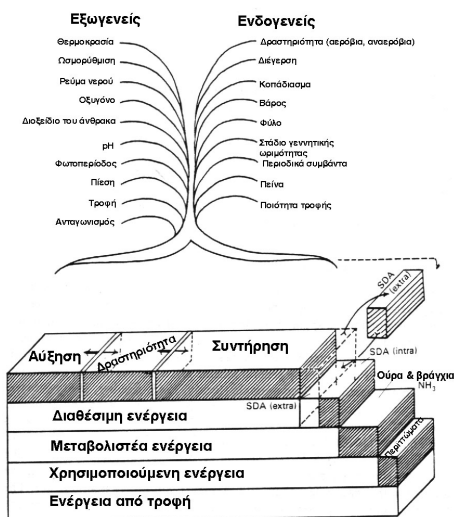


Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΧΘΥΟΚΟΜΙΑΣ - ΑΛΙΕΙΑΣ
4^Ο ΕΞΑΜΗΝΟ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΙΧΘΥΩΝ



Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ Ν. ΧΩΤΟΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής

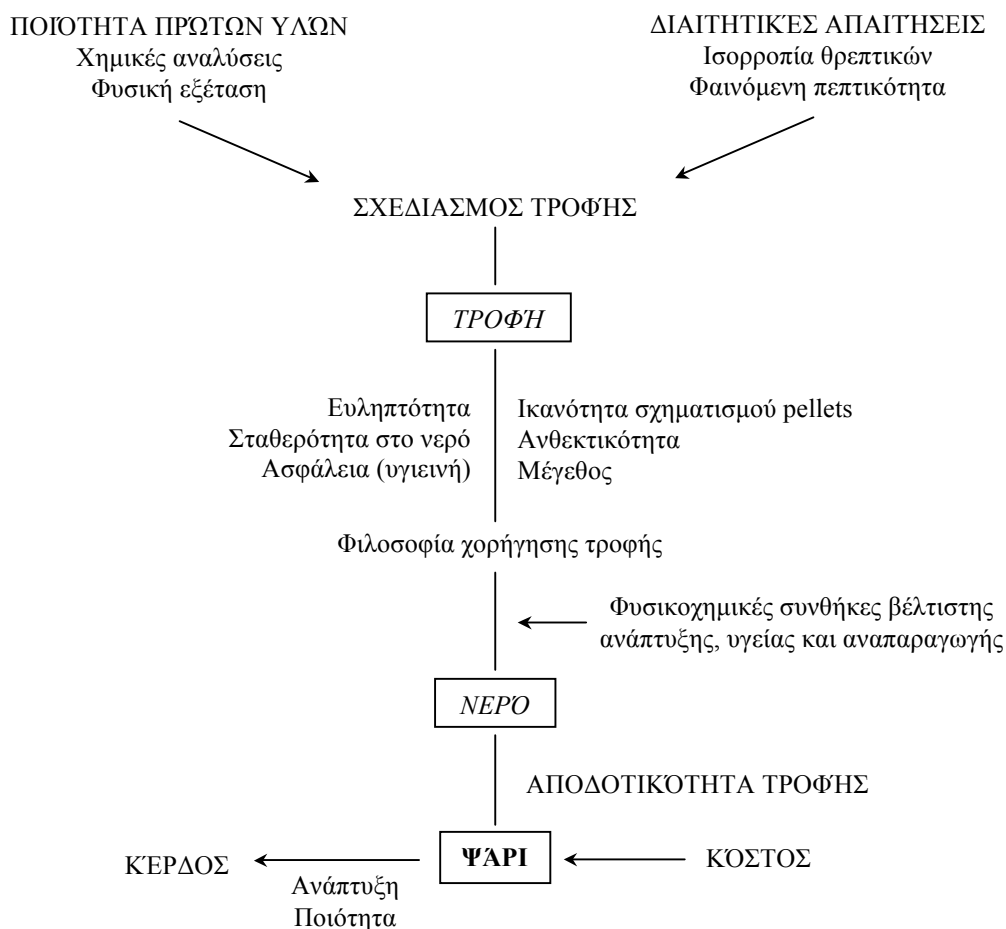
ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2001

ΓΕΝΙΚΑ

Η ανάγκη συνεχών βελτιώσεων στη θρεπτική σύσταση και στην τεχνολογία των τροφών επιβάλλεται από την ανάγκη για συνεχή βελτίωση της αποδοτικότητας των ιχθυοκαλλιεργειών. Για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των ιχθυοτροφών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι διαιτητικές απαιτήσεις των ψαριών σε ενέργεια, πρωτεΐνες, λίπη, βιταμίνες και μέταλλα όσο και η διαθεσιμότητα των υλικών, το κόστος, η πεπτικότητα τους, καθώς και φύση και η συνεχής τροφοδοσίας τους. Σε μια αποδοτική ιχθυοκαλλιέργεια είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός καλά ισορροπημένων τροφών και η σωστή χορήγησή τους. Μόνο έτσι τα ψάρια θα είναι υγιή και θα παρουσιάζουν υψηλό ρυθμό ανάπτυξης, με την προϋπόθεση βέβαια και την ύπαρξη σωστών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών.

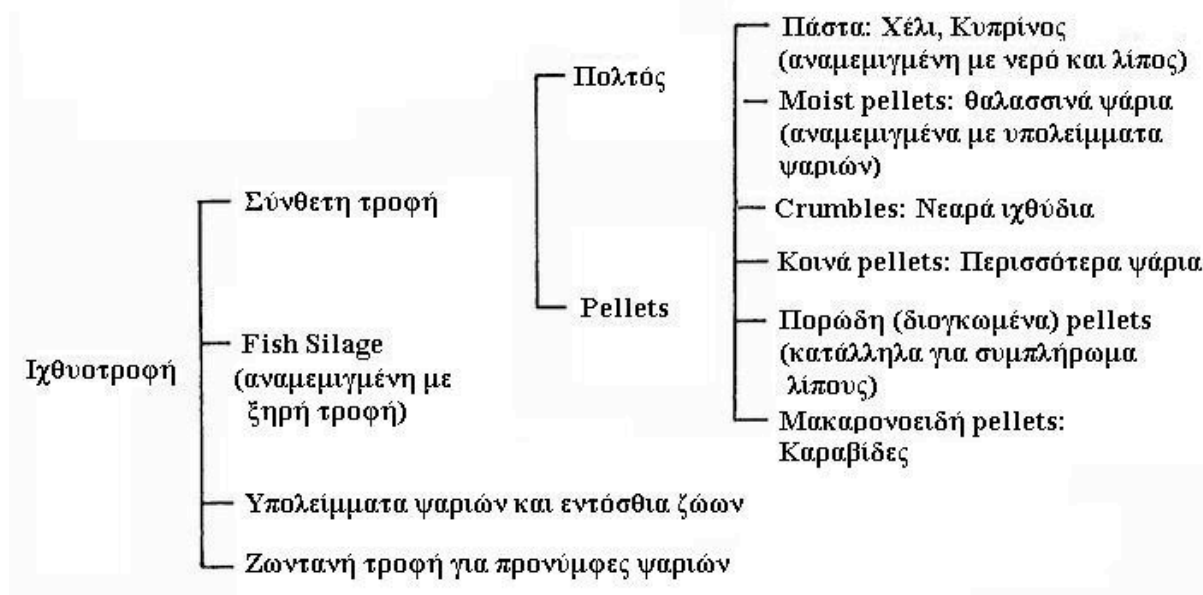
Στο Σχήμα 1 απεικονίζονται οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τον επιτυχή σχεδιασμό τροφών και την ανάπτυξη ενός διατροφικού προγράμματος για τα καλλιεργούμενα ψάρια. Οι ασθένειες στα ψάρια μπορούν να εμφανισθούν αν δίδονται ανεπαρκείς από θρεπτικής απόψεως τροφές. Οι ισορροπημένες ιχθυοτροφές που περιέχουν όλα τα απαραίτητα συστατικά βοηθούν το ψάρι να αναρρώσει και από ασθένειες ή να ξεπεράσει πιθανό stress.

Η ανάπτυξη των ψαριών (παραγωγικότητα) και η μετατρεψιμότητα τροφής επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από διάφορους παράγοντες όπως η ποιότητα τροφής, η πρόσληψη τροφής και η θερμοκρασία νερού. Αυτοί οι παράγοντες προφανώς επηρεάζουν τις διαιτητικές απαιτήσεις και τα επίπεδα των θρεπτικών συστατικών. Οι κύριοι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την πρόσληψη τροφής που είναι οργανοληπτικά αποδεκτή από το ψάρι, είναι η θερμοκρασία του νερού και το ενεργειακό περιεχόμενο της τροφής. Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει το ρυθμό μεταβολισμού των ψαριών και την κατανάλωση ενέργειας (λόγω του ότι είναι ποικιλόθερμα ή άλλως εκτόθερμα), καθώς και τις απαιτήσεις πρωτίστως σε πρωτεΐνη.



Σχήμα 1. Διατροφή και υδατοκαλλιέργεια ψαριών (ληφθέν από Ζερβό & Κουράκου, 2001).

Σήμερα είναι διαθέσιμοι πολλοί τύποι ιχθυοτροφών, που διαφέρουν ως προς τη μέθοδο μορφοποίησής τους (pelleting, extruded), το ποσοστό υγρασίας τους (wet, moist, dry) και τη συμπεριφορά τους στο νερό (επιπλέουσες, αιωρούμενες, βυθιζόμενες) (Σχήματα 2 & 3).



Σχήμα 2. Τύποι ιχθυοτροφών (από WATANABE 1988, ληφθέν από Ζερβό & Κουράκου, 2001).



Σχήμα 3. Χημική σύσταση των ιχθυοτροφών (από WATANABE 1988, ληφθέν από Ζερβό & Κουράκου, 2001).

Οι ξηρές πελλετοποιημένες υπό ατμό (steam-pelleted dry) τροφές πλεονεκτούν απέναντι στις υγρές τροφές (moist pelleted feeds) επειδή οι τελευταίες περιέχουν μεγάλη ποσότητα υγρασίας που γρήγορα τις υποβαθμίζει εκτός και αν διατηρηθούν σε κατάψυξη μέχρι τη χορήγησή τους. Επίσης οι δεύτερες παρουσιάζουν δυσκολίες όσον αφορά την τακτική προμήθεια φρέσκων ωμών υλικών και ωμών ψαριών, καθώς επίσης και όσον αφορά τον κίνδυνο μόλυνσης από παθογόνους μικροοργανισμούς. Επίσης, και αυτό ισχύει για κάθε τύπο τροφών, η ακατάλληλη μεταφορά και αποθήκευση μειώνει τη σταθερότητα

κάποιων βιταμινών και λιπών, ενώ μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη μυκήτων και βακτηρίων στην τροφή. Όταν όμως υπάρχει άφθονη διαθεσιμότητα υγρών τροφών όπως συμβαίνει στις παράκτιες περιοχές όπου τα φρέσκα ωμά ψάρια και τα παραπροϊόντα τους διατίθενται σε χαμηλές τιμές, τότε υπάρχουν ορισμένα πλεονεκτήματα στη χρησιμοποίησή τους. Για παράδειγμα στην Ιαπωνία και για τη θρέψη του μαγιάτικου (*Seriola quinqueradiata*) το οποίο δεν δέχεται ξηρή τροφή (dry pellets) οι υγρές τροφές είναι η λύση.

Από την άλλη πλευρά, η ξηρή τροφή (dry pellets) είναι πιο εύκολο να επεξεργαστεί, να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί, ενώ η χρησιμοποίηση ξηρών συστατικών εξυπηρετεί τον πιο ακριβή και εύκολο σχεδιασμό τροφών. Τα περισσότερα από τα θρεπτικά συστατικά των ξηρών τροφών, συμπεριλαμβανομένων των βιταμινών και των λιπών που γενικά σταθεροποιούνται με αντιοξειδωτικά, μπορούν να αποθηκευτούν με ασφάλεια σε θερμοκρασία δωματίου. Η χορήγηση των ξηρών pellets είτε με το χέρι, είτε με αυτόματες ταΐστρες, είναι πολύ πιο απλή και πιο εύκολη απ' ό,τι αυτή των υγρών (moist) pellets.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΤΡΟΦΗ (Ζερβός & Κουράκου, 2001)

Η ανάπτυξη των ζώων συνήθως ορίζεται ως «σχετική αύξηση της μάζας του σώματος σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα με έναν τρόπο χαρακτηριστικό των ειδών». Αυτός ο απλός ορισμός δηλώνει ότι ο ρυθμός ανάπτυξης είναι χαρακτηριστικό για κάθε είδος και τα στάδια ανάπτυξής του. Η μέγιστη ανάπτυξη, όσον αφορά την αύξηση βάρους και μεγέθους, καθορίζεται από την διατροφή και από ένα βέλτιστο διαιτητικό πρόγραμμα. Η πραγματική ανάπτυξη αφορά την αύξηση των δομικών ιστών, όπως είναι οι μύες και τα κόκαλα, καθώς και των οργάνων. Έτσι, η ανάπτυξη χαρακτηρίζεται πρωταρχικά από μία αύξηση στην πρωτεΐνη, τα μέταλλα και το νερό. Θρεπτικά συστατικά (όπως τα λίπη και οι υδατάνθρακες) τα οποία παρέχουν ενέργεια είναι σημαντικά για την υποστήριξη των διαδικασιών ανάπτυξης, ενώ απαραίτητη είναι και η επαρκής χορήγηση βιταμινών. Η κανονική ανάπτυξη είναι λίγο δύσκολο να οριστεί, αλλά συνήθως εκφράζει την κατάσταση της παραγωγικής απόδοσης μίας διαιτητικά υγιούς ανάπτυξης, η οποία ποικίλει ανάλογα με το είδος και την ηλικία. Γι' αυτό το λόγο, ένα πρότυπο πρόγραμμα διατροφής για κανονική ή βέλτιστη ανάπτυξη πρέπει να είναι διαφορετικό για κάθε είδος ψαριού και να περιλαμβάνει μία σειρά από

τιμές/επίπεδα που θα ανταποκρίνονται στις διαφορετικές ηλικίες και σωματικά βάρη, τα οποία και χαρακτηρίζουν την κάθε περίοδο ανάπτυξης.

Η ανάπτυξη των ψαριών, η μετατρεψιμότητα τροφής και η σύνθεση του σώματος επηρεάζονται γενικά από το είδος, τα γενετικά χαρακτηριστικά, το φύλο, το στάδιο αναπαραγωγής κ.α., οδηγώντας σε διαφορετικές θρεπτικές απαιτήσεις. Η ανάπτυξη επηρεάζεται επίσης σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των τροφών, όσον αφορά την περιεκτικότητά τους σε ενέργεια και θρεπτικά συστατικά, την βιοδιαθεσιμότητα κάθε συστατικού κ.α. και από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία του νερού, η περιεκτικότητά του σε οξυγόνο, ο ρυθμός ανανέωσής του κ.τ.λ. Η ολική απαίτηση σε ένα δεδομένο θρεπτικό συστατικό κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης πρέπει να περιλαμβάνει την ποσότητα που χρειάζεται για τη συντήρηση καθώς επίσης και εκείνη που απαιτείται για το σχηματισμό νέων ιστών, οπότε οι τιμές που αναφέρονται στα προγράμματα διατροφής αντιπροσωπεύουν αυτό το συνδυασμό απαιτήσεων. Γενικά, πέρα από τις ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη, η απαίτηση σε ενέργεια είναι η μεγαλύτερη και αυτή που κυρίως καθορίζει την ολική ποσότητα τροφής που θα χορηγηθεί.

Έτσι, όλοι οι τύποι τεχνητών ιχθυοτροφών πρέπει να ικανοποιούν τις διαιτητικές απαιτήσεις των καλλιεργούμενων ειδών όσον αφορά την πρωτεΐνη [απαραίτητα αμινοξέα: EAA (**Essential Amino Acids**)], τα λίπη [απαραίτητα λιπαρά οξέα: EFA (**Essential Fatty Acids**)], την ενέργεια, τις βιταμίνες και τα μέταλλα. Η ποιότητα της τροφής εν τέλει εξαρτάται από το επίπεδο των διαθέσιμων για το ψάρι θρεπτικών συστατικών. Η θρεπτική αξία της τροφής είναι παρ' όλα αυτά δύσκολο να καθοριστεί εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων οι οποίες πραγματοποιούνται μεταξύ των διάφορων θρεπτικών συστατικών κατά τη διάρκεια και μετά την πέψη και την απορρόφηση.

Η θρεπτική αξία των τροφών εξαρτάται από τα επίπεδα των διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών τα οποία έχουν αποδειχθεί ότι χρειάζονται στα ψάρια. Αυτή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ενεργειακή αξία της τροφής επειδή τα ψάρια ρυθμίζουν την πρόσληψη τροφής ανάλογα με τις ανάγκες τους σε ενέργεια. Έτσι, η πραγματική πρόσληψη θρεπτικών ρυθμίζεται από τα διαθέσιμα επίπεδα ενέργειας της τροφής και από τις ενεργειακές απαιτήσεις των ψαριών.

Η αποδοτικότητα των τροφών που σχεδιάζονται με βάση την πεπτή ενέργεια (DE) και τα θρεπτικά συστατικά μπορούν να αξιολογηθούν με τη μέτρηση της αύξησης βάρους, της αποδοτικότητας της τροφής (gr αύξησης/gr τροφής) ή της

μετατρεψιμότητας της τροφής (gr τροφής/gr αύξησης) και της σύνθεσης του σώματος των ψαριών που έλαβαν τις τροφές υπό συγκεκριμένες συνθήκες καλλιέργειας. Η αποδοτικότητα κάθε συστατικού της τροφής μπορεί να αξιολογηθεί σύμφωνα με τα εξής βήματα:

1. Ανάλυση της σύστασης των συστατικών.
2. Μέτρηση της πεπτικότητας των συστατικών της τροφής.
3. Σχεδιασμός και επανασχεδιασμός ισορροπημένων τροφών (συνδυασμός διαφόρων συστατικών και αντικατάστασή τους από άλλα συστατικά).
4. Παρατήρηση των επιπέδων παραγωγικότητας που μπορούν να υποστηρίξουν αυτές οι τροφές.
5. Μέτρηση της πρόσληψης τροφής και αύξησης βάρους και υπολογισμός της αποδοτικότητας τροφής (feed efficiency).
6. Υπολογισμός της ενέργειας και της αποδοτικότητας κατακράτησης των θρεπτικών NRE (**N**utrient **R**etention **E**fficiencies) αναλύοντας τη σύσταση του σώματος των ψαριών.

Το NRE μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{NRE} = \frac{\text{Αύξηση θρεπτικών συστατικών στο σώμα}}{\text{Πρόσληψη θρεπτικών συστατικών} \times \text{Πεπτικότητα θρεπτικών συστατικών}}$$

ΒΑΣΙΚΕΣ ΘΡΕΠΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ - ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΚΑΙ ΑΜΙΝΟΞΕΑ

Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες συγκαταλέγονται ανάμεσα στα πλέον σημαντικά συστατικά μέρη όλων των ζωντανών κυττάρων και με την εξαίρεση του νερού αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό στο ζωικό σώμα. Το σώμα ενός ψαριού περιέχει κατά μέσο όρο 75% νερό, 16% πρωτεΐνες, 6% λιπίδια και 3% στάχτη. Οι πρωτεΐνες αποτελούν βασικά συστατικά μέρη του πυρήνα του κυττάρου και του κυτταρικού πρωτοπλάσματος και είναι υπεύθυνες για τον όγκο των ιστών των μυών, των εσωτερικών οργάνων, του εγκεφάλου, των νεύρων και του δέρματος.

Σύνθεση

Οι πρωτεΐνες είναι σύνθετες μακρομοριακές οργανικές ενώσεις, υψηλού μοριακού βάρους. Μαζί με τους υδατάνθρακες και τα λιπίδια περιέχουν άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και οξυγόνο (O), αλλά περιέχουν επιπρόσθετα περίπου 16% άζωτο (διακύμανση N: 12-19%) και ορισμένες φορές φώσφορο (P) και θείο (S). Βασική μονάδα των πρωτεϊνών είναι τα αμινοξέα $\text{H}_2\text{N}-\text{C}(\text{HR})-\text{COOH}$, τα οποία

συνενώνονται και σχηματίζουν την αλυσίδα της πρωτεΐνης. Με τη διαδικασία της πέψης ή υδρόλυσης οι πρωτεΐνες διασπώνται σε πεπτίδια που αποτελούνται από μικρότερες αλυσίδες αμινοξέων και αυτά σε απλά αμινοξέα (καταβολισμός). Τα αμινοξέα αυτά χρησιμοποιούνται κατόπιν για την κατασκευή νέων πρωτεϊνών στον οργανισμό (αναβολισμός).

Δομή των πρωτεϊνών

Οι πρωτεΐνες διαφέρουν από άλλα, σημαντικά από βιολογική άποψη, μακρομόρια, όπως είναι οι υδατάνθρακες και τα λιπίδια στη βασική τους δομή. Για παράδειγμα, σε αντίθεση με την βασική δομή των υδατανθράκων και των λιπιδίων, που συχνά συνίσταται από ταυτόσημες ή εξαιρετικά παρόμοιες επαναληπτικές μονάδες (μ' άλλα λόγια, η επαναληπτική μονάδα της γλυκόζης μέσα στο άμυλο, το γλυκογόνο και την κυτταρίνη), οι πρωτεΐνες μπορεί να έχουν έως και είκοσι διαφορετικές βασικές μονάδες (αμινοξέα). Προκύπτει ως εκ τούτου ότι είναι πιθανές μεγαλύτερες μεταβλητότητες και κλίμακες χημικών ενώσεων, όχι μόνο ως προς την σύνθεση αλλά επίσης ως προς τη μορφή της πρωτεΐνης.

Χημικές Ιδιότητες

Οι πρωτεΐνες από τη φύση τους είναι κολλώδεις και ποικίλουν ως προς τη διαλυτότητά τους στο νερό, από τη μη διαλυτή κερατίνη μέχρι τις υψηλής διαλυτότητας λευκωματίνες. Όλες οι πρωτεΐνες μπορούν να «μετουσιωθούν» (καταστραφούν) από τη ζέστη, τα ισχυρά οξέα, τις αλκαλικές ουσίες, την αλκοόλη, την ακετόνη (διμεθυλοκετόνη), την ουρία καθώς και από τα βαριά μεταλλικά άλατα. Όταν οι πρωτεΐνες μετουσιώνονται, χάνουν τη χαρακτηριστική τους δομή (όπως, για παράδειγμα, η απενεργοποίηση των ενζύμων από την υψηλή θερμοκρασία).

Κατηγορίες πρωτεϊνών

Διακρίνουμε τρεις κύριες ομάδες πρωτεϊνών, σύμφωνα με τη μορφή, τη διαλυτότητα και τη χημική τους σύνθεσή:

α. Ινώδεις πρωτεΐνες: Μη διαλυτές ζωικές πρωτεΐνες, που υφίστανται ως προεκτεταμένες νηματώδεις αλυσίδες και γενικά είναι πολύ ανθεκτικές στην πεπτική ενζυμική διάσπαση. Στις ινώδεις πρωτεΐνες συμπεριλαμβάνονται τα κολλαγόνα (η βασική πρωτεΐνη του συνεκτικού ιστού), η ελαστίνη (που απαντάται στους ελαστικούς ιστούς, όπως οι αρτηρίες και οι τένοντες) και η κερατίνη, που είναι παρούσα στα μαλλιά, τα νύχια, το ζωικό μαλλί και στις οπλές των θηλαστικών.

β. Σφαιροειδείς πρωτεΐνες: Σ' αυτές συμπεριλαμβάνονται όλα τα ένζυμα, τα αντιγόνα και οι ορμονικές πρωτεΐνες. Οι σφαιροειδείς πρωτεΐνες μπορούν να υποδιαιρεθούν ακόμα περισσότερο σε λευκωματίνες (διαλυτές στο νερό, πρωτεΐνες που συμπηγνύονται στη ζέστη και οι οποίες υπάρχουν στα αυγά, στο γάλα, στο αίμα και σε πολλά φυτά). Επίσης, οι σφαιρίνες (που είναι μη διαλυτές ή σπάνια διαλυτές στο νερό και οι οποίες βρίσκονται επίσης στα αυγά, το γάλα και το αίμα. Εξυπηρετούν, δε, ως το κύριο πρωτεϊνικό απόθεμα στα φυτά). Και, τέλος, οι ιστόνες (βασικές πρωτεΐνες χαμηλού μοριακού βάρους, διαλυτές στο νερό, που υπάρχουν στον πυρήνα του κυττάρου και σχετίζονται με το δυσοξυριβονουκλεονικό οξύ - DNA).

γ. Συζευγμένες πρωτεΐνες: αυτές είναι πρωτεΐνες που παράγουν μη - πρωτεϊνικές ομάδες καθώς και αμινοξέα στην υδρόλυση. Στα παραδείγματα συμπεριλαμβάνονται οι φωσφοπρωτεΐνες (η καζεΐνη του γάλακτος, η φωσβιτίνη του κρόκου του αυγού), οι γλυκοπρωτεΐνες (βλεννογόνες εκκρίσεις), λιποπρωτεΐνες (κυτταρικές μεμβράνες), χρωμοπρωτεΐνες (αιμοσφαιρίνη, αιμοκυανίνη, κυτόχρωμα, φλαβοπρωτεΐνες) και οι νουκλεοπρωτεΐνες (συνδυασμός πρωτεϊνών με νουκλεονικά οξέα, τα οποία εντοπίζονται στον πυρήνα του κυττάρου).

Λειτουργία των πρωτεϊνών

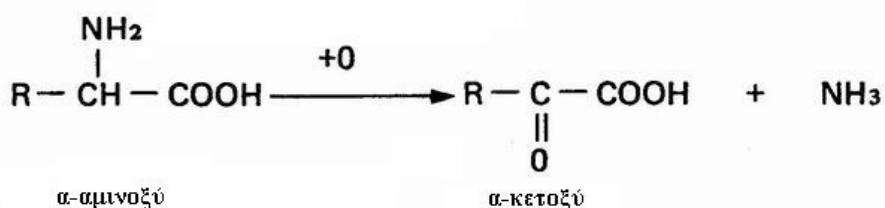
Οι λειτουργίες των πρωτεϊνών σε γενικές γραμμές είναι οι παρακάτω:

- Η αποκατάσταση του φθαρμένου ή εξαντλημένου ιστού (η συντήρηση και αποκατάσταση του ιστού) καθώς και η ανοικοδόμηση νέου ιστού (όπως καινούργιες πρωτεΐνες και η αύξηση του σώματος).
- Η διαιτητική πρωτεΐνη μπορεί να καταβολιστεί για τον σχηματισμό των υδατανθράκων ή λιπιδίων των ιστών.
- Η διαιτητική πρωτεΐνη είναι αναγκαία μέσα στο ζωικό σώμα για τον σχηματισμό των ορμονών, των ενζύμων και μιας μεγάλης ποικιλίας άλλων, βιολογικά σημαντικών ουσιών όπως των αντισωμάτων και τη αιμοσφαιρίνης.

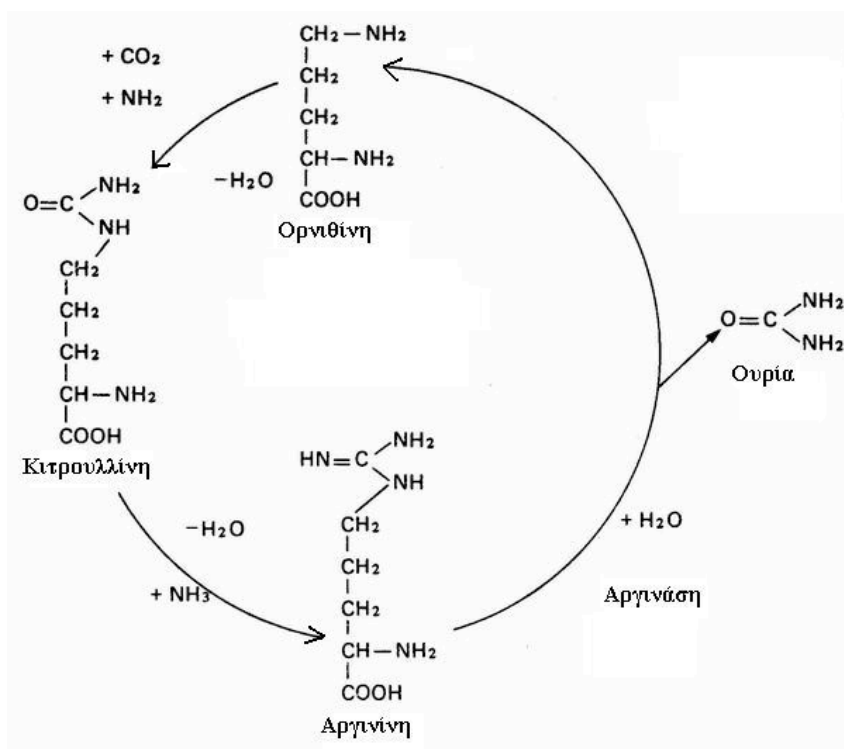
Διάθεση των απορροφούμενων αμινοξέων

Τα προϊόντα της πρωτεϊνικής πέψης περνούν στο αίμα μέσω του εντέρου κυρίως με τη μορφή αμινοξέων. Τα απορροφούμενα αμινοξέα διατίθενται με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

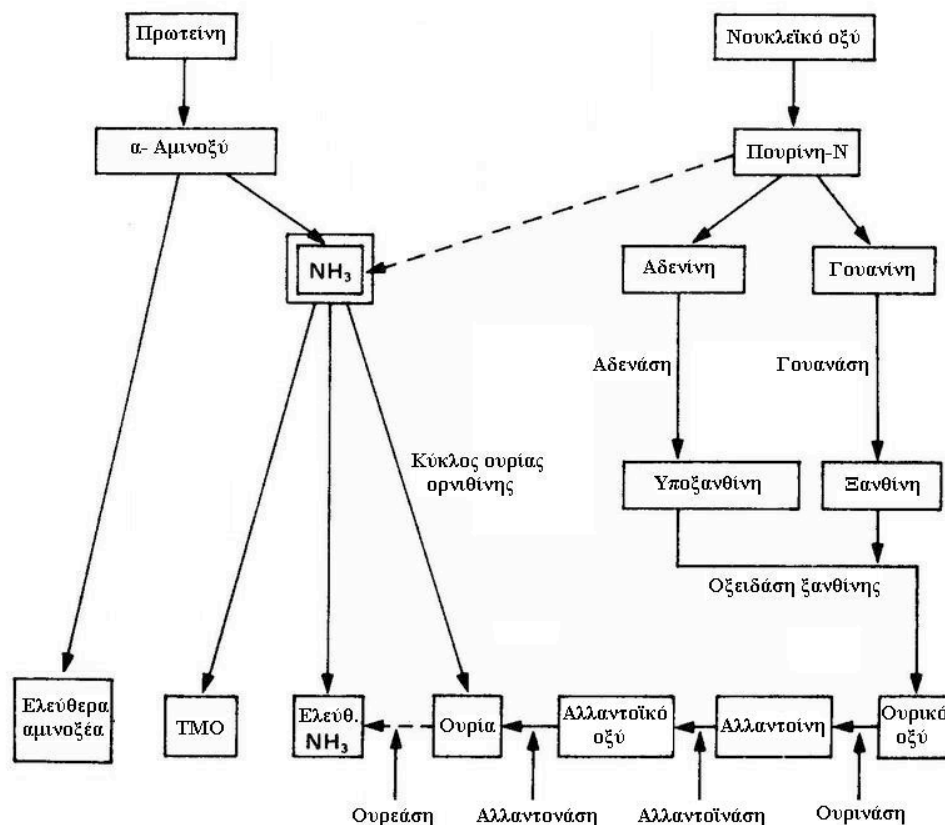
1. Μπορεί να ενσωματωθούν στην «δεξαμενή μεταβολισμού» και να αναμειχθούν με τα ελεύθερα αμινοξέα που προέρχονται από διάφορους ιστούς
2. Τα αμινοξέα στην «δεξαμενή μεταβολισμού» μπορεί να συνθέσουν πρωτεΐνες ιστών και τα αμινοξέα που παράγονται από τις αποσυντιθεμένες πρωτεΐνες ιστών ενσωματώνονται στη δεξαμενή μεταβολισμού.
3. Μπορεί να σχηματίσουν συστατικά ιστών που περιέχουν άζωτο, όπως νουκλεϊκά οξέα, ορμόνες και ένζυμα.
4. Απαμινώνονται, καταλήγοντας σε ανθρακικές αλυσίδες και αμινομάδες κατά την παρακάτω τυπική αντίδραση:



5. Οι ανθρακικές αλυσίδες οξειδώνονται για να παράγουν ενέργεια ή συνθέτουν σάκχαρα και λίπη, ή αντιδρούν ξανά με αμινομάδες σχηματίζοντας αμινοξέα.
6. Οι αμινομάδες που είναι διαχωρισμένες από τα αμινοξέα εκκρίνονται στα ούρα ως αζωτούχες ενώσεις, όπως η ουρία και η αμμωνία (Σχήματα 4 & 5).



Σχήμα 4. Κύκλος ουρίας-ορνιθίνης (από WATANABE 1988, ληφθέν από Ζερβό & Κουράκου, 2001).



Σχήμα 5. Τα κυριότερα τελικά προϊόντα του αζώτου στα ζώα (από WATANABE 1988, ληφθέν από Ζερβό & Κουράκου, 2001).

Πρωτεϊνικές απαιτήσεις

Η μελέτη των διαιτητικών, θρεπτικών απαιτήσεων στα ψάρια και στις γαρίδες έχει σχεδόν εξ' ολοκλήρου βασιστεί σε μελέτες, οι οποίες συγκρίνονται μ' εκείνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε ζώα ξηράς, που εκτρέφονται σε φάρμες. Από το γεγονός αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι σχεδόν όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες, πάνω στις διαιτητικές θρεπτικές απαιτήσεις των ειδών υδροκαλλιέργειας, προέρχονται από δοκιμές τροφοδοσίας, οι οποίες βασίζονται σε εργαστηριακά δεδομένα. Τα ζώα συντηρούνται σ' ένα ελεγχόμενο περιβάλλον, με υψηλή πυκνότητα και δεν έχουν πρόσβαση σε φυσικούς τροφικούς οργανισμούς.

Οι ανάγκες των ψαριών σε πρωτεΐνες ποικίλουν ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του ψαριού, τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού, την ποιότητα της πρωτεΐνης, την ενέργεια που περιέχεται στις υπόλοιπες μη αζωτούχες ενώσεις της τροφής, την κατανάλωση της τροφής, την πυκνότητα εκτροφής και τη διαθεσιμότητα των επιπλέον φυσικών τροφών (Πίνακας 1). Γενικά τα σαρκοφάγα είδη απαιτούν περισσότερο ποσοστό πρωτεΐνης στην τροφή τους συγκριτικά με τα

παμφάγα και φυτοφάγα. Πάντως σε γενικές γραμμές επίπεδα πρωτεΐνης σε ποσοστό 35-45% φαίνεται να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των περισσότερων από τα εκτρεφόμενα είδη.

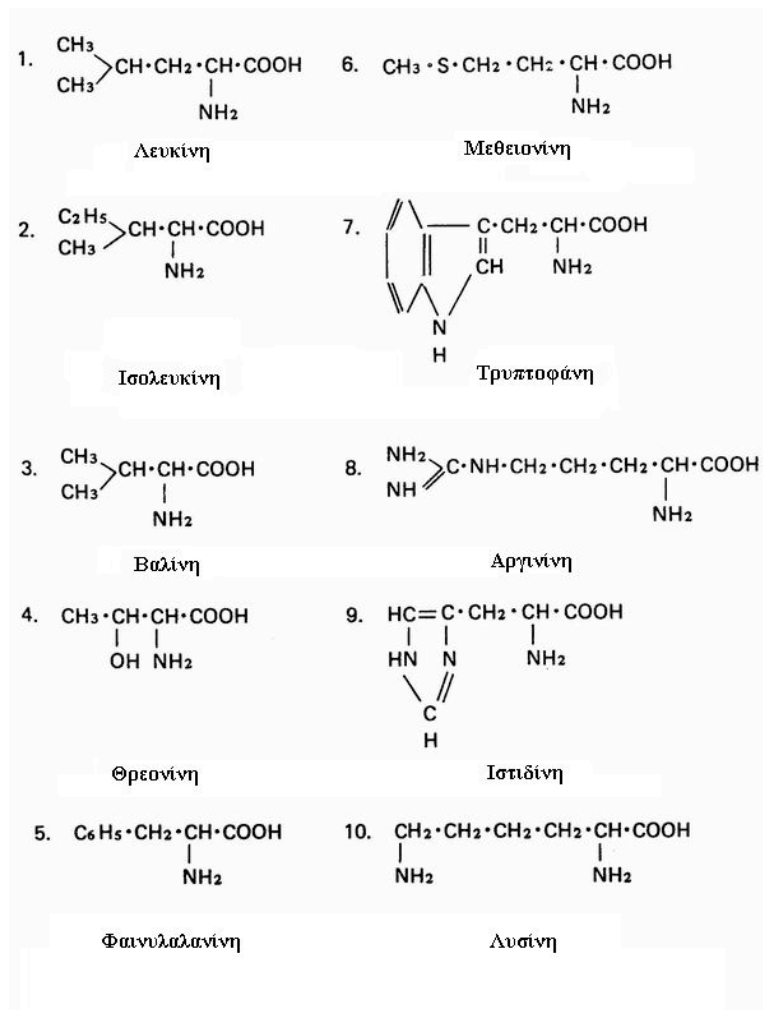
Πίνακας 1. Βέλτιστα επίπεδα διαιτητικής πρωτεΐνης σε ποσοστό της τροφής για μερικά είδη ψαριών.

Είδη ψαριών και γαριδών	Ανάγκες σε επίπεδο πρωτεΐνης (%)
Τσιπούρα (<i>Sparus auratus</i>)	40
Σολομός (<i>Salmo salar</i>)	45
Ιριδίζουσα πέστροφα (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	35 - 45
κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	30 - 38
γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>)	22 - 36
γιαπωνέζικο χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	44,5
<i>Tilapia nilotica</i>	30 - 35
Milkfish (<i>Chanos chanos</i>)	40
Ιαπωνικό φαγκρί (<i>Pagrus major</i>)	45 - 55
μαγιάτικο (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	55
γαρίδα (<i>Penaeus monodon</i>)	28 - 32
καραβίδα Kuruma (<i>Penaeus japonicus</i>)	40 - 60

Αμινοξικές απαιτήσεις

Τα αμινοξέα μπορούν να διαιρεθούν με βάση τη θρεπτική τους αξιολόγηση σε δύο ομάδες: τα απαραίτητα (ή θεμελιώδη) αμινοξέα («ΕΑΑ») και τα μη-απαραίτητα αμινοξέα («ΝΕΑΑ»). Τα «ΕΑΑ» είναι εκείνα τα αμινοξέα που δεν μπορούν να συντεθούν μέσα στο ζωικό σώμα ή σε μια αναλογία επαρκή έτσι ώστε να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις φυσιολογικές ανάγκες του αναπτυσσόμενου ζώου και θα πρέπει, ως εκ τούτου, να παρέχονται σε έτοιμη μορφή για τη δίαιτα (Πίνακας 2). Τα «ΝΕΑΑ» είναι εκείνα τα αμινοξέα που μπορούν να συντεθούν στο σώμα του ζώου από μια κατάλληλη πηγή άνθρακα καθώς και αμινο-ομάδες από άλλα αμινοξέα ή απλές χημικές ενώσεις όπως το διαμμωνικό κιτρικό άλας και, κατά συνέπεια, δεν είναι ανάγκη να παρέχονται σε έτοιμη μορφή για τη δίαιτα.

Τα διαιτητικά ΕΑΑ για τα ψάρια και τις γαρίδες είναι τα παρακάτω:



Αν και τα NEAA δεν είναι απολύτως αναγκαία διαιτητικά θρεπτικά στοιχεία, παρόλ' αυτά εκτελούν πολλές θεμελιώδεις λειτουργίες στο κυτταρικό ή στο μεταβολικό επίπεδο. Μπορούν να οριστούν ως διαιτητικές, μη-θεμελιώδεις θρεπτικές ουσίες μόνο εξαιτίας του γεγονότος ότι οι ιστοί του σώματος μπορούν να τα συνθέσουν κατ' απαίτηση. Στην ουσία, αναφέρεται συχνά ότι τα NEAA είναι από φυσιολογική άποψη τόσο θεμελιώδη ώστε το σώμα διασφαλίζει μια επαρκή ποσότητα μέσω της σύνθεσης. Από την οπτική γωνία της διαμόρφωσης της τροφοδοσίας είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι η κυστίνη και η τυροσίνη των NEAA μπορούν να συντεθούν μέσα στο σώμα από την μεθειονίνη και φαινυλαλανίνη των EAA αντίστοιχα, και ως εκ τούτου, η διαιτητική απαίτηση, γι' αυτά τα EAA, εξαρτάται από την συγκέντρωση των αντίστοιχων NEAA μέσα στα πλαίσια της δίαιτας.

Πίνακας 2. Απαιτήσεις ορισμένων ψαριών σε απαραίτητα αμινοξέα (ποσοστό % πρωτεΐνης), (OGINO 1985, ληφθέν από Ζερβό & Κουράκου, 2001).

ΕΑΑ αμινοξέα	Χέλι	Κυπρίνος	Ιριδίζουσα πέστροφα	Σολομός
Αργινίνη	4,5	4,4	4,0	6,0
Ιστιδίνη	2,1	1,5	1,8	1,8
Ισολευκίνη	4,0	2,6	2,8	2,2
Λευκίνη	5,3	4,8	5,0	3,9
Λυσίνη	5,3	6,0	6,0	5,0
Μεθειονίνη + Κυστεΐνη /2	5,0	2,7	3,3	4,0
Φαινυλαλανίνη +	5,8	5,7	6,0	5,1
Τυροσίνη				
Θρεονίνη	4,0	3,8	4,1	2,2
Τρυπτοφάνη	1,1	0,8	0,6	0,5
Βαλίνη	4,0	3,4	3,6	3,2

Διαιτητική Ανεπάρκεια Θεμελιωδών Αμινοξέων

Αν και όλα τα ψάρια που εξετάστηκαν μέχρι σήμερα παρουσιάζουν μειωμένη ανάπτυξη όταν διατρέφονται με ανεπαρκείς σε ΕΑΑ δίαιτες, παρατηρήθηκαν, υπο πειραματικές συνθήκες με νεαρά ψάρια που τρέφονταν με συνθετικές μερίδες, ανεπαρκείς σε ένα ή περισσότερα ΕΑΑ, τα παρακάτω επιπρόσθετα μακροσκοπικά σημεία ανατομικής ανεπάρκειας:

Περιοριστικά ΕΑΑ	Ψάρι	Συμπτώματα ανεπάρκειας
Λυσίνη	<i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Cyprinus carpio</i>	Διαβρώσεις νωτιαίων/στηθαίων πτερυγίων, αυξημένη θνησιμότητα Αυξημένη θνησιμότητα Καταράκτης Καταράκτης
Μεθειονίνη	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Σκολίωση, λόρδωση, Νεφρική ασβέστωση, καταράκτης, διάβρωση ουραίου πτερυγίου, μειωμένη περιεκτικότητα λιπιδίων στο νεκρό σώμα, υψηλή συγκέντρωση Ca, Mg, Na και K στο νεκρό σώμα
Διάφορα	<i>Oncorhynchus nerka</i> <i>O. keta</i> <i>C. carpio</i>	Σκολίωση Σκολίωση/ λόρδωση Αυξημένη θνησιμότητα και συχνότητα εμφάνισης λόρδωσης, που παρατηρείται με διαιτητικές ανεπάρκειες της λευκίνης, ισολευκίνης, λυσίνης, αργινίνης και ιστιδίνης

Αξιολόγηση της ποιότητας της πρωτεΐνης

Για να αξιολογηθεί η ποιότητα των πρωτεϊνών υπολογίζονται οι παράμετροι των: α) συντελεστής απόδοσης της πρωτεΐνης, β) βιολογική αξία της πρωτεΐνης και γ) καθαρή απόδοση πρωτεΐνης, σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους

1. Συντελεστής απόδοσης πρωτεΐνης (PER)

$$PER = \frac{\text{gr αύξησης βάρους}}{\text{gr χορηγούμενης πρωτεΐνης}}$$

2. Βιολογική αξία (BV)

$$BV = \frac{\text{πραγματικά κατακρατούμενο άζωτο}}{\text{απορροφούμενο άζωτο}} \times 100$$

όπου: I: Προσλαμβανόμενο άζωτο

F: Εκκρινόμενο στα περιττώματα άζωτο

F₀: Μεταβολικό περιττωματικό άζωτο

U: Εκκρινόμενο στα ούρα άζωτο

U₀: Ενδογενές άζωτο

R: Πραγματικά κατακρατούμενο άζωτο

A: Απορροφούμενο άζωτο

τα οποία χρησιμοποιούνται στους τύπους:

$$A = I - (F - F_0), \quad R = A - (U - U_0)$$

$$\text{Έτσι, } BV = \frac{R}{A} \times 100 = \frac{I - (F - F_0) - (U - U_0)}{I - (F - F_0)} \times 100$$

3. Καθαρή απόδοση πρωτεΐνης (NPU)

$$NPU = \frac{\text{πραγματικά κατακρατούμενο άζωτο}}{\text{προσλαμβανόμενο άζωτο}} \times 100$$

$$(NPU = BV \times \frac{\text{πεπτικότητα}}{100})$$

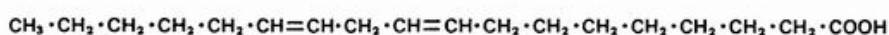
Το NPU συνήθως προσδιορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$NPU = \frac{\text{Αύξηση αζώτου στα ψάρια στα οποία χορηγήθηκε η πειραματική πρωτεϊνούχα τροφή} + \text{Μείωση αζώτου στα ψάρια στα οποία χορηγήθηκε η μη πρωτεϊνούχα τροφή}}{\text{Προσλαμβανόμενο άζωτο από την πειραματική πρωτεϊνούχα τροφή}}$$

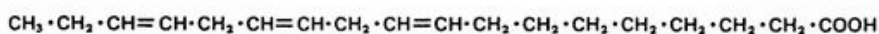
ΛΙΠΙΔΙΑ

Τα λιπίδια είναι μια ετερογενής ομάδα ουσιών που βρίσκονται στους ιστούς φυτών και ζώων και που έχουν από κοινού την ιδιότητα του να είναι σχετικά μη διαλυτά στο νερό και διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες όπως ο αιθέρας το χλωροφόρμιο και και βενζόλιο. Τα λίπη διακρίνονται σε απλά, και σύνθετα. Τα απλά λίπη περιέχουν ουδέτερο λίπος (τριγλυκερίδιο), γλυκεριλικό αιθέρα, παραφίνη (πραγματική παραφίνη, εστέρες χοληστερόλης, εστέρες βιταμίνης A ή D,) κ.τ.λ. Τα φωσφολιπίδια και τα λίπη του νευρικού συστήματος είναι τα βασικά συστατικά των σύνθετων λιπών. Τα παραγόμενα λίπη είναι τα τελικά προϊόντα της

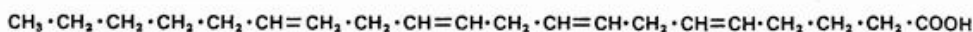
υδρόλυσης των απλών και σύνθετων λιπών και τα λιπαρά οξέα είναι τα βασικά συστατικά τους. Το μόριο των λιπαρών οξέων μπορεί να υπάρχει είτε ως ευθεία αλυσίδα ατόμων άνθρακα είτε ως διακλαδισμένη. Στα μόρια των λιπαρών οξέων μπορούν να υπάρχουν αρκετοί διπλοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων άνθρακα κατάσταση συνήθης στα ψάρια. Στην ονοματολογία των λιπαρών οξέων ο γράμμα ω δείχνει τη θέση του πρώτου διπλού δεσμού ξεκινώντας από το πρώτο μεθυλικό άκρο (CH₃-). Για παράδειγμα 18:3ω3 ή 18:3n3 ή λινολενικό οξύ. Το 18 σημαίνει ότι υπάρχουν 18 άτομα άνθρακα, το 3 μετά το 18 ότι υπάρχουν 3 διπλοί δεσμοί και το 3 μετά το ω (ή n) ότι ο πρώτος διπλός δεσμός βρίσκεται στο 3^ο άτομο άνθρακα της αλυσίδας μετά τη μεθυλομάδα. Το σημείο τήξεως των κεκορεσμένων λιπών είναι πολύ υψηλότερο αυτού των ακόρεστων (μονοακόρεστων ή πολυακόρεστων) με τα πολυακόρεστα (Poly- ή Highly Unsaturated Fatty Acids, PUFA ή HUFA) να παρουσιάζουν το χαμηλότερο σημείο τήξεως. Εξ'αυτού γίνεται κατανοητή η ποιότητα των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων για τους οργανισμούς μια και εκτός των άλλων παραμένουν σε υγρή κατάσταση μέσα στο σώμα του ζώου.



Λινολεϊκό οξύ (18:2ω6)



Λινολενικό οξύ (18:3ω3)



Αραχιδονικό οξύ (20:4ω6)



Εικοσιπενταενοϊκό οξύ (20:5ω3)



Εικοσιδυοεξαενοϊκό οξύ (22:6ω3)

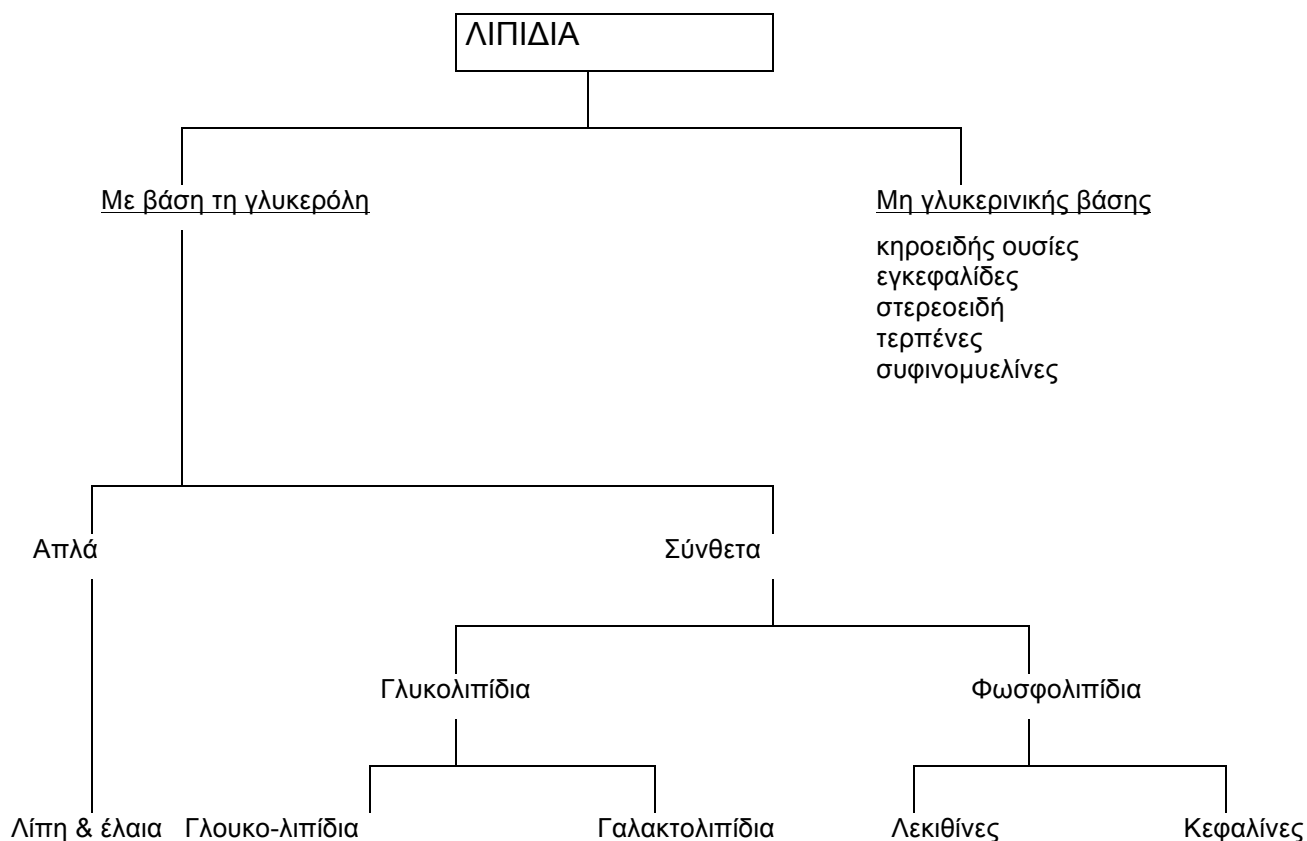


Τα λιπίδια μπορούν να ταξινομηθούν επίσης σε δύο βασικές ομάδες ανάλογα με την παρουσία ή όχι της αλκοόλης γλυκερόλης:

ΚΟΙΝΗ ΣΥΝΤΟΜΗ ΓΡΑΦΗ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ	ΔΟΜΗ	ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΘΕΩΣ (°C)
Saturated fatty acids		
16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63
20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	76.5
24:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	86
Unsaturated fatty acids		
18:1 (n-9)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13.5
18:2 (n-6)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-5
18:3 (n-3)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-11
20:4 (n-6)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	-49.5

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (%) ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΛΙΠΑΡΩΝ ΟΞΕΩΝ (ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ) ΓΙΑ ΕΙΔΗ ΨΑΡΙΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ (ΧΕΛΙ) ΚΑΙ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ (ΠΕΡΚΑ ΚΑΙ ELVERS)

Fatty acid	Perch <i>Perca fluviatilis</i>	Eel <i>Anguilla rostrata</i>	Elver <i>Anguilla rostrata</i>	Capelin <i>Mallotus villosus</i>
18:2 (n-6)	3.5	8.9	1.3	1.4
20:4 (n-6)	11.7	4.4	2.9	Trace
20:5 (n-3)	13.4	2.9	5.0	13.8
22:6 (n-3)	25.0	5.4	18.8	11.3
Saturates	24.9	23.3	29.6	28.7
Monoenes	14.4	40.0	30.3	38.8
PUFA	57.7	30.0	36.4	27.9
(n-3)	45.5	13.6	29.1	26.5
(n-6)	15.2	16.4	7.3	1.4
(n-3)/(n-6)	3.0	0.8	4.0	18.9



Τα λιπίδια είναι σημαντικές πηγές μεταβολικής ενέργειας (ATP). Στην ουσία, τα λιπίδια είναι τα πλέον πλούσια σε ενέργεια από όλες τις κατηγορίες θρεπτικών συστατικών αποδίδοντας μεταβολιζόμενα 9,5 kcal/gr ενώ οι πρωτεΐνες 5,6 kcal/gr και οι υδατάνθρακες 4,1 kcal/gr.

Κατ' αυτή την έννοια τα διαιτητικά λιπίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξοικονομήσουν την πιο πολύτιμη πρωτεΐνη για ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα, τα ελεύθερα λιπαρά οξέα που προέρχονται από τα τριγλυκερίδια (λίπη και έλαια) αποτελούν την σημαντικότερη αεροβιακή πηγή καυσίμου για τον ενεργειακό μεταβολισμό των μυών των ψαριών. Τα λιπίδια είναι θεμελιώδη συστατικά μέρη όλων των κυτταρικών και υποκυτταρικών μεμβρανών (οι κατηγορίες λιπιδίων που εμπλέκονται περιλαμβάνουν το πολυακόρεστο λιπαρό οξύ που περιέχει φωσφολιπίδια και εστέρες στερόλης). Τα λιπίδια επίσης:

- εξυπηρετούν ως βιολογικοί φορείς για την απορρόφηση των λιποδιαλυτών βιταμινών A, D, E και K,
- είναι μια πηγή βασικών λιπαρών οξέων που με τη σειρά τους είναι θεμελιώδη για την συντήρηση και την ακεραιότητα των κυτταρικών μεμβρανών και που απαιτούνται για την βέλτιστη λιπιδιακή μεταφορά (που δεσμεύονται σε φωσφολιπίδια ως γαλακτοματοποιητικά αντιδραστήρια και είναι οι πρόδρομοι των ορμονών πρостаγλανδίνης,
- θεωρούνται ότι παίζουν τον ρόλο του μηχανικού υποστηρίγματος / προστασίας για τα ζωτικά όργανα του σώματος και υποβοηθούν τη διατήρηση της ουδέτερης άνωσης.

Τα λιπίδια αποτελούν πηγή θεμελιωδών στεροειδών που με τη σειρά τους εκτελούν μια μεγάλη ποικιλία σημαντικών βιολογικών λειτουργιών. Με άλλα λόγια η στερόλη χοληστερόλη απασχολείται με τη συντήρηση των μεμβρανικών συστημάτων, για τη λιπιδιακή μεταφορά και ως πρόδρομος της βιταμίνης D₃, των χολικών οξέων και των στεροειδών ορμονών - ανδρογόνων, εστρογόνων, αδρεναλικών ορμονών και των κορτικοστεροειδών.

Από μηχανική και λοιπή άποψη διατροφής, τα λιπίδια δρουν ως λιπαντικά για την διέλευση της τροφής μέσα από κυβοειδείς σβώλους ως ουσίες που μειώνουν το σκόνη των τροφών και συντελούν στην νοστιμιά των τροφών.

Λίπη και έλαια

Στα φυτά και στα ζώα μπορεί να αποθηκευθεί καύσιμη ύλη ή ενέργεια όπως το άμυλο και το γλυκογόνο, αντίστοιχα, αλλά μπορεί επίσης να αποθηκευθεί σε πιο συμπαγή μορφή ως λίπη ή έλαια. Στα φυτά, τα λίπη και τα έλαια σχηματίζονται

από υδατάνθρακες (π.χ. καθώς οριμάζουν οι σπόροι των φυτών η περιεκτικότητα σε άμυλο πέφτει ενώ η περιεκτικότητά τους σε λίπος αυξάνεται). Στα ζώα μπορούν επίσης να σχηματιστούν λίπη από υδατάνθρακες (όπως η πάχυνση ενός γουρουνιού με τροφή που σε μεγάλο βαθμό συντίθεται από υδατάνθρακες). Εν τούτοις, αντίθετα με τα φυτά, τα ζώα μπορούν επίσης να αποθέσουν λίπος στο σώμα τους από λίπος που καταπίνουν. Η μόνη διαφορά ανάμεσα στα λίπη και τα έλαια είναι ότι τα τελευταία είναι υγρά σε θερμοκρασία δωματίου ενώ τα λίπη είναι ημι-στερεά σε θερμοκρασία δωματίου.

Βιοσύνθεση λιπαρών οξέων

Με εξαίρεση τον σαλίγκαρο ξηράς (*Caraea memorialis*) τα ζώα δεν είναι ικανά για σύνθεση de novo λιπαρών οξέων με διπλούς δεσμούς στις θέσεις n-6 (λινολεϊκή σειρά) και n-3 (λινολενική σειρά). Τα φυτά μόνο είναι σε θέση να συνθέτουν de novo αυτά τα λιπαρά οξέα. Εν τούτοις, τα περισσότερα ζώα είναι σε θέση να συνθέτουν ακόμα και λιπαρά οξέα κορεσμένης αλυσίδας από οξικό άλας ή να προσθέτουν δύο μονάδες άνθρακα στην καρβοξυλική άκρη του λιπαρού οξέος και να προσθέτουν περισσότερους διπλούς δεσμούς στην καρβοξυλική πλευρά των υφιστάμενων διπλών δεσμών αλλά όχι στην άκρη μεθυλίου (CASTELL et. al., 1986).

Απαίτηση σε θεμελιώδη λιπαρά οξέα

Λαμβανομένης υπόψη της ανικανότητας των ζώων να συνθέτουν de novo λιπαρά οξέα από τις σειρές n-6 και n-3, αυτά τα λιπαρά οξέα πρέπει να παρέχονται σε έτοιμη μορφή στη δίαιτα. Για τα ζώα ξηράς η λινολεϊκή σειρά (n-6) βρέθηκε να έχει την υψηλότερη δραστηριότητα θεμελιωδών λιπαρών οξέων (Essential Fatty Acids - EFA) με τη λινολενική σειρά (n-3) να έχει μόνο μερική δραστηριότητα EFA. Ως εκ τούτου, προκύπτει, ότι τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) στους ιστούς των ζώων ξηράς ανήκουν στην λινολεϊκή σειρά δηλαδή 18:2 n-6 (λινολεϊκό οξύ) και 20:4 n-6 (Αραχιδονικό οξύ).

Σε αντιπαραβολή, τα PUFA στους ιστούς των γαρίδων και των ψαριών ανήκουν στην λινολενική σειρά (n-3) και αυτό έχει εφαρμογή εξίσου και στα ψάρια θαλάσσης και γλυκού νερού. Η συγκέντρωση των PUFA n-6 στους ιστούς των ψαριών είναι γενικά χαμηλή, αν και αναφέρονται υψηλότερα επίπεδα σε είδη ψαριών γλυκού νερού. Το γεγονός αυτό ίσως δεν προκαλεί έκπληξη εάν κανείς θεωρήσει ότι η δίαιτα των ψαριών γλυκού νερού περιέχει ένα συστατικό μέρος που

προέρχεται από γήινες πηγές και ως εκ τούτου πλούσιες σε λιπαρά οξέα της σειράς n-6. Γενικά πιστεύεται ότι η σειρά n-3 λιπαρών οξέων επιτρέπει ένα μεγαλύτερο βαθμό μη κορεσμού - μία απαίτηση για μεγαλύτερη μεμβρανική ρευστότητα, ευκαμψία και διαπερατότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Στην ουσία, είναι γενικά αποδεκτό ότι η διαιτητική (προτιμησιακή) απαίτηση των ψαριών για την σειρά EFA n-3 σε σχέση με τη σειρά n-6 οφείλεται θεμελιακά στην χαμηλή θερμοκρασία του νερού του υδρόβιου περιβάλλοντός τους (σε σύγκριση με τα θηλαστικά). Πρακτικά, όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού τόσο μεγαλύτερη είναι η ενσωμάτωση της σειράς PUFA n-3 στους ιστούς. Πέρα από τις διαφορές στην περιεκτικότητα των ιστών σε PUFA n-6 των ειδών ψαριών θαλάσσιου και γλυκού νερού, αυτά του γλυκού νερού έχουν επίσης γενικά υψηλότερες συγκεντρώσεις της σειράς PUFA n-3 μικρότερης αλυσίδας στον ιστό τους.

Με την εξαίρεση των αυστηρά σαρκοφάγων ειδών ψαριών, τα ψάρια είναι σε θέση να επιμηκύνουν την αλυσίδα, και επιπλέον να αποκορέσουν 18:2 n-6 ή 18:3 n-3 (ανάλογα με το είδος ψαριού) ως προς το αντίστοιχο υψηλά μη-κορεσμένο λιπαρό οξύ (HUFA): 20:4 n-6 για την περίπτωση της σειράς n-6 και 20:5 n-3 ή 22:6 n-3 στην περίπτωση της σειράς n-3. Γενικά πιστεύεται ότι αυτά τα HUFA είναι υπεύθυνα για τις μεταβολικές ενέργειες - κλειδιά που αποδίδονται στα EFA. Στην ουσία, για τα περισσότερα είδη ψαριών τα HUFA έχουν μεγαλύτερη δραστηριότητα EFA από την αντίστοιχη βασική μονάδα (18:2 n-6 ή 18:3 n-3).

Γενικά, τα ψάρια κρύου γλυκού νερού έχουν μια αποκλειστική απαίτηση για τα PUFA της σειράς n-3 (18:3 n-3, 20:5 n-3, και 22:6 n-3) στη δίαιτά τους, ενώ τα ψάρια θερμού γλυκού νερού έχουν είτε μια απαίτηση και για τις δύο σειρές PUFA n-3 και n-6 (δηλαδή οι κυπρίνοι, τα χέλια και πιθανά τα αμερικάνικα γατόψαρα) ή μόνο για τη σειρά n-6 (Tilapias). Στην περίπτωση των θαλάσσιων σαρκοφάγων ειδών ψαριών (όπως το κόκκινο και το μαύρο φαγκρί θαλάσσης του γένους *Mylio macrocephalus*, τα ψάρια ruffer *Fugu rubripens*, το μαγιάτικο *Seriola quinqueradiata*, το πησσί *Pleuronectes platessa*, η τσιπούρα *Sparus auratus*, ο ρόμβος ο μέγιστος κοινώς καλκάνι *Scophthalmus maximus*), από τη στιγμή που οι τροφικοί οργανισμοί που καταναλώνονται είναι πλούσιοι σε 22:6 n-3 και 20:5 n-3, έχουν χάσει την ικανότητα να επιμηκύνουν την αλυσίδα και να αποκορένουν επιπρόσθετα 18:3 n-3 ως προς τα αντίστοιχα HUFA. Στα θαλάσσια σαρκοφάγα ψάρια πρέπει, όπως προκύπτει από τα παραπάνω, να παρέχεται 22:6 n-3 ή 22:5

n-3 σε έτοιμη μορφή. Η διαιτητική απαίτηση σε EFA των ψαριών εκτίθεται περιληπτικά στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Απαιτήσεις των ψαριών σε απαραίτητα λιπαρά οξέα (EFA) σε ποσοστό % του συνόλου των λιπών της διαίτας (από Ζερβό & Κουράκου, 2001).

Είδη ψαριών	Απαίτηση
Ιριδίζουσα πέστροφα	18:3ω3 1% 18:3ω3 0,8% 18:3ω3 20% των λιπών ω3 HUFA 10% των λιπών
Κυπρίνος	18:2ω6 1% & 18:3ω3 1%
Χέλι	18:2ω6 0,5% & 18:3ω3 0,5%
Chum salmon	18:2ω6 1% & 18:3ω3 1% ω3 HUFA 0.5%
Coho salmon	Tri- 18:3ω3 1-2,5%
Ayu fish	18:3ω3 1% ή 20:5ω3 1%
<i>Tilapia zilli</i>	18:2ω6 1% ή 20:4ω6 1%
<i>Tilapia nilotica</i>	18:2ω6 0.5%
Φαγκρί	ω3 HUFA 0.5% ή 20:5ω3 0,5%
Καλκάνι	ω3 HUFA 0.8%
Μαγιάτικο	ω3 HUFA 2%
Yamame (<i>Oncorhynchus masou</i>)	18:3ω3 1%
<i>Coregonus (Lavaretus maraena)</i>	ω3 HUFA 0.5%

Σε γενικές γραμμές η διαιτητική απαίτηση των ψαριών σε EFA, έχει βρεθεί ότι αυξάνεται με την αύξηση του διαιτητικού επιπέδου λιπιδίων και./ή με την μείωση της θερμοκρασίας του νερού (CASTELL et. al., 1986).

Πάντως σχετικά με την διαιτητική απαίτηση σε EFA των θαλάσσιων γαριδών ή των караβίδων γλυκού νερού δεν υπάρχει καμμία σίγουρη ποσοτική πληροφόρηση για. Το διαθέσιμο πληροφοριακό υλικό, προς το παρόν, βρίσκεται μάλλον στο στάδιο των υποθέσεων παρά των συμπερασμάτων. Εν τούτοις, όπως με τα ψάρια, πιστεύεται ότι τα λιπαρά οξέα της σειράς n-3 έχουν μια υψηλότερη δραστηριότητα σε EFA από την σειρά n-6 λιπαρών οξέων στις γαρίδες και τις караβίδες.

Γενικότερα, τα έλαια των θαλάσσιων ψαριών γαριδών και μαλακίων αποτελούν πλούσιες διαιτητικές πηγές της σειράς EFA n-3. Τα έλαια των οποίων η περιεκτικότητα 20:5 n-3 και 22:6 n-3 συνιστά ποσοστό μεγαλύτερο του 20% του συνόλου των λιπαρών οξέων, τα οποία είναι παρόντα, συμπεριλαμβανομένων του μουρουνέλαιου, του ελαίου ήπατος σουπιάς, του ελαίου του μυδιού κοντού τραχήλου, του ελαίου σαρδέλας, του ελαίου skirjack, του ελαίου κεφαλιού γαρίδας και του ελαίου ήπατος του καλαμαριού.

Σε αντίθεση, τα έλαια των φυτών αποτελούν πλούσιες διαιτητικές πηγές του 18:2 n-6 και περιέχουν λίγα ή καθόλου EFA της σειράς n-3 (με την εξαίρεση του ελαίου του σπόρου σόγιας, του ελαίου του σπόρου του σταφυλιού και ιδιαίτερα του λαδιού του λινόσπορου, του οποίου η περιεκτικότητα 18:3 n-3, μπορεί να υπερβαίνει το 8, 7 και 56% αντίστοιχα του συνόλου των παρόντων λιπαρών οξέων συμπεριλαμβανομένων του ελαίου βαμβακόσπορου, του ελαίου του καλαμποκιού, του ελαίου του ηλιόσπορου και του ελαίου του σπόρου της σόγιας. Τελικά, έχουν ανιχνευθεί ίχνη ποσοτήτων του 20:4 n-6 (0,5 -1,5%) σε έλαια ζώων της ξηράς (λαρδί, ζωικό λίπος), παρασκεύασμα ήπατος, λάδι σολωμού, λάδι ήπατος μέλλαγρου του πολλάχιου, λάδι ήπατος σουπιάς, λάδι μυδιών κοντού τραχήλου, λάδι σαρδέλας, λάδι skirjack, λάδι ήπατος καλαμαριού και λάδι ρέγγας.

Διαιτητική ανεπάρκεια απαραίτητου λιπαρού οξέος

Όλα τα ψάρια και οι γαρίδες που εξετάστηκαν μέχρι σήμερα παρουσιάζουν μειωμένη ανάπτυξη και επιβίωση καθώς και κακής ποιότητας αποτελεσματικότητα τροφικής μετατροπής όταν διατρέφονται με πειραματικές διαιτητικές αγωγές, με ανεπάρκεια σε απαραίτητα λιπαρά οξέα (EFA). Τα παρακάτω επιπρόσθετα συμπτώματα ανεπάρκειας έχουν αναφερθεί κάτω από εργαστηριακές συνθήκες με νεαρά ψάρια ή γαρίδες, που τρέφονταν με διαιτητικές αγωγές ανεπαρκείς σε EFA (Πίνακας 4):

Πίνακας 4. Παθολογική συμπτωματολογία διαφόρων ψαριών με ανεπάρκεια σε Θεμελιώδη Λιπαρά Οξέα (EFA).

Είδη ψαριών / γαρίδας	Συμπτώματα ανεπάρκειας σε EFA
Ιριδίζουσα πέστροφα (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Αυξημένη θνησιμότητα, αυξημένη ευπάθεια σε διάβρωση ουραίου πτερυγίου από το <i>Flexibacterium</i> , λιποθυμία ή σύνδρομο σόκ, μειωμένη αιμοσφαιρίνη και όγκος κυττάρων αίματος, λιπώδης διήθηση, εκφυλισμός ήπατος, πρησμένο ωχρό ήπαρ και μειωμένη επάρκεια παραγωγής αυγών (χαμηλός βαθμός εκκόλαψης / επιβίωσης,
Σολωμός coho (<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	Πρησμένο ωχρό ήπαρ, αυξημένος ηπατοσωματικός δείκτης (λιπαρό ήπαρ), υψηλή θνησιμότητα
Σολωμός chum (<i>Oncorhynchus keta</i>)	Πρησμένο ωχρό ήπαρ, αυξημένος ηπατοσωματικός δείκτης (λιπώδες ήπαρ), υψηλή θνησιμότητα
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	Αυξημένη θνησιμότητα, λιπώδες ήπαρ
Χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	Αυξημένη θνησιμότητα
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Πρησμένο, ωχρό ήπαρ, λιπώδες ήπαρ
Κόκκινο φαγκρί θαλάσσης (<i>Pagrus major</i>)	Μειωμένη επάρκεια παραγωγής αυγών (μειωμένος βαθμός εκκόλαψης / επιβίωσης,)
Ρόμβος ο μέγιστος (<i>Scophthalmus maximus</i>)	Αυξημένη θνησιμότητα, μειωμένη ανάπτυξη, εκφυλισμός του επιθηλίου των βραγχίων

Τοξικότητα Διαιτητικών Απαραίτητων Λιπαρών Οξέων

Έχει αποδειχθεί, υπό εργαστηριακές συνθήκες, ότι η διαιτητική υπερβολή των EFA μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη και την τροφική επάρκεια στην ιριδίζουσα πέστροφα, το αμερικάνικο γατόψαρο και την τιλάπια.

Οξειδωση διαιτητικών λιπιδίων

Κατά την απουσία κατάλληλης αντιοξειδωτικής προστασίας, τα λιπίδια που είναι πλούσια σε PUFA είναι σε μεγάλο βαθμό επιρρεπή σε αυτό-οξειδωση με την έκθεση στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες, το θρεπτικό πλεονέκτημα των EFA γίνεται, ουσιαστικά, καταστροφικό για την υγεία των ψαριών και των γαριδών. Στα παρασκευάσματα τροφών πλούσια σε PUFA, τα οποία είναι ιδιαίτερος επιδεκτικά σε λιπιδική οξειδωτική βλάβη (οξειδωτικό τάγκισμα), περιλαμβάνονται τα έλαια των ψαριών, το παρασκεύασμα ψαριών, το πίτουρο ρυζιού και το κατάλοιπο λαδιού βαμβακόπιπας, που περιέχει μικρή ή καθόλου φυσική αντιοξειδωτική δραστηριότητα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της λιπιδικής αυτό-οξειδωσης, σχηματίζονται προϊόντα χημικής διάσπασης, συμπεριλαμβανομένων των ελεύθερων ριζών, των υπεροξειδίων, των υδροϋπεροξειδίων, των αλδευδών και των κετονών που με τη σειρά τους αντιδρούν με άλλα διαιτητικά συστατικά (βιταμίνες, πρωτεΐνες και άλλα λιπίδια) ελαττώνοντας την βιολογική τους αξία και διαθεσιμότητα κατά τη διάρκεια της πέψης. Προς το παρόν το οξειδωτικό τάγκισμα θεωρείται ότι αποτελεί μια από τις σημαντικότερες εκφυλιστικές μεταβολές που λαμβάνει χώρα σε αποθηκευμένα παρασκευάσματα τροφών (CHOW, 1980).

Εχουν αναφερθεί (Πίνακας 5), πολυάριθμα, καταφανή, ανατομικά παθολογικά δείγματα για ψάρια που διατρέφονται με μερίδες που περιέχουν οξειδωμένα έλαια ψαριών / φυτών χωρίς καθόλου αντιοξειδωτική (βιταμίνη E) προστασία. οι παθολογικές επιδράσεις των οξειδωμένων λιπιδίων έχει αποδειχθεί ότι αποφεύγονται αν στη δίαιτα προστεθεί οξικό άλας dl-άλφα-τοκοφερόλης (βιταμίνη E).

Με την απουσία κατάλληλης αντιοξειδωτικής προστασίας, ο βαθμός αυτό-οξειδωσης των λιπιδίων σε αποθηκευμένα παρασκευάσματα τροφών βρέθηκε ότι αυξάνει κατά την παρουσία της λιποξιδάσης (που υπάρχει στους ωμούς σπόρους σόγιας). Οι συνθέσεις του αίματος (μυοσφαιρίνη / αιμοσφαιρίνη είναι προ-οξειδωτικές ουσίες που υπάρχουν στα παρασκευάσματα κρέατος / ψαριού),

υπεροξειδία (προϊόν αυτό-οξειδωσης λιπιδίων), ακτινοβολία (UV - διαμόρφωση δεσμού μονήρους ηλεκτρονίου οξυγόνου και ελεύθερων ριζών), αυξημένη θερμοκρασία (βαθμός αντίδρασης) και ιχνοστοιχεία (Fe και Cu βρέθηκαν να επιταχύνουν την οξειδωση των λιπιδίων μέσω άμεσης μεταφοράς ηλεκτρονίων σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, δεδομένου ότι ο Zn επιφέρει την διάσπαση των υδροϋπεροξειδίων σε ελεύθερες ρίζες.

Πίνακας 5. Παθολογικά Ευρήματα σε ψάρια που τράφηκαν με οξειδωμένα λίπη

Είδη ψαριών	Παθολογικές επιδράσεις οξειδωμένου ελαίου ψαριών
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Σημαντική συμφόρηση, με κάποια αιμορραγία στα δερματικά αγγεία γύρω από το ρύγχος και στις βάσεις των θωρακικών / ουραίων πτερυγίων, λόρδωση, εξωφθαλμία, κοιλιακό πρήσιμο (οίδημα), καταρράκτης, κογχική κατάρρευση, μαύρισμα του ήπατος, σημαντική διάταση του χολικού πόρου, στεατίτιδα όλων των κοιλιακών ιστών που φέρουν λίπος, αποθέματα ενδοκυτταρικού κηροειδούς στο ήπαρ, την σπλήνα, τα νεφρά και στον χοριοειδή, αυξημένη θνησιμότητα
Σολωμός Chinook (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	Σκούρα απόχρωση σώματος, αναιμία, ατονία, καφέ -κίτρινο κεχρωσμένο ήπαρ (κηροειδής εναπόθεση), μη-φυσιολογικό νεφρό και σημεία για σύμπτωση βραγχίων
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	Κακή ανάπτυξη, απώλεια όρεξης, μυϊκή δυστροφία, υψηλή θνησιμότητα, μειωμένη απορρόφηση διαιτητικών λιπιδίων
Αμερικάνικο Γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Κακή ανάπτυξη, χαμηλή δραστηριότητα τροφικής μετατροπής, αυξημένη θνησιμότητα, εξιδρωματική διάθεση, μυϊκή δυστροφία, αποχρωμάτωση ιστών, λιπώδη ήπαρ
Μαγιάτικο Ειρηνικού (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη, πρησμένο ήπαρ, μειωμένη εναπόθεση λιπιδίων, ανορεξία, κλίση του ουραίου μυός, μυϊκή δυστροφία
Ιριδίζουσα πέστροφα (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη, χαμηλή αποτελεσματικότητα τροφικής μετατροπής, μικροκυτταρική αναιμία, μειωμένος αιματοκρίτης και περιεκτικότητα αιμοσφαιρίνης, λιποειδής εκφυλισμός του ήπατος (κηροειδής συσσώρευση, βαριά μυϊκή βλάβη, αυξημένη θνησιμότητα και ερυθροκυτταρική ευθραυστότητα

ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ

Μετά τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια, οι υδατάνθρακες εκπροσωπούν την τρίτη σε αφθονία οργανικών ενώσεων ομάδα στο σώμα του ζώου. Σε αντίθεση, οι υδατάνθρακες συνιστούν την μεγαλύτερη κατηγορία οργανικών θρεπτικών ενώσεων μέσα στους ιστούς των φυτών. Η υδατανθρακική ομάδα συμπεριλαμβάνει τέτοιες σημαντικές χημικές ενώσεις όπως η γλυκόζη, φρουκτόζη, σακχαρόζη, λακτόζη, άμυλο, γλυκογόνο, χιτίνη και κυτταρίνη.

Οι υδατάνθρακες ορίζονται συνήθως ως ουσίες που περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Με τα τελευταία δύο αυτά στοιχεία να είναι παρόντα στην ίδια αναλογία όπως το νερό (δηλαδή $C_x(H_2O)_y$). Αν και αυτός ο ορισμός είναι ικανοποιητικός για την πλειονότητα των χημικών ενώσεων που υφίστανται στα

πλαίσια αυτής της ομάδας, ορισμένοι υδατάνθρακες περιέχουν μια χαμηλότερη αναλογία οξυγόνου από εκείνη του νερού ή υφίστανται ως υδατανθρακικά παράγωγα που μπορεί να περιέχουν άζωτο και θείο.

Ταξινόμηση

Οι υδατάνθρακες μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ευρύτερες ομάδες σύμφωνα με την χημική τους δομή (Σχήμα 6). Τα σάκχαρα και τα μη-σάκχαρα Τα απλούστερα σάκχαρα ονομάζονται μονοσακχαρίδια και αυτά με τη σειρά τους μπορούν να διαιρεθούν σε πέντε υπο-ομάδες σύμφωνα με τον αριθμό των ατόμων άνθρακα, τα οποία είναι παρόντα στο μόριο: τριόζες ($C_3H_6O_3$), τετρόζες ($C_4H_8O_4$), πεντόζες ($C_5H_{10}O_5$), και εξόζες ($C_6H_{12}O_6$). Τα μονοσακχαρίδια αυτά, μπορούν επίσης με τη σειρά τους να συνδεθούν μεταξύ τους (με αποβολή νερού) για να σχηματίσουν δι-τρι- ή πολυσακχαρίδια, που περιέχουν δύο, τρεις ή περισσότερες μονάδες ή υπολείμματα μονοσακχαριδίου αντίστοιχα. Εδώ ο όρος «σάκχαρο» περιορίζεται σε εκείνους τους υδατάνθρακες, που περιέχουν λιγότερες από δέκα μονάδες μονοσακχαριδίου. Τα μη σάκχαρα είναι, ως εκ τούτου, υδατάνθρακες που περιέχουν περισσότερες από δέκα μονάδες μονοσακχαριδίου και οι οποίοι δεν έχουν γλυκιά γεύση. Τα μη-σάκχαρα μπορούν να διαιρεθούν σε δύο υπο-ομάδες, τα ομο-πολυσακχαρίδια και τα ετερο-πολυσακχαρίδια. Τα πρώτα αποτελούνται από ταυτόσημες μονάδες μονοσακχαριδίου και τα δεύτερα από μείγματα διαφορετικών μονάδων πολυσακχαριδίου.

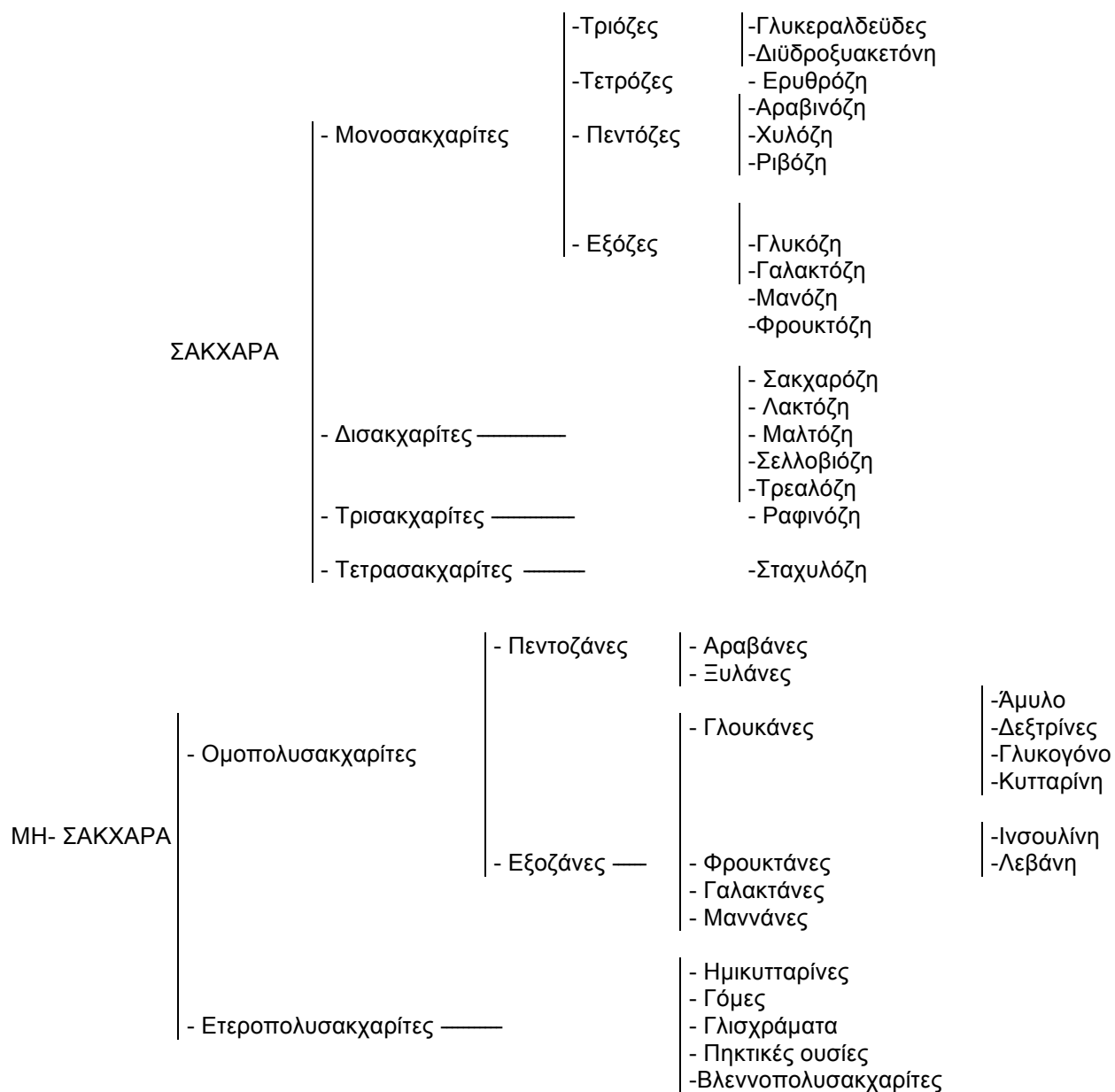
Στη διατροφή των ζώων γενικά και των ψαριών ειδικότερα καταναλώνονται δύο κυρίως κατηγορίες υδατανθράκων:

- Οι πολυσακχαρίτες κυρίως το άμυλο που μπορούν ναφομοιωθούν λίγο ή πολύ από όλους τους οργανισμούς και,
- Οι δομικοί πολυσακχαρίτες (κυτταρίνη, χιτίνη, άγαρ, λιγνίνη) που είναι αφομοιώσιμοι μόνο από τα φυτοφάγα ψάρια.

Αν και οι πολυσακχαρίτες αποτελούν τα 2/3 της μάζας των φυτών, στο σώμα των ζώων απαντώνται σε μικρές ποσότητες υπό μορφή κυρίως γλυκογόνου, σακχάρων και των παραγώγων τους. Στις ιχθυοτροφές τα υψηλά ποσοστά αμύλου δυσκολεύουν την πεπτικότητα των πρωτεϊνών, ειδικά αν το άμυλο ξεπερνά το 50% της σύστασης της τροφής. Γενικά για τα σαρκοφάγα ψάρια συνιστάται οι τροφές τους να μην περιέχουν άνω του 20-30% υδατάνθρακες.

Παρακάτω δίδονται ορισμένα συνοπτικά στοιχεία για χαρακτηριστικούς υδατάνθρακες και για τη χρησιμοποίησή τους γενικά στα ψάρια.

Σχήμα 6. Ταξινόμηση Υδατανθράκων



Εξόζες

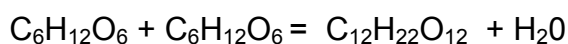
Γλυκόζη: Στην ελεύθερή της μορφή υπάρχει στους ιστούς των φυτών, στα φρούτα, το μέλι και το αίμα. Στα πλέον φυσικά τρόφιμα η γλυκόζη υφίσταται σε συνδυασμένη μορφή, είτε ως το αποκλειστικό μονοσακχαριδικό συστατικό μέρος των δισακχαριτιών (όπως μαλτόζη) και ως πολυσακχαρίτες (όπως το άμυλο, το γλυκογόνο, η κυτταρίνη) ή σε συνδυασμό με άλλα μονοσακχαρίδια στη μορφή της λακτόζης (σάκχαρο του γάλακτος), σακχαρόζης και ετεροπολυσακχαριτών. Η γλυκόζη ζυμώνεται από τη μαγιά κατά τη βιομηχανική επεξεργασία της μπίρας και του κρασιού για να δώσει αλκοόλη και διοξείδιο του άνθρακα. Παρόμοια, καθώς

ωριμάζουν τα φρούτα, η περιεκτικότητά τους σε ελεύθερα σάκχαρα ή γλυκόζη, υπό φυσιολογικές συνθήκες, αυξάνεται και η περιεκτικότητά τους σε άμυλο μειώνεται αντίστοιχα.

Φρουκτόζη: Όπως η γλυκόζη, η φρουκτόζη βρίσκεται στην ελεύθερή της κατάσταση στους χυμούς των φυτών, στα φρούτα και στο μέλι. Αποτελεί συστατικό μέρος της δισακχαριτικής σακχαρόζης και είναι το πιο γλυκό σάκχαρο που είναι γνωστό στη φύση (είναι αυτό που είναι υπεύθυνο για την εξαιρετικά γλυκιά γεύση του μελιού).

Δισακχαρίτες

Οι δισακχαρίτες αποτελούνται από δύο σάκχαρα εξόζης που ενώνονται μεταξύ τους με αποβολή νερού:



Οι πιο σημαντικοί δισακχαρίτες που υπάρχουν σε φυσική μορφή είναι η μαλτόζη, η σακχαρόζη και η λακτόζη.

Μαλτόζη: αποτελείται από δύο μόρια γλυκόζης που συνδέονται μεταξύ τους. Η μαλτόζη είναι ένα αναγόμενο σάκχαρο και είναι διαλυτό στο νερό. Η μαλτόζη δεν απαντάται στη φύση, αλλά αποτελεί προϊόν που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της ενζυματικής διάσπασης του αμύλου. Για παράδειγμα, η μαλτόζη παράγεται από το άμυλο κατά την ανάπτυξη του κριθαριού μέσα από την δράση του ενζύμου αμυλάση. Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης και την αποξηράνση του κριθαριού (ή όπως λέγεται τώρα η «βύνη») χρησιμοποιείται στην παραγωγή μπίρας και του ούισκι από βύνη.

Σακχαρόζη: αποτελείται από ένα μόριο γλυκόζης και φρουκτόζης. Η σακχαρόζη είναι ευρέως διαδεδομένη στη φύση και υπάρχει σε πολλά φυτά. Στις πλούσιες πηγές σακχαρόζης συμπεριλαμβάνονται το ζαχαροκάλαμο (20% σακχαρόζης), το ζαχαρότευτλο (15-20%), τα κτηνοτροφικά τεύτλα και τα καρότα.. Η σακχαρόζη είναι το σάκχαρο κοινής οικιακής χρήσης. Όταν η σακχαρόζη θερμαίνεται σε θερμοκρασία των 160 °C, σχηματίζει το σάκχαρο κριθαριού και στους 200 °C σχηματίζει καραμέλα. Οι μελάσες τεύτλων ή ζαχαροκάλαμου είναι αγροτικά υπό-προϊόντα που σχηματίζονται από την επεξεργασία της σακχαρόζης από τα ζαχαρότευτλα ή το ζαχαροκάλαμο αντίστοιχα.

Λακτόζη: αποτελείται από ένα μόριο γλυκόζης και γαλακτόζης. Όπως η μαλτόζη διαθέτει αναγωγικές ιδιότητες. Η λακτόζη, ή αλλιώς το σάκχαρο του γάλακτος, είναι το κυρίαρχο σάκχαρο που ανευρίσκεται στο γάλα και είναι μοναδικό για τα θηλαστικά. Αποτελεί περίπου το 40% των συνολικών στερεών γάλακτος. Η

συνολική περιεκτικότητα σε λακτόζη του γάλακτος των αγελάδων και του ανθρώπου είναι 4,6 - 4,8 % και 7% αντίστοιχα. Η λακτόζη υποβάλλεται εύκολα σε βακτηριακή ζύμωση π.χ. το ξίνισμα του γάλακτος από *Streptococcus lactis* μέσω της ζύμωσης της λακτόζης σε λακτικό οξύ. Όπως η σακχαρόζη, εάν η λακτόζη θερμανθεί σε μια θερμοκρασία των 175 °C σχηματίζει λακτοκαραμέλλα.

Ομοπολυσακχαρίτες

Οι υδατάνθρακες αυτοί είναι πολύ διαφορετικοί από τα σάκχαρα. Διαθέτουν υψηλό μοριακό βάρος και συντίθεται από μεγάλες ποσότητες εξόζης ή σε μικρότερο βαθμό υπολείμματα πεντόζης. Πολλοί απ' αυτούς υπάρχουν στα φυτά ή τα ζώα ως αποθεματική τροφική ύλη (όπως το άμυλο ή το γλυκογόνο) ή ως δομικά στοιχεία (όπως η κυτταρίνη ή η χιτίνη).

Άμυλο: αποτελείται από δύο δομικά συστατικά μέρη, την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη. Το άμυλο είναι η αποθεματική μορφή του σακχάρου ή της γλυκόζης στα φυτά. Υπάρχει στα στελέχη, τα φρούτα, τις ρίζες ή τα φύλλα, σχηματίζοντας το μεγαλύτερο τροφικό απόθεμα υδατάνθρακα των φυτών και κατά συνέπεια αποτελεί το μεγαλύτερο υδατανθρακικό συστατικό μέρος των ζωικών τροφών. Για παράδειγμα, το άμυλο μπορεί να αποτελέσει έως το 70% του βάρους των σπόρων και ως το 30% των φρούτων, βολβών ή ριζών. Το άμυλο αποθηκεύεται στα φυτά με τη μορφή μικρών κόκκων, το μέγεθος και το σχήμα των οποίων ποικίλει από είδος σε είδος. Κάθε τέτοιο κοκκίδιο περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα κυτταρίνης που το καθιστά μη-διαλυτό στο νερό και αχώνευτο στην ωμή ή μη-μαγειρεμένη μορφή του από τα μη-μηρυκαστικά ζώα, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών και των γαριδών. Το μαγείρεμα, με θέρμανση και με παρουσία υγρασίας διευκολύνει παρόλ'αυτά τη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης προκαλώντας την απορρόφηση του νερού από το άμυλο, μέσα στο οποίο, με την υφιστάμενη ζέση, θα προκύψει η ζελατινοποίηση του αμύλου, σχηματίζοντας ένα ζελατινώδες διάλυμα ή πολτό/αλοιφή. Όταν το άμυλο υποβάλλεται σε υψηλή θερμοκρασία, σχηματίζεται η δεξτρίνη. Η δεξτρίνη αποτελεί το ενδιάμεσο προϊόν διάσπασης του αμύλου στην ακολουθία άμυλο → δεξτρίνη → μαλτόζη → γλυκόζη. Για παράδειγμα: το άμυλο στο ψωμί μετατρέπεται σε δεξτρίνη όταν φρυγανίζεται και η δεξτρίνη είναι αυτή που δίνει στο ξεροψημένο ψωμί την χαρακτηριστική του γεύση.

Γλυκογόνο: αποτελείται από διακλαδούμενες αλυσίδες των μονάδων γλυκόζης. Το γλυκογόνο είναι η μορφή εκείνη με την οποία αποθηκεύεται ο υδατάνθρακας

μέσα στο σώμα του ζώου και πιο συγκεκριμένα συγκεντρώνεται στο ήπαρ και στους μύες.

Κυτταρίνη: αποτελείται από πολύ μακριές αλυσίδες μονάδων D-γλυκόζης. Αποτελεί έναν πολύ σταθερό πολυσακχαρίτη και είναι ο πλέον άφθονος υδατάνθρακας στη φύση, που σχηματίζει την θεμελιώδη δομή του τοιχώματος των φυτικών κυττάρων. Η κυτταρίνη έχει μεγάλη αντοχή εφελκυσμού και είναι ανθεκτική σε χημική προσβολή. Αν και η κυτταρίνη μπορεί να υδρολυθεί μέσω ισχυρής όξινης επεξεργασίας, ορισμένα μη-μηρυκαστικά ζώα, με την εξαίρεση των μικροοργανισμών, διαθέτουν τα απαραίτητα ενδογενή ένζυμα (δηλαδή τις κυτταρινάσες) που είναι σε θέση να υδρολύουν και να αφομοιώνουν την κυτταρίνη.

Χιτίνη: μοιάζει στη δομή με την κυτταρίνη. Η χιτίνη είναι το σημαντικότερο δομικό στοιχείο της επιδερμίδας των εντόμων και του εξωτερικού σκελετού των αρθροειδών αρθρώπων.

Ετεροπολυσακχαρίτες

Σε αντίθεση με τους ομοπολυσακχαρίτες, οι ετεροπολυσακχαρίτες αποτελούνται από μείγματα διαφορετικών μονάδων μονοσακχαρίτη, υψηλού μοριακού βάρους.

Ημικυτταρίνη: συντίθεται κυρίως από τις μονάδες ξυλόζης, αλλά μπορεί επίσης να περιέχει εξόζες και οξέα σακχάρων (δηλαδή το ουρονικό οξύ). Αυτοί οι πολυσακχαρίτες συνοδεύουν κανονικά την κυτταρίνη στην φυλλωτή και ξυλώδη δομή των ψηλότερων φυτών και σπόρων. Είναι αδιάλυτη στο νερό και όπως η κυτταρίνη δεν χωνεύεται εύκολα από τα μη-μηρυκαστικά ζώα.

Γόμες: αποτελούν συστατικά στοιχεία των τραυμάτων των φυτών και είναι πολύ σύνθετες χημικές ενώσεις. Με την υδρόλυση αποδίδουν μια ποικιλία οξέων μονοσακχαριτών και σακχάρων. Ένα παράδειγμα γόμας είναι το αραβικό κόμμι (acacia gum).

Φυτικές κόλλες: είναι πολύπλοκοι υδατάνθρακες που βρίσκονται σε ορισμένα φυτά και σπόρους. Πολλά φύκια και ιδιαίτερα τα θαλάσσια φύκια, δίνουν φυτικές κόλλες που είναι διαλυτές σε καυτό νερό και που σχηματίζουν ένα ζελέ με την ψύξη. Το άγαρ, ένα πολυμερές τουθειϊκού οξέος της γαλακτόζης, είναι μία ευρέως διαδεδομένη φυτική κόλλα ή ζελέ που παίρνεται από τα κόκκινα θαλάσσια φύκια (της οικογένειας gelidium). Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν το αλγινικό οξύ που προέρχεται από τα καφέ θαλάσσια φύκια (της οικογένειας laminaria).

Πηκτικές ουσίες: πολύπλοκοι υδατάνθρακες που περιέχουν D-γαλακτοουρονικό οξύ ως κύριο συστατικό στοιχείο. Υπάρχουν κυρίως στο πρωταρχικό τοίχωμα του κυττάρου και στα ενδοκυτταρικά στρώματα των φυτών ξηράς, βρίσκονται, δε, σε εξαιρετική αφθονία στα κίτρο, στα τεύτλα, στα μήλα και σε ορισμένα λαχανικά με βολβούς (δηλαδή τα γογγύλια). Όπως με τις φυτικές κόλλες, τα πηκτικά οξέα έχουν δυνατές πηκτικές ιδιότητες και συχνά χρησιμοποιούνται στην παρασκευή μαρμελάδας.

Βλεννοπολυσακχαρίτες: πολύπλοκοι υδατάνθρακες που περιέχουν αμινοσάκχαρα και ουρονικά οξέα και αποτελούν τις βλεννογόνες εκκρίσεις των ζώων, είναι όξινης φύσης και μπορεί να είναι πλούσια σε ομάδες εστέραθειϊκού άλατος. Στους σημαντικούς βλεννοπολυσακχαρίτες συμπεριλαμβάνονται τοθειϊκό άλας, η χονδροϊτίνη (που υπάρχει στους χόνδρους, τα κόκκαλα, στις βαλβίδες της καρδιάς, στους τένοντες και στον κερατοειδή χιτώνα των ματιών), η ηπαρίνη (αντιπηκτικό που βρίσκεται στα αγγεία του αίματος, στο ήπαρ, στους πνεύμονες και στον σπλήνα) και το υαλουρονικό οξύ (κολλώδες, λιπαντικό υγρό που υπάρχει στο δέρμα, στο υαλώδες υγρό του ματιού, στο αρθρικό υγρό των αρθρώσεων και στην ομφαλική χορδή των θηλαστικών). Οι βλεννοπολυσακχαρίτες αποτελούν το κύριο συστατικό στοιχείο του κυτταρικού τοιχώματος πολλών βακτηριδίων.

Λειτουργία υδατανθράκων

Οι υδατάνθρακες συντίθεται σε όλα τα πράσινα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Μέχρι σήμερα, δεν έχει καθοριστεί για τα ψάρια και τις γαρίδες καμία απόλυτη διαιτητική απαίτηση για υδατάνθρακες. Το γεγονός αυτό, αντίκειται σαφώς σε εκείνη (την απαίτηση) της διαιτητικής πρωτεΐνης και των λιπιδίων, όπου έχουν καθοριστεί συγκεκριμένες διαιτητικές απαιτήσεις για ορισμένα θεμελιώδη αμινοξέα και λιπαρά οξέα. Σ' ένα μεγάλο βαθμό αυτό οφείλεται στα παρακάτω:

- Τις σαρκοφαγικές / παμφάγες διατροφικές συνήθειες της πλειονότητας των καλλιεργούμενων ειδών ψαριών και γαρίδων.
- Την ικανότητα των ψαριών και της γαρίδας να συνθέτουν υδατάνθρακες (όπως τη γλυκόζη) από μη-υδατανθρακικά υποστρώματα, όπως την πρωτεΐνη και το λιπίδιο (μια διαδικασία που ονομάζεται γλυκογένεση).
- Την ικανότητα των ψαριών και της γαρίδας να ικανοποιούν τις διαιτητικές ενεργειακές απαιτήσεις τους μέσω του καταβολισμού πρωτεϊνών και λιπιδίων μόνο εάν αυτό απαιτείται.

Εν τούτοις, παρόλη την προφανή απουσία διαιτητικής απαίτησης για υδατάνθρακες στα ψάρια ή στις γαρίδες, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι υδατάνθρακες εκτελούν πολύ σημαντικές βιολογικές λειτουργίες μέσα στο σώμα του ζώου. Για παράδειγμα, η γλυκόζη, το τελικό προϊόν της αφομοίωσης υδατανθράκων στα ζώα εξυπηρετεί ως η κύρια ενεργειακή πηγή του εγκεφαλικού και του νευρικού ιστού και ως μεταβολικό ενδιάμεσο για την σύνθεση πολλών βιολογικά σημαντικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένου του εξωσκελετού χιτίνης των καρκινοειδών αρθρόποδων, των νουκλεϊκών οξέων RNA & DNA και των βλεννωδών εκκρίσεων των βλεννο-πολυσακχαριτών.

Αν και οι υδατάνθρακες μπορούν να θεωρηθούν ως μη-θεμελιώδη θρεπτικά στοιχεία για τα ψάρια και τις γαρίδες ο συνυπολογισμός τους σε πρακτικές δίαιτες είναι απαραίτητος εξαιτίας των παρακάτω:

- Αντιπροσωπεύουν μια μη-δαπανηρή πηγή πολύτιμης διαιτητικής ενέργειας για μη - σαρκοφάγα είδη ψαριών και γαρίδων.
- Η προσεκτική τους χρήση σε πρακτικές δίαιτες μπορεί να αξιοποιήσει την πιο πολύτιμη πρωτεΐνη για την ανάπτυξη αντί για την παροχή ενέργειας (μια διαδικασία που ονομάζεται «εξοικονόμηση πρωτεΐνης»).
- Εξυπηρετούν ως θεμελιακά, διαιτητικά συστατικά στοιχεία για την παρασκευή διαιτητικών συνθέσεων σταθερών σε νερό όταν χρησιμοποιούνται ως συνδετικές ύλες (όπως το ζελατινοποιημένο άμυλο, αλγινικά άλατα, γόμες).
- Ορισμένες πηγές υδατάνθρακα εξυπηρετούν ως διαιτητικά συστατικά στοιχεία που μπορούν ν' αυξήσουν την νοστιμιά και να μειώσουν την περιεκτικότητα σε σκόνη των υποβεβλημένων σε τελική κατεργασία τροφών (μελάσες, ζαχαροκάλαμο ή ζαχαρότευτλα).

Μεταβολισμός των υδατανθράκων

Αν και το γλυκογόνο αποτελεί την σημαντικότερη πηγή καυσίμων κατά την διάρκεια του αναερόβιου μεταβολισμού (γλυκόλυση) μέσα στους λευκούς μύες των ψαριών, κατά την διάρκεια των «εκρηκτικών» κολυμβητικών δραστηριοτήτων, η ικανότητα του ήπατος και των ιστών να αποθηκεύουν γλυκογόνο είναι περιορισμένη. Το σύνολο των υδατανθράκων όπως το γλυκογόνο, αποτελούν το λιγότερο από το ένα τοις εκατό (1%) του υγρού ιστού του σώματος.

Σε αντίθεση με τα παμφάγα θηλαστικά, τα ψάρια δεν κινητοποιούν γρήγορα το γλυκογόνο του ήπατος όταν αποστερούνται από την τροφή. Στην ουσία, έχει αποδειχθεί μέσα στα λιμοκτονούντα ψάρια ότι η οξειδωση των μη-υδατανθρακικών

υποστρωμάτων προηγείται της κινητοποίησης και της υδρόλυσης του γλυκογόνου. Αυτό υποθέτει ότι η ικανότητα των ψαριών να οξειδώνουν αεροβιακά την γλυκόζη είναι κάπως περιορισμένη. Προκύπτει, ως εκ τούτου, ότι η γλυκογένεση μπορεί να παίξει ένα σημαντικό ρόλο στην διατήρηση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα στα νηστικά ψάρια.

Αξιοποίηση του διαιτητικού υδατάνθρακα

Η ικανότητα των σαρκοβόρων ειδών ψαριών να υδρολύουν ή να αφομοιώνουν πολύπλοκους υδατάνθρακες είναι περιορισμένη εξαιτίας της ασθενούς αμυλωτικής δραστηριότητας στον πεπτικό τους σωλήνα. Κατ' αυτό τον τρόπο, για είδη ψαριών όπως η πέστροφα, στο βαθμό που η αναλογία του διαιτητικού αμύλου αυξάνει, η αφομοιωσιμότητα του αμύλου μειώνεται αντίστοιχα.. Επιπρόσθετα, σε μακροχρόνιες διατροφικές δοκιμές με σαρκοφάγα είδη ψαριών των ψυχρών νερών, όπως τα σαλμονδή, έχει αποδειχθεί ότι τα υψηλά διαιτητικά επίπεδα υδατάνθρακα καταστέλλουν την ανάπτυξη, ανεβάζουν τα επίπεδα του γλυκογόνου του ήπατος και προκαλούν εν τέλει την θνησιμότητα. Αντίθετα, τα σαρκοφάγα ή χορτοφάγα είδη ψαριών ζεστού νερού, όπως ο κυπρίνος (*C. carpio*), το Αμερικάνικο γατόψαρο (*I. punctatus*), tilapia (*O. niloticus*) και το χέλι (*A. japonica*) βρέθηκε ότι είναι πιο ανεκτικά σε υψηλά διαιτητικά επίπεδα υδατάνθρακα. Ο διαιτητικός υδατάνθρακας, που αξιοποιείται αποτελεσματικά ως διαιτητική πηγή ενέργειας ή δίδεται σε υπερβολική ποσότητα, αποθηκεύεται με τη μορφή των σωματικών λιπιδίων.

Η αξιοποίηση του διαιτητικού υδατάνθρακα βρέθηκε επίσης να ποικίλει ανάλογα με την πολυπλοκότητα ή τη χημική δομή της πηγής υδατάνθρακα που χρησιμοποιήθηκε (αφομοιώσιμοι πολυσακχαρίτες και δισακχαρίτες, που έχουν μια πιο ευεργετική επίδραση στην ανάπτυξη από τους μονοσακχαρίτες: για τα ψάρια, τη φυσική κατάσταση της χρησιμοποιούμενης πηγής υδατάνθρακα (μαγειρεμένα ή ζελατινοποιημένα άμυλα που έχουν υψηλότερη αφομοιωσιμότητα και επιδρούν ευεργετικά στην ανάπτυξη από τα καθαρά ή ωμά άμυλα: για τα ψάρια και την ημερήσια πρόσληψη τροφής (μια περιορισμένη διατροφική θεραπευτική αγωγή, η οποία έχει ευεργετική επίδραση στην αφομοιωσιμότητα του αμύλου. Από την παραπάνω ανάλυση φαίνεται ότι η ικανότητα των ψαριών ή της γαρίδας να συμμορφώνονται σε δίαιτες με υψηλή (περιεκτικότητα σε) υδατάνθρακα εξαρτάται από την ικανότητά τους να μετατρέπουν την υπερβολική ενέργεια (δηλαδή την γλυκόζη) σε λιπίδια ή μη-απαραίτητα αμινοξέα.

Από τη στιγμή που τα περισσότερα καλλιεργούμενα είδη ψαριών έχουν ένα σχετικά μικρό γαστρεντερικό σωλήνα, το γεγονός αυτό δεν καθίσταται επαρκές από μόνο του για την ανάπτυξη εκτεταμένης βακτηριδιακής χλωρίδας (όπως στα μηρυκαστικά ζώα), η εντερική κυτταρική δραστηριότητα των ψαριών που προέρχεται από συμφυή βακτήρια, είναι ασθενής ή απύσχη. Ως εκ τούτου προκύπτει ότι η διαιτητική κυτταρίνη ή η «ακατέργαστη ίνα» (δηλαδή οι διαιτητικοί υδατάνθρακες κυτταρίνη και ημι-κυτταρίνη) δεν έχουν αξιοποιήσιμη ενεργειακή αξία για τα ψάρια και σε διαιτητική υπερβολή έχει καταστροφική επίδραση για την ανάπτυξη και την τροφική επάρκεια.

ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ

Πρόκειται για οργανικές χημικές ενώσεις που είναι απαραίτητες για το σωστό μεταβολισμό των ψαριών καθώς και την αύξηση και την αναπαραγωγή τους. Η πλειονότητα των βιταμινών δεν συντίθεται από τα ζώα. Οι βιταμίνες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ευρύτερες ομάδες, ανάλογα την διαλυτότητά τους: σε υδροδιαλυτές βιταμίνες και σε λιποδιαλυτές βιταμίνες (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Κατηγορίες βιταμινών

Υδροδιαλυτές βιταμίνες	Λιποδιαλυτές βιταμίνες
Θειαμίνη (βιταμίνη B1)	Ρετινόλη (βιταμίνη A)
Ριβοφλαβίνη (βιταμίνη B2)	Χοληκαλσιφερόλη (βιταμίνη D3)
Πυριδοξίνη (βιταμίνη B6)	Τοκοφερόλη (βιταμίνη E)
Παντοθενικό οξύ	Φυλλοκινόνη (βιταμίνη K)
Νικοτινικό οξύ (νιασίνη)	
Βιοτίνη	
Φολικό οξύ	
Κυανοκοβαλαμίνη (B12)	
Ινοσιτόλη	
Χολίνη	
Ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C)	

Οι λιποδιαλυτές βιταμίνες απορροφώνται από τον εντεροπεπτικό σωλήνα κατά την παρουσία λίπους και μπορούν να αποθηκευθούν μέσα στο λίπος του σώματος οπότεδήποτε η διαιτητική πρόσληψη υπερβαίνει τις μεταβολικές

απαιτήσεις. Η αποθήκευση αυξάνει με την διαιτητική πρόσληψη σε βαθμό που μπορεί να προκύψει τοξική κατάσταση (υπερβιταμίνωση). Αντίθετα, οι υδροδιαλυτές βιταμίνες δεν αποθηκεύονται σε αξιοσημείωτες ποσότητες στο σώμα του ζώου. Τα αποθέματα του σώματος μπορούν γρήγορα να καταναλωθούν κατά την απουσία φυσιολογικών διαιτητικών πηγών υδροδιαλυτών βιταμινών. Οι τοξικότητες των υδροδιαλυτών βιταμινών είναι ως εκ τούτου σπάνιες.

Υδροδιαλυτές βιταμίνες

Θειαμίνη: Η θειαμίνη, λειτουργεί ως συνένζυμο στον μεταβολισμό των υδατανθράκων των λιπών και πρωτεϊνών. Σχετίζεται με τη σωστή λειτουργία της πέψης, της ανάπτυξης της αναπαραγωγής και των νευρικών κυττάρων. Στην πέστροφα τον κυπρίνο και το γατόψαρο δεν απαιτούνται πάνω από 2 mg/κιλό τροφής.

Ριβοφλαβίνη: η �ιβοφλαβίνη ως συστατικό μέρος του μονονουκλεοτιδίου φλαβίνη (FMN) και του δινουκλεοτιδίου αδενίνη (FAD) λειτουργεί ως συνένζυμο για πολλές οξειδάσες και αναγωγάσες ενζύμων και, γι' αυτό το λόγο, παίζει σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό μεταβολισμό ως απαραίτητη για τον μεταβολισμό των υδατανθράκων, των λιπών και των πρωτεϊνών. Τα FMN και FAD διευκολύνουν την ενζυματική διάσπαση των θρεπτικών συστατικών που αποδίδουν ενέργεια, όπως τα λιπαρά οξέα, τα αμινοξέα και το πυροσταφυλικό οξύ. Επιπρόσθετα, η �ιβοφλαβίνη είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αναπνοή, τη δημιουργία αιμοφόρων αγγείων στους ιστούς, όπως στον κερατοειδή χιτώνα του ματιού και, σε συνδυασμό με την πυριδοξίνη (βιταμίνη B6), για την μετατροπή της τρυπτοφάνης σε νικοτινικό οξύ. Οι απαιτήσεις των ψαριών σε �ιβοφλαβίνη ποικίλλουν εξαρτώμενες από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, το ενεργειακό περιεχόμενο της τροφής καθώς και από τη σύνθεση της τροφής. Στις νεαρές πέστροφες (2-12 gr) απαιτούνται περί τα 5-15 mg/κιλό τροφής.

Πυριδοξίνη (B6): Η πυριδοξίνη στην μορφή του φωσφορικού εστέρα λειτουργεί ως συνένζυμο σε όλες σχεδόν τις αντιδράσεις που εμπλέκονται στην μη οξειδωτική διάσπαση των αμινοξέων. Η πυριδοξίνη παίζει, ως εκ τούτου, ζωτικό ρόλο στον μεταβολισμό των πρωτεϊνών. Απαιτείται επίσης για τη μεταβολική διάσπαση της τρυπτοφάνης σε νικοτινικό οξύ, τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης, το ακετυλ-συνένζυμο A και το αγγελιοφόρο RNA καθώς και για τον μεταβολισμό των υδατανθράκων διευκολύνοντας, κατ' αυτό τον τρόπο την απελευθέρωση του γλυκογόνου από τους μύες και από το ήπαρ. Οι νεαρές πέστροφες και σολομοί χρειάζονται περί τα 5-10 mg/κιλό τροφής. Τα θαλασσινά ψάρια έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των τροφών τους σε πρωτεΐνη.

Παντοθενικό οξύ (B5): Το παντοθενικό οξύ που αποτελεί τμήμα του συνενζύμου A, παίζει κεντρικό ρόλο σε όλες τις αντιδράσεις ακετυλίωσης (δηλαδή της αντιδράσεις που εμπλέκουν τον σχηματισμό ή την μεταφορά μιας 2-άνθρακα ακετυλ-ομάδας). Από τη στιγμή που οι υδατάνθρακες, τα λίπη και οι πρωτεΐνες μετατρέπονται πρώτα σε ακετύλ συνένζυμο A πριν οξειδωθούν στον κύκλο του Krebs ή του τρικαρβοξυλικού οξέως, το παντοθενικό οξύ καθίσταται ως εκ τούτου απαραίτητο για την απελευθέρωση ενέργειας από τα σημαντικότερα θρεπτικά συστατικά της τροφής. Το ακετύλ-συνένζυμο A εμπλέκεται επίσης στην σύνθεση των λιπαρών οξέων, της χοληστερόλης, των στεροειδών, της αιμοσφαιρίνης και στην ακετιλίωση της χολίνης και ως εκ τούτου αποτελεί μια ουσία - κλειδί για τον μεταβολισμό των υδατανθράκων, των λιπών και των πρωτεϊνών. Οι πέστροφες και σολομοί χρειάζονται περί τα 10-20 mg/κιλό τροφής ανάλογα με το μέγεθός τους και τη σύνθεση της τροφής.

Νικοτινικό οξύ ή νιασίνη: Το νικοτινικό οξύ ως συστατικό μέρος του νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοτιδίου (NAD) και φωσφορικο-αδενινο-δινουκλεοτιδίου (NADP), λειτουργεί ως συνένζυμο σε ενζυμικά συστήματα που παρέχουν ένα μηχανισμό για την μεταφορά ηλεκτρονίων σε μεταβολικές διεργασίες (δηλαδή απομάκρυνση και μεταφορά υδρογόνου). Ο μεταβολισμός των NAD και NADP είναι συνεπώς στενά συνδεδεμένος μ' εκείνον των FAD και FMN. Και οι δύο βιταμίνες παίζουν κεντρικό ρόλο στην οξειδωση των τροφών και, ως εκ τούτου, είναι θεμελιώδους σημασίας για την απελευθέρωση ενέργειας από υδατάνθρακες, λίπη και πρωτεΐνες. Επιπρόσθετα, τα NAD και NADP παίζουν επίσης

σημαντικό ρόλο στην σύνθεση των λιπαρών οξέων και της χοληστερόλης, αντίστοιχα. Στο συκώτι αποθηκεύονται οι μεγαλύτερες ποσότητες νιασίνης. Οι πέστροφες απαιτούν περί τα 95mg/κιλό τροφής και οι σολομοί το διπλάσιο.

Βιοτίνη (H): Η βιοτίνη λειτουργεί ως συνένζυμο σ' εκείνες τις αντιδράσεις των ιστών που εμπλέκονται στην μεταφορά διοξειδίου του άνθρακος από τη μία χημική ένωση στην άλλη (δηλαδή οι αντιδράσεις καρβοξυλίωσης). Η βιοτίνη, συμπερασματικά, παίζει έναν ρόλο κλειδί στον μεταβολισμό υδατανθράκων και λιπών. Η βιοτίνη αναφέρεται επίσης ότι αναμειγνύεται στην σύνθεση πουρίνης και πρωτεΐνης, ορισμένες αντιδράσεις απαμίνωσης και στον κύκλο της ουρίας. Εν τούτοις, ο ακριβής ρόλος της βιοτίνης στις περισσότερες απ' αυτές τις δράσεις παραμένει ασαφής. Οι νεαρές πέστροφες χρειάζονται περί τα 0,05-0,25 mg/κιλό τροφής.

Φολικό οξύ: Το φολικό οξύ εμπλέκεται στη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης, της γλυκίνης, της μεθειονίνης, της χολίνης, της θυμίνης (πυριμιδίνης) και των πουρινών, καθώς και στον μεταβολισμό της φαινυλαλανίνης, τυροσίνης και ιστιδίνης. Είναι λοιπόν απαραίτητο για τη σύνθεση των νουκλεϊκών οξέων DNA, RNA και για το σχηματισμό των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Οι νεαρές πέστροφες και σολομοί χρειάζονται περί τα 1-5 mg/κιλό τροφής.

Κυανοκοβαλαμίνη (B12): Η κυανοκοβαλαμίνη απαιτείται για τη φυσιολογική διαμόρφωση των ερυθροκυττάρων και την συντήρηση του νευρικού ιστού. Αν και ο ακριβής ρόλος της κυανοκοβαλαμίνης σ' αυτές τις διεργασίες παραμένει ασαφής, ο μεταβολισμός της συνδέεται στενά μ' εκείνον του φολικού οξέος. Επίσης παίζει ρόλο και στο μεταβολισμό της χοληστερόλης και γλυκερόλης. Οι ανάγκες των ψαριών σε βιταμίνη B12 είναι πολύ μικρές 0,002-0,003 mg/κιλό ξηρής τροφής.

Ινοσιτόλη: Απαντάται ως εννέα πιθανά στερεοϊσομερή από τα οποία μόνο η μυο-ινοσιτόλη είναι βιολογικά δραστική. Η μυο-ινοσιτόλη ως συστατικό στοιχείο των φωσφολιπιδίων ινοσιτόλης αποτελεί ένα σημαντικό δομικό συστατικό μέρος του σκελετικού, του καρδιακού και του εγκεφαλικού ιστού. Αν και ο φυσιολογικός ρόλος της μυο-ινοσιτόλης παραμένει ασαφής, θεωρείται ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των κυττάρων του ήπατος και του μυελού, τη μεταφορά λιπιδίων του ήπατος (χοληστερόλη) και στη σύνθεση του RNA. Οι πέστροφες, σολομοί και κυπρίνοι χρειάζονται περί τα 250-300 mg/κιλό τροφής, ενώ η αύξηση της γλυκόζης στις ιχθυοτροφές αυξάνει τις απαιτήσεις σε ινοσιτόλη για μερικά είδη ψαριών

Χολίνη: Αποτελεί θεμελιώδες συστατικό στοιχείο των φωσφολιπιδίων και της ακετυλχολίνης και ως τέτοιο παίζει ουσιαστικό ρόλο στην διατήρηση της δομής των κυττάρων καθώς και στη μετάδοση των νευρικών παλμών αντίστοιχα. Η χολίνη επίσης παίζει σπουδαίο ρόλο στη μεταφορά των λιπιδίων μέσα στο σώμα και εμποδίζει την υπερβολική συσσώρευση λίπους στο συκώτι. Στις νεαρές πέστροφες απαιτούνται το ελάχιστο 1000 mg/κιλό τροφής, διαφοροποιούμενες στη συνέχεια ανάλογα με το ρυθμό ανάπτυξης και του τύπου των λιπών της τροφής.

Ασκορβικό οξύ (Βιταμίνη C): Το ασκορβικό οξύ και το προϊόν οξειδωσής του, το διϋδρο-L-ασκορβικό οξύ δρουν ως φυσιολογικά αντιοξειδωτικά, διευκολύνοντας τη μεταφορά υδρογόνου μέσα στο ζωικό κύτταρο. Το ασκορβικό οξύ χρειάζεται επίσης σε πολυάριθμες αντιδράσεις υδροξυλίωσης μέσα στο σώμα, συμπεριλαμβανομένης της υδροξυλίωσης της τρυπτοφάνης, της τυροσίνης, της λυσίνης, της φαινυλαλανίνης και της προλίνης. Από τις προαναφερθείσες αντιδράσεις υδροξυλίωσης ίσως η πιο σημαντική είναι ο σχηματισμός της υδροξυπρολίνης από την προλίνη. Και τα δύο αμινοξέα αποτελούν σημαντικά συστατικά μέρη του κολλαγόνου, των βλεννοπολυσακχαριτών και του θειικού άλατος χονδροϊτίνης (δηλαδή ενδοκυτταρικές ουσίες των κυττάρων των οστών, των τριχοειδών αιμοφόρων αγγείων και των συνεκτικών ιστών). Γι' αυτό το λόγο το ασκορβικό οξύ παίζει ουσιαστικό ρόλο στην διατήρηση της ακεραιότητας του συνεκτικού ιστού, των αιμοφόρων αγγείων, του ιστού των οστών και του ιστού των πλεγμών. Το ασκορβικό οξύ απαιτείται επίσης για την μετατροπή του φολικού οξέος στην μεταβολικά δραστική του μορφή του τετραϋδροφολικό οξύ για την μετατροπή της τρυπτοφάνης σε σεροτονίνη και για τη σύνθεση των στερεοειδών ορμονών από τον φλοιό των επινεφριδίων. Επίσης επηρεάζει το μεταβολισμό του σιδήρου στην πέστροφα, την ωρίμανση των ερυθροκυττάρων και συντελεί στην επούλωση των πλεγμών. Επίσης η ύπαρξη αποθεμάτων του στους ιστούς των ψαριών συμβάλλει στην αντοχή τους στην περιβαλλοντική ρύπανση. Μειώνει επίσης και τις αρνητικές επιδράσεις των βαρέων μετάλλων και των εντομοκτόνων. Σε ψάρια με τραυματισμούς απαιτείται περί τα 500 mg/κιλό τροφής. Γενικά ποσότητες περί τα 200

mg/κιλό τροφής, θεωρούνται ικανοποιητικές για όλα τα ψάρια. σε κανονικές συνθήκες εκτροφής.

Λιποδιαλυτές βιταμίνες

Ρετινόλη ή Βιταμίνη Α: Η βιταμίνη Α υπάρχει μόνο στους ζωικούς ιστούς και είναι παρούσα είτε με τη μορφή ρετινόλης (βιταμίνη Α1: θηλαστικά και θαλάσσια ψάρια) ή 3,4-διϋδρορετινόλης (βιταμίνη Α2: ψάρια γλυκού νερού). Εν τούτοις, ένας πρόδρομος της βιταμίνης Α βρίσκεται στους φυτικούς ιστούς με τη μορφή καροτινοειδών χρωστικών υλών (δηλαδή η καροτίνη βήτα). Από τη στιγμή που καταπίνονται από το ζώο, αυτές οι φυτικές χρωστικές ύλες μπορούν να μετατραπούν σε δραστική βιταμίνη Α. Η ικανότητα μετατροπής εξαρτάται από το είδος του ζώου και από την ισομερική μορφή του καροτινοειδούς που απορροφάται. Η βιταμίνη Α απαιτείται για την φυσιολογική όραση. Στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού η βιταμίνη Α συνδυάζεται με μια ειδική πρωτεΐνη (την οψίνη) για να σχηματίσει μια οπτική χρωστική ουσία που με τη σειρά της λειτουργεί για την υποδοχή και την μετάδοση του φωτός από το μάτι στον εγκέφαλο. Επιπρόσθετα, η βιταμίνη Α χρειάζεται για τη συντήρηση της βλεννογόνου απέκκρισης των επιθηλιακών ιστών, του αναπαραγωγικού συστήματος, του δέρματος, των οστών και του γαστρεντερικού συστήματος. Βοηθά στην ανάπτυξη νέων κυττάρων, στην αντίσταση κατά των μολύνσεων και στη φυσιολογική λειτουργία των ματιών και των βραγχίων. Τα ψάρια χρειάζονται περί τις 2000-20000 διεθνείς μονάδες (IU) ανά κιλό τροφής.

Χοληκαλσιφερόλη ή Βιταμίνη D: Η πιο σημαντική πηγή βιταμίνης D στην φύση είναι η χοληκαλσιφερόλη (βιταμίνη D₃). Όπως η βιταμίνη Α, η χοληκαλσιφερόλη υπάρχει μόνο στους ζωικούς ιστούς. Στα περισσότερα ζώα της ξηράς, η χοληκαλσιφερόλη παράγεται στο δέρμα μέσω της ακτινοβολίας UV της προβιταμίνης 7- διϋδροχοληστερόλης. Η χοληκαλσιφερόλη παίζει ουσιαστικό ρόλο στον μεταβολισμό φωσφόρου και ασβεστίου στα ζώα. Πιο συγκεκριμένα, η χοληκαλσιφερόλη απαιτείται για την απορρόφηση του ασβεστίου από τον γαστροπεπτικό σωλήνα και για την ενδυνάμωση του αναπτυσσόμενου ιστού των οστών. Στις επιπρόσθετες λειτουργίες που έχουν αποδοθεί στην Βιταμίνη D περιλαμβάνονται η μετατροπή του οργανικού φωσφόρου σε ανόργανο φώσφορο στα οστά, η διατήρηση του επιπέδου του ασβεστίου στο αίμα και, τέλος, η εναπόθεση και η οξειδωση του κιτρικού άλατος στα οστά. Πάντως τα ψάρια μπορούν να προσλάβουν ασβέστιο από το νερό δια μέσου των βραγχίων τους και ίσως η βασικότερη λειτουργία αυτής της βιταμίνης να μην τους είναι απαραίτητη. Οι απαιτήσεις των ψαριών σε βιταμίνη D (αν υφίστανται τέτοιες) δεν είναι διερευνημένες επαρκώς.

Βιταμίνη Ε (τοκοφερόλη): Οι τοκοφερόλες δρουν ως λιποδιαλυτά, εξωκυτταρικά και ενδοκυτταρικά αντιοξειδωτικά μέσα στο σώμα του ζώου. Πιο συγκεκριμένα, οι τοκοφερόλες προστατεύουν τα υψηλού βαθμού ακόρεστα λιπαρά οξέα, που υπάρχουν στις κυτταρικές και υποκυτταρικές μεμβράνες, καθώς και άλλες αντιδραστικές χημικές ενώσεις (δηλαδή τις βιταμίνες Α και C) από (πιθανή) οξειδωτική βλάβη, ενεργώντας ως παγίδες ελεύθερων ριζών. Έχει επίσης προταθεί ότι οι τοκοφερόλες παίζουν σημαντικό ρόλο στην κυτταρική αναπνοή και στην βιοσύνθεση του DNA και του συνενζύμου Q. Έχει σχέση με τη διαπερατότητα των τριχοειδών αγγείων του αίματος και τη σωστή λειτουργία του καρδιακού μυ. Προλαμβάνει τη μυϊκή δυστροφία των ψαριών και επηρεάζει την εκκόλαψη των αυγών τους. Οι απαιτήσεις των ψαριών σε τοκοφερόλη ποικίλουν πολύ από 30-50 mg/κιλό τροφής για την πέστροφα και το σολομό έως 300 mg/κιλό τροφής για τον κυπρίνο.

Βιταμίνη Κ: Η βιταμίνη Κ απαιτείται για την διατήρηση της φυσιολογικής πήξης του αίματος διευκολύνοντας την παραγωγή και/ή απελευθέρωση διαφόρων πρωτεϊνών πλάσματος που απαιτούνται για τη πήξη του αίματος. Σε αυτές περιλαμβάνονται η προθρομβίνη, η προκομβερτίνη, η θρομβοπλαστίνη πλάσματος και ο συντελεστής Stuart - Prower.. Οι απαιτήσεις των ψαριών σε τοκοφερόλη είναι σχεδόν παρόμοιες για τα περισσότερα είδη σε επίπεδο 10 mg/κιλό τροφής.

Διαιτητικές απαιτήσεις σε βιταμίνες

Οι ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε βιταμίνες των ψαριών και των γαριδών εξαρτώνται από έναν αριθμό σημαντικών παραγόντων, που γενικά περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Τη διατροφική συμπεριφορά των ειδών ψαριών ή γαριδών που καλλιεργούνται. Για παράδειγμα, είδη όπως η γαρίδα, που καταναλώνουν την τροφή τους αργά στην διάρκεια μιας περιόδου ωρών, απαιτούν υψηλότερα διαιτητικά βιταμινικά επίπεδα έτσι ώστε να αντισταθμίζουν την προοδευτική απώλεια υδροδιαλυτών βιταμινών μέσω διύλισης.
- Τη συνθετική ικανότητα βιταμινών της εντερικής μικροχλωρίδας των καλλιεργούμενων ειδών ψαριών και γαριδών. Για παράδειγμα, μία καλοαναπτυγμένη εντερική μικροχλωρίδα είναι σε θέση να συνθέτει τις περισσότερες βιταμίνες του συμπλέγματος Β, το παντοθενικό οξύ, τη βιοτίνη, τη χολίνη, την ινοσιτόλη και τη βιταμίνη Κ, που με τη σειρά τους μπορούν να γίνουν διαθέσιμες για το ζώο, μειώνοντας κατ'αυτό τον τρόπο τη διαιτητική απαίτηση. Το γεγονός αυτό μπορεί να ισχύει ιδιαίτερα για φυτοφάγα ή παμφάγα είδη ψαριών ή γαριδών που εκτρέφονται σε δεξαμενές.
- Το προτιθέμενο σύστημα καλλιέργειας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί (με άλλα λόγια εντατικό, ημι-εντατικό ή εκτατικό) και τη διαθεσιμότητα των φυσικών τροφικών οργανισμών μέσα στον όγκο του νερού. Για παράδειγμα, δεν παρατηρήθηκε καμία ευεργετική επίδραση διαιτητικής προσθήκης βιταμινών στα είδη *tilapia* ή κυπρίνο είτε σε λιπαινόμενες δεξαμενές ή κλωβούς (που βρίσκονται μέσα στη δεξαμενή) σε πυκνότητες των 2ψαριών/m² και 100ψαριών/m³ αντίστοιχα. Εδώ, ο σημαντικός παράγοντας συνίσταται στη φυσική γονιμότητα του όγκου του νερού και τη συνολική βιομάζα των τοποθετημένων ειδών ψαριών ή γαρίδας. Η σημασία της διαιτητικής προσθήκης βιταμίνης αυξάνεται με την αύξηση της ιχθυοπυκνότητας και τη μείωση της φυσικής τροφικής διαθεσιμότητας ανά ψάρι. Οι φυσικοί τροφικοί οργανισμοί δεξαμενών ως εκ τούτου, εκπροσωπούν μια δυνητική πηγή διαιτητικών βιταμινών για είδη καλλιεργούμενα σε δεξαμενές.
- Το μέγεθος και το ρυθμό ανάπτυξης των καλλιεργούμενων ειδών ψαριών ή γαρίδας (πράγμα που σημαίνει την ημερήσια απαίτηση σε βιταμίνες ανά μονάδα βάρους σώματος που μειώνεται με την αντίστοιχη αύξηση του μεγέθους του ζώου και την μείωση του ρυθμού ανάπτυξης).
- Την περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία της διαίτας που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, η διαιτητική απαίτηση για τοκοφερόλη, θειαμίνη και πυριδοξίνη έχει

αποδειχθεί ότι αυξάνεται με την αύξηση των διαιτητικών συγκεντρώσεων των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, του υδατάνθρακα και της πρωτεΐνης αντίστοιχα.

- Τη βιομηχανική κατεργασία που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή της δόσης / μερίδας. Για παράδειγμα, οι τροφές που παρασκευάζονται σε σβώλους με ατμό ή σε ξηρή θερμοκρασία, για να είναι σε θέση να αντισταθμίσουν την καταστροφή των ευμετάβλητων βιταμινών, απαιτούν υψηλή διαιτητική θρεπτική ενίσχυση σε σχέση με τις τροφές που παρασκευάζονται (σε αντίστοιχες) διαδικασίες υπό κρύες ή υγρές συνθήκες σβωλοποίησης.

- Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του όγκου του νερού και της φυσιολογικής κατάστασης των καλλιεργούμενων ειδών ψαριών ή γαρίδων. Για παράδειγμα, οι αρνητικές συνέπειες της μόλυνσης, των ασθενειών, των σωματικών πληγών και της έντασης στα ψάρια, έχει βρεθεί ότι ελαττώνονται κατά ένα μέρος από τη διαιτητική προσθήκη ασκορβικού οξέος σε σχέση με και πάνω από αυτή (την ποσότητα) που απαιτείται από «το ζώο που δεν ζει σε συνθήκες έντασης».

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι οι προφανείς «φυσιολογικές» απαιτήσεις σε βιταμίνες των ψαριών και της γαρίδας (δηλ. το ελάχιστο διαιτητικό επίπεδο βιταμινών που υποστηρίζει την μέγιστη ανάπτυξη, τη μέγιστη (ικανότητα) αποθήκευσης βιταμινών στους ιστούς ή την αποφυγή σημαδιών ανεπάρκειας) θα διαφέρει σε αξιοσημείωτο βαθμό από το επίπεδο βιταμινών που απαιτείται μέσα στη πρακτική (δοσολογική) μερίδα των ψαριών ή της γαρίδας. Γενικά υπάρχει ισχυρή πληροφόρηση σχετικά με τις διαιτητικές απαιτήσεις των ψαριών ή της γαρίδας υπό πρακτικές ημι-εντατικές ή εντατικές συνθήκες καλλιέργειας καθώς η πλειονότητα των μελετών έχουν διεξαχθεί υπό ελεγχόμενες «εσωτερικές» εργαστηριακές συνθήκες και με ζώα που τρέφονταν με καθαρές ή ημι-καθαρές διαιτητικές αγωγές, που παρασκευάστηκαν με την χρήση εργαστηριακού ή χειριζόμενου με το χέρι εξοπλισμού κατεργασίας.

Παρόλα τα σοβαρά αυτά μειονεκτήματα, οι (ήδη) γνωστές διαιτητικές απαιτήσεις σε βιταμίνες των ψαριών και της γαρίδας επισκοπούνται περιληπτικά στον Πίνακα 6. Σε αυτόν αναφέρονται τα μακροσκοπικά, ανατομικά σημεία ανεπάρκειας σε ψάρια και γαρίδες που τρέφονταν με διαιτητικές αγωγές ανεπαρκείς σε βιταμίνες, κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες:

Πίνακας 6. Συμπτώματα ψαριών τρεφόμενα με δίαιτες ελλειπείς σε κάθε βιταμίνη.

Βιταμίνη / είδος	Συμπτώματα ανεπάρκειας
ΡΙΒΟΦΛΑΒΙΝΗ Σαλμονιδή	Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, δημιουργία αιμοφόρων αγγείων κερατοειδή χιτώννα, σκιασμένοι φακοί, διάβρωση ρύγχους, σπονδυλικές παραμορφώσεις, αυξημένος βαθμός θνησιμότητας,

Βιταμίνη / είδος	Συμπτώματα ανεπάρκειας
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	σοβαρή διάβρωση πτερυγίων, αιμορραγία πτερυγίων, γρήγορη επιπωματική κίνηση, έκδηλη μυϊκή αδυναμία, ανοιχτή ή σκουρόχρωμη φυσική χρωμάτωση ιστών, ραβδωτές συστολές κοιλιακού τοιχώματος, φωτοφοβία, ασυνεργία, ατονία, αναιμία Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, υψηλός βαθμός θνησιμότητας, αιμορραγία δέρματος και πτερυγίων, νευρική, φωτοφοβία Νανοσωμία, ανορεξία, κακή ανάπτυξη, καταρράκτης
Αμερ. Γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>) Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>) Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	Κακή ανάπτυξη Αιμορραγία πτερυγίων, φωτοφοβία, κακή ανάπτυξη, ανορεξία, ατονία
Βαδιστικό γατόψαρο (<i>Clarias batrachus</i>)	Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, αιμορραγία δέρματος και πτερυγίων, αυξημένος βαθμός θνησιμότητας, διαβρωμένα μουστάκια, οίδημα, εξασθένηση του χρώματος του σώματος, ατονία, ωχρά βράγχια, ωχρο σκώτι, σκοτεινοί φακοί
ΠΑΝΤΟΘΕΝΙΚΟ ΟΞΥ	
Σαλμονιδή	
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, νέκρωση / συγγόληση βραγχίων, αναιμία, βράγχια καλυμμένα με βλέννα, νωθρότητα, εσωτερικά διογκωμένα (οιδηματώδη) επιπλώματα Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, νωθρότητα, αναιμία, αιμορραγία δέρματος, εξοφθαλμία
Αμερ. γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>) Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>) Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	Ανορεξία, σύμπραξη βραγχίων, διαβρωμένο δέρμα, πεσμένα σιαγόνα και κεφάλι, αναιμία Κακή ανάπτυξη, θνησιμότητα Κακή ανάπτυξη, ανώμαλη κολυμβητική συμπεριφορά, δερματικές αλλοιώσεις
Βαδιστικό γατόψαρο (<i>Clarias batrachus</i>)	Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, υψηλή θνησιμότητα, βράγχια σε συγγόληση, υποδερματική αιμορραγία, εύθραυστα πτερύγια, οίδημα, διαβρωμένα μουστάκια, γοργή αναπνοή, πρήξιμο στην βάση των των στηθικών πτερυγίων, ωχρά βράγχια και ήπαρ
ΝΙΑΣΙΝΗ	
Σαλμονιδή	
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>) Αμερ. Γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, μειωμένη διατροφική ικανότητα, σκούρος χρωματισμός, ακανόνιστη κολύμβηση, σπασμοί μυών κατά την ανάπαυση, οίδημα στομάχου, ευπάθεια σε ηλιακά εγκαύματα Αιμορραγία δέρματος, υψηλή θνησιμότητα Αιμορραγία και αλλοιώσεις δέρματος / πτερυγίων, παραμόρφωση σιαγόνων, αναιμία, εξοφθαλμία, υψηλή θνησιμότητα
Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>) Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	Κακή ανάπτυξη Αιμορραγία και δερματικές αλλοιώσεις, μειωμένη ανάπτυξη, αταξία (ανώμαλη κολύμβηση), σκούρος χρωματισμός
Βαδιστικό γατόψαρο (<i>Clarias batrachus</i>)	Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, σπασμός μυών, απώλεια ισορροπίας, περιδίνηση, ατονία, υποδερματική αιμορραγία και αιμορραγία πτερυγίων, ελαφρά εξοφθαλμία, υψηλή θνησιμότητα, άτακτη κολύμβηση
ΘΕΙΑΜΙΝΗ	
Σαλμονιδή	
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, νευρικές διαταραχές, αυξημένη ευαισθησία σε σοκ από την φυσική πνοή αέρα σε δεξαμενές ή από φωτεινές εκλάμψεις Αιμορραγία πτερυγίων, νευρική, εξασθένηση του χρώματος του σώματος, ανορεξία, κακή ανάπτυξη
Αμερ. γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>) Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>) Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, σκούρος χρωματισμός, θνησιμότητα Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, αταξία, σύνδρομο συστροφής νευρικών ιστών (κορμού), αιμορραγία πτερυγίων
ΠΥΡΙΔΟΞΙΝΗ	
Σαλμονιδή	
	Νευρικές διαταραχές, υπερευερεθιστότητα, ανορεξία, γρήγορη εγκατάσταση νεκρικής ακαμψίας, αταξία, οίδημα περιτοναιϊκής κοιλότητας, άτακτη και γρήγορη κολύμβηση, μπλε-πρασινωπός χρωματισμός δέρματος, αναιμία, γοργή και ασθμαίνουσα

Βιταμίνη / είδος	Συμπτώματα ανεπάρκειας
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>) Αμερ. γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>) Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>) Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>) Ρόμβος (<i>Scorpthalmus maximus</i>) Τσιπούρα (<i>Sparus auratus</i>)	αναπνοή Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, νευρικές διαταραχές Ανορεξία, νευρικές διαταραχές, άτακτη κολύμβηση, τετανικός σπασμός, μπλε - πράσινος χρωματισμός ουραίας επιφανείας Κακή ανάπτυξη Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, νευρικές διαταραχές Μειωμένη ανάπτυξη Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, υψηλή θνησιμότητα, υπερευερεθιστότητα, άτακτη κολύμβηση, κακή διατροφική ικανότητα
Μαγιάτικο (<i>Seriola quinqueradiata</i>) Σολομός Ατλαντικού (<i>Salmo salar</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη Αυξημένη θνησιμότητα, άτακτη κολύμβηση, υπερευερεθιστότητα, γοργός ρυθμός οξυγόνωσης
Βαδιστικό γατόψαρο (<i>Clarias batrachus</i>)	Κακή ανάπτυξη, αυξημένη θνησιμότητα, διαβρωμένα μουστάκια, νευρικές διαταραχές, απώλεια ισορροπίας, γοργή εγκατάσταση νεκρικής ακαμψίας, άτακτη κολύμβηση, διαβρωμένα πτερύγια και πεσμένο σαγόνι, γοργή αναπνοή
Γαρίδα kuruma (<i>Penaeus japonicus</i>)	Κακή ανάπτυξη, υψηλή θνησιμότητα
<u>ΒΙΟΤΙΝΗ</u> Σαλμονιδή	Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, αυξημένη θνησιμότητα, κακή διατροφική ικανότητα, ασθένεια μπλε βλέννας (η πέστροφα ποταμών μόνο), αλλοιώσεις στο κόλον, μυϊκή ατροφία, σπαστικοί σπασμοί, παχιές (οστικές) μεμβράνες βραγχίων, ωχρά βράγχια
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>) Αμερ. Γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>) Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>) Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη, μειωμένη δραστηριότητα Φυσική αποχρωμάτωση ιστών, αναιμία, ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, υπερευαισθησία Δεν ανιχνεύθηκαν σημεία ανεπάρκειας Κακή ανάπτυξη, σκουρόχρωμος χρωματισμός, ανώμαλη κολυμβητική συμπεριφορά
<u>ΦΟΛΙΚΟ ΟΞΥ</u> Σαλμονιδή	Μακροκυτταρική ορθοχρωμική αναιμία, κακή ανάπτυξη, ανορεξία, λήθαργος, σκούρος χρωματισμός, ωχρά βράγχια, εξοφθάλμια, εσωτερικά διογκωμένη κοιλία με υγρό ασκίτης
Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>) Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>) Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>) Αμερ. γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>) Βαδιστικό γατόψαρο (<i>Clarias batrachus</i>)	Ανορεξία, κακή ανάπτυξη, σκούρος χρωματισμός Δεν ανιχνεύθηκαν σημεία ανεπάρκειας Δεν ανιχνεύθηκαν σημεία ανεπάρκειας Ανορεξία, αυξημένη θνησιμότητα, λήθαργος
<u>ΒΙΤΑΜΙΝΗ Β12</u> Σαλμονιδή	Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, εξασθένηση χρώματος του σώματος, ωχρά βράγχια και ήπαρ
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>) Αμερ. Γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>) Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>) Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>)	Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, μικροκυτταρική υποχρωμική αναιμία, θραυσμένα ερυθροκύτταρα, κακή διατροφική ικανότητα, σκουρόχρωμη χρωμάτωση ιστών Δεν ανιχνεύθηκε κανένα σημείο ανεπάρκειας Μειωμένη ανάπτυξη, πεσμένος αιματοκρίτης
<u>ΧΟΛΙΝΗ</u> Σαλμονιδή	Κακή ανάπτυξη Κακή ανάπτυξη
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>) Αμερ. γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>) Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>) Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>) Γαρίδα kuruma (<i>Penaeus japonicus</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη, λιπαρό ήπαρ, κακή διατροφική ικανότητα, αιμορραγικός νεφρός και έντερο Μειωμένη ανάπτυξη, λιπαρό ήπαρ Μειωμένη ανάπτυξη, μεγενθυμένο ήπαρ, αιμορραγικός νεφρός και έντερο Μειωμένη ανάπτυξη, θνησιμότητα Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, λευκόφαιο έντερο Μειωμένη ανάπτυξη και επιβίωση
<u>ΙΝΟΣΙΤΟΛΗ</u> Σαλμονιδή	Μειωμένη ανάπτυξη, εσωτερικά διογκωμένη κοιλία, σκούρο

Βιταμίνη / είδος	Συμπτώματα ανεπάρκειας
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	χρώμα, αυξημένος χρόνος γαστρικής κένωσης Μειωμένη ανάπτυξη, αλλοιώσεις / αιμορραγία δέρματος και πτερυγίων, απώλεια βλεννογόνων δέρματος Δεν ανιχνεύθηκε κανένα σημείο ανεπάρκειας
Αμερ. Γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη
Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη, λευκόφαιο έντερο
Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη
Γαρίδα kuruma (<i>Penaeus japonicus</i>)	
<u>BITAMINΗ C</u>	
Σαλμονιδή	Μειωμένη ανάπτυξη, εξασθένηση σχηματισμού κολλαγόνου, σκολίωση, λόρδωση, εσωτερική αιμορραγία και αιμορραγία πτερυγίων, παραμορφωμένα / συστρεμένα νημάτια βραγχίων, κακή επούλωση τραυμάτων, αυξημένος βαθμός θνησιμότητας, μειωμένη επωασιμότητα αυγών
Αμερ. Γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη, σκολίωση, λόρδωση, αυξημένη ευπάθεια, σύνδρομο θραυσμένης ράχης, εσωτερική και εξωτερική αιμορραγία, διάβρωση πτερυγίων, σκούρο χρώμα δέρματος, ανορεξία
Ιαπωνικό φαγγρί (<i>Pagrus major</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη
Ιαπωνικό χέλι (<i>Anguilla japonica</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη, διάβρωση κεφαλής και πτερυγίων, διάβρωση πεσμένης σιαγόνας
Tilapia	Σκολίωση, λόρδωση, μειωμένη ανάπτυξη / επούλωση τραυμάτων, εσωτερική / εξωτερική αιμορραγία, διάβρωση ουραίου πτερυγίου, εξωφθαλμία, αναιμία, μειωμένη επωασιμότητα αυγών
Βαδιστικό γατόψαρο (<i>Clarias batrachus</i>)	Σκολίωση, εξωτερική αιμορραγία, διάβρωση πτερυγίων, σκούρος χρωματισμός δέρματος
Γαρίδα kuruma (<i>Penaeus japonicus</i>)	Σύνδρομο μαύρου θανάτου (μαύρισμα του εξωτερικού σκελετού, μελανοειδής αιματοκυτταρικές αλλοιώσεις), μειωμένη ικανότητα επούλωσης τραυμάτων και τροφοδοσίας, κακή ανάπτυξη και επιβίωση
<u>BITAMINΗ A</u>	
Σαλμονιδή	Μειωμένη ανάπτυξη, εξωφθαλμία, φυσική αποχρωμάτωση ιστών, νεφέλωση και πάχυνση του επιθηλίου του κερατοειδούς χιτώνα, εκφυλισμός του αμφιβληστροειδή χιτώνα
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	Ανορεξία, άτονο χρώμα σώματος, αιμορραγία δέρματος και πτερυγίων, εξοφθαλμία, ανώμαλα / παραμορφωμένα επιπλωμάτια βραγχίων
Αμερ. γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Φυσική αποχρωμάτωση ιστών, θολά και προεξέχοντα μάτια (εξοφθαλμία), οίδημα, ατροφία, αιμορραγία νεφρού, αυξημένη θνησιμότητα
<u>BITAMINΗ D</u>	
Σαλμονιδή	Μειωμένη ανάπτυξη και τροφοληπτική ικανότητα, ανορεξία, τετανικός σπασμός, ανεβασμένη περιεκτικότητα λιπιδίων ήπατος / μυών και των επιπέδων T3 πλάσματος
Αμερ. γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Μειωμένη ανάπτυξη
Γαρίδα kuruma (<i>Penaeus japonicus</i>)	Μειωμένη επιβίωσης
<u>BITAMINΗ K</u>	
Σαλμονιδή	Αυξημένος χρόνος πήξης αίματος, αναιμία, αιμορραγικά βράγχια, μάτια και αγγειακός ιστός
Αμερ. Γατόψαρο (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Αιμορραγία δέρματος
<u>BITAMINΗ E</u>	
Σαλμονιδή	Μειωμένη ανάπτυξη, εξοφθαλμία, ασκίτης, αναιμία, βράγχια σε σύμπραξη, επικαρδίτιδα, εναπόθεση κηροειδούς στην σπλήνα, αυξημένη θνησιμότητα, ωχρά βράγχια, ευθραυστότητα ερυθροκυττάρων βλάβη / εκφυλισμός μυών, ελαττωμένος βαθμός εκκόλαψης αυγών / επάρκειας παραγωγής αυγών
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	Μυϊκή δυστροφία, θνησιμότητα, εξοφθαλμία

Βιταμίνη / είδος	Συμπτώματα ανεπάρκειας
Αμερ. Γατόψαρο (Ictalurus punctatus)	Μειωμένη ανάπτυξη και τροφοληπτική ικανότητα, εκκριτική διάθεση, μυϊκή δυστροφία, φυσική αποχρωμάτωση ιστών, λιπαρό ήπαρ, αναιμία, ατροφία του παγκρεατικού ιστού, θνησιμότητα, εναπόθεση κηροειδούς στο ήπαρ / στα αιμοφόρα αγγεία, σπληνική αιμοσιδήρωση
Γαρίδα kuruma (Penaeus japonicus)	Μειωμένη επιβίωση
Tilapia (Oreochromis niloticus)	Ανορεξία, μειωμένη ανάπτυξη, κακή τροφοληπτική ικανότητα, θνησιμότητα

Στις συνθήκες εντατικής καλλιέργειας και κατά την απουσία φυσικών οργανισμών τροφής, μπορεί να προκύψουν διαιτητικές ανεπάρκειες σε βιταμίνες από τα παρακάτω:

Τυποποίηση και αποθήκευση των ιχθυοτροφών

Ριβοφλαβίνη: χρησιμοποιούμενη στη μορφή αποξηραμένης σκόνης σε σπρέϋ ή στη μορφή προϊόντος ξηρού - διαλύματος, η ριβοφλαβίνη παραμένει γενικά αναλλοίωτη σε ξηρά, πολυβιταμινούχα προμείγματα. Οι τροφές που περιέχουν ριβοφλαβίνη θα πρέπει να προστατεύονται από το έντονο φως / υπεριώδη ακτινοβολία (υπεύθυνη για την οξειδωση) και από τις αλκαλικές συνθήκες.

Παντοθενικό οξύ: χρησιμοποιούμενο με τη μορφή του d-παντοθενικού άλατος ασβεστίου (92% δραστηριότητα) ή του d1-παντοθενικού άλατος ασβεστίου (46% δραστηριότητα), το παντοθενικό οξύ παραμένει γενικά αναλλοίωτο σε ξηρά πολυβιταμινούχα προμείγματα. Οι απώλειες επεξεργασίας κατά την διάρκεια της σβωλοποίησης ή της διαστολής έχουν αναφερθεί ότι φτάνουν ως το 10% .

Νιασίνη: χρησιμοποιούμενη στη μορφή του νικοτινικού οξέος ή της νιασιναμίδης και προστιθέμενη ως προϊόν ξηρού διαλύματος, η νιασίνη είναι γενικά σταθερή σε ξηρά πολυβιταμινούχα προμείγματα. Έχουν αναφερθεί απώλειες επεξεργασίας της τάξης του 20% για τις διογκωμένες τροφές οικιακών ζώων. Η νιασίνη παραμένει αναλλοίωτη μόνο εάν η τροφή διατηρείται σε ξηρό και δροσερό περιβάλλον.

Θειαμίνη: χρησιμοποιούμενη στη μορφή του μονονιτρικού άλατος θειαμίνης (91,8% δραστηριότητα) η θειαμίνη παραμένει αναλλοίωτη σε ξηρά πολυβιταμινούχα προμείγματα που δεν περιέχουν συμπλήρωμα χολίνης ή ιχνοστοιχεία. Η θειαμίνη καταστρέφεται γοργά σε αλκαλικές συνθήκες ή κατά την παρουσία σουλφιδίου. Έχουν αναφερθεί απώλειες κατά την επεξεργασία (σβωλοποίηση / διόγκωση) και αποθήκευση (7 μήνες, θερμοκρασία δωματίου) που φτάνουν το 0 - 10% και 11 - 12% αντίστοιχα.

Πυριδοξίνη: χρησιμοποιούμενη στη μορφή του υδροχλωριδίου πυριδοξίνης σε ξηρό διάλυμα, η πυριδοξίνη παραμένει αναλλοίωτη σε ξηρά πολυβιταμινούχα προμείγματα που δεν περιέχουν συμπλήρωμα ιχνοστοιχείων. Οι προπαρασκευασμένες τροφές που περιέχουν πυριδοξίνη απαιτούν προστασία από το ηλιακό φως (UV), την ζέστη και την υγρασία. Έχουν αναφερθεί απώλειες κατά την επεξεργασία και αποθήκευση (10 μήνες) της τάξης του 7 - 10%

Βιοτίνη: Χρησιμοποιούμενη στη μορφή της d-βιοτίνης σε ξηρό διάλυμα, η βιοτίνη παραμένει γενικά αναλλοίωτη σε ξηρά πολυβιταμινούχα προμείγματα. Αναφέρονται απώλειες κατά την επεξεργασία σε διογκωμένες τροφές οικιακών ζώων της τάξης του 10%.

Φολικό οξύ: χρησιμοποιούμενο σε κρυσταλλική μορφή και σε ξηρό διάλυμα, το φολικό οξύ μπορεί να χαθεί κατά την διάρκεια της αποθήκευσης ξηρών πολυβιταμινούχων προμειγμάτων ιδιαίτερα σε ανυψωμένες θερμοκρασίες (απώλεια 43% δραστηριότητας μετά από 3 μήνες σε θερμοκρασία δωματίου). Έχουν αναφερθεί απώλειες κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση της τάξης του 3-10%. Το φολικό οξύ είναι υπεύθυνο για την οξειδωση σε συνθήκες αποθήκευσης υψηλών θερμοκρασιών καθώς και με την έκθεση στο ηλιακό φως.

Βιταμίνη B12: χρησιμοποιούμενη σε κρυσταλλική μορφή και σε ξηρό διάλυμα, η σταθερότητα της βιταμίνης B12 σε πολυβιταμινούχα προμείγματα εξαρτάται από την

θερμοκρασία αποθήκευσης. Οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν την δραστηριότητα, ιδιαίτερα κατά την παρουσία ήπιων όξινων συνθηκών.

Χολίνη: χρησιμοποιούμενη ως 70% διάλυμα χλωριδίου χολίνης ή ως ξηρή σκόνη (25 - 60% δραστηριότητα, το χλωρίδιο χολίνης παραμένει αναλλοίωτο σε πολυβιταμινούχα προμείγματα αλλά μπορεί να μειώσει την σταθερότητα άλλων παρόντων βιταμινών. Είναι σχετικά σταθερή (αναλλοίωτη) κατά την διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης.

Βιταμίνη C: χρησιμοποιείται ως L-ασκορβικό οξύ, αιθυλκυτταρίνη ή με επίστρωση λίπους (για την βελτίωση της σταθερότητας) και γενικά δεν προστίθεται σε ξηρά πολυβιταμινούχα προμείγματα εξαιτίας της χαμηλής σταθερότητάς της. Οξειδώνεται εύκολα κατά την παρουσία υγρασίας, ιχνοστοιχείων, υψηλών θερμοκρασιών, φωτός και προϊόντων οξειδωσης (ταγκών λαδιών). Η σταθερότητά της εξαρτάται από την μορφή του προϊόντος που χρησιμοποιείται καθώς και της μεθόδου της επεξεργασίας της τροφής. Για παράδειγμα, έχει αναφερθεί η επίδραση της ανάμειξης (πολτός), της προσθήκης νερού, της ψυχρής σβωλοποίησης και της ξήρανσης σε ποσοστό επί τοις εκατό συγκράτησης του L-ασκορβικού οξέος, του νιτρικού άλατος ασκορβικού οξέος, του L-ασκορβικού οξέος με επίστρωση γλυκεριδίου και του άλατος βαρίου του 2-θειικού άλατος L-ασκορβικού οξέος (πρωτότυπη διαιτητική συγκέντρωση 125mg ασκορβικού οξέος / 100 g δίαιτας) της τάξης του 94,89%, 93,77%, 98,99% και 96,78% αντίστοιχα (για την ανάμειξη), του 74,59%, 71,12%, 94,40% και 95,70% αντίστοιχα (μετά την προσθήκη), 64,80%, 61,14%, 87,55% και 95,50% αντίστοιχα (μετά την ψυχρή σβωλοποίηση) και του 33,50%, 26,26%, 58,10% και 94,70% αντίστοιχα (μετά την ξήρανση της υγρής σβωλοποιημένης τροφής). Έχουν αναφερθεί απώλειες κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση για πρακτικές τροφές ψαριών που φτάνουν έως το 95% για το L-ασκορβικό οξύ χωρίς επίστρωση. Εν τούτοις, οι δυσκολίες αυτές μπορεί να ξεπεραστούν (κατά ένα μέρος) χρησιμοποιώντας υψηλότερα διαιτητικά επίπεδα ενίσχυσης ή χρησιμοποιώντας προστατευμένες μορφές ασκορβικού οξέος όπως το 2-θειικό άλας ασκορβικού οξέος και το ασκορβικό οξύ με επίστρωση γλυκεριδίου.

Βιταμίνη A: χρησιμοποιούμενη ως οξικό άλας, σαν παλμιτικός ή προπιονικός εστέρας σε μορφή σταγόνων με τη βιταμίνη D. Η βιταμίνη A παραμένει αναλλοίωτη σε ξηρά πολυβιταμινούχα προμείγματα. Εν τούτοις, η βιταμίνη A οξειδώνεται εύκολα σε υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης και κατά την παρουσία προϊόντων οξειδωσης (ταγκά λάδια). Έχουν αναφερθεί απώλειες κατά την επεξεργασία της τάξης του 20% για διογκωμένες τροφές οικιακών ζώων. Παρόμοια, η αποθήκευση 6 μηνών σε θερμοκρασία δωματίου είχε ως αποτέλεσμα μια απώλεια της δραστηριότητας της βιταμίνης A της τάξης του 53%. Η σταθερότητα μπορεί ν' αυξηθεί μέσω της δέουσας αντιοξειδωτικής προστασίας και τον ψεκασμό πάνω στην εξωτερική πλευρά του σφαιριδίου / σβώλου με λιπιδιακό μέσο.

Βιταμίνη D: χρησιμοποιείται ως βιταμίνη D₃ και προστίθεται συνήθως σε μορφή σταγόνων με τη βιταμίνη A ή ως σκόνη αποξηραμένη με ψεκασμό/τυμπάνο. Η σταθερότητά της είναι γενικά υψηλή.

Βιταμίνη K: χρησιμοποιείται με την μορφή του άλατος μεναδιόνης (βιταμίνη K₃), είτε ως νιτρικός βισουλφίτης μεναδιόνης (50% K₃ δραστηριότητα) ή ως σύμπλεγμα νιτρικού βισουλφίτη μεναδιόνης (33% K₃ δραστηριότητα). Η σταθερότητά της σε πολυβιταμινούχα προμείγματα είναι καλή κατά την απουσία ιχνοστοιχείων. Σε συνθήκες επεξεργασίας η θερμότητα, το αλκαλικό pH και τα ιχνοστοιχεία επιταχύνουν την αποδόμηση των αλάτων μεναδιόνης. Οι προπαρασκευασμένες τροφές θα πρέπει να προστατεύονται από το ηλιακό φως για την παράκαμψη επιπρόσθετων οξειδωτικών απωλειών.

Βιταμίνη E: χρησιμοποιούμενη στην μορφή του οξικού οξέος d1-άλφα-τοκοφερόλης, είτε ως ξηρό σπρέι ή μέσω απορρόφησης, η βιταμίνη E παραμένει αναλλοίωτη (σταθερή) σε ξηρά πολυβιταμινούχα προμείγματα, που αποθηκεύονται σε θερμοκρασίες κατώτερες της θερμοκρασίας δωματίου. Η σταθερότητα αυξάνεται όταν χρησιμοποιείται στην μορφή του οξικού οξέος αλλά είναι επιρρεπής σε οξειδωση κατά την αποθήκευση σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς και κατά την παρουσία προϊόντων οξειδωσης (ταγκά έλαια).

Διάλυση στο νερό των υδροδιαλυτών βιταμινών

Σε αντίθεση με τις λιποδιαλυτές βιταμίνες (A, D, E, K) οι υδροδιαλυτές βιταμίνες μπορούν εύκολα να χαθούν από την τροφή μέσω διύλησης πριν από την κατάποση από

τα ψάρια ή τις γαρίδες. Γενικότερα, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του τροφικού σωματιδίου, και όσο περισσότερο πη τροφή παραμένει αφάγωγη στο νερό, τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια των υδροδιαλυτών βιταμινών μέσω διύλισης.

Το L-ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) βρέθηκε ότι είναι ιδιαίτερος επιρρεπής σε απώλειες κατά την διάρκεια της διύλισης. Για παράδειγμα, παρά τις υπερβολικές απώλειες της βιταμίνης C που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια της προπαρασκευής και αποθήκευσης της τροφής, έχει αναφερθεί ότι έως του ποσοστού 50 - 70% της υπολειμματικής δραστηριότητας της βιταμίνης C χάνεται κατά την διάρκεια της διύλισης μετά από μια περίοδο εμβύθισης 10 δευτερολέπτων στο νερό (1,18 - 2,36 mm διάμετρος σβώλου). Στην ίδια μελέτη, αναφέρεται επίσης μια απώλεια της τάξης του 5 - 20% σε παντοθενικό οξύ, 0-27% σε φολικό οξύ, 0-17% απώλεια σε θειαμίνη και μια απώλεια της τάξης του 3-13% της δραστηριότητας της πυριδοξίνης, μέσω διύλισης, μετά από μια περίοδο εμβύθισης 10 δευτερολέπτων στο νερό. Αναφέρεται επίσης μια απώλεια σε παντοθενικό οξύ της τάξης του 50% μετά από μια περίοδο εμβύθισης 10 δευτερολέπτων ενός σβώλου πέστροφας που αρχικά περιείχε 500 mg/kg παντοθενικού οξέος. Παρόμοια, σε τεστ σταθερότητας του νερού με πλήρεις διαιτητικές αγωγές για τις γαρίδες πεναειδών αναφέρονται απώλειες υδροδιαλυτών βιταμινών της τάξης του 97% (θειαμίνη), 94% (παντοθενικό οξύ), 93% (πυριδοξίνη), 90% (βιταμίνη C), 86% (ριβοφλαβίνη), (50% ινοσιτόλη), 45% (χολίνη) μετά από περίοδο μίας ώρα εμβύθισης σε θαλασσινό νερό.

Ελλείψεις οφειλόμενες στην παρουσία διατητικών αντιβιταμινικών παραγόντων

Αβιδίνη: αντιβιοτικός παράγοντας που υπάρχει στο ασπράδι του ωμού αυγού. Καταστρέφεται εύκολα με τη θερμότητα.

Θειαμινάση: Θερμικά ευμετάβλητος αντιθειαμινικός παράγοντας που υπάρχει στα ωμά ψάρια, τα οστρακόδερμα, το επεξεργασμένο ρύζι, το σπόρο του ινδικού σιναπιού και του φασολιού καθώς και στο λιναρόσπορο. Η διαιτητική ανεπάρκεια σε θειαμίνη μπορεί να ξεπεραστεί μέσα από την θερμική επεξεργασία του ωμού (ακατέργαστου) υλικού κατά τέτοιο τρόπο ώστε να απενεργοποιήσει την θειαμινάση ή μέσα από την χρήση συμπληρωματικής διβενζουλθειαμίνης (DBT) ως μια ανθεκτική μορφή θειαμινάσης της διαιτητικής θειαμίνης.

Αντι-βιταμίνες A, E, D, B12: αναφέρεται ότι αυτοί οι αντιβιταμινικοί παράγοντες υπάρχουν στους ωμούς σπόρους σόγιας. Μπορούν να απενεργοποιηθούν μέσω θερμικής κατεργασίας.

Αντι-πυριδοξίνη: ο αντιπυριδοξινικός παράγοντας βρίσκεται στο άλευρο λιναρόσπορου με την ίδια, όπως παραπάνω, κατεργασία

Ανεπάρκειες που οφείλονται σε διαιτητική αντιβιοτική προσθήκη

Η χρήση των τροφικών αντιβιοτικών για την θεραπεία νοσηρών ξεσπασμάτων μπορεί να καταστρέψει την βιταμινική συνθετική ικανότητα της εντερικής μικροχλωρίδας των ψαριών που στα παμφάγα / φυτοφάγα είδη μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο ως προς τις βιταμινικές απαιτήσεις του ζώου.

Τοξικότητα βιταμινών

Τα ψάρια και οι γαρίδες σε αντίθεση με τις υδροδιαλυτές βιταμίνες συσσωρεύουν λιποδιαλυτές βιταμίνες, υπό συνθήκες κατά τις οποίες η διαιτητική πρόσληψη υπερβαίνει την μεταβολική απαίτηση. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες η συσσώρευση είναι τέτοια κατά την οποία μπορεί να παραχθεί τοξική κατάσταση (υπερβιταμίνωση). Αν και μια τέτοια κατάσταση είναι απίθανο να συμβεί σε πρακτικές συνθήκες καλλιέργειας, η υπερβιταμίνωση έχει πειραματικά προκληθεί στα ψάρια. Ο Πίνακας 7 περιγράφει μερικές περιπτώσεις.

Πίνακας 7. Συμπτώματα υπερβιταμίνωσης στα ψάρια.ΒΙΤΑΜΙΝΗ Α

Σαλμονιδή

Συμπτώματα

Μειωμένη ανάπτυξη και αιματοκρίτης, σοβαρή νέκρωση/διάβρωση του πρωκτού, των εδρικών, των ουραίων, των της λεκάνης και των σθηθαίων πτερυγίων, σκολίωση, λόρδωση, αυξημένη θνησιμότητα, ωχροκίτρινο ήπαρ

ΒΙΤΑΜΙΝΗ D

Σαλμονιδή

Μειωμένη ανάπτυξη, λήθαργος, σκούρος χρωματισμός

Αμερικάνικο γατόψαρο
(*Ictalurus punctatus*)

Μειωμένη ανάπτυξη, κακή τροφική επάρκεια

ΒΙΤΑΜΙΝΗ Ε

Γενικά

Μειωμένη ανάπτυξη, τοξική αντίδραση ήπατος, θνησιμότητα

ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Τα ψάρια όπως και τα χερσαία ζώα έχουν ανάγκη από διάφορα ανόργανα στοιχεία για την ανάπτυξή τους. Τέτοια είναι τα: ασβέστιο, φώσφορος, μαγνήσιο, σίδηρος, χλώριο, μολυβδαίνιο, σελήνιο, ιώδιο, μαγγάνιο, χαλκός, κοβάλτιο, νάτριο, κάλιο, θείο και ψευδάργυρος. Αλλα από αυτά χρειάζονται σε ελάχιστες ποσότητες ως ιχνοστοιχεία και άλλα σε μεγαλύτερες ανάλογα με το λειτουργικό του ρόλο στους ιστούς του σώματος. Για παράδειγμα: Στα οστά (π.χ. ασβέστιο) προσφέρουν αντοχή και σταθερότητα, στις πρωτεΐνες αποτελούν συστατικό των αμινοξέων (π.χ. θείο στα αμινοξέα μεθειονίνη και κυστεΐνη), στο αίμα (π.χ. σίδηρος) συμμετέχουν στο μόριο της αιμοσφαιρίνης, στην οσμωρύθμιση (π.χ. κάλιο, νάτριο) συμμετέχουν στη ρύθμισή της και γενικά στα σωματικά υγρά είναι απαραίτητα στην οξεοβασική ισορροπία. Στον Πίνακα 8 αναγράφεται ο κυριότερος μεταβολικός τους ρόλος.

Πίνακας 8. Τα κυριότερα ανόργανα στοιχεία. Ο ρόλος τους στο μεταβολισμό των ψαριών, τα συμπτώματα από την έλλειψή τους και οι απαιτήσεις για αυτά ανά Kg τροφής. (Από Υπουργείο Γεωργίας, 1998).

Στοιχείο	Κύρια μεταβολική δράση	Συμπτώματα	Απαιτήσεις
Ασβέστιο	Σχηματισμός χόνδρων και οστών, clotting αίματος, σύσπαση μυών	Δεν προσδιορίστηκαν	5 γρ.
Φώσφορος	Σχηματισμός οστών, φωσφορικοί εστέρες υψηλής ενέργειας, άλλα οργανοφωσφορικά σύμπλοκα.	Λόρδωση, χαμηλή ανάπτυξη	7 γρ.
Μαγνήσιο	Ενζυμικοί συμπαράγοντες στον μεταβολισμό των λιπών, υδατανθράκων και πρωτεϊνών.	Απώλεια όρεξης, χαμηλή ανάπτυξη, τέτανος	500 mg
Νάτριο	Κυριώτερο μονοσθενές κάτιον των ενδοκυτταρικών υγρών. Σύνδεση με οξεοβασική ισορροπία και ωσμωρύθμιση.	Δεν προσδιορίστηκαν	1-3 γρ.
Κάλιο	Απαραίτητο στοιχείο των θειοαμινοξέων και του κολλαγόνου. Συνδέεται με αποτοξίνωση από στρωματικά σύμπλοκα.	Δεν προσδιορίστηκαν	3-5 γρ.
Χλώριο	Κυριώτερο μονοσθενές ανιόν των ενδοκυτταρικών υγρών, συστατικό των πεπτικών υγρών (HCl), οξεοβασική ισορροπία.	Δεν προσδιορίστηκαν	1-5 γρ.
Σίδηρος	Βασικό συστατικό της αίμης των κυτοχρωμάτων, υπεροξειδάσης κ.λπ.	Μικροκυτταρική, ομοχρωμική αναιμία	50-100 mg
Χαλκός	Συμπαράγων στην οξείδωση του ασκορβικού οξέος και την τυροσινάση.	Δεν προσδιορίστηκαν	1-4 γρ.
Μαγγάνιο	Συμπαράγων στην αργινάση και μερικά μεταβολικά ένζυμα. Σχηματισμός οστών και αναγέννηση ερυθροκυττάρων.	Δεν προσδιορίστηκαν	20-50 mg
Κοβάλτιο	Μεταλλικό συστατικό της κυανοκοβαλαμίνης (B12). Προλαμβάνει αναιμία. Συμμετέχει στον C1 & C3 μεταβολισμό.	Δεν προσδιορίστηκαν	5-10 mg
Ψευδάργυρος	Βασικό στο σχηματισμό και λειτουργία της ινσουλίνης, συμπαράγων της καρβονικής ανυδράσης.	Δεν προσδιορίστηκαν	30-100 mg
Ιώδιο	Συστατικό της θυροξίνης. Ρυθμίζει τη χρήση του οξυγόνου.	Θυρεοειδική υπερπλασία	100-300 mg

ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΨΑΡΙΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απόδοση μιας υδατοκαλλιέργειας ανά μονάδα επιφάνειας δεξαμενής ή ανά μονάδα εκτροφής και ως εξ'αυτού η οικονομική ανταποδοτικότητα, εξαρτώνται κυρίως από τη σωστή εκμετάλλευση της τροφής. Όσο πιο εντατική η καλλιέργεια, τόσο πιο μεγάλη και η σημασία της τροφής που παρέχεται στα ψάρια και συνεπώς τόσο μεγαλύτερο το κόστος που απορροφά η διατροφή. Έχει υπολογισθεί ότι το κόστος της τροφής σε μια εντατική μονάδα υδατοκαλλιέργειας αντιπροσωπεύει το 55% του όλου κόστους παραγωγής. Ακόμα όμως και σε μία μονάδα ημιεντατικής καλλιέργειας, όπου μέρος της τροφής των ψαριών προέρχεται από τη φυσική παραγωγικότητα της δεξαμενής, το κόστος της διατροφής ανέρχεται σε 30% του συνόλου (στοιχεία από το Ισραήλ για πολυκαλλιέργεια, HEPHER, 1988). Τα παραπάνω αναδεικνύουν τη σημασία του σωστού υπολογισμού της τροφής που δίδεται στα ψάρια ως απόρροια της γνώσης του μεταβολισμού των ψαριών. Εάν η παρεχόμενη τροφή είναι λιγότερη από την απαιτούμενη τότε θα καλυφθούν μόνο οι ανάγκες συντήρησης των ψαριών και δεν θα επιτευχθεί αύξηση. Εάν αντιθέτως η τροφή δίδεται σε υπερβολική ποσότητα τότε έχουμε σπατάλη χρημάτων μια και τα ψάρια δεν θα εκμεταλλευθούν πλήρως την παρεχόμενη ποσότητα και η περίσσεια θα πάει χαμένη.

Στις περιπτώσεις που τα ψάρια εξαρτώνται εν μέρει ή εν όλο από τη φυσική παραγωγικότητα της δεξαμενής (ημιεντατική καλλιέργεια), ο υπολογισμός του σωστού ποσοστού της παρεχομένης τροφής είναι πολύ πιο δύσκολος απ'ότι για τα χερσαία ζώα. Ο υδατοκαλλιεργητής πρέπει να δίδει συμπληρωματική τροφή για να καλύψει τις διατροφικές τους ανάγκες. Στα χερσαία ζώα που βόσκουν η κατάσταση είναι πιο ελεγχόμενη και η παραγωγή του λιβαδιού πολύ πιο εύκολα ελεγχόμενη. Όμως σε μια δεξαμενή υπάρχει πολύ μεγαλύτερη ποικιλία θρεπτικών οργανισμών και ο κύκλος ζωής των πολύ βραχύτερος συγκριτικά με το χορτάρι στα λιβάδια. Επίσης είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθεί και υπολογισθεί η κατανάλωση από τα ψάρια στο θολό συνήθως νερό της δεξαμενής.

Τρία είναι τα στοιχεία που εμπλέκονται στη διατροφή των καλλιεργούμενων ψαριών σε ημιεντατική καλλιέργεια. α) Οι διατροφικές απαιτήσεις των ψαριών R, β) η διαθέσιμη φυσική τροφή, F_n και γ) η συμπληρωματική τεχνητή τροφή F_s . Ετσι λοιπόν έχουμε:

$$R = F_n + F_s \quad (1)$$

Εξυπακούεται ότι σε μια εντατική υδατοκαλλιέργεια δεν εμπλέκεται στην παραπάνω σχέση η φυσική τροφή και τα ψάρια λαμβάνουν αποκλειστικά (και εξαρτώνται απόλυτα από) τεχνητή τροφή. Ο υπολογισμός λοιπόν του βέλτιστου ποσού της συμπληρωματικής τροφής είναι περισσότερη απλή υπόθεση στα εντατικά συστήματα (π.χ. πεστροφοκαλλιέργειες, ιχθυοκλωβοί) συγκριτικά με τα ημιεντατικά (π.χ. πολυκαλλιέργεια κυπρίνου – τιλάπιας).

ΤΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης τροφής για μια συγκεκριμένη εκτροφή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό στη σύστασή της. Η σωστή ανάπτυξη του ψαριού επιτυγχάνεται όταν ταΐζεται με τον πιο αποδοτικό τρόπο ως προς την ποσότητα που απαιτείται. Η ποσότητα αυτή σε συνδυασμό με τη σωστή σύσταση της τροφής θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του ψαριού για συντήρηση και αύξηση. Αν δεν καλυφθούν πλήρως οι ανάγκες του για συντήρηση τότε η αύξηση που θα επιτύχει δεν θα είναι πλήρης.

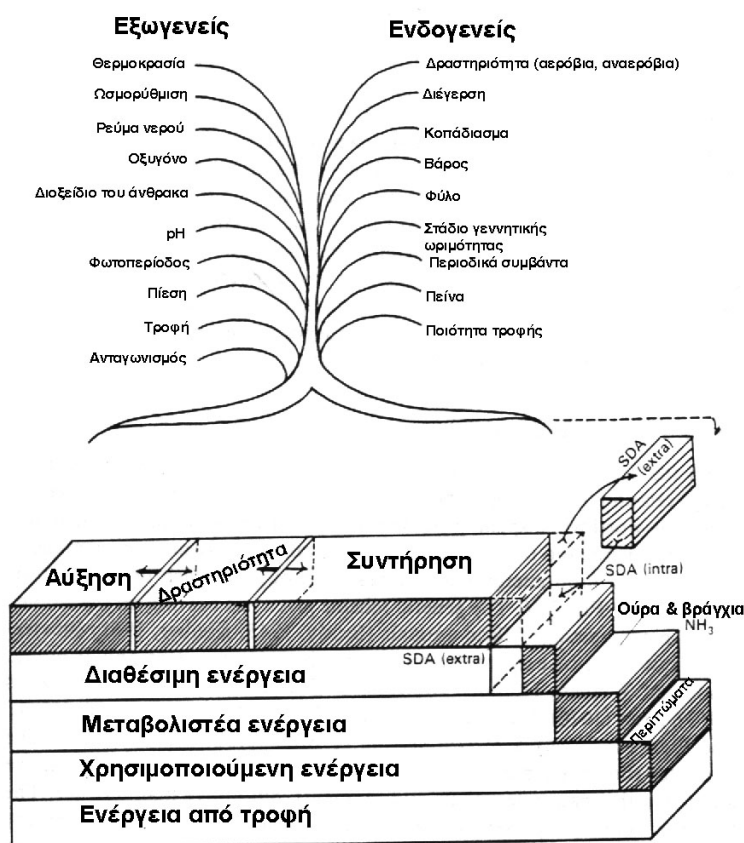
Κατά τις μεταβολικές διεργασίες της τροφής που γίνονται στον οργανισμό του ψαριού, δηλαδή κατά τη μεταμόρφωση της τροφής σε καθαρή ενέργεια διαθέσιμη για μεταβολισμό και αύξηση, ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας χάνεται. Το πόσο πολύ χάνεται είναι θέμα διαχείρισης του εκτροφέα. Πλήρης εκμετάλλευση της ενέργειας δεν είναι δυνατή, ένα μέρος πάντα θα χάνεται. Το ζήτημα είναι ότι το μέρος αυτό πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Αυτό επιτυγχάνεται μόνο αν μπορούμε να υπολογίζουμε μέσω της επιστημονικής γνώσης τα διάφορα και διαδοχικά βήματα της πορείας της ενέργειας των τροφών μέσα στο σώμα του ψαριού. Στο Σχήμα 7 αντιπροσωπεύονται γραφικά τα βήματα της μεταβολής της τροφικής ενέργειας σε καθαρή ενέργεια διαθέσιμη για συντήρηση και αύξηση, και επιπλέον υποδεικνύονται οι απώλειες κατά την πορεία αυτή.

Στις ιχθυοκαλλιέργειες επιχειρείται η στο συντομότερο χρονικό διάστημα παραγωγή εμπορικού μεγέθους ψαριών δια μέσου της βελτιστοποίησης όλων των παραγόντων που θα συντελέσουν στην αύξηση του βάρους των. Ως τέτοιοι παράγοντες αναγνωρίζονται κυρίως η θερμοκρασία και η ισορροπημένη παροχή τροφής που μέσα σε ένα κατάλληλο περιβάλλον κατάλληλα προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις του εκτρεφόμενου είδους (οξυγόνο, αλατότητα, αμμωνία, νιτρώδη κ.λ.π.), θα προκαλέσει τη σωστή μεταβολική δραστηριότητα με σκοπό την καλλίτερη εκμετάλλευση της τροφής. Η γνώση των βασικών αρχών του μεταβολισμού είναι υψίστης σημασίας για την αποδοτικότητα της εκτροφής που

συνίσταται στη μεγιστοποίηση της επιβίωσης και του ρυθμού αύξησης με το λιγότερο δυνατό κόστος. Η παρεχόμενη τροφή θα πρέπει να περιέχει την απαραίτητη θερμιδογόνο ενέργεια καθώς και την κατάλληλη αναλογία από τα διάφορα συστατικά. Για τα ψάρια συγκριτικά με τα χερσαία θηλαστικά οι μεταβολικές μελέτες είναι λιγότερο αναπτυγμένες, αλλά με την ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών η έρευνα και η παραγωγή προβλεπτικών μοντέλων είναι επιβεβλημένη και πολύ χρήσιμη. Δια αυτής της διεργασίας και μέσα σε μικρά καθορισμένα χρονικά διαστήματα μπορούν να κατανοηθούν τα ενεργειακά ισοζύγια που θα επιτρέπουν γρήγορες και τεκμηριωμένες προβλέψεις για τις επιδράσεις των διαφόρων παραγόντων, βιοτικών και αβιοτικών, όπως η σύνθεση της τροφής, η δοσολογία τροφής και οι συνθήκες εκτροφής (SANZ RUS et al., 2000). Οι μελέτες στις παραμέτρους του μεταβολισμού των ψαριών χρησιμοποιούν την εξίσωση της διατήρησης της ενέργειας σύμφωνα με τον γενικό τύπο:

$$C = R + U + F + P \quad (2) \quad \text{όπου:}$$

C= η συνολική ακατέργαστη ενέργεια που πέπτεται δια της τροφής, R= η ενέργεια που διαχέεται (χάνεται) ως θερμότητα (μεταβολικός ρυθμός), U= η ενέργεια που χάνεται με την απέκκριση του αζώτου, F= η ενέργεια που χάνεται στα περιττώματα και P= η ενέργεια που διατηρείται στο ψάρι ως παραγωγή ιστών (παρακάτω δια μέσου πιο επεξηγημένων παραμέτρων ο παραπάνω τύπος θα επαναδιατυπωθεί).



Σχήμα 7. Καταμερισμός της ενέργειας στο σώμα του ψαριού και παράγοντες που επιδρούν σε αυτό.

Δια του μεταβολισμού το ψάρι αποκτά την απαραίτητη ενέργεια για τις φυσιολογικές του διεργασίες έτσι ώστε αφενός να αντικαθιστά τις απώλειές του (ενεργειακό κόστος μεταβολισμού, φθορά ιστών) και αφετέρου να αυξάνει τη βιομάζα του (ανάπτυξη). Ο μεταβολισμός εξαρτάται από την ποιότητα και ποσότητα της λαμβανομένης τροφής και από την αποτελεσματικότητα και ταχύτητα των βιοχημικών μετατροπών που συμβαίνουν στον οργανισμό του ψαριού. Για να προκληθεί αύξηση του ψαριού πρέπει πρώτα αυτό να έχει καλύψει τις ανάγκες της συντήρησής του. Ως συντήρηση αναγνωρίζονται όλες οι βασικές μεταβολικές διεργασίες που επιτρέπουν στο ψάρι να ζήσει και να διεξάγει όλες τις απαραίτητες βιοχημικές διεργασίες. Τα συστατικά της τροφής (πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες, ανόργανα) μέσω διάσπασης σε απλούστερα μόρια και οξειδωσης αυτών παρέχουν την αναγκαία ενέργεια η οποία θα καλύψει τις ανάγκες συντήρησης. Εάν περισσεύει ενέργεια τότε και μόνο τότε θα έχουμε αύξηση του βάρους (Σχήμα 7).

Τα ψάρια είναι ποικιλόθερμα κατά την έννοια ότι η θερμοκρασία του σώματός τους είναι σχεδόν παρόμοια με αυτή του περιβάλλοντος νερού. Το χαρακτηριστικό αυτό δημιουργεί ενεργειακό πλεονέκτημα για τις ιχθυοκαλλιέργειες, αν ιδωθούν συγκριτικά με την εκτροφή των χερσαίων ζώων στα οποία δρα συνέχεια ο φυσιολογικός μηχανισμός (με ενεργειακό κόστος) για τη ρύθμιση της σωματικής τους θερμοκρασίας σε ένα σταθερό χαρακτηριστικό επίπεδο, ανεξάρτητο της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας. Έτσι λοιπόν η παραγωγή θερμότητας στα ψάρια είναι πολύ μικρότερη και παρατηρείται όταν αυτά κινούνται έντονα. Στα τελεόστεα θαλασσινά είδη, το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολικής θερμότητας διαφεύγει στο περιβάλλον νερό μέσω του δέρματος, ενώ ο βαθμός της θερμικής εξισορρόπησης δια μέσου των βραγχίων είναι σχετικά μικρός.

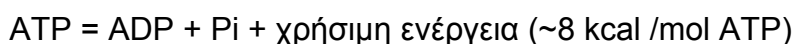
Οι μεταβολικές διεργασίες υπακούουν σε δύο βασικούς «νόμους». Πρώτον στο «νόμο του ελαχίστου», κατά τον οποίον όταν λείπουν οι απαιτούμενες μικροποσότητες στοιχείων ή μορίων που είναι απαραίτητα (μέταλλα, βιταμίνες), οι μεταβολικές οδοί υπολειτουργούν ή σταματούν, έστω και αν τα υπόλοιπα βασικά μεταβολιστέα συστατικά βρίσκονται ακόμα και σε υπερεπάρκεια. Δεύτερον, στο «νόμο της ισοδυναμικής» κατά τον οποίον αυτά τα συστατικά (πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες) συνεισφέρουν μεταβολιζόμενα σε παραγωγή ενέργειας κατά τη φυσιολογική θερμιδική τους αξία. Οι σειρές των μεταβολικών αντιδράσεων αποτελούνται από πολλά «βήματα» αντιδράσεων τα οποία καταλύονται από διαφορετικά ένζυμα και κατά τις οποίες το κάθε παραγόμενο προϊόν αποτελεί το υπόστρωμα του επομένου. Μέσω των διαδοχικών αλλαγών που επέρχονται στα

μεταβολιζόμενα μόρια, δημιουργούνται μεταβολικοί δρόμοι ευθείας μορφής με ορισμένα βήματα να παρεκκλίνουν εν είδη ανακύκλωσης (loop), να παράγουν καινούργια προϊόντα τα οποία μπορεί να ξαναεισέρχονται στην τυπική ευθεία της μεταβολικής οδού.

Η πεπτή ενέργεια (DE) είναι το κομμάτι εκείνο που απορροφάται από το ψάρι, ενόσω η ενέργεια που φεύγει με τα περιττώματα (E_f) χάνεται. Επιπλέον ένα άλλο μέρος της πεπτής ενέργειας χάνεται με την απέκκριση καταβολιτών δια μέσου των ούρων και των βραγχίων E_m . Η απώλεια αυτή κατά το μεγαλύτερο μέρος της είναι το αποτέλεσμα του καταβολισμού των πρωτεϊνών και της απαμμωνοποίησής των, στην περίπτωση που τα αμινοξέα τους χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ενέργεια στο σώμα αντί για αύξηση των σωματικών ιστών. Η ενέργεια η αφομοιούμενη στο σώμα αποτελεί τη μεταβολιζόμενη ενέργεια (ME) αλλά και αυτής ένα κομμάτι της χάνεται πάλι δια μέσου διαφόρων διεργασιών. Αυτό το κομμάτι που χάνεται συνολικά αποτελεί την «ειδική δυναμική δράση» ή όπως είναι καλλίτερα και διεθνώς γνωστό τη SDA (Specific Dynamic Action). Σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής, η μετατροπή της ενέργειας από μια μορφή σε μια άλλη καταλήγει πάντοτε σε «εντροπία» δηλαδή σε χάσιμο ενέργειας υπό μορφή θερμότητας. Η μεταμόρφωση της ενέργειας της τροφής σε διαθέσιμη ενέργεια (NE) μέσα στο σώμα, γίνεται με διαδοχικά βήματα δια μέσου καταλυτικών διαδικασιών με την ελάχιστη απώλεια θερμότητας, αλλά αυτή η απώλεια όπως προαναφέρθηκε δεν αποφεύγεται. Η απώλεια αυτή που στη διατροφή ονομάζεται «αύξηση θερμότητας – heat increment», σχετίζεται με τις οξειδωτικές βιοχημικές αντιδράσεις και ποικίλλει ανάλογα με τη φύση της τροφής.

Μέσω των μεταβολικών οδών και κατά την καταβολική δράση τους, τα μεγάλα οργανικά μόρια (πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες) διασπώνται σε μικρά μόρια (αμινοξέα, λιπαρά οξέα και γλυκερίνη, εξόζες αντίστοιχα), τα οποία στο τέλος αποδίδουν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και αμμωνία (NH_3), ενώ συγχρόνως απελευθερώνεται ενέργεια η οποία αποθηκεύεται υπό μορφή ATP και NADPH. Ο οργανισμός εφόσον αποθήκευσε πλέον αρκετή ενέργεια με τα μόρια αυτά, μπορεί να δραστηριοποιήσει τις αναβολικές του διεργασίες και να μετατρέψει τα άφθονα πρόδρομα μόρια που δημιουργήθηκαν (α-κετοξέα, acetyl-CoA, κλπ), στα απαιτούμενα συστατικά που χρειάζεται (ξανά πρωτεΐνες, λίπη, άλλα μακρομόρια αλλά και νουκλεϊκά οξέα που χρειάζεται για τα καινούργια του κύτταρα) χρησιμοποιώντας την ενέργεια των ATP και NADPH. Ο κύκλος του κιτρικού οξέως στα κύτταρα είναι ο κυριότερος μηχανισμός παραγωγής τριφωσφορικής

αδενοσίνης (ATP). Η υδρόλυση του ATP είναι η ενεργειακή πηγή στο κυτταρικό επίπεδο. Η πλήρης οξειδωση ενός mol γλυκόζης (υδατάνθρακας) σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, απελευθερώνει 686 kcal. Μέρος αυτής της ενέργειας παγιδεύεται στο δεσμό υψηλής ενέργειας του ATP και η υπόλοιπη χάνεται ως θερμότητα. Η υδρόλυση του ATP σε διφοσφωρική αδενοσίνη (ADP) και ανόργανο φώσφορο (Pi) απελευθερώνει ενέργεια, η οποία, χρησιμοποιείται στις ενεργοβόρες μεταβολικές αντιδράσεις κατά τις παρακάτω γενικευμένες αντιδράσεις:



Η πλήρης οξειδωση 1 γραμμομορίου (mol) γλυκόζης θεωρητικά παράγει 85 moles ATP. Σε φυσιολογικές συνθήκες όμως παράγονται 39 moles ATP, δηλαδή αποδοτικότητα 45%. Το υπόλοιπο της ενέργειας χάνεται ως θερμότητα, η οποία είναι άχρηστη για τα ποικιλόθερμα (εκτόθερμα) ζώα και χρήσιμη μόνο στα ομοιόθερμα (ενδόθερμα) που με τη βοήθειά της διατηρούν σταθερή τη σωματική τους θερμοκρασία. Στα ψάρια η θερμότητα αυτή χάνεται σχεδόν εντελώς αχρησιμοποίητη στο περιβάλλον νερό. Εξαιρεση αποτελούν ολίγα είδη όπως ο τόνος, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτή την ενέργεια για να ανυψώσει τη θερμοκρασία του πεπτικού του σωλήνα με σκοπό να επιταχύνει την πέψη των τροφών.

Για τις βασικές λειτουργίες του οργανισμού που είναι απαραίτητες για τη ζωή, όπως η κυκλοφορία του αίματος, η αναπνοή, η οσμωρύθμιση, η αιώρηση και η ισορροπία στο νερό καθώς και για άλλες ουσιαστικές λειτουργίες του, το ψάρι απαιτεί ένα ορισμένο ποσό ενέργειας. Αυτό αποτελεί το βασικό μεταβολισμό. Επειδή το ψάρι πρέπει να διατηρεί το βασικό μεταβολισμό του ακόμη και όταν δεν έχει να φάει (νηστεία – fasting), η απαιτούμενη ενέργεια θα πρέπει να παρασχεθεί δια της χρησιμοποίησης των ίδιων των σωματικών ιστών του (ειδικά των αποθεμάτων λίπους του κατά πρώτον) και ως εξ'αυτού το ψάρι θα χάνει βάρος.

Ο ρυθμός μεταβολισμού των ψαριών μπορεί να υπολογισθεί:

α) με άμεση θερμοδομετρία (SMITH et al. 1978a) κατά την οποία με τη χρήση πολύ ευαίσθητων θερμομέτρων (ακριβείας 0,001 °C) είναι δυνατό να καθοριστεί η παραγωγή θερμότητας που προκύπτει από το μεταβολισμό.

β) δια του υπολογισμού της θερμοδικής αξίας των ιστών που χάνονται κατά τη νηστεία

γ) δια του πλέον απτού τρόπου μέτρησης της ενεργειακής διαδικασίας του μεταβολισμού που είναι η μέτρηση της κατανάλωσης του οξυγόνου, με δεδομένη την ευκολία με την οποία μετράται η κατανάλωση οξυγόνου στα υδρόβια ζώα.

Απουσία αναερόβιων διαδικασιών η ενεργειακή απόδοση του οξυγόνου είναι 13-14 J/mg O₂, ακόμα και αν υπολογίσουμε ότι ανάλογα με το οξειδούμενο υπόστρωμα (πρωτεΐνες, λίπη ή υδατάνθρακες) αποδίδεται διαφορετικό ποσό ενέργειας. Οι διαφορές όμως αυτές είναι κατά κανόνα μικρότερες του 2%. Ο λόγος CO₂/O₂ (RQ = αναπνευστικός λόγος, molCO₂ παραγόμενα/molO₂ καταναλωθέντα) μπορεί επίσης να ποικίλλει ανάλογα με το υπόστρωμα και λαμβάνει τις τιμές 1,00, 0,90 και 0,71 ανάλογα με το μεταβολιζόμενο υπόστρωμα, υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λίπη αντίστοιχα (BEAMISH & DICKIE, 1967; PEER & KUTTY, 1981).

Ο ρυθμός του μεταβολισμού δεν είναι πάντοτε ο ίδιος και εξαρτάται από την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα ψάρια. Διακρίνεται σε :

- **Βασικό μεταβολισμό** (Basal metabolism) Q_m , ο οποίος αντιστοιχεί και καταγράφεται όταν το ψάρι είναι αδρανές, δηλαδή παρουσιάζει την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση οξυγόνου, όσο χρειάζεται για να διατηρηθεί στη ζωή.
- **Συνήθη μεταβολισμό** (Routine metabolism) ο οποίος καταγράφεται όταν το ψάρι βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες, ήτοι εμφανίζει τη συνήθη δραστηριότητά του χωρίς όμως να έχει φάει ή να βρίσκεται υπό όχληση (stress).
- **Μεταβολισμό διατροφής** (SDA-Specific Dynamic Action) ο οποίος καταγράφεται σε ψάρια που κολυμπούν ήρεμα και ελεύθερα και βρίσκονται στο στάδιο της πέψης της τροφής.
- **Ενεργό μεταβολισμό** (Active metabolism) ο οποίος καταγράφεται σε κατάσταση έντονης κολυμβητικής δράσης κατά τον οποίο μπορεί να επέλθει εξάντληση (ακόμα και θάνατος) λόγω όχλησης (stress), δια μέσω της συσσώρευσης γαλακτικού οξέως στο αίμα (WOOD et al. 1983).

Σύμφωνα με τον WINBERG (1956) δεν παρουσιάζονται αξιοσημείωτες διαφορές στο βασικό μεταβολισμό των ψαριών ή τόσο έντονες στο συνήθη, όσο στο μεταβολισμό διατροφής και κυρίως στον ενεργό μεταβολισμό μεταξύ των διαφόρων ειδών ψαριών. Σε κάθε περίπτωση όμως θα πρέπει να λαμβάνεται υπ'όψιν η βέλτιστη θερμοκρασία για τα ψάρια, επειδή αυτή επηρεάζει πρωτίστως την ένταση του μεταβολισμού. Για παράδειγμα ο σολομός coho παρουσιάζει βέλτιστο γύρω στους 10 °C και μπορεί να αντέξει στους 18 °C. Το χέλι αντέχει σε

αυτή τη θερμοκρασία και παρουσιάζει βέλτιστο στους 25 °C. Αν συγκρίνουμε το μεταβολισμό και των δύο ειδών στους 18 °C τότε δεν θα είχαμε έγκυρα αποτελέσματα δεδομένου ότι ο σολομός θα βρισκόταν στα θερμοκρασιακά του όρια και συνεπώς σε κατάσταση stress. Συνεπώς είναι επιθυμητό οι μελέτες να γίνονται σε στενό θερμοκρασιακό φάσμα ή σε τιμή που να περιλαμβάνει ή να αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη θερμοκρασία για την αύξηση του είδους. Ο μεταβολισμός ως κατανάλωση οξυγόνου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες οι σπουδαιότεροι των οποίων είναι το μέγεθος του ψαριού, η θερμοκρασία του νερού, η συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό, η αλατότητα και η δραστηριότητα του ψαριού.

Το ελάχιστο ποσό της τροφής που ένα ψάρι πρέπει να καταναλώσει για να καλύψει τις ουσιαστικές και βασικές του μεταβολικές διεργασίες, ενώ συνάμα θα διατηρεί αναλλοίωτο το σωματικό του βάρος, αποτελεί τις απαιτήσεις της συντήρησης (Maintenance Requirement) M. Ο «φόρος» της αύξησης θερμότητας (heat increment) σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερος απ'ότι αν κατανάλωνε τους ίδιους του τους ιστούς (δηλαδή σε νηστεία). Το κύριο συστατικό των ιστών που καταναλίσκεται είναι το λίπος αν και τα πιο άφθονα στην τροφή είναι πρωτεΐνες και υδατάνθρακες τα οποία χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό από το λίπος. Επιπρόσθετα στην αύξηση θερμότητας που αποτελεί το ενεργειακό τίμημα για τη συντήρηση, υπάρχει επιπλέον και ένα άλλο επιπρόσθετο ενεργειακό έξοδο που σχετίζεται με την κατανάλωση της τροφής και την απομάκρυνση των μεταβολιτών από το σώμα του ψαριού, η ειδική δυναμική αντίδραση (SDA). Ετσι ως προς τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για συντήρηση έχουμε:

$$M = Q_m + SDA \quad (3)$$

Η ενέργεια που έχει μεταμορφωθεί σε ιστό (μάζα σώματος) και αποτελεί την αύξηση (g) μπορεί να μετρηθεί εύκολα. Ετσι ως προς τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις για αύξηση του σώματος έχουμε:

$$G = g + SDA \quad (4)$$

Καθορισμός των απαιτήσεων σε τροφή

Για τον καθορισμό της απαιτούμενης ποσότητας τροφής του ψαριού πρέπει να υπολογισθεί το ενεργειακό ισοζύγιο, λαμβάνοντας υπόψιν αμφότερα την καθαρή διαθέσιμη ενέργεια (NE) που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών σε συντήρηση και αύξηση καθώς και τις απώλειες που προκύπτουν στις μεταβολικές αντιδράσεις. Ετσι θα έχουμε:

$$R = NE + SDA + E_m + E_f \quad (5)$$

ως μια άλλη μορφή της εξίσωσης $C = R + U + F + P$

που αναφέρθηκε παραπάνω.

Ο λόγος μεταξύ της καθαρής ενέργειας και της ποσότητας της τροφής R εκφράζει το «ρυθμό εκμετάλλευσης» της τροφής.

Η αποδοτικότητα της χρησιμοποίησης της μεταβολιστέας ενέργειας (ME) εξαρτάται από τη διαδικασία για την οποία προορίζεται η ενέργεια, δηλαδή για συντήρηση ή για αύξηση. Οι αναβολικές διεργασίες του οργανισμού που καταλήγουν σε σύνθεση νέων ιστών απαιτούν περισσότερη ενέργεια. Το γεγονός αυτό τελικά οδηγεί σε μικρότερο ποσοστό της μεταβολιστέας ενέργειας να καταλήγει σε σωματική αύξηση συγκριτικά με το ποσοστό που ξοδεύεται για συντήρηση.

Η μερική φαινομενική αποδοτικότητα χρησιμοποίησης της μεταβολιστέας ενέργειας που ξοδεύεται για συντήρηση (E_{pm}) όταν υπολογίζεται από πειράματα που χρησιμοποιούν ψάρια σε νηστεία, και ψάρια που τρέφονται, εκφράζεται από την εξίσωση:

$$E_{pm} = \frac{\text{Ενέργεια απαιτούμενη για συντήρηση προερχόμενη από σωματικούς ιστούς}}{\text{Ενέργεια απαιτούμενη για συντήρηση προερχόμενη από ME τροφής}}$$

(6)

Η μερική φαινομενική αποδοτικότητα χρησιμοποίησης της μεταβολιστέας ενέργειας που ξοδεύεται για συντήρηση (E_{pm}) μπορεί επίσης να υπολογιστεί από πειράματα διατροφής κατά τα οποία χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα διατροφής. Το ένα επίπεδο προσφέρει τροφή στα ψάρια ίσα που να καλύπτουν τις ανάγκες συντήρησης και το άλλο ακόμα λιγότερο. Στην περίπτωση αυτή η E_{pm} υπολογίζεται από το λόγο (πηλίκο) μεταξύ της ενέργειας των ιστών που εξοικονομήθηκε (δεν ξοδεύτηκε) επειδή παρείχεται τροφή με το υψηλότερο κατά τα παραπάνω επίπεδο και της ποσότητας της επιπλέον τροφής που παρασχέθηκε για να επιτευχθεί αυτό. Έτσι λοιπόν έχουμε:

$$E_{pm} = \frac{\text{Διαφορά στην ενέργεια χρησιμοποιηθείσα από σωματικούς ιστούς}}{\text{Διαφορά στην πεφθείσα ME τροφής}} \quad (7)$$

Πολλαπλασιάζοντας την παραπάνω τιμή με το 100 η τροφή εκφράζεται ως το ποσοστό της μεταβολιστέας ενέργειας που πέπτειται.

Για τα θηλαστικά (ενδόθερμα ζώα), η μερική φαινομενική αποδοτικότητα χρησιμοποίησης της μεταβολιστέας ενέργειας που ξοδεύεται για συντήρηση (E_{pm}),

έχει υπολογισθεί για τις διάφορες κατηγορίες θρεπτικών συστατικών να είναι περί τα 95% για τους υδατάνθρακες, 87% για τα λίπη και 60% για τις πρωτεΐνες. Για τα ψάρια είναι πολύ μικρότερη περί το 50%.

Η μερική αποδοτικότητα για την παραγωγή σωματικών ιστών (E_{pg}) είναι μικρότερη από την αντίστοιχη για συντήρηση (E_{pm}) και εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα των αναβολικών διεργασιών που σχετίζονται με τη σύνθεση πρωτεϊνών και λιπών. Ο λόγος της ενέργειας για αύξηση και της μεταβολιστέας που ξοδεύεται για αύξηση (αφού αφαιρεθεί το ποσό που ξοδεύεται για συντήρηση) αντιπροσωπεύει την «αποδοτικότητα της χρησιμοποίησης της ενέργειας για αύξηση» (E_{pg}) ή συντομότερα «καθαρή αποδοτικότητα».

$$E_{pg} = \frac{G}{ME - M} \quad (8)$$

Επειδή η καθαρή αποδοτικότητα (E_{pg}) εξαρτάται από το υπόστρωμα που μεταβολίζεται και το τελικό προϊόν που παράγεται, η τιμή της ποικίλει. Για παράδειγμα και από θεωρητικούς υπολογισμούς βρέθηκε ότι για την παραγωγή λίπους με μεταβολιζόμενο υπόστρωμα γλυκόζη είναι 70%. Για σύνθεση πρωτεΐνης αν τα διαθέσιμα αμινοξέα βρίσκονται στη σωστή αναλογία είναι 80%. Αν όμως τα αμινοξέα δεν διατίθενται στις σωστές αναλογίες τότε το ποσοστό αυτό πέφτει επειδή ένα ποσοστό αμινοξέων δεν θα χρησιμοποιηθεί και θα απαμινωθεί (καταβολισθεί). Επίσης πρέπει να ληφθεί υπ'όψιν ότι εμπλέκεται και ένα άλλο ξόδεμα ενέργειας που αφορά την SDA. Λόγω αυτού του λόγου και με δεδομένη τη δυσκολία τέτοιου είδους υπολογισμών, η E_{pg} για παραγωγή λίπους από γλυκόζη είναι περί το 66% και η αντίστοιχη για παραγωγή πρωτεΐνης από πρόδρομα μόρια (αμινοξέα) περί το 61%.

Οι παραπάνω υπολογισθείσες αποδοτικότητες για συντήρηση και αύξηση αλλάζουν έστω και λίγο, ανάλογα με το επίπεδο θρέψης (ποσότητα παρεχόμενης τροφής). Χάριν όμως απλοποίησης των υπολογισμών αν θεωρήσουμε ότι ανεξάρτητα του επιπέδου διατροφής δεν αλλάζουν, τότε μπορούμε να απεικονίσουμε στο Σχήμα 8 τις σχέσεις μεταξύ της μεταβολιστέας ενέργειας και της ενέργειας που χάνεται ως θερμότητα (αύξηση θερμότητας). Οι απώλειες ενέργειας δια μέσου των περιττωμάτων και των λοιπών απεκκρίσεων αθροίζονται ως (p) και εκφράζονται με την παρακάτω εξίσωση η οποία τις συνυπολογίζει ως ποσοστό της παρεχόμενης τροφής (R) με βάση μελέτες που έχουν γίνει για τα εκτρεφόμενα θηλαστικά. Στις παρακάτω εξισώσεις επίσης, δεν περιλαμβάνεται η SDA η οποία υπολογίζεται ξεχωριστά από τις άλλες απώλειες της ενέργειας.

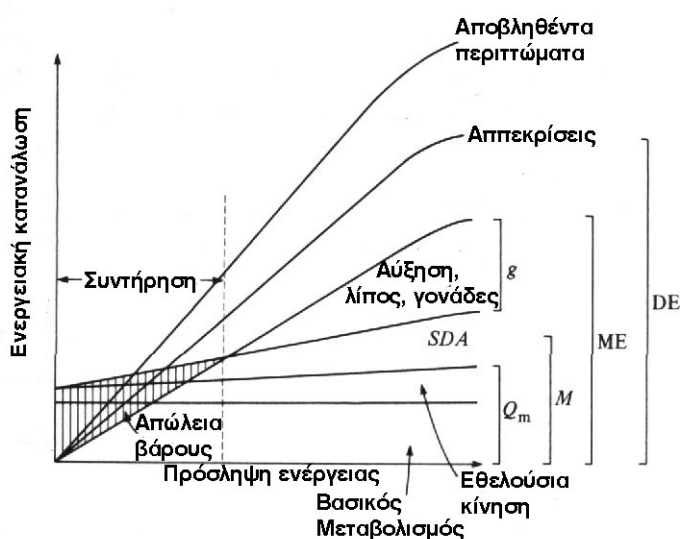
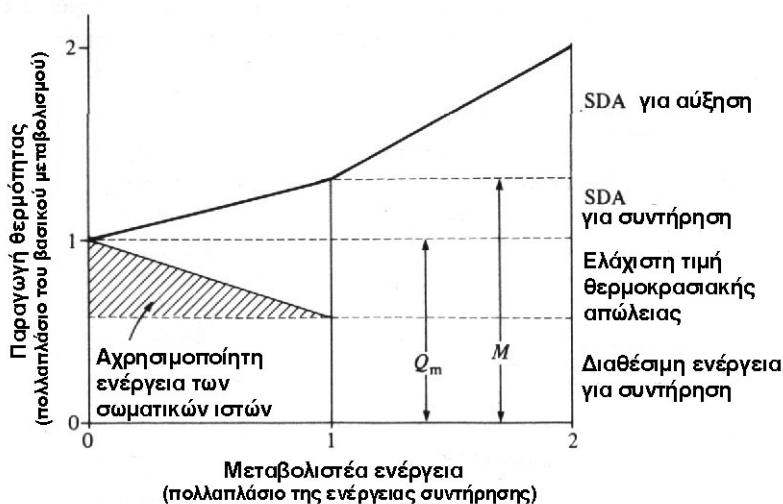
$$p = \frac{R - (E_f + E_m)}{R} \quad (9)$$

εξ'αυτής δια μετασχηματισμού λαμβάνουμε:

$$pR = ME = M + G = \frac{Q_m}{E_{pm}} + \frac{g}{E_{pg}} \quad (10)$$

ή:

$$R = \frac{M + G}{p} = \left[\frac{Q_m}{E_{pm}} + \frac{g}{E_{pg}} \right] \times \frac{1}{p} \quad (11)$$



Σχήμα 8. Σχέση μεταξύ της μεταβολιστέας ενέργειας που εισέρχεται στον οργανισμό και των απωλειών ως θερμότητα στα θηλαστικά (άνω) και της διαμοίρασης της πεφθείσας ενέργειας σε ένα αυξανόμενο ψάρι σε διάφορα επίπεδα θρέψης (κάτω). Κατά McDONALD et al (1966) και SMITH (1980) αντίστοιχα ελαφρά τροποποιημένα.

Οι παραπάνω εξισώσεις όπως προαναφέρθηκε αφορούν τα θηλαστικά. Στα ψάρια όμως οι απώλειες ενέργειας οφειλόμενες στην SDA είναι σημαντικές και ευθέως ανάλογες με την τροφή που καταναλώνεται. Ως εκ τούτου έχει προταθεί

από διάφορους ερευνητές οι παραπάνω εξισώσεις όταν εφαρμόζονται στα ψάρια να ισχύουν όπως παρακάτω:

$$p_t = \frac{R - (E_f + SDA)}{R} \quad (12)$$

όπου p_t αντιπροσωπεύει το συνολικό ενεργειακό κόστος. Συνεπώς:

$$p_t R = NE = Q_m + g \quad (13)$$

και η απαιτούμενη ποσότητα τροφής:

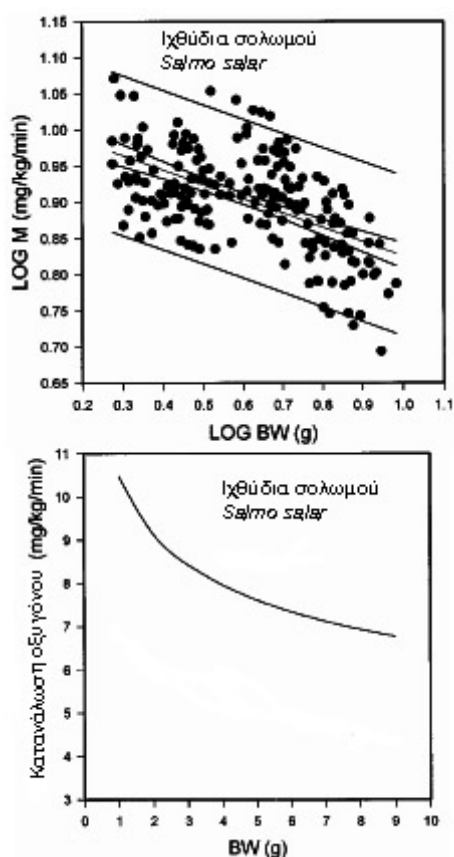
$$R = \frac{Q_m + g}{p_t} \quad (14)$$

Από μελέτες του WINBERG (1956) η χονδρικά εκτιμώμενη τιμή του p_t δόθηκε για γενική χρήση ως 0,8. Πάντως από διάφορες νεώτερες μελέτες, φαίνεται ότι οι απώλειες της ενέργειας της τροφής ειδικά σε ψάρια με γρήγορο αυξητικό ρυθμό, είναι μεγαλύτερες από 20% που υποδηλώνει ο συντελεστής 0,8 του Winberg. Γενικά μετά τον Winberg έγιναν πολλά πειράματα και βρέθηκε ότι οι απώλειες της ενέργειας της τροφής ποικίλουν σε μεγάλο ποσοστό από 20 έως 60%. Η εξήγηση για αυτή την ποικιλία έγκειται στο ότι οι απώλειες ενέργειας εξαρτώνται γενικά από τις ιδιομορφίες του μεταβολισμού. Οι ιδιομορφίες αυτές έχουν να κάνουν τόσο με το είδος και τα χαρακτηριστικά του π.χ. βάρος, δραστηριότητα, φυσιολογική του κατάσταση, γενετικά χαρακτηριστικά, όσο και με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, ποιότητα νερού, παρουσία τοξικών), καθώς και με τη φύση της διαθέσιμης τροφής, τη σύνθεσή της και την ποσότητά της.

Η επίδραση του μεγέθους του ψαριού στον μεταβολισμό

Ανεξάρτητα από την ηλικία του ψαριού το μέγεθος επηρεάζει άμεσα τη μεταβολική δραστηριότητα η οποία αναλογικά μειώνεται αυξανόμενου του μεγέθους κατά τη σχέση $Q=aW^k$ όπου Q = ο ολικός μεταβολισμός σε mgO_2/Kg , a =συντελεστής, W =βάρος του ψαριού σε Kg και k =δείκτης που αντιπροσωπεύει την κλίση της ευθείας παλινδρόμησης που προκύπτει από το λογαριθμικό μετασχηματισμό της παραπάνω σχέσης κατά τη μορφή: $\log Q = \log a + k \log W$. Εάν $k=1$ τότε ο ρυθμός του μεταβολισμού είναι ευθέως ανάλογος του σωματικού βάρους. Στην πραγματικότητα όμως το k κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ 0,75 και 0,85 που σημαίνει ολοένα και αναλογικά μικρότερους μεταβολικούς ρυθμούς ανά μονάδα βάρους, καθώς το μέγεθος του ψαριού αυξάνεται. Με άλλα λόγια ο «σχετικός μεταβολισμός» Q/W , μειώνεται όσο το βάρος αυξάνεται (Σχήμα 9). Κατά τους OIKAWA & ITAZAWA (1984) η μείωση του ρυθμού μεταβολισμού καθώς το μέγεθος αυξάνεται θα μπορούσε, τουλάχιστον εν μέρει, να αποδοθεί στην αύξηση της σχετικής αναλογίας των τμημάτων ή οργάνων του σώματος με μικρότερη μεταβολική δραστηριότητα (π.χ. λευκός μυς). Σύμφωνα με τον WINBERG (1956), ο ρυθμός του συνήθη μεταβολισμού των ψαριών τόσο του γλυκού όσο και του θαλασσινού νερού μπορεί να εκφραστεί (σε $mg O_2/h$ στους $20^\circ C$) σύμφωνα με την εξίσωση: $Q = 0,4 W^{0,8}$. Επίσης ο HEPHER (1988) ύστερα από ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας προτείνει την τιμή $k=0,8$ ως την πλέον κατάλληλη για την

μετατροπή του σωματικού βάρους σε μεταβολισμό του ψαριού.



Σχήμα 9. Επίδραση του σωματικού μεγέθους (βάρος) στην κατανάλωση οξυγόνου του σολωμού (*Salmo salar*) σε μετρήσεις ανά άτομο και σε λογαριθμοποιημένες τιμές (άνω), και στην καμπύλη της μεταβολής της κατανάλωσης οξυγόνου (βασισμένη στις μέσες τιμές) στο κάτω σχήμα (κατά FIVELSTAD et al., 1999, ελαφρώς τροποποιημένο).

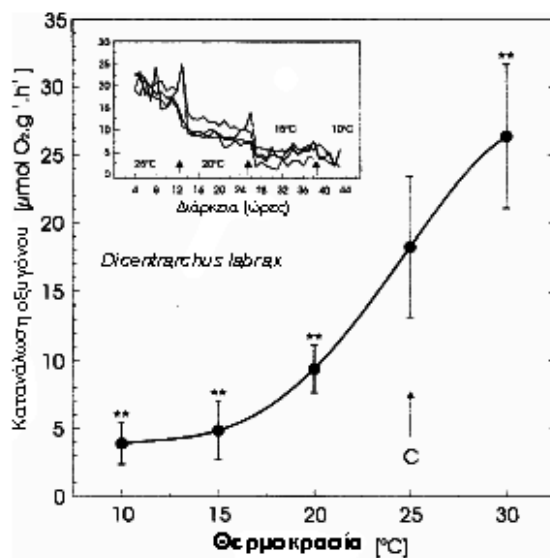
Η επίδραση της θερμοκρασίας του νερού

Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι σημαντική σε πολλές φυσιολογικές διαδικασίες. Στα ψάρια που είναι ποικιλόθερμα, η δράση της είναι ιδιαίτερα έντονη. Ανάλογα με το είδος (ψυχρών ή θερμών νερών) και τη δραστηριότητα του είδους, η επίδρασή της διαφέρει. Δεν έχει νόημα να εξετασθεί η δράση της θερμοκρασίας π.χ. στους 30 °C που είναι η βέλτιστη για τα γατόψαρα στα σαλμονιδή ή άλλα παρόμοιων προτιμήσεων είδη που προτιμούν θερμοκρασίες κάτω των 15 °C, επειδή κάτι τέτοιο θα αποβεί επικίνδυνο ή και θανατηφόρο. Ο εγκλιματισμός του ψαριού σε αποδεκτές θερμοκρασίες βοηθά στην ανοχή του σε κατά τα άλλα μη προτιμητέες θερμοκρασίες, όμως αυτό γίνεται πάντα σε περιορισμένο βαθμό. Επιπλέον μια απότομη αλλαγή θερμοκρασίας της τάξεως των 10 ή 5 °C (ανάλογα με το είδος) θα προκαλέσει έντονο στρες και πιθανά θάνατο. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται ενώ συγχρόνως το ψάρι έχει επαρκή χρόνο για προσαρμογή, αυξάνεται ο βασικός μεταβολισμός. Στα ψάρια των θερμών νερών ο μέγιστος μεταβολισμός παρουσιάζεται στους 30 – 35 °C και στα τροπικά ψάρια ακόμη ψηλότερα. Εκτός από την κατανόηση του μέγιστου μεταβολισμού, είναι σημαντικό επίσης να κατανοηθεί και ο ρυθμός αύξησης του μεταβολισμού μέχρι το παραπάνω μέγιστο της θερμοκρασίας. Με την παρακάτω εξίσωση του van't Hoff εκφράζεται η επίδραση της θερμοκρασίας σε διάφορες φυσικοχημικές διεργασίες:

$$Q_{10} = \left(\frac{L_1}{L_2} \right) \frac{10}{t_1 - t_2} \quad \text{όπου:}$$

L_1 = ο ρυθμός της διεργασίας (μεταβολισμού) στη θερμοκρασία t_1 , L_2 = ο ρυθμός της διεργασίας (μεταβολισμού) στη θερμοκρασία t_2 , Q_{10} = η έκφραση της σχετικής αύξησης του μεταβολισμού για μία αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως των 10 °C. Το Q_{10} πολλών βιοχημικών διεργασιών λαμβάνει τιμή περί το 2, δηλαδή με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C ο μεταβολισμός διπλασιάζεται. Σύμφωνα με την IVLEVA (1973) που μελέτησε πέντε είδη ψαριών της Μαύρης Θάλασσας, εγκλιματισμένα σε διάφορες θερμοκρασίες, σε όλα η εξάρτηση του μεταβολισμού από τη θερμοκρασία μπορούσε να περιγραφεί με την παραπάνω εξίσωση του van't Hoff. Το Q_{10} που υπολόγισε για διαστήματα θερμοκρασίας 5 °C μειώθηκε από 2.5 σε 2 με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σύμφωνα με τον WINBERG (1956), οι τιμές του Q_{10} για τα διαστήματα των θερμοκρασιών που συνηθίζονται στην παραγωγή των ψαριών είναι τα παρακάτω:

$$\begin{array}{ll} 10-15 \text{ } ^\circ\text{C} : 2,9 & 15-20 \text{ } ^\circ\text{C} : 2,5 \\ 20-25 \text{ } ^\circ\text{C} : 2,3 & 25-30 \text{ } ^\circ\text{C} : 2,0 \end{array}$$

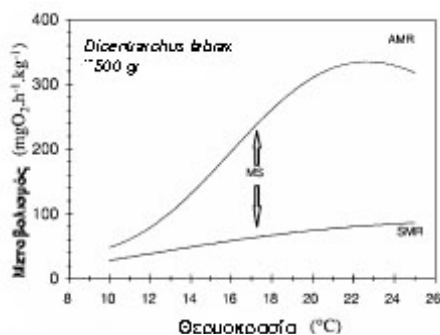


Θερμοκρ. εύρος (°C)	Τιμή Q ₁₀
10-15	1,6
15-20	3,7
20-25	3,8
25-30	2,1

Σχήμα 10. Κατανάλωση οξυγόνου (μέσες τιμές +/- τυπ. απόκλ.) από ιχθύδια λαβρακιού σε διάφορες θερμοκρασίες σε αλατότητα 37 ppt. Τα ψάρια μάρτυρας (control) υποδεικνύονται με το βέλος C, (25 °C, 37 ppt).
 $1 \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} = 0,022414 \text{ ml O}_2 \text{ L}^{-1}$
 $= 0,031999 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. Στον προσαρτημένο πίνακα φαίνονται οι τιμές του Q₁₀ για τα διάφορα θερμοκρασιακά εύρη (κατά DALLA VIA et al., 1998, ελαφρά τροποποιημένο)

Οι τιμές του Q₁₀ μεταβάλλονται στις διάφορες περιοχές θερμοκρασίας. Πρέπει όμως να επισημανθεί ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να είναι απότομη ή σταδιακή με εγκλιματισμό των ψαριών. Η μεταβολική αντίδραση των ψαριών μετά από μια απότομη θερμοκρασιακή αλλαγή επιδεικνύει γενικά μια κατακόρυφη αύξηση του μεταβολισμού πριν σταθεροποιηθεί σε ένα νέο μεταβολικό επίπεδο. Το επίπεδο αυτό μπορεί, ή μπορεί να μην είναι, ισοδύναμο με τον μεταβολικό ρυθμό που αντιστοιχεί σε εγκλιματισμένα ψάρια στην υπό εξέταση θερμοκρασία. Εξ'αιτίας αυτού οι τιμές του Q₁₀ παρουσιάζουν μια αρνητικά παραβολική σχέση με τη θερμοκρασία (Σχήμα 10), με μικρότερες τιμές Q₁₀ σε αμφότερα τα άκρα της καμπύλης. Οι απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές πάντως είναι μια πιο ρεαλιστική πραγματικότητα στις υδατοκαλλιεργητικές δραστηριότητες (αλλαγές από μέρα σε νύχτα σε ρηχές δεξαμενές, σοκ από απότομη αλλαγή θερμοκρασίας λόγω απότομης ανανέωσης νερού κ.λ.π.), απ'ότι η βαθμιαία αλλαγή θερμοκρασίας. Σε τέτοιες καταστάσεις το διαλυμένο οξυγόνο μπορεί να καταστεί οριακό εν επαρκεία στις εντατικές εκτροφές (μεγάλη ιχθυοπυκνότητα). Για παράδειγμα (Σχήμα 10): Μια απότομη αλλαγή θερμοκρασίας από τους 20 °C σε 30 °C μειώνει τη φυσική συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό κατά 16,3 % από 7,3 mg/L σε 6,1 mg/L (760 Torr, 37 ppt) και ο μεταβολικός ρυθμός αυξάνει σχεδόν 3 φορές (20 °C: 0,3 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹, 30 °C: 0,84 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹).

Στις αλλαγές της θερμοκρασίας, ο ενεργός μεταβολισμός συνήθως μεταβάλλεται με διαφορετικό πρότυπο συγκριτικά με το βασικό μεταβολισμό. Ανάλογα με το εξεταζόμενο είδος ψαριού μπορεί να ακολουθεί την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι το όριο της θνησιγόνου θερμοκρασίας, ή να σταθεροποιείται σε μία ορισμένη θερμοκρασία ή και να μειώνεται. Το «περιθώριο για δραστηριότητα – metabolic scope for activity» αντιπροσωπεύει τη διαφορά στην κατανάλωση οξυγόνου μεταξύ του βασικού και του ενεργού μεταβολισμού (Σχήμα 11). Για παράδειγμα: Στην ιριδίζουσα πέστροφα ο σταθερός μεταβολισμός αυξάνεται προοδευτικά από τους 5 °C στους 25 °C, ενώ ο ενεργός παραμένει στατικός ή μειώνεται εντός του εύρους των 15 - 25 °C, κάτι το οποίο μπορεί να ληφθεί ως ένδειξη ότι το διαθέσιμο διαλελυμένο οξυγόνο δεν είναι πλέον επαρκές για να ικανοποιήσει την αυξημένη απαίτηση του ψαριού για έντονη δραστηριότητα (Πίνακας 9).



Σχήμα 11. Μοντέλο των σχέσεων μεταξύ βασικού μεταβολισμού (SMR) και θερμοκρασίας και ενεργού μεταβολισμού (AMR) και θερμοκρασίας. Η απόσταση μεταξύ των δύο καμπυλών αντιστοιχεί στο περιθώριο για δραστηριότητα (Metabolic Scope). Κατά CLAIREAUX & LAGARDERE (1999).

Πίνακας 9. Κατανάλωση οξυγόνου (mg O₂/kg/h) της ιριδίζουσας πέστροφας (σωματικό βάρος 200-400gr) σε εύρος θερμοκρασιών 5-25°C (από DICKSON & KRAMER 1971, παρατίθεται στο παρόν ως καταγράφεται στους Ζερβό & Κουράκου, 2001).

Θερμοκρασία νερού (°C)	Βασικός μεταβολισμός (mg O ₂ /kg/h)	Ενεργός μεταβολισμός (ταχύτητα κολύμβησης 0,5 - 1,6 m/sec)	Περιθώριο για δραστηριότητα (mg O ₂ /kg/h)
5	36	384	348
10	42	468	426
15	78	576	498
20	84	570	486
25	138	478	336

Η επίδραση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου

Ο μεταβολισμός όπως προαναφέρθηκε είναι και εκφράζεται ως κατανάλωση οξυγόνου. Ο βασικός αλλά και ο συνήθης μεταβολισμός ανάλογα με το είδος του ψαριού απαιτούν μια ορισμένη αναπνευστική ένταση για να καλύψουν τις

ελάχιστες ανάγκες επιβίωσης του ψαριού. Το ψάρι σε αυτές τις καταστάσεις δεν βρίσκεται σε έντονη κινητική κατάσταση. Όμως κατά την δραστηριότητα που αναπτύσσουν όταν κολυμπούν, απαιτούν πολύ περισσότερο οξυγόνο. Συνεπώς ο **ενεργός μεταβολισμός** τους εντείνεται και αυτό μπορεί να γίνει μόνο με αυξημένη περιεκτικότητα του νερού σε O_2 . Συνεπακόλουθα η δραστηριότητά τους (μετρούμενη ως κατανάλωση οξυγόνου) μειώνεται όσο μειώνεται το O_2 (εύρος αναπνευστικής εξάρτησης). Η μειωμένη κατανάλωση οξυγόνου - όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι πολύ χαμηλή - δεν υπονοεί μείωση του μεταβολισμού αυτού καθεαυτού, αλλά οφείλεται στη μείωση της δραστηριότητας του ψαριού.

Όταν το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό είναι επαρκές, δεν υφίσταται περιορισμός στην κίνηση των ψαριών, έστω και αν αυτό απαιτεί πολύ ενέργεια δηλαδή κατανάλωση πολύ οξυγόνου. Υπάρχει βέβαια ένα οριακό επίπεδο συγκέντρωσης οξυγόνου κάτω από το οποίο η κίνηση των ψαριών περιορίζεται πολύ και εξαρτάται άμεσα από τη συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό. Το επίπεδο αυτό αποτελεί το «**Επερχόμενο Περιοριστικό Επίπεδο - ΕΠΕ**» (incipient limiting level) και ορίζεται ως το επίπεδο του οξυγόνου κάτω από το οποίο ο ρυθμός πρόσληψης του οξυγόνου στη μέγιστη δραστηριότητα του ψαριού, αρχίζει να μειώνεται. Στον παρακάτω Πίνακα 10 φαίνονται χαρακτηριστικές τιμές για ορισμένα είδη και είναι χαρακτηριστική η μεγάλη ποικιλία τους. Τα ψάρια των ψυχρών νερών παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερες τιμές από τα των θερμών νερών. Κάτω από το επίπεδο του ΕΠΕ όσο πιο μικρή η συγκέντρωση του οξυγόνου, τόσο μικρότερη και η δραστηριότητα του ψαριού. Το επίπεδο του οξυγόνου στο οποίο το ψάρι δεν μπορεί να ικανοποιήσει ακόμα και την ελάχιστη κίνηση, παρά μόνο τις βασικές του ανάγκες σε οξυγόνο καλείται το «**Επίπεδο Ελάχιστης Δραστηριότητας**» (level of no excess activity). Και το επίπεδο αυτό ποικίλλει ανάμεσα στα διάφορα είδη, αλλά και ανάλογα με τη θερμοκρασία. (Πίνακας 10). Εάν τα ψάρια συνεχίζουν να κολυμπούν με ρυθμό μεγαλύτερο από αυτόν που επιτρέπει το διαλυμένο οξυγόνο και για αρκετή ώρα, τότε μπορεί να υποκύψουν εξ' αιτίας του «χρέους οξυγόνου» - (oxygen dept) που θα έχει δημιουργηθεί. Υπάρχουν όμως και αποκλίσεις από αυτόν τον φυσιολογικό μηχανισμό. Οι AMEER HAMSA & KUTTY (1972) μελετώντας το μεταβολισμό 5 θαλασσινών ειδών, βρήκαν ότι για τα 4 από αυτά, με τη μείωση του οξυγόνου από το επίπεδο κορεσμού μέχρι το ελάχιστο της ασφυξίας, η αυθόρμητη δραστηριότητα των ψαριών αυξήθηκε. Συμπέραναν ότι μπορεί να υπάρχουν δύο ξεχωριστές

προσαρμοστικές συμπεριφορές των ψαριών στη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο περιβάλλον τους. Με τη μείωση στην αυθόρμητη δραστηριότητά τους στις χαμηλές συγκεντρώσεις του οξυγόνου τα ψάρια βοηθούνται στο να εξοικονομήσουν ενέργεια. Όμως αντί για μείωση, μπορεί να δραστηριοποιούνται και περισσότερο, με απώτερο σκοπό να διαφύγουν από την περιοχή της χαμηλής συγκέντρωσης του οξυγόνου.

Η αλλαγή στο ρυθμό αερισμού των βραγχίων (δηλαδή ο ρυθμός των αναπνευστικών κινήσεων της βραγχιακής κοιλότητας και της ποσότητας του νερού που διαβρέχει τα βραγχιακά φυμάτια), αποτελεί άλλο ένα μηχανισμό προσαρμογής των ψαριών στις χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Η αλλαγή στη συγκέντρωση του οξυγόνου προκαλεί αλλαγή στη συγκέντρωση του οξυγόνου των αρτηριών και αμέσως μετά από 1,5 – 2,6 sec, αντίδραση της καρδιάς και της αναπνευστικής συσκευής. Οι RANTIN & JOHANSEN (1984) πειραματιζόμενοι με το είδος *Hoplias malabaricus* βρήκαν ότι η μείωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου επιφέρει διπλάσια ή τριπλάσια αύξηση της διαβροχής των βραγχίων, όχι τόσο δια της αύξησης της συχνότητας των αναπνευστικών κινήσεων, όσο δια μέσω της αύξησης του αναπνευστικού όγκου (η ποσότητα του νερού που διέρχεται μέσα από το βραγχιακό θάλαμο). Στον κυπρίνο η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου επιφέρει μείωση του μεταβολισμού, όμως όταν η περαιτέρω μείωση του οξυγόνου φθάσει στα 1,7 – 2,0 mg/L, τότε το ψάρι αυξάνει τις αναπνευστικές του κινήσεις και αυτό μεταφράζεται σε αυξημένο μεταβολισμό (κατανάλωση οξυγόνου). Κατόπιν σε ακόμα μικρότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου, η κατανάλωση οξυγόνου μειώνεται. Σε άλλες εργασίες σχετικά με το μεταβολισμό της ποταμίσιας πέστροφας, του κυπρίνου και του χρυσόψαρου, ο BEAMISH (1964) βρήκε ότι η μείωση του οξυγόνου από τον 100% κορεσμό μέχρι το επίπεδο του 51% δεν επηρεάζει την κατανάλωση του οξυγόνου από τα ήρεμα ψάρια. Αν η συγκέντρωση του οξυγόνου μειωθεί περισσότερο, ο βασικός μεταβολισμός πρώτα αυξάνει στο μέγιστο και κατόπιν, εφόσον η μείωση του οξυγόνου συνεχίζεται, μειώνεται.

Πίνακας 10. Στοιχεία από τη βιβλιογραφία στην κατανάλωση οξυγόνου των ψαριών.

Είδος ψαριού	Θερμοκρασία (°C)	Επερχόμενο Περιοριστικό Επίπεδο (mg O ₂ /L)	Επίπεδο Ελάχιστης Δραστηριότητας (mg O ₂ /L)
<i>Salvelinus fontinalis</i>	5 20	12,3	2,8
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	20	8,8	
<i>Micropterus salmoides</i>	25	6,0	
<i>Cyprinus carpio</i>			2,3
<i>Carassius auratus</i>	35 5	1,8 1,2	1,1 0,3

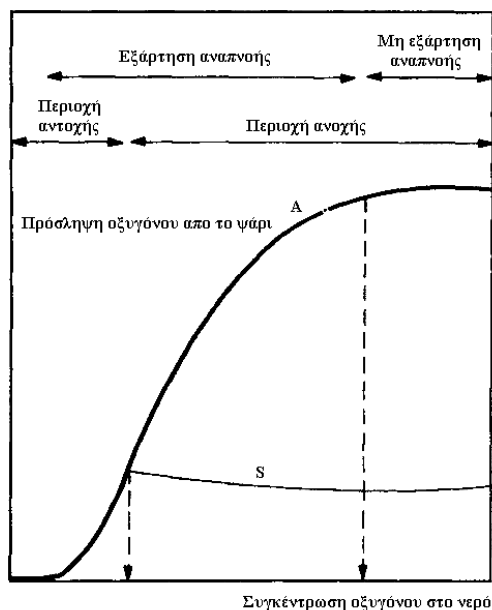
Κάθε είδος ψαριού παρουσιάζει μια χαρακτηριστική τιμή οξυγόνου, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη δραστηριότητα και ορίζεται ως η «**Κρίσιμη Συγκέντρωση Οξυγόνου - ΚΣΟ**» ή κατά άλλους ερευνητές «**Περιορίζουσα συγκέντρωση οξυγόνου**» (**limiting oxygen concentration – LOC**), και η οποία θεωρείται ως το ελάχιστο επίπεδο οξυγόνου μέχρι το οποίο η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου δεν μειώνει την κατανάλωση οξυγόνου από τα ψάρια. Η ΚΣΟ είναι συγκεκριμένη για κάθε είδος ψαριού και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το επίπεδο δραστηριότητας. Με άλλα λόγια για συγκεντρώσεις οξυγόνου ανώτερες της ΚΣΟ, η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου πρακτικά ανεξαρτητοποιείται από τη συγκέντρωση οξυγόνου του περιβάλλοντος νερού (εύρος αναπνευστικής ανεξαρτησίας). Για τα Salmonidae η ΚΣΟ είναι συνήθως αρκετά υψηλή, τόσο που συνήθως υπάρχει αναπνευστική εξάρτηση ακόμη και γύρω από την τιμή κορεσμού. Για άλλα είδη όμως, το εύρος αναπνευστικής ανεξαρτησίας είναι σχετικά μεγάλο. Στο χαμηλότερο εύρος αναπνευστικής εξάρτησης (κάτω από την οριακή τιμή ή το **όριο θνησιμότητας - C_{crit}**) αρχίζει η **ζώνη αντίστασης** στην οποία εμφανίζεται ασφυξία (WINBERG, 1956; FRY, 1957).

Τα διάφορα είδη ψαριών αντιδρούν διαφορετικά σε συγκεντρώσεις οξυγόνου μικρότερες της ΚΣΟ. Τα είδη που προσαρμόζονται σε ανοξικές συνθήκες (κυπρίνος, χρυσόψαρο) μπορούν να περιέλθουν (ειδικά στις χαμηλές

θερμοκρασίες) σε κατάσταση αναερόβιου μεταβολισμού χωρίς να δημιουργείται «χρέος οξυγόνου» (oxygen dept). Σε μια τέτοια κατάσταση η μεταβολιζόμενη γλυκόζη μετατρέπεται σε αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες τα είδη αυτά αντέχουν στις ανοξικές συνθήκες για λιγότερο χρόνο. Αντίθετα με αυτά, άλλα είδη όπως τα Salmonidae δεν εγκλιματίζονται παρά ελάχιστα στις ανοξικές συνθήκες. Ο BEAMISH (1964) ανέπτυξε στη θεωρία του ότι στις χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου ένα μέρος του βασικού μεταβολισμού διεξάγεται αναεροβίως. Από τις μελέτες του προκύπτει ότι η προσαρμογή (εγκλιματισμός) των ψαριών σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου, δημιουργεί τις συνθήκες ή την τάση του ψαριού για να λειτουργήσει αυτό το αναερόβιο μέρος του βασικού μεταβολισμού του.

Σχετικά με τον βασικό μεταβολισμό, υπάρχει μία εκτεταμένη περιοχή στην οποία η κατανάλωση οξυγόνου είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη από το επίπεδο οξυγόνου στο νερό (Σχήμα 12). Λίγο πριν την έναρξη της περιοχής αντίστασης, το ψάρι προσπαθεί να ικανοποιήσει την απαίτησή του για οξυγόνο με μία αύξηση στην ένταση αερισμού (ανταλλαγή αερίων). Η επιτάχυνση της ανταλλαγής αερίων είναι κατορθωτή με μία αύξηση στην έκταση και τη συχνότητα αερισμού. Η αρχή της περιοχής αντίστασης ή το τέλος της περιοχής ανοχής, ποικίλουν από είδος σε είδος και επηρεάζονται από το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου στο οποίο ήταν συνηθισμένα τα ψάρια. Ο εγκλιματισμός σε μία υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου συνεπάγεται υψηλότερες τιμές θνησιμότητας.

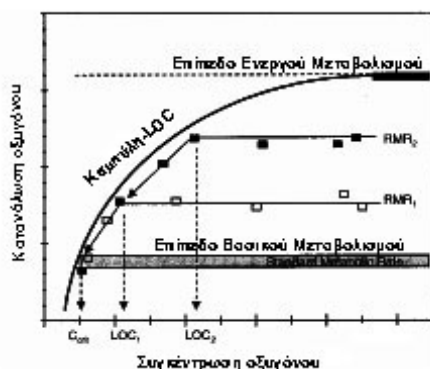
Στα ψάρια η εκμετάλλευση του οξυγόνου είναι της τάξης του 80% ή περισσότερο, ενώ στα θηλαστικά είναι μεταξύ 24% και 34%. Αυτό προκύπτει από μελέτες του ITAZAWA (1970), κατά τις οποίες η συγκέντρωση του O_2 του αίματος των αρτηριών του κυπρίνου και της ιριδίζουσας πέστροφας αυξάνεται αυξανόμενης της μερικής πίεσης του νερού και φτάνει σε μία σταθερή τιμή πάνω από τα 80mm ή 100mm Hg ή 8-11% κ.ο. Αντίθετα η κανονική τιμή για το φλεβικό αίμα κυμαίνεται από 1,1-1,3% κ.ο.



Σχήμα 12. Κατανάλωση οξυγόνου των ψαριών σε κατάσταση ακινησίας (σταθερή απαίτηση S) και κολύμβησης (ενεργή απαίτηση A) σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση διαλυμένου O_2 στο περιβάλλον νερό. Η θνησιμότητα ξεκινά στην περιοχή αντοχής (από SHEPARD, 1955, παρατίθεται στο παρόν ως καταγράφεται στους Ζερβό & Κουράκου, 2001).

Στο παρακάτω ιδεατό Σχήμα 13 δίδεται μια γενική απεικόνιση των παραπάνω. Εν συντομία: Καθώς η συγκέντρωση του οξυγόνου ελαχιστοποιείται σταδιακά, το ψάρι διατηρεί το επίπεδο πρόσληψης οξυγόνου μέχρι να αντιμετωπίσει το επίπεδο LOC (ενδεικτικά στο σχήμα φαίνονται δύο σημεία LOC_1 και LOC_2 αντιπροσωπευτικά είτε δύο διαφορετικών ειδών ψαριών, είτε δύο διαφορετικών επιπέδων του συνήθους μεταβολισμού ενός είδους). Στο εύρος των συγκεντρώσεων οξυγόνου από κάποια μέγιστη τιμή μέχρι το LOC, η ένταση του μεταβολισμού είναι ανεξάρτητη από τη συγκέντρωση του οξυγόνου και ρυθμίζεται στα επιθυμητά για το ψάρι επίπεδα δια μέσου των ρυθμιστικών μηχανισμών της αύξησης του αερισμού των βραγχίων και της διαβροχής των βραγχιακών φυματίων. Όμως στο επίπεδο LOC αυτοί οι ρυθμιστικοί μηχανισμοί έχουν φθάσει πλέον τα όριά τους και καθώς το διαλυμένο οξυγόνο μειώνεται περαιτέρω, η αναπνοή του ψαριού γίνεται άμεσα εξαρτώμενη από το οξυγόνο. Έτσι το ψάρι σταδιακά υποχρεώνεται να περιορίσει τις δραστήριες λειτουργίες του όπως η κολύμβηση, η θρέψη και τελικά η αύξηση. Με άλλα λόγια στο επίπεδο του LOC το ψάρι από «ρυθμιστής» γίνεται «συντηρητής».

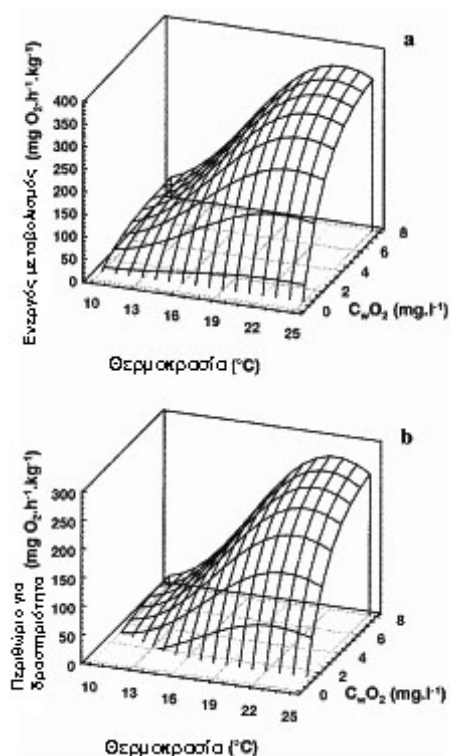
Το επίπεδο LOC για ψάρια τα οποία βρίσκονται σε κατάσταση κατά την οποία ξοδεύουν ενέργεια μόνο για το βασικό τους μεταβολισμό, αποτελεί αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω ως ΚΣΟ. Για να αποφευχθεί οι συγχύσεις ξεκαθαρίζουμε. Το ΚΣΟ και το LOC αποτελούν σχεδόν ταυτόσημες έννοιες. Όμως το ΚΣΟ όταν χρησιμοποιείται, είναι καλύτερα να αναφέρεται στο κατώτερο επίπεδο της καμπύλης LOC εκεί που αντιστοιχεί με το ορισμένο επίπεδο του βασικού μεταβολισμού.



Σχήμα 13. Ιδεαλιστική γραφική απεικόνιση του βασικού και του ενεργού μεταβολισμού ενός τυπικού είδους ψαριού, σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του οξυγόνου. Η καμπύλη LOC αντιπροσωπεύει το συνεχές της Περιορίζουσας Συγκέντρωσης Οξυγόνου. Το RMR₂ αντιπροσωπεύει το συνήθη μεταβολισμό. Η περιοχή μεταξύ της καμπύλης LOC και του βασικού μεταβολισμού αντιπροσωπεύει το περιθώριο για δραστηριότητα. Κατά CLAIREAUX & LAGARDERE (1999).

Συνοπτικά σχετικά με το μεταβολισμό των ψαριών στις εκτροφές: Με την προϋπόθεση ότι το νερό στα συστήματα εκτροφής των ψαριών έχει αρκετό διαλυμένο οξυγόνο για να καλύψει τις συνήθεις δραστηριότητες των αιχμαλωτισμένων ψαριών, τρεις άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν είτε από μόνοι τους είτε συνδυαστικά μεταξύ τους αλλά και με τη συγκέντρωση οξυγόνου (Σχήμα 14 για την επίδραση του συνδυασμού θερμοκρασίας – οξυγόνου) το μεταβολισμό, θα πρέπει να προσεχθούν υδατοκαλλιεργητικά.

- Το **βάρος του ψαριού**. Όσο μεγαλύτερο το ψάρι, τόσο μεγαλύτερη και η ενεργειακή του απαίτηση για τη συντήρησή του και τον εν γένει μεταβολισμό του.
- Η **θερμοκρασία**. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία, τόσο υψηλότερος και ο ρυθμός των μεταβολικών διαδικασιών.
- Η **δραστηριότητα**. Η πέραν των συνήθων κινήσεων του ψαριού έξαψη που επιφέρει νευρική κολύμβηση, απαιτεί εξαιρετικά υψηλά ποσά ενέργειας.



Σχήμα 14. (α) Γραφική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου κατά τον ενεργό μεταβολισμό του λαβρακιού (~630 gr) και του συνδυασμού θερμοκρασίας και διαλυμένου οξυγόνου (C_wO_2).

(β) Γραφική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ της περιθωρίου για δραστηριότητα του λαβρακιού (~630 gr) και του συνδυασμού θερμοκρασίας και διαλυμένου οξυγόνου (C_wO_2).

Στην γραφική παράσταση της (α) εφαρμόζεται η παρακάτω μαθηματική εξίσωση:

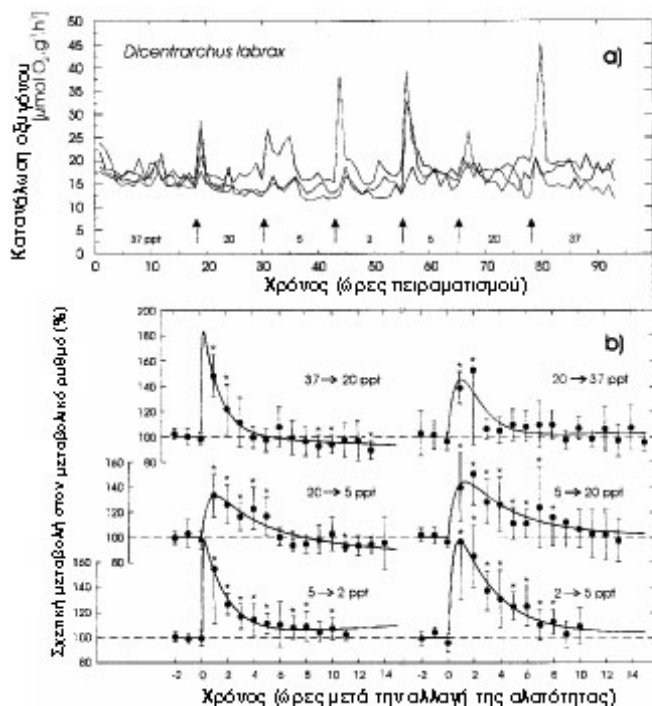
$MO_{2max} = (1,11^{-7} T^{(-0,0989T + 9,24)} + 33,52) \times (1 - e^{(-0,33 C_wO_2 + 0,28)})$, όπου: MO_{2max} = η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου κατά τον ενεργό μεταβολισμό, T = θερμοκρασία. Κατά CLAIREAUX & LAGARDERE (1999).

Η επίδραση της αλατότητας

Ο FRY (1971) στο μοντέλο της μεταβολικής δραστηριότητας των ψαριών που εισήγαγε, όρισε την αλατότητα ως ένα «καλυπτικό παράγοντα» (masking factor). Σύμφωνα με τον ορισμό του ένας καλυπτικός παράγοντας κατευθύνει ένα μέρος της διαθέσιμης ενέργειας προς οργανικές ρυθμιστικές λειτουργίες, μηχανικής, φυσιολογικής ή ηθολογικής φύσεως. Η μελέτη των CLAIREAUX & LAGARDERE (1999) στο λαβράκι είναι πολύ κατατοπιστική επ'αυτού. Για το είδος αυτό που είναι εξαιρετικά ευρύαλο, κατέληξαν ότι, οι μεταβολές στο ρυθμό μεταβολισμού του που συμβαίνουν με τη μεταβολή της αλατότητας είναι πιθανώς μικρές, αν ληφθούν υπ'όψιν στους υπολογισμούς μόνο τα ενεργειακά κόστη που αφορούν την οσμωρύθμιση και την ισορροπία των ιόντων. Σε κατάσταση ηρεμίας του ψαριού αυτού, ο βασικός μεταβολισμός μειώθηκε με τη μείωση της αλατότητας, υποδεικνύοντας πιθανώς προς την κατεύθυνση της μείωσης του μεταβολικού κόστους που εμπλέκεται στην οσμωρύθμιση. Όμως από την άλλη μεριά, ο συνήθης μεταβολισμός (RMR) κατέδειξε την αντίστροφη ακριβώς τάση, υποδεικνύοντας ότι για τα ευρύαλα είδη ψαριών τουλάχιστον, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του οργανισμού τους και του αλμυρού περιβάλλοντος εμπλέκουν και άλλα μεταβολικά κόστη πέραν αυτού που αποδίδεται μόνο στην οσμωρύθμιση. Τα βράγχια είναι το κύριο όργανο για την οσμωύθμιση. Όμως λόγω της εμπλοκής των στην αναπνευστική λειτουργία, αποτελούν ταυτόχρονα και τον κύριο τρόπο για τη

διαφυγή νερού και ιόντων προς το εξωτερικό περιβάλλον. Ετσι λοιπόν, καθώς τα ενεργειακά κόστη της οσμωρύθμισης συνδέονται με την μεταβολική δραστηριότητα της αναπνοής, το μέρος εκείνο της ενέργειας που απαιτείται για να αναπληρώσει το ενεργειακό ξόδεμα της οσμωρύθμισης και της απώλειας ιόντων, θα αυξάνεται καθώς το ψάρι θα δραστηριοποιείται και θα περνά από την κατάσταση του βασικού μεταβολισμού στην κατάσταση του ενεργού μεταβολισμού.

Από άλλη παρόμοια μελέτη για το λαβράκι (DALLA VIA et al., 1998) βρέθηκε ότι οι απότομες αλλαγές στην αλατότητα προκαλούν μια πρόσκαιρη απότομη κορύφωση του μεταβολισμού (μέχρι και 80%) και κατόπιν επάνοδο στις συνήθεις τιμές (για την οποία κατάσταση εγκλιματισμού του). Οι ερευνητές όμως κατέληξαν ότι η παραπάνω αύξηση του μεταβολικού ρυθμού δεν μπορεί να αποδοθεί μόνο στην αλατότητα, αλλά μάλλον στη συνδυασμένη δράση αλατότητας – διαλυμένου οξυγόνου και θερμοκρασίας (Σχήμα 15).



Σχήμα 15. Καμπύλες μεταβολών του μεταβολικού ρυθμού του γόνου λαβρακιού (~1,1 gr).

a) Κατανάλωση οξυγόνου για σταδιακές αλλαγές στην αλατότητα (υποδεικνύονται με τα βέλη).

b) Σχετικές (%) αλλαγές στον μεταβολικό ρυθμό μετά από απότομες αλλαγές και για μεταγενέστερη χρονική διάρκεια παρακολούθησης 15 ωρών. $1\mu\text{molO}_2\text{L}^{-1} = 0,022414\text{mlO}_2\text{L}^{-1} = 0,031999\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$.

Κατά DALLA VIA et al. (1998).

Παρόμοια αποτελέσματα με το λαβράκι δηλαδή ελάχιστες ή μικρές αλλαγές στην κατανάλωση οξυγόνου ανάλογα με την αλατότητα έχουν βρεθεί και για τα σαλμονιδή. Στον Πίνακα 11 που αναφέρονται οι τιμές του ενεργού μεταβολισμού για την πέστροφα σε γλυκό νερό και τρεις άλλες αλατότητες και σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες, οι διαφορές μεταξύ τους δεν ήταν θεαματικές.

Πίνακας 11. Κατανάλωση οξυγόνου ($\text{mg O}_2/\text{kg/h}$) της ιριδιζουσας πέστροφας (σωματικού βάρους 100gr) σε διάφορες αλατότητες και επίπεδα θερμοκρασίας και ενεργητικότητας (από RAO 1968, παρατίθεται στο παρόν ως καταγράφεται στους Ζερβό & Κουράκου, 2001).

Θερμοκρασία	Ταχύτητα κολύμβησης (cm/sec)	Γλυκό νερό	Αλατότητα (ppt)		
			7,5	15	30
5	0	57	54	60	74
	18,5	105	89	106	117
	45,1	176	134	180	195
	57,5	228	176	247	269
	max.	354	266	360	398
15	0	112	94	109	127
	18,5	169	132	172	191
	45,1	279	227	269	315
	57,5	436	352	443	476
	max.	584	486	597	624

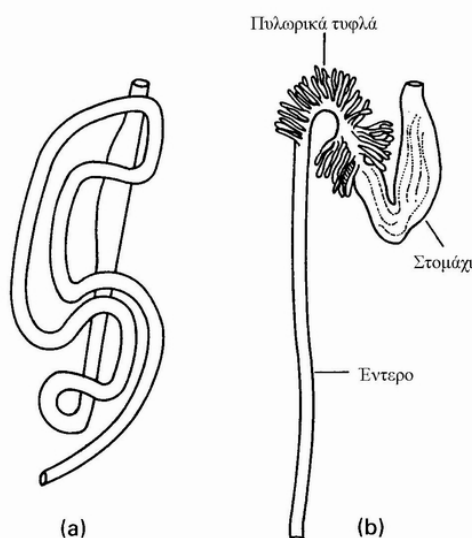
ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΟΥ ΠΕΠΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα ψάρια που είναι αποκλειστικώς φυτοφάγα είναι πολύ λίγα. Τέτοια είναι ο φυτοφάγος κυπρίνος *Ctenopharyngodon idella* ο οποίος τρέφεται με ανώτερα υδρόβια φυτά, ο ασημένιος κυπρίνος, η τιλάπια και μερικά είδη κεφαλοειδών (*Mugilidae*). Ακόμη όμως και αυτά τα είδη μπορούν να καταναλώσουν και μέρος της ζωικής μικροπανίδας που θα βρεθεί στη φυτική μάζα που προτιμούν να καταναλώνουν. Τα αρπακτικά ψάρια είναι μια κατηγορία τέτοια που τρέφονται αποκλειστικά με μακροασπόνδυλα ζώα και από αυτή την άποψη μπορούν να χαρακτηρισθούν ως τυπικά σαρκοφάγα (π.χ. λαβράκι, *Dicentrarchus labrax*).

Κατά τα λαρβικά στάδια της ζωής των σχεδόν όλα τα είδη χαρακτηρίζονται από ζωοφαγία καθώς τρέφονται με τα μικροσκοπικά πλαγκτονικά στάδια άλλων ειδών της υδρόβιας πανίδας. Για παράδειγμα, τα είδη των *Mugilidae* από το μέγεθος των 4 cm περίπου και πάνω είναι αποκλειστικά περιφυτοφάγα – βενθοφάγα – φυτοπλαγκτονοφάγα. Στα νεαρότερα όμως στάδια της ζωής τους είναι πλαγκτονικά ζωοφάγα.

Σχετικά με την ανατομία του πεπτικού τους συστήματος διακρίνονται σε ψάρια χωρίς στομάχι (π.χ.κυπρίνος) και ψάρια με στομάχι (όλα τα σαρκοφάγα π.χ. *Salmonidae*, λαβράκι, γατόψαρο, χέλι), Σχήμα 16. Τα μη αρπακτικά ψάρια χωρίς

στομάχι, δεν έχουν δόντια στην στοματική κοιλότητα. Όμως, τα ψάρια με στομάχι (αρπακτικά) έχουν όλα δόντια τα οποία βοηθούν στη διαδικασία σύλληψης της τροφής, χωρίς να τη μασούν ή να την τεμαχίζουν καταπίνοντάς την ολόκληρη. Τα ψάρια δεν διαθέτουν σιελογόνους αδένες. Επίσης παρουσιάζονται και ορισμένες επιπρόσθετες κατασκευές όπως τα φαρυγγικά δόντια του κυπρίνου που εξυπηρετούν τη συμπίεση της τροφής.



Εικόνα 16. Ανατομία των πεπτικών αγωγών των (a) κυπρίνου και (b) ιριδίζουσας πέστροφας (από Ζερβό & Κουράκου, 2001).

Ο οισοφάγος των ψαριών σε σύγκριση με τα θηλαστικά είναι πολύ κοντός χωρίς να διακρίνεται ευκρινώς η διαφορά του από το ακολουθούν στο τέλος του στομάχι ή έντερο. Ο οισοφάγος είναι μυώδης και ενισχυμένος στο εσωτερικό τοίχωμά του από πολυστρωματικό επιθηλιακό ιστό. Στα φυσόστομα ψάρια η δίοδος του αέρα προς τη νηκτική κύστη ξεκινά από τον οισοφάγο.

Μετά τον οισοφάγο το πρώτο τμήμα του υπόλοιπου πεπτικού σωλήνα είναι το στομάχι (για ψάρια που διαθέτουν τέτοιο, π.χ. λαβράκι, τσιπούρα, πέστροφα, λούτσος). Σε αυτά τα ψάρια που διαθέτουν στομάχι, αυτό το όργανο εμφανίζει πάρα πολλές διαφορετικές μορφές, ευθύ (λούτσος), σχήματος U (ιριδίζουσα πέστροφα) ή και στομάχια με μακρύτερες ή κοντύτερες τυφλές εκφύσεις (χέλι, πέρκα). Το στομάχι είναι διασταλτό σε ποικίλο βαθμό (μέχρι 35% στο μήκος και μέχρι 70% στη διάμετρό του στην πέστροφα και 180% στο μήκος και 220% στη διάμετρο για το λούτσο) ανάλογα με τη βουλιμία του ψαριού και την καταποθείσα ποσότητα τροφής. Στο σημείο ένωσης με το έντερο υπάρχει ο πυλωρικός σφιγκτήρας (μυς).

Η επίστρωση του στομάχου αποτελείται (από μέσα προς τα έξω) από το επιθήλιο, τη βλεννογόνο μεμβράνη, τη μυϊκή στιβάδα (δακτυλιοειδής εσωτερικά, επιμήκης μυς εξωτερικά) και την ορογόνο μεμβράνη (serosa).

Σε αρκετά είδη ψαριών ψάρια υπάρχει μια ειδική προεξοχή του στομάχου ακριβώς πίσω απ' τον πυλωρό που αποτελείται από τυφλούς θύλακες, τα πυλωρικά τυφλά. Ιστολογικά είναι συγκρίσιμα με το μικρό έντερο και εμφανίζονται από πολύ νωρίς στη ζωή του ψαριού. Τα πυλωρικά τυφλά συντελούν στην αύξηση της επιφάνειας του στομάχου. Ο αριθμός των πυλωρικών τυφλών ποικίλλει πολύ. Στον κέφαλο είναι δύο και στο μυξινάρι 7-9, ενώ στην πέστροφα μπορεί να φθάσει και τα 100. Γενικά όσο πιο πολλά υπάρχουν το μήκος τους είναι μικρότερο. Αν προσμετρηθεί η συνολική επιφάνεια της εσωτερικής μεμβράνης των πυλωρικών τυφλών σε αυτή του υπόλοιπου εντερικού σωλήνα προκύπτει ότι συμβάλει κατά πολύ στην συνολική διαθέσιμη επιφάνεια πέψης και απορρόφησης των ουσιών. Ειδικότερα σε ότι αφορά αυτό το ρόλο τους αν και δεν έχουν κατασταλάξει ακόμα, οι ερευνητές θεωρούν ότι τα πυλωρικά συντελούν στην αποτελεσματικότερη πέψη των λιπών κυρίως αλλά και των πρωτεϊνών.

Το έντερο των ψαριών είναι κοντό στα ψάρια που διαθέτουν στομάχι και μακρύ σε αυτά που δεν διαθέτουν. Και στις δύο περιπτώσεις είναι πιο φαρδύ στο αρχικό τμήμα του. Στα νεαρά στάδια των ψαριών σχηματίζει έναν κοντό, σχεδόν ίσιο σωλήνα, ο οποίος έχει μήκος περίπου ίσο με το μισό του σώματος. Καθώς το ψάρι μεγαλώνει το έντερο επιμηκύνεται και περιελίσσεται χαρακτηριστικά για το κάθε είδος. Στα φυτοφάγα ψάρια και γενικά σε αυτά χωρίς στομάχι το μήκος του εντέρου μπορεί να φθάσει μέχρι και 7 φορές αυτό του σώματος. Στα υπόλοιπα ψάρια και στα ενήλικα στάδιά τους είναι περί τις 2,5 - 3 φορές το μήκος του σώματος. Γενικά ο λόγος του μήκους του εντέρου προς το μήκος του σώματος αυξάνεται με την ηλικία, ενώ ταυτόχρονα ο λόγος του μήκους του εντέρου προς το βάρος του σώματος μειώνεται.

Το έντερο καλύπτεται εσωτερικά από ένα μονόστιβο επιθήλιο με έντονη παραγωγή βλέννας που παράγεται από βλεννογόνα (goblet) κύτταρα. Η συνεχής έκκριση βλέννας σκοπεύει στην προστασία του επιθηλίου. Ενώ στα νεαρά στάδια της ηλικίας η βλεννογόνο μεμβράνη είναι λεία, όσο τα ψάρια μεγαλώνουν δημιουργούνται επιμήκεις, ζιγκ-ζαγκ και δικτυωτές εκπτώσεις, οι οποίες τελικά διαμορφώνουν μία σπογγώδους υφής ανάγλυφη κατασκευή τις λάχνες (villi). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η επιφάνεια του εντέρου σε αρκετά μεγάλο βαθμό και έτσι να γίνεται αποτελεσματική η απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών

και κατεπέκταση η πέψη. Ο αγωγός της χολής και ο αγωγός του παγκρέατος καταλήγουν στο αρχικό τμήμα του εντέρου.

Το έντερο (ιδιαίτερα αυτό των ψαριών που δεν έχουν στομάχι) μπορεί να διακριθεί σε τέσσερα τμήματα με βάση τις φυσιολογικές τους λειτουργίες:

1. **Το πρόσθιο τμήμα** (διογκωμένο τμήμα του εντέρου μέχρι την είσοδο του αγωγού της χολής).
2. **Το κεντρικό τμήμα** του μεσεντερίου (midgut) ή μικρό έντερο.
3. **Το ακραίο τμήμα** του μεσεντερίου (midgut) ή μικρό έντερο.
4. **Το τελικό τμήμα** (οπισθέντερο - hindgut) ή ορθό έντερο (μέχρι την έδρα).

Στα ψάρια το τελικό τμήμα του εντέρου δεν καταλήγει σε εμφανές ορθό (rectum) . Στο τέλος του εντέρου υπάρχει ο εδρικός σφιγκτήρας. Η έδρα ανοίγει εξωτερικά πριν την γεννητική και ουρητική οπή. Οι οστειχθύες δεν έχουν αμάρα (cloaca).

Τα όργανα που συνδέονται με το έντερο είναι το συκώτι και το πάγκρεας. Το συκώτι είναι ένα συγκροτημένο και εύκολα διακριτό όργανο ενώ το σχήμα του διαφέρει πολύ από είδος σε είδος (χαρακτηριστικά του κυπρίνου αποτελείται από 4 λοβούς). Αντίθετα, το πάγκρεας των ψαριών δεν αναγνωρίζεται με την πρώτη ματιά καθώς ο ιστός του διαχέεται γύρω από την περιοχή της πυλαίας φλέβας.

ΠΕΨΗ

ΓΕΝΙΚΑ

Η διαδικασία της πέψης διαφέρει ανάμεσα στα ψάρια με ή χωρίς στομάχι. Το στομάχι εκκρίνει υδροχλωρικό οξύ και πεψινογόνο (pepsinogen) για την πέψη των πρωτεϊνών. Στα Salmonidae ότι η τιμή του pH στο στομάχι μπορεί να φθάσει το 2-3, και στο γατόψαρο 2-4. Αντίθετα στο έντερο το pH είναι 7-9. Όταν δεν υπάρχει στομάχι τέτοιες ουσίες δεν εκκρίνονται και η διάσπαση και πέψη των πρωτεϊνών πραγματοποιείται μόνο μέσω των ενζύμων που παράγονται από θρυψίνη σε ουδέτερο έως αλκαλικό pH (Πίνακας 12).

Τα ψάρια διαφέρουν από τα θηλαστικά στο ότι το υδροχλωρικό οξύ και τα πεπτικά ένζυμα εκκρίνονται από τα ίδια κύτταρα του στομάχου.

Πίνακας 12. Τιμές pH στο στομάχι και το έντερο της τιλάπιας (*Oreochromis mossambicus*), στην οποία χορηγήθηκε τροφή (pellets), σε συνάρτηση με το χρόνο μετά το τάισμα (Ζερβός & Κουράκου, 2001).

Χρόνος μετά το τάισμα (ώρες)	Στομάχι	Πυλωρικά τυφλά	Μικρό έντερο			Έδρα
			Κεντρικό	Μέσο	Ακραίο	
0	1,14	6,40	7,50	7,95	7,13	7,22
1	4,67	6,81	7,19	7,80	7,54	7,37
4	2,65	6,50	7,39	8,23	8,04	7,64
8	1,24	6,47	7,81	8,20	7,86	7,50

Τα πεπτικά ένζυμα αποτελούνται από υδρολάσες, δηλαδή ενώσεις που καταλύουν αντιδράσεις υδρόλυσης. Οι υδρολάσες γενικά είναι υδατοδιαλυτές και πρωτεϊνικής φύσης. Ανάλογα με την φυσιολογική τους επίδραση διακρίνονται σε:

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

Τα όργανα στα οποία σχηματίζονται τα πεπτικά ένζυμα είναι το στομάχι το έντερο και το πάγκρεας (Πίνακας 13). Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αυτά τα ένζυμα δεν παράγονται μόνο στο στομάχι, το έντερο ή το πάγκρεας, αλλά μερικές φορές μπορεί να εμφανίζονται σε μεγάλες ποσότητες σε άλλους ιστούς όπως το συκώτι, η σπλήνα ακόμη και οι νεφροί.

Πίνακας 13. Βασικά σημεία για τον σχηματισμό πεπτικών ενζύμων στα ψάρια (από STEFFENS, 1989).

Στομάχι	Έντερο	Πάγκρεας
Πεψινογόνο (Pepsinogen)	Εντεροκινάση	Θρυψινογόνο (Trypsinogen)
HCl	Αμινοπεπτιδάσες	Χυμοθρυψινογόνο (Chymotrypsinogen)
Εστεράσες	Διπεπτιδάσες	Λιπάσες
Καρβουδράσες (π.χ. Χιπινάση)	Τριπεπτιδάσες	α- αμυλάσες
	Λιπάσες	Χιπινάση
	Λεκιθινάσες	
	α- αμυλάσες	
	α- γλυκοσιδάση	
	β- γαλακτοσιδάση	
	Χιτοβιόζη (Chitobiase)	

ΠΕΨΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ

Οι πεπτιδικές αλυσίδες των πρωτεϊνών σπάνε με τη δράση των πρωτεασών. Οι ενδοπεπτιδάσες υδρολύουν τις πεπτιδικές αλυσίδες που βρίσκονται στο μέσω του μορίου των πρωτεϊνών ενώ οι εξωπεπτιδάσες αυτές των άκρων. Τελική

κατάληξη αυτών των υδρολυτικών αντιδράσεων είναι ολοένα και μικρότερα πεπτιδικά μόρια (με δράση των ενδοπεπτιδασών) που στο τέλος καταλήγουν σε απλά αμινοξέα (με δράση των εξωπεπτιδασών). Σημαντικές πεπτιδάσες είναι η πεψίνη και η θρυψίνη που παράγονται από τα προένζυμα πεψινογόνο και θρυψινογόνο αντίστοιχα. Οι πρωτεΐνες των ίδιων των ιστών του σώματος δεν κινδυνεύουν να πεμφθούν από τις πρωτεάσες που παράγει ο οργανισμός επειδή υπάρχει ακριβώς αυτός ο μηχανισμός αυτοπροστασίας. Δηλαδή τα προένζυμα, δεν μετατρέπονται σε πρωτεάσες αν δεν δράσουν διάφοροι μηχανισμοί που προκαλούνται από την παρουσία τροφής στον πεπτικό σωλήνα.

ΠΕΨΗ ΤΩΝ ΛΙΠΩΝ

Τα λίπη πέπτονται από τη συνδυασμένη δράση της χολής που παράγεται στο συκώτι και των ενζύμων που δρουν στα μόρια των λιπών. Η χολή αποθηκεύεται στη χοληδόχο κύστη και απελευθερώνεται στο έντερο με την άφιξη της τροφής. Η χολή της οποίας το pH κυμαίνεται σε 6,1 – 8,4, περιέχει ισχυρό γαλλικό οξύ το οποίο δρα στα λίπη και τα γαλακτοματοποιεί. Με τη γαλακτοματοποίησή τους τα λίπη προσφέρουν μεγάλη επιφάνεια στη δράση των διασπαστικών ενζύμων που ακολουθούν. Τα λιπαρά και γαλλικά οξέα που σχηματίζονται, σχηματίζουν τα χολικά οξέα που χαρακτηρίζονται από υδατοδιαλυτότητα και απορροφησιμότητα.

Τα πιο σημαντικά λιπολυτικά ένζυμα είναι οι λιπάσες οι οποίες διασπούν τα λίπη προς απλούστερα μόρια γλυκερόλης και λιπαρών οξέων τα οποία εύκολα πλέον απορροφώνται. Οι λιπάσες παράγονται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στο πάγκρεας αν και ανιχνεύονται και στο έντερο και στο στομάχι σε μικρότερο βαθμό.

ΠΕΨΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΩΝ

Η πέψη των υδατανθράκων φαίνεται ότι επηρεάζεται και προκαλείται από τα στομαχικά υγρά, αλλά ο πλέον σημαντικός παράγοντας στην υδρόλυση των υδατανθράκων είναι οι καρβουδρογονάσες. Το σημαντικό με αυτά τα ένζυμα είναι ότι η δρατηριότητά τους στα ψάρια διαφέρει ανάλογα με το είδος. Έτσι τα σαρκοφάγα ψάρια όπως τα σαλμονιδή πέπτουν τους υδατάνθρακες (κυρίως το άμυλο) λιγότερο αποτελεσματικά από τα παμφάγα ή τα φυτοφάγα είδη.

Η αμυλάση είναι μια καρβουδρογονάση που υδρολύει το σάκχαρο σε γλυκόζη. Το βέλτιστο pH για τη δράση της είναι 7 – 8. Έχουν βρεθεί αμυλάσες στα περισσότερα παμφάγα ψάρια (όπως τα κυπρινοειδή) και στα φυτοφάγα (όπως οι τιλάπιες). Σχετικά με την παρουσία της στα σαρκοφάγα ψάρια υπάρχουν

αντικρουόμενες απόψεις. Πάντως αξίζει να σημειωθεί ότι η πέψη του αμύλου στα σαρκοφάγα είδη είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού του αμύλου στην τροφή. Με άλλα λόγια όσο περισσότερο άμυλο περιέχει η τροφή, τόσο μικρότερος ο βαθμός της πέψης του.

Εκτός από την αμυλάση άλλες καρβοϋδρογονάσες όπως η γλυκοσιδάση, η μαλτάση, η σουκράση, η λακτάση και άλλες έχουν βρεθεί στα περισσότερα ψάρια σαρκοφάγα και μη.

Η πεπτικότητα των υδατανθράκων μειώνεται όσο αυξάνεται το μοριακό βάρος του υδατάνθρακα που καταναλώθηκε, εξ'αυτού το άμυλο παρουσιάζει τη μικρότερη πεπτικότητα.

Το κυτταρικό τοίχωμα των φυτικών κυττάρων που καταναλώνονται ως τροφή αποτελείται κυρίως από κυτταρίνη, ουσία εξαιρετικά σφιχτοδεμένη. Για να διασπασθεί και απελευθερώσει τα συστατικά του χρειάζεται ένα ειδικό ένζυμο την κυτταρινάση. Τέτοιο ένζυμο όμως δεν έχει βρεθεί να εκκρίνεται από κανένα όργανο των ψαριών, ακόμα και σε αυτά που είναι φυτοφάγα όπως το *Chanos chanos* που τρέφεται με άλγες (των οποίων τα κύτταρα διαθέτουν κυτταρικό τοίχωμα). Πάντως σε πειράματα in vivo παρουσιάσθηκε αξιοσημείωτος βαθμός χώνεψης της κυτταρίνης. Το γεγονός αυτό αποδώθηκε στη δράση της κυτταρινάσης από τα βακτηρίδια της εντερικής χλωρίδας. Γενικά σήμερα είναι αποδεκτό ότι η δράση της κυτταρινάσης στα ψάρια οφείλεται στην εντερική μικροβιακή χλωρίδα, παρά σε κυτταρινάση που εκκρίνεται από ειδικά κύτταρα στο σώμα του ψαριού.

ΑΛΛΑ ΠΕΠΤΙΚΑ ΕΝΖΥΜΑ

Εκτός των παραπάνω μπορούν επίσης να βρεθούν και άλλα ένζυμα στον πεπτικό σωλήνα των ψαριών. Ένα από αυτά είναι η χιτινάση που υδρολύει την ουσία χιτίνη που απαντάται στα επιφανειακά στρώματα των μικροασπονδύλων.

Επίσης έχουν βρεθεί αλκαλικές και όξινες φωσφατάσες. Τα ένζυμα αυτά καταλύουν το διαχωρισμό του ανόργανου φωσφόρου από τις οργανικές φωσφορικές ρίζες. Η αλκαλική φωσφατάση είναι ενεργή σε αλκαλικά περιβάλλοντα και η όξινη σε όξινα.

ΠΕΠΤΙΚΗ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΧΛΩΡΙΔΑ

Αναφέρθηκε παραπάνω γιατί στη διάσπαση της κυτταρίνης είναι πολύ σημαντικός ο ρόλος της εντερικής χλωρίδας. Εκτός από αυτό το ρόλο της

υποβοήθησης της πέψης τέτοιων «σκληρών» συστατικών η μικροβιακή χλωρίδα έχει και άλλο θρεπτικό ρόλο που θα αναφερθεί παρακάτω.

Η πεπτική μικροβιακή χλωρίδα των ψαριών φαίνεται ότι είναι απλούστερη από αυτή των ενδόθερμων (ομοιόθερμων) ζώων (π.χ. θηλαστικά). Στα ενδόθερμα η χλωρίδα αυτή αποτελείται κυρίως από υποχρεωτικώς αναερόβια βακτηρίδια, ενώ στα ψάρια από αερόβια ή προαιρετικώς αναερόβια. Μεταξύ αυτών τα πλέον επικρατούντα είναι βακτηρίδια των γενών *Vibrio* και *Aeromonas*. Από έρευνες έχει βρεθεί ότι τα εντερικά βακτηρίδια των ψαριών είναι συνήθως παρόμοια με αυτά που υπάρχουν στο περιβάλλον νερό, ή στην τροφή που καταναλώνουν. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει πολλούς ερευνητές στο να διατυπώσουν τη θεωρία ότι τα βακτηρίδια αυτά δεν ενδημούν σταθερά στον εντερικό σωλήνα των ψαριών αλλά προέρχονται περιστασιακά από εξωγενείς πηγές (νερό, τροφή). Πάντως οι τελευταίες μελέτες έδειξαν την μόνιμη παρουσία ειδικών βακτηριδίων στον εντερικό σωλήνα αρκετών ψαριών και μάλιστα του τύπου των υποχρεωτικώς αναεροβίων σε πυκνότητα $10^6 - 10^9$ /gr εντερικού περιεχομένου (SAKATA et al., 1980, 1981).

Εκτός από την πέψη η εντερική μικροβιακή χλωρίδα συμμετέχει επίσης και σε άλλες θρεπτικές λειτουργίες όπως η εκμετάλλευση (χρησιμοποίηση) του μη πρωτεϊνικού αζώτου (NPN) καθώς και η παραγωγή βιταμινών. Οι TESHIMA & KASHIWADA (1967, 1969) βρήκαν 209 διαφορετικές ομάδες βακτηριδίων στο έντερο του κυπρίνου, μερικά από τα οποία φαίνονται ικανά να συνθέτουν βιταμίνη B₁₂ και νικοτινικό οξύ. Επίσης φαίνεται ότι εκτός αυτών, η εντερική χλωρίδα μπορεί να παράγει και ουσιώδη αμινοξέα (essential amino acids) και αναπληρώνει τις ελλείψεις σε αυτά που μπορεί να παρουσιαστούν στην τροφή των ψαριών.

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Μετά την πέψη των τροφών, τα προκύπτοντα απλούστερα θρεπτικά συστατικά μεταφέρονται διαμέσου του τοιχώματος του εντέρου και απορροφώνται στο αίμα. Η μεταφορά δια μέσου του εντερικού τοιχώματος των θρεπτικών ουσιών γίνεται εν μέρει με διάχυση και εν μέρει με διαδικασίες ενεργούς μεταφοράς, δια των ειδικών μορίων-μεταφορέων που βρίσκονται στην κυτταρική μεμβράνη του εντερικού επιθηλίου. Όπως στα θηλαστικά και στα ψάρια τα ιόντα νατρίου (Na⁺) είναι απαραίτητα για τη δράση αυτών των μορίων-μεταφορέων.

Η μεταφορά των αμινοξέων χαρακτηρίζεται από «ανταγωνιστικότητα», δηλαδή η μεταφορά ενός αμινοξέως μπορεί να εμποδισθεί με την παρουσία κάποιων άλλων αμινοξέων. Πρόκειται για μια πολύπλοκη διαδικασία αλλά

αναφέρεται εδώ για να αναδειχθεί το πόσοι παράγοντες επηρεάζουν τελικά τη διατροφή των ψαριών. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη μεταφορά (απορρόφηση) είναι η θερμοκρασία. Η μεταφορά των περισσότερων αμινοξέων υπόκειται και στον εγκλιματισμό των ψαριών σε μια ορισμένη θερμοκρασία. Τα ψάρια τα εγκλιματισμένα σε χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να απορροφήσουν ταχύτερα ορισμένα αμινοξέα συγκριτικά με τα ψάρια (του ίδιου είδους) που είναι εγκλιματισμένα σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Επίσης, οι διαφορετικές φυσικές ιδιότητες ορισμένων αμινοξέων μπορεί να προκαλέσουν επιλεκτική μεταφορά τους διαμέσου των κυτταρικών εντερικών μεμβρανών. Η επιλεκτικότητα αυτή αλλάζει αν αλλάξει η βιοχημική σύνθεση των λιπών που αποτελούν την κυτταρική μεμβράνη.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι τα αμινοξέα μπορούν να μεταφερθούν και απορροφηθούν σε ποικίλους ρυθμούς. Σύμφωνα με τον (DABROWSKI, 1983), ο περιοριστικός παράγοντας του ρυθμού (βαθμού) εκμετάλλευσης των αμινοξέων από τα ψάρια, δεν είναι η πέψη αλλά η απορρόφηση. Τα περισσότερα ουσιώδη αμινοξέα, εκτός της ιστιδίνης και της λυσίνης, απορροφώνται λιγότερο αποτελεσματικά από το έντερο του κυπρίνου συγκριτικά με τα μη ουσιώδη αμινοξέα.

Όλες αυτές οι διαφορές στην απορροφητικότητα των αμινοξέων που παρουσιάζονται στα ψάρια, μπορούν να επηρεάσουν τη διαθεσιμότητα των αμινοξέων στις σωστές αναλογίες που απαιτούνται για τη βιοσύνθεση των πρωτεϊνών και δια αυτού του φαινομένου να μειώσουν τη χρησιμοποίησή τους για την αύξηση του ψαριού. Σε αντιμετώπιση αυτού του εμποδίου ορισμένα είδη ψαριών έχουν την ικανότητα να απορροφούν ολιγοπεπτίδια (αλυσίδες αμινοξέων), ακόμα και μακρομόρια πρωτεϊνών.

Γενικά φαίνεται ότι στα ψάρια τα πρωτεϊνικά συστατικά απορροφώνται υπό μορφή ολιγοπεπτιδίων για τις περισσότερες πρωτεΐνες της τροφής των. Πρέπει να επισημανθεί ότι από το σύνολο των πρωτεϊνικών ουσιών που απορροφώνται το μέρος εκείνο που αποτελείται από μονάδες ανεξέρτητων αμινοξέων περιέχει περί το 80% ουσιώδη αμινοξέα, ενώ το μέρος που αποτελείται από πεπτίδια μόνο 40%. Όμως η απορρόφηση δια του τρόπου των πεπτιδίων, μπορεί να προσφέρει το πλεονέκτημα (ειδικά για ορισμένα αμινοξέα) της αυξημένης συνολικά απορρόφησης αμινοξέων επειδή ως ανεξάρτητα αμινοξέα ορισμένα από αυτά δεν απορροφώνται αποτελεσματικά.

Σχετικά με τους υδατάνθρακες πρέπει να επισημανθεί ότι και αυτοί παρουσιάζουν ποικιλία στο ρυθμό απορρόφησής των. Οι FUKUICHI & YONE (1982) μελέτησαν την εντερική απορρόφηση της γλυκόζης της δεξτρόζης και του α-αμύλου στο γιαπωνέζικο φαγγρί (*Pagrus major*) και βρήκαν ότι κατά τις δύο πρώτες ώρες μετά τη χώνεψη, η γλυκόζη απορροφήθηκε ταχύτερα από τη δεξτρόζη και η δεξτρόζη ταχύτερα από το α-άμυλο.

ΡΥΘΜΟΣ ΠΕΨΗΣ

Ως ρυθμός πέψης ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για την πέψη της τροφής. Δηλαδή με άλλα λόγια ο ρυθμός μεταφοράς της τροφής δια μέσου του πεπτικού σωλήνα. Ο ρυθμός πέψης έχει μελετηθεί κυρίως στα ψάρια που έχουν στομάχι, όπου η ποσότητα της τροφής που υπάρχει στο στομάχι μετρήθηκε κατά τακτά χρονικά διαστήματα μετά το γεύμα. Η χρονική περίοδος κατά την οποία το στομάχι αδειάζει καλείται «ρυθμός πέψης» ή «γαστρικός ρυθμός πέψης». Όμως καθώς το άδειασμα του στομάχου και το πέρασμα του γαστρικού στο έντερο μπορεί να γίνει και χωρίς να έχει χωνευθεί πλήρως η τροφή, είναι ορθότερο να μιλάμε για «γαστρικό ρυθμό εκκένωσης» αντί για «ρυθμό πέψης» που αντιπροσωπεύει στην πραγματικότητα το πέρασμα της τροφής δια μέσου ολόκληρου του γαστρικού σωλήνα.

Η γαστρική εκκένωση είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή στα ψάρια. Η πέψη και η εκκένωση της τροφής στο γαστρικό σύστημα επηρεάζονται και εξαρτώνται από ποικίλους παράγοντες όπως, η ποσότητα και η ποιότητα της τροφής, ο ρυθμός έκκρισης των γαστρικών χυμών (οξέα, ένζυμα), τη γαστρική κινητικότητα και την ικανότητα του εντέρου να δέχεται υγρά από το στομάχι. Παρόλα αυτά, σε ένα δεδομένο θερμοκρασιακό καθεστώς, παρουσιάζεται μείωση των γαστρικών ουσιών προϊόντος του χρόνου. Στα ψάρια ο υψηλότερος γαστρικός ρυθμός εκκένωσης παρουσιάζεται 8 ώρες μετά το γεύμα. Γενικά ο γαστρικός ρυθμός εκκένωσης είναι ανάλογος με το ποσό της τροφής που παραμένει στο στομάχι και όταν το ποσό αυτό μικραίνει, μικραίνει και ο ρυθμός εκκένωσης. Τα ψάρια χωρίς στομάχι παρουσιάζουν ταχύτερο ρυθμό πέψης συγκριτικά με τα ψάρια που έχουν στομάχι. Το παρακάτω ενδιαφέρον πείραμα είναι ενδεικτικό των παραπάνω διαδικασιών:

Οι ROZIN & MAYER (1961) τάζαν χρυσόψαρα (*Carassius auratus*) με πελλέτες σε σταθερό ρυθμό και σε διάρκεια μιας ώρας καθημερινά. Κάποια στιγμή και για μια ημέρα έδωσαν πελλέτες που περιείχαν το δείκτη καρμίνη (εύκολα

ανιχνεύονταν και μετριόταν στα περιττώματα) και ακολούθως υπολόγσαν το ρυθμό πέψης. Στη θερμοκρασία του πειράματος (24,5 °C), ο μέσος χρόνος της πρώτης εμφάνισης των χρωματισμένων κόκκινο λόγω της καρμίνης περιττωμάτων ήταν 7 ώρες μετά την κατάποση της τροφής. Τα περισσότερα περιττώματα εμφανίστηκαν 8 – 24 ώρες μετά την κατάποση. Σε αντίθεση με το παραπάνω πείραμα, σε μερικά από τα σαρκοφάγα είδη ψαριών, ο ρυθμός πέψης μπορεί να διαρκέσει 5 ημέρες έως ακόμα και 18 ημέρες.

Ο ρυθμός πέψης φαίνεται να είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος του ψαριού, αν και άλλοι παράγοντες μπορούν να τον επηρεάσουν, όπως η σύνθεση της τροφής. Ο ρυθμός γαστρικής εκκένωσης στην ιριδίζουσα πέστροφα αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού της παρεχομένης τροφής πέραν του 1,1 – 1,5% του σωματικού της βάρους. Σύμφωνα με την εργασία του BEAMISH (1972), όταν το είδος *Micropterus salmoides* τράφηκε με 2% του σωματικού του βάρους, το στομάχι του άδειασε τελείως μετά από 14 ώρες, αλλά όταν τράφηκε με 8% Σ.Β. ο χρόνος εκκένωσης αυξήθηκε στις 27 ώρες. Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα και στο χρόνο παραμονής στο έντερο. Όταν το ψάρι τράφηκε με 4% Σ.Β. η κύρια περίοδος εμφάνισης περιττωμάτων ήταν 12-36 ώρες μετά το γεύμα και διήρκεσε μέχρι 48 ώρες, αλλά όταν τράφηκε με μεγαλύτερη ποσότητα τροφής η μεγαλύτερη παραγωγή περιττωμάτων ήταν στις 12-48 ώρες μετά το γεύμα και διήρκεσε μέχρι και 72 ώρες μετά το γεύμα.

Από όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό πέψης ο πιο βασικός φαίνεται να είναι η θερμοκρασία. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία τόσο υψηλότερος ο ρυθμός πέψης και τόσο μικρότερος ο χρόνος που παραμένει η τροφή στο στομάχι.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΕΠΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Κατά το πέρασμα της τροφής από τον πεπτικό σωλήνα αυτή δεν πέπτεται ούτε απορροφάται πλήρως. Το μη πεφθέν μέρος της αποβάλλεται ως περιττώματα. Το απορροφηθέν μέρος της υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ των καταποθέντων και αποβληθέντων συστατικών και συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό επί του ποσού που καταπώθηκε ως **Συντελεστής Φαινομενικής Πεπτικότητας**.

$$\Sigma\Phi\Pi = \frac{\text{Θρεπτικά πεφθέντα} - \text{Θρεπτικά αποβληθέντα}}{\text{Θρεπτικά πεφθέντα}} \times 100$$

Ο ΣΦΠ μπορεί να υπολογισθεί για το ξηρό μέρος της τροφής, αλλά καθώς η πεπτικότητα μπορεί να διαφέρει μεταξύ των πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπών, είναι ορθότερο να υπολογίζεται ξεχωριστά για το καθένα από τα παραπάνω συστατικά.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΕΠΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η πέψη της τροφής εξαρτάται από τρεις παράγοντες κυρίως:

1. Την καταπωθείσα τροφή και το βαθμό μετατροπής της από τα γαστρικά ένζυμα.
2. Τη δραστικότητα των γαστρικών ενζύμων, και,
3. Τη χρονική διάρκεια που η τροφή εκτίθεται στα γαστρικά ένζυμα.

Κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες επηρεάζεται από ένα πλήθος δευτερευόντων παραγόντων, μερικοί από τους οποίους σχετίζονται με το ψάρι όπως το είδος, η ηλικία, το μέγεθος και η φυσιολογική κατάσταση του ψαριού και μερικοί με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία του νερού. Επιπρόσθετα μερικοί σχετίζονται με την τροφή, δηλαδή τη σύνθεσή της, το μέγεθος των σωματιδίων της και την ποσότητα που τρώγεται.

Το είδος του ψαριού

Ο συντελεστής πεπτικότητας ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων ειδών ψαριών, εξαιτίας των διαφορών μεταξύ των πεπτικών συστημάτων και των πεπτικών ενζύμων που περιέχουν, καθώς και εξαιτίας των διαφορετικών τροφών που καταναλώνονται. Παρόλες αυτές τις διαφορές και της έλλειψης πεψίνης στα ψάρια χωρίς στομάχι, η ποικιλία που παρουσιάζεται στην πεπτικότητα των πρωτεϊνών και των λιπών μεταξύ των διαφόρων ειδών είναι μικρή. Όμως για την πεπτικότητα των υδατανθράκων και ιδιαίτερα του αμύλου παρουσιάζονται αξιοσημείωτες διαφορές. Τα σαρκοφάγα ψάρια πέπτουν το άμυλο σε πολύ μικρότερο βαθμό συγκριτικά με τα παμφάγα και φυτοφάγα είδη. Για παράδειγμα η πεπτικότητα του αμύλου στα σαλμονιδή είναι μόλις 38-55% (ανάλογα με τη συγκέντρωσή του στην τροφή), ενώ για τον κοινό κυπρίνο είναι 85%. Πρέπει να σημειωθεί επίσης για τους υδατάνθρακες, ότι εκτός από τη χαμηλή τους πεπτικότητα στα σαρκοφάγα ψάρια, αυτά τα είδη παρουσιάζουν και άλλες φυσιολογικές δυσκολίες για την αποτελεσματική εκμετάλλευση αυτών των ουσιών. Για παράδειγμα, το ποσοστό των υδατανθράκων στην τροφή της πέστροφας δεν πρέπει να ξεπερνά το 12%, επειδή τα μεγαλύτερα ποσοστά προκαλούν συσσώρευση γλυκογόνου στο συκώτι,

το οποίο επιφέρει σοβαρές φυσιολογικές δυσλειτουργίες και μερικές φορές θάνατο του ψαριού. Επιπρόσθετα έχει βρεθεί ότι το ποσοστό των υδατανθράκων στην τροφή σε ποσοστά 17-35% επιφέρει μείωση της αύξησης στην πέστροφα. Γενικά είναι φανερό ότι υπάρχουν περιορισμοί στο ποσό των υδατανθράκων στην τροφή των σαρκοφάγων ψαριών, έστω και αν αυτοί οι υδατάνθρακες παρουσιάζουν πεπτικότητα.

Η ηλικία του ψαριού

Η ενζυματική δραστηριότητα ποικίλλει με την ηλικία του ψαριού. Για παράδειγμα στην πέστροφα η πρωτεολυτική και αμυλολυτική δραστηριότητα στα νεαρά της στάδια είναι χαμηλότερη απ'ότι στα πιο αναπτυγμένα.

Η φυσιολογική κατάσταση των ψαριών

Στα οχλημένα ψάρια (stressed) εξ'αίτιας είτε των εκτεταμένων χειρισμών είτε λόγω ασθένειας, μπορεί να παρουσιασθεί διαταραγμένη πεπτικότητα. Η τιλάπια που ψαρεύτηκε στη φύση και μεταφέρθηκε σε δεξαμενές, παρουσίασε αυξημένη παραγωγή περιττωμάτων μέχρι να εγκλιματιστεί. Επίσης μια μακρά περίοδο νηστείας μπορεί επίσης να επηρεάσει την έκκριση των ενζύμων και την πεπτικότητα. Η πείνα γενικώς μειώνει την υδρολυτική ικανότητα των εντερικών ενζύμων δια της μείωσης της δραστικότητάς των. Στον κοινό κυπρίνο έχει βρεθεί ότι σε ψάρια που νήστεψαν για μια μακρά περίοδο, όταν ξανάρχισε η παροχή τροφής η έκκριση των ενζύμων στο έντερο ήταν μεγαλύτερη στο δεύτερο τάισμα συγκριτικά με το πρώτο.

Παράλληλα με την εποχιακή διαφορετικότητα που παρουσιάζεται στην πεπτική ενζυμική δραστικότητα των ψαριών, μπορεί να παρουσιασθεί και ποικιλία στην πεπτικότητα των τροφών. Για παράδειγμα έχει βρεθεί ότι η πεπτικότητα των τροφών στον κοινό κυπρίνο είναι μέγιστη την άνοιξη και υποτονική κατά το χειμώνα.

Η θερμοκρασία του νερού

Αντίθετα με τα ενδόθερμα (ομοιόθερμα) ζώα, όπου τα ένζυμα είναι ενεργά σε ένα κατά το μάλλον ή ήττον σταθερό σωματικό θερμοκρασιακό καθεστώς, τα πεπτικά ένζυμα των εκτόθερμων (ποικιλόθερμων) ζώων (και τα ψάρια), επηρεάζονται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει αμφότερες την έκκριση των ενζύμων και την

δραστικότητα των ενζύμων. Η θερμοκρασία μπορεί επίσης να επηρεάσει το ρυθμό απορρόφησης δια μέσου του εντερικού τοιχώματος των χωνεμένων θρεπτικών. Επίσης η θερμοκρασία επηρεάζει και το ρυθμό περάσματος της τροφής δια μέσου του πεπτικού σωλήνα. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία, τόσο γρηγορότερη η εντερική μεταφορά της τροφής και τόσο συντομότερη η έκθεσή της στη δράση των πεπτικών ενζύμων.

Γενικά η δράση της θερμοκρασίας στην πέψη είναι μια σύνθετη υπόθεση. Από τη μια μεριά επηρεάζει την ενζυμική δραστηριότητα και την απορρόφηση των θρεπτικών και από την άλλη εξισορροπείται από την επίδρασή της στο χρόνο που η τροφή παραμένει στον πεπτικό σωλήνα. Σε αυτή της τη δράση θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπ'όψιν και η αναπληρωματική (compensatory) δράση της θερμοκρασίας. Δηλαδή στα ψάρια που έχουν εγκλιματιστεί σε υψηλές θερμοκρασίες εκκρίνονται σχετικά λιγότερες ποσότητες ενζύμων συγκριτικά με τα ψάρια που έχουν εγκλιματιστεί σε χαμηλότερες. Το σύνθετο της επίδρασης της θερμοκρασίας στην πέψη αναδεικνύεται στο παράδειγμα του κοινού κυπρίνου, όπου η πεπτικότητα των υδατανθράκων και των λιπών αυξάνει με τη θερμοκρασία ενώ της κυτταρίνης μειώνεται και συνάμα μειώνεται και η απορρόφηση των μεταλλικών στοιχείων.

Η αλατότητα

Σχετικά με την επίδραση της αλατότητας ή της χημικής σύστασης του νερού στην πεπτικότητα δεν είναι πολλά πράγματα γνωστά. Στην ιριδίζουσα πέστροφα, η πεπτικότητα της ξηράς ύλης, της ενέργειας γενικά και των πρωτεϊνών μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της αλατότητας από γλυκό νερό σε θαλασσινό (33ppt). Δεν είναι ξεκάθαρο εάν αυτό το φαινόμενο οφείλεται άμεσα στην επίδραση της αλατότητας ή έμμεσα στο στρες που προκαλείται από την αλατότητα.

Η σύνθεση της τροφής

Τα θρεπτικά από διάφορες τροφές χωνεύονται σε διαφορετικό βαθμό. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την πηγή προέλευσης και τη σύνθεση της τροφής. Οι τροφές φυτικής προέλευσης χωνεύονται συνήθως λιγότερο απ'ότι οι ζωϊκές προέλευσης. Τα φυτά διαθέτουν παχύτερα και πιο ανθεκτικά κυτταρικά τοιχώματα (συγκριτικά με τις ζωϊκές κυτταρικές μεμβράνες), τα οποία είναι δύσκολο να διαπεραστούν από τα πεπτικά ένζυμα. Η μεγάλη ποσότητα κυτταρίνης που επίσης περιέχουν επηρεάζει την πεπτικότητά τους. Η κυτταρίνη ως ουσία είναι ελάχιστα

πεπτή και έτσι καλύπτοντας στο κύτταρο διάφορα άλλα μόρια όπως οι πρωτεΐνες και οι υδατάνθρακες τα καθιστά και αυτά σχεδόν απρόσβλητα από τα πεπτικά ένζυμα.

Η πεπτικότητα μπορεί επίσης να επηρεασθεί από το σχήμα της τροφής και από τη μέθοδο παρασκευής της. Έχει βρεθεί ότι φύκη που δόθηκαν ως τροφή στα ψάρια παρουσιάζουν μικρότερη πεπτικότητα στην περίπτωση που αποξηράνθηκαν στον ήλιο (φυσικά) από αυτά που αποξηράνθηκαν σε υπέρθερμο ατμό (τεχνητά). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η τεχνητή αποξήρανση προκάλεσε τη διάρρηξη των κυτταρικών τοιχωμάτων των αλγών και εξέθεσε το περιεχόμενό τους στη δράση των πεπτικών ενζύμων, ενώ η φυσική αποξήρανση προκάλεσε το ζάρωμα και την επιπλέον σκλήρυνση των τοιχωμάτων «προστατεύοντας» ακόμα πιο πολύ το περιεχόμενο από τα ένζυμα.

Η άλεση των τροφών αυξάνει την πεπτικότητά τους. Αλεσμένα φύκη που δόθηκαν ως τροφή σε τιλάπιες (*Oreochromis mossambicus*) παρουσίασαν καλύτερη πεπτικότητα συγκριτικά με τα μη αλεσμένα. Πάντως ειδικά για τις τεχνητές αποξηραμένες τροφές πρέπει να επισημανθεί ότι τα μικρότερα σωματίδια της τροφής στο νερό υπόκεινται σε εντονότερο χάσιμο των συστατικών τους στο νερό δια της διαλύσεως (ξέπλυμα).

Το βράσιμο της τροφής δια της μεθόδου της εξώθησης (extrusion) μπορεί να τις καταστήσει πιο ευκολόπεπτες. Το γεγονός αυτό είναι πιο εμφανές για τους υδατάνθρακες οι οποίοι με την εξώθηση ζελατινοποιούνται και γίνονται πιο ευκολόπεπτες για τα σαλμονιδή. Επίσης και για το αμερικάνικο γατόψαρο έχει βρεθεί ότι το άλεσμα και το βράσιμο της τροφής καθιστά τις πρωτεΐνες και τους υδατάνθρακες της (αν και όχι τα λίπη) πιο ευκολόπεπτες.

Στην πείραξη η πεπτικότητα των πρωτεϊνών εξαρτάται από το ποσοστό των υδατανθράκων στην τροφή. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό των υδατανθράκων, τόσο μικρότερη η πεπτικότητα των πρωτεϊνών. Φαίνεται ότι το άπεπτο μέρος των υδατανθράκων περνά πιο γρήγορα διαμέσου του πεπτικού σωλήνα παρασύροντας μαζί του και μέρος των πρωτεϊνών. Κατά άλλη ερμηνεία η αύξηση των υδατανθράκων στην τροφή μειώνει σε κάποιο βαθμό τη δραστηριότητα των πρωτεολυτικών ενζύμων.

Σχετικά με τα λίπη έχει βρεθεί ότι η αύξηση του ποσοστού των στην τροφή αυξάνει τη συνολική ενέργεια που πέπτεται στην ιριδίζουσα πείραξη. Η πεπτικότητα των λιπών εξαρτάται από τη σύνθεσή τους και από το βαθμό κορεσμού τους. Μειώνεται με την αύξηση στον αριθμό των ατόμων άνθρακα στην

αλλυσιδα των λιπαρών οξέων και αυξάνεται ανάλογα με τον αριθμό των διπλών δεσμών στο μόριό τους.

Τέλος, στις διάφορες τροφές μπορεί να υπάρχουν διάφοροι αναστολείς των πεπτικών ενζύμων οι οποίοι τελικά μειώνουν την πεπτικότητα. Για παράδειγμα, τροφή βασισμένη στην ωμή σόγια περιέχει αναστολέα της τρυψίνης (πρωτεάση) ο οποίος πρέπει να καταστραφεί δια της θερμάνσεως πριν η σόγια χρησιμοποιηθεί για να παρασκευασθεί η ιχθυοτροφή. Επίσης και στο σιτάρι υπάρχει ένας ισχυρός αναστολέας της α-αμυλάσης ο οποίος και αυτός καταστρέφεται δια της θερμάνσεως.

Το επίπεδο διατροφής και η συχνότητα των γευμάτων

Ένα από τα πιο κρίσιμα ερωτήματα που τίθενται στην εφαρμοσμένη διατροφή των ψαριών είναι το αν η ποσότητα της τροφής που καταπίνεται επηρεάζει την πεπτικότητά της. Από την ανασκόπηση της ερευνητικής βιβλιογραφίας φαίνεται ότι δεν παρουσιάζεται κάποια τέτοια άμεση επίδραση. Η ποσότητα της καταποθείσας τροφής επιδρά στη διαστολή του στομάχου. Στα θηλαστικά η γαστρική έκκριση προκαλείται από τη διαστολή του στομαχικού τοιχώματος η οποία ενεργοποιεί τον νευροορμονικό μηχανισμό. Και στα ψάρια επίσης η διαστολή του στομάχου προκαλεί την έκκριση των γαστρικών χυμών. Το γεγονός αυτό έχει χαρακτηριστικά αποδειχθεί με πειράματα κατά τα οποία δια της εισαγωγής στο στομάχι του ψαριού αδρανών υλικών (αφρώδες πλαστικό, υάλινα σφαιρίδια κ.λ.π.) επιτεύχθηκε έκκριση γαστρικών υγρών. Φαίνεται έτσι ότι όσο μεγαλύτερος ο όγκος της καταποθείσας τροφής τόσο μεγαλύτερη η έκκριση γαστρικών ενζύμων. Επίσης και ο χρόνος παραμονής της τροφής στο στομάχι και στο έντερο αυξάνεται με την αύξηση του όγκου της τροφής. Επιπλέον η συχνότητα των γευμάτων δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την πεπτικότητα. Ολοι αυτοί οι λόγοι φαίνεται να είναι η αιτία στο γιατί ο συντελεστής πεπτικότητας δεν παρουσίασε μεγάλη διαφορετικότητα στα διάφορα επίπεδα τροφής στα πειράματα του BEAMISH (1972) που αναφέρθηκαν παραπάνω.

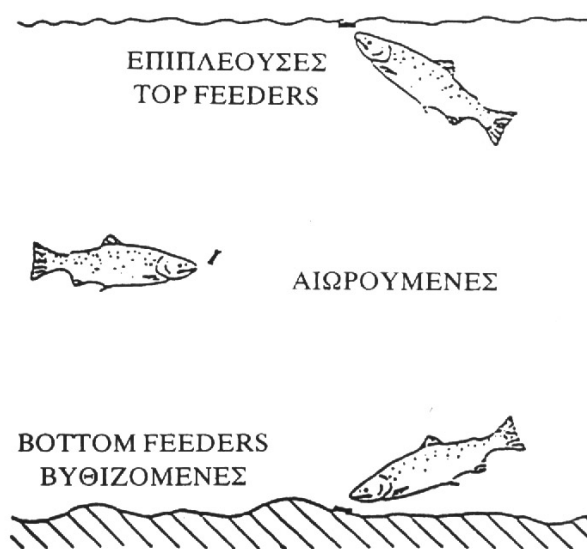
Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η πεπτικότητα στα ψάρια ρυθμίζεται αποτελεσματικά και εκτός από την επίδραση της σύνθεσης και του τύπου της τροφής, η πεπτικότητα παρουσιάζεται σχετικά σταθερή στις ποικίλες συνθήκες.

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΩΝ

ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΩΝ

Η χρησιμοποίηση των πρώτων υλών για την παρασκευή των ιχθυοτροφών θα πρέπει να διασφαλίζει τις προϋποθέσεις που απαιτούνται (πρώτες ύλες, μέθοδοι επεξεργασίας) για την ποιότητα της τροφής. Όπως και με τα άλλα εκτρεφόμενα ζώα η επιλογή των πρώτων υλών στηρίζεται τόσο στην εμπειρία όσο και στα αποτελέσματα των σχετικών επιστημονικών μελετών. Οι πιο κοινές ιχθυοτροφές είναι σήμερα τα ξηρά σύμπηκτα (pellets) με υγρασία μόλις 8-12% τα οποία έχουν σταθερή σύνθεση και με κόκκους ποικίλων σχημάτων και μεγεθών. Με τον τρόπο αυτό καλύπτονται οι απαιτήσεις τόσο του κάθε είδους όσο και των διαφόρων σταδίων ανάπτυξής του. Από άποψη πλευστικότητας οι τροφές διακρίνονται σε επιπλέουσες, βυθιζόμενες και αιωρούμενες (Σχήμα 17).

Σχήμα 17. Η τροφοληψία των ψαριών για τις διάφορες τροφές, (Υπουργείο Γεωργίας, 1998).



Παράγοντες που επηρεάζουν την τροφοληψία των ψαριών

Η κατανάλωση των ιχθυοτροφών από τα ψάρια υπόκεινται σε ορισμένους παράγοντες που καθορίζουν την προσελκυστικότητα μιας ιχθυοτροφής προς τον εκτρεφόμενο οργανισμό. Αυτοί γενικά είναι:

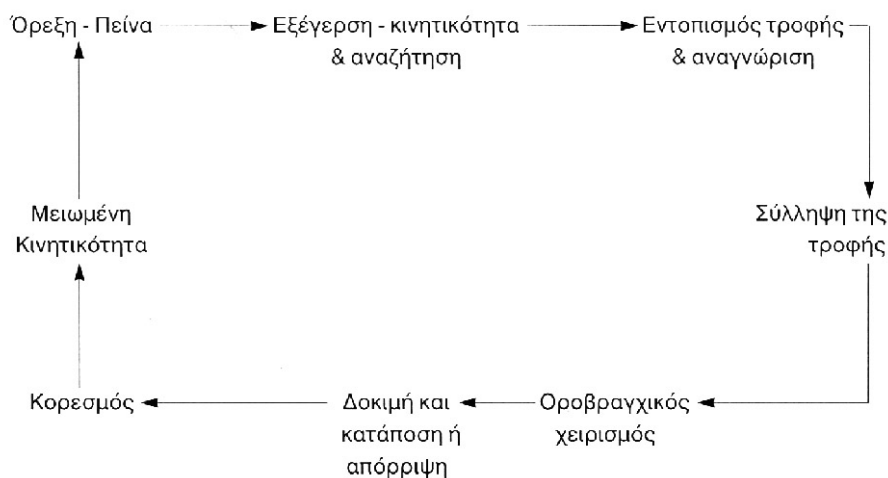
Εμφάνιση. Κατά το δυνατό η τροφή θα πρέπει να μοιάζει ως προς το μέγεθος το σχήμα και το χρώμα με τη φυσική τροφή που καταναλώνει το ψάρι ελεύθερο. Βέβαια αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί απόλυτα στις συνθήκες παραγωγής, αλλά η όσο το δυνατό καλύτερη διαμόρφωση των ιχθυοτροφών θα έχει θετικό αντίκτυπο.

Οσμή. Τα ψάρια διαθέτουν ισχυρή όσφρηση. Συνεπώς προκαλούνται από τη χαρακτηριστική οσμή κάθε τροφής η οποία θα πρέπει να τα προσελκύει και όχι να τα απωθεί. Η μυρωδιά των ιχθυοτροφών θα πρέπει να έχει ικανή διάρκεια μέσα στο νερό.

Υφή. Αφορά το πόσο σκληρή ή μαλακή, υδαρής ή ξηρή, τραχεία ή λεία είναι η ιχθυοτροφή, παράγοντες που συντελούν στην ευληπτότητά της.

Γεύση. Η γεύση είναι ίσως ο καθοριστικότερος παράγοντας κατανάλωσης από τα ψάρια. Η αίσθηση της γεύσης είναι και αυτή ιδιαίτερα αναπτυγμένη στα ψάρια τα οποία διαθέτουν πλήθος γευστικών αισθητηρίων στη στοματική τους κοιλότητα.

Το ποιο ή τα ποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά πρέπει να επικρατεί σε μια ιχθυοτροφή εξαρτάται πρωτίστως από την ηθολογία του εκτρεφόμενου είδους, δηλαδή αν αυτό πρωτίστως ερεθίζεται από τα οπτικά, ή τα χημικά μηνύματα που λαμβάνει (γεύση, οσμή). Παρακάτω σχηματοποιημένα φαίνεται η σειρά των ενεργειών που γίνονται για τη σύλληψη της τροφής (Υπ. Γεωργίας, 1998).



Ο εκτροφέας θα πρέπει να κατανοήσει την έννοια της πείνας και του κορεσμού των ψαριών με σκοπό να βελτιστοποιήσει τη χρήση των ιχθυοτροφών. Σήμερα στις θαλασσινές ιχθυοκαλλιέργειες το κόστος των ιχθυοτροφών ανέρχεται σε 30% τουλάχιστον των λειτουργικών δαπανών μιας ορθολογικά λειτουργούσας μονάδας. Συνεπώς οτιδήποτε συμβάλλει (συχνότητα γευμάτων, ποσότητα και διάρκεια γευμάτων) στην τελειότερη οργάνωση της παροχής και εκμετάλλευσης της τροφής συντελεί σε επιχειρηματικό κέρδος. Επιπλέον συμβάλλει και στην προστασία του περιβάλλοντος, διότι το ποσό της τροφής που δεν καταναλώνεται ή

μεταβολίζεται ανεπαρκώς, συμβάλλει στην υποβάθμιση του νερού δια της προκλήσεως ευτροφισμού και τελικά ρύπανσης.

Σήμερα υπάρχουν αρκετές επιστημονικές γνώσεις για να κατασκευασθούν ορθολογικά σιτηρέσια για τα ευρέως εκτρεφόμενα είδη, πέστροφα, σολομό, κυπρίνο, γατόψαρο, τσιπούρα, λαβράκι. Συγκριτικά με τα χερσαία ζώα τα κριτήρια επιλογής των πρώτων υλών και της παρασκευής των ιχθυοτροφών είναι αυστηρότερα διότι τα συστατικά πρέπει να έχουν μεγάλη σταθερότητα για να αντέξουν όσο το δυνατό περισσότερο την επεξεργασία που θα υποστούν και κατόπιν το σκόρπισμά τους μέσα στο νερό.

Η σύσταση και η περιεκτικότητα σε θρεπτικά των ιχθυοτροφών υπακούει γενικά στις παρακάτω αρχές.

- Τα περισσότερα ψάρια είναι σαρκοφάγα και με εξαίρεση ορισμένα φυτοφάγα είδη, δεν μπορούν να πέψουν την κυτταρίνη που είναι άφθονη στα φυτικά κύτταρα. Συνεπώς αποφεύγονται πρώτες ύλες πλούσιες σε κυτταρίνη διότι είναι δύσπεπτες και μειώνουν την ποιότητα, συνεκτικότητα και αντοχή των πελλετών.
- Τα περισσότερα ψάρια έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε πρωτεΐνες. Όσο περισσότερη η πρωτεΐνη στην τροφή (εντός βεβαίως επιτρεπτών ορίων) τόσο ποιοτικότερα τα χαρακτηριστικά της ιχθυοτροφής.
- Πολλά είδη ψαριών παρουσιάζουν μειωμένη πεπτικότητα των υδατανθράκων
- Τα σαλμονιδή παρουσιάζουν περιορισμένη ικανότητα ρύθμισης του επιπέδου του σακχάρου του αίματός των και για το λόγο αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται οι ιχθυοτροφές οι πλούσιες σε σάκχαρα.

ΖΩΙΚΑ ΥΠΟΠΡΟΙΟΝΤΑ

Ιχθυάλευρο

Παράγεται μετά από πολτοποίηση και βράσιμο των ψαριών, πίεση για να αφαιρεθεί το νερό και το λάδι που περιέχει και κατόπιν ξήρανση. Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται κυρίως οι ρέγγες, οι σαρδέλλες και οι αντσούγιες. Περιέχουν μεγάλο ποσοστό πρωτεϊνών υψηλής βιολογικής αξίας. Είναι μία πλούσια πηγή ενέργειας και μεταλλικών στοιχείων, με μεγάλη πεπτικότητα και ευγευστότητα για τα περισσότερα ψάρια. Το ιχθυάλευρο (whole fish meal) περιέχει 60-80% πρωτεΐνη, η οποία είναι 80-95% πεπτή, και περιέχει υψηλό ποσοστό λυσίνης και μεθειονίνης, τα δύο πιο ανεπαρκή αμινοξέα στα φυτικά συστατικά. Το ιχθυάλευρο από θαλασσινά ψάρια περιέχει επίσης και 1-2,5% ω3 λιπαρά οξέα, τα οποία είναι

βασικά για το μεταβολισμό των ψαριών. Το ιχθυάλευρο που προέρχεται από τμήματα ψαριών, όπως τα κατάλοιπα από την επεξεργασία των ψαριών, αποδίδει μικρότερα ποσοστά και χαμηλότερης ποιότητας πρωτεΐνη. Όμως έχει υψηλά ποσοστά μεταλλικών στοιχείων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή ελλείψεων σε αυτά τα στοιχεία. Το 70-75% της παγκόσμιας παραγωγής ιχθυαλεύρων προέρχεται από το Περού, χώρα η οποία ελέγχει την παγκόσμια διαμόρφωση των τιμών του, γεγονός που καθορίζει και το κόστος των ιχθυοτροφών και κατ'επέκταση το κοστολόγιο των τελικών προϊόντων των ιχθυοτροφείων. Καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα του ιχθυάλευρου είναι η φρεσκότητά του. Ο χρόνος και ο τρόπος αποθήκευσής του επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα των ιχθυοτροφών που θα προκύψουν.

Οστεοκρεατάλευρο

Αποτελείται από υποπροϊόντα των σφαγείων των θηλαστικών. Κατά προσέγγιση αποτελείται από 50% πρωτεΐνη, 8-12% λίπος, 25% τέφρα και υψηλά ποσοστά ασβεστίου και φωσφόρου. Το λίπος που περιέχει προστατεύει το απαραίτητο αμινοξύ λυσίνη από καταστροφή κατά τη μετέπειτα ξήρανση.

Πτηνάλευρο και Πτεράλευρο

Αποτελείται από υποπροϊόντα των πτηνοσφαγείων. Κατά προσέγγιση αποτελείται από 70% πρωτεΐνη, 10-12% λίπος, 10% τέφρα. Παρουσιάζεται πλούσιο σε περιεκτικότητα μεθειονίνης. Το πτεράλευρο παρασκευάζεται συνήθως με ψήσιμο των πτερών παρουσία υδροξειδίου του ασβεστίου με σκοπό την αύξηση της πεπτικότητας της πρωτεΐνης των. Σε πειράματα στην πέστροφα απεδείχθη ότι ο συνδυασμός πτηνάλευρου και πτεράλευρου δίδει ιχθυοτροφές ισοδύναμες με αυτές των ιχθυαλεύρων.

Αιματάλευρο

Προκύπτει από την ξήρανση του αίματος των ζώων των σφαγείων. Ο καλλίτερος τρόπος ξήρανσης είναι ο λεγόμενος spray-drying. Με τη μέθοδο αυτή η πεπτικότητα της πρωτεΐνης των είναι περί το 90%, ενώ με άλλους πιο βίαιους τρόπους η πεπτικότητα μπορεί να πέσει και στο 20%.

ΦΥΤΙΚΑ ΥΠΟΠΡΟΙΟΝΤΑ

Από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή υδατανθράκων είναι τα φυτικά υποπροϊόντα τα οποία συνάμα προσφέρουν και στη συνεκτικότητα της

τροφής λόγω των φυτικών ινών και του αμύλου που περιέχουν. Τα υποπροϊόντα αυτά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και ως πηγή φτηνής και εύκολα διαθέσιμης πρωτεΐνης. Από την άποψη της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη μπορούν να διακριθούν σε χαμηλού πρωτεϊνικού περιεχομένου με ποσοστό <20% και υψηλού με >20%. Τα χαμηλού ποσοστού πρωτεΐνης φυτικά υποπροϊόντα (Φ.Υ.) που περιλαμβάνουν τα άλευρα της αλευροποίησης και τα μη επεξεργασμένα άλευρα των δημητριακών, περιέχουν συνήθως περί τα 12% πρωτεΐνες, 65% υδατάνθρακες, 5% ίνες, 0,07% Ca και 0,35% φώσφορο. Ο πρωταρχικός σκοπός χρήσης των στις ιχθυοτροφές είναι η μηχανική σταθερότητα των πελετών.

Τα υψηλού ποσοστού πρωτεΐνης Φ.Υ. διακρίνονται σε πρωτεϊνούχα της τάξεως του 20-30%, πλούσια σε ίνες και είναι υποπροϊόντα υγρής αλέσεως και ζυμώσεων ή αποστάξεων (π.χ. αλκοολούχων ποτών, μπύρας κλπ), και σε πρωτεϊνούχα άνω του 30% φτωχά σε ίνες, υποπροϊόντα εκχέλισης ελαίων από σπόρους. Ενδεικτικά αναφέρονται τα σπουδαιότερα από αυτά.

Πίτες σόγιας: Λαμβάνονται κατά τη διαδικασία εκχύλισης του σογιέλαιου από τους σπόρους της σόγιας. Χρησιμοποιούνται εκτενώς στις ζωοτροφές λόγω της υψηλής βιολογικής αξίας της πρωτεΐνης των. Για ιχθυοτροφές η απόδοσή τους όμως είναι χαμηλότερη λόγω χαμηλής περιεκτικότητας στο αμινοξύ μεθειονίνη. Μετά όμως από θερμική κατεργασία και εμπλουτισμό σε μεθειονίνη, χρησιμοποιούμενα ως ιχθυοτροφή για πέστροφες προκάλεσαν αύξηση των ψαριών χαμηλότερη μόνο κατά 35% συγκρινόμενα με τα ιχθυάλευρα, ενώ με περαιτέρω βελτίωση δια του εμπλουτισμού και με άλλα απαραίτητα αμινοξέα η προκαλούμενη αύξηση πλησίασε κατά 90% αυτή του ιχθυάλευρου.

Βίτες: Πρόκειται για υπολείμματα της παρασκευής των αλεύρων από το άλεσμα του σιταριού. Προσδίδουν σταθερότητα στα pellets και χαρακτηρίζονται από 15-17% πρωτεΐνες, 3-5% λίπη και 8-10% ίνες.

Βαμβακόπιτα: Πρόκειται για εκχυλίσματα του βαμβακέλαιου από το βαμβακόσπορο. Παρουσιάζει υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης και χαμηλό υδατανθράκων.

Γλουτένη αραβοσίτου: Το κίτρινο καλαμπόκι είναι το πιο ευρέως χορηγούμενο δημητριακό στην Β. Αμερική. Περιέχει χαμηλά ποσοστά πρωτεΐνης με μη ισορροπημένη αμινοξική σύνθεση. Περιέχει σχεδόν 20-30mg κίτρινες ξανθοφύλλες (λευτίνη και ζεαξανθίνη)/kg, οι οποίες προκαλούν κίτρινο χρωματισμό σε ορισμένες περιοχές της σάρκας των ψαριών με λευκή σάρκα. Το άλευρο από γλουτένη καλαμποκιού περιέχει 40-60% πρωτεΐνη με μεγάλο ποσοστό λευκίνης και

φαινυλαλανίνης όμως, έχει μεγάλη συγκέντρωση ξανθοφύλλων (200-350mg/kg).

Τα υποπροϊόντα του καλαμποκιού από αποστακτήρες και ζυθοποιίες είναι σχετικά υψηλά σε πρωτεΐνη (26-28%) και λίπος (8-10%), αλλά η πρωτεΐνη είναι χαμηλή σε λυσίνη και αργινίνη. Από διαιτητικά πειράματα στις πέστροφες και δια της προσθήκης επτά βασικών αμινοξέων στη γλουτένη (λυσ., αργ., ιστιδ., τρυπτ., βαλ., θρεον. και ισολ.) σε ποσοστά παρόμοια με αυτά των αυγών της πέστροφας, προκάλεσαν αύξηση στα ψάρια παρόμοια με αυτή του ιχθυάλευρου.

Φύτρο σπέρματος χαρουπιού: Παράγεται από το σπέρμα του σπόρου του χαρουπιού μετά τον αποχωρισμό των κόμμεων του ινώδους περιβλήματος του σπόρου. Παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και χαμηλή σε άμυλο.

ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΕΣ ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ (Single Cell Protein)

Ως μικροβιακές πρωτεΐνες για χρήση στις ζωοτροφές, ορίζονται αυτές που περικλείουν το σύνολο των μικροφυκών (π.χ. *Spirulina* sp.), βακτηριδίων και μυκήτων (π.χ. *Torulopsis* sp.) που παράγονται με τη χρησιμοποίηση κάποιου υποστρώματος. Η παραγωγή πρωτεΐνης με τη χρήση των παραπάνω μικροοργανισμών παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Ως υπόστρωμα χρησιμοποιούνται ανθρακούχες ύλες (άνθρακας, πετροχημικά, φυσικό αέριο) ή αγροτικά ή κυτταρινούχα υποπροϊόντα που σε άλλη περίπτωση αν απορρίπτονταν θα προκαλούσαν ρύπανση.
- Η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη είναι μεγάλη (40-70% του ξηρού τους βάρους).
- Καλλιεργούνται σε περιορισμένο χώρο με ελεγχόμενες συνθήκες.
- Παρουσιάζουν πολύ μικρό χρόνο αναγέννησης ή διπλασιασμού της βιομάζας των (1-6 ώρες).
- Η σύσταση των κυττάρων τους μπορεί να διαμορφωθεί γενετικά δια της βιοτεχνολογίας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Η διατροφική αξία των συστατικών της τροφής επηρεάζεται από την κατεργασία που υπέστησαν. Η θέρμανση είναι η πλέον συνήθης και απαιτούμενη διεργασία για την κατεργασία τους και σκοπεύει στη μείωση της υγρασίας (δεν πρέπει να υπερβαίνει το 12% στο τελικό προϊόν) και στην εκχύλιση του λαδιού. Η εκχύλιση του λαδιού πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ο οποίος αφαιρός θα

εξασφαλίζει ικανοποιητική απόδοση σε έλαιο, αλλά συνάμα θα αποτρέψει τη μετουσίωση των πρωτεϊνών και την προκαλούμενη έτσι μείωση της πεπτικότητάς των, δια της αποφυγής της επίδρασης υψηλών θερμοκρασιών. Αντίθετα βέβαια η πεπτικότητα των υδατανθράκων βελτιώνεται με τη θέρμανση.

ΠΙΘΑΝΕΣ ΤΟΞΙΝΕΣ ΣΤΑ ΥΠΟΠΡΟΙΟΝΤΑ

Εντομοκτόνα και χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες

Η εκκόλαψη των αυγών και η επιβίωση των νεαρών ψαριών επηρεάζονται αρνητικά από την παρουσία χλωριωμένων υδρογονανθράκων. Τα επιτρεπόμενα επίπεδα οργανοχλωριωμένων ενώσεων και πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (PCB) στα ιχθυέλαια είναι λιγότερο από 2 ppm και 0,1 ppm αντίστοιχα. Το εντομοκτόνο toxarhene εμποδίζει το μεταβολισμό της βιταμίνης C και δημιουργεί σκελετικά προβλήματα. Το DDT προκαλεί θυρεοϊδική υπερδραστηριότητα και η διελδρίνη προβληματικό μεταβολισμό των αμινοξέων και πρωτεϊνών.

Salmonella

Όταν τα ζωϊκά υποπροϊόντα δεν έχουν αποξηρανθεί καλώς και φυλάσσονται σε κακές συνθήκες τότε μπορεί να προσβληθούν από salmonella.

Αναστολείς πεπτικών ενζύμων

Τα ψάρια είναι πιο ευαίσθητα από τα θηλαστικά στους αναστολείς των ενζύμων της πέψης και οι οποίοι βρίσκονται στα φυτικά υποπροϊόντα. Συνεπώς η δράση αυτών των αναστολέων πρέπει να μειωθεί με την κατάλληλη επεξεργασία, άλλως δεν θα είναι πέψιμα από τα ψάρια. Οι αναστολείς της θρυψίνης είναι πρωτεΐνες που βρίσκονται σε όλα τα φυτικά υποπροϊόντα και απενεργοποιούνται με θερμική επεξεργασία. Το σογιάλευρο που δεν έχει υποστεί θερμική κατεργασία περιέχει λεκτίνες ή αιματογλουτίνες. Η δράση αυτών των αναστολέων συνίσταται στο ότι μειώνουν τη δραστηριότητα των ενζύμων λιπάση και ανυλάση του εντέρου. Η γκοσσυπόλη και τα λιπαρά οξέα με δακτύλιο κυκλοπροπενίου που βρίσκονται στη βαμβακόπιπτα προκαλούν επίσης διατροφικές διαταραχές. Οι τανίνες και το φυτικό οξύ επίσης που είναι συστατικά αρκετών φυτικών υποπροϊόντων μειώνουν την πεπτικότητα των πρωτεϊνών και των ανόργανων στοιχείων. Ορισμένες ενώσεις στην πίτα του λινελαίου παρεμποδίζουν το μεταβολισμό της πυριδοξίνης, ενώ περιέχει επίσης και γλυκοζίτες που δημιουργούν το τοξικό κυάνιο.

ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΩΝ

Αντιοξειδωτικά

Το υψηλό ποσοστό των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων των ιχθυοτροφών τις καθιστά πολύ ευαίσθητες στην οξείδωση. Η οξείδωση των λιπαρών οξέων επιφέρει καταστροφή στις βιταμίνες A, E και K, στα καροτενοειδή και στα αμινοξέα και συνεπώς υποβάθμιση της βιολογικής αξίας της τροφής. Οι συνηθέστερες πλέον δραστικές και οικονομικές αντιοξειδωτικές ενώσεις που προστίθενται στις ζωοτροφές είναι οι Εθοξυκίνη (1,2 διυδρο-6 εθοξυ-2,2,4-τριμέθυλο κινολίνη) σε συγκέντρωση μέχρι 150 mg/Kg τροφής, και BHT (βουτυλιωμένο υδροξυ-τολουόλιο) και BHA (βουτυλιωμένο υδροξυ-ανισόλιο) σε συγκεντρώσεις μέχρι 200 mg/Kg τροφής.

Ζωϊκά λίπη

Μπορούν να προστεθούν στην τροφή για να αυξήσουν το ενεργειακό της περιεχόμενο, αρκεί να μη διαταράσσεται η ισορροπία της σύνθεσης των λιπαρών οξέων που απαιτούνται για κάθε ψάρι. Ο τρόπος πρόσθεσής των στις πελέτες συνίσταται στον ψεκασμό τους υπό μορφή σπρέϊ αφού πρώτα υγροποιηθούν δια της θερμάνσεως σε βαθμό ανώτερο του σημείου τήξεως. Δια της λιποποίησης μειώνεται και το ποσοστό σκόνης σε ψιλοκομμένες ιχθυοτροφές.

Συγκολλητικές ουσίες

Τα πέλετες για να είναι αποτελεσματικά ως τροφή θα πρέπει να μη διαλύονται εύκολα μέσα στο νερό. Απαιτείται οι κόκκοι των συστατικών τους να συγκρατούνται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις δηλαδή να είναι «κολλημένα». Ως συγκολλητικές ουσίες χρησιμοποιούνται διάφορα παράγωγα των σακχάρων όπως η μελάσα, διάφορες δεξτρίνες, άμυλο ή αμυλούχα υποπροϊόντα. Στα αμυλούχα συγκολλητικά των ιχθυοτροφών η κατεργασία της πελετοποίησης που περιλαμβάνει θέρμανση με ατμό ζελατινοποιεί το άμυλο και έτσι επιτυγχάνεται η συνεκτικότητα των πέλετες.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΩΝ

Έντομα

Αυξημένα ποσοστά υγρασίας στις αποθηκευμένες τροφές (>16%) συνδυαζόμενα με υψηλή υγρασία στον αέρα (70%) και υψηλή θερμοκρασία (28 °C) συντελούν στην εμφάνιση και ανάπτυξη εντόμων της τάξεως των λεπιδόπτερων καθώς των σκαθαριών, ιδιαίτερα όταν οι τροφές είναι λεπτόκοκκες και χαλαρές. Εκτός του ότι τα έντομα είναι φορείς παθογόνων οργανισμών όπως η σαλμονέλα,

η αύξηση του πληθυσμού των στις τροφές προκαλεί περαιτέρω ανύψωση της θερμοκρασίας η οποία με τη σειρά της ευνοεί την ανάπτυξη μικροβίων. Επίσης τα έντομα εκκρίνουν λιπάσες που προκαλούν υδρόλυση των λιπών σε λιπαρά οξέα τα οποία οξειδούμενα στις επικρατούσες πλέον υψηλές θερμοκρασίες αλλοιώνουν και τη γεύση των ιχθυοτροφών πλέον της υποβάθμισης που προκαλούν στη χημική τους σύνθεση. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω, επιβάλλεται η διατήρηση χαμηλών ποσοστών υγρασίας των τροφών και του αέρα στην αποθήκη, καθώς και χαμηλής θερμοκρασίας που επιτυγχάνονται δια της επιλογής κατάλληλης θέσης, επαρκούς αερισμού ή και κλιματισμού.

Μικροοργανισμοί

Παρόλη την επεξεργασία που υφίστανται τα υποπροϊόντα των ιχθυοτροφών κατά τη διαδικασία παρασκευής των ιχθυοτροφών και η οποία καταστρέφει τους μικροοργανισμούς που περιέχουν, ορισμένα είδη μυκήτων είναι ανθεκτικά και επιβιώνουν. Η περαιτέρω ανάπτυξή τους ευνοείται από υψηλή υγρασία των ιχθυοτροφών (15-20%) και της ατμόσφαιρας (70-90%). Η ανάπτυξη των μυκήτων μπορεί να ανυψώσει κατά πολύ τη θερμοκρασία και υγρασία των ιχθυοτροφών με αποτέλεσμα δευτερογενεί μόλυνση από μικρόβια. Η ανάπτυξη των πλέον κοινών μυκήτων των γενών *Aspergillus* και *Penicillium* δια της παραγωγής μυκοτοξινών επιφέρει δηλητηρίαση των τροφών καθώς και μούχλιασμα των τροφών με την ανάλογη χαρακτηριστική οσμή και γεύση μούχλας. Η πιο επικίνδυνη από τις μυκοτοξίνες είναι η αφλατοξίνη που έχει και καρκινογενείς ιδιότητες. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ενώ για τα θηλαστικά η συγκέντρωση της αφλατοξίνης πο επιφέρει πειραματικά το θάνατο του 50% του εκτιθέμενου πληθυσμού (επίπεδο LC50) είναι 2-9 mg/Kg σώματος ανάλογα με το είδος, στην πέστροφα είναι μόλις 0,5 mg/Kg σώματος. Τα προφυλακτικά μέτρα εκτός από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα έντομα, μπορεί να περιλαμβάνουν και χρήση χημικών συντηρητικών όπως το προπιονικό οξύ.

Οξείδωση των λιπών

Οι οξειδώσεις των λιπών είναι η πλέον κοινή περίπτωση προβλημάτων για τις αποθηκευμένες ιχθυοτροφές. Δια της οξειδώσεως καταστρέφονται οι βιταμίνες και γίνεται προβληματική η διαθεσιμότητα των αμινοξέων. Οι υψηλές θερμοκρασίες και υγρασία όπως προαναφέρθηκε, καθώς και η παρουσία του ενζύμου λιποξειδάση, η υπεριώδης ακτινοβολία και η κατάλυση οξειδωτικών αντιδράσεων από ιχνοστοιχεία (σίδηρος, χαλκός, ψευδάργυρος, κοβάλτιο) συντελούν στην αύξηση του ποσοστού των οξειδωμένων λιπών. Τα προφυλακτικά μέτρα εκτός της

δημιουργίας υγιεινών συνθηκών κατά τα παραπάνω, μπορεί να περιλαμβάνουν και χρήση αντιοξειδωτικών ουσιών.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται εύκολα κατανοητό ότι προκειμένου να διαφυλαχθεί στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό η ποιότητα των αποθηκευμένων ιχθυοτροφών και να γίνεται ορθή και αποτελεσματική χρήση τους, θα πρέπει (ΛΕΟΝΑΡΔΟΣ, 1999):

- Οι ιχθυοτροφές να προέρχονται από επίσημο εργοστάσιο με σωστή συσκευασία και αναγραφή σε αυτή των απαραίτητων στοιχείων (στοιχεία κατασκευαστή, πλήρης συνθεση, μέγεθος κόκκων, ημερομηνία παρασκευής και λήξεως). Σε καμία περίπτωση η διάρκεια αποθήκευσης δεν μπορεί να υπερβαίνει τους 6 μήνες.
- Οι σάκκοι πρέπει να είναι καινούργιοι, όχι βρεγμένοι, όχι σχισμένοι και το περιεχόμενο να μην περιέχει συμπαγείς μάζες.
- Γενικά δεν πρέπει να γοράζονται με μιας υπερβολικά μεγάλες ποσότητες.
- Τηρείται σχολαστικά η αρχή του F.I.F.O. (First In, First Out) δηλαδή αυτό που εισέρχεται πρώτο στην αποθήκη, αυτό εξέρχεται πρώτο για κατανάλωση.
- Αν χρησιμοποιούνται για το τάϊσμα των ψαριών αυτόματες ταινίες τότε αυτές θα πρέπει να είναι καλυμμένες.
- Οι κόκκοι της τροφής θα πρέπει να είναι γυαλιστεροί χωρίς εμφανή υγρασία ή αποχρωματισμένοι. Η μυρωδιά τους θα πρέπει να είναι ευχάριστη και να μην απωθούν με μυρωδιά ταγγισμένου λίπους, αμμωνίας ή άλλης ασυνήθιστης.
- Η αλλαγή από το ένα μέγεθος της τροφής σε μεγαλύτερο καθώς τα ψάρια μεγαλώνουν, θα πρέπει να γίνεται προοδευτικά.

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΩΝ

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

Διακρίνονται δύο τύποι μηχανισμών παραγωγής τροφής, ο ειδικός για ξηρά τροφή και ο ειδικός για μη ξηρά (Σχήμα 23). Η ξηρά τροφή παρόλη την ονομασία της περιέχει μικρό ποσοστό υγρασίας 8-13% και παρασκευάζεται είτε από ξηρά συστατικά είτε από υγρά ή ανάμικτα με ξηρά που στη συνέχεια ξηραίνονται. Η μη ξηρά τροφή διακρίνεται σε νωπή και υγρή αν και η μόνη πραγματική διαφορά τους είναι η μεθοδολογία παρασκευής, επειδή και οι δύο περιέχουν υψηλά ποσοστά υγρασίας. Η νωπή τροφή περιέχει 45-70% υγρασία και παρασκευάζεται από νωπά συστατικά όπως ψάρια, υπολείμματα ψαριών, νωπές ζωοτροφές κ.λ.π. Η υγρή

τροφή περιέχει 18-45% υγρασία και παρασκευάζεται με ανάμιξη νωπών, ημίξηρων και υγρών συστατικών. Στις ξηρές τροφές ανήκουν και οι τροφές «νιφάδες» ειδικά για τα ψάρια ενυδρείων. Η μορφοποιημένη τροφή που προκύπτει μετά την επεξεργασία έχει ποικίλα σχήματα, σκληρή ή σχετικά μαλακιά υφή και ονομάζεται σύμπηκτα ή pellets. Ανάλογα με την τεχνική παρασκευής των τα πέλετς μπορεί είτε να επιπλέουν είτε να βυθίζονται στο νερό. Τα θρυμματισμένα και βυθιζόμενα πέλετς ποικίλων μεγεθών ονομάζονται θρύμματα ή κόκκοι και δίδονται σε μικρά ψάρια και γαρίδες. Η εξώθηση (extrusion) είναι μια ειδική κατεργασία των πρώτων υλών με σκοπό να κατασκευάσει πέλετς τα οποία επιπλέουν (extruded pellets).

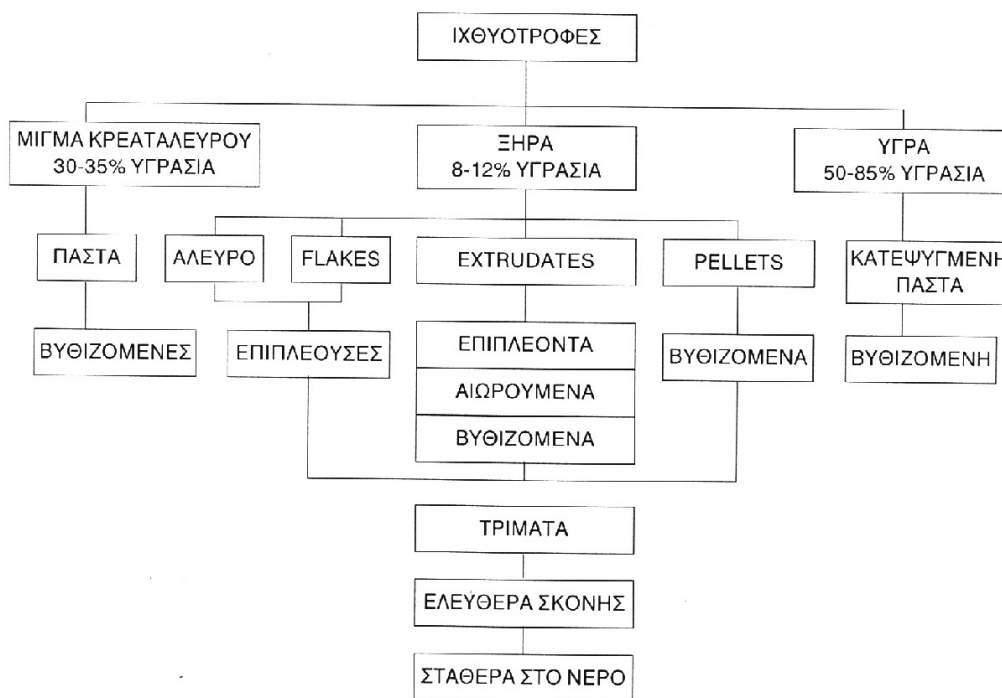
Ο εξοπλισμός για την παρασκευή των ιχθυοτροφών, είναι σε γενικές γραμμές παρόμοιος με τον αντίστοιχο για τις υπόλοιπες ζωοτροφές, με κάποιες όμως διαφοροποιήσεις που έχουν να κάνουν με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των ψαριών. Παρακάτω δίδονται αδρά τα διάφορα βήματα παρασκευής ιχθυοτροφών στα εργοστάσια.

- ✓ Οι πρώτες ύλες παραλαμβάνονται και αποθηκεύονται
- ✓ Οι πρώτες ύλες αλέθονται και ξανααποθηκεύονται μέχρι να χρησιμοποιηθούν
- ✓ Οι πρώτες ύλες ζυγίζονται στις κατάλληλες αναλογίες για την προετοιμασία των μιγμάτων
- ✓ Μέσω ειδικών πιεστηρίων, οι πρώτες ύλες συμπήκονται και διαμορφώνονται σε pellets απλά ή εξωθημένα (extruded)
- ✓ Μέσω ειδικών κοκκινιστηρίων τα πέλετς τυποποιούνται σε μεγέθη «μακαρονιών» ή κόκκων ποικίλων διαμέτρων (διαμέτρου ή μήκους 0,5 – 8 mm ανάλογα με την ηλικία, μέγεθος και είδος του ψαριού για το οποίο προορίζονται)
- ✓ Στα πέλετς προστίθεται ειδικό λάδι ή /και βιταμίνες
- ✓ Τα πέλετς στην τελική μορφή τους συσκευάζονται και αποθηκεύονται

Η επεξεργασία των ιχθυοτροφών διαφέρει ως προς την παραγωγή της από τις υπόλοιπες ζωοτροφές στα παρακάτω σημεία:

- Το μέγεθος των κόκκων που μετά από λεπτή και ομοιόμορφη άλεση είναι ενιαίο
- Το βαθμό θερμικής επεξεργασίας που γίνεται για τη μορφοποίηση και βελτίωση της πεπτικότητάς των
- Τη δυνατότητα ενσωμάτωσης λιπαρών υψηλής ποιότητας στα πέλετς

- Την παραγωγή σιτηρεσίων υψηλής ενέργειας έτσι ώστε οι ενεργειακές ανάγκες των ψαριών να καλύπτονται από λίπη και πεπτούς υδατάνθρακες, με τις πρωτεΐνες να βρίσκονται σε ποσοστά μόνο για την κάλυψη των αναγκών αύξησης



Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας, 1998.

ΤΥΠΟΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Τα κύρια μηχανήματα στο εργοστάσιο ιχθυοτροφών είναι οι ζυγαριές, οι μύλοι-αλεστές, οι αλεστές-κρεατομηχανές, οι αναμικτήρες ξηρών προϊόντων, οι αναμικτήρες νωπών υλικών και οι ανελκυστήρες και τα μεταφορικά μέσα.

Ζυγαριές

Απαιτείται να είναι ακριβείας με ξεκάθαρες ενδείξεις όχι απαραίτητα ψηφιακές. Οι τύπου πλατφόρμας είναι ικανοποιητικές για μικρή σχετικά παραγωγή. Επιθυμητή είναι η δυνατότητά τους να δίδουν χωριστή ένδειξη για το απόβαρο. Σε αυτούς τους τύπους μετά τη ζύγιση του άδειου δοχείου ο δείκτης μηδενίζεται και το υλικό που προστίθεται και ζυγίζεται δεν συμπεριλαμβάνει πλέον το βάρος του δοχείου.

Μύλοι – αλεστές

Σκοπός τους είναι η μείωση του όγκου των συστατικών σε βαθμό τέτοιο που να είναι ευχερής η ανάμιξή τους και ότι άλλο απαιτείται. Χρησιμοποιούνται κυρίως ο τύπος «μύλος τρίφτης ή πιατόμυλος» και ο τύπος «σφυρόμυλος» (Σχήμα 18). Στον τρίφτη χρησιμοποιούνται δύο δίσκοι με ανώμαλη εσωτερική επιφάνεια ανάμεσα στους οποίους μπαίνει το υλικό. Με την περιστροφή των δίσκων το υλικό κατακερματίζεται σε μικρού μεγέθους κόκκους. Στον σφυρόμυλο η λειτουργία βασίζεται στην πρόσκρουση. Περιλαμβάνει τον θάλαμο άλεσης μέσα στον οποίο υπάρχουν σειρές από αντικρουστά σφυριά. Τα υλικά προς άλεση εισάγονται στο θάλαμο μέσα σε διάτρητο (οπές περί τα 0,8 mm) ατσάλινο κόσκινο (μήτρες) και υφιστάμενα τις κρούσεις των σφυριών θρυμματίζονται.

Αλεστές – κρεατομηχανές

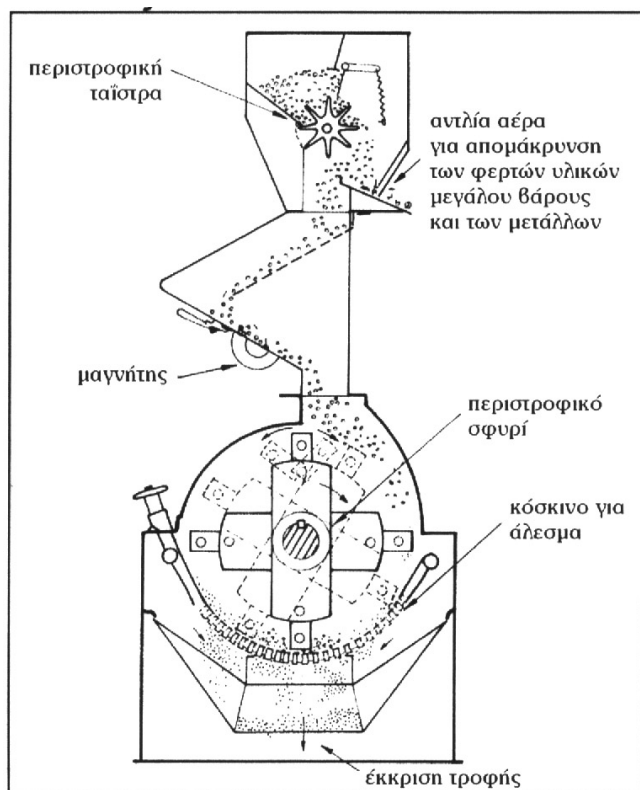
Δια της άλεσης των συστατικών από κρεατομηχανές επιτυγχάνεται η παρασκευή κόκκων συγκεκριμένου μεγέθους. Οι κρεατομηχανές που χρησιμοποιούνται είναι παρόμοιες με τις οικιακές (Σχήμα 19). Ένας ηλεκτρικός κινητήρας περιστρέφει ένα μακρόστενο μεταλλικό και ελικοειδή άξονα και αυτός μεταφέρει τα υλικά προς ένα αντιθέτως περιστρεφόμενο μαχαίρι το οποίο την κατακόβει και στη συνέχεια να περάσει μέσα από ένα διάτρητο μεταλλικό δίσκο. Το προϊόν εξέρχεται υπό μορφή μακαρονιού μικρής διαμέτρου.

Αναμικτήρες ξηρών προϊόντων (dry mixers)

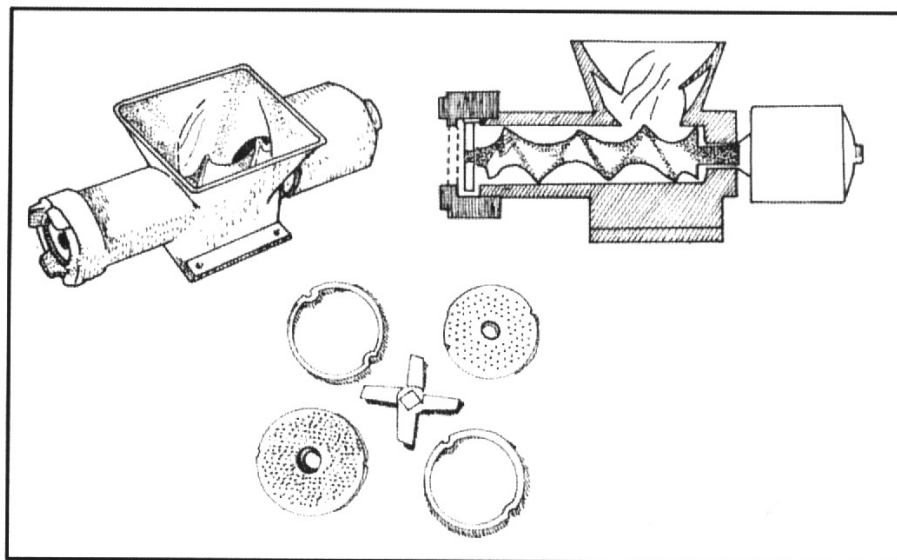
Η σωστή και ομοιόμορφη ανάμιξη των συστατικών είναι εκ των ων ουκ άνευ για την παρασκευή σωστής ιχθυοτροφής. Διακρίνονται δύο τύποι αναμικτήρων, ο οριζόντιος και ο κάθετος (Σχήμα 20). Οι κάθετοι αναμικτήρες, περιέχουν ένα ή περισσότερους κάθετους ατέρμονες μεταλικούς έλικες οι οποίοι μεταφέρουν συνεχώς τα υλικά από κάτω προς τα πάνω, στη συνέχεια αυτά ξαναπέφτουν και η διαδικασία συνεχίζεται όσο απαιτείται. Οι οριζόντιοι αναμικτήρες διαθέτουν λάμες σε σειρές, επάνω σε ένα οριζόντιο άξονα. Δια της περιστροφής των λαμών τα υλικά αναμιγνύονται. Ο οριζόντιος τύπος προτιμάται για τις ιχθυοτροφές επειδή

εκτός των άλλων επιτρέπει την ευκολότερη ανάμιξη και κάποιας ποσότητας υγρών όπως τα πρόσθετα λίπη.

Σχήμα 18. Σφυρόμυλος.



Σχήμα 19. Εξαρτήματα κρεατομηχανών



Αναμικτήρες νωπών συστατικών (wet mixers)

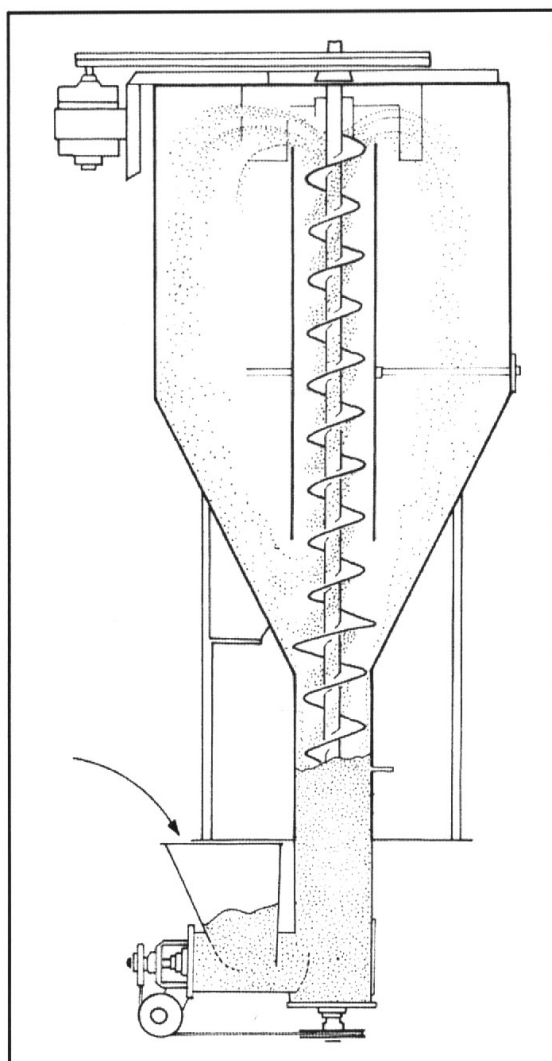
Οι αναμικτήρες αυτοί είναι τύπου μίξερ με πολύ μεγάλο κάδο. Η ταχύτητα περιστροφής του άξονα του αναδευτήρα είναι ρυθμιζόμενη. Μόνο αυτός ο τύπος είναι κατάλληλος για ανάμιξη νωπών συστατικών. Οι αναμικτήρες ξηρών υλικών

δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλες μάζες υγρών λόγω πρακτικών προβλημάτων που έχουν να κάνουν με την κατασκευή τους.

Ανελκυστήρες – ταινίες μεταφοράς

Στα μικρά εργοστάσια η μεταφορά των υλικών μπορεί κατά μεγάλο μέρος να γίνεται με τα χέρια. Όμως στα μεγάλα εργοστάσια η ανύψωση είτε κάθετα, είτε κεκλιμένα των υλικών καθώς και η οριζόντια μεταφορά τους γίνεται με κατάλληλα διατεταγμένες ταινίες μεταφοράς που κινούνται με μοτέρ.

Σχήμα 20. Κάθετος αναμικτήρας.



ΠΕΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗ

Τα πέλετς συνοπτικά σχηματίζονται δια της κατεργασίας με πίεση και ατμό μιας άμορφης και μαλακής μάζας τροφής. Ο ατμός και η συμπίεση επιφέρουν υγρασία 16% και θερμοκρασία περί τους 80-90 °C, στο μίγμα δια της χρήσης μιας μεταλλικής διάτρητης μήτρας, επάνω στην οποία συμπιέζεται το υλικό, με

αποτέλεσμα να εξέρχεται από τις οπές της ως μακρόστενο μακαρόνι το οποίο στη συνέχεια κόβεται στα κατάλληλα κομμάτια.

Κατά το πρώτο στάδιο το μίγμα αναμιγνύεται στον μίκτη για 20 sec σε θερμοκρασία 75 °C και υγρασία 16%. Ακολούθως σε ένα μηχάνημα ωριμαντή (conditioner) που παρεμβάλλεται μεταξύ του μίκτη και της πελετοποιητικής μηχανής, η ιχθυοτροφή παραμένει κάτω από την επίδραση ατμού για 15-20 min (μακρά ωρίμανση). Ακολουθεί η διέλευση δι'ένος συστήματος προσυμπύκνωσης-μερικής εξώθησης υπό θερμοκρασία 110 °C και πίεσης μέχρι 80 bar ταυτόχρονα για 30-45 sec. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει στο σπάσιμο των κυτταρικών μεμβρανών και στη ζελατινοποίηση του αμύλου σε ποικίλο βαθμό ανάλογα με την έντασή της. Το μίγμα περνάει στη συνέχεια στον πελετοποιητή όπου η θερμοκρασία ανεβαίνει ακόμα 10 βαθμούς για 2-3 sec ακόμη. Στον πελετοποιητή το άμορφο μίγμα συμπιέζεται παρουσία ατμού. Ο ατμός μαλακώνει το μίγμα και ζελατινοποιεί το άμυλο και αυξάνει τη συμκτικότητα των πέλετς. Στο στάδιο αυτό προστίθενται στο μίγμα πάνω από τον πελετοποιητή, συγκολλητικές ουσίες (binders) οι οποίες μειώνουν τη σκόνη των υλικών και αυξάνουν την αντοχή των πέλετς που θα δημιουργηθούν. Ως τέτοιες χρησιμοποιούνται ζελατινοποιημένο άμυλο, υποπροϊόντα λιγνίνης και αργινίνης, μπετονίτης ή άλλα υδροκολλοειδή. Στη συνέχεια το μίγμα προοθείται με κοχλίες στη μήτρα για συμπίεση. Από τα ανοίγματα της μήτρας η τροφή εξέρχεται υπό μορφή μακαρονιού και τεμαχίζεται σε πέλετς από μαχαίρια ρυμιζόμενα σε προκαθορισμένες διαστάσεις. Στη μήτρα η πίεση κυμαίνεται σε 100-600 kg/cm³ και η θερμοκρασία αυξάνεται μέχρι τους 90 °C. Στη συνέχεια σε ειδικό ψύκτη σε σύντομο χρόνο τα πέλετς ψύχονται και αποκτούν την επιθυμητή σκληρότητα.

ΕΞΩΘΗΣΗ (EXTRUSION)

Η μέθοδος της εξώθησης είναι μια τροποποίηση της πελετοποίησης παραπάνω δια της οποίας το μίγμα μορφοποιείται μέσα σε ένα κύλινδρο όπου περιστρέφονται με σχετικά υψηλή ταχύτητα δύο κοχλίες οι οποίοι εξωθούν το μίγμα μέσα από ανοίγματα και ειδικά μαχαίρια το τεμαχίζουν (Σχήμα 21). Στην αρχή το μίγμα επεξεργάζεται σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία και πίεση για μικρό διάστημα. Κατόπιν μέσα στον κύλινδρο η πίεση και η θερμοκρασία αυξάνουν προοδευτικά για 40-60 sec στις 140 bar και 80 °C αντίστοιχα. Το μίγμα πριν εισέλθει στον κύλινδρο έχει ανεβάσει την υγρασία του μέχρι 25-30%. Μέσα στη μήτρα ως αποτέλεσμα των υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων το μίγμα υφίσταται

την επίδρασή τους και καθώς εξωθείται βίαια από τις σπές της μήτρας, μέρος του νερού του εξαερίζεται καθώς η πίεση πέφτει απότομα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διόγκωση των πέλετς δια της συγκράτησης αέρα. Τα πέλετς στη συνέχεια ξηραίνονται σε φούρνο θερμοκρασίας 110-240 °C για σύντομο χρονικό διάστημα. Κατά την εξώθηση όμως καταστρέφονται οι βιταμίνες και κάποια ένζυμα και για το λόγο αυτό προστίθενται μετά την επεξεργασία και ξήρανση μαζί με το λίπος που απαιτείται (βλέπε παρακάτω).

Η βελτίωση της ποιότητας των πέλετς δια της εξώθησης συνίσταται στα παρακάτω:

- Τα πέλετς βυθίζονται αργά στο νερό και δίδεται ευκαιρία στα ψάρια να τα καταναλώσουν πιο αποτελεσματικά.
- Το τελικό προϊόν είναι πιο ομοιόμορφο έστω και αν κατασκευάστηκε από ποικίλες και ανομοιογενείς πρώτες ύλες.
- Τα εξωθημένα πέλετς παρουσιάζουν καλύτερη πεπτικότητα λόγω καλύτερης διάσπασης των υδατανθράκων.
- Χαρακτηρίζονται από ελάχιστη σκόνη λόγω καλύτερης συνεκτικότητας των υλικών.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι διαφορές μεταξύ των κοινών πέλετς και των εξωθημένων (από Υπουργείο Γεωργίας, 1998).

<i>Πελλετοποιημένη τροφή</i>	<i>Τροφές από EXTRUDER</i>
1. Μέγεθος κόκκων διαμορφούμενο από 1,3 - 10 mm	Μέγεθος κόκκων 1,3 - 25 mm
2. Δύσκολη η παραγωγή επιπλεύουσας τροφής ή αργής ρύθμισης.	Δυνατότητα παραγωγής με ελεγχόμενο ειδικό βάρος (επιπλεύουσες, αιωρούμενες κ.λπ.).
3. Σταθερότητα στο νερό μόνο με προσθήκη καλών συγκολλητικών και προσοχή στην παραγωγική διαδικασία.	Εύκολα επιτυγχάνεται σταθερότητα στο νερό
4. Περιεχόμενη υγρασία 16-17% μέγιστο.	Εφαρμοζόμενη σε προϊόντα μέχρι 55% περιεχόμενη υγρασία.
5. Παραγόμενοι κόκκοι όχι πάντα ομοιόμορφου μεγέθους, που εξαρτάται από το κόσκινο μετά την προσθήκη λίπους.	Ευκολότερα επιτυγχάνεται ομοιομορφία στο μέγεθος των κόκκων.
6. Θερμοκρασία επεξεργασίας 60-90 °C.	6. Θερμοκρασία επεξεργασίας 70-160 °C πρέπει να είναι ελεγχόμενη αυτόματα.
7. Σχήμα των PELLETS μόνο κυλινδρικό.	Απεριόριστη δυνατότητα σχημάτων.
8. Περιεχόμενο λίπους/λαδιού στην τελική τροφή 10-15% μέγιστο.	Μέγιστο 30% στην τελική μορφή.
9. Επιλογή εξευγενισμένων πρώτων υλών, υψηλού σχετικά κόστους αγοράς που οδηγεί σε ακριβή φόρμουλα (ζωϊκές πρώτες ύλες).	Δυνατή η συμμετοχή φυτικών υλών, με εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού για ελάχιστο κόστος.
10. Κόστος παραγωγής χαμηλότερο κατά 10-15%.	Κόστος παραγωγής υψηλό.
11. Επενδεδυμένο κεφάλαιο χαμηλότερο.	Επενδεδυμένο κεφάλαιο υψηλότερο.

Θρυμματισμός (crumbling) και κοσκίνισμα των πέλετς

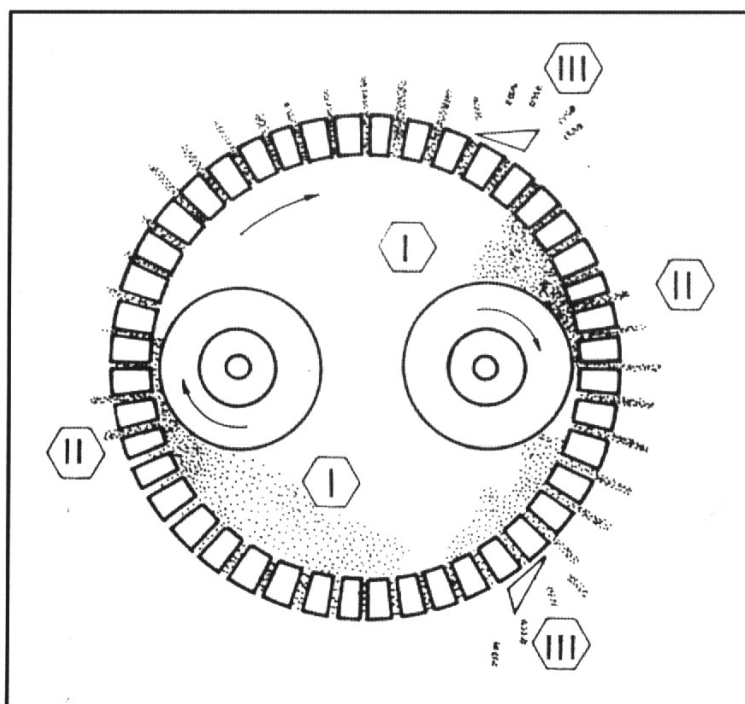
Τα πέλετς μπορούν να κοπούν στη συνέχεια σε πολύ μικρά μεγέθη (crumbles ή granules) για να χρησιμεύσουν ως τροφή για μικρά ιχθύδια. Η κοπή αυτή επιτυγχάνεται σε ειδικούς σπαστήρες οι οποίοι λειτουργούν δια της συνθλιβής των πέλετς ανάμεσα σε δύο αντίστροφα περιστρεφόμενων κυλίνδρων (Σχήμα 21). Η απόσταση ανάμεσα στους κυλίνδρους είναι τόση όσο πρέπει για τους κόκκους που επιθυμούμε. Το τελικό προϊόν κατόπιν κοσκινίζεται για να διαχωρισθούν τα μεγέθη της τροφής (Σχήμα 22). Η σκόνη που παράγεται σε μια σωστή διαδικασία δεν πρέπει να ξεπερνά το 2%.

Επικάλυψη με λιπαρά

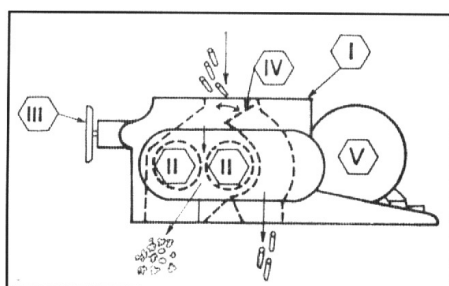
Η προσθήκη λιπαρών στα πέλετς σκοπεύει στο να τα προστατέψει δια μιας προστατευτικής λιπώδους επίστρωσης που προκαλεί, από το νερό. Επίσης συμβάλλει και στη συνεκτικότητα των συστατικών των κόκκων. Η προσθήκη των λιπαρών γίνεται είτε μετά τη έξοδο των θερμών πέλετς από τη μήτρα της πρέσας,

επειδή τότε η απορροφητικότητα τους είναι μεγαλύτερη, είτε μετά το κοσκίνισμα και το διαχωρισμό των τεμαχιδίων της τροφής. Η δεύτερη μέθοδος υπερέχει της πρώτης επειδή στα μικρότερα τεμαχίδια επιτυγχάνεται καλύτερη επικάλυψη με λιπαρά.

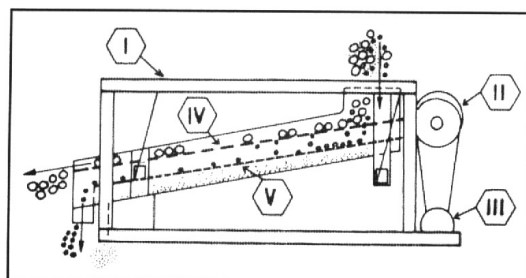
Σχήμα 21. Μήτρα περιστρεφόμενη για παραγωγή πέλετς. I: μη πελετοποιημένα ακόμα υλικά, II: Πέλετς εξωθημένα από τις οπές της μήτρας, III: Μαχαίρια κοπής των πέλετς.



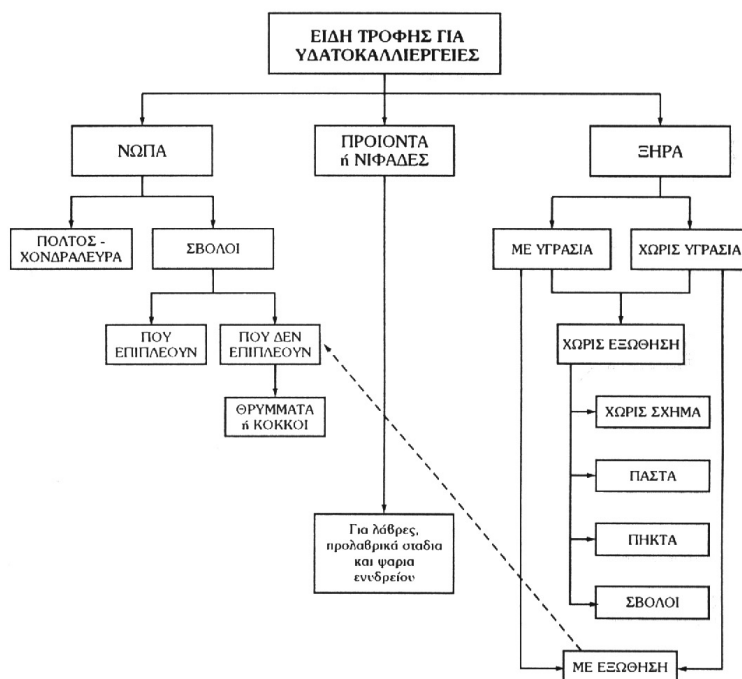
Σχήμα 22. Θρυμματιστής (άνω) και κόσκινο (κάτω) των πέλετς.



Θρυμματιστής (Crumbler)



Κόσκινο (Sifter)



Σχήμα 23. Φαίνονται χαρακτηριστικά οι παραπάνω κατηγοριοποιήσεις των τροφών που αναφέρθηκαν στο κείμενο (από Βράσκου, Καβουκλής, 2001).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AMEER HAMSA, K.M.S. & KUTTY, M.N., 1972. Oxygen consumption in relation to spontaneous activity and ambient oxygen in five marine teleosts. *Indian, J. Fish.*, 19:76-85.
- BEAMISH, F. W. H., 1964c. Influence of starvation on standard and routine oxygen consumption. *Trans. Amer. Fisheries Soc.*, 93: 103-107.
- BEAMISH, F. W. H., & DICKIE, L. M., 1967. Metabolism and biological production in fish. In: Gerkin, S. D.: *The Biological Basis of Freshwater Fish Production*. Oxford and Edinburgh: 215-242.
- CLAIREAUX, G. & LAGARDERE, P. J., 1999. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. *J. Sea Res.*, 42:157-168.
- CHOW, K. W., & SCHELL, W. R., 1980. The minerals. In: Chow, K. W.: *Fish Feed Technology*. FAO. Rome 1980: 104-108.
- DABROWSKI, K., 1983. Comparative aspects of protein digestion and amino acid absorption in fish and other animals. *Comp. Biochem. Physiol.*, 74A:417-426.
- DALLA VIA, J., VILLANI, P., GASTEIGER, E. & H., NIEDERSTATTER, 1998. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquaculture*, 168:303-313.
- DICKSON, I. W., AND KRAMER, R. H., 1971. Factors influencing scope for activity and active and standard metabolism of rainbow trout. *J. Fisheries Res. Board Canada*, 28: 587-596.
- FIVELSTAD, S., BERGHEIM, A., KLOFTEN, H., HAUGEN, R., LOHNE, T. & A.B. OLSEN, 1999. Water flow requirements in the intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry: growth and oxygen consumption. *Aquacultural Engineering*, 20:1-15.
- FRY, F. E. J., 1957. The aquatic respiration of fish. In: Brown, M. E.: *The Physiology of Fishes*. Vol. I. Academic Press. New York: 1-63.
- FURUICHI, M. & YONE, Y., 1982. Changes in activities of hepatic enzymes related to carbohydrate metabolism of fishes in glucose and insulin-glucose tolerance tests. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 48, 463-466.
- FURUICHI, M. & YONE, Y. (1982) Availability of carbohydrate in carp and red sea bream. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 48, 945-948.
- FURUICHI, M. & YONE, Y. (1982) Effect of insulin on blood sugar levels of fishes. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 48, 1289-1291.
- HEPHER, B., 1988. *Nutrition of pond fishes*. Cambridge. 388 pp.
- IVLEVA, I.V., 1973. Quantitative correlation of temperature and respiratory rate in poikilothermic animals. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 20:283-300.
- ITAZAWA, T., 1970. Characteristics of respiration of fish considered from the arterio-venous difference of oxygen content. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fisheries* 36 (): 571-577.
- KAUSCH, H., 1968. Der Einfluss der Spontanaktivität auf die Stoffwechselrate junger Karpfen (*Cyprinus carpio*) im Hunger und bei Fütterung. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 33 : 263-330.
- McDONALD, P., EDWARDS, R.A. & GREENHALGH, J.F.D., 1966. *Animal nutrition*. Edinburgh: Oliver & Boyd, 407 pp.
- OIKAWA, S., & ITAZAWA, Y., 1984. Relative growth of organs and parts of the carp, *Cyprinus carpio*, with special reference to the metabolism-size relationship. *Copeia* : 800-803.
- OGINO, C., 1985. *Fish Nutrition and Feeds*. Koseisha-Koseikaku, Tokyo.
- PEER, M. M., & KUTTY, M. N., 1981. Respiratory quotient and ammonia quotient in *Tilapia mossambica* (Peters) with special reference to hypoxia and recovery. *Hydrobiologica* 76 : 3-9.
- PERSON LE RUYET, J., BOEUF, G., ZAMBONINO INFANTE, J., HELGASON, S. & A. LE ROUX, 1998. Short-term physiological changes in turbot and seabream juveniles exposed to exogenous ammonia. *Comp. Biochem. Physiol.*, 119A(2):511-518.
- RANTIN, F.T. & JOHANSEN, K., 1984. Responses of the teleost *Hoplias malabaricus* to hypoxia. *Environ. Biol. of Fishes*, 11:221-228.
- RAO, G. M. M., 1968. Oxygen consumption of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in relation to activity and salinity. *Can. J. Zool.* 46 : 781-786.
- ROZIN, P. & MAYER, J., 1961. Regulation of food intake in the goldfish. *Am. J. Physiol.*, 201:968-974.
- SAKATA, T., SUGITA, H., MITSUOKA, T., KAKIMOTO, D. & KADOTA, H., 1980b. Isolation and distribution of obligate anaerobic bacteria from the intestine of freshwater fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46:1249-55.
- SAKATA, T., SUGITA, H., MITSUOKA, T., KAKIMOTO, D. & KADOTA, H., 1981. Characteristics of obligate anaerobic bacteria in the intestines of freshwater fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 47:421-427.

- SANS RUS, A., ENJUTO, C., MORALES, A.E., HIDALGO, M.C. & M. GARCIA-PERSON LE RUYET, J., BOEUF, G., ZAMBONINO INFANTE, J., HELGASON, S. & A. LE ROUX, 1998. Short-term physiological changes in turbot and seabream juveniles exposed to exogenous ammonia. *Comp. Biochem. Physiol.*, 119A(2):511-518.
- SHEPARD, M. P., 1955. Resistance and tolerance of young speckled trout (*Salvelinus fontinalis*) to oxygen lack, with special reference to low oxygen acclimation. *J. Fisheries Res. Board Canada* 12 : 387-446.
- SMITH, R.R., RUMSEY, G.L. & SCOTT, M.L., 1978a. Net energy, maintenance requirements of salmonids as measured by direct calorimetry. Effect of body size and environmental temperature. *J. Nutr.*, 108:1025-32.
- SMITH, R. R., PETERSON, M. C., and ALLRED, A. C. 1980. The effect of leaching on apparent digestion coefficients in determining digestibility and metabolizable energy of feedstuffs for salmonids. *Prog. Fish-Cult*, 42:195-199.
- STEFFENS, W., 1989. Chapters: I. Principles of metabolism, II. Anatomy and physiology of the digestive tract, V. Vitamins, VI. Minerals, cited in Principles of fish nutrition.
- TESHIMA, S. & KASHIWADA, K., 1967. Studies on the production of B vitamins by intestinal bacteria of fish. III. Isolation of vitamin B₁₂ synthesizing bacteria and their bacteriological properties. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 33:979-983.
- TESHIMA, S. & KASHIWADA, K., 1967. Studies on the production of B vitamins by intestinal bacteria of fish. IV. Production of nicotinic acid by intestinal bacteria of carp. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 18:87-91.
- WATANABE, T. 1988. Fish nutrition and mariculture. Ed. Watanabe, T. Pp. 1-78, 179-229.
- WINBERG, G. G, 1956. Rate of metabolism and food requirements of fishes. *Fisheries Res. Board of Canada*.
- WOOD, C. M., TURNER, J. D., and GRAHAM. M. S., 1983. Why do fish die after severe exercise? *J. Fish Biol.* 22: 189-201.
- ΒΡΑΣΚΟΥ, Γ. & ΚΑΒΟΥΚΛΗΣ, Μ., 2001. Διατροφή Ιχθύων – Διαδικασία παραγωγής Ιχθυοτροφών. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Ιχθυοκομίας – Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου. Επιβλέπων καθηγητής: Λεονάρδος Ιωάννης, Επιστημονικός Συνεργάτης.
- ΖΕΡΒΟΣ, ΑΝΑΣΤ. & ΣΤΑΥΡ. ΚΟΥΡΑΚΟΥ, 2001. Αρχές μεταβολισμού και διαιτητικές απαιτήσεις ιχθύων. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Ιχθυοκομίας – Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου. Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Μαρκουλή Π. Εργαστηριακή Συνεργάτιδα.
- ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ, ΠΑΝΤ. & ΠΛΑΖΟΜΥΤΗ, ΕΥΑΓ., 1996. Ανάλυση, προσδιορισμός, ταξινόμηση των κυριότερων θρεπτικών συστατικών της τροφής των ψαριών. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Ιχθυοκομίας – Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου. Επιβλέπων καθηγητής: Βλάχος Γ. Νικόλαος. Εργαστηριακός Συνεργάτης.
- ΛΕΟΝΑΡΔΟΣ, Ι., 1999. Σημειώσεις για το μάθημα: Διατροφή Ιχθύων. Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Τμ. Ιχθυοκομίας-Αλιείας.
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, ΓΕΝ. ΔΝΣΗ ΑΛΙΕΙΑΣ, ΔΝΣΗ ΑΛ. ΕΦΑΡΜ. & Ε.Α.Π., 1998. Διατροφή και ασθένειες Ιχθύων εκτροφής, Νομοθεσία.