



Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
(*πρ. Τ.Ε.Ι. Πάτρας & πρ. Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου*)

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ

& ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Φυσιο-Παθολογία Οφθαλμού & Όρασης,
εφαρμογές στην Υδατοκαλλιέργεια και
Αλιεία.**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΤΣΙΩΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Α.Μ 11864

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΝΛΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα από όλα τους γονείς μου που με στήριξαν αυτά τα τέσσερα χρόνια που διήρκεσε η φοίτηση μου στο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Δυτικής Ελλάδος και με βοηθήσανε να φτάσω μέχρι εδώ.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κανλή που δέχτηκε να αναλάβει τη επίβλεψη της παρούσας πτυχιακής εργασίας και ήταν πάντα διαθέσιμος όποτε τον χρειάστηκα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5-7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ	8
1.1. Γενικά στοιχεία για τους ιχθύες	8-9
1.2 Ιχθυοκαλλιέργεια	10
1.2.1 Μορφές και τύποι ιχθυοκαλλιέργειας	10-12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ	13-39
2.1 Νευρικό Σύστημα	13
2.1.1 Ο εγκέφαλος	14-17
2.1.2 Ο νωτιαίος μυελός	17
2.2 Το περιφερειακό νευρικό σύστημα	17
2.3 Αισθητήρια όργανα	17
2.3.1 Οφθαλμός - όραση	18
2.3.1.1 Η ανατομία του οφθαλμού	19-24
2.3.1.2 Οι οπτικές χρωστικές των ιχθύων	24-28
2.3.1.3 Η λειτουργία του οφθαλμού	29-31
2.3.2 Έσω ους	31
2.3.2.1 Όργανο ακοής και ισορροπίας	31-33
2.3.2.2 Οι ακουστικές δυνατότητες των ψαριών	33
2.3.3 Ρώθωνες – Οσφρητικά όργανα	34-35
2.3.4 Σύστημα πλευρικής γραμμής	36-39
2.3.5 Γευστικοί κάλυκες	39
2.3.6 Όργανα αφής	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ	40
3.1 Συσχέτιση του περιβάλλοντος των ιχθύων και των αισθητήριων οργάνων	40-50
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	50-53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53-54

Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να γίνει μια εκτενής παρουσίαση της δομής και του τρόπου λειτουργίας των αισθητήριων οργάνων των ιχθύων και πως μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την γνώση αυτή στις μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας. Αναλυτικότερα, μέσα από την αναφορά σε άλλες επιστημονικές εργασίες που έχουν προϋπάρξει, αναφέρονται οι φυσικοχημικές παράμετροι του περιβάλλοντος που επηρεάζουν τα εν λόγω αισθητήρια όργανα, καθώς και οι ανθρώπινες δραστηριότητες στην μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας, που επίσης μπορούν να προκαλέσουν τη μη σωστή ανάπτυξη των αισθήσεων των ιχθύων. Υπάρχουνε πολλά και διάφορα νοσήματα είτε λοιμώδη είτε παρασιτικά. Υπάρχουνε επίσης οι παθήσεις των οστών, παθήσεις των μυών, παθήσεις νεφρών, παθήσεις της νομικής κύστης και πολλές άλλες παθήσεις. Στο σημείο αυτό εμείς θα ασχοληθούμε στη Φυσιο-Παθολογία Οφθαλμού και Όρασης στην Υδατοκαλλιέργεια και στη Αλιεία. Τέλος, παρατίθενται εφαρμογές στην μονάδα εκτροφής που βασίζονται στην προστασία και την διέγερση των αισθήσεων των ιχθύων, με στόχο την σωστότερη διαβίωση των εκτρεφόμενων ειδών και αποδοτικότερη λειτουργία της ιχθυοκαλλιέργειας.

Εισαγωγή

Παρά το γεγονός ότι η συστηματική καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών είναι μία πρόσφατη σχετικά πρακτική, ενδείξεις υπάρχουν που μαρτυρούν την εφαρμογή της από τα αρχαία κιόλας χρόνια, σε περιορισμένο βέβαια βαθμό, σε αρκετές παράκτιες περιοχές της Ασίας, της Αιγύπτου αλλά και της Ευρώπης

Ο Κινέζος πολιτικός Φαν Λέι λέγεται ότι στήριζε τα πλούτη σε ιχθυοκαλλιέργειες μέσα σε μικρές λίμνες εν έτη 500π.Χ ενώ αναφορές για καλλιέργεια σπάνιων και πολυτελών ειδών υπάρχουν σε αρχαία κείμενα της Ιαπωνίας.

Αρχαιότερη μορφή παράκτιας καλλιέργειας θεωρείται αυτή των οστρακοειδών από τους Αρχαίους Έλληνες, τους Ρωμαίους και τους Ιάπωνες. Ο Αριστοτέλης κάνει αναφορά για καλλιέργειες οστράκων στην Ελλάδα περί το 100 π.Χ. την ίδια περίπου εποχή που ο Πληναίος δίνει λεπτομέρειες για τον Ρωμαϊκό τρόπο καλλιέργειας. Στην Ιαπωνία επίσης ενδείξεις υπάρχουν για καλλιέργεια οστράκων πριν από περισσότερα από 2 χιλιάδες χρόνια, σε περιοχές με έντονη παλίρροια.

Από την αρχαιότητα όμως μέχρι και περίπου τις τελευταίες 3 δεκαετίες τα προϊόντα της υδατοκαλλιέργειας αποτελούσαν ένα πολύ μικρό –σχεδόν ασήμαντο- μέρος της συνολικής παραγωγής τροφής τον άνθρωπο. Με τη πάροδο των αιώνων, την εξέλιξη των κοινωνιών και τη πρόοδο που επιτεύχθηκε με την αγροτική και βιομηχανική επανάσταση, εντάθηκε η ‘εκμετάλλευση’ των πόρων του χερσαίου περιβάλλοντος και υπήρξε σημαντική αύξηση στη παραγωγή αγροκτηνοτροφικών προϊόντων, προς σίτιση του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού. Κατ’ αντιστοιχία, οι τεχνολογικές εξελίξεις της βιομηχανικής επανάστασης εισέβαλαν σύντομα στο θαλάσσιο περιβάλλον, βοηθώντας το τομέα της αλιείας να περάσει από την παραδοσιακή -περιορισμένης έντασης και κλίμακας- εκμετάλλευση των θαλάσσιων πόρων στη βιομηχανική και εντατικοποιημένη παραγωγή, καθιστώντας τα αλιευτικά προϊόντα αναπόσπαστο μέρος της διαίτας του σύγχρονου ανθρώπου. Σε ότι αφορούσε όμως την συστηματική καλλιέργεια θαλάσσιων και γενικότερα υδρόβιων οργανισμών, η έλλειψη ειδικών επιστημονικών και τεχνικών γνώσεων καθήλωσε για πολλές δεκαετίες την υδατοκαλλιεργητική παραγωγή στο περιθώριο της συνολικής παραγωγής διατροφικών προϊόντων.

Είναι γεγονός πως το ψάρι αποτελεί σημαντική πηγή πρωτεϊνών υψηλής διατροφικής αξίας. Γεγονός επίσης παραμένει η επιτακτικότητα εξεύρεσης τροφής για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών σίτισης του διευρυνόμενου παγκόσμιου πληθυσμού, σε ένα ευρύτερο πλαίσιο υπερεκμετάλλευσης ή και εξάντλησης των φυσικών και βιολογικών πόρων του πλανήτη μας. Συνεπώς η λύση πρέπει να αναζητηθεί περισσότερο στην αύξηση της παραγωγής, για την κάλυψη των αναγκών, παρά στο περιορισμό των αναγκών στα όρια της παραγωγής.

Αναγνωρίζοντας ότι τα τελευταία χρόνια οι εκφορτώσεις της συλλεκτικής αλιείας μειώνονται συνεχώς, ενώ η αύξηση της αγοραστικής δύναμης των καταναλωτών πολλών χωρών και η ενίσχυση της τάσης για υγιεινή διατροφή αυξάνουν συνεχώς τη ζήτηση για αλιευτικά προϊόντα σε παγκόσμιο επίπεδο, γίνεται προφανές ότι το κενό που δημιουργείται στις αγορές καλείται να το καλύψει η υδατοκαλλιέργεια.

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας του ΟΗΕ (FAO), τη πενταετία 2000-2005 η παγκόσμια κατά κεφαλή φαινόμενη κατανάλωση αλιευτικών προϊόντων ανέβηκε από τα 16 κιλά στα 16.6 κιλά, στο υψηλότερο δηλαδή επίπεδο όλων των εποχών. Η αύξηση της κατανάλωσης στηρίχθηκε εξ' ολοκλήρου στη διάθεση προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, η οποία παρουσίασε συνολική αύξηση περί το 35% , όταν για την ίδια περίοδο η παραγωγή από τη συλλεκτική αλιεία μειώθηκε κατά σχεδόν 2%.

Η υδατοκαλλιέργεια παραμένει ο δυναμικότερα αναπτυσσόμενος κλάδος ζωικής παραγωγής προϊόντων διατροφής. Η μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης από το 1970 ανέρχεται στο 8,8% όταν για τη συλλεκτική αλιεία ο αντίστοιχος μέσος ρυθμός αύξησης είναι μόλις 1,2% , και 2,8% για τη χερσαία κτηνοτροφία και πτηνοτροφία. Το 1970 η υδατοκαλλιεργητική παραγωγή αποτελούσε μόλις το 4% της παγκόσμιας παραγωγής αλιευμάτων. Τριάντα-πέντε χρόνια αργότερα η υδατοκαλλιέργεια έφτασε να παράγει το 1/3 αυτής συνολικής παγκόσμιας παραγωγής αλιευμάτων.

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, 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. Η ιχθυοκαλλιέργεια θεωρείται από τις πλέον φιλικές -προς το ευρύτερο περιβάλλον- πρακτικές παραγωγής προϊόντων διατροφής. Τα προϊόντα της αποτελούν την αποδοτικότερη μέθοδο παραγωγής ζωικής πρωτεΐνης (σχέση χορηγούμενης / παραγόμενης πρωτεΐνης), ενώ κατ' αναλογία τελικού προϊόντος, η παραγωγή τους απαιτεί λιγότερη χρήση ενέργειας και νερού, σε σχέση με τα εναλλακτικά ή/και ανταγωνιστικά παραγόμενα προϊόντα διατροφής (βοοειδή, χοιρινά, πουλερικά, όσπρια, δημητριακά κλπ).

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση (WWF), η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί την πλέον αειφορική λύση στο παγκόσμιο επισιτιστικό πρόβλημα. Επιπλέον, τα ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας, που αποτελούν εξαιρετική πηγή πρωτεϊνών, όταν παράγονται με αρχές και κανόνες ορθής πρακτικής συμβάλουν ουσιαστικά στη προστασία του περιβάλλοντος.

Κεφάλαιο Πρώτο

- **Γενικά στοιχεία για τους ιχθύες**

Τα ψάρια είναι υδρόβια σπονδυλωτά, αναπνέουν με βράγχια, ζουν σε αλμυρά ή γλυκά νερά, το σώμα τους κατά κανόνα σκεπάζεται με λέπια ή είναι γυμνό, στερούνται άκρων και κινούνται μέσα στο νερό με πτερύγια. Ο όρος ιχθύς είναι ισοδύναμος με τον όρο «τετράποδα», στον οποίο υπάγονται όλα τα χερσαία σπονδυλωτά, τα οποία στο στάδιο του ενήλικου αναπνέουν με πνεύμονες (αμφίβια, ερπετά, πτηνά και θηλαστικά).

Τα ψάρια, ανάλογα με τη σύσταση του σκελετού τους διακρίνονται σε δύο μεγάλες κλάσεις: α) στους χονδριχθύες (*Chondrichthyes*) και στους β) οστέιχθύες (*Osteichthyes*). Οι χονδριχθύες έχουν χόνδρινο σκελετό, ο οποίος πολλές φορές είναι ασβεστοποιημένος και σε καμία περίπτωση οστέινος. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα θαλασσινά μόνο ψάρια, όπως είναι τα σκυλόψαρα, οι καρχαρίες και πολλά άλλα είδη. Λίγα μόνο από αυτά εισέρχονται στα γλυκά νερά (ποτάμια). Αληθινοί χονδριχθύες του γλυκού νερού δεν υπάρχουν. Η κλάση των χονδριχθύων διαιρείται σε δύο υποκλάσεις: α) ολοκέφαλοι (*Holocephali*) και β) ελασμοβράγχιοι (*Elasmobranchii*).

Οι οστέιχθύες χαρακτηρίζονται από το μερικώς ή ολικώς οστεοποιημένο σκελετό και ταξινομούνται ως ακολούθως:

- Υποκλάση: Ακτινοπτερύγιοι (*Actinopterygii*)
- Μεσοκλάση: Χονδρόστεοι (*Chondrostei*)
- Μεσοκλάση: Ολόστεοι (*Holostei*)
- Μεσοκλάση: Τελεόστεοι (*Teleostei*)
- Υποκλάση: Σαρκοπτερύγιοι (*Sarkopterygii*)
- Υπερτάξη: Κροσσοπτερύγιοι (*Crossopterygii*)
- Υπερτάξη: Δίπνευστοι (*Dipnoi*) (Οικονομίδης)

Η οστεοποίηση γίνεται πλήρης μόνο στους τελεόστεους. Η κλάση αυτή των ψαριών, που κατά κανόνα αναπνέουν με βράγχια το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο περιλαμβάνει τα περισσότερα και τα πιο εξελιγμένα είδη, τα οποία ζουν στα γλυκά και στα αλμυρά νερά. Ορισμένα όμως είδη που διαβιώνουν σε γλυκά νερά με πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου έχουν διαμορφώσει ειδικούς τρόπους για τη συμπληρωματική αναπνοή του ατμοσφαιρικού αέρα. Συγκεκριμένα στην υπερτάξη των Δίπνευστων (*Dipnoi*) για το είδος αυτό της αναπνοής διαπλάθεται ένα όργανο που προέρχεται από το μετασχηματισμό της νηκτικής κύστης.

Ο κλάδος της Ζωολογίας που υπάγεται στην επιστήμη της Βιολογίας και ασχολείται με το ψάρι ως ζωντανό οργανισμό, ονομάζεται Ιχθυολογία. Για το λόγο αυτό δεν είναι σύμπτωση το γεγονός ότι η ανάπτυξη της Ιχθυολογίας συμβαδίζει με την ανάπτυξη της Ιχθυοτροφίας.

Η Ιχθυολογία διαιρείται σε δύο μέρη: το γενικό και το ειδικό. Το γενικό μέρος περιλαμβάνει τις κυριότερες κατηγορίες ψαριών, την ανατομία, τις φυσιολογικές λειτουργίες, τη γενετική και την εξέλιξή της, τη συστηματική ταξινόμηση των ψαριών και των άλλων υδρόβιων ζώων καθώς και την οικολογία και τη ζωογεωγραφία. Το ειδικό μέρος ασχολείται χωριστά με κάθε είδος και εξετάζει τις καλύτερες μεθόδους και τις τεχνικές, με τις οποίες πραγματοποιείται η ορθολογική εκμετάλλευσή τους (Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ., 2003).

Ιχθυοκαλλιέργεια

• **Μορφές και τύποι ιχθυοκαλλιέργειας**

Η σύγχρονη Ιχθυοτροφία, η οποία στηρίζεται σε ζωοτεχνικές μεθόδους, διακρίνεται σε τρεις κυρίως μορφές εκμετάλλευσης:

- Στην εμπορική ιχθυοτροφία,
- Στην ιχθυοτροφία για την παραγωγή γόνου διασποράς, που προορίζεται για τον εμπλουτισμό δημόσιων ιχθυοτρόφων υδάτων,
- Στην ιχθυοτροφία καλλωπιστικών ψαριών.

Η εμπορική ιχθυοτροφία είναι και η σημαντικότερη μορφή ιχθυοτροφικής εκμετάλλευσης, γιατί μπορεί να παράγει μεγάλες ποσότητες ψαριών που προορίζονται για την κατανάλωση και για την προμήθεια άλλων ιχθυοτροφικών μονάδων.

Γενικά, τα τεχνητά εκτρεφόμενα ψάρια διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: σε ψάρια των ψυχρών υδάτων και σε ψάρια των θερμών υδάτων.

Τα ψάρια της πρώτης κατηγορίας ζουν και αναπτύσσονται στα γλυκά συνήθως νερά, που έχουν θερμοκρασία το καλοκαίρι μικρότερη από 18° C και διαλυμένο στο νερό οξυγόνο όχι λιγότερο από 5 – 6 mg / l (ιδανική θερμοκρασία 14° C και οξυγόνο 8 mg / l). Τα ψάρια αυτά εκτρέφονται μέσα σε υδατοσυλλογές που εφοδιάζονται με άφθονα καθαρά και τρεχούμενα νερά. Προσαρμόζονται εύκολα, μετατρέπουν εύκολα και κατά τον καλύτερο τρόπο την εκτροφή που τους δίνεται και έχουν το πλεονέκτημα να μπορούν να εκτρέφονται σε σχετικά περιορισμένους χώρους, κάτω από συνθήκες υψηλής πληθυσμιακής πυκνότητας.

Ο πιο αντιπροσωπευτικός τύπος ιχθυοκαλλιέργειας σε ψυχρά νερά είναι η πεστροφοτροφία ή πεστροφοκαλλιέργεια. Η παγκόσμια ετήσια παραγωγή πεστροφών φτάνει σήμερα περίπου τους 90.000 τόνους. Οι κυριότερες πεστροφοπαραγωγικές χώρες είναι : η Δανία, η Ιταλία, η Ιαπωνία, η Γαλλία κ. ά. Η Ελλάδα παράγει περίπου 2.000 – 2.500 τόνους το χρόνο.

Ένας άλλος τύπος ιχθυοκαλλιέργειας ψαριών ψυχρών υδάτων είναι η καλλιέργεια του σολομού, καθώς και άλλων ειδών της οικογένειας των Σαλμονιδών. Οι καλλιέργειες αυτές γίνονται κυρίως στη Νορβηγία, την ΕΣΣΔ, την Ιαπωνία, την Ελβετία κ. ά.

Αντίθετα με τα προηγούμενα είδη, τα ψάρια της δεύτερης κατηγορίας, δηλαδή τα ψάρια των θερμών υδάτων (κυπρίνου, χέλια, γατόψαρα, τιλάπιες, κέφαλοι κ. ά.) ζουν και αναπτύσσονται σε γλυκά, υφάλμυρα ή θαλάσσια ύδατα, με θερμοκρασία πάνω από 20° C και περιεκτικότητα σε οξυγόνο μικρότερη από 5 mg / l (ιδανική θερμοκρασία 25° C και διαλυμένο οξυγόνο 4 mg / l).

Ο πιο αντιπροσωπευτικός τύπος ιχθυοκαλλιέργειας ψαριών θερμών υδάτων είναι η κυπρινοκαλλιέργεια ή γριβαδοτροφία. Η κυπρινοτροφία στην Ευρώπη και κυρίως στην Ουγγαρία και στην Πολωνία, εφαρμόζεται από πολλά χρόνια σε μεγάλες υδατοσυλλογές, όπου το νερό παραμένει σχεδόν στάσιμο, ενώ τα ψάρια ζουν σχετικά σε μικρή πυκνότητα. Όταν γίνεται εντατική εκτροφή λαμβάνεται μέριμνα μεγαλύτερης παροχής ύδατος. Η εκτροφή των ψαριών αυτών βασίζεται περισσότερο στην φυσική τροφή των υδροστασιών, που αυξάνεται με τις λιπάνσεις, καθώς και στην τεχνητή συμπληρωματική τροφή που συνήθως αποτελείται από υποπροϊόντα δημητριακών.

Άλλοι τύποι ιχθυοκαλλιέργειας σε θερμά ύδατα είναι η χελοκαλλιέργεια, η εκτροφή του γατόψαρου (cat fish), που εκτρέφεται στις Ηνωμένες Πολιτείες μέσα σε μακρόστενες δεξαμενές και οι κέφαλοι που εκτρέφονται σε κυκλικές λεκάνες τροφοδοτούμενες με υφάλμυρα ύδατα, όπως στα σύγχρονα ρυθμιζόμενα ιχθυοτροφεία της Βενετίας (Valli da pesca). Άλλα είδη θερμών υδάτων που καλλιεργούνται είναι η τιλάπια, που καλλιεργείται σε πολλές περιοχές της Ν. Αφρικής και στο Ισραήλ, η τίγκα, ο γουλιανός, η τούνα, οι φυτοφάγοι κυπρίνοι, οι γαρίδες, οι γάμπερες, τα μύδια, τα στρείδια κ. ά.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η θαλάσσια ιχθυοτροφεία (τσιπούρες, λαβράκια, κέφαλοι κ. ά.), μέσα σε λιμνοθάλασσες, θαλάσσια τενάγη ή κλειστούς κόπους (σε ιχθυοκλωβούς).

Η ιχθυοτροφία για την παραγωγή γόνου διασποράς, που προορίζεται για εμπλουτισμούς δημόσιων ιχθυοτρόφων υδάτων βοήθησε πολύ στην ανάπτυξη της ερασιτεχνικής αλιείας.

Η ιχθυοτροφία καλλωπιστικών ψαριών, εξασφαλίζει δισεκατομμύρια είδη ψαριών που προορίζονται για ενυδρεία και αποφέρει εκατομμύρια δολάρια το χρόνο κυρίως στην Αμερική και τον Καναδά.

Μια άλλη επίσης επικερδής ιχθυοτροφία είναι η παραγωγή ψαριών που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για δολώματα. Η ιχθυοτροφία του είδους αυτού

γίνεται σε άχρηστες βαλτώδεις εκτάσεις, τα προϊόντα της χρησιμοποιούνται από ερασιτέχνες και επαγγελματίες ψαράδες.

Υπάρχουν τρεις τύποι ιχθυοκαλλιέργειας: η εντατική, η εκτατική και η ημιεντατική. Ορισμένοι για να κάνουν διάκριση των τριών διαφορετικών τύπων ιχθυοκαλλιέργειας λαμβάνουν υπόψη τους τον ιχθυοπληθυσμό. Έτσι, ορίζεται ως εντατική η εκτροφή μεγάλου αριθμού ψαριών, χωρίς όμως να προσδιορίζεται το όριο κάτω από το οποίο παύει να είναι εντατική. Ως εκτατική ορίζεται η ιχθυοκαλλιέργεια, όταν ο ιχθυοπληθυσμός είναι αραιός, χωρίς επίσης καμία ποσοτική ένδειξη. Στην πραγματικότητα όμως ο ιχθυοπληθυσμός είναι δευτερεύον χαρακτηριστικό των διαφόρων τύπων εκτροφής. Αντίθετα, ο παράγοντας διατροφή, είναι η θεμελιώδης συνιστώσα του ζωικού χώρου και είναι αναπόφευκτο όταν υπερβαίνουμε τα τυπικά πληθυσμιακά όρια σε ένα καθορισμένο περιβάλλον, να πρέπει να προσθέσουμε ένα συμπλήρωμα τροφής, κατάλληλο για τα αποτελέσματα που περιμένουμε. Για αυτό το λόγο το κυριότερο διακριτικό χαρακτηριστικό μεταξύ των διαφόρων τύπων ιχθυοτροφίας είναι το καθεστώς διατροφής.

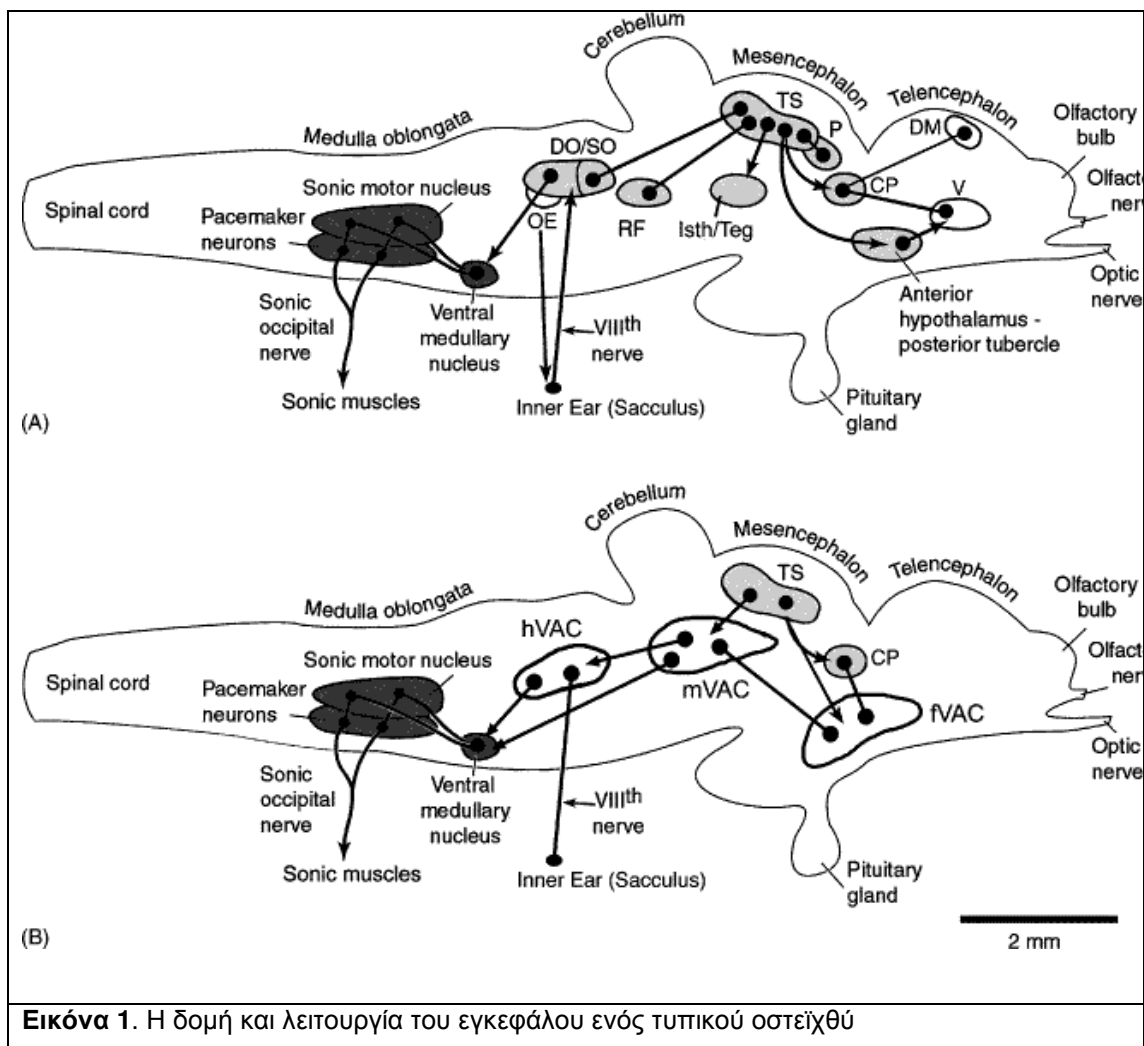
Η εντατική καλλιέργεια είναι εκείνη κατά την οποία ο ζωικός πληθυσμός τρέφεται με τροφές που δίνονται εξολοκλήρου από έξω. Αντίθετα, εκτατική ιχθυοκαλλιέργεια είναι όταν η διατροφή του ιχθυοπληθυσμού γίνεται μόνο από το περιβάλλον και ημιεντατική όταν η διατροφή γίνεται από το περιβάλλον και από έξω ως συμπλήρωμα καθόλη τη διάρκεια του παραγωγικού κύκλου και κυρίως κατά τη διάρκεια φάσεων του παραγωγικού κύκλου (κανονικά στα πρώτα και δεύτερα στάδια της εκτροφής).

Τελευταία γίνεται λόγος και για υπερεντατική ιχθυοκαλλιέργεια. Στην πραγματικότητα όμως δεν πρόκειται για άλλο τύπο καλλιέργειας, αλλά απλά για μια τελειοποιημένη μέθοδο της εντατικής εκτροφής με την οποία βάσει διαφόρων δραστικών επεμβάσεων, πετυχαίνεται ένα πολύ υψηλός δείκτης παραγωγικότητας με πολύ μεγάλη ιχθυοπυκνότητα (Πνευματικάτος Γ., 1996).

Κεφάλαιο Δεύτερο

2.1 Νευρικό Σύστημα

Το νευρικό σύστημα των ψαριών διακρίνεται σε κεντρικό και περιφερικό. Το κεντρικό νευρικό σύστημα αποτελείται από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό. Ο εγκέφαλος βρίσκεται μέσα στην κρανιακή κοιλότητα και η διαμόρφωση του μακροσκοπικά διαφέρει πολύ από εκείνη των ανώτερων σπονδυλωτών (Εικ. 1) (Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ., 2003).



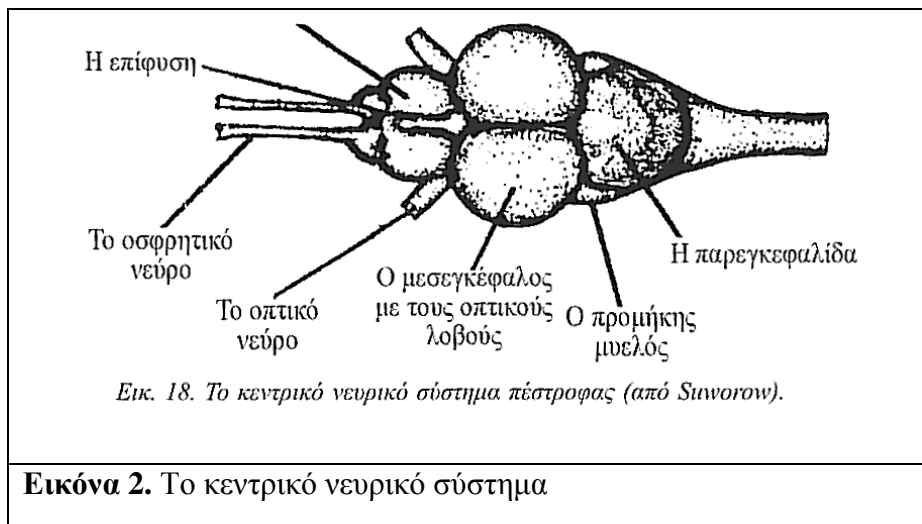
2.1.1 Ο εγκέφαλος

Ο εγκέφαλος που βρίσκεται στην κρανιακή κοιλότητα είναι πενταμερής, όπως και σε όλα τα σπονδυλωτά. Αποτελείται από:

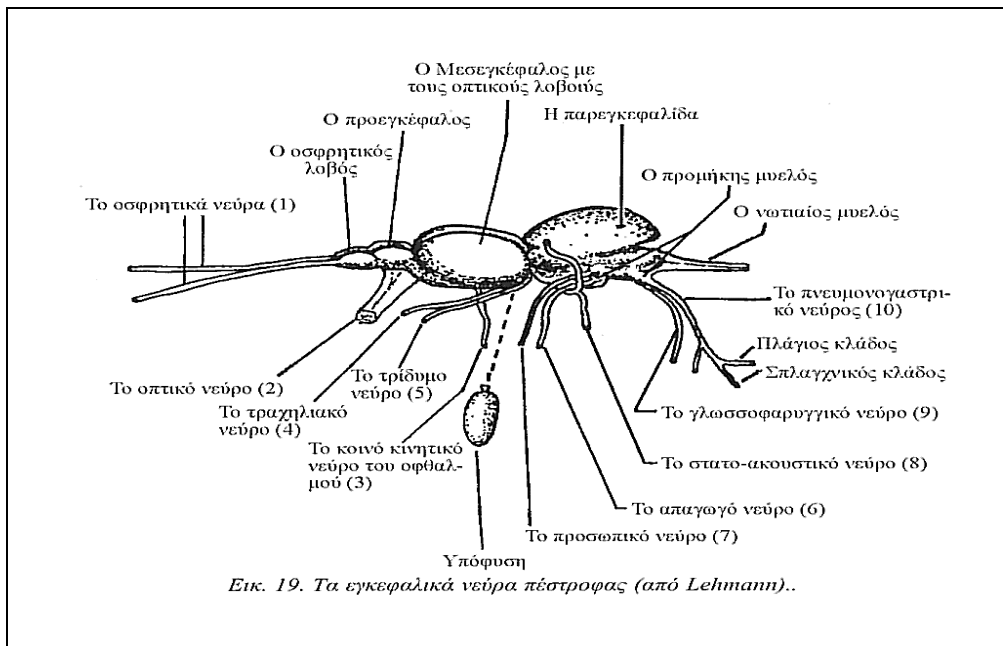
- Τον τελεγκέφαλο ή προεγκέφαλο (*Prosencephalon* ή *Telencephalon*). Το μέρος αυτό του εγκεφάλου στα ψάρια δεν έχει σημαντική ανάπτυξη. Αποτελείται από: α) τους οσφρητικούς λοβούς, οι οποίοι είναι ογκώδεις και συνδέονται με τον εγκέφαλο με μακρείς μίσχους, β) μερικά κέντρα σύνδεσης και γ) τα υποτυπώδη εγκεφαλικά ημισφαίρια, τα οποία κατά κανόνια είναι λεία.
- Το διεγκέφαλο (*Diencephalon*). Αυτός βρίσκεται μεταξύ των εγκεφαλικών και των οπτικών λοβών. Εσωτερικά φέρει το θάλαμο, ο οποίος στη ραχιαία περιοχή φέρει τον επιθάλαμο (*Epithalmus*) με την επίφυση (*Epihyse*), στις πλάγιες περιοχές το θάλαμο (*Thalamus*) και στην κοιλιακή περιοχή τον υποθάλαμο (*Hypothalamus*) με την υπόφυση (*Hypophysis*). Σε μερικά ψάρια υπάρχει μπροστά από την επίφυση και η παράφυση (*Paraphysis*), η λειτουργία της οποίας δεν μας είναι ακόμα γνωστή. Στην κοιλιακή περιοχή του διεγκέφαλου υπάρχει ακόμα το χάσμα των οπτικών νεύρων (*Chasma opticum*) και ο αγγειακός σάκος με πυκνό δίκτυο αγγείων. Αυτός χρησιμεύει για να αντιλαμβάνεται το ψάρι τις μεταβολές της πίεσης του νερού σε διαφορετικά βάθη.
- Το μεσεγκέφαλο (*Mesencephalon*). Αυτός αποτελείται από τους δύο οπτικούς λοβούς ή δίδυμα φυμάτια (*Corpora bigemina, Lobi optici*), οι οποίοι είναι ογκώδεις και φέρουν εσωτερική κοιλότητα. Σε μερικά ψάρια (κυπρίνος) η βαλβίδα της παρεγκεφαλίδας (*Valvula cerebelli*) εισέρχεται στη βάση των δύο οπτικών λοβών και απομακρύνει τον ένα από τον άλλο. Στο μεσεγκέφαλο βρίσκονται το κύριο οπτικό κέντρο και η κύρια θέση του νευρικού συντονισμού: σε μεγάλο αριθμό ψαριών το τμήμα αυτό του εγκεφάλου φαίνεται ότι αποτελεί το σπουδαιότερο «νευρικό κέντρο» που επηρεάζει πάρα πολλές λειτουργίες του σώματος.
- Το μετεγκέφαλο ή παρεγκεφαλίδα (*Metencephalon cerebellum*). Είναι ένας άζυγος μεσαίος λοβός που επικαλύπτει πίσω ολόκληρο σχεδόν τον προμήκη μυελό. Αυτός αποτελείται από το κύριο σώμα (*Corpus cerebelli*) και από τις δύο

προεξοχές (*Auriculae cerebelli*), μια σε κάθε πλευρά. Ο μετεγκέφαλος είναι το κέντρο της κίνησης, της ισορροπίας και των πλευρικών οργάνων. Ενδεχομένως να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και στη διαδικασία της εκμάθησης.

- Τον προμήκη μυελό ή μυελεγκέφαλο (*Medulla oblongata, Myelencephalon*). Αυτός βρίσκεται πίσω από την παρεγκεφαλίδα. Συνέχεια αυτού είναι ο νωτιαίος μυελός. Παρουσιάζει μάλιστα και ο ίδιος εμφανή χαρακτήρα νωτιαίου μυελού και αντιπροσωπεύει το όργανο από το οποίο αναδύονται τα περισσότερα εγκεφαλικά νεύρα (V μέχρι X) (Εικ. 2). Ο προμήκης μυελός είναι το υπεύθυνο όργανο για την αναπνοή, για το κυκλοφορικό σύστημα (καρδιά) και για το συντονισμό των κινήσεων του σώματος. Τα ψάρια φέρουν δέκα ζεύγη εγκεφαλικών νεύρων, σε αντίθεση με τα ανώτερα σπονδυλωτά. Λείπουν το XI και το XII, δηλαδή το παραπληρωματικό και υπογλώσσιο νεύρο (Εικ. 3).



Εικόνα 2. Το κεντρικό νευρικό σύστημα



Εικόνα 3. Τα εγκεφαλικά νεύρα

Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο εγκέφαλος των ψαριών δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένος. Δεν υπάρχει εγκεφαλικός φλοιός (το μέρος του εγκεφάλου στα ανώτερα ζώα που αποθηκεύει εντυπώσεις) και έτσι το ψάρι έχει λίγη ή καθόλου μνήμη. Δεν είναι ασυνήθιστο, για παράδειγμα, για έναν ψαρά να πιάσει το ίδιο ψάρι δύο φορές μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Πολλά ψάρια έχουν αλιευθεί με δολώματα ή με άγκιστρα που έχουν ήδη ενσωματωθεί στα σαγόνια τους. Τα ψάρια είναι ουσιαστικά πλάσματα του αντανακλαστικού, αντί της δράσης που παράγεται ή αναπτύσσεται με τη χρήση του εγκεφάλου. Κατά πάσα πιθανότητα, ο σωματικός πόνος στα ψάρια δεν είναι πολύ έντονος, και εάν υπάρχει εντύπωση του πόνου στον εγκέφαλο, αυτή χάνεται γρήγορα (Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ., 2003 & Πνευματικάτος Γ., 1996).

2.1.2 Ο νωτιαίος μυελός (Medulla spinalis).

Η δομή του νωτιαίου μυελού είναι όμοια με τη δομή των ανώτερων σπονδυλωτών και διατρέχει από άκρο σε άκρο τη νευροκοιλότητα της σπονδυλικής στήλης. Ο νωτιαίος μυελός έχει νωτιαία νεύρα ανά ζεύγη. Καθένα από αυτά σχηματίζεται από την ένωση μιας κοιλιακής ρίζας (*Radix ventralis* = κινητική) και μιας ραχιαίας ρίζας (*Radix dorsalis* = αισθητική). Η ραχιαία ρίζα πριν ενωθεί με την κοιλιακή ρίζα διογκώνεται και σχηματίζει ένα νωτιαίο γάγγλιο (Spinalganglion) (Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ., 2003).

2.2. Το περιφερικό νευρικό σύστημα

Συνίσταται από τα εγκεφαλικά νεύρα (δέκα ζεύγη) και από τα μυελικά νεύρα, καθώς επίσης και από το αυτόνομο (συμπαθητικό) νευρικό σύστημα. Το συμπαθητικό νευρικό σύστημα αποτελείται από δύο σειρές γαγγλίων, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους σαν σχοινί σε κάθε πλευρά της σπονδυλικής στήλης. Το σύστημα αυτό είναι πολύ καλά αναπτυγμένο.

Ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός περιβάλλονται από ισχυρά αιματούμενες μεμβράνες, οι οποίες δεν ανήκουν στο πραγματικό νευρικό σύστημα, γιατί δεν προέρχονται από το εξώδερμα, όπως συμβαίνει με τα προαναφερθέντα όργανα, αλλά από το μεσόδερμα που δεν μεταβιβάζει ερεθισμούς. Εδώ πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι η καρδιά των ψαριών περιέχει δικό της μη ειδικό σύστημα ερεθισμού, το οποίο αναπτύχθηκε από μυϊκές ίνες που προκαλούν τις συστολές της ((Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ., 2003).

2.3 Αισθητήρια όργανα

Τα αισθητήρια όργανα των ψαριών αποτελούνται από την πλευρική γραμμή, τους οφθαλμούς, τους ακουστικούς αγωγούς, τους οσφρητικούς σωλήνες και τους γευστικούς κάλυκες, όπου περιέχουν όλα ελεύθερες νευρικές απολήξεις (Νεοφύτου Χ., 1997).

2.3.1 Οφθαλμός - Όραση

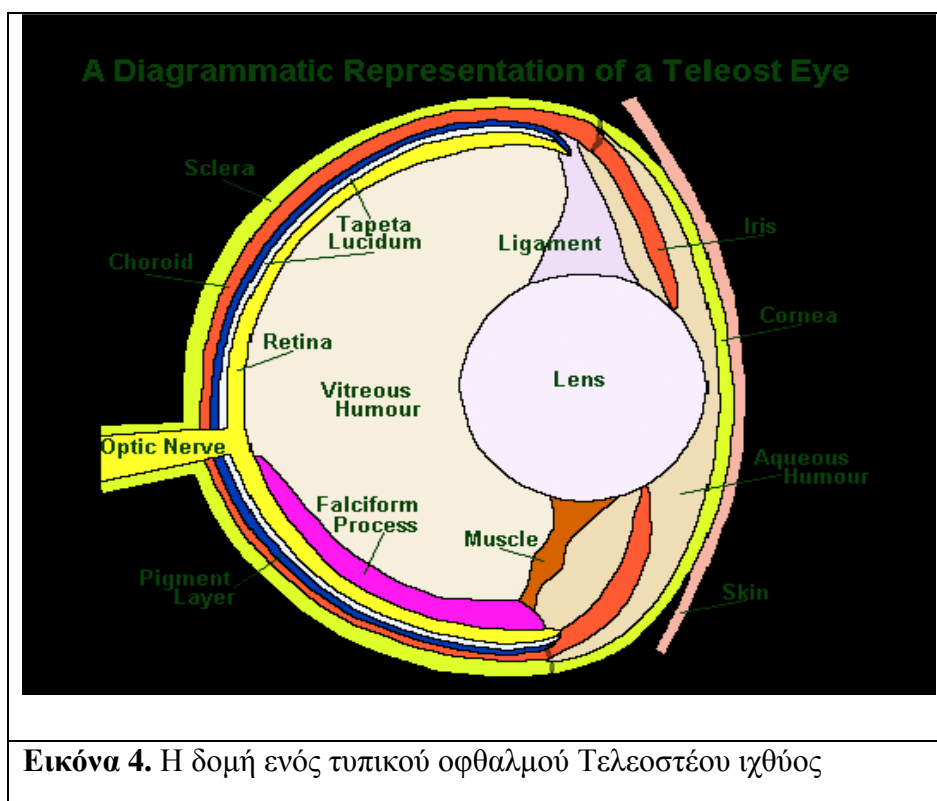
Ο οφθαλμός είναι ένα πολύ σημαντικό αισθητήριο όργανο σε κάθε οργανισμό. Το φως είναι η ακτινοβοληθείσα ενέργεια με εύρος μήκους κύματος 400 – 700 nm, που διεγείρει τον οφθαλμό των ζώντων οργανισμών και παράγει την αίσθηση της όρασης (Jerlov, 1970, Aguggini, 1991). Οι ιχθύες έχουν ένα ζεύγος οφθαλμών,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

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

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

2.3.1.1 Η ανατομία του οφθαλμού

Ο οφθαλμός αποτελείται από μια εξωτερική μεμβράνη, ινώδους μορφής, που ονομάζεται σκληροειδής χιτώνας (*Sclera*). Το εμπρόσθιο τμήμα του χιτώνα αυτού φέρει ένα άνοιγμα (οπή) που φράσσεται από το διαφανή λείο και λίγο καμπύλο χιτώνα του κερατοειδούς (*Cornea*). Ο κερατοειδής χιτώνας δεν έχει διαθλαστική ισχύ έχοντας τον ίδιο διαθλαστικό δείκτη με το νερό (Εικ. 4).



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

Ο χοριοειδής χιτώνας στους Ελασμοβράγχιους περιέχει μια στιβάδα ανάκλασης, η οποία αυξάνει την οπτική ευαισθησία των φωτουποδοχέων του αμφιβληστροειδούς με το να αντανακλά το μεγαλύτερο μέρος του φωτός μέσω του αμφιβληστροειδούς (π. χ. στο σκυλόψαρο *Centroscympnus coelolepis*, που ζει σε βάθος περίπου 200 m) (Bozzano, 2003). Αυτή η στιβάδα ανάκλασης αποτελείται από κύτταρα ανάκλασης, που περιέχουν ανακλαστική ουσία, καθώς και από μελανοφόρα

κύτταρα. Η ανακλαστική ουσία που υπάρχει στην ανακλαστική στιβάδα διαφέρει μεταξύ των ειδών και μπορεί να είναι κρύσταλλοι γουανίνης, μια λιπόδης ουσία, περιδίνη και μελανοειδείς ουσίες (Collin and Collin 1993, Mani – Ponset et al. 1993, Moyle and Cech 2004). Η στιβάδα ανάκλασης αντανακλά το φως στην ίδια κατεύθυνση από την οποία αρχικά διεγέρθηκε ο αμφιβληστροειδής και με αυτόν τον τρόπο αυξάνει την πιθανότητα να διεγερθούν οι φωτουποδοχείς του αμφιβληστροειδούς στην παρουσία χαμηλού φωτισμού. Πολλοί τελεόστεοι έχουν στιβάδα ανάκλασης, αλλά στους περισσότερους αυτή είναι τοποθετημένη στο επιθήλιο του αμφιβληστροειδή (π.χ. στο λαβράκι *Dicentrarchus labrax*) (Mani – Ponset et. al. 1993). Οι Ελασμοβράγχοι που είναι βαθύβιοι παρουσιάζουν συνεχή δραστηριότητα της ανακλαστικής στιβάδας, ενώ τα πελαγικά είδη που διαβιούν σε φωτεινά νερά μπορούν να καλύψουν την ανακλαστική στιβάδα με τη βοήθεια των μελανών χρωστικών που βρίσκονται στα μελανοφόρα κύτταρα. Η κάλυψη αυτή της ανακλαστικής στιβάδας εμποδίζει την «υπερφόρτωση» των φωτουποδοχέων κάτω από συνθήκες έντονου φωτισμού. Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, η ανακλαστική στιβάδα απαλλάσσεται από την παρουσία των μελανών χρωστικών και επαναδραστηριοποιείται. Η ανακλαστική στιβάδα προσδίδει στους Ελασμοβράγχους ιχθείς οπτική ευαισθησία περίπου ίση με αυτή που έχουν οι τελεόστεοι (χωρίς ανακλαστική στιβάδα), οι οποίοι έχουν σχεδόν τη διπλάσια συγκέντρωση οπτικών χρωστικών ανά μονάδα επιφάνειας αμφιβληστροειδούς (Moyle and Cech. 2004).

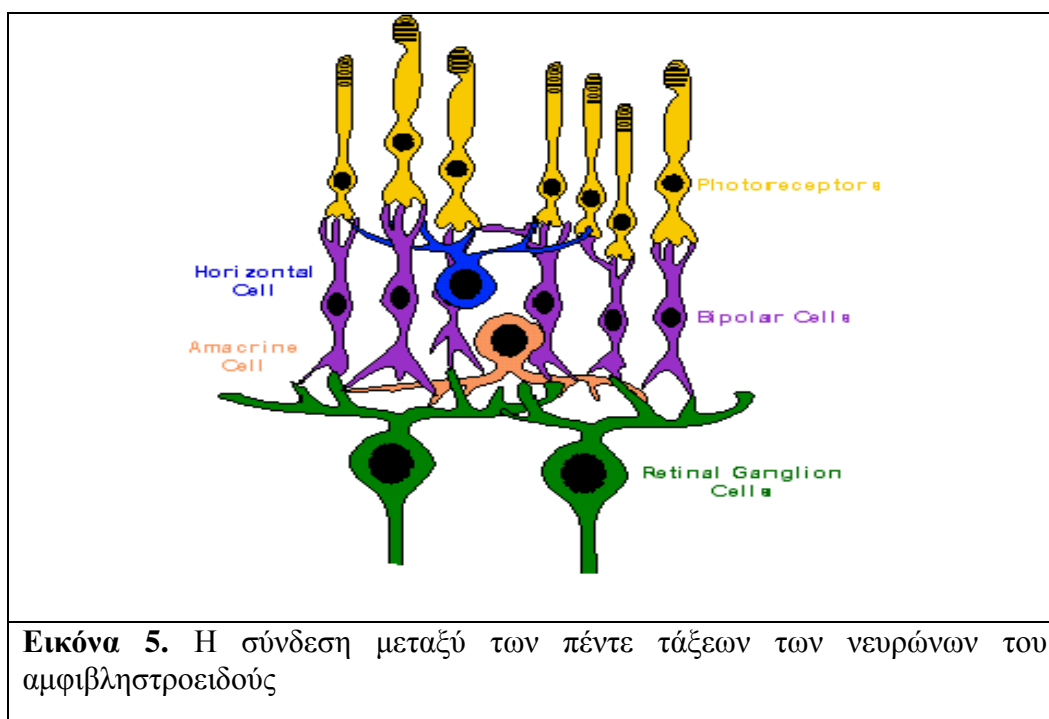
Μπροστά από το χοριοειδή χιτώνα βρίσκεται ένας δακτύλιος με χρωστικές, η ίριδα (Iris), η οποία περιέχει μια κεντρική οπτική οπή, τη λεγόμενη κόρη του οφθαλμού (Pupille). Οι περισσότεροι Ελασμοβράγχοι έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν το άνοιγμα της κόρης του οφθαλμού και με τον τρόπο αυτό ρυθμίζουν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

κατά την αρπαγή της τροφής παρά για να ρυθμίσει το επίπεδο του εισερχόμενου φωτός (Gruber, 2002).

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

Μερικά κωνία του αμφιβληστροειδή στην πέστροφα *Oncorhynchus mykiss* είναι ευαίσθητα στο υπεριώδες φως, ενώ τα ραβδία δεν παρουσιάζουν τέτοια ευαισθησία (Parkyn and Hawryshyn, 1993). Η ικανότητα για ανίχνευση υπεριώδους ακτινοβολίας (320 – 400 nm) έχει καταδειχθεί σε αρκετούς ιχθείς, όπως στις οικογένειες *Cyprinidae* και *Salmonidae* (Novales Flamarique and Hawryshyn, 1998). Η ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να διαρκεί καθόλη τη διάρκεια της ζωής του ιχθύος (π.χ. χρυσόψαρο *Carassius auratus*) (Fratzer et al., 1994) ή μπορεί να υπάρχει σε ορισμένα στάδια της ζωής του (π. χ. πέστροφα *Oncorhynchus mykiss*) (Beaudet et al., 1993, Novales Flamarique and Hawryshyn, 1997). Επειδή τα κωνία, που είναι ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία, είναι τοποθετημένα σε περιοχές του αμφιβληστροειδή με χαμηλή πυκνότητα φωτουποδοχέων, πιστεύεται ότι, η ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία πιθανώς δεν συμβάλλει στην διεύρυνση του φάσματος φωτός, που μπορεί να δει ο ιχθύς. Ωστόσο, η ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία πιστεύεται ότι προσδίδει ευαισθησία στο πολωμένο φως (Moyle and Cech, 2004).

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας έχει πέντε κύριες τάξεις νευρώνων που σχηματίζουν τρεις στιβάδες (Εικ. 5). Αυτές οι τάξεις των νευρώνων περιλαμβάνουν τους φωτουποδοχείς, τα δίπολα κύτταρα, τα οριζόντια κύτταρα, τα αμακρινικά κύτταρα (amacrine cells) και τα γαγγλιακά κύτταρα. Οι φωτουποδοχείς, τα δίπολα και τα οριζόντια συνάπτονται μεταξύ τους στην εξωτερική δικτυωτή στιβάδα. Τα δίπολα, τα αμακρινικά και τα γαγγλιακά κύτταρα συνάπτονται μεταξύ τους στην εσωτερική δικτυωτή στιβάδα. Τα δίπολα κύτταρα γεφυρώνουν τις δύο στιβάδες. Η πλέον άμεση οδός για τη ροή των πληροφοριών μέσα από τον αμφιβληστροειδή είναι η οδός από τους φωτουποδοχείς στα δίπολα κύτταρα και στη συνέχεια στα γαγγλιακά κύτταρα. Ωστόσο, η ροή των πληροφοριών μπορεί να είναι και πλευρική με τη βοήθεια των οριζόντιων κυττάρων στην εξωτερική δικτυωτή στιβάδα και με τη βοήθεια των αμακρινικών κυττάρων στην εσωτερική δικτυωτή στιβάδα (Hawryshyn, 1998, Rodriguez and Gisbert, 2001, Kawamura and Kishimoto, 2002).



Οι περισσότεροι τελεόστεοι έχουν μια προβολή του χοριοειδούς χιτώνα στο πίσθιο τμήμα του εσωτερικού του οφθαλμού, που φέρει χρωστική και καλείται δρεπανοειδής απόφυση. Η δρεπανοειδής απόφυση φέρει πλήθος αγγείων και πιστεύεται ότι παίζει ρόλο σημαντικό στην παροχή θρεπτικών συστατικών (Moyle and Cech, 2004). Πάνω στη δρεπανοειδή απόφυση βρίσκεται προσκολλημένος ο προσαγωγός μυς του οφθαλμού, ο οποίος διαφέρει στους ελασμοβράγχιους και στους τελεόστεους (Fernald and Wright, 1985). Ο ρόλος του μυός αυτού είναι να μπορεί να

μετατοπίζει το φακό ελαφρά προς τα πίσω και να αλλάζει με τον τρόπο αυτό την εστιακή απόσταση, προβάλλοντας με το κατάλληλο πρότυπο φωτεινότητας, σκίασης και συχνά χρώματος το εισερχόμενο φως, στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Ο δρεπανοειδής σχηματισμός προσφύεται στην πίσω επιφάνεια του κρυσταλλοειδούς φακού και εκτείνεται ως το σημείο εισόδου του οπτικού νεύρου (*Neurus Opticus*) (Φώτης, 1999).

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

Ο φακός των τελεόστεων ιχθύων προεξέχει από το άνοιγμα της κόρης και επομένως ο οφθαλμός προεξέχει από την επιφάνεια του σώματος. Το πεδίο όρασης για τους ιχθείς είναι 160° - 170° οριζόντια και 18° κάθετα. Μπροστά από τον ιχθύ ένα ευρύ πεδίο 20° - 30° καλύπτεται και από τους δύο οφθαλμούς (Moyle and Cech, 2004).

Επιπλέον, στους περισσότερους τελεόστεους υπάρχει ένας χοριοειδής αδένας ή πλέγμα πίσω από τον αμφιβληστροειδή. Στο χοριοειδή αδένα, η διάταξη των αγγείων παρουσιάζει μηχανισμό αντίθετης ροής με αποτέλεσμα να εξυπηρετείται η μεταφορά οξυγόνου στον αμφιβληστροειδή, όπως στον ιχθύ *Ophichthus rufus* (Bozzano, 2003) και στον οξύρρυγχο *Acipenser baeri* (Rodriguez and Gisbert, 2001). Οι ιχθείς που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην όραση, όπως ο ιχθύς *Pomatomus saltatrix*, έχουν πολύ καλά ανεπτυγμένο χοριοειδή αδένα. Οι ιχθείς που έχουν πολύ καλά ανεπτυγμένο χοριοειδή αδένα παρουσιάζουν υψηλή μερική πίεση οξυγόνου pO_2 στο υγρό του οφθαλμού, που κυμαίνεται μεταξύ 250 - 820 mm Hg. Οι ιχθείς με λιγότερο ανεπτυγμένο χοριοειδή αδένα παρουσιάζουν χαμηλότερη μερική πίεση οξυγόνου, που κυμαίνεται μεταξύ 20 - 210 mm Hg, ενώ οι ελασμοβράγχιοι και κάποιοι τελεόστεοι οι οποίοι στερούνται χοριοειδή αδένα παρουσιάζουν ακόμη χαμηλότερη μερική πίεση οξυγόνου, που κυμαίνεται μεταξύ 10 - 20 mm Hg (Moyle and Cech, 2004).

Το οπτικό νεύρο αποτελείται από τέσσερις τύπους νευρικών κυττάρων, συμπεριλαμβανομένων και των απαγωγών. Οι περισσότεροι από τους νευροάξονες του οπτικού νεύρου περνούν στην απέναντι πλευρά του εγκεφάλου και καταλήγουν

στα ανώτερα στρώματα του οπτικού λοβού του μεσεγκέφαλου. Διάφοροι κάθετοι σύνδεσμοι ενώνουν τους οπτικούς λοβούς των δύο ημισφαιρίων και με αυτόν τον τρόπο πιστεύεται ότι συμβάλλουν στη διοφθαλμική όραση (Hawryshyn, 1998).

2.3.1.2 Οι οπτικές χρωστικές των ιχθύων

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

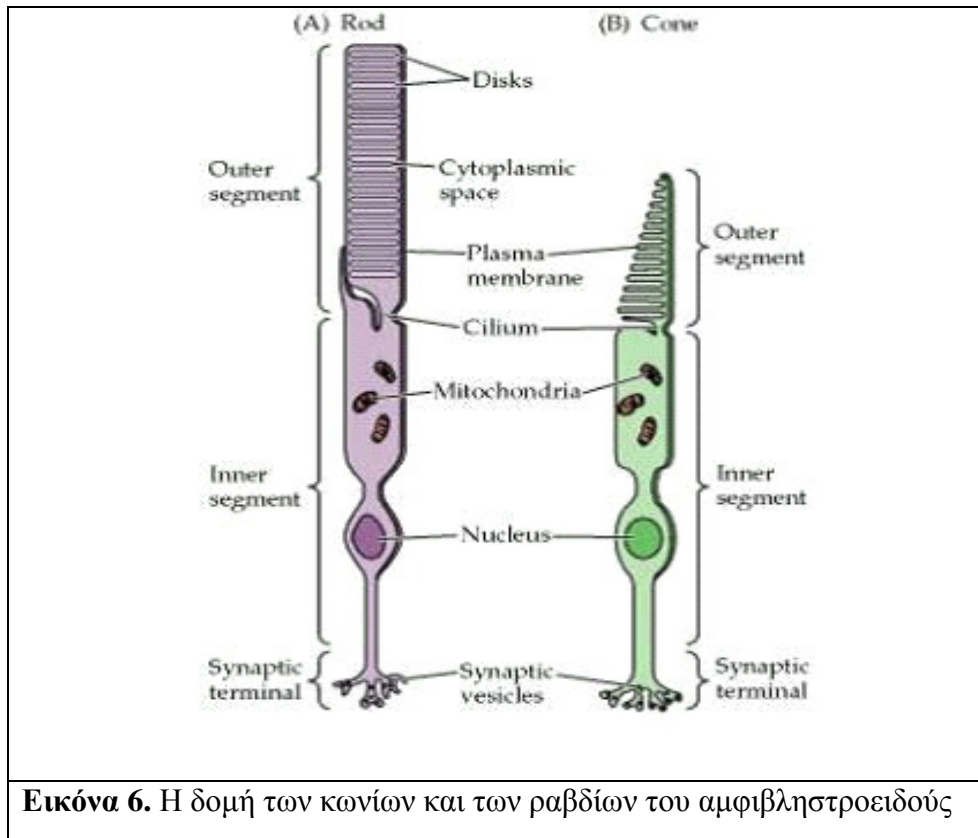
Φασματική ευαισθησία των φωτουποδοχών του οφθαλμού (κωνία και ραβδία) είναι η έννοια που καθορίζει τα μήκη του κύματος, που οι φωτουποδοχείς εμφανίζουν τη μέγιστη απορρόφηση (Bowmaker, 1990).

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

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

Οι φωτουποδοχείς αποτελούνται από τρία τμήματα, το εξωτερικό τμήμα, το εσωτερικό τμήμα και τη συναπτική απόληξη (Εικ. 6). Το εξωτερικό τμήμα περιέχει

μια στιβάδα από μεμβρανικά δισκία, όπου εκεί βρίσκεται η φωτοχρωστική. Γενικά, υπάρχει ένα είδος οψίνης σε κάθε φωτουποδοχέα. Το εσωτερικό τμήμα συνδέεται με ένα ή περισσότερα δίπολα κύτταρα. Μια βασική διαφορά ανάμεσα στα κωνία και στα ραβδία είναι ότι στα ραβδία τα μεμβρανικά δισκία καλύπτονται πλήρως από την πλασματική μεμβράνη, κάτι που δεν ισχύει στα κωνία. Στα κωνία, τα διαστήματα ανάμεσα στα μεμβρανικά δισκία επικοινωνούν με το περιβάλλον μέσω (Hawryshyn, 1998).



Εικόνα 6. Η δομή των κωνίων και των ραβδίων του αμφιβληστροειδούς

Οι οπτικές χρωστικές, που ανιχνεύονται στους φωτουποδοχείς των ιχθύων, συντίθεται από μια αλδεύδη της βιταμίνης Α και μια πρωτεΐνη, την οψίνη (Bridges, 1990). Οι οψίνες είναι γλυκοπρωτεΐνες, δηλαδή σύμπλοκα πρωτεϊνών και ολιγοσακχαρικών αλυσίδων με μοριακό βάρος περίπου 40.000, ενώ συντίθενται από πολυπεπτιδική αλυσίδα 348 αμινοξέων (Kandel et al., 1991, Stryer, 1997). Η χαρακτηριστική ομάδα των χρωστικών που απορροφούν το φως είναι η ρετινάλη, της οποίας πρόδρομο μόριο είναι η βιταμίνη Α (Stryer, 1997). Στους ιχθείς, η 11 – cis – ρετινάλη προέρχεται από τη βιταμίνη Α1 και ονομάζεται ροδοψίνη, ενώ η 11 – cis – άνυδρη ρετινάλη προέρχεται από τη βιταμίνη Α2 και ονομάζεται προρροψίνη. Ο

μεγάλος αριθμός χρωστικών οφείλεται στο μεγάλο αριθμό πρωτεϊνών με τον οποίο συνδέονται οι δύο μορφές ρετινάλης (Wehner and Gehring, 1997, Hawryshyn, 1998).

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

Οι χρωστικές των ειδών του γλυκού νερού διαφέρουν από αυτές των θαλασσινών. Τα θαλάσσια είδη χρησιμοποιούν ως χρωστική τη ροδοψίνη, ενώ του γλυκού νερού την πορφυροψίνη. Η ροδοψίνη απορροφά φως με μήκος κύματος γύρω στα 500 nm. Μια άλλη χρωστική η οποία έχει χρυσαφί χρώμα και καλείται χρυσοψίνη έχει βρεθεί στους φωτουποδοχείς του αμφιβληστροειδούς σε τρία είδη τελεόστεων που διαβιούν σε βάθος κάτω από 500 m. Η μέγιστη απορρόφηση της χρυσοψίνης παρουσιάζεται στις κυανές ακτινοβολίες (χαμηλότερο μήκος κύματος). Η διαφορά της χρωστικής οφείλεται στο ακριβές μήκος κύματος που η καθεμία εμφανίζει το μέγιστο της απορρόφησης και στη διαφορετική οικολογία διαβίωσης των ιχθύων (Moyle and Cech, 2004).

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

Οι ιχθείς που διαβιούν σε μεγάλα βάθη της θάλασσας έχουν στα ραβδία τους φωτοχρωστικές που εμφανίζουν τη μέγιστη απορρόφηση σε σχετικά μικρά μήκη κύματος (470 – 490 nm), σε σύγκριση με αυτούς που διαβιούν σε ρηχά ή γλυκά νερά. Αυτό πιθανότατα σχετίζεται με τα μικρά μήκη κύματος που διεισδύουν στο περιβάλλον τους (Munk, 1999). Στις περισσότερες περιπτώσεις όλοι οι φωτουποδοχείς έχουν την ίδια χρωστική, ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις, που

υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη χρωστικής σε διαφορετικά ραβδία. Αυτά τα είδη των ιχθύων έχουν συνήθως μαύρο χρώμα και όργανα βιοφωτισμού, τα οποία εκπέμπουν φως σε σχετικά μεγάλα μήκη κύματος. Πιστεύεται ότι η ύπαρξη δύο χρωστικών οφείλεται σε αυτό το φαινόμενο. Οι ιχθείς του θαλασσινού νερού που ζουν στα επιφανειακά στρώματα του νερού έχουν φωτουποδοχείς που περιέχουν ροδοψίνη, με απορρόφηση 494 – 505 nm. Η ροδοψίνη των οπτικών χρωστικών των μεταναστευτικών ειδών εμφανίζει μέγιστη απορρόφηση περίπου στα 500 nm, ενώ η χρυσοψίνη εμφανίζει μέγιστη απορρόφηση μήκη κύματος των 470 nm. Επιπλέον, οι οπτικές χρωστικές των ειδών της παράκτιας ζώνης δεν ακολουθούν τις ίδιες φασματικές απορροφήσεις σε σύγκριση με τα είδη που ζουν σε μεγάλα βάθη. Οι οπτικές χρωστικές των ιχθύων των ρηχών θαλάσσιων υδάτων, εμφανίζουν απορρόφηση σε μήκη κύματος των 500 – 510 nm (Jobling, 1996, Wehner and Gehring, 1997). Οι ιχθείς που διαβιούν στη θάλασσα, σε μεσαία βάθη έχουν συνήθως δύο είδη χρωστικών στα κωνία τους (ανεξάρτητα από τη χρωστική στα ραβδία), οι οποίες απορροφούν μέγιστα περίπου στα 460 nm και 540 nm, αντίστοιχα. Οι ιχθείς του γλυκού νερού που ζουν στον πυθμένα, ειδικά αυτοί που είναι νυκτόβιοι, έχουν επίσης δύο είδη χρωστικών στα κωνία τους, οι οποίες απορροφούν καλύτερα στα 530 nm και 620 nm, αντίστοιχα. Υποστηρίζεται ότι σε αυτή την ομάδα των ιχθύων, τα κωνία που είναι ευαίσθητα σε μεγάλα μήκη κύματος συμβάλλουν στην οπτική ευαισθησία, ενώ τα κωνία που είναι ευαίσθητα σε μικρά μήκη κύματος συμβάλλουν κυρίως στην «έγχρωμη» όραση. Οι ιχθείς που διαβιούν σε πολύ ρηχά γλυκά ή θαλάσσια νερά, έχουν τρία είδη χρωστικών (420, 530, 620 nm), εκ των οποίων τα δύο είναι παρόμοια με αυτά των ιχθύων που διαβιούν σε βαθύτερα νερά, ενώ το τρίτο παρουσιάζει ευαισθησία στο μπλε χρώμα (Jobling, 1996, Wehner and Gehring, 1997). Η παρουσία τριών τύπων κωνίων οδηγεί σε κάλυψη μεγαλύτερου μέρους του ηλιακού φάσματος και πιθανότατα αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι στο περιβάλλον διαβίωσης τους το εύρος του ηλιακού φάσματος που παρατηρείται είναι μεγαλύτερο (Matsuda et al., 2005).

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

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



2.3.1.3 Η λειτουργία του οφθαλμού

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

Τα σπονδυλωτά της ξηράς, έχουν την ικανότητα να προσαρμόζουν τους οφθαλμούς τους κατά τρόπο ώστε να βλέπουν σε διάφορες αποστάσεις, πράγμα που σημαίνει ότι οι οφθαλμοί εστιάζονται για κοντινά και μακρινά αντικείμενα. Αυτό επιτυγχάνεται με την αλλαγή της κυρτότητας του φακού κάτω από την επίδραση ειδικών μυών. Στα ψάρια όμως το ίδιο πράγμα πετυχαίνεται με την αλλαγή της θέσης του φακού ως προς τον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Ειδικοί μύες μπορούν να κινούν το φακό πλησιέστερα προς τον αμφιβληστροειδή χιτώνα, όταν ο οφθαλμός πρέπει να προσαρμοστεί με μεγαλύτερες αποστάσεις (Νεοφύτου, 1997).

Στους περισσότερους ιχθείς ο φακός κινείται σχεδόν παράλληλα στο επίπεδο της κόρης. Σε πολύ λίγα είδη ο φακός κινείται κάθετα στο επίπεδο της κόρης, αλλά στους περισσότερους τελεόστεους, η κίνηση του φακού γίνεται στο επίπεδο της κόρης με μικρή μόνο μετατόπιση κάθετα του επιπέδου της κόρης (δηλαδή μπρός –

πίσω). Αυτό σημαίνει ότι τα διάφορα τμήματα του αμφιβληστροειδή εστιάζουν σε διαφορετικές αποστάσεις πεδίου ταυτόχρονα. Για παράδειγμα όταν ο φακός βρίσκεται κοντά στο ρώθωνα, το τμήμα του αμφιβληστροειδούς που εκτείνεται από το κέντρο του ως την κροταφική περιοχή του ιχθύος, εστιάζει για κοντινή όραση, ενώ το τμήμα του αμφιβληστροειδούς που εκτείνεται από το κέντρο του ως τη ρινική περιοχή του ιχθύος, εστιάζει για μακρινή όραση (Kawamura and Kishimoto, 2002).

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας στους οφθαλμούς των ιχθύων έχει μια ξεχωριστή κατασκευή, που τους επιτρέπει να έχουν οξεία μπροστινή και πλάγια όραση (Νεοφύτου, 1997). Η αίσθηση της όρασης στους ιχθείς εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στους οφθαλμούς. Η ποσότητα και η φασματοσκοπική ποιότητα του φωτός που εισέρχεται στον οφθαλμό του ιχθύος εξαρτάται από την οδό που θα ακολουθήσει η δέσμη φωτός πριν εισέλθει στον οφθαλμό. Όταν το φως έρχεται απευθείας πάνω από τον ιχθύ η απόσταση που διανύει είναι η μικρότερη γεγονός που οδηγεί σε μέγιστη ποσότητα και φασματοσκοπική ποιότητα του φωτός (Guthrie and Muntz, 1993). Ο κερατοειδής χιτώνας αντανακλά το φως, όπως συμβαίνει με τα χερσαία σπονδυλωτά, διότι έχει τον ίδιο διαθλαστικό δείκτη με το νερό. Το πεδίο όρασης για τα ψάρια είναι $160 - 170^\circ$ οριζόντια και 180° κάθετα. Μπροστά από το ψάρι ένα ευρύ πεδίο $20 - 30^\circ$ καλύπτεται και από τους δύο οφθαλμούς (Νεοφύτου, 1997). Αντικείμενα που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του νερού μπορούν να γίνουν ορατά από τον ιχθύ μόνο αν αυτά βρίσκονται μέσα σε μια γωνία 97° . Όταν η δέσμη φωτός προέρχεται από αντανάκλαση στον πυθμένα, διανύει μεγαλύτερη απόσταση και παρατηρείται μειωμένη ένταση φωτός, με αλλαγμένη φασματοσκοπική ποιότητα εξαιτίας

απορρόφησης και ανάκλασης μέρους της. Οι ιχθείς είναι σε θέση να αντιληφθούν το φως που αντανακλάται σε αιωρούμενα σωματίδια ή άλλα αντικείμενα. Τέλος, κατά την ολική αντανάκλαση του φωτός στην επιφάνεια του νερού, η φασματοσκοπική ποιότητα του φωτός είναι υπερβολικά μειωμένη εξαιτίας της μεγαλύτερης απόστασης που διανύει (Guthrie and Muntz, 1993)

2.3.2 Έσω ους

2.3.2.1 Όργανο ακοής & ισορροπίας

Το ακουστικό σύστημα των ψαριών αποτελείται από το εσωτερικό αυτί (τα ψάρια στερούνται ενδιάμεσου και εξωτερικού λαβύρινθου) και τους αγωγούς οι οποίοι σχηματίζουν το σύμπλεγμα της πλευρικής γραμμής.

Το έσω ους απαρτίζεται από το λαβύρινθο (*Labyrinth*), που είναι οστέινος και υμενώδης και βρίσκεται μέσα στο κρανίο. Ο υμενώδης λαβύρινθος αποτελείται από τρεις θαλάμους και τρεις ημικυκλικούς αγωγούς.: τον πρόσθιο (*Canalis anterior*), τον οπίσθιο (*Canalis posterior*) και τον οριζόντιο (*Canalis horizontalis*), που περιέχουν τον ενδόλεμφο (*Endolympha*). Στις βάσεις των σωλήνων αυτών υπάρχει και μια διεύρυνση, η λήκυθος (ασκίδιον) (*Ampulla*). Στα εσωτερικά τοιχώματα κάθε ασκιδίου καταλήγουν οι ίνες του αιθουσαίου κλάδου του ακουστικού νεύρου, που διεγείρονται από τους ωτόλιθους, όταν το ψάρι αλλάζει θέση.

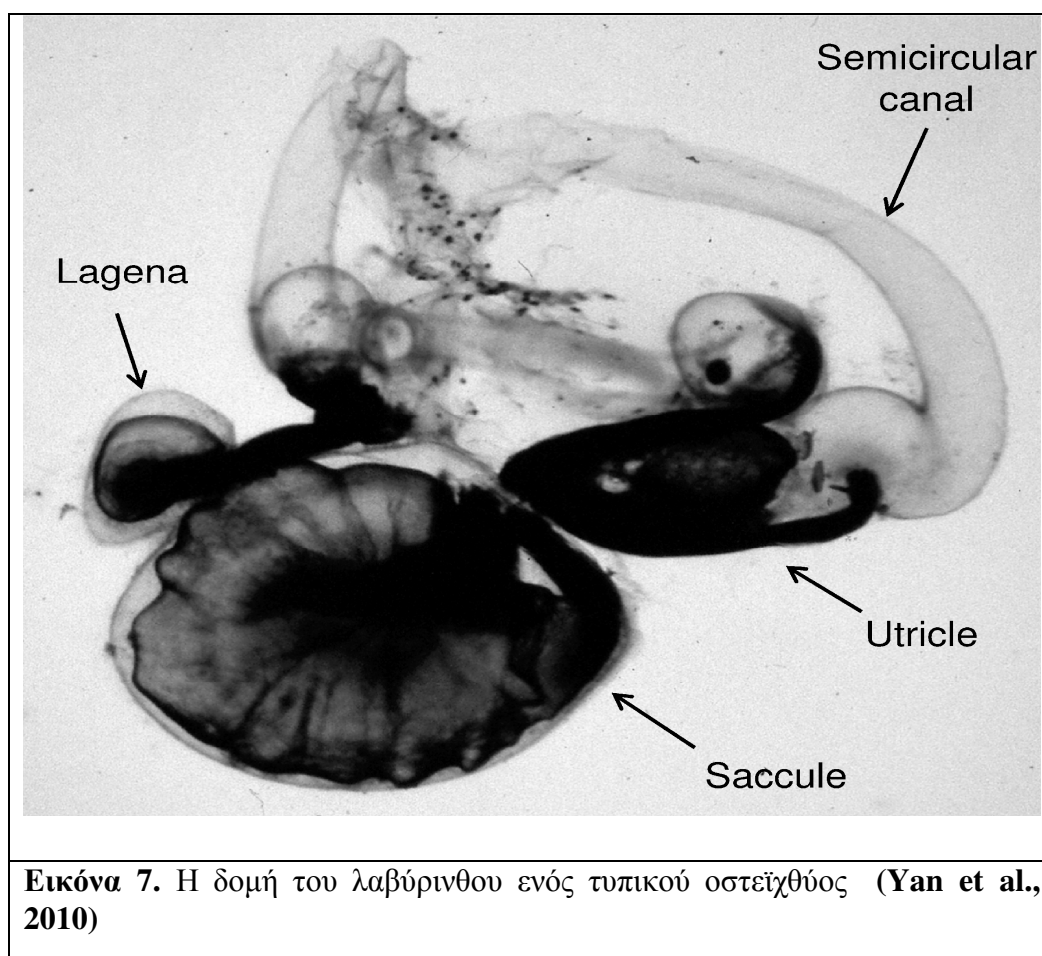
Στη βάση των τριών αυτών ληκύθων βρίσκεται το ελλειπτικό κυστίδιο (*Utriculus*) που περιέχει έναν μικρό λίθο, τον ωτόλιθο (*Otolith* ή *Statolith*). Ο ωτόλιθος του ελλειπτικού κυστιδίου ονομάζεται *Lapillus*. Η κάτω περιοχή του λαβύρινθου σχηματίζεται από ένα σφαιρικό ασκίδιο ή κυστίδιο (*Sacculus*), το οποίο περιέχει τον ωτόλιθο *Sagitta*.

Στο σφαιρικό κυστίδιο υπάρχει επιπλέον μια πλευρική προέκταση, η λάγηνος (*Lagena*) με τον ωτόλιθο *Asteriscus* (Εικ. 7).

Οι ωτόλιθοι αποτελούνται από ανθρακικό ασβέστιο και χρησιμεύουν για την αναγνώριση της ηλικίας των ψαριών (ωτολιθομετρία). Σε πολλά ψάρια, που ανήκουν στην ομάδα των Osteiophysi ή Cypriniformes, ο λαβύρινθος επικοινωνεί με τη νηκτική κύστη διαμέσου των τριών οσταρίων του Weber. Η λειτουργία του λαβύρινθου είναι σπουδαία και πολλαπλή:

- Πληροφορεί για τη θέση του σώματος στο χώρο και για την ισορροπία (γωνία νύξης),
- Διατηρεί και ρυθμίζει τον μυϊκό τόνο,
- Πληροφορεί για τη βαρύτητα και για τους ήχους.

Η αίσθηση της ακοής βρίσκεται κατά κανόνα στο σφαιρικό κυστίδιο (*Sacculus*). Υπάρχουν όμως και είδη στα οποία επιπρόσθετο ρόλο διαδραματίζουν το ελλειπτικό κυστίδιο και η λάγηνος (Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ., 2003, Πνευματικάτος Γ., 1996 & Νεοφύτου Χ., 1997).



Στην περίπτωση του είδους *Thunnus orientalis* το εσωτερικό αυτί της λάρβας παρουσιάζεται ως μια κύστη με δύο ωτόλιθους και έναν νευρώνα. Τα τρία τμήματα φαίνεται να διαχωρίζονται 18 ώρες μετά την εκκόλαψη. Η πλήρης ανάπτυξη του έσω ωτός έγινε την 12^η ημέρα (Kawamura et. al. 2003)

2.3.2.2 Οι ακουστικές δυνατότητες των ψαριών

Λόγω της παρόμοιας ακουστικής αντίστασης που παρουσιάζουν το σώμα των ψαριών και νερό που τα περιβάλλει, το σώμα των ψαριών θεωρείται διαπερατό στα ηχητικά κύματα. Εξαιτίας αυτής της φυσικής ιδιότητας, οι ίνες του αιθουσαίου κλάδου του ακουστικού νεύρου διεγείρονται μόνο από χαμηλής συχνότητας με υψηλή ενέργεια θορύβους. Ως εκ τούτου, για τους περισσότερους ιχθύες που βασίζονται σε αυτόν τον τρόπο ακοής, η ακουστική τους δυνατότητα περιορίζεται σε συχνότητες κάτω των 1000Hz, με το υψηλότερο κατώτατο όριο ηχητικής πίεσης στα 120 dB. Αυτά τα ψάρια ως εκ τούτου ονομάζονται «hearing generalist». Ορισμένα είδη, ωστόσο, έχουν αναπτύξει μηχανισμούς για την ενίσχυση της ακοής τους, μέσω σχηματισμών που περιέχουν αέρια και συνδέονται με το έσω ους. Πιστεύεται ότι όταν ηχητικά κύματα περνούν μέσα από τις δομές αυτές, τα αέρια που βρίσκονται μέσα σ' αυτές συμπιέζονται και αποσυμπιέζονται με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέοι ήχοι (Yan et al., 2010).

Η μετάδοση των χαρακτηριστικών αυτών ήχων συμβάλλει στην αύξηση της ακοής των ιχθύων. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές μελέτες που δείχνουν πως υπάρχουν και εξαιρέσεις σε αυτήν τη γενίκευση Connaughton et al. 1997), Barimo and Fine (1998), Yan et al. (2000), και Fine et al. (2001, 2004), στις οποίες η νηκτική κύστη δεν συμβάλλει στην βελτίωση της ακοής. Ωστόσο, σε ορισμένα ψάρια, όπως προαναφέρθηκε ο λαβύρινθος επικοινωνεί με τη νηκτική κύστη διαμέσου των τριών οσταρίων του Weber, αυξάνοντας την ακουστική τους δυνατότητα από τα 60dB έως τα 8.000 Hz (γατόψαρο) (Furukawa and Ishii 1967).

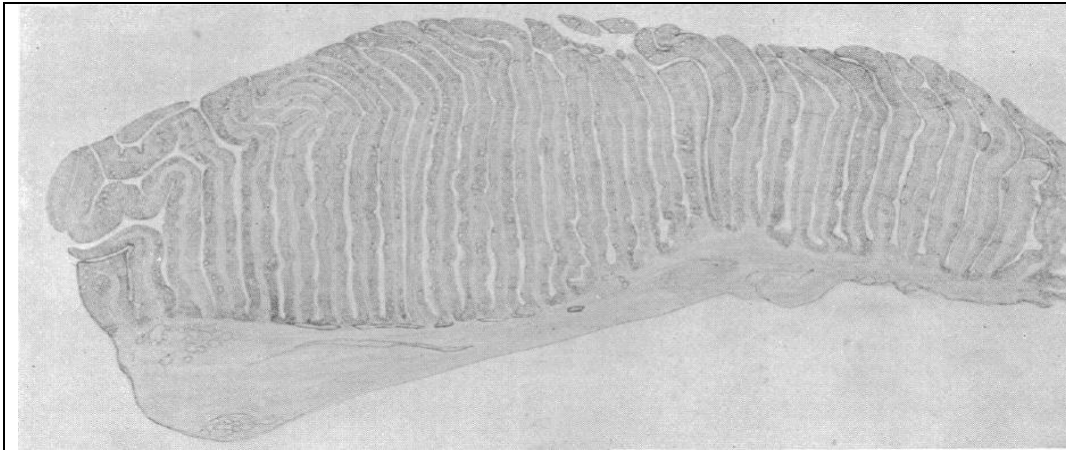
2.3.3 Ρώθωνες – Οσφρητικά όργανα

Οι οσφρητικοί πόροι ουδέποτε χρησιμοποιούνται από τα ψάρια για αναπνευστικούς σκοπούς. Κάθε οσφρητικό όργανο αποτελείται από ένα κάπως βαθύ κοίλωμα που είναι «χαρακωμένο» από ειδικά αισθητήρια νεύρα. Για να υπάρχει η μέγιστη δυνατή οσφρητική επιφάνεια, η χαρακωση είναι πτυχωτή σε σχήμα δακτυλίων ή είναι τακτοποιημένη σε ένα ακτινοβόλο σχήμα όπως είναι η ροζέτα (Εικ. 8-9). (Νεοφύτου Χ., 1997). Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το οσφρητικό σύστημα των ψαριών είναι πάρα πολύ οξύ. Λειτουργικά χρησιμοποιείται για προσανατολισμό και προειδοποίηση. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι το οσφρητικό σύστημα υποβοηθάει τα μεταναστευτικά ψάρια να επιστρέφουν στους τόπους που γεννήθηκαν για αναπαραγωγή.

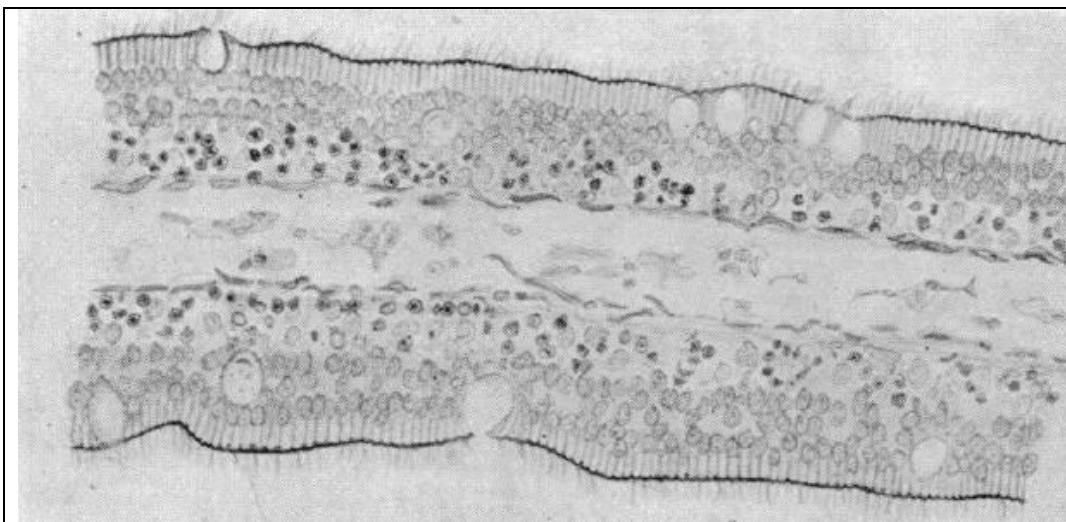
Η αίσθηση της όσφρησης είναι πολύ αναπτυγμένη στους χονδριχθούς. Οι καρχαρίες αντιλαμβάνονται την οσμή του αίματος από απόσταση αρκετών εκατοντάδων μέτρων. Μόλις αντιληφθούν μια οσμή προχωρούν ζιγκ – ζαγκ για λίγο χρόνο, καθοδηγούμενοι από την όσφρηση τους μέχρι όπου ανακαλύψουν την ακριβή διεύθυνση του σημείου από το οποίο και προέρχεται. Εάν κλείσουμε πειραματικά το ένα ρουθούνι τότε οι καρχαρίες κινούνται κυκλικά, γιατί ένα μόνο ρουθούνι σε λειτουργία δεν είναι ικανό να τους καθορίσει το σωστό προσανατολισμό προς την πηγή της οσμής. Είναι πιθανόν οι καρχαρίες να στρέφονται προς την κατεύθυνση του ρουθουνιού που δέχεται τους ισχυρότερους ερεθισμούς.

Στους οστεϊχθούς τα όργανα της όσφρησης είναι οι ρινικές κοιλότητες, οι οποίες στα περισσότερα είδη είναι ανοικτές. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην ικανότητα της όσφρησης ανάμεσα στα διάφορα είδη των οστεϊχθών. Τα χέλια και οι σμέρνες έχουν μια θαυμάσια όσφρηση, ενώ αντίθετα η τούρνα και η ζαργάνα έχουν πολύ μειωμένη όσφρηση (Παπαναστασίου Δ., 1976)

Τα όργανα της όσφρησης των ψαριών αποτελούνται από τους ρώθωνες, καθένας από τους οποίους διαθέτει δύο ρινικές οπές. Οι οπές αυτές δεν έχουν καμία επικοινωνία με τη στοματική κοιλότητα: η εμπρόσθια είναι εισόδου νερού και η οπίσθια εξόδου νερού, Εξαίρεση αποτελεί το ψάρι λύχνος ή ουρανοσκόπος (*Uranoscopus scaber* Linnaeus 1758) της οικογένειας *Uranoscopidae*. Καλύπτονται μάλιστα από ένα κροσσωτό βλεννογόνο, που περιλαμβάνει τα οσφρητικά νεύρα και έναν κλάδο του τριδύμου. Είναι τοποθετημένα σε σάκους μέσα στη μύτη, συνήθως μπροστά από τους οφθαλμούς (Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ., 2003).



Εικόνα 8. Η δομή του ρώθωνα Adrian & Ludwig



Εικόνα 9. Η δομή των κυττάρων και των νευρικών απολήξεων Adrian & Ludwig

Τέλος, η είσοδος του νερού στους ρώθωνες επιτυγχάνεται μέσω των φυσικών ρευμάτων, αλλά και αυτών που προκύπτουν από την κολυμβητικές κινήσεις των ψαριών και την επαφή του νερού με το ρύγχος του ψαριού κατά την εμπρός κίνησή του (Adrian & Ludwig, 1935).

2.3.4 Σύστημα πλευρικής γραμμής

Στα πλευρά του σώματος του ψαριού και σε όλο το μήκος του, από το ακρορρίνιο μέχρι την ουρά, υπάρχει μια γραμμή, η οποία αποτελείται από διάτρητα λέπια που σχηματίζουν αγωγό, ο οποίος συνδέεται με τα αισθητήρια νεύρα (μεγάλο πλευρικό νεύρο). Το χρώμα της είναι διαφορετικό από τα γειτονικά τμήματα.

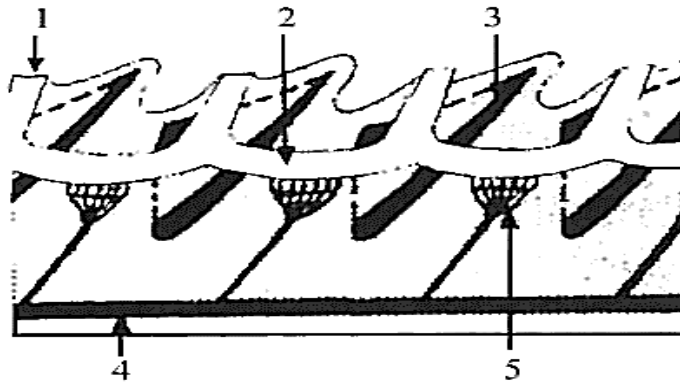
Η πλάγια γραμμή επεκτείνεται και στο κεφάλι, στα οστά του κρανίου, σχηματίζοντας τα κρανικά κανάλια γύρω από τους οφθαλμούς και από τους ρόθωνες.

Ορισμένα ψάρια, όπως ο αλβούρνος ο δίστικτος (*Alburnus bipunctatus*), ψάρι του γλυκού νερού, διαθέτουν περισσότερες πλάγιες γραμμές, λιγότερο ή περισσότερο πλήρεις. Η λόττα (*Lotta lotta*) αντίθετα, έχει δύο τρύπες μόνο σε κάθε πλευρά του σώματος.

Η πλάγια γραμμή δίνει πολύτιμες πληροφορίες στα ψάρια, για τις μετακινήσεις του νερού, την πυκνότητα, τη θολότητα και τη θερμοκρασία του. Βοηθάει το ψάρι να κολυμπά τη νύχτα σε σκοτεινά νερά, να παραμένει κοντά στο κοπάδι του, να βρίσκει την τροφή του και να αποφεύγει τους εχθρούς του.

Ορισμένοι επιστήμονες θεωρούν την πλάγια γραμμή σαν έκτη αίσθηση των ψαριών.

Η πλάγια γραμμή είναι τοποθετημένη κάτω από την επιδερμίδα και κατά μήκος των πλευρών του ψαριού. Αποτελείται από κανάλια γεμάτα με βλέννα που επικοινωνούν με το εξωτερικό περιβάλλον. Μέσα στα κανάλια αυτά απαντούν τα αισθητήρια όργανα, που ονομάζονται νευρομαστοί. Οι νευρομαστοί καταλήγουν σε βλεφαρίδες, που σκεπάζονται από το κύπελλο (*Cupula*) και νευρώνονται ως επί το πλείστον από τους κλάδους του IX και X εγκεφαλικού νεύρου (Εικ. 10-11). Κάτω από κανονικές συνθήκες τα νευρομάστια μεταδίδουν στον εγκέφαλο του ψαριού τα σήματα με μια ομοιόμορφη συχνότητα (Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ., 2003). Όταν όμως η πίεση πάνω στα νευρομάστια μεταβάλλεται, τα σήματα που μεταδίδονται στον εγκέφαλο υφίστανται και αυτά μεταβολές της συχνότητας και της έντασης με αποτέλεσμα να δίνουν στα ψάρια ενδείξεις αρκετά ακριβείς για το τι συμβαίνει στο περιβάλλον τους. Δεδομένου ότι ο εγκέφαλος του ψαριού δέχεται σήματα από πολλά νευρομάστια ταυτόχρονα είναι εύκολο για το ψάρι να εκτιμήσει τη διεύθυνση, την ένταση και τη συχνότητα της πηγής των παλμικών δονήσεων.



Εικ. 21. Σχεδιάγραμμα πλευρικής γραμμής.

1 = οπή

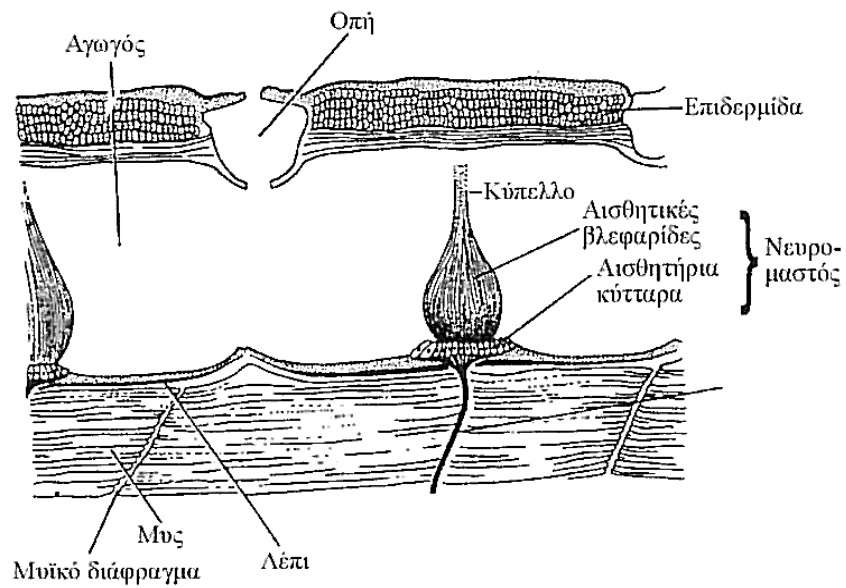
4 = νεύρο

2 = αγωγός

5 = νευρομαστός

3 = λέπι

Εικόνα 10. Σχεδιάγραμμα της πλευρικής γραμμής



Εικ. 22. Σχηματική παράσταση πλευρικής γραμμής (από Πνευματικάτο, τροποποίηση από συγγραφείς)

Εικόνα 11. Η εσωτερική δομή της πλευρικής γραμμής και απεικόνιση των νευρομαστών

Τα ψάρια χρησιμοποιούν την πλάγια γραμμή σαν ένα ραντάρ μικρής σχετικής ακτίνας δράσης.

Είναι πολύ δύσκολο, γράφει ο Franco de Carli να δούμε ένα ψάρι να χτυπά πάνω στο γυάλινο τοίχωμα του ενυδρείου. Δεν είναι όμως η αίσθηση της όρασης που το καθοδηγεί παντού, αλλά η πλάγια γραμμή που το ειδοποιεί για τα εμπόδια, αποκαλύπτοντας την παραμόρφωση που υφίσταται από το νερό, που το ψάρι ωθεί μπροστά του κολυμπώντας. Με άλλα λόγια το κύμα της συμπίεσης.

Με τη βοήθεια της πλάγια γραμμής οι καρχαρίες αντιλαμβάνονται τα θύματά τους που κολυμπούν στην επιφάνεια από απόσταση 250μέτρων. Στην περίπτωση αυτή οι παλμικές δονήσεις έχουν συχνότητα 20 – 30 κύκλων το δευτερόλεπτο.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι τα ζώα που κολυμπούν στην επιφάνεια του νερού, αντιπροσωπεύουν τα αγαπημένα θύματα των καρχαριών.

Οι υποβρύχιοι κολυμβητές βεβαιώνουν ότι η πλάγια γραμμή βοηθά τα ψάρια στο να διαπιστώνουν όχι μόνο την παρουσία τους, αλλά και τις προθέσεις τους. Πράγματι τα ψάρια πλησιάζουν εύκολα τους άοπλους υποβρύχιους κολυμβητές, ενώ κρύβονται στα κρησφύγετα τους στη θέα ενός οπλισμένου υποβρύχιου κολυμβητή. Φαίνεται ότι οι πολεμικές διαθέσεις του ανθρώπου και των υπολοίπων αρπακτικών υδρόβιων ζώων, γίνονται αντιληπτές από την πλάγια γραμμή.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο σολομός του Ατλαντικού (*Salmo star*) ο οποίος στις μεγάλες του μεταναστεύσεις ανεβαίνει από τη θάλασσα τα ορμητικά ποτάμια, με μια αξιοθαύμαστη δεξιοτεχνία. Κολυμπά πάντοτε κοντά στο βυθό ή στην όχθη, όπου η ταχύτητα του νερού είναι μικρότερη και αναπαύεται πίσω από διάφορα εμπόδια ή μέσα σε κοιλάτητες, όπου επίσης η ταχύτητα του νερού είναι μικρή (Παπαναστασίου Δ., 1976).

Σε πρόσφατη έρευνα για την ιχθυοκαλλιέργεια του είδους *Thunnus orientalis* προέκυψε πως οι λάρβες του είδους εκκολάπτονται έχοντας αναπτύξει σε ικανοποιητικό βαθμό μόνο την πλευρική γραμμή. Αναλυτικότερα, οι προνύμφες είχαν αναπτυγμένους μόνο τους νευρομαστούς της πλευρικής γραμμής, τα μάτια τους ήταν αποχρωματισμένες, δεν είχαν αίσθηση της γεύσης και κλειστούς τους οσφρητικούς σάκους. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από το γεγονός πως οι εν λόγω λάρβες μπορούσαν να αποφύγουν μια γυάλινη πιπέτα η οποία τοποθετούνταν απαλά μέσα στην δεξαμενή εκτροφής. Αυτό καθιστάτε δυνατόν, λόγω των αρκετά αναπτυγμένων νευρομαστών, σύνολο 14 ζευγάρια, γύρω και πίσω από τα μάτια, το ρύγχος και τον

κορμό. Το εκπληκτικό είναι πως ιχθύδια με μήκος από 29,8 έως 45,5mm είχαν ήδη τέλεια αναπτυγμένη τη πλευρική τους γραμμή, 34 μέρες μετά την εκκόλαψη (Kawamura et. al. 2003)

2.3.5 Γευστικοί κάλυκες

Η αίσθηση αυτή είναι συγγενικό ερέθισμα της όσφρησης. Ανατομικά όμως τα όργανα τους διαφέρουν και ειδικά σε ότι αφορά τον τρόπο με τον οποίο τα αισθητήρια ερεθίσματα φτάνουν στον εγκέφαλο. Τα αισθητήρια όργανα της γεύσης (γευστικοί κάλυκες) σε πάρα πολλά είδη ψαριών (γριβάδι, οξύρυγχο, γουλιανό) δεν είναι τοποθετημένα στο στόμα ή στη γλώσσα, αλλά εξωτερικά στο κεφάλι ή ακόμα και στο σώμα (μύστακες που φέρουν γευστικούς κάλυκες). Επίσης, γευστικοί κάλυκες μπορεί να υπάρχουν στο φάρυγγα και στις βραγχιάκανθες (Νεοφύτου X., 1997).

2.3.6 Όργανα αφής

Βρίσκονται σε ολόκληρη την επιφάνεια του σώματος, κυρίως όμως στα πτερύγια. Τα όργανα της αφής των ψαριών αποτελούνται από τα χείλη και τα μουστάκια. Τα τελευταία εκτός από την αφή συλλαμβάνουν τις διάφορες παλμικές δονήσεις και τις μεταβολές της θερμοκρασίας του νερού.

Επίσης, το δέρμα είναι διάσπαρτο από ελεύθερες νευρικές απολήξεις οι οποίες λειτουργούν σαν αισθητήρια της αφής. Στα ψάρια του βυθού η αίσθηση της αφής εξασφαλίζει την εξεύρεση της τροφής τους.

Στα πλατειά ψάρια, όπως οι γλώσσες, τα καλκάνια, οι πλευρονήκτες κ. λ. π., η άχρωμη (λευκή πλευρά) λειτουργεί σαν αισθητήριο αφής για την επιλογή της θέσης του βυθού στην οποία αναπαύονται. Επίσης, οι κοιλιακές βεντούζες των διαφόρων γωβιών (οικογένεια *Gobiidae*) είναι εφοδιασμένες με αισθητήρια της αφής. Όργανο αφής είναι επίσης και η πλευρική γραμμή (Παπαναστασίου Δ., 1976)

Κεφάλαιο Τρίτο

3.1 Συσχέτιση του περιβάλλοντος των ιχθύων και των αισθητήριων οργάνων τους.

Ένα επιτυχημένο εντατικό σύστημα καλλιέργειας ψαριών εξαρτάται από τις ικανότητες μας να κατανοήσουν και να χρησιμοποιήσουμε τις αντιληπτικές ικανότητες των ψαριών και πώς τα αισθητηριακά τους συστήματα αλλάζουν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης τους. Το βασικό ερώτημα που πρέπει να μας απασχολεί είναι το πώς τα ψάρια αντιλαμβάνονται το περιβάλλον που τα περιβάλλει, πώς οι πληροφορίες αυτές μεταδίδονται με σκοπό την εκτέλεση ορισμένων εργασιών, και τως συγκεκριμένες μεταβολές στο περιβάλλον μπορούν να αλλάξουν τα σήματα αυτά. με τρόπο που να περιορίζουν την ικανότητα των ιχθύων να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με την τροφή τους, την κίνηση τους, τους θηρευτές τους και τους συντρόφους τους.

Οι περισσότερες ολοκληρωμένες μελέτες σχετικά με τα αισθητήρια συστήματα των ιχθύων, έχουν γίνει σε άτομα του είδους *Danio rerio*, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος φωτοδέκτη του αμφιβληστροειδή και του υπεύθυνου τμήματος του εγκεφάλου, του οσφρητικού επιθηλίου (όσφρηση) και της γεύσης, την πλευρική γραμμή και του έσω ους. Μεταξύ των βασικών ειδών της εν λόγω αξιολόγησης, είναι είδη της οικογένειας των *Salmonidae* τα οποία έχουν μελετηθεί αρκετά καλά, όσον αφορά τη δομή και τις αλλαγές στο οπτικό τους σύστημα κατά τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης τους καθώς και το οσφρητικό σύστημα σε σχέση με την μετανάστευσή τους.

Τα αισθητήρια συστήματα καταγράφουν τον περιβάλλοντα κόσμο των ιχθύων και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε πολλές διαδικασίες, όπως είναι ο κερκαδικός ρυθμός (ο κατά προσέγγιση 24ωρος κύκλος που παρουσιάζει η δραστηριότητα των ζωντανών οργανισμών, σημαντικό ρόλο στον κερκαδικό ρυθμό παίζει το ερέθισμα του φωτός, το οποίο επαναφέρει κάθε μέρα το βιολογικό ρολόι, αλλά ο κερκαδικός ρυθμός παρουσιάζεται ακόμη και αν δεν υπάρχει διαφοροποίηση στο φωτισμό) και οι τρόποι συμπεριφοράς. Η φυσιολογική ανάπτυξη και η μακροπρόθεσμη απόδοση εξαρτάται από το κατάλληλο περιβάλλον και τις διεγέρσεις κατά τη διάρκεια των κρίσιμων πρώτων σταδίων ζωής των ιχθύων.

Η συμπεριφορά είναι η εκδήλωση της αντίδρασης ενός οργανισμού τόσο στα εσωτερικά (φυσιολογικά) όσο και στα εξωτερικά (περιβαλλοντικά) σήματα.

Παρατηρώντας π.χ. πώς συμπεριφέρονται οι προνύμφες των ιχθύων κάτω από διάφορες περιβαλλοντικές και διατροφικές συνθήκες μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες που σχετίζεται άμεσα με την ανάπτυξη των κατάλληλων πρωτοκόλλων εκτροφής για τους ιχθύες.

Οι προνύμφες των ιχθύων που τρέφονται κανονικά είναι πιο δραστήριες, κολυμπούν γρηγορότερα και περισσότερο από εκείνες που δεν τρέφονται. Στην έρευνα που γίνεται για την συμπεριφορά των ιχθύων, τα περισσότερα προβλήματα αφορούν τους ρυθμούς δραστηριότητας, τα μοτίβα κολύμβησης, την τροφοληψίας, την αναζήτηση της τροφής και την αποδοτική δέσμευσή της. Μια λεπτομερής ενημέρωση των ημερήσιων και εποχιακών πρότυπων δραστηριότητας, θα επιτρέψει την ανάπτυξη των πρωτοκόλλων εκτροφής, ώστε να είναι καλύτερα συντονισμένα με την βασική βιολογία των ειδών που εκτρέφονται. Επίσης κεντρικής σημασίας είναι οι παρατηρήσεις συμπεριφοράς σχετικά με το σε ποιο σημείο της εγκατάστασης, οι προνύμφες μπορούν και προτιμούν να εντοπίζουν την τροφή τους και να την συλλαμβάνουν.

Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός των ουσιών που μπορούν να παρακινήσουν την αύξηση της σίτισης των προνυμφών των ιχθύων και να αυξηθεί η πιθανότητα ότι η τροφή θα καταναλωθεί και θα αφομοιωθεί, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην εξέλιξη και βελτίωση των τεχνικά κατασκευασμένων τροφών. Δεν πρέπει να αγνοούμε πως η ελκυστικότητα, η γευστικότητα και η διατήρηση των ζώντων και μεταποιημένων ζωοτροφών χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή, ιδιαίτερα κατά τον απογαλακτισμό των ιχθύων, καθώς πολύ λίγα είναι γνωστά για τα οσφρητικά και γευστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των ιχθύων και των προνυμφών τους.

ΟΙ ηλεκτροφυσιολογικές και οι τεχνικές συμπεριφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία μιας καμπύλης συγκέντρωσης - απόκρισης για διάφορες ουσίες και να χαρακτηρίσει το πώς συμπεριφέρεται το ψάρι με την παρουσία τους. Η εφαρμογή αυτών των τεχνικών είναι σαν να ζητούμε από τους ιχθύες να μας δείξουν ποιες από τις ουσίες αυτές που αντιλαμβάνονται τις προτιμούν και ίσως το κυριότερο ποιες δεν προτιμούν. Επομένως οι άμεσες παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των ιχθύων είναι απαραίτητη (π.χ. κατά τη διάρκεια της μετάβασης, όπως την περίοδο απογαλακτισμού).

ΟΙ δείκτες συμπεριφοράς μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της κατάστασης άγχους και / ή της ευημερίας. Μέχρι πρόσφατα, πολύ

λίγες πληροφορίες ήταν διαθέσιμες σχετικά με τη γενική συμπεριφορά, άγχος, δυσφορία / πόνος, άγχος / φόβο, και «άνετες» συνθήκες των ιχθύων σε εκτενείς καλλιέργειες. Αυτό το είδος των δεδομένων είναι αναγκαία για την ενημέρωση, την βελτίωση και την ανάπτυξη των ιχθυοκαλλιεργειών.

Η ποιότητα του περιβάλλοντος και του νερού μπορεί να είναι διαφορετική για τους ιχθύες στην υδατοκαλλιέργεια σε σύγκριση με τις τους ιχθύες στην ανοικτή θάλασσα. Παρά το γεγονός ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να ποικίλλουν πολύ για τα άγρια ψάρια, το περιβάλλον εκτροφής και η ποιότητα των υδάτων μεταξύ των διαφόρων εκκολαπτηρίων και ιχθυοκαλλιεργειών μπορεί να διαφέρουν ακόμη περισσότερο.

Αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι διάφορες επεξεργασίας νερού και στρατηγικές εκτροφής (συμπεριλαμβανομένης της ανακύκλωσης), εφαρμόζονται και αναπτύσσονται από την εκάστοτε μονάδα. Συγκεκριμένα, ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με μια συγκεκριμένη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας που είναι θανατηφόρες, καθώς η θερμοκρασία είναι ένα βασικός ρυθμιστής του μεταβολισμού και της ανάπτυξης των ιχθύων. Έτσι, απαιτούνται περισσότερες γνώσεις για τις επιδράσεις της θερμοκρασίας στην φυσιολογία και τη βιοχημεία των προνυμφών και των ενήλικων ατόμων των ιχθύων. Παρόμοιες συνέπειες για τους ιχθύες μπορούν να προκύψουν από τις διαφοροποιήσεις στην αλατότητα και στο διαλυμένο οξυγόνο. Η αλατότητα μπορεί να επηρεάσει τους ιχθύες και την ανάπτυξη τους μέσω της όσμωσης, ενώ το οξυγόνο είναι απαραίτητο για το μεταβολισμό των προνυμφών και την ανάπτυξη τους.

Το φως είναι άλλη μια σημαντική παράμετρος, καθώς μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό βιολογικό ρυθμιστή για τους ιχθύες, μέσω του έλεγχου της διατροφής, της πέψης, και της αναπαραγωγής. Επίσης, το φως ασκεί πιθανώς μια επιρροή επί των βασικών συστημάτων σηματοδότησης στον εγκέφαλο των ιχθύων, κυρίως στα τμήματα του εγκεφάλου τα οποία είναι φωτοευαίσθητα, συμπεριλαμβανομένου και του αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού, που διαθέτει την σεροτονίνη, ένα σημαντικό νευροδιαβιβαστή. Το φως εξαρτάται από πολλές σημαντικές παραμέτρους, όπως η ποσότητα (ένταση του φωτός), η ποιότητα (φασματική σύνθεση), η κατανομή του φωτός (πηγή σημείο ή ομοιόμορφα), και η εποχικότητα (φωτοπερίοδος και εποχή). Ενώ οι εξωτερικές συνθήκες φωτισμού ορίζονται ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή, το βάθος, την παρουσία φυκιών κ.α., στις εγκαταστάσεις των

ιχθυοκαλλιέργειών οι συνθήκες αυτές είναι συχνά πολύ διαφορετικές από αυτές που απαντώνται στα φυσικά συστήματα.

Ειδικότερα, η ένταση του φωτός είναι μικρότερη, η φασματική σύνθεση είναι διαφορετική με π.χ. έλλειψη της υπεριώδους ακτινοβολίας, και συνήθως γίνεται 24-ωρη χρήση του φωτός. Η τελευταία παράμετρος αφαιρεί όλα τα ημερήσια σήματα από τις προνύμφες και τα ενήλικα άτομα των ιχθύων, με άγνωστες επιπτώσεις στην ανάπτυξη τους. Αυτό συμβαίνει γιατί τα κύτταρα της επίφυσης και των οφθαλμών, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό είναι αυτά, που υπό την επίδραση του φωτός, ελευθερώνουν την ορμόνη μελατονίνη (Bayarr et al., 2004, Vela et al., 2009). Η μελατονίνη είναι ένας σημαντικός παράγοντας παρέχοντας στους ιχθείς και γενικότερα στα περισσότερα ζώα, πληροφορίες για το χρόνο της μέρας και του έτους, για τη σύνθεση και απελευθέρωση του γεννητικού υλικού. Στους ιχθείς, η παραγωγή της μελατονίνης ρυθμίζεται με βάση τον κυρκαδικό κύκλο, μέσω της επίφυσης (Amano et al., 2006).

Έχει αποδειχθεί ότι κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των ιχθύων, ακατάλληλος φωτισμός ως προς την ένταση, το μήκος κύματος, την φωτοπερίοδο και την κατεύθυνση του φωτός, από αυτή που προϋποθέτει το είδος και η οπτική οντογένεση του, μπορεί να αποτελέσει αιτία αυξημένων θνησιμοτήτων, μειωμένης ανάπτυξης, εμφάνισης σκελετικών και ανατομικών δυσμορφιών (απουσία, πλημμελή ανάπτυξη ή υπερτροφία νηκτικής κύστης, μειωμένη απορρόφηση λεκιθικού σάκου, παραμόρφωση σιαγόνας και σπονδυλικής στήλης), μειωμένης ανάπτυξης του πεπτικού σωλήνα και των συναφών σε αυτόν οργάνων (Firat et al., 2003, Korkut et al., 2006, Villamizar et al., 2009).

Αναλυτικότερα μπορεί να ειπωθεί πως στους περισσότερους ιχθείς, η επίδραση της φωτοπερίόδου θεωρείται καθοριστικής σημασίας, συμβάλλοντας στην παραγωγή ορμονών όπως μελατονίνη, θυρεοειδείς και γοναδικές ορμόνες. Γενικά, ξεκινά μια διαδικασία αλυσιδωτών αντιδράσεων επηρεάζοντας το ενδοκρινικό σύστημα, ρυθμίζοντας την αναπαραγωγική συμπεριφορά (Papoutsoglou 1998, Boeuf and Le Bail, 1999, Bayarri et al, 2004, Begtashi et al., 2004, Rodriguez, 2005, Oliveira et al., 2007), την επιβίωση και την ανάπτυξη (Barahona – Fernandez, 1979, Krakenes et al., 1991, Jobling, 1994, Downing and Litvak, 1999, Giri et al., 2002, Downing, 2002, Bayarri et al., 2004, Imsland and Jonassen, 2005), ενώ δεν αποκλείεται να επηρεάζει τη διατροφική συμπεριφορά, τον μεταβολισμό, την

επιθετικότητα και τον κανιβαλισμό σε αρκετά είδη ιχθύων (Giri et al., 2002, Almazan – Rueda et al., 2004).

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

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

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

δέρματος και το μεταβολισμό των ιχθύων (Firat et al., 2003, Han et al., 2005, Doolan et al., 2007).

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

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

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

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

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

Αντίθετα, οι Downing and Litvak (2001) οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η τυχαία συνύπαρξη των ιχθυδίων κατά την πρώτη σίτιση με εξωγενή τροφή και της

τροφής στο χώρο, ακόμα και υπό καθεστώς διαύγειας, δεν εξασφαλίζουν την επιτυχή κατανάλωση της τροφής. Η μείωση της οπτικής δυνατότητας των ιχθυδίων, η οποία τελικά οδηγεί σε μείωση ανάπτυξης και επιβίωσης, μπορεί να προκληθεί από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι το φάσμα φωτός.

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

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

νυκτόβιος θηρευτής, *Lithognathus mormyrus*, ημερόβιο είδος), στην παρουσία τεχνητού φωτός διαφορετικού φάσματος και έντασης.

Οι Szisch et al., 2002 δεν διαπίστωσαν διαφοροποίηση της συγκέντρωσης της γλυκόζης και διαφόρων ορμονών όπως, των θυροειδικών ορμονών (T3 , T4), της κορτιζόλης και της MSH σε άτομα του είδους *Pagrus pagrus*, ούτε διαφοροποίηση της περιεκτικότητας των χρωματοφόρων κυττάρων στο δέρμα, παρόλο που ήταν εμφανής η διαφοροποίηση της φωτεινότητας του δέρματος. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, το διαφορετικό μήκος κύματος επιδρά στην αλληλεπίδραση των χρωματοφόρων κυττάρων για την απόδοση του χρωματισμού του δέρματος και όχι στην ποσότητά τους.

Οι Head and Malison 2002, Barcellos et al., 2006 και Karakatsouli et al. 2008 διαπίστωσαν ότι η χρήση κατάλληλου φάσματος φωτισμού είναι δυνατό να μειώσει την αντίδραση των ιχθύων στο stress. Οι Barcellos et al., 2006, χρησιμοποιώντας δύο φάσματα μικρού μήκους κύματος (κυανό και πράσινο) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μόνο ένα μικρό φασματικό εύρος μπορεί να προκαλέσει τα ευεργετικά αποτελέσματα της μείωσης της αντίδρασης του stress, το οποίο χαρακτηρίζει το φυσικό περιβάλλον διαβίωσης του εκάστοτε οργανισμού. Οι Head and Malison 2007 και Karakatsouli et al. 2008 παρατήρησαν ότι το φάσμα φωτός της εμφάνισης καλύτερης αντίδρασης στο stress, μπορεί να διαφέρει αυτού της εμφάνισης βέλτιστης ανάπτυξης, ενώ είναι πιθανόν τα δύο αυτά φάσματα να διαφέρουν κατά πολύ (κυανό – ερυθρό).

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

2005), την αναπαραγωγή (Gamble et al., 2003, Volpato et al., 2004) και την επιβίωση (Downing, 2002).

Η αντίληψη του μήκους κύματος της ακτινοβολίας από του ιχθείς εξαρτάται από τους φωτουποδοχείς του οφθαλμού και διαφέρει μεταξύ των διαφόρων ειδών. Οι φωτουποδοχείς του κάθε είδους είναι προσαρμοσμένοι στην ηθολογία διαβίωσης και αναπαραγωγής των περισσότερων ειδών. Οι Kobayashi et al., 2002 παρατήρησαν ότι η ευαισθησία των ιχθύων σε διαφορετικά μήκη κύματος υπέρυθρου φωτός (700, 750, 780 και 800 nm) εμφανίζεται ακόμα και μεταξύ των υποειδών (ποικιλιών) της τιλάπιας *Oreochromis niloticus*.

Η πυκνότητα των ψαριών στην εντατική καλλιέργεια είναι πολύ υψηλότερη από ότι στη φύση, επομένως αποτελεί ακόμα μια παράμετρο που μπορεί να επηρεάσει την ποιοτική και ποσοτική απόδοση μιας ιχθυοκαλλιέργειας. Η αύξηση της θολερότητας με την προσθήκη σωματιδίων στο νερό έχει αποδειχθεί ευεργετική για την ενίσχυση της σίτισης των προνυμφών, πιθανώς για την βοηθάει στη μείωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατόμων. Αρκετά εκκολαπτήρια χρησιμοποιούν την τεχνική του «πράσινου νερού» στην οποία προσθέτουν στο νερό άλγη ή πάστα φυκιών, η θετική επίδραση της θολερότητας παρατηρείται επίσης με την προσθήκη αδρανών σωματιδίων, όπως ο πηλός. Η θολότητα μπορεί επίσης να τροποποιήσετε τις συνθήκες φωτισμού βελτιώνοντας την αντίθεση καθιστώντας το θήραμα πιο εμφανές. Ιδιαίτερα στα μικρά συστήματα εκτροφής, το χρώμα της δεξαμενής μπορεί να επηρεάσει τους όρους αντίθεσης. Το θέμα της θολότητας περιπλέκεται ακόμη περισσότερο καθώς τα σωματίδια που χρησιμοποιούνται μπορεί να ληφθούν από τους οργανισμούς που χρησιμοποιούνται ως τροφή – θήραμα και επομένως, να επηρεαστεί η διατροφική αξία των θηραμάτων ή να τροποποιηθούν οι μικροβιακές συνθήκες στη δεξαμενή.

Στα παραπάνω θα πρέπει να προσθέσουμε και τα συστήματα φυσαλίδων αέρα που χρησιμοποιούνται στις μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας. Η χρήση των φυσαλίδων αέρα στο στάδιο των λαρβών γίνεται για να διανέμεται καλύτερα η τροφή και να μπορεί να εντοπιστεί και να καταναλωθεί ευκολότερα, αλλά και να μην καταλήγει στα κόσκινα των δεξαμενών και τα φράζει. Όμως η εν λόγω μέθοδος αυτή έχει και ορισμένα αρνητικά, δημιουργεί αναταράξεις στο νερό των κλωβών λόγω της ενέργειας που εκλύεται μέσω των φυσαλίδων. Παρόμοια κατάσταση εμφανίζεται και στην φύση μέσω των αιολικών και παλιρροϊκών κυμάτων. Ωστόσο, οι προνύμφες των ιχθύων στη φύση μπορούν να επιλέξουν να προφυλαχθούν από τις αναταράξεις που

δημιουργούνται χρησιμοποιώντας ως μέρος ξεκούρασης κάποιο σημείο λιγότερο εκτεθειμένο στην κυματική δράση. Κάτι ανάλογο στην δεξαμενή του ιχθυοτροφείου δεν μπορεί να γίνει. Παρόμοια επίδραση στις προνύμφες των ιχθύων έχει και η έντονη εισροή νερού στην δεξαμενή. Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω ασκούν δυνάμεις στο σώμα των λάρβων, με άγνωστα τα αποτελέσματα, καθώς έχουν εκφραστεί οι αντιδράσεις ότι μπορεί να προκαλούνται τραυματισμοί στους ιχθύες τόσο σκελετικούς όσο και μυονευρικούς.

Οι αυξήσεις στη θερμοκρασία του νερού μπορεί να εμφανίζονται συχνά σε δεξαμενές εκτροφής των προνυμφών για διάφορους λόγους. Αυτές οι αυξήσεις της θερμοκρασίας μπορούν να οδηγήσουν στον υπερκορεσμό αερίου μέσα στην δεξαμενή, το οποίο με την σειρά του έχει κατηγορηθεί ότι μπορεί να προκαλέσει την διόγκωση της σπονδυλικής στήλης των ιχθύων, ακριβώς πάνω από την νηκτική τους κύστη. Με τη χρήση των υπερ-οξυγόνωσης υψηλής πυκνότητας πολιτισμών, συνολικού κορεσμού αερίου είχε αρνητικές επιπτώσεις στα ιχθύδια, όταν μεταφέρθηκε στο κανονικό κορεσμένο νερό.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι σε πολλά είδη ιχθύων οι νευρομαστοί τους είναι εκτεθειμένοι στο νερό, με τη δυνατότητα να ανιχνεύουν διάφορες συχνότητες ήχου. Γίνεται επομένως κατανοητό πως η θάλασσα και γενικά το υδάτινο σύστημα μέσα στο οποίο ζουν οι ιχθύες δεν είναι αθόρυβο. Το ηχητικό περιβάλλον των δεξαμενών εκτροφής και του εκκολαπτηρίου όμως είναι πολύ διαφορετικό από την ανοιχτή θάλασσα. Η ροή του νερού μέσα από σωλήνες, βαλβίδες όπως και στις αντλίες δημιουργεί ισχυρό θόρυβο. Ο θόρυβος αυτός μεταφέρεται στις δεξαμενές των ιχθύων μέσω του αέρα, των σωληνώσεων του νερού, και το έδαφος και γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτός από αυτά. Οι επιπτώσεις του θορύβου στο στάδιο των λαρβών και στην ανάπτυξη των νεαρών ατόμων είναι άγνωστες. Ο θόρυβος πιθανότατα να δημιουργεί αυξημένο άγχος στους ιχθύες, με αποτέλεσμα η έκθεση στον θόρυβο, τόσο σε χρόνια έκθεση, όσο και σε μεγάλες εντάσεις να επηρεάζει την φυσιολογική ανάπτυξη των ιχθύων σε μια ιχθυοκαλλιέργεια.

Τέλος, πολλά είδη ιχθύων και κυρίως στο στάδιο των λαρβών τους για να μπορέσουν να γεμίσουν την νηκτική τους κύστη με αέρα και να την διογκώσουν, κινούνται προς την διεπιφάνεια νερού – ατμόσφαιρας. Στα ιχθυοτροφεία – εκκολαπτήρια, πολλές φορές αυτή η διεπιφάνεια δεν είναι καθαρή. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στα υπολείμματα τροφής, στις ακαθαρσίες που μεταφέρθηκαν εκεί μέσω κάποιου ρεύματος αέρα ή ακόμα και από τις απεκκρίσεις των ίδιων των

ιχθύων που βρίσκονται στην δεξαμενή. Αυτό το στρώμα που δημιουργείται και παρεμποδίζει ουσιαστικά την καλή διόγκωση της νηκτικής κύστης ίσως και να επηρεάζει την καλή λειτουργία του συγκεκριμένου οργάνου. Το οποίο όπως ειπώθηκε και παραπάνω σε ορισμένα είδη μπορεί να συνδέεται με το έσω ούς και να επηρεάζεται με αυτό τον τρόπο η αίσθηση της ακοής των ιχθύων.

4. Συμπεράσματα - Συζήτηση

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να ειπωθεί πως αν και η ιχθυοκαλλιέργεια γνωρίζει έντονη εφαρμογή και αποδοχή, μόλις πρόσφατα έχουν αρχίσει έρευνες για την ευζωία των εκτρεφόμενων ιχθύων, κυρίως σε σχέση με το πώς αυτή μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή και την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.

Γίνεται κατανοητό πως πολλές φορές η καταπόνηση που ασκείται στους ιχθύες και οδηγεί στην αύξηση του άγχους (stress), οφείλεται σε διάφορα εξωτερικά ερεθίσματα, πολλά από τα οποία είναι προϊόντα και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Έτσι για παράδειγμα, ο θόρυβος από κάποιο φίλτρο καθαρισμού, ο έντονος θόρυβος που θα κάνει κάποιος άλλος εξωτερικός παράγοντας στην δεξαμενή ή σε ένα ενυδρείο, η ασιτία που μπορεί να προέλθει από τη χρήση μιας τροφής που δεν γίνεται αποδεκτή, ο κακός φωτισμός ή αντίστοιχα ο πολύ έντονος φωτισμός και οι συχνές και απότομες αλλαγές στη συχνότητα του και πολλά άλλα μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ανάπτυξη των ιχθύων, λόγω της δημιουργίας stress σ' αυτά. Η αντίδραση των ιχθύων στο stress περιλαμβάνει όλα τα επίπεδα του οργανισμού, από το κύτταρο ως το άτομο και αφορά μεταβολές στη λειτουργία του αυτόνομου νευρικού και ενδοκρινικού συστήματος (Iwama et al. 2004). Αυτή η αντίδραση μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το είδος, τη γονοτυπική σύσταση, την ηλικία, το φύλο, την εμπειρία του ατόμου σε stress, την φυσιολογική και «ψυχολογική» κατάσταση του οργανισμού (Σμοκοβίτης, 2007).

Η συνεχής παρατήρηση είναι ίσως ο τρόπος μέσα από τον οποίο μπορεί να γίνει αντιληπτή άμεσα οποιαδήποτε αλλαγή που μπορεί να επηρεάζει την καλλιέργεια των ιχθύων, καθώς τα αποτελέσματα ξεκινούν από μια ήπια αλλαγή στη συμπεριφορά και τη φυσιολογία των ψαριών και μπορεί να φτάσουν μέχρι μια σημαντική δυσανεξία και θάνατο. Επομένως, αρχικά εμφανίζεται η φάση του συναγερμού, η

οποία περιλαμβάνει το στάδιο της καταπληξίας και το στάδιο της αντικαταπληξίας και ακολουθούν η φάση της αντίστασης και τέλος της εξάντλησης.

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

Κατά την φάση της αντίστασης, δραστηριοποιείται η δευτερογενής αντίδραση των ιχθύων, η οποία περιλαμβάνει απότομες μεταβολές των τιμών διαφόρων βιομηχανικών και αιματολογικών παραμέτρων (γλυκόζης του πλάσματος, γλυκογόνο του ήπατος κ. ά.) οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τη διατροφική κατάσταση των ιχθύων (Roncarati et al., 2006). Αυτές ακολουθούνται από ταχυκαρδία, διούρηση αλλαγή χρώματος. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις, που εξαρτώνται από το είδος και την φυσιολογική κατάσταση του ιχθύος, το είδος και την ένταση του παράγοντα stress, παρατηρείται μείωση του επιπέδου της βιταμίνης C στα επινεφρίδια, αιμορραγία του θύμου, υπερτροφία των επινεφριδίων καθώς και σαφής τάση μείωσης του αριθμού των λευκών αιμοσφαιρίων και του επιπέδου των πρωτεϊνών των μυών (Παπουτσόγλου, 1998).

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

Επομένως, είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση των ιχθύων και των παραμέτρων του περιβάλλοντος τους προκειμένου να μειωθεί η καταπόνηση που

προκύπτει τουλάχιστον από την ίδια την ιχθυοκαλλιέργεια και να βελτιωθεί η απόδοση της παραγωγής.

Σε αυτό το σημείο όμως πρέπει να ειπωθεί ότι γνωρίζοντας πως λειτουργούν τα αισθητήρια όργανα του εκτρεφόμενου είδους σε κάθε στάδιο της ανάπτυξης του, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε και σε άλλους τομείς που θα διευκολύνουν τόσο την διαβίωση των ιχθύων, όσο και την καλύτερη και αποδοτικότερη λειτουργία της μονάδας.

Το γεγονός αυτό μπορεί να συμβεί με την εκπαίδευση των ιχθύων για συντονισμένη πρόσληψη τροφής σε συγκεκριμένο χρονική στιγμή, στην διάρκεια της ημέρας. Αναλυτικότερα για να μπορέσει να εφαρμοστεί το συντονισμένο τάισμα των ιχθύων, εκτός από το ότι πρέπει να γίνεται συγκεκριμένη χρονική στιγμή της ημέρας (πάντα την ίδια), θα πρέπει να είναι σταθερό και το σημείο στο οποίο γίνεται η χορήγηση της τροφής. Επίσης, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένες ορμόνες (μελατόνινη) που θα προκαλέσουν συγκεκριμένο ερέθισμα στους ιχθύες, ενώ η χρήση συγκεκριμένων οπτικών και ηχητικών ερεθισμάτων μπορεί να βοηθήσει προς σ' αυτήν την κατεύθυνση (Κεντούρη Μ.).

Επίσης, καθίσταται εύκολη η χρήση ηλεκτρομηχανικών συστημάτων αυτοδιατροφής (Self feeders) στην μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας. Εφόσον τα συστήματα ρυθμιστούν σωστά, ώστε να μην ενεργοποιούνται τυχαία από τις κινήσεις των ιχθύων ή του κυματισμού και μπορεί να χρησιμοποιηθούν στο είδος το οποίο εκτρέφεται, μπορούν να αντιμετωπιστούν πολλά από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει μια μονάδα κατά την διάρκεια της σίτισης και μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ανάπτυξη των ιχθύων, λόγω της αύξησης του stress. Αναλυτικότερα, παρατηρείται η εξάλειψη του κοινωνικού παρασιτισμού, η οποία μπορεί να προκύψει πιθανόν από το σύστημα ιεραρχίας των ιχθύων μέσα στην δεξαμενή – κλωβό εκτροφής, εξασφαλίζεται η τροφή για μια μεγάλη μερίδα του πληθυσμού, καθώς τα άτομα εναλλάσσονται στον ρόλο του χειριστή, πετυχαίνεται η εξάλειψη της επίδρασης των επιφανειακών κυματισμών που μπορεί να δημιουργηθούν από την σίτιση με το χέρι και τέλος είναι δυνατόν να ρυθμιστεί η ποσότητα της χορηγούμενης τροφής με την χρήση υπολογιστή (Κεντούρη Μ.).

Ολοκληρώνοντας, μπορεί να ειπωθεί πως η παρατήρηση αλλαγών σε βασικές συνιστώσες της συμπεριφοράς των ιχθύων, όπως είναι η κατανάλωση τροφής, η κινητικότητα και η επιθετικότητα είναι ενδείξεις που αντανακλούν το βαθμό αλλοίωσης των αισθητήριων οργάνων που σχετίζονται με την αντίληψη του

περιβάλλοντος και με το βαθμό προσαρμοστικότητας τους. Επομένως, εφόσον επιθυμούμε την εξέλιξη της ιχθυοκαλλιέργειας και την αποδοτικότερη λειτουργία της κρίνεται απαραίτητο να μελετήσουμε εκτενέστερα την λειτουργία των αισθητήριων συστημάτων, όλων των εκτρεφόμενων ειδών, σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του οργανισμού.

Βιβλιογραφία

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- **Αγγελίδης Π. & Φώτης Γ.** «Εκτροφή και Παθολογία Ιχθύων», Τόμος Α, Θεσσαλονίκη 2003.
- **Κατσακούλης Π.** « Διερεύνηση της αντίδρασης σε οξύ stress του Λαβρακιού, υπό συνθήκες διαφορετικού χρώματος (μήκος κύματος) φωτός», Αθήνα 2010.
- **Κεντούρη Μ.** «Διατροφή των εκτρεφόμενων ιχθύων», Κρήτη 2007
- **Νεοφύτου Χ.** «Ιχθυολογία», Θεσσαλονίκη 1997
- **Πνευματικός Γ.** «Ιχθυοτροφία και Ιχθυοπαθολογία», Θεσσαλονίκη 1996
- **Σμοκοβίτης Α.** «Φυσιολογία» Θεσσαλονίκη. 2007
- **Χώτος Γ. & Ρογδάκης Ι.** «Υδατοκαλλιέργειες ευρύαλων ψαριών, λαβράκι και τσιπούρα, τεχνικές της αναπαραγωγής και πάχυνσης» Αθήνα 1992.

Ξενόγλωσση

- **Adams C.E., Turnbull J. F., Bell J. E. & Huntingford F. A..** «Multiple determinants of welfare in farmed fish : stocking density, disturbance and aggression in Atlantic salmon(*Salmo salar*)». J. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences (2007) 64., 336 – 344.
- **Adrian D. E. & Ludwig C.** «Nervous Discharges from the olfactory organs of fish» J. Physiol (1938) 94, 441 – 460.
- **Jerlov N.G.** «Light – general introduction» J. Marine Ecology (1970) 1, 95 – 102.

- **Kawamura G., Masuma S., Tezuka N., Kolso M., Jinbo T. & Namba K.** «Morphogenesis of sense organs in the bluefin tuna *Thunnus orientalis*» , J. The Big Fish Bang (2003), 123 – 135
- **Mana R. R. & Kawamura G.** «Olfactory Organs of Two Pelagic Teleost Fish – Opah (*Lampris guttatus*) & Dolphin fish (*Coryphaena hippurus*). J. South Pacific Study (2002) 2, 53 – 64.
- **Yan Y. H., Anraku K. & Babaran R.** «Locomotion and Sensory Capabilities in Marine Fish», Chapter 3 : Hearing in Marine Fish and It's Application in Fisheries.