

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ-ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ - ΜΟΝΑΔΑ ΕΝΥΔΡΕΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η Επιστημονικά ενδεδειγμένη διατροφή στα
πρώιμα στάδια ανάπτυξης ψαριών σε εμπορική
κλίμακα»**

Σταυρούλα Βαλτατζή
Ελένη Καλογεροπούλου

Εποπτεύων Καθηγητής
Κοσμάς Βιδάλης

Μεσολόγγι 2014

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες στους κάτωθι:

- Δρ Κοσμά Βιδάλη, Καθηγητή, και επιβλέπων της εργασίας, για τις χρήσιμες πληροφορίες και εύστοχες παρατηρήσεις του, κατά την εκπόνηση της εργασίας.
- MSc Νικόλαο Βλάχο, συνεπιβλέπων της εργασίας, για την αμέριστη και διαρκεί συμπαράστασή του και υποστήριξή του, την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.
- Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής Δρ Κανλή Γρηγόρη, Αναπληρωτή Καθηγητή και Δρ Λογοθέτη Παναγιώτη Επίκουρο Καθηγητή, για τις χρήσιμες συμβουλές τους.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στις οικογένειές μας για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μας.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια Ιχθυολογίας-Υδατοκαλλιεργειών ασπονδύλων και ενυδρείων του τμήματος Τεχνολογίας Αλιείας-Υδατοκαλλιεργειών του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Βιδάλη Κοσμά σε συνεργασία με το μέλος Ε.Τ.Π, Νικόλαο Βλάχο, MSc και αφορά τις « » και έγινε μετά από ανάθεση σύμφωνα με την αριθμ. 2/24-10-2013, απόφαση Συνέλευσης του τομέα Β. Οι λόγοι που αποτέλεσαν το έναυσμα για την επιλογή του παρόντος θέματος ήταν:

- 1) Οι διατροφικές απαιτήσεις των εδώδιμων και διακοσμητικών ψαριών που καλλιεργούνται σήμερα καθώς και τα διατροφικά προβλήματα που παρουσιάζουν στα πρώιμα στάδια ανάπτυξής τους.
- 2) Η μελλοντική επαγγελματική ενασχόλησή μας με το εν λόγω αντικείμενο

Περίληψη

Η ανάπτυξη των ψαριών από τα πρώιμα στάδια επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από διάφορους παράγοντες όπως η ποιότητα της τροφής, η πρόσληψη της τροφής και η θερμοκρασία του νερού. Οι κύριοι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την πρόσληψη της τροφής που είναι οργανοληπτικά αποδεκτή από το ψάρι είναι η θερμοκρασία και το ενεργειακό περιεχόμενο της τροφής. Έρευνες στις διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών του γλυκού και θαλασσινού νερού που διεξήχθησαν, δίνουν έμφαση στη διατροφή των ψαριών με ζωντανή τροφή κατά τη διάρκεια των πρώιμων σταδίων ανάπτυξης του ψαριού.

Οι απαιτήσεις σε πρωτεΐνη κυμαίνονται από 30% έως 50%, ενώ οι τροφές που χορηγούνται σήμερα συνίσταται να είναι εμπλουτισμένες με ιχνοστοιχεία και βιταμίνες. Οι απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα, συνιστούν την προσθήκη ω3 λιπαρών οξέων στην τροφή προκειμένου το ψάρι να αναπτυχθεί ικανοποιητικά. Σε ότι αφορά το μεταλεκιθοφόρο στάδιο ανάπτυξης των ψαριών συνίσταται η χορήγηση τροφών πλούσιες σε λιπαρά οξέα. Επίσης, μελέτες αναφέρουν ότι η θρεπτική αξία των ψαριών επιτυγχάνεται όταν η τροφή είναι περιέχει τις απαραίτητες λιποδιαλυτές βιταμίνες.

Η ημερήσια ανάγκη σε πεπτή ενέργεια για ψάρια βάρους έως 1 g είναι 16,8 Kcal/100 g βάρους ψαριού σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα σε βάρος ψάρια (>100g) όπου οι ανάγκες τους σε ενέργεια είναι 5 Kcal/100 g βάρους ψαριού. Ο προσδιορισμός των διατροφικών απαιτήσεων στα ψάρια γίνεται με σκοπό τη βελτίωση του ρυθμού ανάπτυξης, της επιβίωσης και τη σύσταση της τροφής που θα χρησιμοποιηθεί με βάση την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, λίπη, υδατάνθρακες, αμινοξέα και βιταμίνες.

Λέξεις κλειδιά: διατροφή, πρώιμη ανάπτυξη, διακοσμητικά ψάρια, εδώδιμα ψάρια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπαρά οξέα, βιταμίνες.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	2
Περίληψη.....	3
1.Εισαγωγή.....	6
2. Ανάπτυξη ψαριών	9
3. Διατροφή και θρεπτικές απαιτήσεις.....	12
3.1. Διατροφικές συνήθειες.....	12
3.2. Επίπεδο διατροφής.....	16
3.3. Διαιτητικές απαιτήσεις.....	18
3.3.1. Πρωτεΐνες.....	18
3.3.1.1. Πρωτεϊνικές απαιτήσεις των ψαριών	21
3.3.2. Λίπη-Λιπαρά Οξέα.....	23
3.3.3. Αμινοξέα	25
3.3.4. Υδατάνθρακες	31
3.3.5 Βιταμίνες - Ιχνοστοιχεία	32
4. Σχεδιασμός τροφών για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών	36
4.1. Διαιτητικές πηγές ενέργειας.....	36
4.2. Αναλογία των θρεπτικών ουσιών που χρησιμοποιούνται ως πηγές ενέργειας. 37	
4.3. Υπολογισμός της ποσότητας της τροφής.....	37
4.4. Ενεργειακές απαιτήσεις και πηγές	38
4.5. Απαιτήσεις.....	38
5. Πεπτικό σύστημα	41
5.1. Μορφολογία Πεπτικού συστήματος	41
5.2. Όργανα κατάποσης τροφής-φαρυγγικά δόντια	41
5.3. Πεπτικά ένζυμα και πέψη.....	43

6. Συμπεράσματα.....	46
7. Abstract	48
8. Βιβλιογραφικές αναφορές	49

1.Εισαγωγή

Η εκτροφή και η καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών σε ελεγχόμενες συνθήκες είναι ευρέως διαδεδομένη με τον όρο Υδατοκαλλιέργεια είναι γνωστή στην ανθρωπότητα από την αρχαιότητα, γνώρισε όμως την μεγαλύτερη εξέλιξη κατά την διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών (Παπουτσόγλου, 1997; Lucas, 2003a).

Οι Σουμέριοι, 4500 χρόνια πριν, διατηρούσαν ψάρια σε λίμνες πριν τα καταναλώσουν. Οι Κινέζοι 2000 χρόνια πριν, ήταν οι πρώτοι που διατηρούσαν κυπρίνους σε μικρές λίμνες για κατανάλωση και αναπαραγωγή (<http://www.library.thinquest.org>). Περίπου το 2000 π.Χ. εμφανίζεται στην Αίγυπτο η εκτροφή της τιλάπιας *Tilapia nilotica* και την ίδια εποχή γίνεται η πρώτη προσπάθεια εκτροφής στρειδιών σε παραλιακές περιοχές της Ιαπωνίας (Παπουτσόγλου, 1997).

Παράλληλα, οι αρχαίοι πολιτισμοί των Αιγυπτίων, των Ρωμαίων και των Ελλήνων, διατηρούσαν και χρησιμοποιούσαν ψάρια για κατανάλωση τροφής. Οι Αιγύπτιοι και οι Ρωμαίοι ήταν πιθανότατα οι πρώτοι που κατασκεύαζαν τις πρώτες λίμνες με νερό από τη θάλασσα ή τον ωκεανό και διατηρούσαν ψάρια όχι μόνο για κατανάλωση τροφής αλλά και για ψυχαγωγία (Κλαουδάτος, 2006). Οι Έλληνες υπήρξαν και σε αυτόν το τομέα πρωτοπόροι αφού ήδη ο Αριστοτέλης (384-322 π.Χ.) κατέγραψε την φυσιολογία των ψαριών, τις κινήσεις τους, τη συμπεριφορά τους, την εκτροφή τους και θεωρείται ο πρώτος επιστήμονας ιχθυολόγος (www.wikipedia.org).

Οι ιχθυοκαλλιέργειες στην Ευρώπη θεωρείται ότι ξεκίνησαν στον Μεσαίωνα με την εκτροφή διάφορων ειδών ψαριών γλυκού νερού (τούρνα, μπριάννα και κέφαλο) στις φυσικές υδατοκαλλιέργειες. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλιζόνταν η αναπαραγωγή τους σε ελεγχόμενο χώρο και η δυνατότητα κατανάλωσής τους από τον άνθρωπο όταν ήταν επιθυμητό. Το 16^ο αιώνα μ.Χ. στον ευρωπαϊκό χώρο πραγματοποιούνται σημαντικές εξελίξεις στις μεθόδους εκτροφής, όπου αναφερόμαστε πλέον για ελεγχόμενη εκτροφή με τις σημερινές σχεδόν προδιαγραφές. Η παροχή συστηματικής σίτισης βοηθάει στον έλεγχο της διαδικασίας εκτροφής τους και επιπλέον με την τεχνική γονιμοποίηση των ώριμων γεννητικά ατόμων (άγριας ευρωπαϊκής πέστροφας, *Salmo trutta fario*) σταδιακά έγιναν τα πρώτα εκκολαπτήρια και στην συνέχεια δημιουργήθηκαν εντατικές μονάδες εκτροφής (Παπουτσόγλου, 1997).

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα με την ανάπτυξη των βιολογικών επιστημών και της τεχνολογίας, σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση σε προϊόντα υψηλής θρεπτικής αξίας, οι οικογενειακές μονάδες υδατοκαλλιέργειας μετατρέπονται σε μικρές επιχειρήσεις, σε επιχειρήσεις συσσώρευσης κεφαλαίου πολυεθνικού χαρακτήρα. Ολόκληρος ο κλάδος έχει πλέον μετεξελιχθεί σε μια ολοκληρωμένη βιομηχανία αιχμής με τους επιμέρους τομείς (εκτροφή, αναπαραγωγή, διατροφή, μεταποίηση και εμπορική διάθεση) να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του (Κουσούρης και συν., 1995).

Η διατήρηση ψαριών σε ελεγχόμενες συνθήκες δεν αναπτύχθηκε μόνο για την μετέπειτα κατανάλωση τους αλλά και για ψυχαγωγία. Στα τέλη του 20^{ου} αιώνα η εξάπλωση της υδατοκαλλιέργειας και του χόμπι της ενυδρειολογίας ήταν αλματώδης. Η τεχνογνωσία και η ανάπτυξη έκανε εφικτή πλέον την προσομοίωση βιοτόπων (όπως για παράδειγμα να εγκαταστήσουμε ένα κομμάτι των υγροτόπων της νοτιοανατολικής Ασίας, ένα μέρος της λεκάνης του Αμαζονίου ή ένα μικρό κοραλλιογενή ύφαλο στο σαλόνι μας) (www.greekaquarium.gr/editorialgr.html).

Σήμερα, αξίζει να αναφέρουμε ότι το μεγαλύτερο ενυδρείο του κόσμου εδρεύει στο Ντουμπάι (www.aquatek.gr.com), ενώ το Cretaquarium στην Ελλάδα αποτελεί ένα από τα καλύτερα της Ευρώπης και το καλύτερο των Βαλκανίων. Στην χώρα μας, το χόμπι, δεν παρουσίασε τη ραγδαία ανάπτυξη των χωρών της υπόλοιπης Ευρώπης ή της Βόρειας Αμερικής, ωστόσο, τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον από τους Έλληνες χομπίστες για την ενυδρειολογία. Οι μικρόκοσμοι των ενυδρείων εκπροσωπούν την προσπάθεια των ανθρώπων να αναπαραστήσουν τη λεπτή και εύθραυστη δυναμική ισορροπία, όπως αυτή υπάρχει στους υγροτόπους του Πλανήτη, αλλά χωρίς τις δυνάμεις της ίδιας της φύσης, χρησιμοποιώντας βέβαια την ευφυΐα που μας χαρίστηκε από αυτήν ακριβώς την φύση (www.greekaquarium.gr).

Σήμερα, παρουσιάζεται αυξημένο οικονομικό ενδιαφέρον και γίνονται ολοένα και περισσότερες προσπάθειες για την αναπαραγωγή και την εκτροφή διακοσμητικών και τροπικών ψαριών, τόσο του γλυκού, όσο και του αλμυρού νερού. Τα αγγελόψαρα (*Pterophyllum scalare*), η τιλάπια (*Oreochromis aureus*), οι δίσκοι (*Symphysodon aequifasciatus*), τα χρυσόψαρα (*Carrassius auratus*), τα γκάπυ (*Poecilia reticulata*) τα κλωουνόψαρα (*Amphiprion percula*), η τσιπούρα (*Sparus auratus*), το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), η συναγρίδα (*Dentex dentex*), το μυτάκι (*Diplodus puntazzo*), ο κέφαλος (*Mugil cephalus*) και το φαγκρί (*Pagrus pagrus*) αποτελούν είδη ψαριών με αυξημένο εμπορικό ενδιαφέρον.

Η ανάπτυξη των ψαριών από τα πρώιμα στάδια επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από διάφορους παράγοντες όπως η ποιότητα της τροφής, η πρόσληψη της τροφής και η θερμοκρασία του νερού. Οι κύριοι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την πρόσληψη της τροφής που είναι οργανοληπτικά αποδεκτή από το ψάρι είναι η θερμοκρασία και το ενεργειακό περιεχόμενο της τροφής (Hidalgo & Alliot, 1987).

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι, να μελετήσει τις διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών τόσο του γλυκού, όσο και του θαλασσινού νερού, με αυξημένη εμπορική αξία κατά τα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης τους.

Ουσιαστικά, δίνεται έμφαση στη ποιοτική σύσταση του σιτηρεσίου, προκειμένου να αξιοποιηθεί από το ψάρι, από τα πρώιμα στάδια της ανάπτυξής του ως το στάδιο της μεταμόρφωσης, με απώτερο στόχο την ανάπτυξη, διατήρηση, επιβίωση, αλλά και την αντοχή του στο περιβαλλοντικό stress.

2. Ανάπτυξη ψαριών

Με τον όρο ανάπτυξη αποδίδεται το σύνολο των βιοχημικών διεργασιών, από τις οποίες προκύπτουν οι βιολογικές μεταβολές που προβλέπονται από το γονότυπο κάθε είδους ιχθύων οι οποίες αποσκοπούν στην εξέλιξη της σωματικής τους διάπλασης και των βιολογικών τους φάσεων από την εμβρυογένεση μέχρι του φυσιολογικού τους θανάτου (Μεντέ & Νέγκας, 2011).

Η εξέλιξη της σωματικής διάπλασης συνίσταται στην ανάπτυξη του σκελετού και στην παράλληλη συσσώρευση μυϊκών μαζών, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του μεγέθους των βραγχίων, των οργάνων της κοιλιακής κοιλότητας και πτερυγίων των ιχθύων. Κατά την εξέλιξη της σωματικής διάπλασης και σε ομαλές συνθήκες διαβίωσης παρατηρείται αύξηση του ζώντος βάρους, στην οποία μπορεί να μετέχει ανάλογα με το είδος και του επιπέδου εναπόθεσης λίπους καθώς και το βάρος των γονάδων.

Η ανάπτυξη των ιχθύων περιγράφεται από τις μεταβολές του σωματικού μεγέθους του ψαριού και τις βιοχημικές μεταβολές του ψαριού. Οι μεταβολές εκφράζονται είτε ενδογενώς είτε εξωγενώς. Μελέτες έδειξαν ότι η ανάπτυξη των ψαριών σε ελεγχόμενες συνθήκες καθορίζεται από εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες ή συνδυασμός των δυο.

Οι εξωγενείς παράγοντες είναι:

- θερμοκρασία νερού
- επίπεδα διαθέσιμου O₂
- αλατότητα νερού
- φωτοπερίοδος
- χρώμα χώρων εκτροφής
- «αιωρούμενα σωματίδια»
- Λοιποί περιβαλλοντολογικοί παράγοντες
- Διατροφή

Οι ενδογενείς παράγοντες είναι:

- «Κοινωνική» συμπεριφορά η οποία διακρίνεται στην πυκνότητα εκτροφής και στην πολυκαλλιέργεια (συνεκτροφή)
- Μέγεθος/ηλικία ιχθύων

- Κολυμβητική ικανότητα
- Stress
- Ορμόνες
- Κληρονομικότητα

Τα μοντέλα ανάπτυξης στην πλειοψηφία τους περιγράφουν μια σχέση μεταξύ του ζώου, και της ηλικίας του, η οποία είναι ανεξάρτητη από παράγοντες που μεταβάλλονται με το χρόνο. Στα μοντέλα ανάπτυξης, η θερμοκρασία και η διαθεσιμότητα της τροφής επηρεάζουν την ανάπτυξη ενός οργανισμού, ενώ μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο (Xiao & McShane, 2000).

Η αύξηση του χρόνου ζωής στα νεαρά άτομα και τα μικρά ποσοστά θνησιμότητας, δείχνουν ότι τα είδη *L. adetii* και *L. quinquelineatus* είναι περισσότερο ευάλωτα στην υπεραλίευση. Ο ρυθμός ανάπτυξης, η ηλικία και η θνησιμότητα στην πέρκα *Lutjanus malabaricus* μελετήθηκαν από τους Newman *et al.* (1996). Στα κεφαλόποδα, η ανάπτυξη του είδους *L. Chinensis*, είναι μεγαλύτερη και πιο γρήγορη τους χειμερινούς μήνες σε σχέση με τα θηλυκά κεφαλόποδα τα οποία παρουσιάζουν μικρότερη ανάπτυξη. Η απότομη ανάπτυξη και η μικρή διάρκεια ζωής επηρεάζει περισσότερο τα πελαγίσια κεφαλόποδα, σε αντίθεση με τα τροπικά κεφαλόποδα τα οποία αναπτύσσονται πιο γρήγορα από τα αντίστοιχα της εύκρατης ζώνης (Jackson & Choat, 1992).

Οι *Ozório et al.* (2009) ανέλυσαν το στομαχικό περιεχόμενο της τσιπούρας, που δείχνει ότι φύκια και αχινοί είναι σημαντική λεία για το είδος *D. Vulgaris* καθώς και συγγενικών ειδών, όπως του *Diplodus sargus*, υποδεικνύοντας ότι τα νεαρά άτομα και αναπτυσσόμενα ιχθύδια αυτών των ειδών προσαρμόζονται καλά στην κατανάλωση τροφών με πρωτεΐνη χαμηλής διατροφικής αξίας και υδατάνθρακες υψηλής διατροφικής αξίας. Μελέτες έδειξαν ότι οι μεταλεκιθοφόρες νύμφες του είδους *D.Sargus* που καλλιεργήθηκαν υπό ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη όταν τρέφονταν με τροφές που περιείχαν 27-32% σε πρωτεΐνες και τουλάχιστον 38% σε υδατάνθρακες, αντικαθιστώντας τις πρωτεΐνες χωρίς να υπάρχουν απώλειες στην αύξηση.

Οι Person-Le Ruyet *et al.* (2004) μελετώντας τις απαιτήσεις της ποιότητας του νερού για τα λαβράκια, που είναι λιγότερο γνωστές απ' ότι αυτές των καλκανιών, παρόλο που τα λαβράκια είναι είδος με μεγάλη εμπορική αξία στο τομέα της Υδατοκαλλιέργειας στην Ευρώπη (50.000 τόνοι παράχθηκαν το 2002, σε σχέση με τους 5.000 τόνους καλκανιών) (FAO, 2007). Τα νεαρά άτομα του λαβρακιού παρατηρήθηκε ότι παύουν να αναπτύσσονται

στους 11-15 °C και αναπτύσσονται γρηγορότερα στους 22-25 °C, ενώ ακραίες τιμές στη θερμοκρασία των 2-3 °C και 30-32 °C είναι θανάσιμες (Barnabè, 1991). Οι Russell *et al.* (1996) ανέφεραν ότι, η ανάπτυξη των ιχθυδίων του λαβρακιού στα Βρετανικά ύδατα δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στους 7 °C και είναι υψηλή στους 18 °C, ενώ τα νεαρά και αναπτυσσόμενα άτομα των ειδών της Μεσογείου αναπτύσσονται (το χειμώνα και το καλοκαίρι) μεταξύ των 13 και 29 °C.

3. Διατροφή και θρεπτικές απαιτήσεις.

3.1. Διατροφικές συνήθειες

Το κόστος της τροφής είναι από τους παράγοντες που ασκούν καταλυτική επίδραση αυξάνοντας το κόστος της εκτροφής. Η κατάλληλη διαχείριση των τροφών του ψαριού, ιδίως στα πρώιμα στάδια της ζωής τους, και η επιλογή της κατάλληλης τροφής συντελούν σε σημαντικό βαθμό στην επίτευξη του μέγιστου οικονομικού αποτελέσματος. Γίνεται προσπάθεια να καλυφθούν οι απαιτήσεις των ψαριών που λαμβάνουν την τροφή τους στην επιφάνεια (επιπλέουσες τροφές), στο νερό (αιωρούμενες τροφές) και στον πυθμένα (βυθιζόμενες τροφές), (Βλάχος, 2010).

Η διατροφική συμπεριφορά των ψαριών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Για να είναι μια τροφή αποδοτική, θα πρέπει εκτός από τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών να είναι ελκυστική και αποδεκτή από τα ψάρια έχοντας τα κατάλληλα στοιχεία στα εξής χαρακτηριστικά: εμφάνιση, οσμή, υφή και γεύση.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τροφών στα ψάρια στηρίζονται σύμφωνα με μελέτες στην παραγωγή παραγώγων πρωτεϊνών από υδρόλυση χρησιμοποιώντας οξέα, βάσεις, ενδογενή ένζυμα, και βακτήρια ή πεπτικές πρωτεάσεις. Μελέτες έδειξαν ότι, υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της χημικής σύστασης του σώματος των ιχθύων και της προσλαμβανόμενης τροφής. Ο ρυθμός ανάπτυξής τους, η φυσιολογική κατάσταση και η υγεία τους, καθώς και η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτώνται από την τροφή που καταναλώνουν τα ψάρια. Η ανάπτυξη του ψαριού συνδέεται ουσιαστικά με την κατανάλωση τροφής η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ακόμα και αν δεν μετριέται (Μεντέ & Νέγκας, 2011).

Ο Pauly (1989), μελέτησε την κατανάλωση της τροφής σε 56 διαφορετικά είδη ψαριών που ζουν σε τροπικές και εύκρατες περιοχές, επαναδιατυπώνοντας το λόγο της ετήσιας κατανάλωσης τροφής (Q) ανά βιομάζα (B) του πληθυσμού. Η εκτίμηση του λόγου Q/B, προκύπτει από ετερογενείς πηγές που αυξάνονται με τη θερμοκρασία του νερού και μειώνονται με το βάρος του ψαριού.

Μετά την πρόσληψή της τροφής, το ζώο υφίσταται τη διαδικασία της πέψης, της απορρόφησης και της χρησιμοποίησης των θρεπτικών συστατικών. Τα βασικά θρεπτικά συστατικά είναι τα εξής (Μεντέ & Νέγκας, 2011):

- πρωτεΐνες και αμινοξέα
- λιπαρές ουσίες (λίπη και λιπαρά οξέα)
- υδατάνθρακες
- βιταμίνες
- ιχνοστοιχεία.

Η ανάπτυξη των ψαριών (διακοσμητικών και εδωδιμων ειδών) με παρόμοιες διατροφικές συνήθειες και διατροφική συμπεριφορά, υπολογίζεται σε σχέση με το βάρος και την ηλικία του ψαριού. Τα εύκρατα βενθοπελαγικά είδη αυξάνουν γρηγορότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα τροπικά είδη που ζουν σε τροπικές πελαγικές και μεσοπελαγικές περιοχές, τα οποία παρουσιάζουν περίπου την ίδια ανάπτυξη (Edwards, 1984).

Στη διατροφή του ψαριού παίζει μεγάλο ρόλο ο διατροφικός χαρακτήρας και οι διατροφικές συνήθειες του ψαριού, δηλαδή αν είναι σαρκοφάγο, παμφάγο ή φυτοφάγο είδος. Οι Martinez-Palacios & Ross (1988), μελέτησαν τις διατροφικές συνήθειες της κιχλίδας *Cichlasoma urophthalmus* σε υφάλμυρο νερό και διαπίστωσαν ότι, η μορφολογία του στόματος (άνω και κάτω γνάθος, φαρυγγικά δόντια), καθώς επίσης και το μικρό σε μήκος έντερο υποδεικνύουν έντονα ότι η κιχλίδα *C. urophthalmus* είναι σαρκοφάγο ψάρι.

Στις παμφάγες κιχλίδες, καταγράφονται αξιοσημείωτες διαφορές στον τρόπο που αναζητούν την τροφή τους. Στα παμφάγα ψάρια, παρατηρούνται δύο διαφορετικές συμπεριφορές ως προς τη σύλληψη της τροφής, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ικανότητα αντίδρασης του ψαριού (κινητική κατάσταση), την πίεση, προκειμένου να συλλάβει τη λεία του.

Όσον αφορά στα σαρκοφάγα είδη ιχθύων, η τροφή τους πρέπει απαραίτητα να περιέχει μεγάλο ποσοστό πρωτεϊνών, οι οποίες σε μεγάλο βαθμό προέρχονται από άλλους υδρόβιους οργανισμούς όπως για παράδειγμα ιχθύες, καλαμάρια ή γαρίδες. Επίσης, οι παραπάνω πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τροφών, είναι μεγάλης θρεπτικής αξίας, ωστόσο έχουν ιδιαίτερα αυξημένη τιμή (40-50% της συνολικής τιμής του σιτηρεσίου). Παράλληλα δεν είναι εγγυημένη η αδιάκοπη διαθεσιμότητα τους λόγω της δραματικής μείωσης των φυσικών αποθεμάτων (FAO, 2007).

Οι McKaye & Marsh (1983) παρατήρησαν την μορφολογία των ψαριών που προέρχονται από τη λίμνη Μαλάουι, που παρουσιάζει διαφοροποιήσεις όταν τρέφονται με ζωοπλαγκτόν, φυτοπλαγκτόν, υπολείμματα τροφών, ιχθύδια και αυγά. Οι μορφολογικές ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν τα ψάρια είναι πολύ σημαντικές όταν η τροφοληπτική ικανότητα των ψαριών μειώνεται.

Η προσθήκη ζωντανής τροφής (artemia) στην διατροφή, αυξάνει σημαντικά τον ρυθμό ανάπτυξης, ειδικά όταν χορηγούνται τροφές με μεγαλύτερα ποσοστά πρωτεϊνών. Η σύσταση του σώματος δεν παρουσιάζει μεταβολές κατά την διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης, με τα θρεπτικά συστατικά να κυμαίνονται κατά μέσο όρο 64-68% σε πρωτεΐνη, 35-47% σε λίπος. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα από 1,15 έως 1,31 FCR, ενώ η συνολική παραγωγή αυξήθηκε από 4g /m²/d (50 ψάρια) σε 13,7g /m²/d του ψαριού σε διάστημα 60 ημερών (Degani, 1993).

Οι McKinnon *et al.*(2003), μελέτησαν την ανάπτυξη σε προνύμφες σφυρίδας και λυθρινιού χορηγώντας ως τροφή τρία είδη κωπήποδων, *Bestiolina similis*, *Parvocalanus crassirostris* και *Acartia sinjiensis*, σε αναλογία DHA/EPA/ARA - 14:3:1, 20:9:1 και 25:6:1 αντίστοιχα. Οι προνύμφες του λυθρινιού και της σφυρίδας είχαν καλύτερη ανάπτυξη όταν τρέφονταν με το κωπήποδο, *Bestiolina similis*.

Οι Meekan *et al.*, (2003), μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας και της τροφής στην ανάπτυξη των τροπικών προνυμφών του είδους *P.Coelestis* και βρήκαν ότι, η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει την ανάπτυξη του είδους, η οποία αυξήθηκε κατά μέσο όρο 0,3 mm/ημέρα, ενώ την επόμενη χρονιά η αύξηση ήταν 0,53 mm/ημέρα.

Η ανάπτυξη του αγγελόψαρου *Pterophyllum scalare* σε διαφορετικές πυκνότητες πληθυσμού και τροφής με διαφορετική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (37%,41% και 47%), έδειξαν μια αύξηση της πυκνότητας του πληθυσμού από 50 ψάρια/m² σε 200 ψάρια/m², χωρίς να παρουσιάζονται σημαντικές στατιστικές διαφορές (P>0,05) (Degani,1993).

Οι Edwards *et al.*(1989), μελέτησαν την ανάπτυξη και το μεταβολισμό 5 γενών *Cynoglossus* για διάστημα 90 ημερών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, η αύξηση τους διακυμάνθηκε από 0,9mm έως 2,0mm/εβδομάδα, όταν τρέφονται με πολύχαιτους του είδους *Dioratra neopolitana*. Η ποσότητα πρόσληψης της τροφής ανέρχεται στο 25% του βάρους του και η μετατρεψιμότητα στο 11-12%, σε σχέση με τα είδη *Brachirus* και *Synaptura*. Το επίπεδο μεταβολισμού, σχετίζεται με την ημερήσια πρόσληψη της τροφής, όταν υπολογίζεται με βάση την ημερήσια πρόσληψη οξυγόνου.

Η κατανάλωση οξυγόνου υπολογίστηκε σε σχέση με το βάρος σε: $Q=0,372*W^{0,734}$ για το γένος *Cynoglossus* και $Q=0,362*W^{0,682}$ για τα γένη *Brachirus* και *Synaptura*. Η

κατανάλωση οξυγόνου για το *Cynoglossus* εξαρτάται από τη θερμοκρασία, όταν αυτή κυμαίνεται από 15°C έως 30°C και είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία όταν κυμαίνεται από 30°C έως 37,5°C (Edwards *et al.*, 1989).

Ο χορτοφάγος κυπρίνος (*Ctenopharyngodon ideltus*) όταν τρέφεται με διάφορα είδη φυτών όπως για παράδειγμα με *Hydrilla sp.*, *Napier grass* και φύλλα *tapioca* παρουσιάζουν διαφορετικό ρυθμό ανάπτυξης (Tan, 1970). Η χημική σύσταση των φυτικών τροφών ήταν:

- πρωτεΐνες 13,5% -30,48%,
- λίπος 1,89%-9,60%
- τέφρα 3,94%- 23,13%,
- φυτικές ίνες 5,42%- 26,70%
- υδατάνθρακες 24,87%- 46,27%

Η τσιπούρα, είναι ένα σαρκοφάγο είδος ψαριού και οι διατροφικές της συνήθειες στο φυσικό περιβάλλον διαβίωσης της εξαρτώνται από το μέγεθος της. Τα μικρής ηλικίας ιχθύδια τρέφονται κυρίως με κωπήποδα, αμφίποδα, πολύχαιτους και μικρού μεγέθους καρκινοειδή. Τα μεγαλύτερα άτομα διατρέφονται με καρκινοειδή, άλλα είδη ιχθύων, μαλάκια (κυρίως δίθυρα), των οποίων το όστρακο το συνθλίβουν με ιδιαίτερη ευκολία με τις ισχυρές σιαγόνες και κατάλληλα διαμορφωμένα δόντια τους (Παπουτσόγλου, 2008).

Γι' αυτό το λόγο η έρευνα έχει στραφεί στη μελέτη της χρήσης φυτικών πρώτων υλών (π.χ. τη σόγια) με σκοπό την αντικατάσταση των ζωικών πρώτων υλών (Robaina *et al.*, 1995; El-Saidy and Gaber, 2003; Kaushik *et al.*, 2004). Ωστόσο οι φυτικές πρώτες ύλες, αν και χαμηλότερου κόστους, είναι θρεπτικά υποδεέστερες των ζωικών λόγω της ανισορροπίας στο προφίλ των αμινοξέων τους (κυρίως των θειούχων αμινοξέων μεθειονίνης και κυστεΐνης) και λόγω της παρουσίας κάποιων αντιδιαιτητικών παραγόντων που μειώνουν την πεπτικότητα (όπως π.χ. οι παρεμποδιστές θρυψίνης, α-αμυλάσης), αλλά και την ελκυστικότητα της τροφής (Francis *et al.*, 2001).

Επειδή οι πρωτεΐνες είναι το συστατικό με την μεγαλύτερη συμμετοχή στις ιχθυοτροφές και παράλληλα αυξάνουν πολύ το κόστος, ο στόχος των ειδικών που ασχολούνται με την παρασκευή τροφών, προσανατολίζεται στη χορήγηση της απαιτούμενης ενέργειας μέσω μη πρωτεϊνούχων πρώτων υλών, όπως για παράδειγμα τα λιπίδια και οι υδατάνθρακες. Με αυτό τον τρόπο η χρήση των πρωτεϊνών της τροφής για πρωτεϊνοσύνθεση από τους υδρόβιους οργανισμούς, μεγιστοποιείται. Η ανισορροπία μεταξύ πρωτεϊνών και ενεργειακού περιεχομένου σε μια τροφή, οδηγεί είτε σε σπατάλη πρωτεΐνης, είτε στη παραγωγή λιπαρών τελικών προϊόντων χαμηλής οικονομικής αξίας. Η βέλτιστη αναλογία

πρωτεϊνών προς ενέργεια επηρεάζεται από την πεπτικότητα της τροφής, την αναλογία των αμινοξέων, καθώς επίσης και από περιβαλλοντικούς παράγοντες, με κυριότερο την θερμοκρασία του νερού (Hidalgo & Alliot, 1987).

Προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των πρωτεϊνών των ιχθυοτροφών, στα σιτηρέσια προστίθενται λιπίδια και υδατάνθρακες. Ωστόσο οι υδατάνθρακες συγκριτικά με τα λιπίδια, αν και είναι ευτελέστερη πρώτη ύλη, έχουν μικρότερη πεπτικότητα και το ποσοστό συμμετοχής τους στις τροφές διαφέρει ανάλογα με το είδος του εκτρεφόμενου οργανισμού. Αντίθετα τα λιπίδια έχουν μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο (θερμίδες ανά μονάδα βάρους), επίσης χαρακτηρίζονται από καλύτερη πεπτικότητα (>95%) και ελκυστικότητα. Επιπρόσθετα, συμβάλλουν στην πολύ καλή σύμπηξη της τροφής και μειώνουν την απελευθέρωση σκόνης από τους κόκκους των συμπηκτων. Για τους λόγους αυτούς, τόσο από οικονομικής, όσο και από περιβαλλοντικής άποψης, οι πιο εμπορικές τροφές είναι πλούσιες σε λιπίδια (Purser & Forteach, 2003).

Επομένως, η παροχή σιτηρεσίων υψηλής περιεκτικότητας σε λίπη χρειάζεται αρκετή προσοχή, κυρίως όσον αφορά στην κατάλληλη διαχείριση της διατροφής (επίπεδο διατροφής, συχνότητα γευμάτων), με σκοπό να διασφαλιστεί ο έλεγχος έτσι ώστε «οι φιλικές προς το περιβάλλον» και χαμηλού οικονομικού κόστους ιχθυοτροφές να μην προκαλούν προβλήματα υγείας στα ιχθύδια, τόσο στα πρώιμα τους στάδια καθώς και στην ποιότητα του τελικού προϊόντος, όπως για παράδειγμα η υπέρμετρη συσσώρευση του σωματικού λίπους (Καμαριανός, 1988; Παπουτσόγλου, 2008).

3.2. Επίπεδο διατροφής

Παρόλο που υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις για τον καθορισμό του ποσού της τροφής που θα δοθεί στα ψάρια, ουσιαστικά όλες βασίζονται στον ολικό μεταβολισμό και την επίδραση που έχουν οι διάφοροι παράγοντες στο μεταβολικό ρυθμό. Οι μέθοδοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό του επιπέδου διατροφής εξαρτάται από το βάρος, το μήκος του ψαριού και το ρυθμό ανάπτυξης του ψαριού (Παπουτσόγλου, 2008; Μεντέ&Νέγκας, 2011). Ο προσδιορισμός του ποσοστού ταΐσματος, στα διάφορα είδη ψαριών υπολογίζεται από πίνακες σε σχέση με το μέγεθος και το βάρος του ψαριού.

Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Μενούτης & Πλήθου, 2003) η εξίσωση για τον καθορισμό του επιπέδου σίτισης της πέστροφα, βασίζεται στο μήκος των ψαριών. Η αύξηση

του μήκους για τα περισσότερα ψάρια γίνεται με σταθερό ρυθμό ενώ η μορφή του σώματος των περισσότερων προνυμφών παραμένει αμετάβλητη τους πρώτους μήνες της ζωής τους.

$$\text{Καθημερινό ποσοστό κέρδους σε βάρος} = \frac{3}{L} \times \Delta L \times 100$$

Όπου:

L = το μήκος (cm)

ΔL = η καθημερινή αύξηση σε μήκος (cm)

3 = μια σταθερά που προέρχεται από τη σχέση μήκους-βάρους ($W = KL^3$).

$$\text{Ποσοστό του σωματικού βάρους σε τροφή καθημερινά} = \frac{200 \times \text{Συντελεστή μετατρεψιμότητας} \times \text{Ποσοστό κέρδους σε βάρος}}{200 \times 1 \text{ ημέρα}}$$

Αυτό απλοποιεί το:

$$\begin{aligned} \text{Ποσοστό του σωματικού βάρους σε τροφή καθημερινά} &= \\ &= \text{συντελεστής μετατρεψιμότητας} \times \text{καθημερινό ποσοστό κέρδους σε} \\ &\text{βάρος} \end{aligned}$$

Ο συνδυασμός των παραπάνω σχέσεων δίνει :

$$\text{Ποσοστό του σωματικού βάρους σε τροφή καθημερινά} = \frac{3 \times \text{Συντελεστή μετατρεψιμότητας}}{L} \times \Delta L \times 100$$

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση της παραπάνω σχέσης αποτελεί το ποσοστό μετατρεψιμότητας της τροφής σε σάρκα. Δεδομένου ότι η μέθοδος του στηρίζεται στη μετατρεψιμότητα της τροφής και στο ρυθμό ανάπτυξης (αύξηση μήκους), το μέγεθος των ψαριών και τα επίπεδα των θερμίδων στη τροφή προσδιορίζονται και λαμβάνονται αυτόματα υπόψη.

Όταν ο ρυθμός ανάπτυξης και η μετατρεψιμότητα της τροφής είναι γνωστά, το ποσοστό ταΐσματος καθορίζεται από τη σχέση στην οποία το ποσοστό αύξησης εκφράζεται ως συνολικός αριθμός. Στην εξίσωση λαμβάνονται υπόψη το μέγεθος του ψαριού και το θερμιδικό περιεχόμενο της τροφής.

$$\text{Ποσοστό ταΐσματος} = \frac{2 \times \text{Συντελεστή μετατρεψιμότητας} \times \text{Ποσοστό αύξησης} \times 100}{(200 + \text{Ποσοστό αύξησης}) \times \text{Αριθμός ημερών}}$$

3.3. Διαιτητικές απαιτήσεις

3.3.1. Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες είναι μεγαλομοριακές σύνθετες οργανικές ενώσεις οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στη δομή και λειτουργία του οργανισμού των ψαριών. Οι πρωτεΐνες είναι απαραίτητες και πιο σημαντικές από τα λίπη και τους υδατάνθρακες. Τα σαρκοφάγα ψάρια (αγγελόψαρο, πιράνχας, clownfish, δίσκος, τσιπούρα, μυτάκι, λαβράκι) μπορούμε να τα διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες, τα εδώδιμα και τα διακοσμητικά, έχει παρατηρηθεί ότι, καταναλώνουν τροφές που περιέχουν 50% πρωτεΐνη. Διάφορα είδη ψαριών έχουν ποικίλες απαιτήσεις σε πρωτεΐνες, οι οποίες δεν προσδιορίζονται εύκολα για την ακριβή ποσότητα (πρωτεϊνών) της τροφής. Αυτό οφείλεται σε ενδογενείς παράγοντες, σε παράγοντες του περιβάλλοντος και στο μεταβολισμό των ψαριών.

Οι πρωτεΐνες περιέχουν άνθρακα (50-55%), υδρογόνο (6,5-7,5%), άζωτο (15,5-18%, μέση τιμή 16%), οξυγόνο (21,5-23,5%) και συχνά θείο (0,5-2,0%). Τα είδη των πρωτεϊνών, που βρίσκονται στο σώμα των ψαριών, βασίζονται γενικά στη λειτουργία ή τη διαλυτότητά τους. Οι ινώδεις πρωτεΐνες είναι ιδιαίτερα αδιάλυτες (δύσπεπτες) πρωτεΐνες και περιλαμβάνουν το κολλαγόνο, την ελαστίνη, και την κερατίνη. Το κολλαγόνο είναι το συστατικό του συνδετικού ιστού, των οστικών δικτύων, του δέρματος, του επιδερμικού ιστού, των πτερυγίων, του βραγχιακού επικαλύμματος και των φλεβών.

Η ελαστίνη βρίσκεται στις αρτηρίες, τους τένοντες και άλλους ελαστικούς ιστούς. Η κερατίνη βρίσκεται στο τρίχωμα και στα πέλματα των χερσόβιων ζώων, αλλά μόνο σε μικρά ποσά στα ψάρια. Η συστατική πρωτεΐνη είναι η σύνθετη πρωτεΐνη των μυών. Τρεις πρωτεΐνες, η ακτίνη, η τροπομυοσίνη Β, και η μυοσίνη, συμμετέχουν στη συστολή των μυών. Η μυϊκή πρωτεΐνη είναι ιδιαίτερα εύπεπτη και έχει υψηλή θρεπτική αξία. Οι σφαιρικές πρωτεΐνες είναι πρωτεΐνες εκχυλίσσιμες από τον ιστό με νερό ή με αραιά αλατούχα διαλύματα. Αντιπροσωπεύουν τα ένζυμα, τις πρωτεϊνικές ορμόνες και τις πρωτεΐνες των διαλυτών ορών του αίματος (Μενούτης & Πλήθου, 2003 ; Alberts *et al.*, 2006 ; Παπουτσόγλου, 2008 ; Μεντέ & Νέγκας, 2011).

Ανεπαρκείς ποσότητα πρωτεΐνης στο σιτηρέσιο έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή της αύξησης και τη μείωση του σωματικού βάρους έτσι ώστε να μην επιτελούνται οι λειτουργίες των πιο ζωτικών ιστών, ενώ όταν παρέχονται μεγάλες ποσότητες πρωτεΐνης μόνο ένα μέρος τους χρησιμοποιείται για την σύνθεση νέων πρωτεϊνών, ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε ενέργεια.

Οι απαιτήσεις των ψαριών σε πρωτεΐνες μειώνονται καθώς αυξάνονται το μέγεθος και η ηλικία, όμως οι ανάγκες τους για αυτά τα συστατικά ποικίλουν ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του ψαριού, τη θερμοκρασία του νερού, την αλατότητα του νερού, την ποιότητα της πρωτεΐνης, την ενέργεια των ελεύθερων αζώτου εκχυλισματικών ουσιών, την κατανάλωση της τροφής, την πυκνότητα εκτροφής και τη διαθεσιμότητα φυσικών τροφών (Παπουτσόγλου, 2008; Μεντέ & Νέγκας, 2011).

Το ιχθυάλευρο είναι βασική πηγή πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφίες λόγω της ισορροπημένης σύστασής του σε αμινοξέα και της πεπτικότητάς του. Συμπληρώματα ζωικής προέλευσης παρείχαν καλής ποιότητας πρωτεΐνες μέχρι πρόσφατα αντικαθιστώντας, μερικά, την πρωτεΐνη από το ιχθυάλευρο. Η χρήση όλων των υποπροϊόντων που προέρχονται από χερσαία ζώα απαγορεύτηκε και η εξάρτηση από ιχθυάλευρα αυξήθηκε. Επίσης, το ιχθυάλευρο είναι ακριβό προϊόν και η επιβάρυνση ορισμένων ιχθυάλευρων με διοξίνες έχει κάνει την επιλογή πρώτων υλών για την παρασκευή ιχθυοτροφών προβληματική (Spotte, 1991).

Οι Vlachos *et al.* (2008), μελέτησαν τη διατροφή του αγγελόψαρου μέσου βάρους 1gr σε συνθήκες αιχμαλωσίας χρησιμοποιώντας σύμπηκτα και νιφάδες με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη 40%, και βρήκαν ότι το αγγελόψαρο παρουσιάζει καλύτερη ανάπτυξη και επιβίωση όταν τρέφεται με σύμπηκτα σε σχέση με τις νιφάδες.

Οι Zuanon *et al.* (2006), αναφέρουν ότι τροφές με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη 34% μπορούν να καλύψουν τις διατροφικές ανάγκες του νεαρού αγγελόψαρου.

Εναλλακτική λύση στη χρήση των ζωικών προϊόντων αποτελούν τα φυτικά προϊόντα υψηλής πρωτεϊνικής σύστασης, τα οποία έχουν μεγάλη διαθεσιμότητα ποσοτήτων και χαμηλό κόστος. Εντούτοις, παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα τα οποία περιορίζουν τη χρήση τους στις ιχθυοτροφές. Γενικά, τα φυτικά πρωτεϊνούχα φυτικά συμπληρώματα, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ζωικά, έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε απαραίτητα αμινοξέα, ενέργεια και μέταλλα όπως για παράδειγμα ο φώσφορος. Το βασικό πρόβλημα βρίσκεται στο γεγονός ότι περιέχουν έναν αριθμό από ενώσεις που περιορίζουν την ανάπτυξη και αναφέρονται στο σύνολο τους, ως αναστολείς ανάπτυξης (Spotte, 1991).

Οι Bolugan & Ologhobo (1989), μελέτησαν την ανάπτυξη του είδους *Clarias gariepinus* όταν χορηγείται τροφή ωμή και βρασμένη σόγια για διάστημα 56 ημερών, με διαφορετικά επίπεδα πρωτεϊνών. Στην τροφή έγινε σταδιακή αντικατάσταση του ιχθυάλευρου κατά 25%, 50%, 75% και 100% από σόγια, ώστε η περιεκτικότητά της σε πρωτεΐνη να είναι της τάξης του 40%. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, όταν χορηγείται ως τροφή βρασμένη σόγια, παρατηρείται καλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με την ωμή σόγια, παρουσιάζοντας

στατιστικά σημαντική διαφορά ($P < 0,05$). Επίσης, υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας καταγράφηκαν στα ψάρια που έγινε αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με 50%, 75% και 100% με σόγια.

Οι Hossain & Jauncey (1989), μελέτησαν την πεπτικότητα των πρωτεϊνών, την ενέργεια και τα αμινοξέα, στα ιχθυάλευρα, το άλευρο από έλαια μουστάρδας (μουσταρδέλαιο), και στα άλευρα από σουσάμι και σιναπόσπορο. Τα συστατικά ενσωματώθηκαν ως οι μοναδικές πηγές πρωτεϊνών σε τροφές περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη 30%. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι, τα ιχθυάλευρα παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερο συντελεστή πεπτικότητας των θρεπτικών συστατικών ($P < 0,05$). Το αλεύρι από σουσάμι, παρουσίασε στατιστικά τη μικρότερη σημαντική πεπτικότητα στις πρωτεΐνες και τα αμινοξέα σε σχέση με τα άλευρα μουσταρδέλαιου και σιναπόσπορου ($P < 0,05$).

Επίσης, τα αποτελέσματα των πρωτεϊνών έδειξαν ότι, τα αδιάλυτα οξέα τέφρας σύμφωνα με μελέτη των Atkinson *et al.*, (1984) είναι ένας αποτελεσματικός δείκτης πεπτικότητας στα ψάρια.

Τα φυτά *Hydrilla verticillata*, *Lemna gibbs*, *Pistia stratiotes*, *Guinea grass* *Panicum maximum* *Jacq.*, *Napier grass* *Pennisetum purpureum* *Schum* και *Ipomoea batatas*, χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή τροφής, στη διατροφή του φυτοφάγου κυπρίνου. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν διαφορετική ανάπτυξη στον κυπρίνο. Η περιεκτικότητα τροφής σε πρωτεΐνη κυμαινόταν από 13,5% έως 30,48%, σε λίπος από 1,89% έως 9,60%, σε τέφρα από 3,94% έως 23,13%, σε φυτικές ίνες από 5,42% έως 26,70% και σε υδατάνθρακες από 24,87 έως 46,27% (Tan, 1970).

Μελέτες διάρκειας 8-12 εβδομάδων στα θηλυκά dwarf gouramis (*Colisa lalia*) που ταΐστηκαν με 25-45% πρωτεΐνη, παρουσίασαν μεγαλύτερη γονιμότητα. Τα θηλυκά guppy που ταΐστηκαν με 15% πρωτεΐνη ζύγισαν λιγότερο από εκείνα που λάμβαναν 31% ή 47% πρωτεΐνη, χωρίς να παρουσιάζουν καμία σημαντική στατιστική διαφορά στη γονιμότητα ανάμεσα στα επίπεδα πρωτεΐνης που χορηγήθηκε 15-47%. Το επίπεδο οντογένεσης του ψαριού επηρεάζει το επίπεδο πρωτεΐνης που χρειάζεται για να καλύψει τις διατροφικές του ανάγκες (Πιν.1)

Στο χρυσόψαρο, (*Carassius auratus*) βρέθηκε υψηλό επίπεδο πρωτεΐνης σε σχέση με το 29% των νεαρών ιχθυδίων. Οι απαιτήσεις σε αμινοξέα των προνυμφών του χρυσόψαρου σε σχέση με τις απαιτήσεις των νεαρών ψαριών οδηγεί σε σημαντική ανάπτυξη της προνύμφης σε διάστημα 20 ημερών.

Πίνακας 1. Απαιτήσεις σε πρωτεΐνη των διακοσμητικών ψαριών (Πηγή:Sales & Janssens,2003)

Επιστημονική ονομασία	Κοινή εμπορική ονομασία	Βάρος (g)	Ενέργεια (kJ/g)	Απαιτήσεις σε πρωτεΐνη (%)
<i>Arapaima gigas</i>	Pirarucu	1.20	23.63 GE (564.5 kcal/100 g)	48.6 (FM - S)
<i>Barbodes altus</i>	Tin foil barb	0.812	20.38 GE	41.7 (C)
<i>Carassius auratus</i>	Goldfish	0.2	11.72 DE	29 (FM - C)
<i>Cichlasoma synspilum</i>	Redhead cichlid	0.28	1.55 DE	40.81 (FM)
<i>Cichla sp.</i>	Tucunaré	10 - 30	14.65 DE (3500 kcal/kg)	37 - 41 (FM - FE - S)
<i>Colisa lalia</i>	Dwarf gourami	NR	NR	25
<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	0.1	13.10 ME	30 - 40 (FM - C)
<i>Pterophyllum scalare</i>	Angelfish	2.33 ± 0.26	12.97 DE (3100 kcal/kg)	26 (S - CM)
<i>Symphisodon aequifasciata</i>	Discus	4.45 - 4.65	21.65 GE	44.9 - 50.1 (FM - C)
<i>Xiphophorus helleri</i>	Swordtails, 6 - 8 weeks	NR	NR	45% (FM - S)

Το ψάρι σιτίζεται για να ικανοποιήσει την απαίτηση σε ενέργεια και πρωτεΐνη στη διατροφή του, η οποία πρέπει να είναι ισορροπημένη. Το ψάρι, χρησιμοποιεί την ενέργεια αποδοτικά. Η υπερβολική ενέργεια περιορίζει την κατανάλωση της πρωτεΐνης και την ανάπτυξη όταν τα επίπεδα πρωτεΐνης είναι 43% και των λιπών 6% για την καλύτερη δυνατή ανάπτυξη των ξιφοφόρων (*Xiphophorus helleri*).

Στη διατροφή του ψαριού, για να επιτευχθεί κανονική ανάπτυξη, γίνεται αντικατάσταση της ζωικής πρωτεΐνης από φυτική (σόγια) μέχρι και 37%, ώστε η περιεκτικότητα της πρωτεΐνης στην τροφή να είναι 33%.

3.3.1.1. Πρωτεϊνικές απαιτήσεις των ψαριών

Το κατώτατο επίπεδο πρωτεΐνης που προτείνεται από τους ειδικούς για μια ιχθυοτροφή, με την προϋπόθεση ότι η πρωτεΐνη είναι ισορροπημένη στα βασικά αμινοξέα.

Επιστημονικές ανακοινώσεις έχουν δείξει ότι το βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές για την αύξηση των ψαριών κυμαίνεται από 25% έως 50% (DaSilva & Anderson,1995).

Σε όλες αυτές τις μελέτες οι ερευνητές δικαιολογήθηκαν για τη διατύπωση των συμπερασμάτων τους, διότι ένα συγκεκριμένο ποσοστό πρωτεΐνης ήταν βέλτιστο κάτω από συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες και επειδή διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν την ανάπτυξη των ψαριών σε σχέση με τις τροφές που περιέχουν διαφορετικά επίπεδα πρωτεΐνης. Μερικοί από αυτούς είναι το μέγεθος του ψαριού, η θερμοκρασία του νερού, το ποσό της τροφής, το ποσό της μη-πρωτεϊνικής ενέργειας στην τροφή, η ποιότητα της πρωτεΐνης και η φυσική διαθεσιμότητα της τροφής (DaSilva & Anderson,1995 ; Παπουτσόγλου,2008).

Τα ψάρια έχουν υψηλότερες πρωτεϊνικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της αρχικής τους ανάπτυξης, απ' ότι κατά τη διάρκεια των μετέπειτα φάσεων ανάπτυξης. Ο Pauly (1989), αναφέρει ότι, το γατόψαρο των 3g απαιτήσε σχεδόν 4 φορές περισσότερη πρωτεΐνη ανά ημέρα από τα ψάρια των 250g για τη μέγιστη ανάπτυξη, αλλά η αναλογία της πρωτεΐνης προς την ενέργεια στη τροφή δεν άλλαξε ιδιαίτερα. Έδειξε ότι το μικρότερο γατόψαρο θα μπορούσε να αυξηθεί το ίδιο καλά με μια 27% σε πρωτεΐνες τροφή και με μια 37% σε πρωτεΐνες τροφή όταν το ενεργειακό επίπεδο είναι χαμηλό. Αντίθετα όταν το ενεργειακό επίπεδο αυξάνεται, η κατανάλωση τροφής μειώνεται και η χαμηλή σε πρωτεΐνες τροφή δεν υποστηρίζει τη μέγιστη ανάπτυξη του ψαριού (Spotte,1991).

Τα ψυχρόφιλα και θερμόφιλα ψάρια έχει αποδειχθεί ότι ανταποκρίνονται στα πιο υψηλά πρωτεϊνικά επίπεδα στις υψηλότερες θερμοκρασίες νερού και στο εργαστήριο και στις τεχνητές συνθήκες εκτροφής. Αυτό μπορεί να συμβαίνει επειδή οι μη-πρωτεϊνικές πηγές ενέργειας δεν αφομοιώνονται ή δεν μεταβολίζονται τόσο αποτελεσματικά όσο οι πρωτεϊνικές σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και είναι έτσι λιγότερο αποδοτικές στην εξοικονόμηση της πρωτεΐνης (DaSilva & Anderson,1995).

Οι φυσικές πηγές τροφής των λιμνών που καταναλώνονται από τα ψάρια μπορούν να είναι μια σημαντική πρωτεϊνική πηγή. Αυτό επηρεάζεται από τη φυσική παραγωγικότητα των λιμνών, τη διατροφική συμπεριφορά των ψαριών και από την ιχθυοπυκνότητα της λίμνης. Οι πρωτεϊνικές πηγές των λιμνών είναι κυρίως ζωικής προέλευσης - υψηλής ποιότητας, με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη τουλάχιστον 50% σε ξηρό βάρος (Spotte,1991; DaSilva & Anderson,1995).

Κατά συνέπεια, μια σημαντική διαιτητική συμβολή από αυτήν την πηγή, θα μείωνε την πρωτεϊνική απαίτηση της συμπληρωματικής τροφής. Για παράδειγμα, η τιλάπια και οι γαρίδες αυξάνονται τόσο καλά με σχετικά χαμηλές πρωτεϊνικές τροφές (25% ή λιγότερη

περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη) όπως και με υψηλότερες πρωτεϊνικές τροφές, όταν οι φυσικές πηγές τροφής των λιμνών αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της διατροφής τους, αλλά απαιτούν υψηλότερες πρωτεϊνικές τροφές σε ένα περιβάλλον με περιορισμένη φυσική τροφή (DaSilva & Anderson,1995 ; Μενούτης & Πλήθου, 2003).

Όταν τα ψάρια υποσιτίζονται, απαιτούν συνήθως υψηλότερες ποσότητες πρωτεΐνης. Αυτό έχειδειχθεί σε μία σειρά πειραμάτων σίτισης σε λίμνες, με το γατόψαρο. Οι λόγοι της αλληλεπίδρασης μεταξύ του ποσοστού σίτισης και του διαιτητικού πρωτεϊνικού ποσοστού για τη μέγιστη αύξηση δεν είναι απολύτως σαφείς. Είναι λογικό ότι μια υψηλή πρωτεϊνική διατροφή θα καλύψει καλύτερα από μια χαμηλή πρωτεϊνική διατροφή, την πρωτεϊνική ανάγκη των ψαριών για την αύξηση κατά τη διάρκεια της ελεγχόμενης σίτισης. Επίσης, όταν υποσιτίζονται τα ψάρια, ένα υψηλότερο ποσοστό της διαιτητικής πρωτεΐνης θα χρησιμοποιηθεί για την ικανοποίηση των αναγκών της μεταβολικής ενέργειας των ψαριών, εκτός αν η αναλογία ενέργεια / πρωτεΐνη της διατροφής αυξηθεί (Spotte,1991; Ζερβός & Κουράκου, 2001).

3.3.2. Λίπη-Λιπαρά Οξέα

Η κύρια μορφή αποθηκευμένης ενέργειας των ζωικών οργανισμών είναι τα λίπη (Πιν.2), είναι δηλαδή εστέρες λιπαρών οξέων με γλυκερίνη. Χρησιμοποιούνται από τα ψάρια ως η κύρια πηγή ενέργειας και όταν μεταβολιστούν αποδίδουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας ανά μονάδα βάρους από τα υπόλοιπα βιομόρια (1g λίπους αποδίδει 9,45kcal, 1g πρωτεΐνης 5,65kcal και 1g υδατάνθρακα 4kcal), (Tan,1970; Παπουτσόγλου, 2008; Μεντέ & Νέγκας, 2011).

Οι λιπαρές ουσίες συναντώνται στους ιστούς των φυτών και των ζώων (μη υδατοδιαλυτά μακρομόρια) και διακρίνονται σε :

- Λίπη
- Φωσφολιπίδια
- Σφιγκομυελίνες
- Κηρούς
- Στερόλες

Η διατροφή των ψαριών του γλυκού νερού με προνύμφες κουνουπιών επηρεάζει την περιεκτικότητα των λιπαρών οξέων (ω6) σε σύγκριση με τα ψάρια του θαλασσινού νερού όπου τα επίπεδα των λιπαρών οξέων είναι μικρότερα (Tan, 1970).

Τα λίπη όπως αναφέρθηκε είναι σημαντικές πηγές ενέργειας και λιπαρών οξέων τα οποία είναι σημαντικά για την ανάπτυξη και επιβίωση του ψαριού. Τα ψάρια έχουν χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις γι' αυτό και αποθηκεύουν τα επιπρόσθετα λιπίδια. Τα λιπίδια μεταφέρουν λιποδιαλύτες βιταμίνες και συμμετέχουν στην κατασκευή βιολογικών μεμβρανών σε κυτταρικά και υποκυτταρικά επίπεδα. Είναι σημαντικά στη γεύση και υφή της τροφής που καταναλώνει από ψάρι και αποτελούν συστατικά των ορμονών.

Γενικά, τα ψάρια απαιτούν λιπαρά οξέα μακρύτερης διάρκειας και υψηλότερο βαθμό κορεσμού απ' ό,τι τα θηλαστικά. Τα λιπαρά οξέα με χαμηλό βαθμό απορρόφησης χρειάζονται στη χαμηλότερη θερμοκρασία σώματος για να υποστηρίξουν την ευκαμψία των μεμβρανών σε χαμηλή θερμοκρασία νερού. Τα ψάρια γλυκού νερού απαιτούν στην τροφή τους λινολεϊκό οξύ, ενώ τα θαλασσινά ψάρια απαιτούν εικοσιπεντανοϊκό οξύ.

Στον κυπρίνο η προσθήκη εικοσιπεντανοϊκού οξέος επηρεάζει την εκκόλαψη των αυγών. Συμπληρωματικά φωσφολιπίδια δεν είναι σημαντικά για την επιβίωση των νεαρών χρυσόψαρων. Περίπου 1% του λινολενικού οξέως απαιτείται στη διατροφή του κυπρίνου για να διατηρήσει τα ποσοστά λιπογένεσης χαμηλά εμποδίζοντας την παραγωγή ολεϊκού οξέως.

Τα επίπεδα του εικοσιεξαενικού οξέος πρέπει να είναι παρόν στη διατροφή γιατί συμβάλει στην αύξηση της επιβίωσης της προνύμφης του damselfish (*Acanthochromis polycanthus*).

Τα επίπεδα του εικοσιεξαενικού οξέος στην ανάπτυξη και επιβίωση του υπόκαμπου *Hippocampus sp.*, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 9,3mg, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί και με εμπλουτισμένη *Artemia* με ω3 μη κορεσμένα λιπαρά οξέα. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει το προφίλ των βασικών λιπαρών οξέων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των προνυμφών στα διακοσμητικά και εδώδιμα είδη ψαριών.

Πίνακας 2. Προφίλ των βασικών λιπαρών οξέων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των προνυμφών διακοσμητικά και εδώδιμα ψάρια (Πηγή: Βλάχος,2010).

Λιπαρά Οξέα	Κωπήποδα	Βλαραροδιφόρα	Βλαραριδοφόρα (εμπλουτιστικό Πρωτεΐνης)	Βλαραριδοφόρα (εμπλουτιστικό algamac 2000)	Βλαραριδοφόρα (εμπλουτιστικό Selco DC DHA)	Artemia (DC-DHA)	Rotifers (Algamac 2000)
14:0	2,32%	0,29%	0,53%	0,98%	0,42%	0,25%	1,39%
16:1 w 7c	0,92%	1,63%	1,63%	1,24%	1,40%	0,79%	1,59%
16:0	2,33%	0,45%	1,08%	1,00%	0,80%	2,22%	1,42%
18:2 w6c	0,38%	0,11%	0,21%	0,05%	0,35%	1,28%	0,06%
18:0	0,11%	0,14%	0,16%	0,10%	0,15%	0,51%	0,11%
18:3 w3c/18:1 w8c	2,09%	1,02%	1,05%	0,50%	1,03%	9,10%	0,59%
20:5 w3c	0,21%	0,17%	0,44%	0,19%	0,35%	0,69%	0,22%
22:6 w3c	1,32%	0,10%	0,64%	0,80%	0,47%	0,46%	1,05%
Όλικά Λιπαρά οξέα	11,3%	5,60%	7,40%	6,30%	6,70%	19,00%	8,20%

3.3.3. Αμινοξέα

Τα αμινοξέα είναι οι δομικές μονάδες των πρωτεϊνών και χρησιμοποιούνται συνεχώς είτε για τη σύνθεση νέων πρωτεϊνών (κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής), είτε για την αντικατάστασή τους (συντήρηση). Διακρίνονται σε απαραίτητα και μη απαραίτητα αμινοξέα (Πιν. 3) (Μεντέ & Νέγκας, 2011). Υπάρχουν 18 αμινοξέα που μπορούν να βρεθούν στα περισσότερα φυτά ή στη ζωική πρωτεΐνη, αν και οι πρωτεΐνες περιέχουν συνήθως 22 έως 26 αμινοξέα.

Τα απαραίτητα αμινοξέα είναι εκείνα που το ψάρι δεν μπορεί να συνθέσει ή δεν μπορεί να συνθέσει σε επαρκή ποσότητα για τη μέγιστη ανάπτυξη του. Τα μη απαραίτητα αμινοξέα είναι εκείνα που μπορούν να συντεθούν από το ψάρι σε αρκετές ποσότητες ώστε να υποστηρίξουν τη μέγιστη αύξηση του.

Τα περισσότερα μονοαστικά ζώα, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών, απαιτούν τα ίδια 10 απαραίτητα αμινοξέα: αργινίνη, ιστιδίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, λυσίνη, μεθειονίνη, φαινυλαλανίνη, θρεονίνη, τρυπτοφάνη και βαλίνη. Στον αρουραίο, αρκετά από τα βασικά αμινοξέα, αργινίνη, ιστιδίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, μεθειονίνη, φαινυλαλανίνη, τρυπτοφάνη και βαλίνη, μπορούν να αντικατασταθούν με τα αντίστοιχα α - υδροξύ ή α- κέτο ανάλογα τους, δείχνοντας ότι ο σκελετός άνθρακα είναι αυτό που το ζώο είναι ανίκανο να συνθέσει (Μενούτης & Πλήθου 2003; Alberts 2006).

Πίνακας 3. Απαραίτητα και μη απαραίτητα αμινοξέα.

Απαραίτητα αμινοξέα	Μη απαραίτητα αμινοξέα
Αργινίνη	Αλανίνη
Ιστιδίνη	Ασπαραγίνη
Ισολευκίνη	Ασπार्टικό οξύ
Λευκίνη	Γλουταμινικό οξύ
Θρεονίνη	Γλουταμίνη
Τρυπτοφάνη	Γλυκίνη
Βαλίνη	Προλίνη
Μεθιονίνη	Σερίνη
Λυσίνη	Κυστεΐνη
Φαινυλαλανίνη	Τυροσίνη

Οι ποιοτικές απαιτήσεις για τα αμινοξέα καθορίζονται στα ψάρια με τη σίτιση μιας ισορροπημένης διατροφής που αποτελείται από κρυσταλλικά αμινοξέα ως τροφή αναφοράς (control), και από τις πειραματικές τροφές που είναι παρόμοιες με της αναφοράς, εκτός από το ότι ένα αμινοξύ κάθε φορά έχει αφαιρεθεί. Οι πειραματικές τροφές που δεν επιφέρουν καμία αύξηση ή εμφανώς λιγότερη από της αναφοράς αντιπροσωπεύουν τα αμινοξέα τα οποία είναι απαραίτητα για τα ψάρια.

Οι ποσοτικές απαιτήσεις για τα απαραίτητα αμινοξέα καθορίζονται με τη σίτιση κλιμακωτών επιπέδων ενός αμινοξέος κάθε φορά σε μια πειραματική τροφή που περιέχει κρυσταλλικά αμινοξέα ή έναν συνδυασμό καθαρής πρωτεΐνης και κρυσταλλικών αμινοξέων. Η αμινοεική σύσταση της πειραματικής τροφής είναι συνήθως παρόμοια με αυτή του αυγού της κότας ή των ψαριών, ή του μυός των ψαριών. Τα αποτελέσματα ανάπτυξης από τα πειράματα διατροφής με αμινοξέα εξισώνονται στο ποσό του αμινοξέος στη τροφή και η απαίτηση υπολογίζεται από το σημείο κάμψης (break point) στην καμπύλη απόκρισης (response curve).

Στις μελέτες που αφορούν το σολομό, η απαίτηση υπολογίστηκε με οπτική παρατήρηση. Αργότερα, στις μελέτες με το γατόψαρο χρησιμοποιήθηκε η στατιστική μέθοδος των Robbins *et al.*(1979), για το καθορισμό του σημείου καμψής στην καμπύλη απόκρισης της αύξησης. Ο Santiago (1985), καθόρισε δύο απαιτήσεις για τα ουσιαστικά αμινοξέα για την τιλάπια (*Oreochromis niloticus*), ένα για τη μέγιστη αύξηση (Y_{max}) και ένα για ένα επίπεδο αύξησης μικρότερο από το μέγιστο ($Y1$) αλλά μέσα στο όριο εμπιστοσύνης 95% του Y_{max} .

Σε μερικές περιπτώσεις, τα ψάρια μπορούν μερικώς να αντικαταστήσουν ένα μη απαραίτητο με ένα απαραίτητο αμινοξύ. Το γατόψαρο αναπτύσσεται ικανοποιητικά όταν η

μεθειονίνη είναι το μόνο αμινοξύ που περιέχει θείο στη τροφή, αλλά όχι όταν η κυστίνη είναι το μόνο αμινοξύ που περιέχει θείο, εντούτοις, η κυστίνη μπορεί να αντικαταστήσει περίπου το 60% της μεθειονίνης. Η τυροσίνη, ένα μη απαραίτητο αρωματικό αμινοξύ, μπορεί να αντικαταστήσει περίπου το ένα δεύτερο της απαίτησης του γατόψαρου για τη φαινυλαλανίνη, ένα απαραίτητο αρωματικό αμινοξύ (Robins *et al.*,1979).

Η διαιτητική δυσαναλογία των αμινοξέων μπορεί να προκαλέσει μειωμένη απόδοση από τα ζώα εξαιτίας του αμινο-ανταγωνισμού ή της τοξικότητας. Όταν μερικά αμινοξέα ταΐζονται παραπάνω από το απαιτούμενο επίπεδο, πιθανόν να προκαλέσουν μια αύξηση στην απαίτηση για άλλα δομικά παρόμοια αμινοξέα, ή τον ανταγωνισμό των αμινοξέων. Σε μερικές περιπτώσεις, εντούτοις, η διαιτητική περίσσεια ορισμένων αμινοξέων είναι άμεσα τοξική και τα αρνητικά της αποτελέσματα δεν μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη άλλων αμινοξέων,· αυτό είναι τοξικότητα του αμινοξέος. Οι ιχθυοτροφές που περιέχουν συστατικά, όπως υποπροϊόντα σιταριού, έλαια και ζωικά υποπροϊόντα, δεν είναι ιδιαίτερα δυσανάλογα, αλλά οι ειδικές τροφές θα μπορούσαν να είναι (Παπουτσόγλου,2008).

Οι ποσοτικές απαιτήσεις των αμινοξέων έξι ειδών ψαριών παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Εκτός από την αργινίνη, οι απαιτήσεις των ψαριών σε αμινοξέα ακολουθούν μια σχετικά παρόμοια τάση όπως αυτή για τα άλλα ζώα. Με εξαίρεση την αργινίνη, τη μεθειονίνη και τη κυστίνη, οι απαιτήσεις του γατόψαρου σε αμινοξέα είναι παρόμοιες με εκείνες του σολομού. Εντούτοις, οι απαιτήσεις για διάφορα αμινοξέα είναι υψηλότερες για τον κοινό κυπρίνο και το ιαπωνικό χέλι.

Υπάρχει πιθανώς μικρότερη διακύμανση μεταξύ των ψαριών απ' ό τι δείχνουν τα αρχικά στοιχεία. Πρέπει να επισημανθεί ότι οι απαιτήσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 4, αντιπροσωπεύουν συνήθως μια μελέτη για κάθε ψάρι. Παράγοντες όπως, το μέγεθος του ψαριού, η θερμοκρασία, η γενετική, το επίπεδο σίτισης, το ενεργειακό περιεχόμενο και άλλοι διατροφικοί παράγοντες, και η μέθοδος ανάλυσης των στοιχείων μπορούν να επηρεάσουν την αναφερόμενη απαίτηση σε αμινοξέα. Λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική σημασία των απαιτήσεων των αμινοξέων στην παραγωγή των εμπορικών τροφών, αυτές οι απαιτήσεις θα πρέπει να επαναπροσδιορισθούν.

Πίνακας 4. Απαιτήσεις σε απαραίτητα αμινοξέα διάφορων ειδών ψαριών (Πηγή: Παπουτσόγλου, 2008; Sales & Janssens, 2003).

Αμινοξύ	Χέλι	Κυπρίνος	Γατόψαρο	Σολωμός	Γιλάπια	Χρυσόψαρο
Αργινίνη	4,2	4,2	4,3	6,0	2,8	7,8
Ιστιδίνη	2,1	2,1	1,5	1,8	1,1	4,1
Ισολευκίνη	4,1	2,3	2,6	2,2	2	6
Λευκίνη	5,4	3,4	3,5	3,9	3,4	9,1
Λυσίνη	5,3	5,7	5,1	5,0	3,8	11,8
Μεθειονίνη	3,2	-	-	-	-	3,4
Φαινυλαλανίνη	5,6	-	-	-	2,5	5,6
Θρεονίνη	4,1	3,9	2,0	2,2	2,9	6,4
Τρυπτοφάνη	1,0	0,8	0,5	0,5	1,0	-
Βαλίνη	4,1	3,6	3,0	3,2	2,2	7

Οι απαιτήσεις των ψαριών σε αμινοξέα παρουσιάζονται στον πίνακα 2 βάσει της ποσοστιαίας (100%) διαθεσιμότητάς τους, ενώ η αμινοξική σύνθεση των ιχθυοτροφών παρουσιάζεται συνήθως σε συνολική (μη διαθέσιμη) βάση. Κατά συνέπεια, στην παραγωγή των ιχθυοτροφών, για την κάλυψη των απαιτήσεων σε αμινοξέα, η συνολική περιεκτικότητα σε αμινοξέα των συστατικών των τροφών θα πρέπει να διορθωθεί για τη διαθεσιμότητα (πεπτικότητα) για να παρέχει τα βέλτιστα ποσά αμινοξέων στη διατροφή.

Οι συντελεστές πέψης για μεμονωμένα αμινοξέα σε διάφορες τροφές καθορίστηκαν για το γατόψαρο από τους Wilson *et al.*(1981). Η πεπτικότητα μερικών αμινοξέων ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων συστατικών των τροφών, παραδείγματος χάριν, η φαινόμενη πεπτικότητα της λυσίνης είναι 27% χαμηλότερη στο βαμβακάλευρο απ' ό τι στο σογιάλευρο. Γενικά, η πεπτικότητα της πρωτεΐνης μπορεί να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό της διαθεσιμότητας των αμινοξέων στις τροφές όταν δεν είναι γνωστή η πεπτικότητα των μεμονωμένων αμινοξέων.

Η διαθέσιμη βιβλιογραφία είναι ασαφής ως προς την αποτελεσματικότητα της συμπλήρωσης των ιχθυοτροφών με μεμονωμένα αμινοξέα. Μεμονωμένη συμπλήρωση του σογιάλεου με καθένα χωριστά όπως λυσίνη, μεθειονίνη, ιστοιδίνη, ή λευκίνη δεν βελτίωσε το ρυθμό αύξησης της ιριδίζουσας πέστροφας, αλλά η συνολική συμπλήρωση αυτών, βελτίωσε το ποσοστό αύξησης.

Η συμπλήρωση του εμπορικού σογιάλεου με μεθειονίνη βελτίωσε το ρυθμό αύξησης της ιριδίζουσας πέστροφας, αλλά η συμπλήρωση με μεθειονίνη του θερμικά επεξεργασμένου σογιάλεου, δεν τη βελτίωσε. Δεν υπήρξε κανένα όφελος από τη συμπλήρωση του σογιάλεου στις τροφές γατόψαρων με μεθειονίνη ή λυσίνη, εντούτοις, η

συμπλήρωση του σογιάλευρου και με μεθειονίνη και με λυσίνη βελτίωσε τις τροφές των κυπρίνων. Η σίτιση με φυσικάλευρο εμπλουτισμένο με λυσίνη, που είναι ανεπαρκές σε λυσίνη για το γατόψαρο, βελτίωσε τον ρυθμό ανάπτυξης στα ψάρια (Μενούτης & Πλήθου, 2003).

Υπάρχει μια γενική πεποίθηση ότι τα ψάρια δεν αφομοιώνουν τα κρυσταλλικά αμινοξέα τόσο καλά όσο τα κοτόπουλα ή οι χοίροι, ή τουλάχιστον όχι με τις συμβατικές πρακτικές εκτροφής ψαριών με συχνότητα ταΐσματος μία φορά την ημέρα. Οι νεαροί κυπρίνοι που ταΐζονται μία φορά καθημερινά με μια τροφή που περιείχε υψηλό ποσοστό κρυσταλλικών αμινοξέων, απόβαλλαν μέχρι 40% των ελεύθερων αμινοξέων άθικτα μέσω των βραγχίων και των νεφρών (Murai, 1985). Αυξάνοντας τη συχνότητα σίτισης σε τέσσερις φορές καθημερινά, βελτιώθηκε η αφομοίωση των κρυσταλλικών αμινοξέων. Αυτό ενισχύει την άποψη ότι τα ψάρια, όπως και οι χοίροι, δεν χρησιμοποιούν τα συμπληρωματικά κρυσταλλικά αμινοξέα αποτελεσματικά όταν ταΐζονται μία φορά ανά ημέρα, επειδή τα κρυσταλλικά αμινοξέα δεν απορροφώνται από το έντερο ταυτόχρονα με τα αμινοξέα από τη συμπαγή προσλαμβανόμενη πρωτεΐνη.

Με την πέψη ή την υδρόλυσή τους, ελευθερώνουν αμινοξέα τα οποία απορροφώνται από το πεπτικό σύστημα και μεταφέρονται μέσω του αίματος στα διάφορα όργανα και τους ιστούς. Τα ελεύθερα αμινοξέα απελευθερώνονται στο πεπτικό σύστημα και απορροφώνται από το τοίχωμα της γαστρεντερικής οδού στο κυκλοφορικό σύστημα, όπου στη συνέχεια μετατρέπονται σε νέες πρωτεΐνες ιστών ή υφίστανται καταβολισμό για την παραγωγή ενέργειας ή διασπώνται για μεταβολισμό των ιστών.

Ορισμένα θαλασσινά πελαγικά είδη ψαριών από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές περιέχουν περισσότερο από το 50% των ολικών αμινοξέων ως ελεύθερα αμινοξέα. Τα ελεύθερα αμινοξέα δημιουργούνται στο τελικό στάδιο ωρίμανσης των ωοκυττάρων, και προέρχονται από την υδρόλυση της πρωτεΐνης (εύπεπτη) της λεκίθου. Κατά την διάρκεια απορρόφησης του λεκιθικού σάκου, οι συγκεντρώσεις των ελεύθερων αμινοξέων εξαντλούνται και φτάνουν σε χαμηλά επίπεδα κατά την διάρκεια του πρώτου σιτηρεσίου. Τα ελεύθερα αμινοξέα χρησιμοποιούνται ως μεταβολική ύλη, για τη σύνθεση των πρωτεϊνών.

Τα αμινοξέα συνεισφέρουν μέχρι και 60% ή και περισσότερο στη διάσπαση της ενέργειας. Η ανάπτυξη χαρακτηρίζεται από αύξηση σε μυϊκή μάζα μέσω της σύνθεσης των πρωτεϊνών. Οι προνύμφες των ψαριών παρουσιάζουν μεγάλο ρυθμό ανάπτυξης και αυξημένες διαιτητικές απαιτήσεις σε αμινοξέα. Οι προνύμφες οι οποίες σχηματίζουν το στομάχι τους, κατά την διάρκεια της ανάπτυξης έχουν αναπτυγμένα συστήματα πέψης με

μικρές δυνατότητες απορρόφησης και διάσπασης των πρωτεϊνών κατά την διάρκεια της αρχικής τροφοληψίας (Ronnestad *et al.*, 1996).

Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των θαλασσινών προνυμφών η απορρόφηση των ελεύθερων αμινοξέων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα πεπτίδια και τα αμινοξέα από το έντερο της προνύμφης. Στον ωκεανό, οι προνύμφες προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες ελεύθερων αμινοξέων από την κατανάλωση πλαγκτόν μετά την αρχική τροφοληψία. Η σύσταση των ελεύθερων αμινοξέων στη ζωντανή τροφή στην ιχθυοκαλλιέργεια ελέγχεται μέσω των συνθηκών εκτροφής, της επιλογής, της του είδους και της εκτροφής. Η διατροφή με μικροοργανισμούς είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για τη διατροφή των προνυμφών. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την προσθήκη, υψηλών ποσοτήτων ελεύθερων αμινοξέων στην τροφή είναι ελάχιστες και γίνεται μέσω των λιποσωμάτων (Ronnestad *et al.*, 1996).

Η σύνθεση των αμινοξέων μέσα από την παραγωγή νωπών ζωοτροφών, σε ψάρια γλυκού και θαλασσινού νερού, γίνεται σε χυμώδη κατάσταση ώστε το ζώο να έχει περισσότερη ενέργεια. Η μέθοδος συνίσταται στην πέψη με οξύ (20 ml/kg μυρμηκικού οξέος και 20 ml/kg θειικού οξέος) και αναερόβια ζύμωση (50 g/kg *Plantarum lactobacillus*, 150 g/kg μελάσα ζαχαροκάλαμου). Τα περιττώματα των θαλασσινών ψαριών είχαν υψηλότερο ποσοστό πρωτεϊνών (776,7 g/k) σε σχέση με τα περιττώματα των ψαριών του γλυκού νερού (496,2 g/k) και τα υπολείμματα των φιλέτων από τις τιλάπιες (429,9 g/k). Σε όλα τα προϊόντα της ζωντανής τροφής απουσίαζαν μέχρι και 3 αμινοξέα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι, όλα τα προϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν είναι κατάλληλα για την παρασκευή τροφών από ψάρια. Η παρουσία των μη απαραίτητων αμινοξέων είναι το 30% των απαραίτητων αμινοξέων στα ψάρια, σε ικανοποιητικό βαθμό σε σχέση με τα απαραίτητα αμινοξέα (Vidotti *et al.*, 2003).

Η προσθήκη των απαραίτητων αμινοξέων στην τροφή γίνεται μόνο όταν τα αποθέματα της λεκίθου των προνυμφών μειώνονταν, ενώ ο τύπος του αμινοξέος που προστίθεται στη τροφή εξαρτάται από το είδος του ψαριού (Fyhn, 1989). Η έλλειψη των απαραίτητων και μη απαραίτητων αμινοξέων στην τροφή οδηγεί σε αύξηση της θνησιμότητας που οφείλεται στην έλλειψη κατάλληλης τροφής στο περιβάλλον. Στα αυγά και τις προνύμφες του καλκανιού και του βακαλάου, τα ελεύθερα αμινοξέα είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας κατά την διάρκεια της εμβρυϊκής ανάπτυξης του ψαριού. Τα ελεύθερα αμινοξέα ιστών έχουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε σχέση με τη σύνθεση πρωτεϊνών (Fyhn, 1989).

Η μαζική θνησιμότητα των θαλασσινών προνυμφών των ψαριών στο φυσικό περιβάλλον ή σε συνθήκες αιχμαλωσίας σχετίζεται με την ολική απορρόφηση του λεκιθικού σάκου, με αποτέλεσμα η προνύμφη να αρχίζει να τρέφεται εξωγενώς.

Σε μερικές περιπτώσεις, τα ψάρια μπορούν μερικώς να αντικαταστήσουν ένα μη απαραίτητο με ένα απαραίτητο αμινοξύ. Το γατόψαρο αναπτύσσεται ικανοποιητικά όταν η μεθειονίνη είναι το μόνο αμινοξύ που περιέχει θείο στη τροφή, αλλά όχι όταν η κυστίνη είναι το μόνο αμινοξύ που περιέχει θείο, εντούτοις, η κυστίνη μπορεί να αντικαταστήσει περίπου το 60% της μεθειονίνης. Η τυροσίνη, ένα μη απαραίτητο αρωματικό αμινοξύ, μπορεί να αντικαταστήσει περίπου το ένα δεύτερο της απαίτησης του γατόψαρου για τη φαινυλαλανίνη, ένα απαραίτητο αρωματικό αμινοξύ (Μενούτης & Πλήθου, 2003).

Η διαιτητική δυσαναλογία των αμινοξέων μπορεί να προκαλέσει μειωμένη απόδοση από τα ζώα εξαιτίας του αμινο-ανταγωνισμού ή της τοξικότητας. Όταν μερικά αμινοξέα ταΐζονται παραπάνω από το απαιτούμενο επίπεδο, μπορούν να προκαλέσουν μια αύξηση στην απαίτηση για άλλα δομικά παρόμοια αμινοξέα, ή τον ανταγωνισμό των αμινοξέων. Σε μερικές περιπτώσεις, εντούτοις, οι διαιτητική περίσσεια ορισμένων αμινοξέων είναι άμεσα τοξική και τα αρνητικά της αποτελέσματα δεν μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη άλλων αμινοξέων· διότι αυτό αποτελεί τοξικότητα του αμινοξέος. Οι ιχθυοτροφές που περιέχουν συστατικά, όπως υποπροϊόντα σιταριού, έλαια και ζωικά υποπροϊόντα, δεν είναι ιδιαίτερα δυσανάλογες, αλλά οι ειδικές τροφές θα μπορούσαν να είναι (Vidotti *et al.*, 2003).

3.3.4. Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες είναι η αφθονότερη πηγή ενέργειας για όλα τα ζώα. Αποτελούνται από εύπεπτα απλά σάκχαρα, άμυλο και πολύπλοκα μόρια κυτταρίνης που είναι σχεδόν άπεπτα. Οι απλοί υδατάνθρακες είναι τα σάκχαρα και οι σύνθετοι είναι οι πολυσακχαρίτες. Στη διατροφή των ζώων και των ψαριών υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες υδατανθράκων :

A) Οι δομικοί πολυσακχαρίτες, οι οποίοι μπορούν να καταναλωθούν και να αφομοιωθούν μόνο από φυτοφάγα είδη, όπως για παράδειγμα η κυτταρίνη, η λιγνίνη, το άγαρ και η χιτίνη.

B) Οι διάφοροι πολυσακχαρίτες, όπως άμυλο, που πέπτονται και αφομοιώνονται από όλους τους οργανισμούς.

Στα φυτοφάγα είδη ψαριών η δραστηριότητα της α-αμυλάσης είναι μεγαλύτερη. Στα σαρκοφάγα ψάρια η αξιοποίηση τους, φτάνει μέχρι και το 60% για την παραγωγή ενέργειας

μόνο όταν πρόκειται για απλές μορφές (γλυκόζη, σακχαρόζη, λακτόζη). Η αμυλάση εκκρίνεται από το πάγκρεας στα σαρκοφάγα ενώ στα φυτοφάγα το ένζυμο εκκρίνεται από όλο σχεδόν το πεπτικό τους σύστημα. Η πέψη επομένως και η αξιοποίηση των υδατανθράκων από τα ψάρια εξαρτάται από το είδος των υδατανθράκων (Παπουτσόγλου,2008;Μεντέ & Νέγκας,2011).

Οι απαιτήσεις σε υδατάνθρακες για τα διακοσμητικά είδη ψαριών δεν είναι γνωστές. Παρόλα αυτά, οι υδατάνθρακες παρουσιάζουν μια φτωχή πηγή ενέργειας η οποία θα εμποδίσει τον καταβολισμό άλλων στοιχείων όπως οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια. Τα ψάρια του ζεστού νερού χρησιμοποιούν μεγαλύτερες ποσότητες υδατανθράκων απ' ότι τα ψάρια του κρύου νερού. Τα φυτοφάγα ψάρια, όπως το χρυσόψαρο και τα *κοί carp* (*Cyprinus carpio*) χρησιμοποιούν τη μικροχλωρίδα του εντέρου για να χωνέψουν τους πολύπλοκους υδατάνθρακες. Η πέψη των υδατανθράκων ποικίλει από 70% στα χρυσόψαρα (*Carassius auratus*) μέχρι 50% moonlight gouramis (*Trichogaster microlepis*).

3.3.5 Βιταμίνες - Ιχνοστοιχεία

Οι βιταμίνες είναι οργανικές χημικές ενώσεις, απαραίτητες για την αύξηση και την αναπαραγωγή των ψαριών, καθώς και για το σωστό μεταβολισμό τους. Ανάλογα με τη διαλυτότητα τους στο νερό ή σε λίπη και διαλύτες των λιπών μπορούμε να τις διακρίνουμε σε δυο μεγάλες κατηγορίες :

- υδατοδιαλυτές
- Λιποδιαλυτές

Οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες περιλαμβάνουν το συμπλέγμα Β και το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C). Επειδή είναι διαλυτές στο νερό, σχετίζονται γενικά με το υγρό μέρος του σώματος και αποβάλλονται με τα ούρα. Έτσι οι βιταμίνες αυτές πρέπει να παρέχονται συνεχώς στον οργανισμό μέσω της διατροφής, ακόμα και αν τα επίπεδα στους ιστούς μπορούν να διατηρηθούν για μήνες (ασκορβικό οξύ) ή ακόμα και για χρόνια (B12). Στις υδατοδιαλυτές βιταμίνες ανήκουν : η θειαμίνη (B1), η ριβοφλαμίνη (B2), η πυριδοξίνη (B6), το παντεθονικό οξύ, το νικοτινικό οξύ, η βιοτίνη Η, το φολικό οξύ, η βιταμίνη Β12, το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C), η ινοσιτόλη και η χολίνη (Πιν.5).

Οι λιποδιαλυτές βιταμίνες περιλαμβάνουν τις εξής βιταμίνες : Α, D, Ε και Κ, οι οποίες βρίσκονται στα λίπη των τροφών και γενικά μεταβολίζονται μαζί με αυτά στο σώμα,

πέπτονται και μεταφέρονται με τα λιπαρά, χρειάζονται λιπαρά για την απορρόφησή τους, αποθηκεύονται στο ήπαρ ή σε λιπώδη ιστούς, όπου και συσσωρεύονται σε τοξικά επίπεδα (Παπουτσόγλου, 2008; Μεντέ & Νέγκας, 2011).

Η χημική σύσταση της τροφής και του νερού διαβίωσής επηρεάζουν τη συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων των υγρών του σώματος και των μαλακών μυών παρά άλλων ιστών (οστά) του σώματος (Παπουτσόγλου, 2008). Όλες οι μορφές των υδρόβιων οργανισμών απαιτούν ανόργανα στοιχεία ή ιχνοστοιχεία για τις φυσιολογικές ζωτικές τους λειτουργίες. Τα ψάρια διαφέρουν από τα χερσαία ζώα καθώς έχουν την ικανότητα να απορροφούν κάποια ανόργανα στοιχεία όχι μόνο από την τροφή αλλά και από το εξωτερικό περιβάλλον, στο θαλασσινό και στο γλυκό νερό. Το μεγαλύτερο μέρος της ζωντανής ύλης αποτελείται από 6 βασικά δομικά στοιχεία : άνθρακα, άζωτο, υδρογόνο, οξυγόνο, φώσφορο και θείο. Δεκαπέντε ιχνοστοιχεία θεωρούνται ότι είναι απαραίτητα στους ζωικούς οργανισμούς. Πολλά από αυτά έχουν ανιχνευθεί στους ιστούς των ψαριών.

Πίνακας 5. Ελάχιστες απαιτήσεις βιταμινών για την αύξηση των νεαρών ψαριών (Ποσό ανά kg τροφής).

Βιταμίνη	Μονάδα	Γατόψαρο	Πέστροφα	Σολωμός
A	I.U./kg	1000-2000	5000-20000	2500
D	I.U./kg	500-1000	2000-3000	2400
E	I.U./kg	50	100-500	30
K	mg/kg	-	10-20	10
Θιαμίνη	mg/kg	1	10	10
Ριβοφλαβίνη	mg/kg	9	15	20
Πυριδοξίνη	mg/kg	3	10-20	10
Παντοθενικό οξύ	mg/kg	20	50-100	40
Νιασίνη	mg/kg	14	50-100	150
Φολικό οξύ	mg/kg	-	5-10	5
B12	mg/kg	-	0.02-0.05	0.02
Βιοτίνη	mg/kg	1	1-2	0.1
Ινοσιτόλη	mg/kg	-	300-500	400
Χολίνη	mg/kg	-	500-1000	3000
Βιταμίνη C	mg/kg	20-200	200-400	100

Οι βιταμίνες αποτελούν σημαντικά συστατικά ορμονών, ενζύμων αλλά και ενεργοποιητές ενζύμων. Το ασβέστιο και ο φώσφορος απαιτούνται για τη δημιουργία του σκελετού. Το νάτριο, το κάλλιο και το χλώριο μαζί με φωσφορικά και διτανθρακικά

διατηρούν την ομοιόσταση και την οξεοβασική ισορροπία. Κάποια στοιχεία όπως το ασβέστιο, μαγνήσιο και μαγγάνιο έχουν εξαιρετική σημασία ως ενεργοποιητές ενζύμων (Μεντέ & Νέγκας, 2011).

Οι βιταμίνες (Πιν.6) είναι οργανικά στοιχεία που απαιτούνται σε σχετικά μικρές ποσότητες για τη λειτουργία των περισσότερων μορφών ζωής, αλλά μερικοί οργανισμοί δεν μπορούν να συνθέσουν βιταμίνες. Έχει παρατηρηθεί ότι χαμηλότερα επίπεδα ασκορβικού οξέως, ήταν αρκετό να εμποδίσει τη μείωση της ανάπτυξης και την έλλειψη ασκορβικού οξέως, στα νεαρά διακοσμητικών ιχθύων του Αμαζονίου.

Η έλλειψη ασκορβικού οξέως στο όσκαρ (*Astronotus ocellatus*) εμφανίζονται μετά από διάστημα 25 εβδομάδων. Η απαίτηση στη διατροφή με 360mg ασκορβικό οξύ είναι ικανά να διατηρούν τον μηχανισμό αποθήκευσης ιστών της βιταμίνης στα νεαρά αγγελόψαρα. Το αντιστρέψ το οποίο εκτιμήθηκε σαν αντίσταση στο οσμωτικό σοκ ήταν σημαντικά υψηλότερο στα guppy που τράφηκαν με ασκορβικό οξύ 1000 ή 2000mg σε σύγκριση με τα ψάρια που τράφηκαν χωρίς συμπληρώματα. Οι λιποδιαλυτές βιταμίνες είναι ευαίσθητες στην αφαίρεση θρεπτικών στοιχείων. Ένα μεγάλο ποσοστό βιταμίνης C, βιταμίνη B12 και παντοθενικού οξέος χάνονται στο νερό (Μεντέ & Νέγκας, 2011).

Πίνακας 6: Πίνακας ισορροπημένης διατροφής σε βιταμίνες

ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΠΛΟΥΣΙΕΣ ΤΡΟΦΕΣ
A	Καρκίνοειδή, λέκιθος αυγών, πράσινες τροφές
B1, B2, B6, B12	Άλγη, πράσινες τροφές, κρέας ψαριού, βοδινό κρέας και συκώτι, αυγά, μαγιά
C	Πράσινες τροφές, άλγες, βοδινό συκώτι, αυγά ψαριών
D	Γαιοσκώληκες, άλλοι σκώληκες, άλγες, θαλασσινά φύκη, σαλιγκάρια, γαρίδες, δαφνίδες
E	Άλγες, πράσινες τροφές, λέκιθος αυγών
K	Βοδινό συκώτι, πράσινες τροφές, δαφνίδες
H	Λέκιθος αυγών, συκώτι, μαγιές

Τα ψάρια του γλυκού και του αλμυρού νερού περιέχουν ικανοποιητικές ποσότητες Νατρίου (Na), Ασβεστίου (Ca), Φώσφορου (P), Μαγνήσιου (Mg), Σιδήρου (Fe), Χαλκού (Cu), Ψευδαργύρου (Zn), και Αρσενικού (As). Οι βιταμίνες B2 και B6 βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα σε όλα τα ψάρια. Τα επίπεδα της θειαμίνης στην σαρδέλα και στην τιλάπια βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της δράσης της θειαμινάσης (Asiedu *et al.*, 1991).

Τα ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα στα ψάρια για το σχηματισμό των ιστών και για διάφορες λειτουργίες του μεταβολισμού τους. Τα διακοσμητικά ψάρια απορροφούν μερικά υδροδιαλυτά ιχνοστοιχεία από το νερό, περιπλέκοντας τις μελέτες για το καθορισμό των διατροφικών ιχνοστοιχείων.

Ο φώσφορος είναι από τα πιο σημαντικά ιχνοστοιχεία, επειδή είναι απαραίτητος στην ανάπτυξη, το σχηματισμό των οστών, για το μεταβολισμό των λιπιδίων και υδατανθράκων, και χρειάζεται στη διατροφή εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητας σε φυσικό νερό. Η ρύπανση του νερού από υπερβολικό φώσφορο παρουσιάζεται ίσως αρκετά σοβαρή επειδή οδηγεί σε ατροφία. Η έλλειψη φωσφόρου στα γuppy, δημιουργεί προβλήματα στα οστά, ενώ το ασβέστιο βρέθηκε να μη σχετίζεται με την ανάπτυξη τους.

Τα νερά που είναι πλούσια σε ασβέστιο αυξάνουν την ανοχή στην θερμοκρασία και επίσης μειώνουν τις τοξικές επιδράσεις που προκύπτουν από την παρουσία τοξινών ή χαμηλού pH στο νερό. Η προσθήκη ασβεστίου με τη μορφή CaCl_2 σε μαλακό νερό, για μικρό χρονικό διάστημα, οδήγησε σε μείωση των τοξικών αλλοιώσεων των οργάνων και παρουσιάζει αύξηση τα ποσοστά επιβίωσης του *Roccus spp.* (Grizzle *et al.*, 1985). Αυξημένες συγκεντρώσεις Al στο νερό, μειώνουν την πρόσληψη ασβεστίου από το νερό και την εναπόθεση του στους σκελετούς των νεαρών ιχθυδίων πέστροφας σε μαλακό νερό (Reader *et al.*, 1988). Από την άλλη πλευρά, η συγκέντρωση ασβεστίου στο νερό μειώνει την τοξικότητα του Al. Σε όξινες λίμνες με χαμηλό pH, χαμηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου και υψηλά επίπεδα Al στο νερό, οι πιθανότητες επιβίωσης είναι κατά πολύ μειωμένες και όπου οι συγκεντρώσεις ασβεστίου είναι μικρότερες από 0,8mg/l και το pH πέφτει στο 4,5 παρατηρείτε ότι οι λίμνες συχνά στερούνται ψαριών.

Πέρα από την συγκέντρωση του ασβεστίου στο νερό, είναι σημαντικό να υπάρχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο ασβεστίου στην τροφή. Υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα διάφορα είδη όσον αφορά την ποσοτική πρόσληψη ασβεστίου από το νερό. Νεαρά ιχθύδια του *Oncorhynchus tshawytscha* παρουσίασαν φτωχή ανάπτυξη όταν η τροφή περιείχε υπερβολικές ποσότητες Ca και P (Richardson *et al.* 1986). Έτσι τα νεαρά ιχθύδια αρχικού βάρους 0,5 g έφτασαν τα 9,5 g σε 126 μέρες όταν το ξηρό βάρος της τροφής περιέχει 5,5 g Ca/kg και 7,3 g P/kg, ενώ όταν οι διαιτητικές συγκεντρώσεις ήταν 73 g Ca/kg και 51 g P/kg έφτασαν μόνο τα 5,6 g.

4. Σχεδιασμός τροφών για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών

4.1. Διαιτητικές πηγές ενέργειας

Τα λίπη, οι υδατάνθρακες και οι πρωτεΐνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα ψάρια ως πηγή ενέργειας. Η πρωτεΐνη είναι συνήθως η ακριβότερη και οι μη πρωτεϊνικές πηγές ενέργειας θα πρέπει να καλύπτουν τις περισσότερες από τις ενεργειακές ανάγκες. Ο καταβολισμός της πρωτεΐνης για ενέργεια περιλαμβάνει την απαμίνωση των αμινοξέων και την έκκριση αμμωνίας. Η έκκριση μεγάλων ποσοστών αμμωνίας δεν δημιουργεί κανένα πρόβλημα στα ψάρια λόγω της αποδοτικής ικανότητας έκκρισης αζώτου. Το ερώτημα του εάν θα παρέχεται η ενέργεια από πηγή πρωτεϊνική ή μη πρωτεϊνική είναι αυστηρά οικονομικό και είναι μερικές φορές λιγότερο ακριβό να προστεθεί επιπλέον πρωτεΐνη για να ληφθούν τα βασικά αμινοξέα και η ενέργεια, από το να εμπλουτισθούν οι τροφές με αυτά τα αμινοξέα. Η περίσσεια πρωτεΐνης χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για ενέργεια (Spotte, 1991).

Τα λίπη περιέχουν περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα βάρους από οποιαδήποτε άλλη βιολογική ένωση. Τα λίπη χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά για παροχή ενέργειας. Η διατροφή των σαρκοφάγων ψαριών σε φυσικές συνθήκες σε ξηρά βάση είναι περίπου 50% πρωτεΐνη και 50% λίπος. Το λίπος αυξάνει την ελκυστικότητα των τροφών, αλλά αυξάνει επίσης και τη συνεκτικότητα της τροφής και προστίθεται κατά την πελετοποίηση σε ποσοστό άνω του 11% της τροφής. Εάν επιδιώκεται περισσότερη από αυτήν την ποσότητα λίπους, εφαρμόζεται στην τροφή μετά την πελετοποίηση. Η οξείδωση των λιπών και η τάγγιση είναι προβλήματα που οφείλονται στο λίπος (Da Silva & Anderson, 1995).

Στις φυσικές τροφές των σαρκοφάγων ειδών υπάρχει πολύ μικρή ποσότητα υδατανθράκων, ενώ τα χορτοφάγα είδη καταναλώνουν πολύ μεγάλη ποσότητα φυτικής ύλης με ένα υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακα. Τα μόρια των υδατανθράκων ποικίλουν από απλά σάκχαρα που είναι τα πιο εύπεπτα, έως σύνθετους υδατάνθρακες, την κυτταρίνη και τη λιγνίνη που μπορούν να αφομοιωθούν μόνο από τα βακτηρίδια. Οι υδατάνθρακες είναι η λιγότερο ακριβή πηγή ενέργειας, επομένως είναι συμφέροντα από οικονομικής απόψης, να μπορεί χρησιμοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερος υδατάνθρακας στη διατροφή των ψαριών (Da Silva & Anderson, 1995).

Υπάρχει φυσικά διαμάχη στο κατά πόσο οι υδατάνθρακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά από τα ψάρια. Μελέτες, έδειξαν ότι η πέστροφα μπορεί να

χρησιμοποιήσει μόνο πολύ μικρά ποσά υδατάνθρακα. Συστήνεται λιγότερο από 12% πεπτού υδατάνθρακα στη τροφή της. Οι DaSilva & Anderson (1995), ανέφεραν ότι η κατεργασία τους έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μεταβολίσιμης ενέργειας του αμύλου. Ο υδατάνθρακας που χρησιμοποιείται συνήθως στις τροφές των ψαριών είναι από δημητριακά, κυρίως από υποπροϊόντα της άλεσης σίτου. Στην ακατέργαστη μορφή αυτό το προϊόν έχει λίγη ενεργειακή αξία για τα ψάρια. Η θερμότητα και η υγρασία που συνδέονται με την πελετοποίηση, διασπών μερικώς το άμυλο έως ότου να είναι μια καλή πηγή ενέργειας για τα περισσότερα είδη ψαριών.

4.2. Αναλογία των θρεπτικών ουσιών που χρησιμοποιούνται ως πηγές ενέργειας.

Τα ψάρια, όπως και τα περισσότερα ζώα, από τα πρώτα στάδια της ζωής τους, τρώνε για να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες. Οι τροφές πρέπει να είναι ισορροπημένες έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των ψαριών σε βασικές θρεπτικές ουσίες για τη βέλτιστη ανάπτυξη, όταν οι ενεργειακές τους ανάγκες ικανοποιούνται. Τα ψάρια μπορούν να αντισταθμίσουν το χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο των τροφών με αυξημένη κατανάλωση τροφής εφόσον αυτή είναι διαθέσιμη (Παπουτσόγλου, 2008).

Αυτό το όριο είναι περίπου 2900 kcal της ME ανά χιλιόγραμμο της τροφής για την ιριδίζουσα πέστροφα. Στα ζωικά συστήματα δεν υπάρχει καμία διαδικασία για την αποβολή της περίσσειας ενέργειας. Εάν οποιαδήποτε από τις βασικές θρεπτικές ουσίες είναι σε ανεπάρκεια, η σύνθεση νέου πρωτεϊνικού ιστού αναστέλλεται και η περίσσεια ενέργειας αποθηκεύεται ως λίπος. Η αύξηση του λίπους στο σώμα είναι ένα φυσικό φαινόμενο καθώς τα ζώα ωριμάζουν. Εντούτοις, με την κατάλληλη ισορροπία ανάμεσα στις θρεπτικές ουσίες και την ενέργεια, η εναπόθεση λίπους μπορεί να περιοριστεί στο ελάχιστο (Παπουτσόγλου, 2008).

4.3. Υπολογισμός της ποσότητας της τροφής

Μέχρι την πρόσφατη ανάπτυξη των ταΐστρον βούλησης ήταν αδύνατο να ταΐστουν τα ψάρια μέχρι κορεσμού χωρίς την σπατάλη τροφής. Είναι δύσκολο να καθοριστεί πότε τα ψάρια σταματούν να τρώνε. Τα ακατανάλωτα pellets αποσυντίθεται ή μεταφέρονται μακριά από τα ρεύματα του νερού, είναι μη διαθέσιμα για τα ψάρια. Διάφορες μέθοδοι έχουν επινοηθεί για τον υπολογισμό της ποσότητας της τροφής, βασισμένες στο μέγεθος των

ψαριών, τη θερμοκρασία του νερού, και την ενεργειακή αξία της τροφής (Βλάχος, 2010).

4.4. Ενεργειακές απαιτήσεις και πηγές

Μια από τις πιο εντυπωσιακές διαφορές στη διατροφή μεταξύ των ψαριών και των υπολοίπων εκτρεφόμενων ζώων είναι ότι το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την πρωτεϊνική σύνθεση είναι πολύ μικρότερο για τα ψάρια απ' ό τι για τα θερμόαιμα ζώα. Τα ψάρια έχουν μια χαμηλότερη διαιτητική ενεργειακή ανάγκη επειδή δεν είναι απαραίτητο να διατηρήσουν σταθερή σωματική θερμοκρασία. Χρησιμοποιούν σχετικά λιγότερη ενέργεια για να διατηρήσουν τη θέση τους και να κινηθούν στο νερό από ότι τα θηλαστικά και τα πουλιά στο έδαφος και χάνουν λιγότερη ενέργεια για τον καταβολισμό των πρωτεϊνών και την έκκριση των αζωτούχων αποβλήτων από τα χερσόβια ζώα επειδή εκκρίνουν τα περισσότερα από τα αζωτούχα απόβλητά τους ως αμμωνία μέσω των βραγχίων (Spotte, 1991).

Διαιτητική περίσσεια ή ανεπάρκεια της χρήσιμης ενέργειας μπορεί να μειώσει το ρυθμό αύξησης. Επειδή οι ενεργειακές ανάγκες για τη συντήρηση και την εθελοντική δραστηριότητα πρέπει να ικανοποιηθούν προτού η ενέργεια να είναι διαθέσιμη για την αύξηση, η διαιτητική πρωτεΐνη χρησιμοποιείται για ενέργεια όταν η διατροφή είναι ανεπαρκής σε ενέργεια σε σχέση με την πρωτεΐνη (DaSilva & Anderson, 1995).

Αφ' ετέρου, μια διατροφή που περιέχει περίσσεια ενέργειας μπορεί να προκαλέσει τον περιορισμό της κατανάλωσης τροφής και να εμποδίσει έτσι τη λήψη των απαραίτητων ποσοτήτων πρωτεΐνης και άλλων θρεπτικών ουσιών για τη μέγιστη ανάπτυξη. Υπερβολικά υψηλές αναλογίες ενέργειας / θρεπτικά συστατικά μπορεί επίσης να οδηγούν στην απόθεση μεγάλων ποσοτήτων λίπους στο σώμα. Αυτό μπορεί να είναι ανεπιθύμητο στην παραγωγή τροφίμων από ψάρια εάν μειώνει την παραγωγή και τη ζωή του επεξεργασμένου προϊόντος. Εντούτοις, μπορεί να είναι επιθυμητό στα ψάρια που εκτρέφονται για απελευθέρωση (Βλάχος, 2010).

4.5. Απαιτήσεις

Οι πληροφορίες για τις ενεργειακές ανάγκες των ψαριών είναι λίγες. Στην πράξη και την έρευνα, οι διατροφολόγοι έχουν δώσει προτεραιότητα στην κάλυψη των απαιτήσεων για πρωτεΐνες, μεταλλικά στοιχεία, και βιταμίνες. Ανεπάρκεια ή περίσσεια σε ενέργεια δεν έχει

μεγάλη επίδραση στην υγεία των ψαριών. Επίσης, οι τροφές για τα περισσότερα είδη που φτιάχνονται με συνηθισμένα διαθέσιμα συστατικά, είναι απίθανο να είναι εξαιρετικά υψηλές ή χαμηλές σε ενέργεια όταν καλύπτεται η πρωτεϊνική απαίτηση (Μενούτης & Πλήθου, 2003).

Για παράδειγμα μια τροφή γατόψαρων με περιεκτικότητα 32% σε πρωτεΐνη που περιέχει σογιάλευρο (50%), σιτάρι (40%), ζωικό υποπροϊόν (8%), βιταμίνη και συμπληρώματα ανόργανων αλάτων (2%), περιέχει περίπου 2,8 kcal πεπτής ενέργειας ανά γραμμάριο. Αυτό παρέχει μια αναλογία ενέργειας (kcal) / πρωτεΐνης (σε g) 8 ή 9 προς 1, η οποία πλησιάζει το βέλτιστο.

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα διατροφής για να υπολογιστούν οι ενεργειακές ανάγκες για το γατόψαρο και τον κοινό κυπρίνο. Τα ψάρια ταΐστηκαν με τροφές που περιείχαν πρωτεΐνη σε ποσοστό 24% ως 35% και υπολογίστηκαν τα επίπεδα πεπτής ενέργειας. Το κέρδος βάρους ήταν το κριτήριο για τη βελτιστοποίηση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών. Οι διαιτητικές συγκεντρώσεις της πεπτής ενέργειας ανά γραμμάριο διαιτητικής πρωτεΐνης που επέφεραν το μεγαλύτερο κέρδος βάρους για το γατόψαρο, κυμάνθηκαν από 8,7 kcal έως 9,7 kcal / g πρωτεΐνης (Μενούτης & Πλήθου, 2003). Στα ομοίως σχεδιασμένα πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν τροφές με πρωτεΐνη 32%, η βέλτιστη αναλογία ενέργειας / πρωτεΐνη για αύξηση βάρους για τον κοινό κυπρίνο ήταν 8,3 kcal / g πρωτεΐνης (DaSilva & Anderson, 1995; Μενούτης & Πλήθου, 2003). Κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων διατροφής για τον καθορισμό των ενεργειακών αναγκών των ψαριών, είναι σημαντικό να είναι γνωστά:

- Η διαθεσιμότητα της ενέργειας στις τροφές που χορηγούνται
- Τα ψάρια ταΐζονται έως κορεσμού
- Οι διάφορες τροφές στο πείραμα είναι ισάξιες προς τη γευστικότητα
- Η σύσταση του βάρους που κερδίσθηκε μπορεί να προσδιοριστεί.

Ο ρυθμός ανάπτυξης και οι ανάγκες σε πεπτή ενέργεια για το γατόψαρο μέσου βάρους 1 g, όταν ταΐζεται μέχρι κορεσμού, με τροφές διαφορετικές σε ενέργεια και πρωτεΐνη, προσδιορίζεται από την περιεκτικότητα της τροφής σε πρωτεΐνη. Η καθημερινή ανάγκη σε πεπτή ενέργεια για τη μέγιστη αύξηση είναι 16,8 kcal/100 g όταν τα ψάρια κυμαίνονται από 1 ως 3 g. Όταν το βάρος του ψαριού υπερβαίνει τα 100 g, η ανάγκη σε πεπτή ενέργεια μειώνεται σε 5 kcal/100 g. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, η πρωτεϊνική απαίτηση άλλαξε σχεδόν στο ίδιο ποσοστό με την ενεργειακή απαίτηση, με αύξηση στο μέγεθος των ψαριών,

έτσι ώστε η βέλτιστη αναλογία πεπτή ενέργεια / πρωτεΐνη άλλαξε λίγο για ψάρια από 3 ως 266 g (DaSilva & Anderson, 1995).

Τα μικρά ψάρια (νύμφες έως νεαρά και αναπτυσσόμενα άτομα) έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια και πρωτεΐνες, λόγω του υψηλού μεταβολικού τους ρυθμού, χρειάζεται να τους χορηγούνται μικρές ποσότητες, συνήθως σε κορεσμό και ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, τα ιχθύδια τσιπούρας αυξήθηκαν πολύ γρηγορότερα όταν σιτίζονταν συνεχώς σε σχέση με την χορήγηση της ίδιας ποσότητας τροφής σε τέσσερα γεύματα (Goldan *et al.*, 1997).

5. Πεπτικό σύστημα

5.1. Μορφολογία Πεπτικού συστήματος

Τα κύρια όργανα του πεπτικού συστήματος είναι : 1) το στόμα, που είναι το όργανο μέσο του οποίου το νερό και η τροφή μπαίνουν στον οργανισμό του ψαριού. 2) ο οισοφάγος, ο οποίος είναι ευδιάκριτος λόγω των μυών του και συσπάται εθελούσια. 3) το στομάχι, όπου γίνεται η προσωρινή αποθήκευση, ανάμειξη και πρωτογενή πέψη της τροφής. 4) το έντερο, όπου ολοκληρώνεται η πέψη των τροφών και γίνεται η απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών. 5) το ήπαρ, που είναι καλά ανεπτυγμένο στα ψάρια και το 6) πάγκρεας που δεν διαμορφώνεται ως ένα ιδιαίτερο όργανο στα ψάρια (Μεντέ & Νέγκας, 2011).

5.2. Όργανα κατάποσης τροφής-φαρυγγικά δόντια

Τα φαρυγγικά δόντια εντοπίζονται στο πίσω μέρος των οστών των βραγχιακών τόξων, κυρίως των 3^{ου}, 4^{ου} ζευγών, και ειδικότερα του 5^{ου} το οποίο, λόγω ελλιπούς ανάπτυξης δεν φέρει βραγχιακά ελάσματα και βρίσκεται στην περιοχή του φάρυγγα. Τα οστά των υποπλασμένων βραγχιακών τόξων ταυτίζονται με τα φαρυγγικά οστά τα οποία είναι ευρύτερα γνωστά ως φαρυγγικοί οδόντες, των οποίων η μορφολογία-κατασκευή ταυτίζονται με εκείνες των οδόντων των γνάθων.

Σε ορισμένους τελεόστεους ιχθύες παρατηρείται έντονη διαφοροποίηση από την άποψη της μορφής, του μεγέθους και της διάταξης τους, ενώ η παρουσία τους συνδέεται με την σύνθλιψη και τον τεμαχισμό της τροφής τους. Σε άλλους, οι φαρυγγικοί οδόντες είναι οι μόνοι που υπάρχουν και συνήθως βρίσκονται σε σειρές (1-3) του ενός ή και περισσότερων οδόντων.

Η παρουσία των φαρυγγικών οδόντων συνδέεται με τον διατροφικό τύπο των ιχθύων και αυξάνεται από τους σαρκοφάγους προς τους φυτοφάγους και αφορά περισσότερο στο είδος της τροφής παρά στη χημική της σύσταση.

Όταν οι φαρυγγικοί οδόντες είναι επίπεδοι ή αποστρογγυλοποιημένοι, τότε το διαιτολόγιο του ψαριού είναι πλούσιο σε φυτικούς ιστούς και βενθικούς ή ζωικούς οργανισμούς (οστρακοειδή). Αντίθετα στα σαρκοφάγα ψάρια, οι φαρυγγικοί οδόντες είναι

μεγαλύτεροι, αιχμηροί και κωνικοί τότε το ψάρι τρέφεται με καρκινοειδή ή προνούμφες εντόμων.

Οι κιχλίδες της δυτικής Αφρικής αντιπροσωπεύουν ένα από τα πιο εντυπωσιακά παραδείγματα εξέλιξης, μεταξύ των σπονδυλωτών. Τα μοντέλα της οικολογικής ειδογένεσης δείχνουν, ότι οι διαφορές στη διατροφή συμβάλουν στην έναρξη και στη συντήρηση της ποικιλότητας των ειδών στις κιχλίδες (Albertson *et al.*, 2003). Ο προσδιορισμός του γονιδιώματος στις κιχλίδες, είναι υπεύθυνος για τις διαφορές που δημιουργούνται στη κατασκευή του σχήματος της γνάθου και του στόματος. Το ύψος και το μήκος της κάτω γνάθου, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και καθορίζονται γονιδιακά.

Σύμφωνα με τους Hulsey & Garcia De Leon (2005), η λειτουργία των φαρυγγικών οδόντων κατά τη διαδικασία προσέλκυσης της τροφής από τα ψάρια στηρίζεται στον εξής μηχανισμό: Διερευνήθηκε η χρησιμότητα της πρόσθιας σιαγόνας στην κιχλίδα του γένους *Heroina* και μελετήθηκαν οι σχέσεις που συνδέονται με την κατάσταση που παρατηρείται μεταξύ της άνω και κάτω γνάθου, κατά τη διαδικασία της τροφοληψίας. Η κινητική κατάσταση (KT) της άνω και κάτω γνάθου παρατηρείται μέγιστη προεξοχή όταν το ψάρι τρέφεται με εξειδικευμένες διατροφές .

Τα άτομα της οικογένειας Cichlidae και Labridae αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα προσαρμογής στις διατροφικές μεταβολές. Η δομή της γνάθου και των φαρυγγικών δοντιών εξαρτώνται από την φυλογένεση. Οι Mabuchi *et al.*,(2007), μελέτησαν 78 γονιδιώματα μιτοχονδρίων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη φυλογένεση δείχνουν ότι τα περκόμορφα αποτελούνται από ένα φύλο. Επίσης στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι η φυλογένεση που προκύπτει για την γνάθο είναι ανεξάρτητη από την διατροφική συμπεριφορά του ψαριού, σε αντίθεση με τα φαρυγγικά δόντια που επηρεάζονται από τον τύπο της τροφής (Mabuchi *et al.*, 2007).

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την λειτουργία της άνω και κάτω γνάθου είναι: η μυϊκή δύναμη, η ροπή, η ταχύτητα της γνάθου, το διαρκές μάσημα, το δυνατό δάγκωμα και η ισχύς. Τα χαρακτηριστικά αυτά παραμετροποιήθηκαν και μελετήθηκαν ως προς την κλίμακα του χρόνου και της κίνησης, με πραγματικές συνθήκες διατροφής των ψαριών. Η μέγιστη ισχύς εκδηλώνεται στο τέλος του κλεισίματος της σιαγόνας και υπολογίζεται ως η μέγιστη δύναμη η οποία εκδηλώνεται στο 25% του κύκλου μέχρι να ολοκληρωθεί η λειτουργία του. (Westneat, 2003).

Οι Albertson *et al.* (2005), αναφέρουν ότι οι κιχλίδες της Αφρικής προσαρμόζουν κατάλληλα τη σιαγόνα ανάλογα με τον τύπο τροφής που χορηγείται. Εξελίσσονται με

εξειδικευμένους τρόπους διατροφής με προσαρμογές στη σιαγόνα του στόματος τους. Το σχήμα και η λειτουργία των σιαγόνων εξαρτάται από τις διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών.

5.3. Πεπτικά ένζυμα και πέψη

Η πέψη μπορεί να οριστεί ως η προετοιμασία των τροφών από το ζώο για την απορρόφησή τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη μηχανική μείωση του μεγέθους της τροφής (αλεσμένα με τα φαρυγγικά δόντια ή το στομάχι), ενζυμική διάλυση των οργανικών ουσιών, διάλυση των ανόργανων ουσιών με αλλαγή του pH και την μετατροπή των λιπιδίων σε μορφή γαλακτώματος. Η απορρόφηση περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες που επιτρέπουν τα ιόντα και στα μόρια να περάσουν μέσω των μεμβρανών του εντερικού σωλήνα στο αίμα ή τη λέμφο και να μεταβολιστούν από το ψάρι.

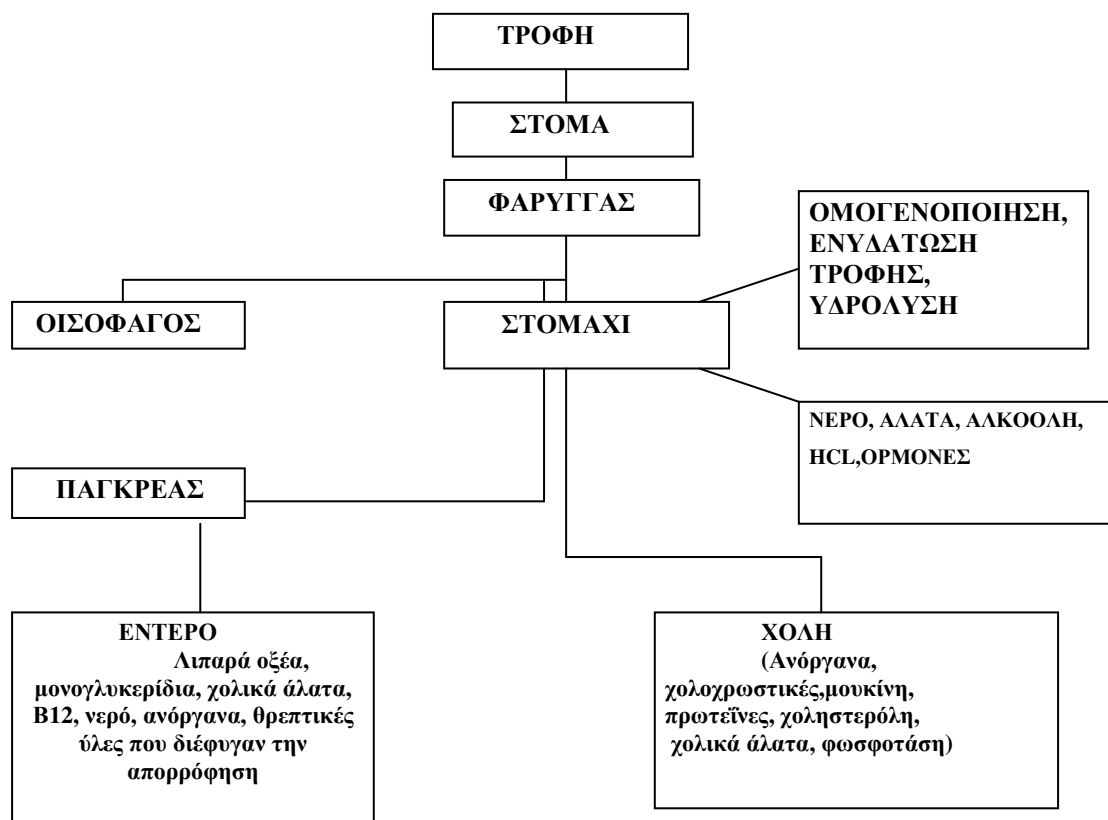
Η διαδικασία της πέψης διαφέρει ανάμεσα στα ψάρια με ή χωρίς στομάχι. Το στομάχι εκκρίνει υδροχλωρικό οξύ και πεψινογόνο για την πέψη των πρωτεϊνών. Όταν δεν υπάρχει στομάχι, τέτοιες ουσίες δεν εκκρίνονται και η διάσπαση και πέψη των πρωτεϊνών πραγματοποιείται μόνο μέσω των ενζύμων. Τα πεπτικά ένζυμα αποτελούνται από υδρολάσες οι οποίες χωρίζονται σε υδατοδιαλυτές και πρωτεϊνικής φύσης. Ανάλογα με τη φυσιολογική τους δράση διακρίνονται σε:

- πρωτεάσες (ένζυμα πρωτεόλυσης)
- εστεράσες (ένζυμα λιπόλυσης)
- καρβοϋδράσες (αμυλολυτικά ένζυμα)

Τα πεπτικά ένζυμα παράγονται στο στομάχι, το έντερο και το πάγκρεας, στο ήπαρ, στη σπλήνα και στα νεφρά. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες : 1) τα ένζυμα που εκκρίνονται από το πάγκρεας και σε μικρότερο βαθμό στο στομάχι. 2) τα συνδεδεμένα ένζυμα που βρίσκονται σε μικρή έκταση στο πεπτικό χυμό και 3) τα κυτταρικά ένζυμα της πεπτικής οδού. Τα πεπτικά ένζυμα είναι η αμυλάση, η κυτταρινάση, η χιτινάση και η δισακχαριτάση. Η δράση της αμυλάσης είναι υψηλότερη σε φυτοφάγα και παμφάγα είδη και η δράση της χιτινάσης είναι ευρέως διαδεδομένη στα ψάρια. Τα ενδογενή πεπτικά ένζυμα παράγονται από το ίδιο ψάρι και είναι η χιτινάση και η κυτταρινάση. Η χλωρίδα του εντέρου και της πέψης, είναι πηγή πολυσακχαριδασών στα ψάρια που τρέφονται με αμυλούχα πολυσακχαρίδια. Η μεταφορά των μονοζαχαρίδιων στο παχύ έντερο των ψαριών, όπως προκύπτει από μελέτες

της εξωτερικής μεμβράνης των κυστιδίων, είναι ανεστραμμένες σε περιοχές του εντέρου των ψαριών.

Η γλυκόζη της εξωτερικής μεμβράνης του εντέρου, εμφανίζει χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά που απαντώνται στα θηλαστικά (Krodgal *et al.*, 2005). Τα ενδογενή πεπτικά ένζυμα εκκρίνονται στον εντερικό αυλό και μπορεί να είναι εξωκυττάρια, συνδεδεμένα με μεμβράνη ή ενδοκυττάρια (εντός των εντεροκυττάρων) (Μέντες & Νέγκας, 2011).



Σχήμα 1. Συνοπτικό διάγραμμα πέψης (Πηγή: Μεντέ & Νεγκας, 2011)

Η πέψη και η αξιοποίησή της εξαρτώνται από το είδος των υδατανθράκων. Στα σαρκοφάγα ψάρια η αξιοποίησή τους, φτάνει μέχρι και 60% για την παραγωγή ενέργειας ιδίως όταν πρόκειται για απλές μορφές (γλυκόζη, ζακχαρόζη, λακτόζη). Στα σαρκοφάγα ψάρια (αγγελόψαρα, δίσκοι, πιράνχας, clownfish) η αμυλάση εκκρίνεται από το πάγκρεας, ενώ στα φυτοφάγα (χρυσόψαρα και αφρικάνες), το ένζυμο εκκρίνεται σχεδόν από όλο το πεπτικό τους σύστημα (Krodgal *et al.*, 2005). Ως εξωγενή πεπτικά ένζυμα ορίζουμε τα ενζυμα εκείνα που παράγονται από γαστρεντερικούς συμβιωτικούς μικροοργανισμούς. Από μελέτες

σε νεαρά ιχθύδια και ενήλικα άτομα του λαβρακίου (*Dicentrarchus labrax*) έχει αποδειχθεί ότι στο ξεκίνημα της εξωγενούς διατροφής, οι πρωτεΐνες πέπτονται βασικά από τα ένζυμα που παράγονται από θρυψίνη στο ενδιάμεσο και ουραίο τμήμα του εντέρου, ενώ η γαστρική πέψη ξεκινάει αργότερα.

6. Συμπεράσματα

Τα περισσότερα εδώδιμα και διακοσμητικά είδη ψαριών σήμερα εκτρέφονται σε μεγάλη κλίμακα παρόλα αυτά παρατηρούνται δυσκολίες στην ανάπτυξη, οι οποίες οφείλονται κυρίως στο μέγεθος των ψαριών αλλά και στη δημιουργία του πεπτικού συστήματος που παρατηρείται με την έναρξη της διατροφής των ψαριών. Οι προνύμφες των περισσότερων τελεόστεων οργανισμών δεν εκτρέφονται μαζικά ενώ σε ότι αφορά τη διατροφή τους δεν σιτίζονται με εμπορικές τροφές στα πρώτα στάδια ανάπτυξής τους.

Η τροφή για τα ψάρια, όπως για κάθε ζωντανό οργανισμό είναι το βασικότερο συστατικό για τη γρήγορη και υγιή ανάπτυξη των ψαριών. Έτσι, η χορήγηση της καλύτερης τροφής παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και επιβίωση των ψαριών. Η χορήγηση τροφής διαφέρει από ψάρι σε ψάρι, ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και την υφή της τροφής αλλά επηρεάζεται και από τις αντιδράσεις των ψαριών. Για παράδειγμα τα ψάρια διαθέτουν ειδικούς μηχανισμούς επιλεκτικότητας και μάσησης της τροφής. Επίσης εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά σίτισης ανάλογα με το μέγεθος τους τόσο σε φυσιολογικές συνθήκες όσο και σε συνθήκες πείνας. Κατά την επιλογή της τροφής που θα χορηγηθεί πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι διατροφικές συνήθειες των ψαριών επηρεάζονται από τις τροφικές και αναπαραγωγικές μεταναστεύσεις, που αναγκάζονται να κάνουν τα ψάρια όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι ακραίες με αποτέλεσμα να ψάχνουν πιο εύφορες περιοχές για να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν.

Τα ψάρια απαιτούν στις τροφές τους συγκεκριμένες ποσότητες θρεπτικών συστατικών. Οι απαιτήσεις σε πρωτεΐνες για τα εδώδιμα και διακοσμητικά ψάρια ποικίλουν. Γενικότερα, το βέλτιστο ποσοστό που απαιτείται κυμαίνεται από 30-40% προσλαμβανόμενης πρωτεΐνης ανάλογα με την περίπτωση. Τα ποσοστά αυτά οδηγούν σε υψηλότερη ανάπτυξη, σε πρόωρη ωρίμανση, σε υψηλά επίπεδα γονιμοποίησης των αυγών και εκκόλαψης των αυγών. Χαμηλότερα ή υψηλότερα ποσοστά πρωτεΐνης οδηγούν συνήθως σε αντίθετα αποτελέσματα. Οι απαιτήσεις σε αμινοξέα είναι βασικές, ενώ σε ότι αφορά τις απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα η προσθήκη 10-18% με λιπίδια στις τροφές οδηγεί σε επιτυχημένες εκτροφές (ταχεία ανάπτυξη). Τα ποσά αυτά ποικίλουν ανάλογα με το είδος και τη θερμοκρασία του νερού εκτροφής. Παράλληλα η προσθήκη ω3 και ω6 λιπαρών οξέων και φωσφολιπιδίων στις τροφές επιταχύνει και ευνοεί την ανάπτυξη, ενώ η έλλειψη των παραπάνω στοιχείων οδηγεί στην εμφάνιση σκελετικών ανωμαλιών και παθολογικών αιτιών στα ψάρια.

Οι απαιτήσεις σε βιταμίνες στις διατροφές των ψαριών διαφέρουν ανάλογα με τη βιταμίνη, το είδος του ψαριού και τη θερμοκρασία εκτροφής. Οι βέλτιστες απαιτήσεις για ασκορβικό οξύ έχουν υπολογιστεί περίπου 500 mg/kg τροφής, ενώ υψηλές είναι και οι απαιτήσεις σε ασταξανθίνη. Οι απαιτήσεις σε μέταλλα επηρεάζουν την ανάπτυξη του ψαριού, την ενδοκρινική ρύθμιση και πρέπει να υπολογίζονται στη σύνθεση των σιτηρεσίων παρ' όλο που ακριβή ποσοστά δεν υπάρχουν και απαιτείται περαιτέρω έρευνα. Οι απαιτήσεις σε υδατάνθρακες δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές, καθώς και δε αποτελούν σημαντική πηγή ενέργειας. Τα βέλτιστα ποσοστά υδατανθράκων κυμαίνονται μεταξύ 30 και 40%, ενώ αύξηση της κυτταρίνης πάνω από 10% προκαλεί μείωση της ανάπτυξης. Λαμβάνοντας υπόψη τη φυσιολογία θρέψης των ειδών και τις απαιτήσεις τους σε θρεπτικά συστατικά μπορούμε να καταρτίσουμε σιτηρέσια ικανά να πληρούν τις απαιτήσεις των ψαριών, με στόχο την αποδοτικότερη και πιο επιτυχημένη εκτροφή.

7.Abstract

The development of the fish from the early stages is largely influenced by several factors such as the quality of the food, the food intake and the water temperature. The main factors that influence food intake, that is acceptable organoleptic from the fish, is the temperature and the energy content of food. Studies on nutritional requirements of freshwater and saltwater fish conducted emphasize fish diet with live food during the early developmental stages of the fish.

The protein requirements range today is from 30% to 50 %, while feed has been enriched with minerals and vitamins. The requirements in fatty acids, are adding omega-3 fatty acids in fish feed to grow satisfactorily. Regarding the larvae stage of development of fish recommended for foods rich in fatty acids. Also, studies indicate that the nutritional value of fish is achieved when food contains the necessary fat-soluble vitamins.

The daily requirement of energy for fish 1 g is 16,8 Kcal/100 g fish weight in contrast to the larger fish (> 100g) where needs less energy (5 Kcal/100 g weight fish). Determination of nutritional requirements in fish is to improve the growth, survival and composition of food to be used based on the content of protein, fats, carbohydrates, amino acids and vitamins.

Keywords : diet, early development, ornamental fish, fish food, proteins, carbohydrates, fatty acids, vitamins.

8.Βιβλιογραφικές αναφορές

A) Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Alberts,B., Bray,D., Hopkin,K., Johnson,A., Lewis,J., Raff,M., Roberts,K & Walter,W. (2006). Βασικές Αρχές Κυτταρικής Βιολογίας, Εκδόσεις Πασχαλίδης, σελ.143-196.
- Albertson.,C., J.T.,Streelman, T.,D.,Kocher, & P.,C.,Yelick, (2005). Integration and evolution of the cichlid mandible: The molecular basis of alternate feeding strategies. *Evolution of cichlid feeding architecture* 45: 16121-16530.
- Albertson, R., C.,J.,T., Streelman, & T.,D., Kocher, (2003). Directional selection has shaped the oral jaws of lake Malawi cichlid fishes. Hubbard Center for Genome Studies, University of New Hampshire.
- Asiedu, M.,S., K.,Julshamn, & O.,Lie. (1991). Effect of local processing methods (cooking, frying and smoking) on three fish species from Ghana: Part I. Proximate composition, fatty acids, minelals, treace elements and vitamins. *Food Chemistry*, 40 (3):309–321.
- Atkinson,J.,L., J.,W.,Hilton, & S.,J.,Slinger., (1984). Evaluation of Acid-Insoluble Ash as an Indicator of Feed Digestibility in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41(9):1384-1386.
- Balogun,A.,M., & A.,D.,Ologhobo., (1989). Growth performance and nutrient utilization of fingerling *Clarias gariepinus* (Burchell) fed raw and cooked soybean diets. *Aquaculture* 76 (1-2):119–126.
- Barnabè, G., (1991). Grossissement des poissons en èlevage intensif. In Barnabè, G. (Ed.), Bases biologiques et ècologiques de l' aquaculture. Lavoisier Tec & Doc, Paris, pp.422-451.
- DaSilva,S.,S., & T.,A.,Anderson., (1995). Fish Nutrition in Aquaculture. Published by Chapman & Hall, pp. 319.
- Degani,G., (1993). Growth and body composition of juveniles of *Pterophyllun scalare* (Lichtenstein) (Pisces:Cichlidae) at different densities and diets. *Aquaculture and fisheries management* 24 (6):725-730.
- Edwards,R.,R.,C. 1984. Comparisons of Growth in Weight of Temperate and Tropical Marine Fish Counterparts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41(9):1381-1384.
- El-Saidy, D., Gaber, M., (2003). Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture Research*, 34: 1119-1127.
- FAO (2007). Cage aquaculture. Regional reviews and global overview. FAO Fisheries Technical Paper. No. 498, Rome, 2007.
- Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K., (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effectsin fish. *Aquaculture*, 199: 197-227.
- Fyhn, H. (1989). First feeding of marine fish larvae: Are free amino acids the source of energy. *Aquaculture* 80 (1–2):111–120.
- Grizzle, J.M., Maudlin, A.C., Young, D., and Henderson, E., (1985). Survival of juvenile striped bass (*Morone saxatilis*) and *Morone* hybrid bass (*Morone chrysops* x *morone saxatilis*) increased by addition of calcium to soft water. *Aquaculture* 46: 167-171.

- Goldan, O., Popper, D., Karplus, I., (1997). Management of size variation in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*). In: Particle size and frequency of feeding dry and live food. *Aquaculture*, 152: 181-190.
- Hidalgo F., Alliot E., (1987). Influence of water temperature on protein requirement and protein utilization in juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 72:115-129
- Hossain, M., A., and K., Jauncey., (1989). Studies on the protein, energy and amino acid digestibility of fishmeal, mustard oil cake, linseed and sesame meal for common carp (*Cyprinus carpio L.*). *Aquaculture* 83(1-2):59-72.
- Hulsey, C.D., and F., J. Garcia de Leon, (2005). Cichlid jaw mechanics: linking morphology to feeding specialization. *Functional Ecology* 19 (3): 487–494.
- Jackson, G., D., J., Howard Choat, (1992). Growth in Tropical Cephalopods: An Analysis Based on Statolith Microstructure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49(2): 218-228.
- Kaushik, S.J., Covès, D., Dutto, G., Blanc, D., (2004). Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 230: 391-404.
- Krogdal, A., G., I., Hemre, T., P., Mommsen, (2005). Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. *Aquaculture Nutrition* 11(2): 103–122.
- Lucas J. (2003a). Introduction. In “Aquaculture: farming aquatic animals and plants”. Eds J.S. Lucas and P.C. Southgate, Publ. Blackwell Publishing, Oxford, England.
- Mabuchi, K., M., Miya, Y., Azuma, and M., Nishida, (2007). Independent evolution of the specialized pharyngeal jaw apparatus in cichlid and labrid fishes. *Evolutionary Biology*.
- Martinez-Palacios, C., A., and Ross, L., G., (1988). The feeding ecology of the Central American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). *Journal of Fish Biology* 33(5): 665–670.
- McKaye, K., R., & Marsh, A., (1983). Food switching by two specialized algae-scraping cichlid fishes in Lake Malawi, Africa. *Ecologia* 56 (2-3) 245-248.
- McKinnon, A., D., Duggan, S., Nichols, P., D., Rimmer, M., A., Semmens, G. and Robino, B., (2003). *The potential of tropical paracalanid copepods as live feeds in aquaculture*. *Aquaculture* 223:89-106.
- Meekan, M., G., Carleton, J.H., McKinnon, A.D., Flynn, K. and Furnas, M., (2003). What determines the growth of tropical reef fish larvae in the plankton: food or temperature. *Marine Ecology Progress Series* 256:193–204.
- Murai, T. (1985). “Biological assessment of nutrient requirements and availability of fish”. Special workshop at the International Congress in Nutrition, August 19-25, Brighton, England.
- Newman, S., J., D., M., Williams and G., R., Russ, (1996). Age validation, growth and mortality rates of the tropical snappers (Pisces: Lutjanidae) *Lutjanus adetii* (Castelnau, 1873) and *L. quinquelineatus* (Bloch, 1790) from the central Great Barrier Reef, Australia. *Marine and Freshwater Research* 47(4):575 – 584.
- Ozório, R.O.A., Valente, L.M.P., Correia, S., Pousão-Ferreira, P., Damasceno-Oliveira, A., Escórcio, C. & Oliva-Teles, A., (2009). Protein requirement for maintenance and maximum growth of two-banded seabream (*Diplodus vulgaris*) juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 15; 85-93.
- Pauly, D., (1989). Food consumption by tropical and temperate fish populations: some generalizations. *Journal of Fish Biology* 35:11-20.
- Person-Le Ruyet, J., Mahè, K., Le Bayon, N., Le Delliou, H., (2004). Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 237; 269-280.

- Purser J., Forteach, N., (2003). Salmonids. In: "Aquaculture: farming aquatic animals and plants". Eds. J.S. Lucas & P.C. Southgate. Publ. Blackwell Publishing, Oxford, England. pp. 295-320.
- Reader, J.P., Dalziel, T.R.K., and Morris, R., (1988). Growth, mineral uptake and skeletal calcium deposition in brown trout (*Salmo trutta*), yolk-sac fry exposed to aluminium and manganese in soft acid water. *J. Fish Biol.* 32: 607-624.
- Richardson, N.L., Higgs, D.A., and Beames, R.M., (1986). The susceptibility of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) to cataract formation in relation to dietary changes in early life. *Aquaculture*, 52: 237-243.
- Robaina, L., Izquierdo, M.S., Moyano, F.J., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D., Fernández-Palacios, H., (1995). Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*). Nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 130: 219-233.
- Robbins, K.R., H.W., Norton, D.H., Baker, (1979). "Estimation of nutrient requirements from growth data". *J. Nutr.* 109: 1710-1714.
- Ronnestad, I., A., Thorsen, and R., N., Finn, (1996). Fish larval nutrition : a review of recent advances in the roles of amino acids. *Aquaculture* 177: 201–216.
- Russell, N.R., Fish, J.D., Wootton, R.J., (1996). Feeding and growth of juveniles sea bass: the effect of ration and temperature on growth rate and efficiency. *J. Fish Biol.* 49, 206-220.
- Sales, J., and G., D., J., Jansseus., (2003). Nutrition requirements of ornamental fish, *Aquatic Living Resources* 16:533-540.
- Santiago, C.B., (1985). "Amino acid requirements of Nile tilapia". Ph.D. diss. Auburn University, Auburn, AL.
- Spotte, S., (1991). *Captive seawater fishes science and technology*. Published by John Wiley & Sons, Inc.
- Tan, Y.T., (1970). Composition and nutritive value of some grasses, plants and aquatic weeds tested as diet. *Journal of Fish Biology* [2 \(3\)](#): 253–257.
- Vidotti, R., M., E., M., Viegas, and D., J., Carneiro, (2003). Amino and composition of processed fish silage using different raw materials. [Animal Feed Science and Technology](#) 105(1-4):199-204.
- Vlachos, N., Mente, E., Hotos, G.N., Kormas, K., Tzoganis, C., Psafakis, P., and Neofitou, C., (2008). Effect of food supply on the growth rate of angelfish, *Pterophyllum scalare* (Pisces Cichlidae) in aquarium. 4th International Congress on Aquaculture, Fisheries Technology and Environmental Management Athens, Greece, November 21-22, 2008.
- Westneat, M.W., (2003). A biomechanical model for analysis of muscle force, power output and lower jaw motion in fishes. [Journal of Theoretical Biology](#) [223 \(3\)](#): 269–281.
- Wilson, R.P., Robinson, W.E. Poe. (1981). "Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for channel catfish". *J. Nutr.* 111: 923-929.
- Xiao, Y., and P., McShane, (2000). Use of age- and time-dependent seasonal growth models in analysis of tag/recapture data on the western king prawn *Penaeus latisulcatus* in the Gulf St. Vincent, Australia. [Fisheries Research](#) 85-92.
- Zuanon, J., A., S., Salaro, A., L., Balbino, E., M., Saaiva, A., Quadros, M., Fontanari, R.M., (2006). De proteína bruta em dietas para alevinos de acara bandeira. *R. Bras. Zootec.*, 35(5):1893-1896.

B) Ελληνική βιβλιογραφία

- Βλάχος, Ν. 2010. Καλλιέργειες διακοσμητικών ψαριών. Εκδόσεις Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, εκπαιδευτικές σημειώσεις σελ.253.
- Ζερβός, Α., & Κουράκου, Σ., (2001). Αρχές Μεταβολισμού και Διαιτητικές απαιτήσεις ιχθύων, Πτυχιακή Εργασία. Σελ. 331.
- Καμαριανός, Α., (1998). *Υδατοκαλλιέργειες και υδάτινο περιβάλλον*. Αλιευτικά Νέα, 202: 42-52.
- Κλαουδάτος, Δ. (2006). Ιστορική Αναδρομή, από το βιβλίο Ενυδρειολογία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος: 2-7.
- Κουσουρή, Θ.Σ., Φώτης Γ.Δ., Κονίδης Α.Ι., (1995). *Περιβάλλον & υδατοκαλλιέργεια. Η αμφίδρομη σχέση των επιπτώσεων*. Αγροτική Τράπεζα της Ελλάδος Α.Ε., Αθήνα.
- Μεντέ, Ε., & Νέγκας, Γ., (2011). Στοιχεία φυσιολογίας θρέψης και εφαρμοσμένη διατροφή ιχθύων και καρκινοειδών. Εκδόσεις Παπαζήση. σελ.1-809.
- Μενούτης, Σ., & Πλήθου, Σ., (2003). Στρατηγική Ταΐσματος και Ανάπτυξης, Πτυχιακή εργασία. Σελ.195.
- Παπουτσόγλου, Σ. (1997). *Εισαγωγή στις υδατοκαλλιέργειες*. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Παπουτσόγλου, Σ. (2008). *Διατροφή ιχθύων*. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Γ) Διαδικτυακή βιβλιογραφία

www.wikipedia.org

www.aquatek.gr.com

www.greekaquarium.gr