

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ-ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΗ
ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΓΕΝΝΗΤΟΡΩΝ ΤΩΝ
ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΩΝ ΨΑΡΙΩΝ»**

Χρήστος Κρητικός

Εισηγητής
Δρ Νικόλαος Βλάχος

Μεσολόγι 2016

στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στους:

- Δρ Βλάχο Νικόλαο, επιβλέπων της εργασίας, για την αμέριστη και διαρκεί συμπαράστασή και υποστήριξή του, την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης πτυχιακής εργασίας.
- Δρ Κοσμά Βιδάλη Καθηγητή και Δρ Πούλο Κων/νο Καθηγητή Εφαρμογών, μέλη της εξεταστικής επιτροπής, για τις χρήσιμες και εύστοχες παρατηρήσεις τους.
- Την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, συνεισφορά, κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Περίληψη

Η θρέψη των διακοσμητικών ψαριών στηρίζεται κυρίως στα αποτελέσματα που πηγάζουν από τη διατροφή των εδώδιμων ψαριών σε εντατικές συνθήκες εκτροφής. Έρευνες στις διατροφικές απαιτήσεις των διακοσμητικών ψαριών του γλυκού και θαλασσινού, δίνουν έμφαση στη διατροφή των ψαριών με ζωντανή τροφή κατά τη διάρκεια των πρώιμων σταδίων ανάπτυξης του ψαριού, αλλά και με τεχνητά σιτηρέσια (νιφάδες ή σύμπηκτα).

Οι απαιτήσεις σε πρωτεΐνη κυμαίνονται από 30% στο παμφάγο χρυσόψαρο έως 50% στον σαρκοφάγο δίσκο, ενώ οι τροφές που χορηγούνται στα guppy είναι εμπλουτισμένες με ιχνοστοιχεία και βιταμίνες. Οι απαιτήσεις διακοσμητικών ψαριών σε λιπαρά οξέα, συνιστούν την προσθήκη ω-3 λιπαρών οξέων στην τροφή.

Τα ψάρια που διατηρούνται σε ενυδρεία παρουσιάζουν το καθένα τις δικές του απαιτήσεις και ανάγκες ως προς τη τροφή. Τα επίπεδα ενέργειας στα διακοσμητικά ψάρια κυμαίνονται από 0,068kJ/ημέρα για τα μικρά neon tetras έως 0,51KJ/ημέρα για τα moonlight gouramis, τα οποία εκτρέφονται σε θερμοκρασία νερού 26°C. Ο προσδιορισμός των διατροφικών απαιτήσεων στα διακοσμητικά ψάρια γίνεται με σκοπό τη βελτίωση του ρυθμού ανάπτυξης, της επιβίωσης και του τύπου τροφής που θα χρησιμοποιηθεί με βάση την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, λίπη, υδατάνθρακες, αμινοξέα και βιταμίνες.

Λέξεις κλειδιά: Διατροφή, Θρεπτικές απαιτήσεις, λίπη, λιπαρά οξέα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
1. Εισαγωγή	6
2. Διαιτητικές απαιτήσεις διακοσμητικών ψαριών	10
3. Εννοιολογικό περιεχόμενο λιπιδίων-λιπαρών οξέων	14
3.1. Εννοιολογικό Περιεχόμενο Λιπιδίων	14
3.1.1.Κατηγορίες και Ταξινόμηση Λιπιδίων	15
3.2. Εννοιολογικό περιεχόμενο Λιπαρών οξέων	16
3.2.1. Κατηγορίες λιπαρών οξέων	19
3.2.2.Επιμήκυνση ανθρακικής αλυσίδας-Αποικοδόμηση	22
3.3. Ονοματολογία λιπαρών οξέων.....	23
4. Πέψη, απορρόφηση, μεταφορά και αποθήκευση των λιπιδίων	25
4.1. Πέψη	25
4.2. Απορρόφηση	26
4.3. Μεταφορά	26
4.4. Αποθήκευση.....	27
5. Ενδογενής σύνθεση λιπαρών οξέων	28
5.1. Βιοσύνθεση των λιπαρών οξέων	28
5.2.Αποκορεσμός και Επιμήκυνση των λιπαρών Οξέων.....	28
5.3. Βασικές λειτουργίες των λιπαρών οξέων στα ψάρια.....	29
6. Διαιτητικές απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα	33
6.1 Απαραίτητα λιπαρά οξέα (ποιοτικά- ποσοτικά)	33
6.1.1. Είδη ιχθύων γλυκού νερού.....	33
6.1.2. Είδη ιχθύων Θαλασσινού νερού	37
7. Λιπαρά οξέα στη διατροφή των ψαριών και αντικατάσταση λίπους στις ιχθυοτροφές.....	40
8. Συμπεράσματα	46
9. Abstract	47
10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48

1. Εισαγωγή

Η συντήρηση διακοσμητικών ψαριών «αναφέρεται» στην κινέζικη παράδοση από τον 8^ο αιώνα. Αργότερα, περίπου το 1860, ο Jeger ίδρυσε στην Βιέννη το "Aquarium salon", ενώ την ίδια περίοδο στην Πορτογαλία και στην Αγγλία ναυτικοί εισήγαγαν στην Ευρώπη τον κύριο εκπρόσωπο των διακοσμητικών ψαριών το χρυσόψαρο (*Carassius auratus*). Από τότε έγιναν πολλές προσπάθειες για την εκτροφή του, με αποτέλεσμα σήμερα το χρυσόψαρο να κατέχει παγκοσμίως την πρώτη θέση μεταξύ των διακοσμητικών ψαριών του κρύου νερού.

Η μικρή παράδοση της Κίνας, της Σιγκαπούρης της Ταϊλάνδης, της νοτίου Αμερικής, της Αυστραλίας και άλλων κρατών ανά τον κόσμο, προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την εκτροφή και τις αναπαραγωγικές συμπεριφορές των περισσότερων διακοσμητικών ψαριών με τη διαφορά ότι οι κλιματολογικές συνθήκες των περιοχών αυτών δεν συγκρίνονται με αυτές των Ευρωπαϊκών κρατών, διότι οι τρόποι και η μεθοδολογία που εφαρμόζεται εναρμονίζεται πλήρως με τις συνθήκες που ισχύουν σ' αυτές τις περιοχές.

Σήμερα, το οικονομικό ενδιαφέρον που παρουσιάζουν έχει αυξηθεί, με αποτέλεσμα να γίνονται ολοένα και περισσότερες προσπάθειες για την αναπαραγωγή των περισσότερων 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 (*Carassius auratus*), τα γκάπυ (*Poecilia reticulata*) και το Κλωουνόψαρο (*Amphiprion percula*) αποτελούν είδη ψαριών με αυξημένο εμπορικό ενδιαφέρον.

Θεωρούνται από τα δημοφιλέστερα και γνωστά σε όλους είδη για καλλωπιστικά ενυδρεία και πωλούνται σε όλα τα ειδικά καταστήματα με τιμές αρκετά προσοδοφόρες για τους εμπόρους. Πολλές φορές παρατηρείται έλλειψη των ειδών αυτών, με αποτέλεσμα οι έμποροι να αγοράζουν αποθέματα από εισαγωγείς, μιας και οι περισσότεροι από αυτούς καθαρά ερασιτέχνες- αδυνατούν να παράγουν, να εκθρέψουν και να διατηρούν τα ψάρια οι ίδιοι. Αξιόλογο είναι το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα είδη αυτά από ιχθυολογική άποψη, λόγω της μεγάλης προσαρμοστικότητας και αντοχής τους. Επίσης τα είδη αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για γενετικές μελέτες, λόγω των πολλών τύπων-χαρακτήρων που παρουσιάζουν και εκτιμώνται από τους "χομπίστες" ενυδρείων.

Είναι άξιον απορίας, πως τα τόσο ενδιαφέροντα αλλά και συνάμα πανέμορφα είδη, τα οποία βρίσκονται στην κορυφή του εμπορικού ενδιαφέροντος των καλλωπιστικών ψαριών για ενυδρεία, δεν έχουν τύχει ιδιαίτερης προσοχής από τον επιστημονικό κλάδο. Γενικότερα ο κλάδος των διακοσμητικών ψαριών πάσχει από την έλλειψη επιστημονικής προσέγγισης και ανάλυσης, με εξαίρεση ελάχιστα είδη. Οι μόνες πηγές που υπάρχουν είναι εμπειρικά συγγράμματα και αναφορές, τα οποία όμως στερούνται θεωρητικής θεμελίωσης και αναφέρονται μόνο σε παρατηρήσεις.

Οι κιχλίδες της Νότιας Ασίας είναι μονοφυλετικές σε σχέση με τις κιχλίδες που προέρχονται από τη Μαδαγασκάρη καθώς δεν παρουσιάζουν γενεαλογικό δέντρο. Τα είδη της Μαδαγασκάρης, (Ptychochrominae), είναι μονοφυλετικά και θεωρείται ως η συγγενική ομάδα σε ένα σύνολο ειδών που περιλαμβάνει τις αφρικανικές και νεοτροπικές κιχλίδες (Sparks & Smith, 2004).

Τα διακοσμητικά ψάρια που διατηρούνται στην Άπω Ανατολή χρονολογούνται πάνω από 1000 χρόνια, στην Ευρώπη από το 17^ο αιώνα μόνο λίγες εκατοντάδες από τα 4000-5000 είδη ψαριών που διατηρούνται σαν κατοικίδια ψάρια παγκοσμίως είναι πολύ δημοφιλή και διατηρούνται από μεγάλο αριθμό ανθρώπων που έχουν χόμπι τα ψάρια ενώ εξειδικευμένα άτομα και ζωολογικοί κήποι ασχολούνται με τα σπάνια είδη.

Η αναπαραγωγή και η εκτροφή των διακοσμητικών ψαριών βασίζεται στα ψάρια της θάλασσας μιας και οι άγριοι πληθυσμοί είναι η πλειοψηφία των διακοσμητικών ψαριών και προέρχονται από καλά οργανωμένες βιομηχανίες. Παρόλα αυτά, εξαιτίας των απαιτήσεων και των πιέσεων που ασκούνται για την αλιεία διακοσμητικών ψαριών από το περιβάλλον, η παραγωγή των διακοσμητικών ψαριών ειδικά των ωζωοτόκων προέρχονται από χώρες όπως η Σιγκαπούρη. Τα είδη του Αμαζονίου, black pacu (*Colossoma macropomum*) και mayan (*Ciclasoma urophthalmus*), είναι υποψήφια είδη για εκτροφή σε ενυδρεία εξαιτίας του υψηλού ρυθμού ανάπτυξης που παρουσιάζουν. Για παράδειγμα το blackpacu (*Colossoma macropomum*) αυξάνεται σε μήκος μέχρι 1 m και σε βάρος μέχρι 30kg.

Τα διακοσμητικά ψάρια παραδοσιακά τρέφονται με ζωντανή τροφή η οποία είναι ελλιπής σε διατροφικά συστατικά και να λειτουργεί σαν μεταφορέας ασθενειών. Παρόλα αυτά οι παραγωγοί των ψαριών των ενυδρείων στη Σιγκαπούρη τονίζουν την ανάγκη συμπλήρωσης των τυποποιημένων τροφών με ζωντανή τροφή καθώς αυτή βελτιώνει την ανάπτυξη. Η καθημερινή χορήγηση με ζωντανή τροφή (artemia) στο

Ξιφοφόρο (swordtail, *Xiphophorus helleri*) οδήγησε στην αύξηση της γονιμότητας και στην ανάπτυξη των εμβρύων.

Το είδος, ruby barb (*Puntius nigrofasciatus*) προτιμάει την ζωντανή τροφή από την τεχνητή. Στην παραγωγή διακοσμητικών ψαριών στα γλυκά νερά η εμπλουτισμένη *Daphnia moina* είναι η πιο συνηθισμένη ζωντανή τροφή για τα διακοσμητικά είδη ψαριών. Η εκτροφή των νεαρών δίσκων (*Symphysodon aequifasciata*) στηρίζεται κυρίως στη ζωντανή τροφή όπως τα σκουλήκια *Tubifex* και ναύπλιοι *Artemia*. Τα rotifers χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη και την επιβίωση των gourami (*Colisa lalia*) και του καφέ δίσκου. Η απουσία έκκρισης της βλέννας από το σώμα των γονιών, αντικαθίσταται με την προσθήκη rotifer στο ενυδρείο, κατά τη διάρκεια των πρώτων εβδομάδων εκτροφής.

Τα όξινα σκούρα νερά του ποταμού Rio Negro δεν έχουν δεχτεί ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Παρόλα αυτά, τα ψάρια περιέχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις υδραργύρου. Η αύξηση της στάθμης των νερών (πλημμυρίδα) μεταβάλλεται στο υδάτινο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η τροφοληψία των ψαριών.

Οι Dorea et al.,(2006), μελέτησαν τη βιοσυσσώρευση του υδραργύρου στα εξής είδη : *Tucunarés* (*Cychna spp*, τα σαρκοφάγα), *Peixe-Cachorro* (*Hydrolycus scomberoides*, σαρκοφάγο), *Traíra* (*Hoplias malabaricus*, σαρκοφάγο), *Piranha-Branca* (*Serrasalmus eigenamanni*, σαρκοφάγο), *Piranha-Preta* (*Serrasalmus rhombeus*, σαρκοφάγο), *Acara* (*Acarichthys heckellii*, παμφάγα), *Aracú* (*Leporinus friderici*, παμφάγο), *Orana-Preta* (*Hemiodus unimaculatus*, παμφάγο), *Sardinha* (*Triporthus elongatus*, παμφάγο), *Branquinha* (*Potamorhina latior*, detritivorous), *Jaraqui-escama-FINA* (*Semaprochilodus taeniurus*, detritivorous), και *pacu-Branco* (*Myleus torquatus*, φυτοφάγο).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, η συγκέντρωση του υδραργύρου είναι υψηλότερη στα σαρκοφάγα ψάρια απ' ότι στα παμφάγα, τα θρηματοφάγα και τα φυτοφάγα είδη. Είδη όπως: (*Traíra*, *Sardinha*, *Peixe-Cachorro*, *Piranha Branca*, *Piranha Preta*) παρουσίασαν αλλαγές στις διατροφικές τους απαιτήσεις και στα διατροφικά σχέδια, στα οποία σχετίζεται με την αντίστροφη τάση βιοσυσσώρευσης του Hg ανάλογα με την εποχή. Είδη με παρόμοιες τάσεις βιοσυσσώρευσης Hg εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις υδραργύρου κατά τη διάρκεια της περιόδου των πλημμυρών (*Aracú*, *pacu Branco* και *Orana Preta*) σε σχέση με τα είδη που

παρουσίασαν. Μερικά από αυτά είχαν συγκεντρώσεις χαμηλότερες του υδραργύρου Hg (*Acara, Branquinha και Tucunarés*) (Dorea et al., 2006).

Σκοπός της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιάσει τη σημαντικότητα του ρόλου των λιπαρών οξέων στη διατροφή των γεννητόρων των διακοσμητικών ψαριών και καρκινοειδών. Ειδικότερα επιδιώκει να αναδείξει τη σημαντικότητα των λιπαρών οξέων στην ευζωία των οργανισμών, στην επιτυχή αναπαραγωγή τους και στη διατροφή των εκτρεφόμενων ψαριών, τα οποία συμβάλουν θετικά στην ανθρώπινη υγεία μέσω της θρεπτικής αξίας που παρουσιάζουν και των υψηλών συγκεντρώσεων σε λιπαρά οξέα.

2. Διαιτητικές απαιτήσεις διακοσμητικών ψαριών

Το κόστος της τροφής είναι ένας από τους παράγοντες που ασκούν καταλυτική επιρροή στο κόστος της μονάδας εκτροφής. Η κατάλληλη διαχείριση του διατροφικού συστήματος του ψαριού και η επιλογή της κατάλληλης τροφής συντελούν σε σημαντικό βαθμό στην προσέγγιση 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).

Υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των ψαριών στη διατροφή. Για να είναι μια τροφή αποδοτική, θα πρέπει εκτός της διαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών να είναι ελκυστικά 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 (Hordur et al., 2007).

Σύμφωνα με μελέτες, υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της χημικής σύστασης του σώματος των ιχθύων και της προσλαμβανόμενης τροφής. Ο ρυθμός ανάπτυξής τους, η φυσιολογική κατάσταση τους και η υγεία τους, καθώς και η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτώνται από την τροφή που καταναλώνουν. 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 συστατικά που χρησιμοποιούνται για τη θρέψη της). Τα βασικά θρεπτικά συστατικά είναι τα εξής (Μεντέ & Νέγκας, 2011):

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

Η ανάπτυξη των διακοσμητικών ψαριών 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, 2011).

Χαρακτηριστικό ρόλο στη διατροφή του ψαριού παίζει 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, φαρυγγικοί οδόντες), καθώς επίσης και το μικρό σε μήκος έντερο υποδεικνύουν έντονα ότι η κιχλίδα *C. urophthalmus* είναι σαρκοφάγο ψάρι.

Οι αναλύσεις στο περιεχόμενο του εντέρου δείχνουν ότι το είδος τρέφεται κυρίως με ασπόνδυλα καθ' όλη τη διάρκεια της εκτροφής σε ενυδρεία. Στην ίδια έρευνα, οι Martinez-Palacios & Ross (1988), αναφέρουν ότι τα φύκη που βρέθηκαν στο στομάχι του *C. urophthalmus* είναι αποτέλεσμα της θήρευσης των ασπόνδυλων. Ο τύπος της τροφής, η διάρκεια τροφοληψίας και το μικρό έντερο, αποδεικνύουν ότι το είδος, *C. urophthalmus*, έχει καλύτερη πέψη στις φυτικές τροφές.

Ανάμεσα 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.

Οι McKaye & Marsh (1983), Η μορφολογία των ψαριών που προέρχονται από τη λίμνη Μαλάουι, 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 φυσική και η κινητική συμπεριφορά της λείας (ζωντανή τροφή) οπτικά αναλύεται από το αρπακτικό ζώο κατά τη διάρκεια της επίθεσης προκαθορίζοντας την πορεία δράσης του. Όσο μεγαλύτερη είναι η κίνηση και η ταχύτητα καταβρόχθισης τόσο μεγαλύτερη είναι και η λειτουργία των φαρυγγικών οδόντων. Η μάσηση επιτυγχάνεται μέσω της κίνησης τριών φάσεων και τη δράση των μυών της άνω και κάτω γνάθου του φάρυγγα, όταν το ψάρι κυνηγά την τροφή του ή όταν περιμένει με αγωνία την εμφάνισή της (ενέδρα- καμουφλάζ) (Piscivores, 1978).

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 4gr/m²/d (50 ψάρια) σε 13,7gr/m²/d του ψαριού σε διάστημα 60 ημερών (Degani, 1992).

Οι McKinnon et al.(2003), μελέτησαν την ανάπτυξη της σφυρίδας και του 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 ειδών *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 *Diopatra 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 είδος *Cynoglossus* και $Q=0,362*W^{0,682}$ για τα είδη *Brachirus* και *Synaptura*. Η κατανάλωση οξυγόνου για το είδος *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 idellus*) όταν τρέφεται φιάφορα είδη φυτών όπως για παράδειγμα με *Hydrilla*, *Napier grass* και φύλλα *tapioca* παρουσιάζουν διαφορετικό ρυθμό ανάπτυξης (Thong-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 κιχλίδα, *C. minckleyi* διακρίνεται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά της διατροφής και τη δομή της φαρυγγικής οδοντοστοιχίας. Η τροφή που χορηγείται καθώς και ο τύπος της τροφής αποτελεί σημαντική γενετική συνιστώσα για την ανάπτυξη. Τα ψάρια που εκτρέφονται σε ελεγχόμενες συνθήκες, δεν διαφοροποιούνται από εκείνα που αλιεύονται από το περιβάλλον, το οποίο οφείλεται καθαρά στη ζωντανή τροφή που καταναλώνουν τα ψάρια (π.χ. σαλιγκάρια), (Trapani, 2003).

3. Εννοιολογικό περιεχόμενο λιπιδίων-λιπαρών οξέων

3.1. Εννοιολογικό Περιεχόμενο Λιπιδίων

Ως λιπίδιο χαρακτηρίζεται μία βιολογική οργανική ένωση που έχει προέλθει από την αντίδραση γλυκερόλης και λιπαρών οξέων και περιέχει άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, μαζί με κάποια άλλα στοιχεία όπως άζωτο και φώσφορο. Τα λιπίδια, λέγονται ορισμένες φορές και *λίπη*, αποτελούν τα δομικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών καθώς και του νευρικού ιστού. Πρόκειται για πολύ σημαντικές πηγές ενέργειας, που αποθηκεύονται σε διάφορα μέρη του σώματος, καθώς και σπυδαίους (προστατευτικούς) μονωτές. Το μεγάλο μοριακό τους μέγεθος κάνει τα λιπίδια αδιάλυτα στο νερό, πλην όμως διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες, όπως η ακετόνη και ο αιθέρας (Παπουτσόγλου 2008).

Τα λιπίδια, αποτελούν λιποδιαλυτά μόρια που απαντώνται φυσιολογικά σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, όπως τα λίπη, τα έλαια, οι κηροί, η χοληστερίνη, οι στερόλες, οι λιποδιαλυτές βιταμίνες (A, D, E και K), τα μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια, φωσfolιπίδια και άλλες. Ο ρόλος τους στη διατροφή των ιχθύων και των καρκινοειδών είναι ζωτικής σημασίας μιας και αποτελούν καταρχήν τα αναγκαία δομικά συστατικά των κυττάρων, με αποτέλεσμα να ελέγχουν τη ρευστότητα, την ελαστικότητα, τη διαπερατότητα καθώς και τη λειτουργία αυτών (Καραπαναγιωτίδης 2011). Τα λιπίδια είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμα από τον οργανισμό μιας και χρησιμοποιούνται ως αποθήκες ενέργειας, επειδή κατά την διάσπασή τους απελευθερώνεται μεγάλο ποσό ενέργειας (διπλάσιο από αυτό που απελευθερώνεται από τους υδατάνθρακες) (Παπουτσόγλου 2008).

Ειδικά για τους περισσότερους εκτρεφόμενους οργανισμούς και καρκινοειδή που είναι στην πλειονότητά τους σαρκοφάγοι οργανισμοί ο ενεργειακός ρόλος των λιπιδίων είναι πολύ σημαντικός μιας και οι οργανισμοί αυτοί δεν μπορούν να πέσουν σε μεγάλο βαθμό τους υδατάνθρακες, οι οποίοι διαφορετικά θα αποτελούσαν τη φτηνή πηγή ενέργειας στην τροφή τους, όπως συμβαίνει στη διατροφή πολλών χερσαίων ζώων (Καραπαναγιωτίδης 2011).

Η σύγχρονη τάση στην τεχνολογία των ιχθυοτροφών είναι η προσπάθεια αύξησης του επιπέδου συμμετοχής των λιπιδίων στις τροφές για την όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των ψαριών που εκτρέφονται διαμέσου των λιπιδίων με παράλληλη μείωση της συμμετοχής των

πρωτεϊνών στο σιτηρέσιο στο ελάχιστο άριστο επίπεδο το οποίο δεν θα χρησιμοποιηθεί για παραγωγή μεταβολικής ενέργειας από τον οργανισμό, αλλά απευθείας για τη σωματική ανάπτυξή του (Καραπαναγιωτίδης 2011).

3.1.1.Κατηγορίες και Ταξινόμηση Λιπιδίων

Τα λιπίδια περιγράφονται ως μικρά υδρόφοβα ή αμφιφιλικά μόρια που προέρχονται στο σύνολό τους ή εν μέρει από δυο διακριτούς τύπους βιοχημικών δομικών υπομονάδων: τις ομάδες ισοπρενίου και κετοακυλίων. Σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση, τα λιπίδια μπορούν να χωριστούν σε οκτώ κατηγορίες: λιπαρά οξέα, λιπίδια γλυκερόλης (γλυκερολιπίδια), γλυκεροφωσφολιπίδια, σφιγγολιπίδια, σακχαρολιπίδια και πολυκετίδια (που συντίθενται από υπομονάδες κετοάκυλων) και τα λιπίδια στερόλης και πρενόλης (που παράγονται από υπομονάδες ισοπρενίου) (Παπουτσόγλου 2008).

Οι σημαντικότερες κατηγορίες των λιπιδίων είναι (Εικ. 1):

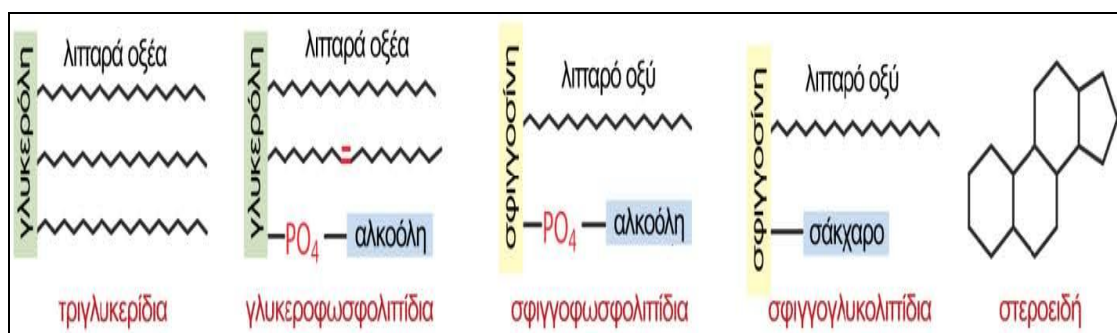
- τα ουδέτερα λίπη, που διακρίνονται επιμέρους σε "κορεσμένα" που περιέχουν μόνο απλούς δεσμούς και "ακόρεστα" που περιέχουν και διπλούς δεσμούς,
- τα φωσφολιπίδια, κύριο συστατικό των μεμβρανών των κυττάρων, και
- τα στεροειδή.

Ωστόσο, σύμφωνα με άλλη κατηγοριοποίηση, τα λιπίδια διακρίνονται σε πέντε βασικές ομάδες (τριγλυκερίδια-λίπη και έλαια, φωσφολιπίδια, γλυκολιπίδια, στερόλες (στεροειδή) και κεριά). Κατ' άλλο σύστημα, τα λιπίδια διαιρούνται σε τέσσερις υποομάδες (λιπαρά οξέα (κορεσμένα και ακόρεστα), γλυκερίδια -λιπίδια που περιέχουν την αλκόολη γλυκερόλη, μη γλυκεριδικά λιπίδια (σφιγγολιπίδια, στεροειδή, κήροι) και σύνθετα λιπίδια-λιποπρωτεΐνες και γλυκολιπίδια). (Παπουτσόγλου 2008). Κοινό χαρακτηριστικό όλων των κατηγοριών των λιπιδίων είναι ότι είναι αδιάλυτες στο νερό.

Τα λιπίδια που μελετήθηκαν ήταν τα τριγλυκερίδια, φωσφολιπίδια (γλυκεροφωσφολιπίδια, σφιγγοφωσφολιπίδια), σφιγγογλυκολιπίδια και στερόλες. Η ταξινόμηση των λιπιδίων γίνεται με βάση την δυνατότητα που παρουσιάζουν να

υδρολύονται σε σύνθετα λιπίδια και αυτά με τη σειρά τους υδρολύονται σε απλούστερες ενώσεις και στα απλά λιπίδια που δεν υδρολύονται.

Τα σύνθετα λιπίδια αποτελούνται από εστερικούς δεσμούς, και είναι τα τριγλυκερίδια, τα φωσφολιπίδια (γλυκεροφωσφολιπίδια, σφιγγοφωσφολιπίδια) και τα σφιγγογλυκολιπίδια. Τα απλά λιπίδια είναι οι στερόλες, οι οποίες με βάση την πολικότητά τους ταξινομούνται στα ουδέτερα λιπίδια, που είναι τα τριγλυκερίδια και οι στερόλες και στα πολικά που είναι τα φωσφολιπίδια (γλυκεροφωσφολιπίδια, σφιγγοφωσφολιπίδια) και τα σφιγγογλυκολιπίδια (Εικ.1).



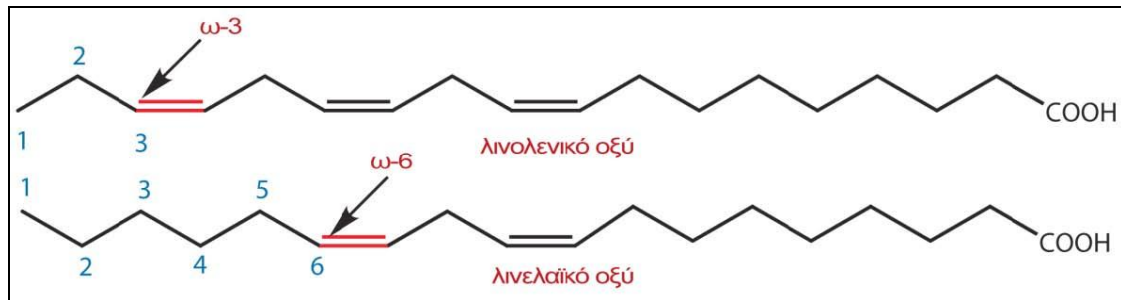
Εικόνα 1. Ταξινόμηση λιπιδίων (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

3.2. Εννοιολογικό περιεχόμενο Λιπαρών οξέων

Τα λιπαρά οξέα είναι μονοκαρβοξυλικά οξέα με μακριά ανθρακική αλυσίδα. Λόγω του μηχανισμού βιοσύνθεσής τους έχουν γενικά άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα. Υπάρχουν δύο ειδών λιπαρών οξέων, τα κορεσμένα και τα ακόρεστα. Τα λιπαρά οξέα βρίσκονται είτε σε υγρή, είτε σε στερεή κατάσταση και ονομάζονται «έλαια» και «λίπη» αντίστοιχα. Οι προσδιορισμοί αυτοί είναι αρκετά ανακριβείς, καθώς η φυσική κατάσταση των λιπαρών οξέων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες. Επιπλέον, πολλά λίπη και έλαια είναι ημιστερεά. Τα ακόρεστα λόγω της παρουσίας διπλών και τριπλών δεσμών είναι υγρά σε θερμοκρασία δωματίου. Τα λιπαρά οξέα με εστεροποίηση μετατρέπονται σε τριγλυκερίδια και αποτελούν συστατικό των αποταμιευτικών λιπιδίων ή των λιπιδίων των μεμβρανών (Conpor 2003).

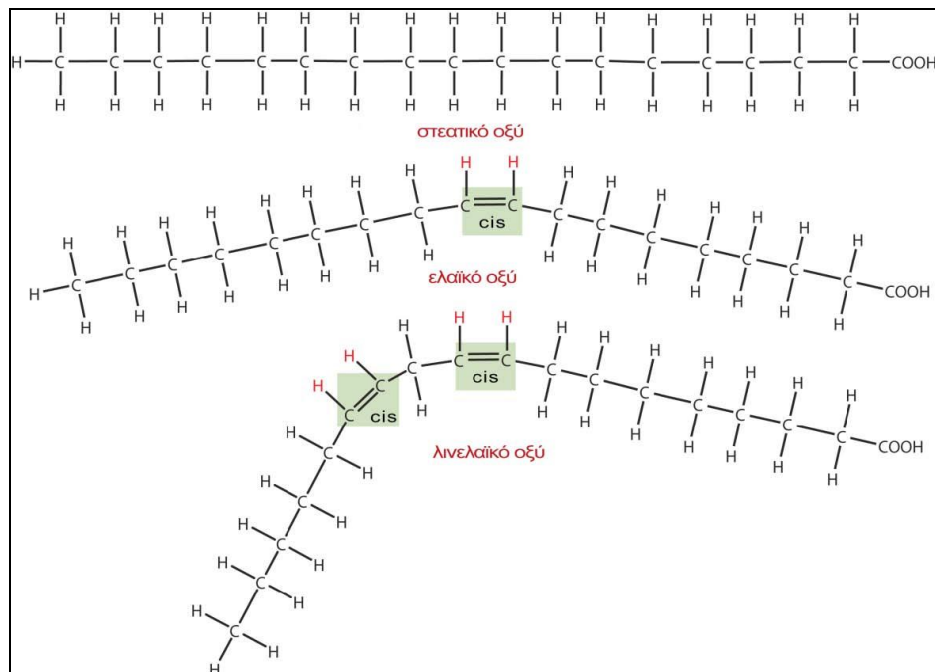
Ο γενικός τύπος των κορεσμένων λιπαρών οξέων είναι $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$, όπου n είναι ακέραιος αριθμός μεταξύ 2 και 26. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, όπως είναι το ελαϊκό οξύ που έχει 18 άτομα άνθρακα, περιλαμβάνουν τουλάχιστον ένα

διπλό δεσμό ανάμεσα σε δύο άτομα άνθρακα. Οι διπλοί δεσμοί σχεδόν σε όλα τα ακόρεστα λιπαρά οξέα που απαντώνται στη φύση έχουν cis διαμόρφωση. Τόσο η θέση όσο και η διαμόρφωση των διπλών δεσμών καθορίζονται από τα ένζυμα που καταλύουν τη βιοσύνθεση των ακόρεστων λιπαρών οξέων (Εικ.2).



Εικόνα 2. Σχηματική απόδοση ω3 και ω6 λιπαρών οξέων (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

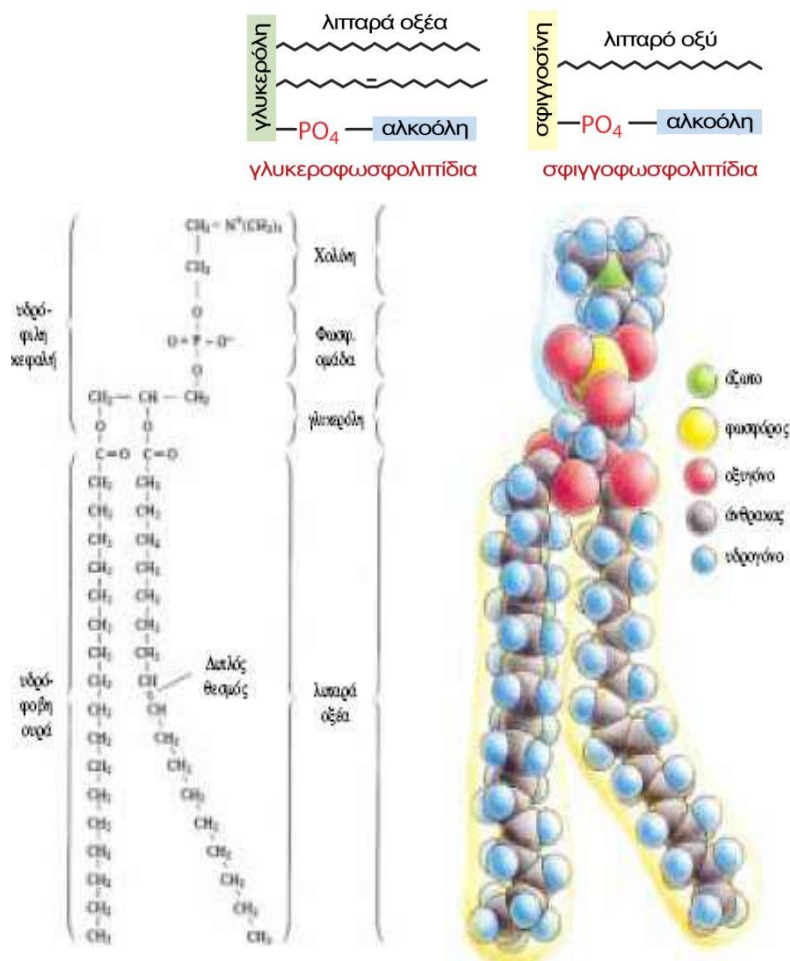
Συγκρίσεις μεταξύ λιπαρών οξέων δείχνουν ότι το σημείο τήξης των κορεσμένων και ακόρεστων λιπαρών οξέων αυξάνει παράλληλα με την αύξηση του αριθμού των ατόμων άνθρακα. Τα κορεσμένα λιπαρά με δέκα ή περισσότερα άτομα άνθρακα είναι στερεά σε θερμοκρασία δωματίου. Επίσης, το σημείο τήξης ενός κορεσμένου λιπαρού οξέως είναι μεγαλύτερο από εκείνο ενός ακόρεστου λιπαρού οξέως με τον ίδιο αριθμό ανθράκων (Yurkowski 1989).



Εικόνα 3. Σχηματισμός ελαϊκού, στεατικού και λινελαϊκού λιπαρών οξέων (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (φυτικά έλαια) μπορούν να μετατραπούν σε κορεσμένα με υδρογόνωση των διπλών δεσμών. Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα που προκύπτουν είναι στερεά. Η μαργαρίνη παράγεται από τη μερική υδρογόνωση των φυτικών ελαίων, όπως το καλαμποκέλαιο και το σογιέλαιο. Μερικά ακόρεστα λιπαρά οξέα με πολλαπλούς διπλούς δεσμούς δεν μπορούν να συντεθούν στον οργανισμό. Τέτοια οξέα, όπως το λινολενικό και το λινελαϊκό οξύ, ονομάζονται απαραίτητα λιπαρά οξέα (Karapanagiotidis *et al.* 2007).

Τα φωσφολιπίδια (Εικ.4) είναι λιπίδια που περιέχουν φωσφορική ομάδα. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τα **γλυκεροφωσφολιπίδια** και τα **σφιγγοφωσφολιπίδια**. Τα πρώτα σχηματίζονται από την αλκοόλη γλυκερόλη και τα δεύτερα από τη σφιγγοσίνη. Και οι δύο κατηγορίες έχουν τα ίδια γενικά χαρακτηριστικά. Η γλυκερόλη ή η σφιγγοσίνη συνδέονται με ένα ή δύο λιπαρά οξέα και μία φωσφορική ομάδα στην οποία συνδέεται μία αλκοόλη. Η γενική δομή τους είναι:



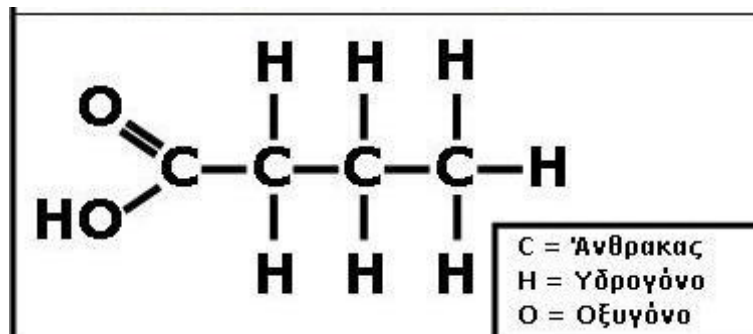
Εικόνα 4. Χημικός Τύπος φωσφατιλιδοχολίνης ενός φωσφολιπιδίου κυτταρικής μεμβράνης (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

Η βιοσύνθεση λιπαρών οξέων στους ζωικούς οργανισμούς γίνεται στο κυτταρόπλασμα, ενώ στους φυτικούς γίνεται στους χλωροπλάστες των φύλλων ή στα προπλαστίδια των ριζών και των σπερμάτων. Τα λίπη και τα έλαια συντίθενται από τη περίσσεια ακετυλοσυνενζύμου Α που προέρχεται από την αποδόμηση των υδατανθράκων.

3.2.1. Κατηγορίες λιπαρών οξέων

Τα λιπαρά οξέα διακρίνονται σε κορεσμένα λιπαρά οξέα και ακόρεστα λιπαρά οξέα.

Τα κορεσμένα λιπαρά (Εικ.5) συντίθενται από την επαναλαμβανόμενη προσθήκη μονάδων δύο ατόμων άνθρακα, που προέρχονται από το ακετυλο-CoA (Πιν.1). Ο δότης δύο ατόμων άνθρακα είναι το μηλονυλο-CoA, το οποίο προέρχεται από την καρβοξυλίωση του ακετυλο-CoA, η οποία γίνεται από αυστηρά ελεγχόμενη καρβοξυλάση. Στο σχηματισμό των λιπαρών οξέων συμμετέχει ένα πολυενζυμικό σύμπλεγμα που λέγεται συνθάση των λιπαρών οξέων. Καθ' όλη τη διάρκεια της βιοσύνθεσης, η επιμηκυνόμενη αλυσίδα του λιπαρού οξέως παραμένει συνδεδεμένη μια μικρή πρωτεΐνη, το πρωτεϊνικό ακυλομεταφορέα (ACP).



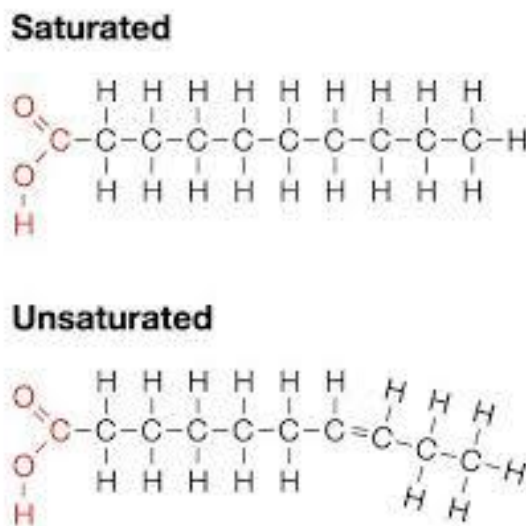
Εικόνα 5. Δομή κορεσμένου λιπαρού οξέως (Πηγή: www.eufic.org)

Η αντίδραση σύνθεσης de novo των λιπαρών οξέων αρχίζει με την επιμήκυνση της αλυσίδας με δύο άτομα άνθρακα που παρέχει το μηλονυλο-ACP. Η αντίδραση συμπύκνωσης για τη δημιουργία ενός νέου δεσμού άνθρακα-άνθρακα καταλύεται από το συμπυκνωτικό ένζυμο. Τα τελικά προϊόντα της σύνθεσης είναι συνήθως ένα μείγμα παλμιτικού και στεαρικού οξέος. Με αυτό τον τρόπο κατασκευάζονται λιπαρά οξέα μέχρι και 18 ανθράκων. Η σύνθεση μεγαλύτερων λιπιδικών αλυσίδων γίνεται στο ενδοπλασματικό δίκτυο.

Πίνακας 1: Βασικά Κορεσμένα λιπαρά οξέα (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

Κορεσμένα Λιπαρά Οξέα		
Τύπος	Εμπειρικό όνομα	Σημείο τήξης
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$	Λαουρικό οξύ	45 °C
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CO}_2\text{H}$	Μυριστικό οξύ	55 °C
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	Παλμιτικό οξύ	63 °C
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$	Στεατικό οξύ	69 °C
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CO}_2\text{H}$	Αραχιδικό οξύ	76 °C

Τα έλαια παράγονται (ακόρεστα) από τα κορεσμένα λιπαρά οξέα παλμιτικό και στεατικό με τη δράση των αποσατουρασών (Εικ. 6). Για παράδειγμα το στεάρυλο-ACP που παρήχθει, με τη δράση της Δ9-αποσατουράσης, μετατρέπεται σε ελαύλο-ACP. Στη συνέχεια το ελαύλο-ACP υδρολύεται σε ελαϊκό οξύ. Το ελαϊκό οξύ μπορεί στη συνέχεια με τη δράση ενός δεύτερου ενζύμου, της Δ12-αποσατουράσης, να μετατραπεί σε λινελαϊκό οξύ (Πιν.2). Αυτή η μετατροπή προσφέρει στη κυτταρική μεμβράνη μεγαλύτερη ρευστότητα.



Εικόνα 6. Δομή ακόρεστων λιπαρών οξέων (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010).

Το λινολενικό οξύ (Εικ.7), το πιο άφθονο λιπαρό οξύ, παράγεται από τη δράση μιας Δ15-αποσατουράσης. Το λινελαϊκό οξύ είναι απαραίτητο για τη σύνθεση του αραχιδονικού οξέος, του πρόδρομου μορίου από το οποίο συντίθεται μια ομάδα μορίων γνωστά ως εικοσανοειδή. Τα εικοσανοειδή περιλαμβάνουν τρεις ομάδες

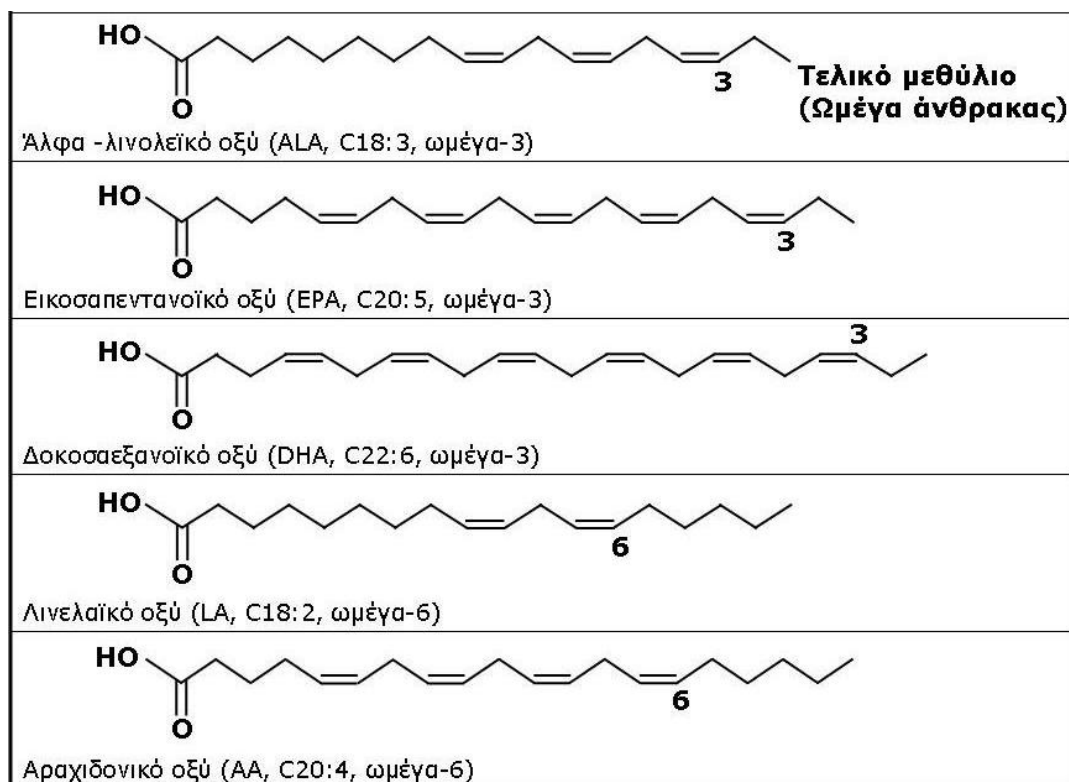
δομικά συγγενών ενώσεων: τις προσταγλανδίνες, τα λευκοτριένια και τις θρομβοξάνες. Οι αποσατουράσες δρουν σε αερόβιες συνθήκες στα φυτά. Αντίθετα εκείνες της *E. coli* χρησιμοποιούν αναερόβια οδό (Εικ.8).



Εικόνα 7. Δομή λινολενικού όπου φαίνεται η ανθρακική αλυσίδα τα υδρογόνα (άσπρες μπίλιες) και το μόριο της γλυκερόλης στην άκρη (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

Πίνακας 2. Βασικά Ακόρεστα Λιπαρά οξέα (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

Όνομα	Κωδικοποίηση (αριθμός C: αριθμός διπλών δεσμών)	Συντακτικός τύπος	Σημείο Τήξεως (°C)
Παλμιτολεϊκό οξύ	16:1 Δ9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}$ OH	1
Ελαϊκό οξύ	18:1 Δ9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}$ OH	13
Λινελαϊκό οξύ	18:2 Δ9,12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}$ $2)_6\text{COOH}$	-5
Λινολενικό οξύ	18:3 Δ9,12,15	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{CO}$ OH	-11
Αραχιδονικό οξύ	20:4 Δ5,8,11,14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_4(\text{CH}$ $2)_3\text{COOH}$	-49



Εικόνα 8. Δομή Βασικών λιπαρών οξέων (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

3.2.2.Επιμήκυνση ανθρακικής αλυσίδας-Αποικοδόμηση

Υπάρχουν λιπαρά οξέα με μεγαλύτερες ανθρακικές αλυσίδες από αυτές των οξέων που παράγονται από την *de novo* σύνθεση. Τα ένζυμα που καταλύουν τις αντιδράσεις αυτές λέγονται επιμηκυνάσες, οι οποίες προσθέτουν δύο μονάδες άνθρακα από το μηλονυλο-CoA στην πρόδρομη ένωση. Οι επιμηκυνάσες των λιπαρών οξέων βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα και είναι μεμβρανικές. Η επιμήκυνση των λιπαρών οξέων γίνεται στο ενδοπλασματικό δίκτυο.

Με την υδρόλυση των τριγλυκεριδίων γίνεται από τις λιπάσες και έχει ως αποτέλεσμα έκλυση ενέργειας. Με τη δράσης των λιπασών παράγεται γλυκερόλη και λιπαρά οξέα. Τα λιπαρά οξέα διασπώνται σε ακετυλο-CoA με β-οξείδωση. Επίσης με τη β-οξείδωση παράγεται και NADH. Η β-οξείδωση των λιπαρών οξέων είναι ο κυριότερος τρόπος απελευθέρωσης της ενέργειας από τα αποταμιευτικά λιπίδια. Τα ένζυμα της β-οξείδωσης βρίσκονται στα μιτοχόνδρια στους ζωικούς οργανισμούς και στους φυτικούς στα υπεροξειδισώματα.

Αρχικές ενώσεις της β-οξειδωσης είναι τα αντίστοιχα ακυλο-CoA, τα οποία παράγονται με τη δράση μιας ακυλοτρανφεράσης. Στο τέλος της β-οξειδωσης έχει παράγεται ακέτυλο-CoA εισέρχεται στο κύκλο του κιτρικού οξέος ή στο γλυοξυλικό κύκλο. Ένα μόριο παλμιτικού οξέος καταλήγει ύστερα από τη πλήρη οξειδωσή του σε 106 μόρια ATP.

3.3. Ονοματολογία λιπαρών οξέων

Τα λιπαρά οξέα συνήθως είναι γνωστά με τα εμπειρικά τους ονόματα αλλά χρησιμοποιείται και η συστηματική τους ονομασία προκειμένου να περιγραφεί η θέση και ο αριθμός των διπλών δεσμών. Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιείται και η στερεοειδική αρίθμηση (πρόθεμα sn-) όπου δηλώνεται η στερεοχημεία του μορίου και σε συνδυασμό και με την προτεραιότητα των υποκαταστατών χαρακτηρίζονται τα διάφορα παράγωγα.

Πολύ συνηθισμένη γραφή επίσης είναι αυτή που βασίζεται στο αριθμό των ατόμων άνθρακα στο μόριο και το βαθμό ακορεστότητας (π.χ. αριθμός διπλών δεσμών στο μόριο), δηλαδή το μονοακόρεστο ελαϊκό οξύ συμβολίζεται ως C18:1, αφού περιέχει ένα μόνο διπλό δεσμό στο μόριό του, το λινελαϊκό οξύ το οποίο περιέχει δύο διπλούς δεσμούς συμβολίζεται ως C18:2 και το λινολενικό οξύ, με τρεις διπλούς δεσμούς συμβολίζεται ως C18:3.

Για κορεσμένα λιπαρά οξέα είναι : πχ για παλμιτικό C16:0. Ανοίξτε το παρακάτω αρχείο για να δείτε πίνακα με τις εμπειρικές, συστηματικές και συντομογραφικές μορφές των πιο γνωστών λιπαρών οξέων.

Τα λιπαρά οξέα έχουν συστηματική ονομασία, αλλά συχνά καλούνται και με τα κοινά ονόματα λόγω αφθονίας τους σε κάποια συγκεκριμένη τροφή (πχ. Το αραχιδονικό οξύ πήρε το όνομα του λόγω της αφθονίας του στην αραχίδα). Για λόγους ευκολίας έχει επικρατήσει στη διεθνή βιβλιογραφία, τα λιπαρά οξέα αναφέρονται με μια ιδιότυπη συντομογραφία όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. Για παράδειγμα το λινολεϊκό οξύ, των οποίων η συστηματική ονομασία είναι 9,12-οκταδεκαδιενικό οξύ, πιο συχνά αναφέρεται ως 18:2ω-6. Ο πρώτος αριθμός (πχ το 18) υποδηλώνει το συνολικό αριθμό ατόμων άνθρακα της ανθρακικής αλυσίδας, ο δεύτερος αριθμός (πχ το 2) υποδηλώνει τον αριθμό των διπλών δεσμών, ενώ ο αριθμός μετά το πρόθεμα ω ή («n») όπως έχει επικρατήσει στη διεθνή βιβλιογραφία)

καθορίζει τη θέση του πρώτου διπλού δεσμού σε εκείνο το άτομο άνθρακα της αλυσίδας αριθμώντας από την τελευταία μεθυλική ομάδα (CH₂).

Συγκεκριμένα για το λινολενικό οξύ η η συντομογραφία 18:2ω-6 υποδηλώνει ότι το λιπαρό οξύ διαθέτει 18 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα του και δυο διπλούς δεσμούς (πολυακόρεστο), εκ των οποίων ο πρώτος βρίσκεται στο 6^ο ω-άτομο άνθρακα. Το λινολενικό οξύ διαθέτει 18 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα, τρεις διπλούς δεσμούς, ο πρώτος εκ των οποίων βρίσκεται στο 3^ο ω-άτομο άνθρακα.

Πίνακας 3. Τα κυριότερα λιπαρά οξέα που συναντώνται στους ιστούς των ιχθύων και των καρκινοειδών

Όνομα	Κωδικοποίηση (αριθμός C: αριθμός διπλών δεσμών)	Συντακτικός τύπος	Σημείο Τήξεως(°C)
Κορεσμένα Λιπαρά οξέα			
Λαουρικό οξύ	12:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	44
Μυριστικό οξύ	14:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	58
Παλμιτικό οξύ	16:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	63
Στεατικό οξύ	18:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	69
Αραχιδικό οξύ	20:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	77
Πολυακόρεστα Λιπαρά οξέα			
Παλμιτολεϊκό οξύ	16:1 Δ ⁹	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	1
Ελαϊκό οξύ	18:1 Δ ⁹	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	13
Λινελαϊκό οξύ	18:2 Δ ^{9,12}	CH ₃ (CH ₂) ₄ (CH=CHCH ₂) ₂ (CH ₂) ₆ COOH	-5
Λινολενικό οξύ	18:3 Δ ^{9,12,15}	CH ₃ (CH ₂ CH=CH) ₃ (CH ₂) ₇ COOH	-11
Αραχιδονικό οξύ	20:4 Δ ^{5,8,11,14}	CH ₃ (CH ₂) ₃ (CH ₂ CH=CH) ₄ (CH ₂) ₃ COOH	-49

4. Πέψη, απορρόφηση, μεταφορά και αποθήκευση των λιπιδίων

4.1. Πέψη

Η λιπολυτική δραστηριότητα στους περισσότερους ιχθύες λαμβάνει χώρα κυρίως στο πρόσθιο τμήμα του εντέρου και στα πυλωρικά τυφλά, αλλά μπορεί να επεκταθεί και στα τελευταία τμήματα του εντέρου με μειωμένη δραστηριότητα. Στο καλκάνι για παράδειγμα, η λιπολυτική δραστηριότητα είναι περισσότερο έντονη στα τελευταία τμήματα του εντέρου, κάτι που πιθανόν να οφείλεται στο περιορισμένο μήκος εντέρου του είδους. Στο στομάχι κάποιων ειδών ψαριών μπορεί να αναπτυχθεί σε περιορισμένο επίπεδο λιπολυτική δραστηριότητα (Olsen & Ringo 1997).

Τα συκώτια των ψαριών παράγουν χολή η οποία αποθηκεύεται στη χοληδόχο κύστη και οδηγείται μέσω του χολαγωγού στο εμπρόσθιο τμήμα του εντέρου ή στα πυλωρικά τυφλά. Η χολή των θαλασσινών ψαριών είναι αλκαλική, μπορεί να περιέχει πεπτικά ένζυμα και έχει την ίδια λειτουργία στη γαλακτοματοποίηση των λιπιδίων όπως σε όλα τα σπονδυλωτά. Ένα από τα πεπτικά ένζυμα που σχετίζονται με την πέψη των λιπών είναι η υδρολάση των τριγλυκεριδίων, ή λιπάση. Οι λιπάσες μπορεί επίσης να εκκρίνονται από το βλεννογόνο χιτώνα του εντέρου.

Οι Patton *et al.* (1975) βρήκαν ότι τα εντερικά υγρά από γαύρο και ροζ σολωμό ήταν ικανά να υδρολύσουν τους μεθυλεστέρες των 20:4 ω 6 και 20:5 ω 3, οι οποίοι είναι σχετικά ανθεκτικοί στην υδρόλυση από παγκρεατική λιπάση θηλαστικών. Τα προϊόντα της πέψης για τα τριγλυκερίδια είναι ελεύθερα λιπαρά οξέα και 2-μονοακυλογλυκερόλες οι οποίες μπορούν να υδρολυθούν περαιτέρω σε γλυκερόλη και ελεύθερα λιπαρά οξέα. Τα φωσφολιπίδια πιθανότατα υδρολύονται σε λυσοφωσφολιπίδια και ελεύθερα λιπαρά οξέα τα οποία απορροφώνται όπως στα θηλαστικά.

Σε ότι αφορά τα φωσφολιπίδια, υπάρχουν ελάχιστες μελέτες για την πέψη τους, που ταυτίζεται με εκείνο των θηλαστικών. Τα φωσφολιπίδια της τροφής πέπτονται από παγκρεατικές ή εντερικές φωσφολιπάσες παράγοντας 1-ακυλο-λυσο-φωσφογλυκερίδια και ελεύθερα λιπαρά οξέα. Σε μελέτες που έχουν γίνει στο φαγκρί, η φωσφολιπάση A₂ είναι η κύρια λιπάση που υδρολύει τα φωσφολιπίδια της τροφής τους.

4.2. Απορρόφηση

Η απορρόφηση των λιπιδίων έχει μελετηθεί ότι γίνεται αρχικά στο πρόσθιο τμήμα του παχέος εντέρου συμπεριλαμβανομένου και των πυλωρικών τυφλών. Τα προϊόντα της πέψης των λιπιδίων και τα συσχετιζόμενα χολικά άλατα απορροφώνται αργά (μέχρι 10 ώρες και περισσότερο) με διάχυση στο επιθύλιο του εντέρου.

Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα επανεστεροποιούνται στα εντερικά βλεννογόνα κύτταρα με γλυκερόλη, μονοακυλογλυκερόλες και λυσοφωσφολιπίδια για να σχηματίσουν τριγλυκερίδια και φωσφολιπίδια αντίστοιχα. Οι στερόλες επίσης επανεστεροποιούνται μερικώς με ελεύθερα λιπαρά οξέα για να σχηματίσουν εστέρες.

Η απορρόφηση των προϊόντων της λιπόλυσης στα ψάρια πραγματοποιείται με αργό ρυθμό συγκριτικά με εκείνη των θηλαστικών λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας στο σώμα τους, η οποία επηρεάζει άμεσα το ρυθμό της πέψης όλων των θρεπτικών στοιχείων. Επίσης η απορρόφηση των λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας, όπως τα 20:4 ω -6, 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3 πραγματοποιείται με πιο αργό ρυθμό από την απορρόφηση των 16:0, 18:1 ω -9, 18:2 ω -6 και 18:3 ω -3.

4.3. Μεταφορά

Τα λιπίδια μεταφέρονται στο συκώτι σε μεγάλα συμπλέγματα λιποπρωτεϊνών, κυρίως σωματίδια όπως τα χηλομικρά και με πολύ χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνες (VLDL) είτε μέσω του κυκλοφορικού είτε μέσω του λεμφικού συστήματος.

Ένα σημαντικό ποσό ελεύθερων λιπαρών οξέων επίσης μεταφέρεται σαν συμπλέγματα αλβουμίνης μέσω του αίματος, παρόλο που αυτή η οδός μπορεί να είναι σημαντική μόνο όταν επανασιτίζονται νηστικά ψάρια. Οι ποσοτικές σχέσεις των διαφόρων βιολογικών οδών μεταξύ λιποπρωτεϊνών και ελεύθερων λιπαρών οξέων στη φυσιολογική πέψη και φυσιολογία στα ψάρια παραμένει αδιευκρίνιστη.

Μερικά λιπίδια μπορούν να αποθηκευθούν στα εντερικά επιθηλιακά κύτταρα σαν σταγόνες λιπιδίων, αλλά η πλειονότητά τους μεταφέρεται αρχικά στο συκώτι όπως περιγράφηκε παραπάνω. Τα λιπίδια στη συνέχεια μεταφέρονται από το συκώτι στους εξωηπατικούς ιστούς με τη μορφή συμπλεγμάτων λιποπρωτεΐνης του

πλάσματος, πολύ χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνη (VLDL) και χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνη (HDL).

Οι δομές, οι αποπρωτεΐνες και η σύνθεση των τάξεων των λιπιδίων στις λιποπρωτεΐνες του πλάσματος των ψαριών είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες των θηλαστικών. Τα περισσότερα ψάρια, εκτός από τους ελασματοβράγχιους, έχουν πολύ υψηλότερα επίπεδα χοληστερίνης στον ορό τους από ότι τα θηλαστικά.

Μια άλλη διαφορά σε σύγκριση με τις πρωτεΐνες των θηλαστικών, που έχουν εντοπίσει οι Nelson & Shore (1974) είναι το πολύ υψηλό επίπεδο των HUFA (πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακρικής ανθρακικής αλυσίδας), ειδικά τα 20:5 ω3 και 22:6ω3 στις λιποπρωτεΐνες του πλάσματος των ψαριών. Τα τριγλυκερίδια που βρίσκονται στην VLDL και LDL του πλάσματος των ψαριών φαίνεται ότι αποτίθενται στα λιποκύτταρα που συνθέτουν τον λιπώδη ιστό των ψαριών με τον ίδιο μηχανισμό που συμβαίνει στα θηλαστικά.. Το σχετικό υδρολυτικό ένζυμο, η λιποπρωτεϊνική λιπάση, έχει ταυτοποιηθεί και εντοπιστεί σε ιστούς πέστροφας και μπακαλιάρου σύμφωνα με τους Black *et al.* (1983a,b)

4.4. Αποθήκευση

Τα φωσφολιπίδια αποτελούν δομικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών και έτσι το ποσοστό τους στους διάφορους ιστούς δεν μεταβάλλεται. Αντίθετα, οι τρικυλογλυκερόλες και οι κηροί αποθηκεύονται στους ιστούς και η συγκέντρωσή τους σε αυτούς μεταβάλλεται αρκετά. Οι συγκεκριμένες λιπιδικές ομάδες συνθέτονται (λιπογένεση) και αποθηκεύονται στους ιστούς από τα διάφορα ελεύθερα λιπαρά οξέα της γενικής κυκλοφορίας του αίματος τα οποία δεν χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη των ενεργειακών και άλλων φυσιολογικών αναγκών του οργανισμού.

Τα λιπίδια αποθηκεύονται σε όλους γενικά τους ιστούς του σώματος των ιχθύων σε διαφορετικές συγκεντρώσεις. Στο λευκό μυϊκό ιστό, τα λιπίδια αποθηκεύονται στο λιπώδη ιστό που καλύπτει εξωτερικά τα μυομερή ενώ στον ερυθρό μυϊκό ιστό τα λιπίδια αποθηκεύονται τόσο στο συγκεκριμένο λιπώδη ιστό όσο και εντός των μυϊκών ινών, γεγονός που έχει να κάνει με τις αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις αυτού του ιστού.

5. Ενδογενής σύνθεση λιπαρών οξέων

5.1. Βιοσύνθεση των λιπαρών οξέων

Οι βιοσυνθετικοί οδοί της λιπογένεσης στα ψάρια είναι ποιοτικά παρόμοιοι με αυτές στα άλλα σπονδυλωτά και συνοψίζονται στην Εικόνα 9. Οι ρυθμοί δράσης των διαφόρων ενζύμων καθώς και τα προτιμώμενα υποστρώματα για τη λιπογένεση παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ ψαριών και θηλαστικών, αλλά και μεταξύ των διαφόρων ειδών ψαριών. Με βάση πολυάριθμες μελέτες που έχουν γίνει, το συκώτι αποτελεί τον σημαντικότερο ιστό σύνθεσης λιπαρών οξέων *de novo*, ενώ ο λιπώδης ιστός φαίνεται ότι έχει προσαρμοστεί στην κατακράτηση και αποθήκευση με τη μορφή τριγλυκεριδίων των λιπαρών οξέων που προέρχονται είτε από τη δίαιτα είτε από τη *de novo* βιοσύνθεση στο συκώτι, τουλάχιστον για την πέστροφα. Πάντως, οι ρυθμοί χρησιμοποίησης της γλυκόζης και των αμινοξέων για τη βιοσύνθεση των λιπών φαίνεται ότι είναι μικρότεροι στα ψάρια, σαν ποικιλόθερμοι οργανισμοί, από ότι στα θηλαστικά. Το εντερικό επιθήλιο των τελεόστεων είναι επίσης μια θέση σύνθεσης λιπιδίων.

Τα λιπαρά οξέα που παράγονται από ηπατική συνθετάση στην πέστροφα είναι 16:0 και 14:0 με ρυθμό 2:1 ενώ στον κυπρίνο ο ρυθμός ήταν 1:1. Στο καλκάνι (*Pleuronectes platessa*) τα λιπαρά οξέα που παράγονται είναι 16:0 και 18:0 με ρυθμό 3:2, στο γατόψαρο περισσότερο 18:0 από 16:0, ενώ στο flouder (*Platichthis flesus*) 16:0, 18:0 και μόνο ίχνη 14:0. Έτσι η ηπατική συνθετάση λιπαρών οξέων στα ψάρια μοιάζει με αυτή των θηλαστικών, παρόλο που το μήκος της αλυσίδας των κορεσμένων προϊόντων μπορεί να διαφέρει σε ποικιλία και ποσοστό.

5.2. Αποκορεσμός και Επιμήκυνση των λιπαρών Οξέων

Τα ψάρια αφομοιώνουν μια πληθώρα ακόρεστων λιπαρών οξέων που μπορούν να ενσωματωθούν κατευθείαν σε σωματικά λιπίδια. Εκτός αυτού μπορούν και να διαμορφώσουν και τα διαιτητικά λιπαρά οξέα και τα προϊόντα ενδογενούς σύνθεσης με τον αποκορεσμό και την επιμήκυνση της ανθρακικής αλυσίδας σε πλέον πολυακόρεστα λιπαρά της ίδιας σειράς.

Σύμφωνα με τους Saxena & Zandee (1971) πειραματιζόμενοι με 16:0 σημασμένο με ^{14}C ανακάλυψαν 16:1 και 18:1 λιπαρά οξέα στον κυπρίνο, τα οποία

ήταν προϊόντα δράσης της συνθετάσης λιπαρών οξέων σε 16:0 και εν συνεχεία αποκορεσμός και επιμήκυνση του προϊόντος αυτού. Τα ψάρια δεν διαθέτουν τις απαραίτητες δεσατουράσες για το σχηματισμό των 18:2 ω 6 και 18:3 ω 3 λιπαρών οξέων. Συνεπώς όλα τα ω 3 και ω 6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA-ΠΛΟ) στα λιπίδια των ψαριών προέρχονται ολοκληρωτικά από ω 6 και ω 3 PUFA που σχηματίζονται σε φυτά.

5.3. Βασικές λειτουργίες των λιπαρών οξέων στα ψάρια

Τα λιπαρά οξέα αποτελούν τις κύριες δομικές μονάδες όλων των λιπιδίων με εξαίρεση τη χοληστερόλη. Από τις βασικότερες λειτουργίες των λιπαρών οξέων είναι η παραγωγή μεταβολικής ενέργειας υπό τη μορφή αδενοσινοτριφωσφορικού οξέος (ATP) μέσω κυρίως της μιτοχονδριακής β -οξειδωσης (Tocher 2003).

Τα λιπαρά οξέα συμβάλλουν τόσο στην ανάπτυξη των ψαριών και καρκινοειδών όσο και στην αναπαραγωγική διαδικασία και ωρίμανση των γονάδων των ψαριών και ιδιαίτερα στην παραγωγή αυγών, απαιτώντας από τον οργανισμό τους μεγαλύτερα ποσοστά ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν η ρέγγα (*C.harengus*) και η σαρδέλα, όπου ωτοκοούν μεγάλο αριθμό αυγών που οφείλεται στον αυξημένο αριθμό λιπαρών οξέων. Με την οξείδωση των λιπαρών οξέων, οι οργανισμοί προμηθεύονται με την ενέργεια που απαιτείται για την κολύμβησή τους, αλλά περισσότερο και για τις μεταναστεύσεις όπου οι ενεργειακές απαιτήσεις του ερυθρού μυϊκού ιστού είναι μεγάλες (Μεντέ & Νέγκας 2011).

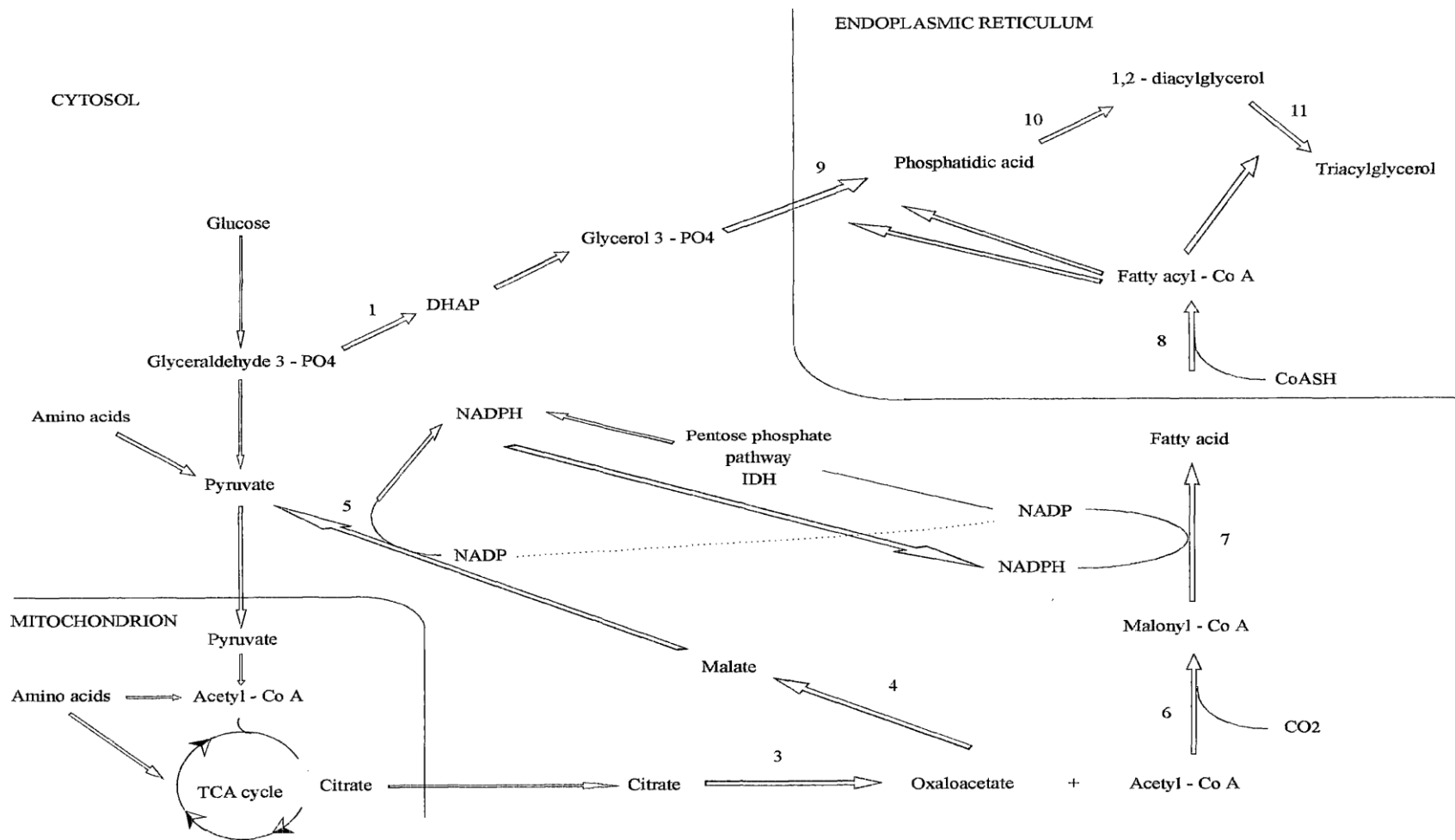
Στα ψάρια και στα καρκινοειδή υπάρχουν συγκεκριμένα λιπαρά οξέα προτιμούνται περισσότερο από τον οργανισμό ως βασικά υποστρώματα της μιτοχονδριακής β -οξειδωσης σε σύγκριση με κάποια άλλα. Υπάρχουν για παράδειγμα κορεσμένα λιπαρά οξέα όπως τα 16:0 και 18:0 και κάποια μονοακόρεστα λιπαρά οξέα όπως τα 18:1 ω -9, 20:1 ω -9 και 22:1 ω -11 οξειδώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό σχετικά με τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Σε περιόδους ασιτίας ή όταν η κατανάλωση της τροφής είναι περιορισμένη εκδηλώνεται από τα ψάρια η ίδια προτίμηση, δηλαδή ο οργανισμός προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες και να συντηρηθεί χρησιμοποιεί πρώτα τα κορεσμένα και τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα. Η εκδηλωθείσα προτίμηση αντανακλά στην ανάγκη του οργανισμού να

διατηρήσει τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και να τα χρησιμοποιήσει στις περισσότερο σημαντικές λειτουργίες των κυττάρων (Harris *et al.* 2003).

Στον τόνο (*Thunnus thunnus*), υπάρχει επιλεκτικός καταβολισμός του 22:6ω-3, μιας και οι ιστοί αυτού του είδους παρουσιάζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε 20:5ω-3 συγκριτικά με εκείνες του 22:6ω-3 που είναι μεγαλύτερες (Sawada *et al.* 1993). Παρόμοια συμπεριφορά εκδηλώνουν και ορισμένα τροπικά είδη γλυκού νερού όπως για παράδειγμα στην τιλάπια, *Oreochromis niloticus*, όπου παρουσιάζει υψηλότερες συγκεντρώσεις σε 22:6ω-3 σε σχέση με το 20:5ω-3 (Karapanagiotidis *et al.* 2006).

Τα λιπαρά οξέα 18:2ω-6 και 18:3ω-3 έχει αποδειχθεί ότι οξειδώνονται σε μεγάλο βαθμό στα θηλαστικά και στα ψάρια σύμφωνα με τους (Sinclair *et al.* 2002). Σύμφωνα με τους Karapanagiotidis *et al.* (2007), η τιλάπια *Oreochromis niloticus* καταβολίζει σε μεγάλο βαθμό τα δυο αυτά λιπαρά οξέα (18:2ω-6 και 18:3ω-3) εξαιτίας των χαμηλών επιπέδων που απαντώνται στον οργανισμό. Τα λιπαρά οξέα είναι από τις σημαντικότερες πηγές μεταβολής ενέργειας και ιδιαίτερα τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα είναι απαραίτητα για τη διατήρηση, τη φυσιολογική ανάπτυξη και την αναπαραγωγή όλων έμβιων ζωικών οργανισμών οργανισμών (ψαριών και καρκινοειδών και θηλαστικών) καθώς και του ανθρώπου. Η διαιτητική έλλειψή τους αναστέλλει την ανάπτυξη του οργανισμού και οδηγεί σε διάφορες παθολογικές καταστάσεις ακόμη και στον θάνατο.

Η σημασία των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στη διατροφή των ψαριών (θερμόφιλων και ψυχρόφιλων) αλλά και των καρκινοειδών αποτέλεσε αντικείμενο πολλών μελετών (Saxena & Zandee 1971, Nelson & Shore 1974, Black *et al.* 1983a,b, Sinclair *et al.* 2002, Tocher 2003, Harris *et al.* 2003). Τα ψάρια περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις σε 22:6ω-3, 20:5ω-3 και 20:4ω-6 στα φωσφογλυκερίδια των κυτταρικών τους μεμβρανών. Ειδικά τα πρώτα δύο πολυακόρεστα κυριαρχούν σε όλα τα φωσφογλυκερίδια εκτός της φωσφατιδυλο-ινοσιτόλης, όπου κυριαρχεί το 20:4ω-6. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα διαδραματίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στον οργανισμό αφού διατηρούν τη ρευστότητα και τη διαπερατότητα των κυτταρικών τους μεμβρανών και παρέχουν τις κατάλληλες ενδοκυτταρικές συνθήκες για τις διάφορες περιβαλλοντικές μεταβολές της θερμοκρασίας και της αλατότητας.



Εικόνα 9. Ενδογενής σύνθεση λιπογένεσης (Πηγή: Bettelheim *et al.* 2010)

Τα λιπίδια και τα λιπαρά οξέα έχουν επίσης σημαντικές επιδράσεις στην αναπαραγωγική απόδοση των ψαριών και των καρκινοειδών. Τα λιπίδια χρησιμοποιούνται από τον οργανισμό ως πλούσιες πηγές ενέργειας κατά την εμβρυογένεση και ιδιαίτερα πριν την εκκόλαψη.

Τα 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3 αποτελούν τα αφθονότερα λιπαρά οξέα του λίπους των αυγών στα περισσότερα ψάρια επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αυγών, όπως ο παραγόμενος αριθμός αυγών ανά κιλό βάρους γεννήτορα, το ποσοστό εκκόλαψης και το ποσοστό επιβίωσης των ιχθυονυμφών.

Το 20:4 ω -6 λιπαρό οξύ της φωσφατιδυλο-ινοσιτόλης και μεταβολικός πρόδρομος της προσταγλανδίνης E₂ διεγείροντας την παραγωγή στεροειδών ορμονών από τις ωοθήκες και τους όρχεις. Επίσης, έρευνες έδειξαν ότι συμβάλει στην ανάπτυξη του ανοσοποιητικού συστήματος του εμβρύου, στην αποδοτικότητα της εκκόλαψης και στην ανάπτυξη των λεκιθοφόρων ιχθυιδίων (Bell & Sargent 2003).

Όπως προαναφέρθηκε τα απαραίτητα λιπαρά οξέα χρειάζονται στον οργανισμό για τη φυσιολογική ανάπτυξη και την αναπαραγωγή του. Μια διαιτητική έλλειψη σε αυτά προκαλεί διάφορες παθολογικές καταστάσεις και πολλές φορές αποβαίνει στο θάνατο. Οι Castell *et al.* (1972), αναφέρουν ότι η διαιτητική έλλειψη των λιπαρών οξέων οδηγούν σε φτωχή ανάπτυξη αλλά και σε χαμηλό συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής. Επίσης η έλλειψή τους οδήγησε στον εκφυλισμό και στη σήψη των πτερυγίων της ιριδίζουσας πέστροφας και του καλκανιού και σε εκφυλισμό του χρωματισμού τους.

Γενικά, η έλλειψη των λιπαρών οξέων από τη διατροφή των ψαριών οδηγεί σε μειωμένη αναπαραγωγική ικανότητα των ψαριών και σε μειωμένο αριθμό παραγόμενων αυγών, σε μειωμένη εκκόλαψη και αύξηση των δυσμορφιών στις νέο-εκκολαπτόμενες νύμφες.

6. Διαιτητικές απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα

6.1 Απαραίτητα λιπαρά οξέα (ποιοτικά- ποσοτικά)

Οι ζωτικής σημασίας λειτουργίες των $\omega 3(n3)$ και $\omega 6 (n6)$ πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και ιδιαίτερα των C_{20} και C_{22} πολυακόρεστα λιπαρά οξέα υποδεικνύουν την αναγκαιότητα των λιπαρών οξέων στη διατροφή των υδρόβιων οργανισμών. Παρά το γεγονός ότι τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα είναι απαραίτητα, τα σπονδυλωτά αδυνατούν να συνθέσουν ενδογενώς και επομένως τα λαμβάνουν από την τροφή τους. Στα ψάρια η βιοχημική σύνθεση των λιπαρών οξέων εξαρτάται από το κάθε είδος καθώς και από το τύπο του ψαριού δηλαδή αν είναι γλυκού ή θαλασσινού νερού. Συνεπώς το εκάστοτε είδος ψαριού συνθέτει με διαφορετικό τρόπο τα βιοχημικά πιο ενεργά C_{20} και C_{22} πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (Sargent *et al.* 2002).

Τα ψάρια των γλυκών νερών δείχνουν ικανά να βιοσυνθέσουν τα C_{20} και C_{22} πολυακόρεστα λιπαρά οξέα σε σχέση με τα C_{18} αποτελούν τα απαραίτητα λιπαρά οξέα για τη διατροφή τους, με τη διαφορά ότι τα τελευταία είναι περισσότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τα C_{18} ομόλογά τους.

Ο ακριβής προσδιορισμός των ποσοτικών αναγκών καθενός από τα απαραίτητα λιπαρά οξέα είναι πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία η οποία εστιάζεται κυρίως στην ανταγωνιστική αντίδραση που συμβαίνει κατά το μεταβολισμό των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Ο ακριβής ορισμός των ποιοτικών και ποσοτικών απαιτήσεων των διαφόρων ειδών σε απαραίτητα λιπαρά οξέα εξαρτάται από την ποσότητα καθώς και την μεταξύ τους αναλογία στην τροφή, καθώς και την ικανότητα του οργανισμού να μεταβολίζει τα λιπαρά οξέα, είτε αναβολικά είτε καταβολικά (Sargent *et al.* 2002).

6.1.1. Είδη ιχθύων γλυκού νερού

Μέσα από πολλές εργασίες που συγκεντρώνονται από διάφορους μελέτες διαφαίνεται ότι τα ψάρια του γλυκού νερού και ειδικά τα σαλμονοειδή μπορούν να αποκορέσουν και να επιμηκύνουν τα C_{18} PUFA. Αντίθετα τα θαλασσινά είδη γενικά στερούνται τα απαραίτητα ένζυμα για τη διαφοροποίηση των C_{18} PUFA και απαιτούν C_{20} και C_{22} PUFA στις δίαιτές τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή στις περισσότερες διαιτητικές μελέτες για τις απαιτήσεις σε απαραίτητα λιπαρά οξέα των

θαλασσινών ψαριών τυπικά χρησιμοποιείται ιχθυέλαιο που περιέχει και 20:5 ω 3 και 22:6 ω 3, λίγα είναι γνωστά για την ικανότητα των ψαριών να μετατρέπουν το 20:5 ω 3 σε 22:6 ω 3.

Όταν η διαίτα του σολωμού (*Coho salmon*) περιέχει πολλά λιπαρά η δράση της συνθετάσης λιπαρών οξέων και άλλων σχετικών ενζύμων του συκωτιού, αναστέλλεται. Παρόμοια αποτελέσματα υπήρχαν και για το γατόψαρο. Έτσι δίαιτες πλούσιες σε λιπαρά αναστέλλουν την *de novo* (εκ νέου) σύνθεση λιπαρών οξέων αλλά επιτρέπουν την απόθεση στο λιπώδη ιστό των διατροφικών τριγλυκεριδίων. Η αναστολή αυτή επιτυγχάνεται μόνο όταν το ποσοστό των λιπιδίων στη διαίτα υπερβαίνει το 10%, σε αντίθεση με τα θηλαστικά όπου αυτό συμβαίνει με δίαιτες 2.5% σε λιπίδια. Πειράματα που διενεργήθηκαν στην ιριδιζούσα πέστροφα έδειξαν ότι δεν είναι ικανή να αντιστρέψει το διαιτητικό 22:6 ω 3 σε 20:5 ω 3, αλλά αυτό παραμένει να διευκρινιστεί αν ισχύει για όλα τα ψάρια. Το ποσοστό των απαραίτητων λιπαρών οξέων στις δίαιτες ψαριών του γλυκού νερού διαφαίνεται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4. Ποσοστιαία απαίτηση σε λιπαρά οξέα

ΕΙΔΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ	Αναφορές
<i>Rainbow trout</i>	1% 18:3 ω 3	Watanabe <i>et al.</i> 1974b
<i>Coho salmon</i>	1-2% 18:3 ω 3	Yu & Sinnhuber 1979
<i>Anguilla aguilla</i>	18:3 ω 3 & 0.5%18:2 ω 6	Takeuchi <i>et al.</i> 1980
<i>Cyprinus carpio</i>	1% 18:2 ω 6 1% 18:3 ω 3	Takeuchi & Watanabe 1977c
<i>Tilapia nilotica</i>	1% 18:2 ω 6	Takeuchi <i>et al.</i> 1983
<i>Scophthalmus maximus</i>	0.57-0.8% 20:5 ω 3 και 22:6 ω 3	Gatesoupe <i>et al.</i> 1977a

Τα είδη των γλυκών νερών σε αντίθεση με εκείνα της θάλασσας φαινομενικά παρουσιάζουν σε ένα βαθμό την ικανότητα να βιομετατρέπουν το 18:3 ω -3 σε 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3 και το 18:2 ω -6 σε 20:4 ω -6. Η ικανότητα των ειδών αυτών επηρεάζεται από την αφθονία των C₁₈ πολυακόρεστων λιπαρών οξέων και την πενία σε C₂₀ πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στα υδάτινα οικοσυστήματα γλυκού νερού.

Για παράδειγμα το μικροφύκος του γλυκού νερού είναι πλούσιο σε 18:2 ω -6 και περιέχει σημαντικά ποσά του 18:3 ω -3, όμως είναι φτωχό σε 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3 σε αντίθεση με το θαλασσινό μικροφύκος (Ahlgren *et al.* 1992). Καλές πηγές του 22:6 ω -3 στα εσωτερικά νερά αποτελούν κάποια είδη πρωτοζώων όπως τα

Cryptomonas, *Rhodomonas* και *Peridinium* ενώ καλή πηγή του 20:4 ω -6 είναι ο μύκητας *Mortierella alliacea* (Aki *et.al.* 2001).

Η τούρνα (*Esox locus*) που τρέφεται με μικρά ψάρια δεν μετατρέπει τα 18:2 ω -6 και 18:3 ω -3 σε C₂₀ και C₂₂ πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Αντίθετα το κόκκινο πιράνχας (*Serassalmus natteri*) που τρέφεται με νύμφες κουνουπιών (πλούσια πηγή σε 18:2 ω -6 και φτωχή σε C₂₀, C₂₂ πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μετατρέπει πιο εύκολα τα 18:2 ω -6 σε 20:4 ω -6 και 18:3 ω -3 σε 20:5 ω -3. Επίσης το χορτοφαγικό είδος *Mylassoma aureum* που τρέφεται κατεξοχήν με νιφάδες βρώμης μετέτρεψε εύκολα το 18:2 ω -6 σε 20:4 ω -6 και το 18:3 ω -3 σε 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών διαπιστώνουμε ότι προκειμένου να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις διαφόρων ειδών και διατροφικών χαρακτήρων ψαριών σε λιπαρά οξέα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η σύσταση και η περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα του φυσικού τους διαιτολογίου. Επίσης η ικανότητα που παρουσιάζουν τα είδη να μετατρέπουν τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης που βρίσκεται το ψάρι καθώς και την ικανότητα που διαθέτει να μετατρέπει τα C₁₈ σε C₂₀ πολυακόρεστα λιπαρά οξέα.

Συνεπώς υπάρχει περίπτωση ένα είδος ψαριού που βρίσκεται σε συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης να διαθέτει την ικανότητα να μετατρέπει τα λιπαρά οξέα και όταν το είδος αυτό μεγαλώσει να χάσει την ικανότητά του αυτή.

Οι ιχθυονύμφες των περισσότερων εκτρεφόμενων ειδών ψαριών γλυκού νερού όπως η πέστροφα, ο σολομός και το γατόψαρο έχουν μεγάλο στοματικό άνοιγμα οπότε εύκολα αποδέχονται μικρού μεγέθους σύμπληκτα. Ο κυπρίνος τρέφεται στα πρώτα στάδια ανάπτυξης με artemia αλλά αναπτύσσεται αρκετά γρήγορα με αποτέλεσμα να αποδέχεται σε μικρό χρονικό διάστημα μικρού μεγέθους σύμπληκτα.

Οι ιχθυονύμφες της πέστροφας και του σολομού όταν τρέφονται με σιτηρέσια που περιείχαν 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3 σε σχέση με εκείνα που διατρέφονταν με σιτηρέσια που περιείχαν 18:3 ω -3 παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη. Μελέτες που διεξήχθησαν σε τροπικά είδη όπως το αφρικανικό γατόψαρο και η τιλάπια έδειξαν ότι τα είδη αυτά παρουσίασαν παρόμοια ανάπτυξη είτε διατρέφονταν με C₁₈ είτε C₂₀ και C₂₂. Γενικά οι διαιτητικές απαιτήσεις των ιχθυδίων και ενήλικων ατόμων ικανοποιούνται από τα C₁₈ πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μιας και τα είδη αυτά είναι ικανά να μετατρέψουν τα συγκεκριμένα λιπαρά οξέα στα πιο ενεργά πολυακόρεστα λιπαρά οξέα το C₂₀ C₂₂.

Η πέστροφα που ζει σε ψυχρά εσωτερικά νερά απαιτεί 1% 18:3ω-3 στην τροφή της προκειμένου να αναπτυχθεί και να ενισχύσει το συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής της, ενώ αντίθετα θεράπευσε παθήσεις όπως ο εκφυλισμός των πτερυγίων. Όταν οι πέστροφες διατράφηκαν με σιτηρέσια που περιείχαν 0,5% σε 20:5ω-3 και 22: 6ω-3, παρουσίασαν μεγαλύτερη ανάπτυξη.

Τη ίδια συμπεριφορά εκδήλωσε και το γατόψαρο *Ictalurus punctatus*, που όταν διατρέφονταν με 0,5-0,75% σιτηρέσια που περιείχαν 20:5ω-3 και 22:6ω-3 σε σχέση με εκείνα τα σιτηρέσια που περιείχαν 1-2% 18:3ω-3. Διάφορα είδη σολομοειδών φαίνεται να έχουν υψηλότερες απαιτήσεις σε ω-3 απ' ότι ω-6 λιπαρά που ικανοποιούνται είτε μέσω των 20:5ω-3 και 22:6ω-3.

Τέλος αναφορικά με τις απαιτήσεις στο στάδιο των γεννητόρων των ψαριών του γλυκού νερού δεν υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες πληροφορίες, εξαιτίας της καλής ποιότητας των αυγών που απαιτείται στο στάδιο αυτό. Η σύσταση σε λιπαρά οξέα των σιτηρεσίων των γεννητόρων μπορεί να επηρεάσει τόσο την αναπαραγωγική απόδοση των θηλυκών όπως για παράδειγμα τη γονιμότητα των γεννητόρων και την ποιοτική παραγωγή αυγών, τα ποσοστά εκκόλαψης και επιβίωσης των λεκιθοφόρων ιχθυιδίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πέστροφα όπου γεννήτορες διατράφηκαν με αραβοσιτέλαιο με αποτέλεσμα να παραγόμενα αυγά τους είχαν αυξημένα επίπεδα 18:2ω-6 και μειωμένα επίπεδα 20:5ω-3 και 22:6ω-3 συγκριτικά με τα αυγά γεννητόρων που διατράφηκαν με σιτηρέσια που περιείχαν μουρουνέλαιο.

Πειράματα με την τιλάπια έδειξαν ότι όταν διατράφηκαν με σογιέλαιο (υψηλός λόγος ω-6/ω-3) απ' ότι με σιτηρέσια που περιείχαν μουρουνέλαιο (υψηλός λόγος ω-3/ω-6) και παρουσίασαν καλύτερη αναπαραγωγική απόδοση.

Σε πειράματα που διεξήχθησαν στην πέρκα τα αυγά των γεννητόρων που διατράφηκαν με υψηλά επίπεδα σε 20:5ω-3 και 22:6ω-3 γονιμοποιήθηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό και τα λεκιθοφόρα ιχθυΐδια απέκτησαν μεγαλύτερο σωματικό βάρος σε σύγκριση με τα αυγά των γεννητόρων που διατράφηκαν με χαμηλά επίπεδα στα συγκεκριμένα λιπαρά οξέα. Το πολυακόρεστο λιπαρό οξύ 20:4ω-6 διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αναπαραγωγή και στην ποιότητα των αυγών των ψαριών τόσο των εσωτερικών υδάτων όσο και θαλασσινών νερών. Αυτό οφείλεται κυρίως στις παραγόμενες από το 20:4ω-6 εικοσανοειδείς ορμόνες οι οποίες προκαλούν την παραγωγή των αυγών (Seargent *et al.* 1995).

6.1.2. Είδη ιχθύων Θαλασσινού νερού

Οι Bell *et al.* (1985α,β) έδειξαν ότι τα ένζυμα που εκτελούν την παραπάνω μετατροπή έχουν μόνο μικρή δράση στο καλκάνι (*Pleuronectes platessa*) και ότι και τα δύο αυτά λιπαρά οξέα είναι απαραίτητα. Το ίδιο έδειξαν και οι έρευνες που έχουν γίνει για την κόκκινη τσιπούρα (*Chrysophrys major*) και πιθανόν αυτό να χαρακτηρίζει όλα τα θαλασσινά σαρκοφάγα ψάρια.

Η Παρπούρα (1993), έδειξε ότι τα επίπεδα των πολυακόρεστων λιπαρών EPA και DHA κυμαίνονται από 0.88 έως 1.35% της διαίτας δεν διαφοροποιούν σημαντικά την ανάπτυξη και την εκμετάλλευση της τροφής, ούτε δημιουργούν αυξημένη θνησιμότητα ή έντονες αποκλίσεις στη σύσταση του σώματος, του συκωτιού και του αίματος σε ιχθύδια λαβρακιού, τα οποία αναπτύχθηκαν από βάρος 95gr μέχρι 200gr περίπου.

Η ιστοπαθολογική εικόνα και η ανάλυση των ηπατικών λιπαρών οξέων μας επιτρέπουν να υποστηρίξουμε ότι το ποσοστό των EPA και DHA που απαιτείται για τη βέλτιστη και άνευ παθολογικών συμπτωμάτων ανάπτυξη του λαβρακιού είναι τουλάχιστον 1,35% της διαίτας. Χαμηλότερα ποσοστά, που μπορεί να μην εκφράζοντας για το μέγεθος αυτών των ψαριών και τη διάρκεια της εκτροφής, στο επίπεδο της ανάπτυξης και αξιοποίησης της τροφής, εν τούτοις δημιουργούν προβλήματα σε βασικά όργανα του μεταβολισμού του ψαριού.

Οι διαιτητικές απαιτήσεις των ψαριών του θαλασσινού νερού σε λιπαρά οξέα ικανοποιούνται μέσω των C₂₀ και C₂₀ πολυακόρεστων λιπαρών οξέων της τροφής, δηλαδή των 20:5ω-3, 22:6ω-6, με τις απαιτήσεις σε ω-3 πολυακόρεστα να είναι υψηλότερες από εκείνες σε ω-6 λιπαρά οξέα.

Τα περισσότερα εκτρεφόμενα είδη ψαριών είναι σαρκοφάγα όπου η τροφή τους είναι άφθονοι σε 20:5ω-3 και 22:6ψ-3. Τα σαρκοφάγα θαλασσινά είδη ψαριών δεν έχουν την ανάγκη ούτε είναι αποτελεσματικά στο να βιομετατρέψουν το 18:3ω-3 της τροφής τους σε 20:5ω-3 και 22:6ω-3 και πιθανώς αυτή η φαινομενική ανικανότητα να έχει προέλθει μέσω της εξελικτικής πορείας τους.

Τα χορτοφάγα θαλασσινά είδη ψαριών όπως για παράδειγμα το μύξινάρι, έχουν μια περιορισμένη ικανότητα στη μετατροπή των λιπαρών οξέων. Η αφθονία των 20:5ω-3 και 22:6ω-3 λιπαρών οξέων στο φυτοπλαγκτόν διασφαλίζει ότι ακόμα και τα χορτοφάγα θαλάσσια είδη προσλαμβάνουν ικανές ποσότητες αυτών των

λιπαρών οξέων μέσω της τροφής τους και επομένως έχουν μικρή ή μηδαμινή ανάγκη να μετατρέψουν τα C₁₈ σε C₂₂ πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Συμπερασματικά για τα εκτρεφόμενα είδη του θαλασσινού νερού (τσιπούρα, λαυράκι) τα απαραίτητα λιπαρά οξέα στη διατροφή τους είναι τα 20:5ω-3, 22:6ω-3 και 20:4ω-6.

Τα λίπη (Πιν.5) είναι η κύρια μορφή αποθήκευσης ενέργειας των ζωικών οργανισμών, είναι δηλαδή εστέρες λιπαρών οξέων με γλυκερίνη. Χρησιμοποιούνται από τα ψάρια ως η κύρια πηγή ενέργειας και μεταβολιζόμενα αποδίδουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας ανά μονάδα βάρους από τα υπόλοιπα βιομόρια (1gr λίπους αποδίδει 9,45kcal, 1gr πρωτεΐνης 5,65kcal και 1gr υδατάνθρακα 4kcal), (Thong-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 (Thong-Tan, 1970).

Τα λίπη όπως αναφέρθηκε είναι σημαντικές πηγές ενέργειας και λιπαρών οξέων τα οποία είναι σημαντικά για την ανάπτυξη και επιβίωση του ψαριού. Παρόλο που τα ψάρια έχουν χαμηλή απαίτηση σε ενέργεια και γι' αυτό είναι επιτρέπει στην αποθήκευση επιπρόσθετων λιπιδίων. Τα λιπίδια μεταφέρουν λιποδιαλυτές βιταμινών, συμμετέχουν στην κατασκευή βιολογικών μεμβρανών σε κυτταρικά και υποκυτταρικά επίπεδα. είναι σημαντικά στη γεύση και υφή της τροφής που καταναλώνει από ψάρι και συστατικά των ορμονών.

Γενικά, τα ψάρια απαιτούν λιπαρά οξέα μακρύτερης διάρκειας και υψηλότερο βαθμό κορεσμού απ' ότι 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 ιππόκαμπου *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.

Πίνακας 5 Προφίλ των βασικών λιπαρών οξέων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των προνυμφών τροπικών διακοσμητικών ψαριών (Πηγή: Βλάχος,2010).

Λιπαρά Οξέα	Καπρίποδα	Βλαραριδοφόρα	Βλαραριδοφόρα (εμπλουτιστικό Πρωτεΐνης)	Βλαραριδοφόρα (εμπλουτιστικό algamac2000)	Βλαραριδοφόρα (εμπλουτιστικό Selco DCDHA)	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%
Ολικά Λιπαρά οξέα	11,3%	5,60%	7,40%	6,30%	6,70%	19,00%	8,20%

7. Λιπαρά οξέα στη διατροφή των ψαριών και αντικατάσταση λίπους στις ιχθυοτροφές

Ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας αποτελεί σήμερα τον γρηγορότερα αναπτυσσόμενο τομέα παραγωγής τροφίμων, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 8,9% (FAO 2007). Η υδατοκαλλιέργεια παράγει 60 εκατομμύρια τόνους θαλασσιών προϊόντων παγκοσμίως συνολικής αξίας πάνω από US \$ 70 δισεκατομμύρια ετησίως. Τα ψάρια που προέρχονται από την υδατοκαλλιέργεια αποτελούν περίπου το 50% των ψαριών που καταναλώνονται παγκοσμίως. Το ποσοστό αυτό θα συνεχίζει να αυξάνει εξαιτίας της μείωσης ποσοτήτων ψαριών που προέρχονται από την συλλεκτική αλιεία καθώς και της αυξημένης κατανάλωσης των θαλασσιών προϊόντων.

Η ετήσια παραγωγή ψαριών που προέρχεται από συλλεκτική αλιεία δεν προβλέπεται να αυξηθεί με αποτέλεσμα μέσω της υδατοκαλλιέργειας επιχειρείται η κάλυψη των αναγκών σε θαλασσινά προϊόντα. Σύμφωνα με το FAO (2007), προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες για την παραγωγή ιχθυοτροφών χρησιμοποιείται το 87% των παγκόσμιων αποθεμάτων του ιχθυελαίου ώστε να χρησιμοποιηθεί ως πηγή λίπους (Tacon *et al.* 2006). Η ετήσια παραγωγή ιχθυελαίου τα τελευταία τριάντα χρόνια δεν ξεπερνά τους 1,5 εκατομμύρια tn ετησίως και ως εκ τούτου η ραγδαία ανάπτυξη που λαμβάνει χώρα στη βιομηχανία της υδατοκαλλιέργειας δεν μπορεί να στηρίζεται στα αποθέματα των θαλάσσιων πελαγικών ψαριών για την προμήθεια ιχθυελαίου (Tacon & Metian 2008).

Το ιχθυέλαιο συνεχίζει να χρησιμοποιείται στις ιχθυοτροφές ανεξάρτητα από το υψηλό κόστος που παρουσιάζει, μιας και θεωρείται ότι είναι μια άριστη πηγή λίπους για τα ψάρια. Ο Chamberlain (2011), προτείνει τη χρήση του ιχθυελαίου μόνο για ιχθυοτροφές που χρησιμοποιούνται στο στάδιο ανάπτυξης του γόνου, στην εκτροφή γεννητόρων αλλά και κατά το στάδιο της πάχυνσης.

Το ιχθυέλαιο περιέχει σε υψηλό επίπεδο ω-3 λιπαρά μακράς αλυσίδας (HUFA-High Unsaturated Fatty Acids), τα οποία είναι απαραίτητα για τον οργανισμό του ψαριού και συμβάλλουν στην βέλτιστη ανάπτυξη και υγεία των εκτρεφόμενων ψαριών (Πιν.6). Η αύξηση της τιμής του ιχθυελαίου προκάλεσε προβλήματα σε ομάδες αλιέων και διαφόρων περιβαλλοντικών ενώσεων για τη διατήρηση των

αλιευτικών αποθεμάτων (FAO 2007), οδήγησε στη επίλυση των προβλημάτων αυτών διαμέσου αναζήτησης εναλλακτικών πηγών λίπους για την παρασκευή ιχθυοτροφών.

Πίνακας 6. Ποσοστιαία αναλογία λιπαρών οξέων σε ιχθυέλαια (Πηγή: Bettelheim *et al.*2010)

Οξέα	Ηπατέλαιο μπακαλιάρου	Έλαιο ρέγγας	Έλαιο σολωμού	Έλαιο Menhade
14:0	2,8	3,6	3,4	7,7
15:0	0,4	0,4	1,0	-
15:1	0,2	-	-	-
16:0	10,7	18,3	10,2	25,3
16:1	6,9	8,3	5,0	6,7
17:0	1,2	0,5	1,6	3,0
18:0	3,7	2,2	4,4	3,1
18:1	23,9	16,9	17,6	15,4
18:2	1,5	1,6	1,6	-
18:3	0,9	0,3	1,1	1,6
18:4	2,6	2,8	0,6	4,0
19:0	0,6	-	0,7	-
20:1	8,8	9,4	4,0	-
20:2	0,5	-	0,6	1,6
20:3	0,1	-	0,1	-
20:4	1,0	0,4	0,1	2,0
20:5	8,0	8,6	13,6	12,9
22:1	5,3	11,6	3,5	-
22:2	1,1	-	1,8	-
22:4	0,3	-	0,6	-
22:5	1,3	1,3	3,1	2,3
22:6	14,3'	7,6	18,9	14,0
24:1	0,5	0,9	1,1	-

Η χρήση φυτικών ελαίων στις ιχθυοτροφές αυξήθηκε κατά κόρον φτάνοντας στα 115 εκατομμύρια τόνους το έτος 2005. Συνεπώς η μέση ετήσια τιμή ιχθυελαίου για το έτος 2013 ήταν 2,257.86 \$ ΗΠΑ, ενώ του ελαίου της ελαιοκράμβης ανέρχονταν στα 1,134.71 \$ ΗΠΑ (FAO 2013). Η διαφορά στη τιμή αποτιμά τα φυτικά έλαια περισσότερο ελκυστικά από τους παραγωγούς ιχθυοτροφών οι οποίοι αναζητούν φθηνότερη λύση για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου. Η αυξημένη ζήτηση στα φυτικά έλαια οδήγησε αύξηση της τιμής τους.

Οι Lie *et al.* (2007) αναφέρουν στην ερευνά τους ότι τα φυτικά έλαια καταβολίζονται από τα ψάρια σαν πηγές ενέργειας και χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξή τους. Φυτικά έλαια μπορούν να αντικαταστήσουν μεγάλη ποσότητα ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές και με μικρότερο δυνατό κόστος (Πιν.7). Τα χημικά

χαρακτηριστικά των φυτικών ελαίων και ιδιαίτερα η σύστασή τους σε λιπαρά οξέα προϋποθέτουν περιορισμένη χρήση σε αυτή την εναλλακτική πηγή λίπους.

Τα λίπη αποτελούν σημαντική πηγή των απαραίτητων λιπαρών οξέων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και διάφορες λειτουργίες του οργανισμού. Οι διατροφικές απαιτήσεις στα ψάρια αφορούν τα ω -3 και ω -6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Οι βιολογικά ενεργές μορφές των απαραίτητων λιπαρών οξέων είναι οι C₂₀ και C₂₂ μεταβολίτες του λινολειακού οξέος LA:18:2 ω -6 και του α-λινολενικού οξέος (ALA: 18:3 ω -3). Το ιχθυέλαιο χρησιμοποιείται ως η μοναδική πηγή λίπους στις τροφές των ψαριών, λόγω της αφθονίας τους σε απαραίτητα λιπαρά οξέα.

Τα φυτικά έλαια στην πλειοψηφία τους είναι φτωχές πηγές σε ω -3 λιπαρά οξέα σε σύγκριση με το ιχθυέλαιο. Τα απαραίτητα ω -3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα που χρησιμοποιούνται από τον οργανισμό τους για την ανάπτυξη και την υγεία των ψαριών εκλείπουν από τα φυτικά έλαια. Τα φυτικά έλαια είναι πλούσια σε ω -6 και ω -9 λιπαρά οξέα ιδιαίτερα το λινολειακό οξύ και το ολειακό οξύ (18:1 ω -3) σε ω -3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα με εξαίρεση το λινέλαιο, το οποίο είναι πλούσιο σε α-λινολειακό οξύ. Ανάλογα με το είδος του ψαριού παρουσιάζουν διαφορετικές ικανότητες μετατροπής τους και κυρίως του 18:3 ω -3 σε ω -3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (Tocher *et al.* 2002).

Στα σαρκοφάγα ψάρια όπως το λαβράκι η ποσότητα των ω -3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων που παράγεται είναι ανεπαρκής για να ικανοποιήσει τη καλή ανάπτυξη και υγεία των ψαριών. Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι σημαντική ποσότητα του ιχθυελαίου μπορεί να αντικατασταθεί με φυτικά έλαια στις τροφές αρκετών ειδών ψαριών χωρίς να επηρεάσει την ανάπτυξη και την αξιοποίηση της τροφής υπό την προϋπόθεση ότι επαρκείς ποσότητες των ειδικών απαραίτητων λιπαρών οξέων θα πρέπει να παρέχονται στο σιτηρέσιο.

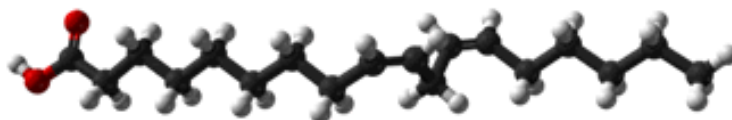
Η πλήρης αντικατάσταση του ιχθυελαίου με φυτικά έλαια που δεν έχουν απαραίτητα λιπαρά οξέα τότε η τροφή χαρακτηρίζεται ανεπαρκής για τα ψάρια μιας και δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις. Το ποσοστό αντικατάστασης του ιχθυελαίου με φυτικά έλαια παίζει σημαντικό ρόλο και εξαρτάται από την περιεκτικότητα των συστατικών της τροφής σε λιπαρά οξέα. Ο υπολογισμός τους γίνεται με βάση την περιεκτικότητα των απαραίτητων λιπαρών οξέων τα οποία θα οδηγούν σε ικανοποιητική ανάπτυξη των ψαριών.

Πίνακας 7. Ποσοστιαία αναλογία λιπαρών οξέων σε φυτικά λίπη και έλαια (Πηγή: Bettelheim *et al.*2010)

Οξέα	Σογιέλαιο	Ηλιανθέλαιο	Κραμβέλαιο	Βαμβακέλαιο	Αραβοσιτέλαιο	Σησαμέλαιο	Κακαόλιπος	Ελαιόλαδο	Φοινικο πυρηνέλαιο	Κοκόλι- πος	Αραχιδέλαιο
<u>8:0</u>	=	=	--	-	-	-	=	=	<u>1,3</u>	<u>7,1</u>	<u>0,1</u>
<u>10:0</u>	=	=	-	=	=	=	=	=	<u>3,2</u>	<u>7,3</u>	<u>0,1</u>
<u>12:0</u>	=	=	=	=	ίγνη	=	=	=	<u>58,7</u>	<u>54,9</u>	<u>0,6</u>
<u>14:0</u>	<u>0,1</u>	<u>0,1</u>	ίγνη	<u>0,6</u>	ίγνη	ίγνη	<u>0,1</u>	=	<u>21,7</u>	<u>17,4</u>	<u>0,3</u>
<u>15:0</u>	=	ίγνη	=	=	=	=	ίγνη	=	ίγνη	=	
<u>16:0</u>	<u>11,3</u>	<u>6,0</u>	<u>3,8</u>	<u>23,8</u>	<u>13,8</u>	<u>9,8</u>	<u>28,3</u>	<u>9,9</u>	<u>5,2</u>	<u>6,1</u>	<u>13,3</u>
<u>16:1</u>	<u>0,1</u>	<u>0,1</u>	<u>0,3</u>	<u>0,6</u>	<u>0,5</u>	ίγνη	<u>0,5</u>	<u>0,6</u>	ίγνη	=	<u>0,3</u>
<u>17:0</u>	<u>0,1</u>	ίγνη	ίγνη	=	=	=	<u>0,3</u>	ίγνη	=	=	
<u>17:1</u>	<u>0,1</u>	ίγνη	=	=	=	=	=	ίγνη	=	=	
<u>18:0</u>	<u>4,5</u>	<u>4,3</u>	<u>1,0</u>	<u>3,2</u>	<u>2,8</u>	<u>4,9</u>	<u>34,9</u>	<u>2,6</u>	<u>33,0</u>	<u>1,6</u>	<u>2,1</u>
<u>18:1</u>	<u>24,0</u>	<u>38,3</u>	<u>14,5</u>	<u>17,8</u>	<u>26,2</u>	<u>41,4</u>	<u>30,5</u>	<u>79,0</u>	<u>4,7</u>	<u>5,0</u>	<u>47,8</u>
<u>18:2</u>	<u>51,0</u>	<u>50,9</u>	<u>13,4</u>	<u>53,8</u>	<u>55,2</u>	<u>43,4</u>	<u>3,0</u>	<u>6,2</u>	<u>1,3</u>	<u>1,3</u>	<u>29,2</u>
<u>18:3</u>	<u>7,7</u>	<u>0,3</u>	<u>9,4</u>	=	<u>1,1</u>	<u>0,2</u>	ίγνη	<u>0,7</u>	<u>0,1</u>	=	<u>1,0</u>
<u>20:0</u>	<u>0,5</u>	=	<u>0,9</u>	<u>0,1</u>	<u>0,2</u>	<u>0,2</u>	<u>2,3</u>	<u>0,4</u>	=	=	<u>1,2</u>
<u>20:1</u>	<u>0,3</u>	<u>0,1</u>	<u>9,9</u>	=	=	=	=	=	=	=	
<u>20:2</u>	=	=	<u>0,5</u>	=	=	=	=	=	=	=	
<u>20:4</u>	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
<u>22:0</u>	<u>0,3</u>	ίγνη	=	=	=	=	ίγνη	=	=	=	<u>2,9</u>
<u>22:1</u>	=	=	<u>44,7</u>	=	=	=	=	=	=	=	<u>0,1</u>
<u>22:2</u>	=	=	<u>0,2</u>	=	=	=	=	=	=	=	
<u>24:0</u>	=	=	ίγνη	=	=	=	=	=	=	=	<u>1,1</u>
<u>24:1</u>	=	=	<u>1,1</u>	=	=	=	=	=	=	=	

Τα φυτικά έλαια και τα υποπροϊόντα που προέρχονται από διάφορους υδρόβιους οργανισμούς αποτελούν από τις οικονομικότερες λύσεις για την αντικατάσταση του ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές.

Ο Simopoulos (2001), αναφέρει ότι τα ψάρια που διατρέφθηκαν με φυτικά έλαια τα οποία περιείχαν αυξημένη περιεκτικότητα σε λινολειακό οξύ (18:2- ω -6) (Εικ 10.), παρουσιάζουν αυξημένη αναλογία ω -6/ ω -3 λιπαρών οξέων στους ιστούς τους, ενώ παρουσιάζουν μικρότερη έως ελάχιστη θρεπτική αξία για τον άνθρωπο. Ο λόγος των ω -6/ ω -3 στη σημερινή διατροφή του ανθρώπου είναι 10-20:1 ενώ συνίσταται να είναι 4-5:1.



Εικόνα 10. Λινολειακό οξύ (Πηγή:www.galinos.gr)

Τα λιπαρά οξέα εικοσαπεντανικό οξύ (EPA) και αραχιδονικό οξύ (AA) (AA:20:4 ω -6) (Εικ.) είναι πρόδρομες ενώσεις των εικοσανειδών οι οποίες εμπλέκονται σε πολλές φυσιολογικές δραστηριότητες, ανοσολογικές ανταποκρίσεις, αιματολογική και καρδιαγγειακή δραστηριότητα, αναπαραγωγική, νεφρική και νευρική λειτουργία των ψαριών (Tocher 2003).

Η αντικατάσταση του ιχθυελαίου με φυτικά έλαια πλούσια σε ω -6 λιπαρά οξέα επιφέρει σημαντικά προβλήματα εκ των οποίων το βασικότερο είναι η καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος. Μεταβολή στο λόγο ω -3/ ω -6 στο σιτηρέσιο επιφέρει μεταβολές στο λόγο εικοσαπεντανικό οξύ / αραχιδονικό οξύ (EPA/AA). Η αναλογία των ω -3 / ω -6 στην τροφή φαίνεται ότι παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτές τις διαδικασίες.

Τα συνήθη φυτικά έλαια που αντικαθιστούν το ιχθυέλαιο, περιέχουν υψηλότερα επίπεδα ολειακού οξέος (18:1- ω -9), το οποίο σχετίζεται με το λίπος του συκωτιού και το μεταβολισμό των λιπο-πρωτεϊνών στα ψάρια. Όταν το ιχθυέλαιο

αντικαθίσταται με λινέλαιο παρατηρείται λιπώδη διήθηση του συκωτιού στα ψάρια (Torstensen *et al.* 2009).

Τα φυτικά έλαια περιέχουν αυξημένη αναλογία Λινολειακού οξέος (LA) /α-λινολενικού οξέος (ALA), εκτός από το λινέλαιο που έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε α-λινολενικό οξύ (ALA: 18:3ω-3). Σημαντικό ρόλο κατά την αντικατάσταση του ιχθυελαίου με φυτικά έλαια παίζουν οι λόγοι ω-3/ω-6 και εικοσαπεντανοϊκό οξύ / Δοκοσαεξανοϊκό οξύ / Αραχιδονικό οξύ (EPA/DHA/AA).

Φυτικά έλαια πλούσια σε ω-6 προκαλούν καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος, αύξηση του λίπους στο ήπαρ και τελική υποβάθμιση του προϊόντος σε αντίθεση με τα φυτικά έλαια που είναι πλούσια σε ω-3 και αυξάνουν το stress των ψαριών.

8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάστηκε η επίδραση του ρόλου των λιπαρών οξέων στη διατροφή των γεννητόρων των διακοσμητικών ψαριών. Τα συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- Τα λιπαρά οξέα παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή των ψαριών μια και συμβάλλουν στην ταχύτερη ανάπτυξη του ψαριού αλλά και στην επιτάχυνση της αναπαραγωγικής διαδικασίας τους, ενισχύοντας παράλληλα το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών.
- Το αραχιδονικό οξύ (AA) σε απαιτήσεις παρουσιάζεται από διάφορες μελέτες να είναι σε αυξημένα επίπεδα στην εκτροφή του ιαπωνικού χελιού επιτυγχάνοντας ανάπτυξη που κυμαίνεται από 0.69-0.71% .
- Το αραχιδονικό οξύ καθώς και άλλα απαραίτητα λιπαρά οξέα ιδίως κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης του ψαριού και συνεπώς δεν θα πρέπει να απουσιάζει από το σιτηρέσιο.
- Σε γενικές γραμμές τα ψάρια του γλυκού νερού έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα παράγοντας το λιλολενικό οξύ από το αραχιδονικό και λινολεικό οξύ.
- Οι απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα των ψαριών του γλυκού νερού έχουν ταξινομηθεί και διαφοροποιηθεί σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με το είδος του ψαριού που εκτρέφεται, δηλαδή διαφορετικές απαιτήσεις έχει η πέστροφα που είναι ψυχρόφιλο είδος σε σχέση με τα θερμόφιλα είδη όπως η τιλάπια και κυπρίνος.

9. Abstract

Nutrition of ornamental fish is based on extrapolation of results derived from food fishes under intensive farming conditions. Some research on nutrient (protein, minerals) requirements of growing freshwater ornamental species (live-bearers) in a production environment has been conducted, with emphasis on the provision of live feed during the early stages of the life cycle. Protein requirements varied from around 30% dietary protein for growing omnivorous goldfish (*Carassius auratus*) to 50% for the carnivorous discus (*Symphysodon aequifasciata*).

Requirements for fatty acids have been conducted mainly on marine ornamentals (damselfish, seahorses), and accentuated the need for dietary supplementation of *n*-3 highly unsaturated fatty acids. Fish kept in public and home aquaria presents the problem of diversity of species in the same enclosure, each with its own specific requirements and needs. Maintenance energy levels of ornamental fish varied from 0.068 kJ per day for small neon tetras (*Paracheirodon innesi*) to 0.51 kJ per day for moonlight gouramis (*Trichogaster microlepis*) kept at a water temperature of 26 °C. Research on nutrient requirements of ornamental fish urges for suitable measurements other than only growth rate in order to determine optimal dietary inclusion levels.

Key words: Nutrition, Nutrition requirements in ornamental fishes, fat, fatty acids.

10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α) Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Bell & Sargent (2003). Arachidonic acid reduces the stress response of gilthead seabream *Sparus aurata* L. *The Journal of Experimental Biology* 207, 3419-3430 Published by The Company of Biologists 2004 doi:10.1242/jeb.01166
- Ahlgren *et al.* (1992). *Lipids in Freshwater Ecosystems*. Springer.pp.365.
- Aki *et al.* (2001) Acute Kidney Injury Recognition and Management: A Review of the Literature and Current Evidence. *Glob J Health Sci.* 2016 May; 8(5): 120–124.
- Bell *et al.* (1985 α,β) Peptide Growth Factors and Their Receptors I: Part 1 and 2. Sporn & Roberts Editors. Springer-Verlag.pp.37-60.
- Bell, J. G., D. R. Tocher and J. R. Sargent. (1994). Effects of supplementation with 20:3n-6, 20:4n-6 and 20:5n-3 on the production of the prostaglandins E and F of the 1-, 2- and 3- series in turbot, *Scophthalmus maximus* brain astroglial cells in primary culture. *Biochim. Biophys. Acta* 1211: 335-342.
- Bettelheim, F.A., Brown, W.H., Campbell, M.K, Farrell S.O. (2010). *Introduction to Organic and Biochemistry (7th Ed.)*. United Kingdom: Cengage Learning.
- Black *et al.* (1983a,b). INTERNATIONAL REVIEW OF CYTOLOGY, Τόμος 110.pp 110.Editors.
- Castell *et al.* (1972) Effects of Dietary Arachidonic Acid (20:4n-6) Levels on Growth Performance and Fatty Acid Composition of Juvenile Eel, *Anguilla japonica*. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* Vol. 23, No. 4 : 508 - 514 April 2010
- Chamberlain (2011). [Fish meal and fish oil—the facts, figures, trends, and IFFO’s responsible supply standard](#) .pp.23-45
- FAO (2007) FISH FEED TECHNOLOGY, Lectures presented at the FAO/UNDP Training Course in Fish Feed Technology, held at the College of Fisheries, University of Washington, Seattle, 9 October -15 December..
- Halver.J.E. (1989). *Fish Nutrition*, J.E., 2nd edition, Academic Press, 1989.pp.365
- Harris *et al.* (2003) Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*.19;106(21):2747-57.

- Karapanagiotidis IT, Bell MV, Little DC, Yakupitiyage A, Rakshit SK (2006) Polyunsaturated fatty acid content of wild and farmed tilapias in Thailand: Effect of aquaculture practices and implications for human nutrition. *J Agr Food Chem* 54, 4304-4310
- Karapanagiotidis IT, Bell MV, Little DC, Yakupitiyage A (2007) Replacement of dietary fish oils by alpha-linolenic acid-rich oils lowers omega 3 content in tilapia flesh. *Lipids* 42, 547-559
- Lie et al. (2007)
- Nelson & Shore (1974) Influence of dietary fatty acids on the lipid composition of lipoproteins in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) *Fish Physiology and Biochemistry*, 12: (3): 249–260.
- Olsen & Ringo (1997). Lipid digestibility in fish: a review. *Recent Res. Dev. Lipid Res.*, 1:199-265.
- Patton *et al.* (1975). Nutritive value of crab meal for young ruminating calves. *J. Dairy Sci.*, 58: 404-409.
- Sarget *et al.* (2002) Tuna Nutrition and Feeds: Current Status and Future Perspectives. *Reviews in Fisheries Science* 17(3): 275-291.
- Saxena & Zandee (1971) Biosynthesis of lipids and fatty acids in skin and body of a fresh water carp, "*Scardinius erythrophthalmus*" L., after the injection of (1-14 C) sodium acetate. *Arch Int Physiol Biochim.*;79(3):499-510.
- Simopoulos (2001) The Mediterranean diets: What is so special about the diet of Greece? The scientific evidence. *J Nutr.* 2001 Nov;131(11 Suppl):306S-73S.
- Simopoulos AP (1999) Essential fatty acids in health and chronic disease. *Am J Clin Nutr* 70, S560-S569.
- Sinclair *et al.* (2002). Dynamics of threatened goldenseal populations and implications for recovery. *Biological Conservation* 123: 355–360
- Tacon & Metian (2008) Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285: 146–158.
- Tacon *et al.* (2006) Fisheries Circular Number 1018. Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development trends and policy implications. pp.110.
- Tocher (2003). Metabolism and functions of Lipids and fatty acids in Teleost fishes. *Reviews in Fisheries Science*, 11(2):107-184.

Tocher DR, Agaba M, Hastings N, Bell JG, Dick JR, Teale AJ (2002) Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiol Biochem* 24, 309-320

Torstensen *et al.* (2009). Replacing dietary fish oil with increasing levels of rapeseed oil and olive oil - effects on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) tissue and lipoprotein lipid composition and lipogenic enzyme activities. *Aquaculture Nutrition*, 10:175-192. doi: 10.1111/j.1365-2095.2004.00289.x

B) Ελληνική βιβλιογραφία

Βλάχος Ν. 2010. Καλλιέργειες διακοσμητικών ψαριών. ΕΚΔΟΣΕΙΣ Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, εκπαιδευτικές σημειώσεις σελ.253.

Καραπαναγιωτίδης, Ι. (2011). Λιπίδια Κεφ.5. Μεντέ Ε & Νέγκας Ι. (2011) Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψης και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών. Εκδόσεις Παπαζήση, σελ165-234.

Μεντέ & Νέγκας (2011). Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψης και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών. Εκδόσεις Παπαζήση, σελ165-234.

Παπουτσόγλου, Σ. (2008). Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Σταμούλη σελ 1-976.

Παρπούρα (1993). Μελέτη της επίδρασης διαφορετικών λιπών στη διατροφή του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*). Διπλωματική εργασία Πανεπιστήμιο Αθηνών.