμός), γδαρσίματα, κυνηγητό.
	3.Σπασμωδικές κινήσεις	Απότομα τινάγματα που συνοδεύονται από «τρέμουλο».
	4.Νωχελική κολύμβηση	Αργή κολύμβηση με περιστασιακές παύσεις και επανεκκινήσεις.
Δραστηριότητες	5.Κολύμβηση στην επιφάνεια του νερού	Κολύμβηση στην επιφάνεια του όγκου του νερού συνοδευόμενη συνήθως από νευρικότητα και έντονη κινητικότητα.
	6.Κολύμβηση στον πάτο του ενυδρείου	Κολύμβηση στο κάτω μέρος του όγκου του νερού συνοδευόμενη συνήθως από νευρικότητα και έντονη κινητικότητα.

- 7.Συνεχόμενη κολύμβηση για διατήρηση θέσης
 Τοποθέτηση αντίθετα στο ελαφρύ ρεύμα νερού που δημιουργούνταν μέσα στο ενυδρείο από τις φυσαλίδες αέρα και προσπάθεια διατήρησης θέσης μέσα στον όγκο του νερού.
- 8.Μετακίνηση σε «νεκρές ζώνες»
 Μετακίνηση και διατήρηση για κάποιο χρονικό διάστημα σε «νεκρές ζώνες» του ενυδρείου, περιοχές δηλαδή όπου δεν επηρεάζονται και τόσο από το ελαφρύ ρεύμα του νερού.
- 9.Παθητική μετακίνηση
 Αφήνονται να παρασύρονται από το ρεύμα κίνησης του νερού μέσα στο ενυδρείο και είτε «κάθονται» στον πυθμένα του ενυδρείου είτε παραμένουν στη μάζα του νερού σε κατακόρυφη στάση με το κεφάλι προς τα κάτω [συμπεριφορά χαρακτηριστική των αυτότροφων σταδίων(Kentouri, 1985)].
- 10.Αναζήτηση καταφυγίου
 Καταφεύγουν πίσω από πέτρα αερισμού ή φίλτρο.
- 11.Στερεοτυπική συμπεριφορά
 Συνεχόμενο και επαναλαμβανόμενο πρότυπο κίνησης μέσα στο νερό όπως η προσκόλληση στο τοίχωμα του ενυδρείου και μετακίνηση πάνω/κάτω για κάποιο χρονικό διάστημα [συμπεριφορά χαρακτηριστική των εξασθενημένων ιχθυοσυμφορών κατά τις πρώτες μέρες εξωγενούς διατροφής τους (Kentouri, 1985)].

Τα έντεκα ΠΕΣ εκδηλώθηκαν από ιχθύδια που βρίσκονταν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ιχθυοφόρτισης, διατροφής, θερμοκρασίας και ημέρας παρατήρησης και υπολογίστηκε η συχνότητα εμφάνισης τους για κάθε περίπτωση (Εικόνες 7.1-17). Πιο συγκεκριμένα:

Το ΠΕΣ 1 παρατηρήθηκε σε όλες τις συνθήκες κατά την πρώτη πειραματική ημέρα (ημέρα εγκλιματισμού) όπου τα ιχθύδια εμφανίζονταν ιδιαίτερα «νευρικά». Συνέχισε να είναι ορατό καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος αλλά όχι σε τόσο έντονο βαθμό, τα ιχθύδια δηλαδή «συνήθισαν» στη προσέλευση του παρατηρητή, ιδιαίτερα στις ομάδες που ταΐζονταν. Στις ομάδες που δεν σιτίζονταν τις τελευταίες ημέρες του πειράματος (15^η -19^η ημέρα παρατήρησης) τα ψάρια έδειχναν τόσο εξαντλημένα που δεν αντιδρούσαν πλέον ούτε στη θέα παρατηρητή.

Το ΠΕΣ 2 παρατηρήθηκε (α) την 6^η ημέρα στα σιτιζόμενα ψάρια που διατηρούνταν σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και ιχθυοφόρτισης (20 ιχθ./l), (β) από την 14^η και 15^η ημέρα στα ιχθύδια που δεν σιτίζονταν και διατηρούνταν σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας στη ενδιάμεση (10 ιχθ./l) και υψηλή (20 ιχθ./l) ιχθυοφόρτιση και γ) την 15^η ημέρα στα ιχθύδια που δεν σιτίζονταν και διατηρούνταν σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής ιχθυοφόρτισης.

Το ΠΕΣ 3 παρατηρήθηκε την 14^η ημέρα σε ιχθύδια της υψηλής ιχθυοφόρτισης που δεν ταΐζονταν στην υψηλή θερμοκρασία .

Το ΠΕΣ 4 παρατηρήθηκε σε ιχθύδια όλων των ιχθυοφορτίσεων που δεν ταΐζονταν τόσο στην υψηλή όσο και στην χαμηλή θερμοκρασία την 6^η, 8^η, 14^η και 15^η ημέρα.

Το ΠΕΣ 5 παρατηρήθηκε τόσο σε ιχθύδια που ταΐζονταν όσο και σε ιχθύδια που δεν ταΐζονταν. Στην πρώτη περίπτωση, η συμπεριφορά αυτή εκδηλώθηκε από την 6^η ημέρα από τα ψάρια που διατηρούνταν σε συνθήκες υψηλής ιχθυοφόρτισης και θερμοκρασίας τα οποία, μετά το τάϊσμα εμφανίζονταν στην επιφάνεια, πιθανόν σε αναζήτηση περισσότερης τροφής. Στην δεύτερη περίπτωση, η συμπεριφορά αυτή εμφανίστηκε από την πρώτη κιάλας ημέρα του πειράματος όπου άρχισε η νηστεία τους και τα ψάρια ανέβαιναν σε υψηλότερα επίπεδα προς αναζήτηση τροφής.

Το ΠΕΣ 6 παρατηρήθηκε μόνο σε ιχθύδια όλων των ιχθυοφορτίσεων που δεν ταΐζονταν στην υψηλή θερμοκρασία την 8^η ημέρα, αλλά και σε όλες τις πειραματικές συνθήκες την 1^η ημέρα λόγω στρες εγκλιματισμού.

Το ΠΕΣ 7 παρατηρήθηκε σε μη σιτιζόμενα ιχθύδια που διατηρούνταν σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και (α) μικρής και ενδιάμεσης ιχθυοφόρτισης την 1^η, 6^η και 14^η ημέρα, και (β) μεγάλης ιχθυοφόρτισης 8^η ημέρα παρατήρησης.

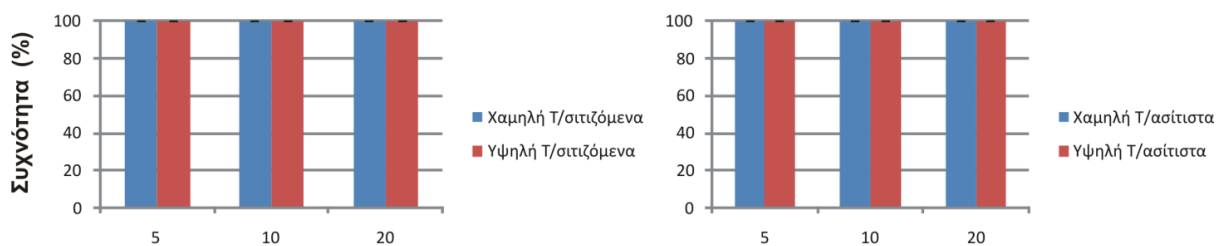
Το ΠΕΣ 8 παρατηρήθηκε σε μη σιτιζόμενα ιχθύδια που διατηρούνταν σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και μικρής ιχθυοφόρτισης την 6^η ημέρα παρατήρησης, όπου τα ψάρια συναθροίζονταν σε περιοχές όπου φαινονταν να μην επηρεάζονται από την κίνηση του νερού μέσα στο ενυδρείο (νεκρές περιοχές).

Το ΠΕΣ 9 παρατηρήθηκε σε ιχθύδια που δεν ταΐζονταν (α) από την 6^η κιόλας ημέρα παρατήρησης στην ενδιάμεση ιχθυοφόρτιση υψηλής θερμοκρασίας, (β) την 8^η ημέρα στην μικρή και υψηλή ιχθυοφόρτιση υψηλής θερμοκρασίας, (γ) την 8^η ημέρα στην υψηλή ιχθυοφόρτιση χαμηλής θερμοκρασίας, (δ) την 14^η ημέρα στην χαμηλή ιχθυοφόρτιση υψηλής θερμοκρασίας και (ε)σε όλες τις ομάδες ιχθυδίων που δεν ταΐζονταν από την 15^η ημέρα παρατήρησης μέχρι τέλους του πειράματος.

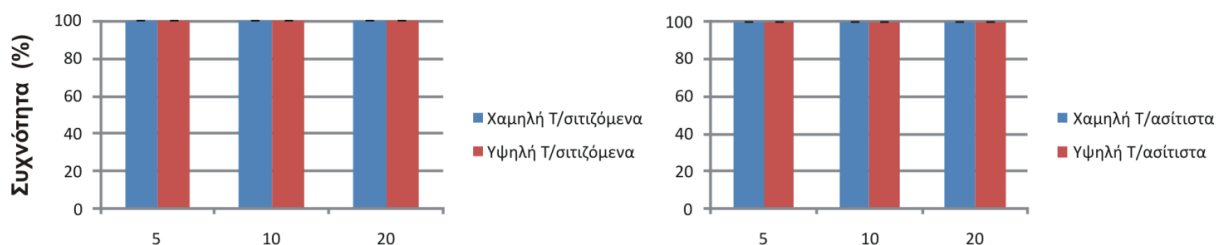
Το ΠΕΣ 10 παρατηρήθηκε (α) σε ιχθύδια χαμηλής ιχθυοφόρτισης που δεν ταΐζονταν στην χαμηλή θερμοκρασία την 6^η ημέρα, (β) σε ιχθύδια ενδιάμεσης ιχθυοφόρτισης που δεν ταΐζονταν στην υψηλή θερμοκρασία την 8^η ημέρα και (γ) σε ιχθύδια υψηλής ιχθυοφόρτισης που δεν ταΐζονταν στην υψηλή θερμοκρασία την 15^η ημέρα.

Το ΠΕΣ 11 παρατηρήθηκε σε ιχθύδια υψηλής ιχθυοφόρτισης που ταΐζονταν στην υψηλή θερμοκρασία την 15^η ημέρα παρατήρησης και σε ιχθύδια ενδιάμεσης ιχθυοφόρτισης στην χαμηλή θερμοκρασία που δεν ταΐζονταν την 15^η ημέρα λίγο δηλαδή πριν τον θάνατο τους.

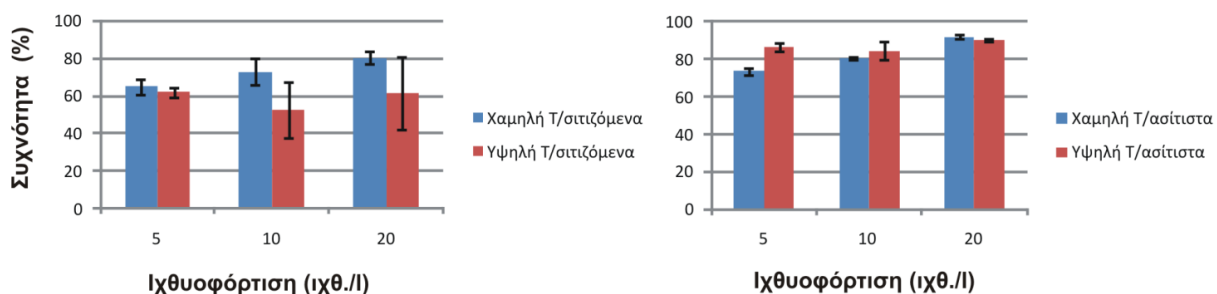
Ημέρα παρατήρησης 1



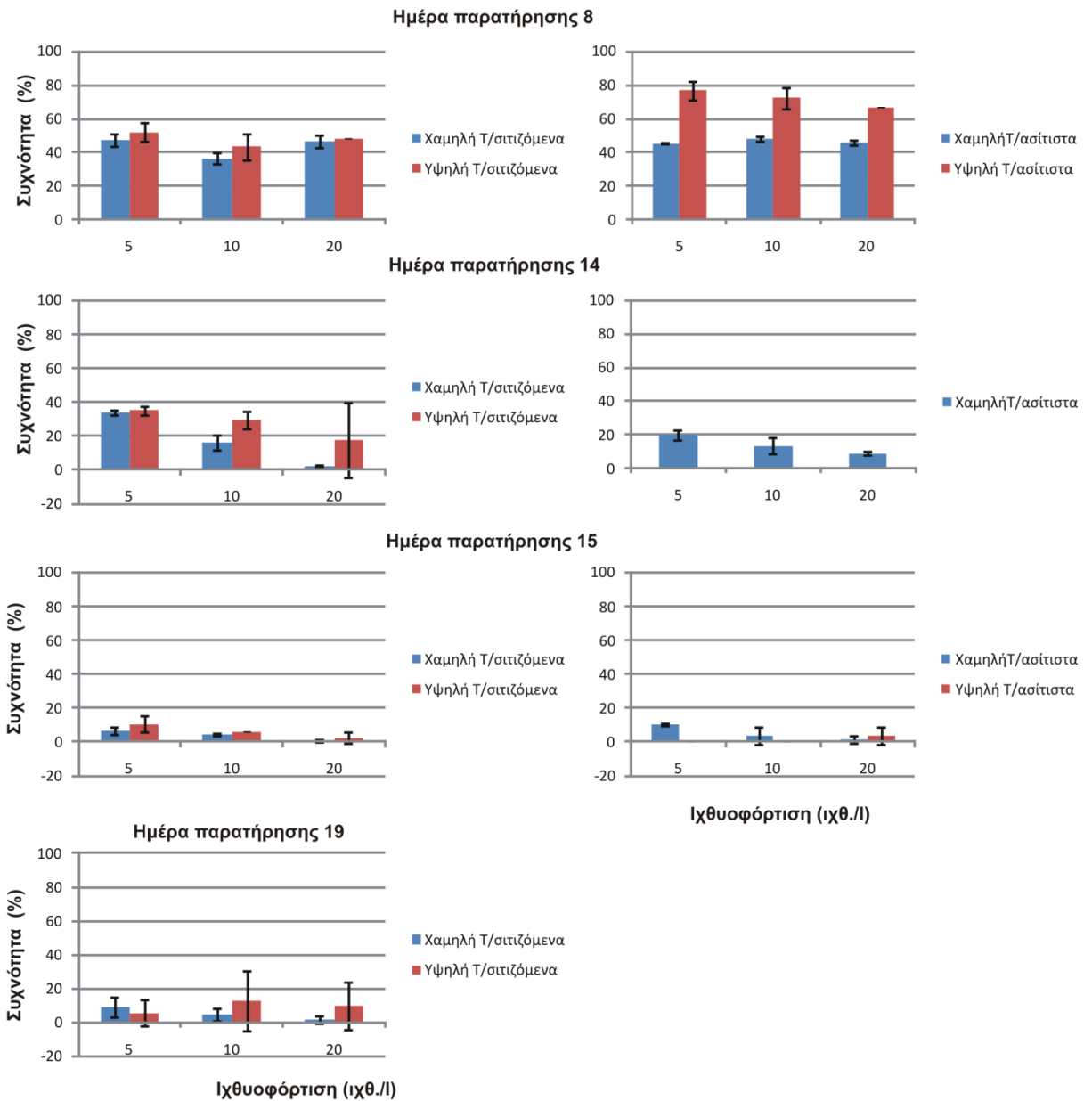
Ημέρα παρατήρησης 2



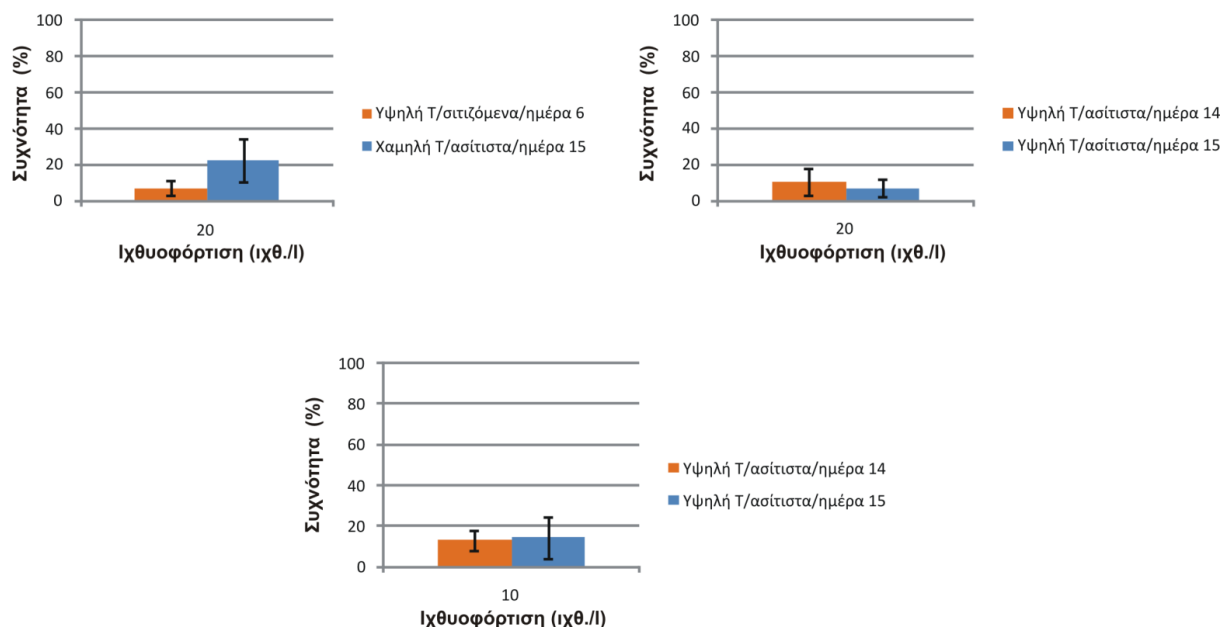
Ημέρα παρατήρησης 6



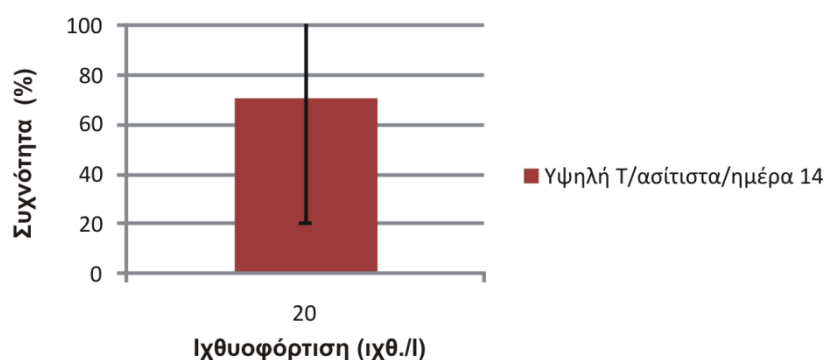
Εικόνα 7.1. Ποσοστό εμφάνισης του ΠΕΣ 1 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



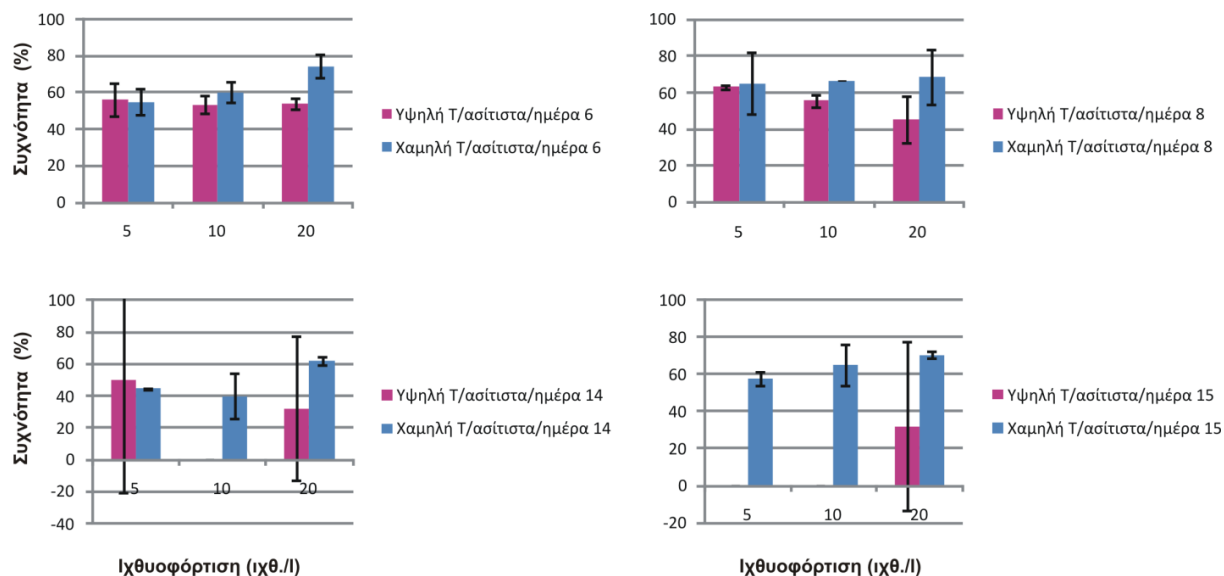
Εικόνα 7.2. Ποσοστό εμφάνισης του ΠΕΣ 1 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



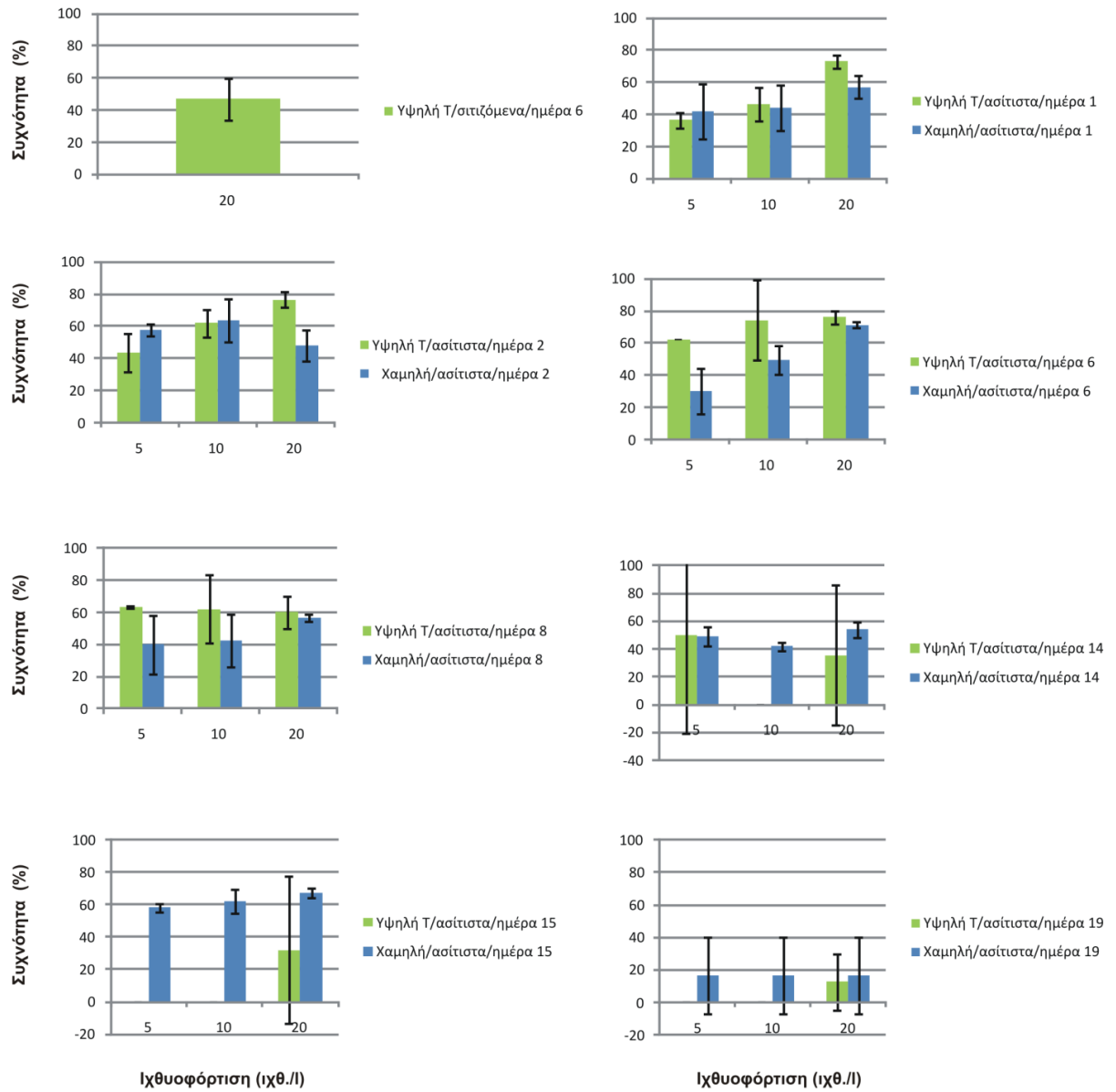
Εικόνα 8. Ποσοστό εμφάνισης του ΠΕΣ 2 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



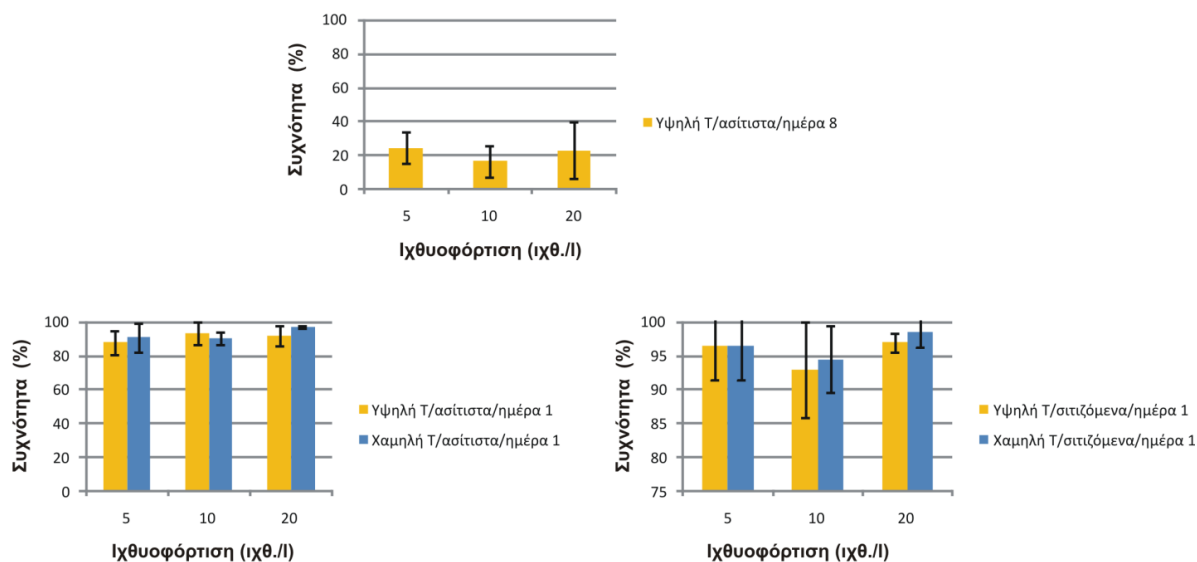
Εικόνα 9. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 3 στα ιχθύδια λαυρακιού στην πειραματική συνθήκη στην οποία παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



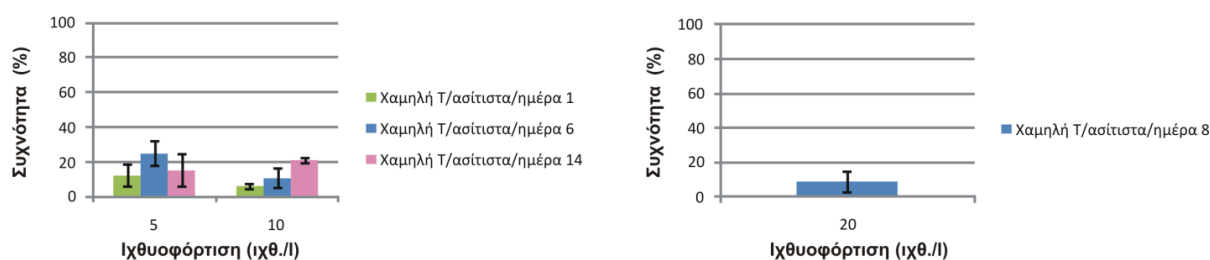
Εικόνα 10. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 4 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



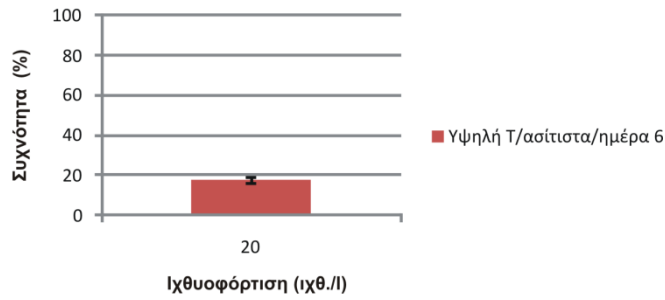
Εικόνα 11. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 5 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



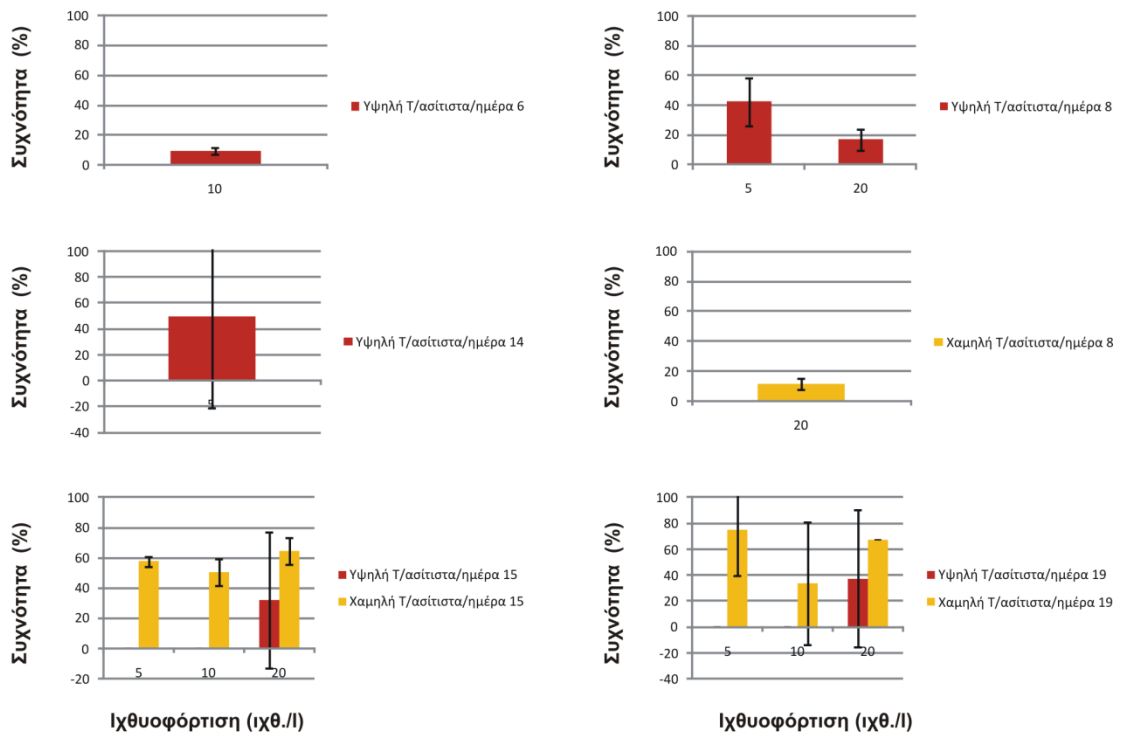
Εικόνα 12. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 6 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



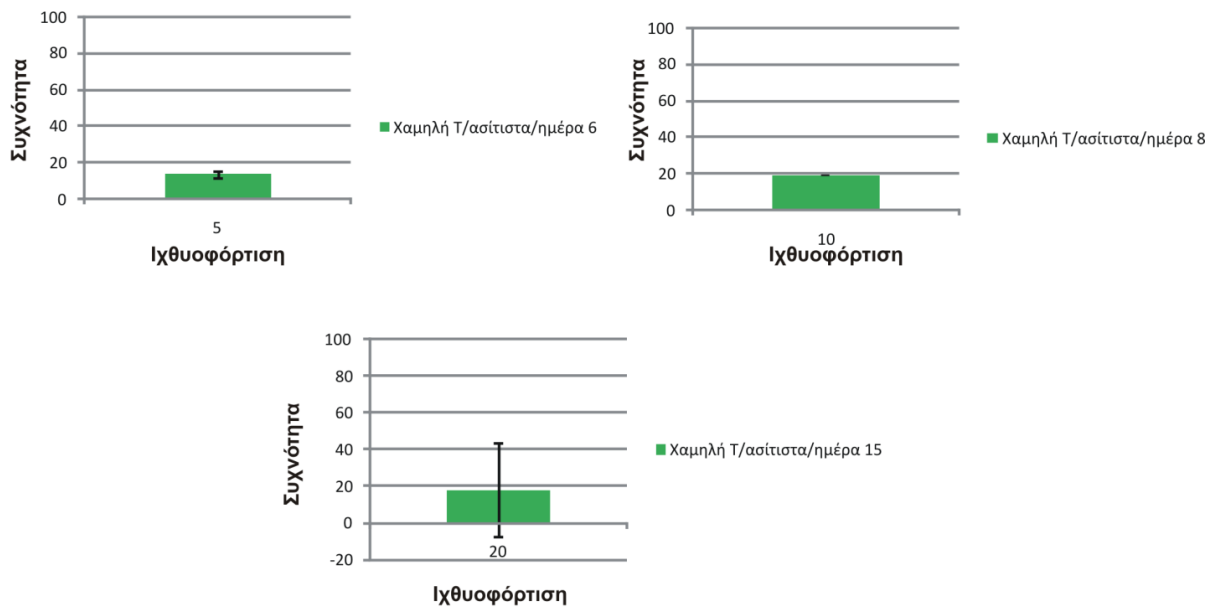
Εικόνα 13. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 7 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



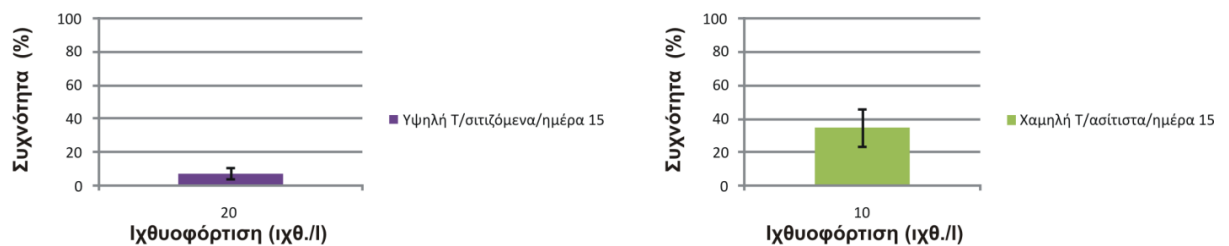
Εικόνα 14. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 8 στα ιχθύδια λαυρακιού στην πειραματική συνθήκη στην οποία παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



Εικόνα 15. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 9 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



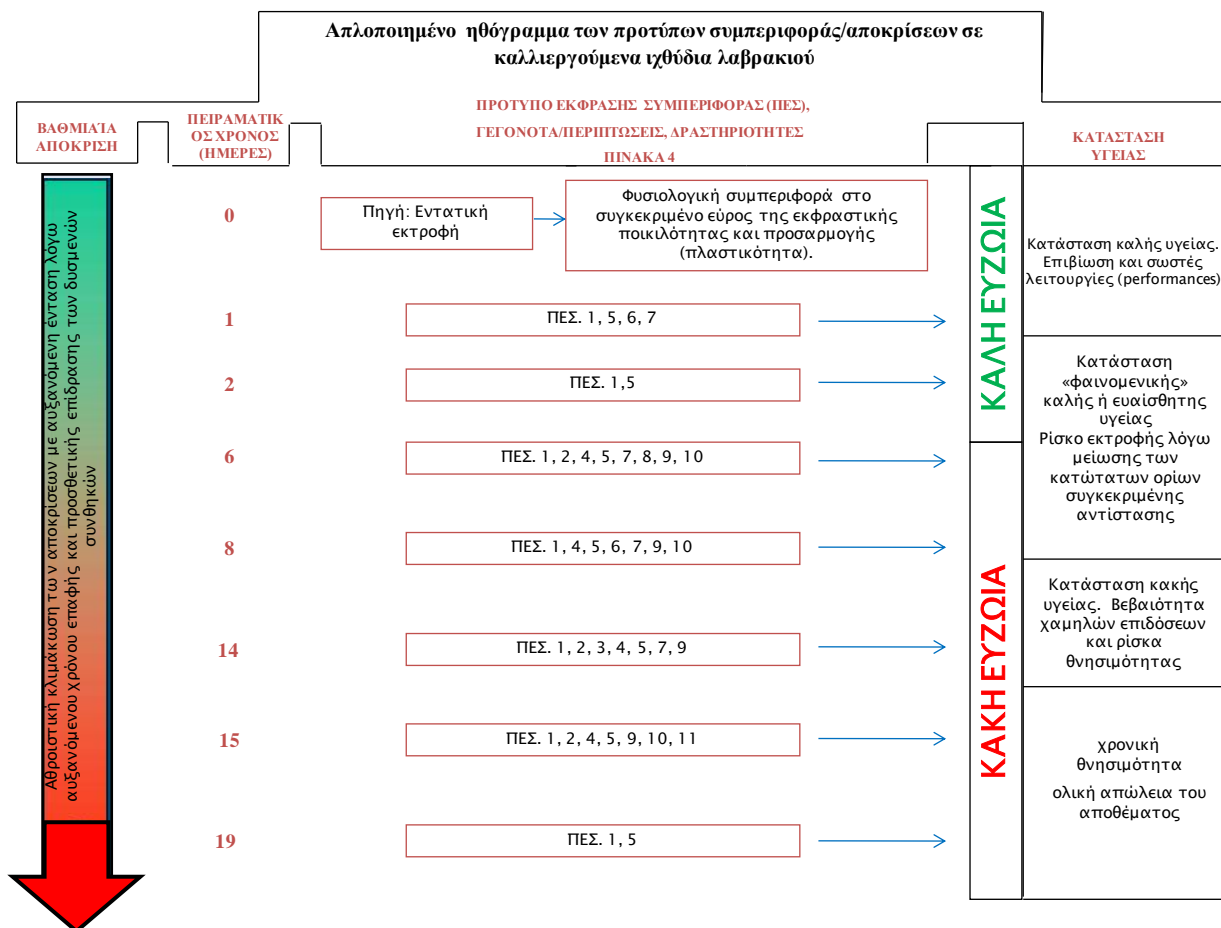
Εικόνα 16. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 10 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.



Εικόνα 17. Ποσοστό εμφάνισης ΠΕΣ 11 στα ιχθύδια λαυρακιού στις πειραματικές συνθήκες στις οποίες παρατηρήθηκε. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος μεταξύ των δύο επαναλήψεων κάθε συνθήκης. Οι μαύρες μπάρες αντιστοιχούν στην τυπική απόκλιση για τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων.

Τα πρότυπα συμπεριφοράς που υιοθετούν τα ιχθύδια λαβρακιού μετά από παράλληλη έκθεση σε πιθανούς στρεσογόνους παράγοντες όπως ήταν στην παρούσα μελέτη η *ιχθυοφόρτιση*, η *θερμοκρασία* και η *διατροφική συνθήκη (παροχή ή μη τροφής)* διαφάνηκε ότι επηρεάζονται από τον χρόνο έκθεσης σε αυτούς (χρόνιο στρες), καθώς και από το άθροισμα/συγκέντρωση της δυσμενής επίδρασης αυτών («προσθετική επίδραση») ως αποτέλεσμα των διαφόρων αλληλεπιδράσεων μεταξύ αυτών. Σε ακραίες περιπτώσεις, η αντίσταση, η προσαρμογή και/ή η ανάκτηση της πρότερης καλής κατάστασης των ατόμων δεν μπορεί να επιτευχθεί με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια σταδιακή εξασθένιση των ατόμων που οδηγεί αναπόφευκτα στον αφανισμό τους.

Εν κατακλείδι, φαίνεται η μετάβαση από την καλή στην κακή κατάσταση ευζωίας και υγείας των ιχθυδίων να ακολουθεί μία συγκεκριμένη ροή, όσον αφορά την έκφραση της συμπεριφοράς. Αυτή η ροή μέσα από δύο ενδιάμεσα στάδια που αφορούν καταστάσεις ευαισθησίας και κακής υγείας (εκφραζόμενες μέσω «διαταραχών» και υιοθέτηση μη φυσιολογικών συμπεριφορών) αποτυπώνεται στο ηθόγραμμα της εικόνας 18.



Εικόνα 18. Ηθόγραμμα/οργανόγραμμα στο οποίο φαίνονται τα στάδια υγείας, τύποι/πρότυπα και εκφράσεις συμπεριφοράς των ιχθυΐδων λαβρακιού που αναγνωρίστηκαν από την παρούσα μελέτη, σε σχέση με τον χρόνο έκθεσης στους στρεσογόνους παράγοντες στους οποίους εκτέθηκαν.

4.5. Συζήτηση

Όπως διατυπώθηκε από το Farm Animal Welfare Council (*in Keeling & Jensen, 2002*), η διαβίωση των ζώων πρέπει να χαρακτηρίζεται από πέντε συνθήκες: 1) «Ελευθερία» από την δίψα, την πείνα και τον υποσιτισμό. 2) Κατάλληλο και άνετο καταφύγιο. 3) Πρόληψη, ή έγκαιρη διάγνωση και θεραπεία από τραυματισμούς και ασθένειες. 4) «Ελευθερία» για επίδειξη των πιο φυσιολογικών προτύπων συμπεριφοράς, και 5) «Ελευθερία» από τον φόβο. Στην περίπτωση των εκτρεφόμενων ψαριών, αυτές οι πέντε συνθήκες μπορούν να μεταφραστούν ως εξής: επαρκής ποσότητα και ποιότητα φαγητού, κατάλληλη θερμοκρασία περιβάλλοντος, καλό οξυγόνο, νερό απαλλαγμένο από ρύπους, και ιχθυοφόρτιση η οποία διασφαλίζει την φυσιολογική κολύμβηση (λαμβάνοντας υπόψη τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και τις χωροκρατικές απαιτήσεις των ατόμων), καλές πιθανότητες για αποφυγή κινδύνου και καλή παρακολούθηση και έλεγχος της κατάστασης της υγείας των ψαριών (FAWC, 1996).

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της συμπεριφοράς, κυρίως όσον αφορά την μελέτη της κατανομής τους στον χώρο, μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθοδολογίες, κάποιες λιγότερο και κάποιες περισσότερο πολύπλοκες και χρονοβόρες (Kato *et al.*, 1996, 1999, 2004, Hader, 2001, Kane *et al.*, 2004, Xu *et al.*, 2005, 2006, Stien *et al.*, 2007). Η μεθοδολογία παρακολούθησης και ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι μη επεμβατική (non invasive) και αποτελεσματική γεγονός που, κατά την άποψή μας την καθιστά ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους ερευνητές που ασχολούνται με θέματα συμπεριφοράς των ιχθύων. Παρ' όλα αυτά,

επιδέχεται περαιτέρω βελτιώσεων κυρίως όσον αφορά στην αυτοματοποίηση διαφόρων, ακόμη χρονοβόρων διαδικασιών και κυρίως την δυνατότητα επέκτασης της παρακολούθησης και ανάλυσης σε τρισδιάστατο επίπεδο. Προφανώς, στην παρούσα περίπτωση, επειδή οι όγκοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μικροί και το πλάτος των ενυδρείων περιορισμένο, η αναγωγή του τρισδιάστατου σε δυσδιάστατο επίπεδο δεν φαίνεται να αλλοιώνει την πραγματική εικόνα της κατανομής των ψαριών στον χώρο, όσο τουλάχιστον αυτό μπορεί να εκτιμηθεί από την *in situ* παρατήρηση. Όμως, σε μεγαλύτερους όγκους, είναι πιθανόν η μέθοδος αυτή να μην μπορούσε να εφαρμοστεί λόγω έλλειψης αναλογικότητας και αντιπροσωπευτικότητας των καταγραφών που θα μπορούσαν να εξαχθούν και να μελετηθούν με αυτόν τον τρόπο.

Η στατιστική που εφαρμόστηκε, έδειξε σημαντική επίδραση των μεταβλητών «*ιχθυοφόρτιση*», «*διατροφική συνθήκη*» και «*ημέρα παρατήρησης*» για την κατακόρυφη κατανομή και της μεταβλητής «*ημέρα παρατήρησης*» για την οριζόντια κατανομή των ιχθυδίων λαυρακιού που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη αυτή. Ειδικά, αν η επίδραση της μεταβλητής «*διατροφική συνθήκη*» τυποποιηθεί (standardized) για την επίδραση όλων των σημαντικών κύριων όρων (main terms) και αλληλεπιδράσεων, παρατηρείται ότι τα μη σιτιζόμενα ιχθύδια κολυμπούσαν σε χαμηλότερο κατά μέσο όρο επίπεδο στην στήλη του νερού από ότι τα ιχθύδια που ταΐζονταν. Η αλληλεπίδραση «*διατροφική συνθήκη x θερμοκρασία*» υποδεικνύει ότι η στέρησης τροφής (χαμηλότερη τοποθέτηση της ομάδας των μη σιτιζόμενων ιχθυδίων) είναι ιδιαίτερα σημαντική στην χαμηλότερη θερμοκρασία (Εικόνα 6Γ). Όσον αφορά την μεταβλητή «*ημέρα παρατήρησης*», παρατηρήθηκε ότι την πρώτη ημέρα παρατήρησης

όταν τα ιχθύδια ήταν στρεσαρισμένα λόγω του εγκλιματισμού, κολυμπούσαν χαμηλότερα στην στήλη του νερού σε σύγκριση με τις υπόλοιπες πειραματικές ημέρες. Το ίδιο παρατηρήθηκε και όσον αφορά στην οριζόντια κατανομή τους, όπου την πρώτη ημέρα εμφανίστηκαν να κοπαδιάζουν στην δεξιά περιοχή του ενυδρείου ενώ μετέπειτα άρχισαν να κατανέμονται σε όλο το διαθέσιμο χώρο (όγκο νερού). Το γεγονός ότι τα ιχθύδια που δεν ταΐζονταν έτειναν να κολυμπούν χαμηλότερα στην στήλη του νερού μπορεί να αποδοθεί στις εξασθενημένες φυσιολογικές λειτουργίες τους (Ehrlich *et al.*, 1976, Gehrke, 1988) και σε επακόλουθες βιοχημικές μεταβολές στη σύνθεση του μυϊκού ιστού τους, όπως έχει δειχθεί σε διάφορα είδη (Sumpter *et al.*, 1991, Chung & De, 1998, Einen *et al.*, 1998, Rios *et al.*, 2002, Pirhonen *et al.*, 2003, Tripathi & Verma, 2003, Lemieux *et al.*, 2004) ή/και ακόμα ως μία φυσική συνέπεια της μικρότερης κινητικότητας τους (παθητική βύθιση). Η κατανομή αυτή στον χώρο παρατηρήθηκε επίσης ότι επηρεάζεται από τον χρόνο, καθώς τα ιχθύδια δεδομένου ότι με την πάροδο των ημερών επιδειωνόταν η εξασθένισή τους λόγω της έλλειψης τροφής, το επίπεδο στο οποίο κολυμπούσαν μετατοπιζόνταν προς τα κάτω (Εικόνα 6Α). Η πλειοψηφία των μελετών σχετικά με τις επιπτώσεις της ασιτίας έχει επικεντρωθεί στις επιδράσεις της όσον αφορά στην αύξηση, και τις μεταβολές στην συγκέντρωση της μυϊκής πρωτεΐνης και την σύνθεση του λίπους όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα (Sumpter *et al.*, 1991, Chung & De, 1998, Einen *et al.*, 1998, Rios *et al.*, 2002, Pirhonen *et al.*, 2003, Tripathi & Verma, 2003, Lemieux *et al.*, 2004). Η επίδραση παρατεταμένης στέρησης τροφής στην ευζωία (welfare) των ψαριών που ταΐζονταν κανονικά προηγουμένως δεν είναι γνωστή. Η στέρηση τροφής σε εκτρεφόμενα ψάρια συνηθίζεται για σύντομες περιόδους (πριν από συγκεκριμένες διαχειριστικές διαδικασίες όπως η μεταφορά

και η θεραπεία ασθενειών) υπό κατάλληλες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασίας και εποχής) και μπορεί να μην προκαλέσει προβλήματα στο ευ ζην τους (FSBI, 2002). Ωστόσο, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη άλλες πιθανές επιδράσεις της στέρησης της τροφής και της μειωμένης θρέψης, όπως οι μεταβολές στην μεταβολική δραστηριότητα (Martinez *et al.*, 2003) και αλλαγές στην συμπεριφορά που σχετίζονται με τον ανταγωνισμό και την πιθανότητα για αυξημένη επιθετικότητα. Έτσι, οι Hecht & Pienaar (1993) έδειξαν ότι στο Αφρικάνικο γατόψαρο *Clarias gariepinus* (Burchell), μια σταδιακή μείωση της διαθεσιμότητας της τροφής είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της συμπεριφοράς χωρικής κυριαρχίας και των επιθέσεων. Επίσης, οι Alanara *et al.* (2001) και Brannas *et al.* (2003) έδειξαν ότι συνθήκες υποσιτισμού μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στις στρατηγικές χωρικής συμπεριφοράς και στα πρότυπα δραστηριότητας στην πέστροφα *Salmo trutta* L.

Σημαντική επίδραση στην κατανομή των ιχθυδίων στον χώρο διαφάνηκε, από την παρούσα μελέτη, να έχει και η μεταβλητή «ιχθυοφόρτιση», η οποία, έχει επισημανθεί από αρκετούς συγγραφείς, να επηρεάζει πολλές από τις ζωοτεχνικές επιδόσεις των ψαριών υπό ελεγχόμενες συνθήκες (Paspatis *et al.*, 2003, Di Marco *et al.*, 2008, Gornati *et al.*, 2004, Sammouth *et al.*, 2009). Γενικά πιστεύεται ότι η αύξηση της ιχθυοφόρτιση έχει αρνητική επίδραση στις επιδόσεις (performance) των ψαριών που σχετίζονται με την αύξηση, την τροφοληψία, την επιβίωση και την μετατρεψιμότητα της τροφής, επειδή προκαλεί καταπόνηση το μεταβολικό κόστος της οποίας οδηγεί στην μείωση της αξιοποίησης (utilization) της τροφής (Khwuanjai Hengsawat *et al.*, 1997). Στην παρούσα μελέτη, ο πληθυσμός με την μεγαλύτερη ιχθυοφόρτιση βρέθηκε να κολυμπά σε υψηλότερα

επίπεδα στην στήλη του νερού. Σε παρόμοιο αποτέλεσμα είχαν καταλήξει και οι Kristiansen *et al.* (2004) στην γλώσσα *Hippoglossus hippoglossus* L., όπου τα άτομα που διατηρούνταν σε συνθήκες υψηλής ιχθυοφόρτισης παρατηρήθηκαν να κολυμπούν κοντά στην επιφάνεια του νερού. Αυτό μπορεί να συμβαίνει επειδή, υπό αυτές τις συνθήκες, τα ψάρια, λόγω της υψηλής κινητικότητας και του υψηλού μεταβολικού κόστους της καταπόνησης που υφίστανται, είναι περισσότερο πεινασμένα, γεγονός που τα οδηγεί κοντά στην επιφάνεια του νερού όπου είναι συνηθισμένα να αναμένουν την χορήγηση της τροφής (Siddiqui, *et al.*, 1993, Khwuanjai Hengsawat *et al.*, 1997, Hecht & Uys, 1997). Μελέτες τόσο σε καθαρά πειραματικές συνθήκες όσο και σε συνθήκες παραγωγής δείχνουν ότι η επίδραση της ιχθυοφόρτισης στην ευζωία των ψαριών ποικίλει από είδος σε είδος. Για παράδειγμα, το λαυράκι επέδειξε μεγαλύτερα επίπεδα καταπόνησης σε υψηλές ιχθυοφορτίσεις, όπως διαφάνηκε από τις ενδείξεις κορτιζόλης, ενδογενούς ανοσοποιητικής απόκρισης και την έκφραση γονιδίων σχετιζόμενων με το στρες (Vazzana *et al.*, 2002, Gornati *et al.*, 2004). Υψηλές ιχθυοφορτίσεις σε ιχθύδια τσιπούρας *Sparus aurata* L., επίσης προξενούν μία κατάσταση χρόνιου στρες, όπως διαπιστώνεται από τα υψηλά επίπεδα κορτιζόλης, την ανοσοκαταστολή και από αλλαγές στον μεταβολισμό (Montero *et al.*, 1999). Σε αντίθεση, το Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., τρέφεται και αναπτύσσεται καλά σε υψηλές ιχθυοφορτίσεις αλλά παρουσιάζει χαμηλά επίπεδα τροφοληψίας και ρυθμούς αύξησης σε χαμηλές ιχθυοφορτίσεις (Jorgensen *et al.*, 1993). Στο halibut, ένα μη κοινωνικό πλατύψαρο που περνά τον περισσότερο χρόνο του ακίνητο στον πυθμένα της θάλασσας, η ανεκτικότητα σε υψηλές ιχθυοφορτίσεις φαίνεται να επηρεάζεται από το στάδιο ανάπτυξης. Έτσι, οι Greaves & Tuene (2001) έδειξαν ότι τα άτομα μικρής ηλικίας

είχαν καλύτερη αύξηση και λιγότερες εκδορές από επιθετικές συμπεριφορές ομοίων τους στις μεγαλύτερες ιχθυοφορτίσεις, ενώ οι Kristiansen *et al.* (2004) παρατήρησαν μη φυσιολογική δραστηριότητα, κολύμβηση στην επιφάνεια, μειωμένη κατανάλωση τροφής και μειωμένους ρυθμούς αύξησης όταν αυξάνονταν η ιχθυοφόρτιση σε πληθυσμούς ενηλίκων ατόμων.

Όταν η επίδραση της «*ιχθυοφόρτισης*» συνδυάστηκε με αυτήν της «*θερμοκρασίας*» στην παρούσα μελέτη, τότε και στον πληθυσμό ενδιάμεσης ιχθυοφόρτισης (10 fish/l) παρατηρήθηκε εντοπισμός της δραστηριότητας (κολύμβηση) στα επιφανειακά στρώματα του νερού. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι και ο παράγοντας «*θερμοκρασία*» μπορεί να έχει μία πιθανή επίδραση στην περίπτωση αυτή. Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία επηρεάζει τον μεταβολισμό των ψαριών (Beamish, 1978, Schurmann & Steffensen, 1997, Claireaux & Lagardere, 1999, Person-Le Ruyet, 2004, Sfakianakis, 2009). Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες θερμοκρασίες είναι πιο στρεσογόνες είτε από μόνες τους είτε λόγω της συνδυασμένης δράσης της μειωμένης διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό και της αυξημένης απαίτησης του ψαριού σε οξυγόνο λόγω υψηλότερου μεταβολισμού. Ο μεταβολισμός του ψαριού αυξάνεται και συνεπώς και η ζήτηση σε τροφή η οποία εκδηλώνεται με μία συμπεριφορά παρόμοια με την συμπεριφορά που περιγράφηκε νωρίτερα για τον πληθυσμό της υψηλής ιχθυοφόρτισης δηλ. κολύμβηση στα επιφανειακά στρώματα του νερού. Η θερμοκρασία ασκεί μία σημαντική επίδραση στην κολυμβητική ικανότητα του ψαριού με τις επιδράσεις της να αποδίδονται κυρίως στην μεταβολή της μοριακής κινητικής και των ρυθμών των βιοχημικών αντιδράσεων που μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε προωστική κίνηση (Beamish, 1978), όπως επίσης στην

μεταβολή των φυσικών ιδιοτήτων του νερού, που μπορούν να επηρεάσουν την κίνηση του ψαριού (Fuiman & Batty, 1997, Johnson *et al.*, 1998).

Συχνά οι αποκλίσεις της συμπεριφοράς που παρατηρούνται πάντα πριν από καταστάσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε θνησιμότητα δεν αξιολογούνται ή ερμηνεύονται λανθασμένα με αποτέλεσμα η έλλειψη πρόγνωσης μιας στρεσογόνου κατάστασης να οδηγεί σε μη αναστρέψιμα αποτελέσματα (Kentouri & Divanach, 1983). Το χρόνιο στρες επιδρά στην συμπεριφορά και κάποιες φορές μπορεί να οδηγήσει στην υιοθέτηση μιας άτυπης και ασυνήθιστης συμπεριφοράς, όπως είναι τα «στερεότυπα». Συνεπώς η «αξιολόγηση» της συμπεριφοράς σε σχέση με το χρόνιο στρες μπορεί να αποβεί πολύ χρήσιμη για την εκτίμηση της ευζωίας ενός οργανισμού. Επιπρόσθετα, για την εκτίμηση του βαθμού ευζωίας, μέχρι τώρα δεν φαίνεται να έχουν βρεθεί άλλοι μη επεμβατικοί δείκτες πέραν των δεικτών συμπεριφοράς. Όμως οι βιβλιογραφικές αναφορές που σχετίζονται με την στερεοτυπική συμπεριφορά στα ψάρια είναι σπάνιες. Η στερεοτυπική συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο/πρότυπο στα ζώα (συχνά φαινομενικά μη λειτουργική συμπεριφορά). Τα στερεότυπα μπορεί να είναι το αναπόφευκτο αποτέλεσμα ενός «περιορισμένου» περιβάλλοντος που δεν επιτρέπει την ελευθερία κινήσεων (Jensen, 2002) και συχνά έχει συσχετιστεί με την έκθεση σε χρόνιο στρες το οποίο επάγεται από όχι και τόσο ευνοϊκές συνθήκες εκτροφής (Masson, 1991, Mench & Mason, 1997, Robert, *et al.*, 1997). Η ανάπτυξη στερεοτύπων αποτελεί συχνά μία απόκριση σε κάποια κακή εμπειρία (frustration), αποθάρρυνση (thwarting) ή σύγκρουση κινήτρων (conflict) (Würbel & Stauffacher, 1997). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δείχνουν

ότι τα ιχθύδια λαυρακιού μπορούν να αναπτύξουν στερεότυπες συμπεριφορές. Η έκθεση στους παράγοντες «*ιχθυοφόρτιση*», «*θερμοκρασία*» και «*διατροφική συνθήκη*» καθώς και η αλληλεπίδραση των συνθηκών αυτών ήταν αιτία ανάπτυξης στρεσοτυπικών συμπεριφορών οι οποίες αύξαναν σε συχνότητα εμφάνισης και ένταση με την πάροδο του πειραματικού χρόνου (χρόνιο στρες) και σταδιακά οδήγησαν στην εξασθένιση και τον θάνατο των ιχθυδίων (κακό «*ευζην*»).

Οι αλλαγές που παρατηρήθηκαν στην μορφομετρία των μη σιτιζόμενων ιχθυδίων με την πάροδο του χρόνου, έχουν αναφερθεί και σε άλλες μελέτες που αφορούσαν όμως κυρίως νύμφες ψαριών. Η συρρίκνωση του στομάχου, ως αποτέλεσμα της μείωσης του ύψους των επιθηλιακών κυττάρων του και του συνδετικού ιστού του, που ήταν μία αναμενόμενη άμεση απόκριση στην στέρησης τροφής, παρατηρήθηκε και σε νύμφες κυπρίνου (*Cyprinus carpio*) και ρίκε (*Esox lucius*) από τον Kostomarov το 1962 όπως επίσης και σε νύμφες γλώσσας (*Pleuronectes platessa*) και ρέγγας (*Clupea harengus*) από τους Ehrlich *et al.* το 1976. Οι τελευταίοι συγγραφείς επίσης αναφέρονται σε αλλαγές παρόμοιες με αυτές που βρέθηκαν και στην παρούσα μελέτη ὅσον αφορά την κοιλιακή χώρα, μεταξύ του κοιλιακού και του εδρικού πτερυγίου, (που οριοθετεί την «κοιλιακή γωνία») όπου παρουσιάστηκε μία σταδιακή εμφάνιση μιας προς τα μέσα καμπυλότητας της εξωτερικής γραμμής του σώματος (μείωση της «κοιλιακής γωνίας») που γινόταν εντονότερη με τον χρόνο καθώς και μια τάση αλλαγής του πάνω μέρους της κεφαλής των ιχθυδίων από κυρτό σε κοίλο. Φαίνεται πιθανότατα ότι ο επιπλέον λιπώδης ιστός χρησιμοποιήθηκε καταβολικά από το κεφάλι των ιχθυδίων του λαυρακιού λόγω της στέρησης τροφής και αυτό προκάλεσε την

συρρίκνωση στο σημείο αυτό κάτι που μπορεί να επεξηγεί και το γιατί εμφανίστηκαν ιχθύδια στο νερό με το κεφάλι προς τα κάτω (αρνητική πλευστότητα) κατά την παθητική μετακίνηση στο ΠΕΣ 9 που αναφέρεται στον πίνακα 4. Στις αλλαγές που συμβαίνουν στα εσωτερικά όργανα και στην βιοχημική σύνθεση του ψαριού κατά την στέρηση τροφής έχει γίνει εκτενής ανασκόπηση από τον Love (1970). Τόσο αυτή η μελέτη όσο και μεταγενέστερες (Johnston & Goldspink, 1973, Stirling, 1976, Salam *et al.*, 2000, Sant' Anna Rios *et al.*, 2009) έδειξαν μία επιλεκτική ελάττωση των αποθεμάτων του σώματος με ακόλουθη αύξηση του περιεχομένου του σε νερό και ανόργανα κατάλοιπα και μείωση των μυϊκών ινών. Επίσης ανέφεραν μία πιθανή επιλεκτικότητα της επίδρασης πάνω σε διάφορα όργανα με το έντερο (gut) και το συκώτι να επηρεάζονται πρώτα, κυρίως στα μεταβολικά μονοπάτια όπου εμπλέκονται με την αποθήκευση ουσιών. Συνεπώς και σύμφωνα με τα παραπάνω η καμπυλότητα που παρουσιάζεται στην περιοχή μεταξύ του κοιλιακού και του εδρικού πτερυγίου του λαυρακιού στην παρούσα μελέτη οφείλεται προφανώς στην συρρίκνωση των πεπτικών σπλάχνων (εντόσθια) της περιοχής όπως εντέρου, πεπτικού σωλήνα, συκωτιού και στομάχου.

Συμπερασματικά, σε αυτή την μελέτη, με την χρήση μιας μη επεμβατικής, και σχετικά εύκολης μεθοδολογίας απόκτησης και ανάλυσης δεδομένων, μπορέσαμε να αποδείξουμε την σημαντική επίδραση των μεταβλητών «*ιχθυοφόρτιση*», «*διατροφική συνθήκη*» και «*ημέρα παρατήρησης*» στην συμπεριφορά των ιχθυδίων λαυρακιού στην κατακόρυφη και οριζόντια κατανομή τους. Επίσης, η μεταβλητή «*θερμοκρασία*» βρέθηκε να επηρεάζει την κατανομή όταν συνδυαζόταν με τις μεταβλητές «*ιχθυοφόρτιση*» και «*διατροφική συνθήκη*», αλλά αυτή η επίδραση φάνηκε να υπερκαλύπτεται από άλλες μεταβλητές.

Συνεπώς, διακυμάνσεις των μεταβλητών αυτών πέραν των φυσιολογικών ορίων ανοχής μπορεί να έχουν αρνητικές επιδράσεις στην ευζωία (welfare) των ιχθυδίων λαυρακιού και αρνητικότερες επιπτώσεις στο αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο Ενυδρείο Κρήτης «Θαλασσόκοσμος» για την ευγενή παροχή των εγκαταστάσεων του για την διεξαγωγή του πειράματος. Ιδιαίτερες ευχαριστίες επίσης εκφράζω στον Δρ. Σωμαράκη Στέλιο για την καταλυτική του συμβολή στην στατιστική επεξεργασία των δεδομένων και στον Δρ. Παπαδάκη Βασίλη για την συνεργασία μας στο κομμάτι του λογισμικού, καθώς και στον φοιτητή Πετρούτσο Ιάσωνα για την βοήθεια του στην ανάλυση των βίντεο-καταγραφών. Η οικονομική υποστήριξη για την παρούσα μελέτη χορηγήθηκε από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα 022720 με τίτλο FASTFISH on farm assessment of stress level in fish (2006-2009).

Κεφάλαιο 5



Γενικά συμπεράσματα

Η γενική υπόθεση αυτής της μελέτης είναι η σχέση απόκρισης μεταξύ περιβαλλοντικών συνθηκών και σταδίων ανάπτυξης του λαβρακιού, η οποία εκφράζεται μέσα από την ανάπτυξη συμπεριφορών σε κάθε στάδιο ανάπτυξης και φάση εκτροφής, με στόχο την επιτυχή αντιμετώπιση από το ίδιο το ψάρι των συνθηκών αυτών είτε είναι οι κατάλληλες για κάθε περίπτωση εκτροφής είτε ακατάλληλες και στρεσογόνες για αυτό.

Δεδομένης της πιο πάνω υπόθεσης λοιπόν οι επιμέρους στόχοι και παράγοντες που μελετήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι:

(α) η διερεύνηση της οντογένεσης της συμπεριφοράς σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα εκτροφής, αυτού της εντατικής εκτροφής και αυτού της εκτροφής με την μέθοδο του μεσοκόσμου (Κεφ. 2),

(β) η διερεύνηση της κολύμβησης και γενικά της συμπεριφοράς ιχθυδίων λαβρακιού προπάχυνσης μετά από αιφνίδιες αλλαγές στο περιβάλλον μέσο κολύμβησης (Κεφ. 3), και

(γ) ο προσδιορισμός της επίδρασης πιθανών στρεσογόνων περιβαλλοντικών συνθηκών στην ευζωία του λαβρακιού εκφραζόμενη ως αποκρίσεις στην συμπεριφορά χωρικής κατανομής και προτύπων συμπεριφοράς γενικότερα (Κεφ. 4).

ΚΥΡΙΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Αντικειμενική περίπτωση/στόχος μελέτης 1: Υπάρχουν διαφορές όσον αφορά την συμπεριφορά των λαβρακιών κατά την μορφολογική αναπτυξιακή τους πορεία σε κάθε μέσο εκτροφής που μελετήθηκε; Και αν ναι, υπάρχουν διαφορές σε αυτήν, στα δύο διαφορετικά μέσα εντατικής εκτροφής και μεσοκόσμου;

- Κατά την διάρκεια της οντογένεσης τα άτομα παρουσιάζουν ορισμένες ξεκάθαρες αλλαγές στην συμπεριφορά τους, οι οποίες είναι ισχυρά σχετιζόμενες με την μορφολογική τους οντογένεση καθώς και το σύστημα εκτροφής στο οποίο μεγαλώνουν.
- Συγκεκριμένα, όσον αφορά την κολυμβητική τους δραστηριότητα (sustained/normal swimming), από το λεκιθοφόρο νυμφικό στάδιο μέχρι το νυμφικό στάδιο αλλάζει από μια σπασμωδική κολύμβηση με διακεκομμένες κινήσεις όπου οι λεκιθοφόρες νύμφες ξόδευαν τον περισσότερο χρόνο τους στην ανάπαυση, σε μία πιο ενεργητική, συνεχόμενη και συντονισμένη κίνηση. Το προηγούμενο παρατηρήθηκε και στα δύο υπό μελέτη συστήματα εκτροφής.

- Οι λεκιθοφόρες νύμφες της εκτροφής μεσοκόσμου στο στάδιο “100% χρωματισμός ματιών” εμφανίστηκαν πιο ενεργητικές από ότι οι λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής εκτροφής, αλλά δεν έδειξαν διαφορές στην δραστηριότητα τους στο στάδιο “50% άνοιγμα στόματος”, το οποίο στάδιο ξεκίνησε μία μόνο ημέρα αργότερα.
- Κατά την διάρκεια του σταδίου “50% άνοιγμα στόματος” (το οποίο εμφανίζεται με μία μόνο ημέρα διαφορά από το στάδιο “100% χρωματισμός ματιών” στις λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής εκτροφής) δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στην διάρκεια της δραστηριότητας μεταξύ των λεκιθοφόρων νυμφών των δύο υπό μελέτη συστημάτων εκτροφής. Αυτό το γεγονός τονίζει την πιθανή σημαντική επίδραση που έχει το άνοιγμα τους στόματος στην αύξηση της διάρκειας της περιόδου δραστηριότητας των λεκιθοφόρων νυμφών.
- Υπό εντατικές συνθήκες εκτροφής, η ταχύτητα “sustained” κολύμβησης (Hammer, 1995) (η λεγόμενη “routine speed”), αμέσως μετά την είσοδο των νυμφών στην ετερότροφη φάση, άρχισε μία αυξητική γραμμή μεταξύ των σταδίων που μελετήθηκαν, με μία σημαντική αύξηση μεταξύ του σταδίου της κάμψης της νωτοχορδής (flexion) και της έναρξης της μεταμόρφωσης. Μετά από αυτό το στάδιο, η ταχύτητα κολύμβησης μειώθηκε πάλι, από το στάδιο της έναρξης της

μεταμόρφωσης μέχρι το στάδιο της ολοκλήρωσης όλων των πτερυγίων, αλλά παρέμεινε υψηλότερη από την μέση ταχύτητα κολύμβησης που βρέθηκε στο στάδιο του πρώτου ταισίματος μέχρι το στάδιο της κάμψης της νωτοχορδής.

- Στην εκτροφή του μεσοκόσμου, παρόλο που και εκεί παρουσιάστηκε αύξηση των ταχυτήτων κολύμβησης κατά την διάρκεια του αναπτυξιακού χρόνου, δεν παρατηρήθηκε έντονη αύξηση μεταξύ των μελετούμενων σταδίων όπως θα ήταν αναμενόμενο για τα στάδια μεταξύ κάμψης της νωτοχορδής και έναρξης της μεταμόρφωσης (σχετικά με τις μορφολογικές αλλαγές που συμβαίνουν, όπως η κάμψη της νωτοχορδής και ο σχηματισμός του ουραίου και του εδρικού πτερυγίου) όπως παρατηρήθηκε στην εντατική εκτροφή.
- Τα ψάρια στον μεσόκοσμο υφίστανται τις ίδιες μορφολογικές αλλαγές από το στάδιο της κάμψης της νωτοχορδής μέχρι την έναρξη της μεταμόρφωσης όπως τα ψάρια της εντατικής εκτροφής, αλλά αυτή η σημαντική μορφολογική αλλαγή δεν φαίνεται να έχει μεγάλη επίδραση στην κολυμβητική δραστηριότητα πιθανόν επειδή τα ψάρια έχουν περισσότερο “χώρο” από ότι τα ψάρια στην εντατική εκτροφή (σχεδόν δέκα φορές πολλαπλάσιο όγκο νερού). Παρόλα αυτά, αυτή η αύξηση της κολυμβητικής ικανότητας των νυμφών της εντατικής εκτροφής είναι ισχυρά συνδεδεμένη με την μορφολογική αλλαγή που συνέβη σε εκείνο

το στάδιο που είναι η κάμψη του ουρόστου και ο σχηματισμός του ουραίου και του εδρικού πτερυγίου.

- Οι σημαντικά αυξημένες κολυμβητικές ταχύτητες της “sustained” κολύμβησης των νυμφών του μεσοκόσμου σε σύγκριση με αυτών της εντατικής εκτροφής και στις τρεις φάσεις που μελετήθηκαν (Α: από το πρώτο τάισμα μέχρι την κάμψη της νωτοχορδής, Β: από την κάμψη της νωτοχορδής μέχρι την έναρξη της μεταμόρφωσης και Γ: από την έναρξη της μεταμόρφωσης μέχρι τον σχηματισμό όλων των πτερυγίων) μπορεί να αποδοθεί στην διαφορά του διαθέσιμου “χώρου” κολύμβησης για κάθε άτομο, που αναφέρθηκε και προηγουμένως (ο διαθέσιμος “χώρος” στην εκτροφή μεσοκόσμου είναι δεκαπλάσιος του αντίστοιχου στην εντατική εκτροφή). Επίσης, θα μπορούσε να οφείλεται στον λιγότερο ανταγωνισμό για τροφή μεταξύ των ατόμων του μεσοκόσμου ο οποίος σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη ελευθερία “χώρου” προάγει την ευζωία (welfare) των ψαριών.
- Οι παρατηρούμενες αλλαγές των παραμέτρων συμπεριφοράς που “μετρήθηκαν” στην παρούσα μελέτη είναι σε αντιστοιχία/συμφωνία με την οντογένεση της συμπεριφοράς τροφοληψίας των ψαριών. Η αλλαγή και τα διαφορετικά πρότυπα συμπεριφοράς που περιγράφησαν είναι ουσιαστικά. Για παράδειγμα, ο χρωματισμός των ματιών κίνησε την έναρξη του κυνηγιού. Η συμπεριφορά κυνηγιού εμφανίστηκε την 1η και 2η dph, μετά την οριζόντια τοποθέτηση στο νερό και την

προσαρμογή στο φυσικό φώς των λεκιθοφόρων νυμφών του μεσόκοσμου, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι το φώς διέγειρε την ενέργεια αυτή. Από την άλλη πλευρά, η υιοθέτηση μίας συμπεριφοράς ψαξίματος και κυνηγητού από τις λεκιθοφόρες νύμφες της εντατικής εκτροφής πριν από την εμφάνιση οποιασδήποτε λείας στο μέσον, προσδίδει αποδεικτικά στοιχεία για μία εσωτερική υποκίνηση η οποία ευθύνεται για την ενέργεια/δράση αυτή.

- Οι δραστηριότητες που ακολουθούν την μετάβαση από το λεκιθοφόρο νυμφικό στο νυμφικό στάδιο μπορούν εύκολα να εξηγηθούν από τις συνεχόμενες αλλαγές των μορφολογικών δομών. Είναι προφανές ότι ο σχηματισμός των ακτινών των πτερυγίων, η αύξηση των διαστάσεων του σώματος και του στόματος τροποποιούν τις κολυμβητικές ικανότητες και την συμπεριφορά τροφοληψίας. Επίσης, η αποδοτικότητα της συμπεριφοράς που σχετίζεται με το ψάξιμο και το κυνηγητό λείας είναι ισχυρά συνδεδεμένη με την πλήρη ανάπτυξη της νηκτικής κύστης που συμβαίνει στις 10 dph για τις νύμφες της εντατικής εκτροφής και στις 5 dph για αυτές της εκτροφής του μεσοκόσμου.
- Κατά την διάρκεια της φάση “cofeeding” (σταδιακή απάλειψη της ζωντανής λείας στην τροφή) οι νύμφες συνεχίζουν να έχουν ισχυρή προτίμηση στην ζωντανή τροφή, παρόλο το γεγονός ότι η ξηρή τροφή

είχε εισαχθεί λίγες μέρες πριν δίνοντας έτσι στις νύμφες το περιθώριο χρόνου να “μάθουν” την καινούργια λεία. Αυτό υποστηρίζει την ανάγκη για ζωντανά ερεθίσματα (“δονήσεις” στο μέσο κολύμβησης από τις επανατοποθετήσεις) για την διαμόρφωση της αντίδρασης τους στο κυνήγι. Η φάση του “cofeeding” δεν θα μπορούσε να συμβεί νωρίτερα από τις 31 και 32 dph για την εντατική εκτροφή και την εκτροφή μεσοκόσμου αντίστοιχα, επιδεικνύοντας μία περίοδο προσαρμογής και “μάθησης” των νυμφών για την καινούργια τροφή (ξηρές νιφάδες/pellets) φανερώνοντας έτσι μία οντογενετική εξέλιξη στην συμπεριφορά.

- Οι νύμφες και από τις δύο εκτροφές έδειξαν μία σαφή κατεύθυνση (τα ψάρια τείνουν να κολυμπούν παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής) στα αναπτυξιακά στάδια της εκκίνησης της μεταμόρφωσης και του σχηματισμού όλων των πτερυγίων (πρώϊμα ιχθύδια). Αυτό είναι ένα πρώτο σημάδι της συμπεριφοράς κοπαδιάσματος το οποίο στα φυσικά ενδιατήματα συμβαίνει περισσότερο στα ιχθύδια και συμβαίνει με τοποθέτηση στο ρεύμα (ρεοτακτισμός).
- Οι πιο αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των δύο εκτροφών αφορούσαν διαφορές στην κολυμβητική απόδοση και ταχύτητα αλλά επίσης κάποια διαφορά παρουσιάστηκε και στην συμπεριφορά θήρευσης. Βάση των προηγούμενων θα μπορούσε να βγει το συμπέρασμα ότι τα ψάρια της

εντατικής εκτροφής παρουσιάζουν μία “καθυστέρηση” σε σύγκριση με αυτά της εκτροφής μεσοκόσμου και αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι οι συνθήκες του μεσοκόσμου προσομοιάζουν αυτές του φυσικού ενδιατήματος τους, ενώ υπο εντατικές συνθήκες αποτελούν ένα πιο στρεσογόνο περιβάλλον για τα εκτρεφόμενα ψάρια. Αυτό το στρεσογόνο περιβάλλον πιθανότατα έχει επίδραση στην εξέλιξη της συμπεριφοράς των ψαριών σε αιχμαλωσία.

- Η κατανόηση των διαφορετικών προτύπων της συμπεριφοράς και των ικανοτήτων/δραστηριοτήτων που εμφανίζουν τα λαβράκια στα πρώιμα στάδια της ζωής τους είναι απαραίτητη για την πιο αποτελεσματική διαχείριση, καθώς το ηθόγραμμα των νυμφών θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της ευζωίας των εκτρεφόμενων ψαριών, το οποίο θα μπορούσε να συνδυαστεί με άλλα εργαλεία τα οποία ήδη χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ποιότητας ψαριών.

Αντικειμενική περίπτωση/στόχος μελέτης 2: Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις που γίνονται στο περιβάλλον μέσο των ιχθυδίων λαβρακιού προπάχυνσης και αποτελούν απότομες (acute) αλλαγές, επηρεάζουν γενικότερα την συμπεριφορά τους;

- Η απότομη αλλαγή των συνθηκών του περιβάλλοντος μέσου (acute stress) στην περίπτωση της μεταφοράς σε γαλάζιου χρώματος υπόβαθρο προκαλεί «νευρική» κολύμβηση με πολλές επανατοποθετήσεις και αποτελεί κοινή αντίδραση μετά την έκθεση σε συνθήκες οξείας καταπόνησης «acute stressor». Η συγκεκριμένη αντίδραση αποτελεί κλασσικό παράδειγμα αντίδρασης τύπου «fright or flight», όπου στην περίπτωση της παρούσας μελέτης τα ψάρια υιοθέτησαν την δεύτερη αντίδραση, δηλαδή τα ψάρια κατέβηκαν αμέσως στον πάτο της δεξαμενής με γρήγορη κολύμβηση όπου και σχημάτισαν κοπάδι (schooling). Παρέμειναν στον πυθμένα μέχρι να ανακάμψουν. Έτσι συμπερασματικά μια αιτία σχηματισμού του κοπαδιού είναι για επανάκαμψη μετά από έκθεση σε κάποιο παράγοντα καταπόνησης.
- Παρόμοιες αποκρίσεις “flight” παρατηρήθηκαν και στις περιπτώσεις εισαγωγής του σιφωνίου στην δεξαμενή και της διαλογής των ψαριών. Τα ψάρια αντιδρούσαν σε αυτές τις ενέργειες με κινήσεις αποφυγής “escape responses” με ταχύτατες επανατοποθετήσεις μέσα στον όγκο του νερού και εμφάνιση του φαινομένου «στροβίλου» γύρω από το σιφόνι της δεξαμενής κολύμβησης (σαν «δαχτυλίδι») δηλαδή γύρω από το σιφόνι και σύμφωνα με την κίνηση του ρεύματος νερού (θετική ρεόταξη) που δημιουργείται γύρω από αυτό. Το γεγονός της

στροβιλώδους κολύμβησης γύρω από το φίλτρο θα μπορούσε να αποδοθεί στο ότι το νερό γύρω από το φίλτρο είναι πιο οξυγονωμένο και τα ψάρια μετά από μία καταπόνηση αναζητούν περιοχές μέσα στο νερό που θεωρούνται πιο «ασφαλείς». Επίσης το φίλτρο θα μπορούσε να λειτουργήσει και σαν υπόστρωμα για αυτά και έτσι κατάφευγαν κοντά σε αυτό κολυμπώντας σε συνάφεια όπως παρατηρήθηκαν να πράττουν και με τα τοιχώματα της δεξαμενής.

- Τα ψάρια σε χαμηλή ιχθυοφόρτιση δεν έδειξαν σημάδια ομαδοποίησης οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι ένα άτομο για να συμμετάσχει σε ένα «κοπάδι» θέλει προφανώς ένα συγκεκριμένο αριθμό άλλων ατόμων παρόντα. Θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να γίνει και περαιτέρω μελέτη για την διαπίστωση του ακριβή αριθμού λαβρακιών που πρέπει να υπάρχουν στη δεξαμενή προπάχυνσης για να πυροδοτηθεί ο σχηματισμός κοπαδιού κατά την κολύμβηση. Σε δεξαμενή προπάχυνσης βέβαια είναι δύσκολο να ειπωθεί ότι τα άτομα είναι μοναχικά λόγω του συγκριτικά περιορισμένου χώρου σε σχέση με το φυσικό τους περιβάλλον, αλλά μπορεί σίγουρα να ειπωθεί ότι τα λαβράκια δεν εμφάνισαν την προσανατολισμένη κίνηση σε ομάδα που κολυμπούσε παράλληλα με τα τοιχώματα της δεξαμενής την περισσότερη ώρα, όπως αυτό παρατηρήθηκε στην μεγάλη συγκριτικά ιχθυοφόρτιση.

Αντικειμενική περίπτωση/στόχος μελέτης 3: Οι διαφορετικές συνθηκές εκτροφής, όπως ιχθυοφόρτιση, θερμοκρασία, διατροφική συνθήκη, ημέρα παρατήρησης, επιδρούν στην κατανομή στον χώρο (spatial distribution) των νεαρών ιχθυδίων λαβρακιού; Υπάρχει πλαστικότητα όσον αφορά την συμπεριφοριστική αυτή παραμέτρο; θα ήταν πιθανή χρήση της για την εκτίμηση της ευζωίας του είδους;

- Η μεθοδολογία παρακολούθησης και ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι μη επεμβατική (non invasive) και αποτελεσματική γεγονός που, κατά την άποψή μας την καθιστά ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους ερευνητές που ασχολούνται με θέματα συμπεριφοράς των ιχθύων. Παρ' όλα αυτά, επιδέχεται περαιτέρω βελτιώσεων κυρίως όσον αφορά στην αυτοματοποίηση διαφόρων, ακόμη χρονοβόρων διαδικασιών και κυρίως την δυνατότητα επέκτασης της παρακολούθησης και ανάλυσης σε τρισδιάστατο επίπεδο.
- Η στατιστική που εφαρμόστηκε, έδειξε σημαντική επίδραση των μεταβλητών «*ιχθυοφόρτιση*», «*διατροφική συνθήκη*» και «*ημέρα παρατήρησης*» για την κατακόρυφη κατανομή και της μεταβλητής «*ημέρα παρατήρησης*» για την οριζόντια κατανομή των ιχθυδίων λαυρακιού που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη αυτή. Ειδικά, αν η επίδραση της μεταβλητής «*διατροφική συνθήκη*» τυποποιηθεί (standardized) για την επίδραση όλων των σημαντικών κύριων όρων (main terms) και αλληλεπιδράσεων, παρατηρείται ότι τα μη σιτιζόμενα ιχθύδια κολυπούσαν σε χαμηλότερο κατά μέσο όρο επίπεδο στην στήλη του νερού από ότι τα ιχθύδια που ταΐζονταν. Η αλληλεπίδραση

«διατροφική συνθήκη x θερμοκρασία» υποδεικνύει ότι η στέρσης τροφής (χαμηλότερη τοποθέτηση της ομάδας των μη σιτιζόμενων ιχθυδίων) είναι ιδιαίτερα σημαντική στην χαμηλότερη θερμοκρασία.

- Όσον αφορά την μεταβλητή «*ημέρα παρατήρησης*», παρατηρήθηκε ότι την πρώτη ημέρα παρατήρησης όταν τα ιχθύδια ήταν στρεσαρισμένα λόγω του εγκλιματισμού, κολυμπούσαν χαμηλότερα στην στήλη του νερού σε σύγκριση με τις υπόλοιπες πειραματικές ημέρες. Το ίδιο παρατηρήθηκε και όσον αφορά στην οριζόντια κατανομή τους, όπου την πρώτη ημέρα εμφανίστηκαν να κοπαδιάζουν στην δεξιά περιοχή του ενυδρείου ενώ μετέπειτα άρχισαν να κατανέμονται σε όλο το διαθέσιμο χώρο (όγκο νερού).
- Η κατανομή αυτή στον χώρο παρατηρήθηκε επίσης ότι επηρεάζεται από τον χρόνο, καθώς τα ιχθύδια δεδομένου ότι με την πάροδο των ημερών επιδεινωνόταν η εξασθένηση τους λόγω της έλλειψης τροφής, το επίπεδο στο οποίο κολυμπούσαν μετατοπιζόνταν προς τα κάτω.
- Σημαντική επίδραση στην κατανομή των ιχθυδίων στον χώρο διαφάνηκε να έχει και η μεταβλητή «*ιχθυοφόρτιση*». Ο πληθυσμός με την μεγαλύτερη ιχθυοφόρτιση βρέθηκε να κολυμπά σε υψηλότερα επίπεδα στην στήλη του νερού. Αυτό μπορεί να συμβαίνει επειδή, υπό αυτές τις συνθήκες, τα ψάρια, λόγω της υψηλής κινητικότητας και του υψηλού μεταβολικού κόστους της καταπόνησης που υφίστανται, είναι περισσότερο πεινασμένα, γεγονός που τα οδηγεί κοντά στην επιφάνεια του νερού όπου είναι συνηθισμένα να αναμένουν την χορήγηση της τροφής.

- Όταν η επίδραση της «*ιχθυοφόρτισης*» συνδυάστηκε με αυτήν της «*θερμοκρασίας*» στην παρούσα μελέτη, τότε και στον πληθυσμό ενδιάμεσης ιχθυοφόρτισης (10 fish/l) παρατηρήθηκε εντοπισμός της δραστηριότητας (κολύμβηση) στα επιφανειακά στρώματα του νερού. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι και ο παράγοντας «*θερμοκρασία*» μπορεί να έχει μία πιθανή επίδραση στην περίπτωση αυτή.
- Τα ιχθύδια λαυρακιού μπορούν να αναπτύξουν στερεότυπες συμπεριφορές. Η έκθεση στους παράγοντες «*ιχθυοφόρτιση*», «*θερμοκρασία*» και «*διατροφική συνθήκη*» καθώς και η αλληλεπίδραση των συνθηκών αυτών ήταν αιτία ανάπτυξης στρεσοτυπικών συμπεριφορών οι οποίες αύξαναν σε συχνότητα εμφάνισης και ένταση με την πάροδο του πειραματικού χρόνου (χρόνιο στρες) και σταδιακά οδήγησαν στην εξασθένιση και τον θάνατο των ιχθυδίων (κακό «*ευ ζην*»).
- Παρατηρήθηκαν αλλαγές στην μορφομετρία των μη σιτιζόμενων ιχθυδίων με την πάροδο του χρόνου. Παρουσιάστηκε συρρίκνωση του στομάχου. Στην κοιλιακή χώρα, μεταξύ του κοιλιακού και του εδρικού πτερυγίου, (που οριοθετεί την «*κοιλιακή γωνία*») παρουσιάστηκε μία σταδιακή εμφάνιση μιας προς τα μέσα καμπυλότητας της εξωτερικής γραμμής του σώματος (μείωση της «*κοιλιακής γωνίας*») που γινόταν εντονότερη με τον χρόνο καθώς και μια τάση αλλαγής του πάνω μέρους της κεφαλής των ιχθυδίων από κυρτό σε κοίλο.

- Συμπερασματικά, σε αυτή την μελέτη, με την χρήση μιας μη επεμβατικής, και σχετικά εύκολης μεθοδολογίας απόκτησης και ανάλυσης δεδομένων, μπορέσαμε να αποδείξουμε την σημαντική επίδραση των μεταβλητών *«ιχθυοφόρτιση»*, *«διατροφική συνθήκη»* και *«ημέρα παρατήρηση»* στην συμπεριφορά των ιχθυδίων λαυρακιού στην κατακόρυφη και οριζόντια κατανομή τους. Επίσης, η μεταβλητή *«θερμοκρασία»* βρέθηκε να επηρεάζει την κατανομή όταν συνδυάζοταν με τις μεταβλητές *«ιχθυοφόρτιση»* και *«διατροφική συνθήκη»*, αλλά αυτή η επίδραση φάνηκε να υπερκαλύπτεται από άλλες μεταβλητές. Συνεπώς, διακυμάνσεις των μεταβλητών αυτών πέραν των φυσιολογικών ορίων ανοχής μπορεί να έχουν αρνητικές επιδράσεις στην ευζωία (welfare) των ιχθυδίων λαυρακιού και αρνητικότερες επιπτώσεις στο αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας.

Βιβλιογραφία

- Able K.W., Fahay M.P. 1998. *The First Year in the Life of Estuarine Fishes in the Middle Atlantic Bight*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.
- Ahlstrom E.H. 1959. Vertical distribution of pelagic fish eggs and larvae of California and Baja California. *U.S. Fish Wild. Serv. Fish. Bull.* 60, 107-146p.
- Alanara A., Burns M.D., Metcalfe N.B. 2001. Intraspecific resource partitioning in brown trout: the temporal distribution of foraging is determined by social rank. *J. Anim. Ecol.* 70, 980-986p.
- Alexander R.D. 1974. The evolution of social behaviour. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 325-383p.
- Alliot E., Pastoureaud A., Thebault H. 1983. Influence de la température et de la salinité sur la croissance et la composition corporelle d'alevins de *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 31, 181-194p.
- Appelbaum S., Kamler E. 2000. Survival, growth, metabolism and behaviour of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) early stages under different light conditions. *Aquaculture Engineering* 22, 269-289p.
- Ashley P.J. 2007. Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, doi:10.1016/j.applanim.2006.09.001.
- Ashley E.J., Kats L.B., Wolfe J.W. 1993. Balancing trade-offs between risk and changing shoal size in northern red-belly dace (*Phoxinus eos*). *Copeia*, 540-542p.

- Barnabe G. 1976. Contribution a la connaissance de la biologie du loup *Dicentrarchus labrax* (L.) (Poisson, Serranidae). PhD Thesis, Université des Sciences et Technique du Languedoc, Montpellier, Station de Biologie Marine et Lagunaire Site
- Barnabe G. 1990. Rearing bass and gilthead bream. In: Aquaculture (Barnabé, G. Ed.), e. Ellis Horwood, New York, 647–686p.
- Barton B.A., Iwama G.K. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. Annual Review of Fish Diseases 1, 3-26p.
- Barton B.A. 2002. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. Integr. and Comp. Biol. 42, 517-525p.
- Battaglione S.C., Talbot R.B. 1993. Effects of salinity and aeration on survival and initial swimbladder inflation in larval Australian bass. The Progressive Fish- Culturist 55, 35-39p.
- Battaglione S.C., McBride S., Talbot R.B. 1994. Swim bladder inflation in larvae of cultured sand whiting *Sillago ciliata*, Cuvier (1829) (Sillaginidae). Aquaculture 128, 177-192p.
- Bauchot M.L. 1987. Poissons osseux. p. 891-1421. In: W. Fischer, M.L. Bauchot and M. Schneider (eds.) Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche. (rev.1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37. Vol. II. Commission des Communautés Européennes and FAO, Rome.
- Beamish F.W.H. 1978. Swimming capacity of fish. In: Fish Physiology (eds. W.S. Hoar and D.J. Randall), Vol. 7, Academic Press, Inc., New York, N.Y., 101-187p.
- Bellovino D., Menghieri E., Perozzi G., Nobili F., Vignolini F., Aprea M., Garaguso I., Ferreri F., Boglione C., Gaetani S. 1998. Optimization of

the control of embryonic development in teleosts grown in aquaculture: role of retinoids. *Biol. Mar. Medit.* 5, 959-967p.

Blaxter J.H.S. 1963. The feeding of herring larvae and their ecology in relation to feeding. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports Vol , 1 July 1962 to 30 June 1963, 79-88 p.

Brannas E., Jonsson S., Lundqvist H. 2003. Influence of food abundance on individual behavior strategy and growth rate in juvenile brown trout (*Salmo trutta*). *Can. J. Zool.* 81, 684-691p.

Britz P.J., Pienaar A.G. 1992. Laboratory experiments on the effect of light and cover on the behaviour and growth of African catfish, *Clarias gariepinus* (Piscis: Clariidae). *Journal of Zoology London* 22, 43-62p.

Broom D.M. 1998. Welfare, stress and the evolution of feelings. *Adv. Stud. Behav.* 27, 371-403p.

Broom D.M., Johnson K.G. 1993. *Stress and Animal Welfare*. Kluwer, Dordrecht.

Brown C. 2000. The behavioural ecology of predator avoidance in rainbowfish (*Melanotaenia spp.*). Ph.D. thesis, University of Queensland.

Brown C., Warburton K. 1999. Social mechanisms enhance escape responses in shoals of rainbowfish (*Melanotaenia duboulayi*). *Environmental Biology of Fishes* 56, 455-459p.

Brown J.A. 1985. The adaptive significance of behavioral ontogeny in some centrarchid fishes. *Environmental Biology of Fishes* 13, 25-34p.

Brown J.A., Wiseman D., Kean P. 1997. The use of behavioural observations in the larviculture of cold-water marine fish. *Aquaculture* 155, 297-306p.

- Cataudella S., Tancioni L., Cannas A. 2001. L'Acquacoltura estensiva. In: Cataudella, S., Bronzi P. (Eds.) Acquacoltura responsabile, 283-304p.
- Chatain B. 1986. La vessie natatoire chez *Dicentrarchus labrax* et *Sparus auratus*: 1. Aspects morphologiques du développement. Aquaculture 53, 303-311p.
- Chatain B. 1989. Problems related to the lack of functional swimbladder in intensive rearing of *Dicentrarchus labrax* and *Sparus auratus*. Advances in tropical aquaculture, Tahiti, February 20-March 4, 1989. IFREMER (Inst Fr Rech Exploit Mer) Actes Colloq 9, 599-709p.
- Chatain B., Ounais-Guschemann N. 1990. Improved rate of initial swim bladder inflation in intensively reared *Sparus auratus*. Aquaculture. 84, 345-353p.
- Chervinsky J. 1974. Sea bass, *Dicentrarchus labrax* Linnaeus (Pisces, Serranidae) a "police-fish" in fresh water ponds and its adaptability to various saline conditions, Badmige 26, 110-113p.
- Chung K.S., De B M.I.S. 1998. RNA-DNA ratio as physiological condition of rainbow trout fry fasted and fed. Ital. J. Zool. 65, 517-519p.
- Claireaux G., Lagardère J.P. 1999. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of European sea bass. J. Sea Res. 42, 157-168p.
- Dalla Via J., Villani P., Gasteiger E., Niederstatter H. 1998. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. Aquaculture 169, 303-313p.
- Davis W.P., Birdsong R.S. 1973. Coral reef fishes which forage in the water column: a review in their morphology, behavior, ecology and evolutionary implications Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen 24, 292-306p.

- Dawkins M.S. 1983. Battery hens name their price: consumer demand theory and the measurement of ethological “needs”. *Animal behavior* 31, 1195-1205p.
- Dawkins M.S. 1998. Evolution and animal welfare. *Quarterly Review of Biology* 73, 305-328p.
- De Silva Sena S. 2001. A global perspective of global aquaculture in the new millennium. FAO corporate Document Repository.
- Di Marco P., Priori A., Finoia 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, 319-328p.
- Diaz J.P., Prie-Granie M., Kentouri M., Varsamos S., Connes S. 2003. Development of the lateral line system in the sea bass. *Journal of Fish Biology* 62, 24-40p.
- Divanach P., Boglione C., Menu B., Koumoundouros G. Kentouri M., Cataudella S. 1996. Abnormalities in finfish mariculture: an overview of the problem, causes and solutions. In *Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects*. Chatain B. Saroglia M, Sweetman M., & Lavens P. Eds. European Aquaculture Society, Oostende (Belgium) Publ., 45-66p.
- Divanach P., Kentouri M. 1983. The influence of initial trophic conditions on oil globule resorption, growth and survival of gilthead sea bream, *Sparus auratus*, larvae in extensive breeding. *Aquaculture* 35, 43-55p.
- Divanach P., Kentouri M. 2000. Hatchery techniques for specific diversification in Mediterranean finfish larviculture. *Cahiers options méditerranéennes Vol 47. (Recent advances in Mediterranean Aquaculture finfish diversification)*, 75-87p.

- Dorit R.L., Walker W.F., Barnes R.D. 1991. Behavior. In: Zoology (Saunders College Publishing, USA), 457-480p.
- Dugatkin L.A., Godin J-G. 1992. Predator inspection, shoaling and foraging under predation hazard in the Trinidadian guppy, *Poecilia reticulata*. Environmental Biology of Fishes, 34, 265-276p.
- Duncan I.J.H., Fraser D. 1997. Understanding animal welfare. In: Appleby, M.C., Hughes, B.O. (Eds.), Animal Welfare, CAB International. University Press, Cambridge, 19-31p.
- Ehrlich K.F., Blaxter J.H.S., Pemberton R. 1976. Morphological and Histological Changes during the Growth and Starvation of Herring and Plaice Larvae. Marine Biology 35, 105-118p.
- Einen O., Waagan B., Thomassen M.S. 1998. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*). I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. Aquaculture 166, 85-104p.
- Ellis T., North B., Scott A.P., Bromage N.R., Porter M., Gadd D. 2002. The relationship between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. Journal of Fish Biology 61, 493-531p.
- Endler J.A. 1986. Defence against predators. In: Predator Prey Relationships (Feder, M.E. & Lauder, G.V., eds). 109-134p. University of Chicago Press, Chicago.
- Engeszer R. E., Barbiano L. A., Ryan M.J., Parichy D. M. 2007. Timing and plasticity of shoaling behavior in the zebrafish, *Danio rerio*. Animal Behavior 74, 1269-1275p.
- FAO. 2005. Increasing the contribution of small-scale fisheries to poverty alleviation and food security. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 10. Rome. 79p.

- FAO 2006. The state of world F, Fisheries and Aquaculture, 180 p.
(www.fao.org/fishery/en)
- FAO 2009. Fishery and Aquaculture Statistics: Capture Production Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2011. 138p.
- FAO 2010. Report of the Inception Workshop of the FAO Extrabudgetary Programme on Fisheries and Aquaculture for Poverty Alleviation and Food Security. Rome, 27–30 October 2009. FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 930. Rome. 68p.
- Faraway J.J. 2005. Extending the Linear Model with R: Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models (Texts in Statistical Science), Chapman & Hall/CRC.
- Farm Animal Welfare Council. 1996. Report on the welfare of farmed fish. FAWC, Surbiton, Surrey.
- Flores-Coto C., Rivas-Vega R., Zavala-García F., Sánchez-Robles J. 2001. Vertical distribution of larval carangids in the southern Gulf of Mexico. *Gulf Caribbean Research* 13, 1-8p.
- Fraser D., Weary D.M., Pajor E.A., Milligan B.N. 1997. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. *Anim. Welfare* 6, 187-205p.
- FSBI. 2002. Fish Welfare (Briefing Paper 2). Fisheries Society of the British Isles. Granta Information Systems: Cambridge, UK. <http://www.le.ac.uk/biology/fsbi/welfare.pdf>.
- Fuiman L. A., Batty R. S. 1997. What a drag it is getting cold: partitioning the physical and physiological effects of temperature on fish swimming. *J. Exp. Biol.* 200, 1745-1755p.

- Furevik D.M., Bjordal Å., Huse I., Fernö A. 1993. Surface activity of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in net pens. *Aquaculture* 11, 119-128p.
- García C., Rolán-Alvarez E., Sánchez L. 2006. Alarm reaction and alert state in *Gambusia Affinis* (Pisces, Poeciliidae) in response to chemical stimuli from injured conspecifics. *Journal of Ethology* 10, 41-46p.
- Gehrke P.C. 1988. Influence of gut morphology, sensory cues and hunger on feeding behaviour of spangled perch, *Leiupotherapun unicolor* (Günther, 1859), (Percoidei, Teraponidae). *J. Fish Biol.* 33, 189-201p.
- Georgakopoulou E., Sfakianakis D.G., Kouttouki S., Divanach P., Kentouri M., Koumoundouros G., 2007. The influence of temperature during early life on phenotypic expression at later ontogenetic stages in sea bass. *Journal of Fish Biology*, 70: 278-291p.
- Georgalas V., Malavasi S., Franzoi P, Torricelli P. 2007. Swimming activity and feeding behaviour of larval European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L): Effects of ontogeny and increasing food density. *Aquaculture*, 264, 418-427p.
- Godin J-G.J., Morgan M.J. 1985. Predator avoidance and school size in a cyprinodontid fish, the banded killifish (*Fundulus diaphanus* Lesueur). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 16, 105-110p.
- Goodey W., Liley N.R. 1985. Grouping fails to influence the escape behavior of the guppy. *Poecilia reticulata*. *Animal Behaviour* 33, 1032-1033p.
- Gornati R., Papis E., Rimoldi S., Terova G., Saroglia M., Bernardini G. 2004. Rearing density influences the expression of stress-related genes in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) *Gene* 341, 111-118p.
- Hart P.J.B. 1997. Foraging Tactics. Chapter 5 in: *Behavioural Ecology of Teleost Fishes* (Godin J-G. ed.). Oxford University Press.

- Hecht T., Pienaar A.G. 1993. A review of cannibalism and its implications in fish larviculture. *J. World Aquacult. Soc.* 24, 246-261p.
- Hecht T., Uys W. 1997. Effect of density on the feeding and aggressive behaviour in juvenile African catfish, *Clarias gariepinus*. *South African Journal of Science* 93, 537-541p.
- Hobson E.S. 1991. Trophic relationships of fishes specialized to feed on zooplankters above coral reefs. In: *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*, P.F. Sale (Ed.). Academic Press, San Diego. 69-95p.
- Hunter J.R. 1972. Swimming and feeding behavior of larval anchovy (*Engraulis mordax*). *Fish. Bull. U.S.* 70, 821-838p.
- Huntingford F.A. 2004. Implications of domestication and rearing conditions for the behavior of cultivated fishes. *J. Fish Biol.* 65A, 122-142p.
- Iwama G.K., Pickering A.D., Sumpter J.P., Schreck C.B. 1997. *Fish stress and health in aquaculture*. Society for Experimental Biology, no. 62. Cambridge, UK. Cambridge University Press. 287p.
- Iwama G.K., Vijayan M.M., Forsyth R.B., Ackerman P.A. 1999. Heat shock proteins and physiological stress in fish. *American Zoologist* 39, 901-909p.
- Jensen P. 2002. The study of animal behaviour and its applications. In: *The Ethology of Domestic Animals, an introductory text*. P. Jensen ed. CABI Publishing, UK. 3-11p.
- Johnson R.L., Geist D.R., Mueller R.P., Moursund R.A., Hedgepeth J., Fuhrman D., Wirtz A.R. 1998. Behavioral Acoustic Tracking System (BATS). Report prepared for U.S. Army Corps of Engineers Walla Walla District, Walla Walla, WA 99362, Battelle Pacific Northwest Division P.O. Box 999 Richland, WA 99352.

- Johnston I.A., Goldspink G. 1973. Some effects of prolonged starvation on the metabolism of the red and white myotomal muscles of the plaice *Pleuronectes platessa*. Mar. Biol. 19, 348-353p.
- Jorgensen E.H., Christiansen J.S., Jobling M. 1993. Effects of stocking density on food intake, growth performance and oxygen consumption in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Aquaculture 110, 191-204.
- Kaiser H., Weyl O., Hecht T. 1995a. Observations on agonistic behaviour of *Clarias gariepinus* larvae and juveniles under different densities and feeding frequencies in a controlled environment. Journal of Applied Ichthyology 11, 25-36.
- Kaiser H., Weyl O., Hecht T. 1995b. The effect of stocking density on growth, survival and agonistic behaviour of African catfish. Aquaculture International 3, 217-225.
- Kamler E. 2002. Ontogeny of yolk-feeding fish: an ecological perspective. Reviews in Fish Biology and Fisheries 12, 79-103p.
- Kato S., Tamada K., Shimada Y., Chujo T. 1996. A quantification of goldfish behavior by an image processing system. Behav. Brain Res. 80, 51-55p.
- Kato S., Devadas M., Okada K., Shimada Y., Ohkawa M., Muramoto K., Takizawa N., Matsukawa T. 1999. Fast and slow recovery phases of goldfish behavior after transection of the optic nerve revealed by a computer image processing system. Neuroscience 93, 907-914p.
- Kato S., Nakagawa T., Ohkawa M., Muramoto K., Oyama O., Watanabe A., Nakashima H., Nemoto T., Sugitani S. 2004. A computer image processing system for quantification of zebrafish behavior. J. Neurosci. Methods. 134, 1-7p.

- Keeling L., Jensen P. 2002. Behavioural disturbances, stress and welfare. In: The Ethology of domestic animals. P. Jensen ed. 79-98p. CABI Publishing, Reading, UK.
- Keenleyside M.H.A. 1995. Some aspects of the schooling behaviour of fish. *Behaviour* 8, 183-248p.
- Kendall J.L., Lucey K.S., Jones E.A., Wang J., Ellerby D.J. 2007. Mechanical and energetic factors underlying gait transitions in bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*). *Journal of Experimental Biology* 210, 4265-4271p.
- Kentouri M. 1985. Comportement larvaire de 4 Sparides mediterraneens en elevage: *Sparus aurata*, *Diplodus sargus*, *Lithognathus mormyrus*, *Puntazzo puntazzo* (Poissons teleosteens). Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- Kentouri M., Divanach P. 1983. Sur L' utilisation des critères pour déterminer l'état de sante et l' évolution probable des élevages de poissons marins.1. Cas des prelarves et des larves de *Diplodus sargus*, *Sparus aurata*, *Puntazzo puntazzo*, *Lithognathus mormyrus*. Bases biologiques de l' aquaculture, Montpellier, Ifremer. Actes de Colloques 1, 525-538p.
- Khwuanjai H, Ward F.J., Pornchai J. 1997. The effect of stocking density on yield, growth and mortality of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) cultured in cages. *Aquaculture* 152, 67-76p.
- Kostomarova A.A. 1962. Effect of starvation on the development of the larvae of bony fishes. *Trudy Inst. Morf. Zhivot.* 40, 4-77p.
- Koumoundouros G., Gagliardi F., Divanach P., Boglione C., Cataudella S., Kentouri M. 1997. Normal and abnormal osteological development of caudal fin in *Sparus aurata* L. fry. *Aquaculture* 149, 215-226p.

- Koumoundouros G. 1998. Ontogeny of functional morphology and quality criteria in larvae and juveniles of common dentex *Dentex dentex* (L. 1758), under rearing conditions. PhD Thesis, Biology Department, University of Crete, Heraklion 155p, in Greek with English summary.
- Koumoundouros G., Divanach P., Anezaki L., Kentouri M. 2001. Temperature-induced ontogenetic plasticity in sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Marine Biology* 139, 817-830p.
- Koumoundouros G., Pavlidis M., Anezaki L., Kokkari C., Sterioti A., Divanach P., Kentouri M. 2002a. Temperature sex determination in the European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L., 1758) (Teleostei, Perciformes, Moronidae): Critical sensitive ontogenetic phase. *Journal of Experimental Zoology* 292, 573-579p.
- Koumoundouros G., Sfakianakis D.G., Divanach P., Kentouri M. 2002b. Effect of temperature on swimming performance of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles. *Journal of Fish Biology* 60, 923-932.
- Krause J., Godin J-G.J. 1994. Shoal choice in the banded killifish (*Fundulus diaphanus*, Teleostei, Cyprinodontidae): effects of predation risk, fish size, species composition and size of shoals. *Ethology* 98, 128-136p.
- Krause J., Hoare D.J., Croft D., Lawrence J., Ward A., Ruxton G.D., Godin J-G.J., James R. 2000. Fish shoal composition: mechanisms and constraints. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 267, 2011-2017p.
- Kristiansen T.S., Ferno A., Holm J.C., Privitera L., Bakke S., Fosseidengen J.E. 2004. Swimming behaviour as an indicator of low growth rate and impaired welfare in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared at three stocking densities. *Aquaculture* 230, 137-151p.

- Leis J.M., Carson-Ewart B.M. 2003. Orientation of pelagic larvae of coral-reef fishes in the ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 252, 239-253p.
- Leis J.M., Hey A.C., Clark D.L., Chen I-S., Shao K-T. 2006. Behavioral ontogeny in larvae and early juveniles of the giant trevally (*Caranx ignobilis*) (Pisces: Carangidae). *Fishery Bulletin* 104 (3), 401-414p.
- Lemieux H., Dutil J.D., Guderley H., Larocque R. 2004. Growth, starvation and enzyme activity in white muscle of Atlantic cod: at what point do muscle metabolic capacities change? *Mar. Freshwater Behav. Physiol.* 37, 287-294p.
- Lima S.L. 1998. Predator induced stress and behavior. *Advances in the Study of Behavior* 27, 215-290p.
- Little E.E. 2002. Behavioral measures of environmental stressors in fish, in *Biological Indicators of Stress in Fish*, 2nd Ed., Adams, S.M., Ed., American Fisheries Society, Bethesda, 431p.
- Lloris D. 2002. A world overview of species of interest to fisheries. Chapter: *Dicentrarchus labrax*.
- Love R. M. 1970. *The chemical biology of fishes*, 547 p. London: Academic Press.
- Loy A., Boglione C., Gagliardi F. Ferrucci L., Cataudella S. 2000. Geometric morphometrics and internal anatomy in sea bass shape analysis (*Dicentrarchus labrax*: Moronidae). *Aquaculture* 186, 33-44p.
- Mackinson S., Nøttestad L., Guenette S., Pitcher T., Misund O. A., Ferno A. 1999. Cross-scale observations on distribution and behavioural dynamics of ocean feeding Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.). *ICES Journal of Marine Science*, 56, 613-626p.
- Manly B.F.J. 1994. *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. London: Chapman & Hall.

- Martinez M., Guderley H., Dutil J.D., Winger P.D., He P., Walsh S.J. 2003. Condition, prolonged swimming performance and muscle metabolic capacities of cod *Gadus morhua*. *J. Exp. Biol.* 206, 503-511p.
- Mason G.J. 1991. Stereotypes: a critical review. *Animal Behaviour* 41, 1015-1037p.
- Masuda R., Tsukamoto K. 1996. Morphological development in relation to phototaxis and rheotaxis in the striped jack, *Pseudocaranx dentex*. *Mar. Fresh. Behav. Physiol.* 28, 75-90p.
- Masuda R., Tsukamoto K. 1998. The ontogeny of schooling behaviour in the striped jack. *J. Fish Biol.* 52, 483-493p.
- Masuda R., Tsukamoto K. 1999. School formation and concurrent developmental changes in carangid fish with reference to dietary conditions. *Env. Biol. Fish.* 56, 243-252p.
- Mench J.A., Mason G.J. 1997. Behaviour. In: *Animal welfare*. Edited by M.C. Appleby and B.O. Hughes. CAB International UK. 127-141p.
- Montero D., Izquierdo M.S., Tort L., Robaina L., Vergara J.M. 1999. High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles. *Fish Physiol. Biochem.* 20, 53-60.
- Moreira F., Assis C.A., Almeida P.R., Costa J.L., Costa M.J. 1992. Trophic relationships in the community of the Upper Tagus Estuary (Portugal: a preliminary approach.). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 34, 617-23p.
- Moretti A., Pedini Fernandez-Criado M., Cittolin G., Guidastrì R. 1999. *Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream, Volume 1*. Rome, FAO.

- Munk P., Kiorbe T. 1985. Feeding behavior and swimming activity of larval herring (*Clupea harengus*) in relation to density of copepod larvae. Marine Ecology. Progress Series 24, 15-21p.
- Nogueira L.B, Azevedo P.G., Canelhas M.R., Bedore A.G., Lopes J.M., Godinho H.P. 2012. Induced spawning and early ontogeny in hatchery-reared catfish *Zungaro jahu* (Siluriformes: Pimelodidae). Neotropical Ichthyology 10, no1, 89-98p.
- Norton S.F., 1991. Capture success and diet of cottid fishes: the role of predator morphology and attack kinematics. Ecology 72, 1807-1819p.
- O'Brien WJ, Evans BI, Howick G. 1986. A new view of the predation cycle of a planktivorous fish, white crappie (*Pomoxis annularis*). Can J Fish Aquat Sci 43, 1894-1899p.
- O'Brien W.J., Evans B.I., Browman H.I. 1989. Flexible search tactics and efficient foraging in saltatory searching animals. Oecologia 80, 100-110p.
- O'Brien W.J., Browman H.I., Evans B.I. 1990. Search strategies in foraging animals. Amer. Sci. 78, 152-160p.
- O'Connor K.I., Taylor A.C., Metcalfe N.B. 2000. The stability of standard metabolic rate during a period of food deprivation in juvenile Atlantic salmon. Journal of Fish Biology 57, 41-51p.
- Olivar M.P., Sabates A. 1997. Vertical distribution of fish larvae in the north-west Mediterranean Sea in spring. Marine Biology 129, 289-300p.
- Papandroulakis N., Papaioannou D., Divanach P. 2002. An automated feeding system for intensive hatcheries. Aquacultural Engineering. 26 (1), 13-26p.
- Papoutsoglou S.E., Tziha G., Vrettos X., Athanasiou A. 1998. Effects of stocking density on behavior and growth rate of European sea bass

- (*Dicentrarchus labrax*) juveniles reared in a closed circulated system, *Aquacultural Engineering* 18, 135-144p.
- Paspatis M., Boujard T., Maragoudaki D., Blanchard G., Kentouri M. 2003. Do stocking density and feed reward level affect growth and feeding of self-fed juvenile European sea bass? *Aquaculture* 216, 103-113p.
- Perry S.F., Bernier N.J. 1999. The acute humoral adrenergic stress response in fish: facts and fiction. *Aquaculture* 177, 285-295p.
- Person-Le Ruyet J., Mahé K., Le Bayon N., Le Delliou H. 2004. Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 237, 269-280p.
- Pickering A.D., Stewart, A. 1984. Acclimation of the interregional tissue of the brown trout, *Salmo trutta* L., to chronic crowding stress. *Journal of Fish Biology* 24, 731-740p.
- Pihl L., Baden S.P., Diaz R.J. 2005. Effects of periodic hypoxia on distribution of demersal fish and crustaceans. *Marine Biology* 108, 349-360p.
- Pirhonen J., Schreck C.B., Reno P.W., Ogut H. 2003. Effect of fasting on feed intake, growth and mortality of Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, during an induced *Aeromonas salmonicida* epizootic. *Aquaculture* 216, 31-38p.
- Pitcher T.J., Parrish J.K. 1993. Function of shoaling behaviour in teleosts. In *Behaviour of Teleost Fish* (Pitcher, T.J., ed.), 363-439p. London: Chapman & Hall.
- Pitcher T.J., Misund O.A., Ferno A., Totland B., Melle V. 1996. Adaptive behaviour of herring schools in the Norwegian Sea as revealed by

- high-resolution sonar. ICES Journal of Marine Science, 53, 449-452p.
- Pulliam H.R., Caraco T. 1984. Living in groups: is there an optimal group size? In: Behavioural Ecology. An Evolutionary Approach (Ed. by J. R. Krebs & N. B. Davies), pp. 122-147. Oxford: Blackwell Science.
- Rios F.S., Kalini A.L., Rantin F.T. 2002. The effects of long-term food deprivation on respiration and haematology of the neotropical fish *Hoplias malabaricus*. J. Fish. Biol. 61, 85-95p.
- Robert S., Rushen J., Farmer C. 1997. Both energy content and bulk of food affect stereotypic behaviour, heart rate and feeding motivation of female pigs. Applied Animal Behaviour Science 54, 161-171p.
- Robinson C.M., Pitcher T.J. 1989. Hunger motivation as a promoter of different behaviours within a shoal of herring: selection for homogeneity in fish shoal? Journal of Fish Biology 35, 459-460p.
- Rose J.D. 2002. The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. Rev. Fish. Sci. 10, 1-38p.
- Rosenthal H., Hempel G. 1969. Experimental studies in feeding and food requirements of herring larvae (*Clupea harengus* L.) in: Symp. Marine Food chains, Univ. of Aarhus, Denmark 1968, 344-364p., STEELE J. H. (ed) Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Ruane N.M. 2002. Stress and stress disorders in a teleost fish, the common carp *Cyprinus carpio* L. PhD thesis Wageningen University. 160p.
- Rueda P.A. 2004. Towards assessment of welfare in African catfish, *Clarias gariepinus*: the first step. PhD thesis Wageningen University. 126p.
- Sakakura Y, Tsukamoto K. 1996. Onset and development of cannibalistic behaviour in early life stages of yellowtail. J. Fish Biol. 48, 16-29p.

- Sakakura Y., Tsukamoto K. 1999. Ontogeny of aggressive behaviour in schools of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. *Environmental Biology of Fish*, 56, 231-242p.
- Salam A., Ali M., Masud S. 2000. Effects of various food deprivation regimes on body composition dynamics of thaila *Catla catla*. *Journal of Research (Science) Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan*, 11, 26-32p.
- Sammouth S., Roque d'orbcastel E., Gasset E., Lemarié G., Breuil G., Marino G., Fivelstad S., Coeurdacier J.L., Blancheton J.P. 2009. Effect of stocking density on seabass (*Dicentrarchus labrax*) performance in a recirculating system. *Aquac. Eng.* 40, 72-78p.
- Sant' Anna Rios F., Donnati L., Fernandes M.N., Kalinin A.L., Randin F.T. 2009. Effects of Food Deprivation in Muscle Structure and Composition of Traíra (*Hoplias malabaricus*): Potential Implications on Flesh Quality. *Brazilian Archives of Biotechnology and Technology*. 52, 465-471p.
- Schurmann H., Steffensen, J.F. 1997. Effects of temperature, hypoxia and activity on the metabolism of juvenile Atlantic cod. *Journal of Fish Biology*. 50, 1166-1180p.
- Seghers B.H. 1981. Facultative schooling behavior in the spottail shiner (*Notropis hudsonicus*): possible costs and benefits. *Environmental Biology of Fishes*, 6, 21-24p.
- Sfakianakis D.G., Kentouri M. 2009. Effect of temperature on muscle lactate metabolic recovery in sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) juveniles exposed to exhaustive exercise. *Fish Physiology and Biochemistry* 36, 387-390p.
- Shanks A.L. 1995. Orientated swimming by megalopae of several eastern North Pacific crab species and its potential role in their onshore migration. *J Exp Mar Biol Ecol* 186, 1-16p.

- Siddiqui A.Q., Alnajada A.R., Alhinty H.M. 1993. Effects of density on growth, survival and yield of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) in Saudi Arabia. *Journal of Aquaculture in the Tropics* 8, 213-219p.
- Sogard S.M., Olla B.L. 1996. Food deprivation affects vertical distribution and activity of a marine fish in a thermal gradient: potential energy-conserving mechanisms. *Mar Ecol Prog Ser.* 133, 43-55p.
- Stein R.A., Magnuson, J.J. 1976. Behavioral Response of Crayfish to a Fish Predator *Ecology* 57, 751-761p.
- Stien L.H., Bratland S., Austevoll I., Oppedal F., Kristiansen T.S. 2007. A video analysis procedure for assessing vertical fish distribution in aquaculture tanks. *Aquaculture Engineering* 37, 115-124p.
- Stirling H.P. 1976. Effects of experimental feeding and starvation on the proximate composition of the European bass *Dicentrarchus labrax*. *Mar. Biol.* 34, 85-91p.
- Sumpter J.P., Lebaill P.Y., Pickering A.D., Pottinger T.G., Carragher J.F. 1991. The effect of starvation on growth and plasma growth hormone concentrations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 83, 94-102p.
- Svensson P.A., Barber I., Forsgren E. 2000. Shoaling behaviour of the two-spotted goby. *Journal of Fish Biology*, 56, 1477-1487p.
- Temple S., Cerqueira V.R., Brow J.A. 2004. The effects lowering prey density on the growth, survival and foraging behavior of larval fat snook (*Centropomus parallelus*, Poey 1860). *Aquaculture* 233, 205-217p.
- Tripathi G., Verma P. 2003. Starvation-induced impairment of metabolism in a freshwater catfish. *Zeitschrift Fur Naturforschung C, A J. Biosci.* 58, 446-451p.

- Turnbull J.F., Bell A., Adams C., Bron J., Huntingford F.A. 2005. Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. *Aquaculture* 243, 121-132p.
- Turnbull J.F., North B.P., Ellis T., Adams C., Bron J., MacIntyre C. Huntingford F.A. 2008. Stocking density and the welfare of farmed salmonids. In: *Fish Welfare*. Ed. Branson, E. Blackwell Scientific Publications, London. 111-118p.
- Vazzana M., Cammarata M., Cooper E.L., Parrinello N. 2002. Confinement stress in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) depresses peritoneal leukocyte cytotoxicity. *Aquaculture* 210, 231-243p.
- Verheijen F.J., Buwalda R.J.A. 1988. Do pain and fear make a hooked carp in play suffer? CIP – GEDEVENS. Utrecht.
- Wendelaar Bonga. A.E. 1997. The stress response in fish. *Physiological reviews* 77, 591-625p.
- Wilkes D., Xie S.Q., Stickland N.C., Alami-Durante H., Kentouri M., Sterioti A., Koumoundouros G. , Fauconneau B., Goldspink G. 2001. Temperature and myogenic factor transcript levels during early development determines muscle growth potential in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Experimental Biology* 204, 2763-2771p.
- Würbel H., Stauffacher M. 1997. Age and weight at weaning affect corticosterone level and development in ICI-mice. *Animal Behaviour* 53, 891-900p.
- Xu J.Y., Miao X.W., Liy Y., Cui S.R. 2005. Behavioral response of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute ammonia stress monitored by computer vision. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 8, 812-816p.

Xu J.Y., Liu Y., Cui S.R., Miao X.W. 2006. Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute fluctuations in dissolved oxygen levels as monitored by computer vision. *Aquac. Eng.* 35, 207-217p.

Ανώνυμος 2007. Παγκόσμιοι Πρωταθλητές στις ιχθυοκαλλιέργειες. Ένθετο ΤΑ ΝΕΑ. 8-9 Σεπ, σελ. 26-27.

Δελδήμου Α. 2007. Ιχθυοκαλλιέργειες. IOBE (www.iobe.gr)

Πηγές από το διαδίκτυο:

- www.alieia.info
- www.iobe.gr
- www.nearhus.gr
- ec.europa.eu