

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΑΤΡΟΦΗ
ΥΔΡΟΒΙΩΝ ΖΩΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΡΑΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής

ΒΟΛΟΣ 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ	4
1.1	Η επιστήμη της διατροφής	4
1.2	Τροφή	4
1.3	Θρεπτικές ουσίες	6
2	ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ & ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΡΟΦΗΣ	7
2.1	Διατροφική συμπεριφορά	7
2.1.1	Γενικά	7
2.1.2	Πείνα και ρύθμισης της πρόσληψης τροφής	9
2.2	Διατροφικοί τύποι υδρόβιων ζωικών οργανισμών	10
2.2.1	Σαρκοφάγα είδη	10
2.2.2	Παμφάγα είδη	12
2.2.3	Χορτοφάγα είδη	12
2.3	Πρόσληψη τροφής	12
2.3.1	Διατροφικοί παράγοντες	13
2.3.2	Περιβαλλοντικοί παράγοντες	13
2.3.3	Γενετικοί παράγοντες	14
3	ΠΕΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	15
3.1	Ανατομία και φυσιολογία πεπτικού συστήματος	15
3.2	Πέψη και μεταβολισμός των τροφών	19
3.2.1	Χημική πέψη στο στόμαχο	20
3.2.2	Χημική πέψη στο έντερο	20
3.2.3	Μεταβολισμός	21
4	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ	22
4.1	Γενικά	22
4.2	Ενεργειακός μεταβολισμός	23
4.2.1	Ολική ενέργεια	23
4.2.2	Πέψιμη ενέργεια	23
4.2.3	Μεταβολίσιμη ενέργεια	24
4.2.4	Καθαρή ενέργεια	25
4.2.5	Ανακτηθείσα ενέργεια	25
4.3	Ενεργειακές ανάγκες υδρόβιων ζωικών οργανισμών	26
4.3.1	Ενεργειακές ανάγκες συντήρησης σωματικού βάρους	27
4.3.2	Ενεργειακές ανάγκες ανάπτυξης	27
4.3.3	Ενεργειακές ανάγκες αναπαραγωγής	27
5	ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ ΚΑΙ ΑΜΙΝΟΞΕΑ	28
5.1	Γενικά	28
5.2	Αμινοξέα	30
5.3	Πέψη και μεταβολισμός πρωτεϊνών	32
5.3.1	Καταβολισμός πρωτεϊνών και αμινοξέων	32
5.3.2	Αναβολισμός πρωτεϊνών και αμινοξέων	34
5.4	Διαιτητικές απαιτήσεις των υδρόβιων ζωικών οργανισμών σε πρωτεΐνες	36
5.4.1	Ποιοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε πρωτεΐνες/αμινοξέα	36
5.4.2	Ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε πρωτεΐνες/αμινοξέα	38
5.5	Πεπτικότητα πρωτεϊνών	47

5.6	Μέτρηση της θρεπτικής αξίας των πρωτεϊνών	49
6	ΛΙΠΙΔΙΑ	51
6.1	Γενικά	51
6.2	Λιπαρά οξέα	52
6.3	Πέψη και μεταβολισμός των λιπιδίων	55
6.4	Διαιτητικές απαιτήσεις των υδρόβιων ζωικών οργανισμών σε λιπίδια	58
6.4.1	Ποιοτικές απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα	58
6.4.2	Ποσοτικές απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα και ολικά λίπη	61
7	ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ	65
7.1	Γενικά	65
7.2	Πέψη και μεταβολισμός των υδατανθράκων	66
7.3	Διαιτητικές απαιτήσεις των υδρόβιων ζωικών οργανισμών σε υδατάνθρακες	67
8	ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ	68
8.1	Γενικά	68
8.2	Ομάδες βιταμινών	68
8.2.1	Λιποδιαλυτές βιταμίνες	69
8.2.2	Υδατοδιαλυτές βιταμίνες	73
9	ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	82
9.1	Γενικά	82
9.2	Μακροστοιχεία	82
9.3	Ιχνοστοιχεία	85
10	ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΕ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	89
10.1	Γενικά	89
10.2	Διατροφή των ψαριών σε εκτατικά συστήματα εκτροφής	89
10.2.1	Κύκλος του άνθρακα στα υδάτινα περιβάλλοντα	92
10.2.2	Κύκλος του αζώτου στα υδάτινα περιβάλλοντα	93
10.2.3	Κύκλος του φωσφόρου στα υδάτινα περιβάλλοντα	95
10.3	Διατροφή των ψαριών σε ημι-εντατικά συστήματα εκτροφής	96
10.4	Διατροφή των ψαριών σε εντατικά συστήματα εκτροφής	99
10.5	Επιλογή συστήματος διατροφής	99
10.6	Σίτιση εκτρεφόμενων ψαριών	101
10.6.1	Καθημερινό απαιτούμενο επίπεδο σίτισης	101
10.6.2	Συχνότητα σίτισης	105
10.6.3	Μέθοδοι σίτισης	106
	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	109

Πρόλογος

Η διατροφή των υδρόβιων ζωικών οργανισμών είναι μια σχετικά πολύ πρόσφατη επιστήμη. Μέχρι τα μέσα του προηγούμενου αιώνα, οι μόνες μελέτες που διεξάγονταν ήταν σχετικές με την ανατομία του πεπτικού συστήματος των ιχθύων και της φυσιολογίας της πέψης των τροφών και αυτές διεξάγονταν σε ιχθύες που ζούσαν στο φυσικό τους περιβάλλον. Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, έγιναν οι πρώτες προσπάθειες εκτροφής ιχθύων σε χωμάτινες δεξαμενές και υδατοσυλλογές, όπου η διατροφή τους βασιζόταν στην επάρκεια της φυσικής τροφής. Με την προοδευτική εντατικοποίηση της ιχθυοκαλλιέργειας, που συνέβησε σε παγκόσμια κλίμακα τα επόμενα χρόνια, οι διατροφικές απαιτήσεις των εκτρεφόμενων ιχθύων δεν μπορούσαν να ικανοποιηθούν πλήρως από την περιορισμένη φυσική τροφή των υδάτινων καλλιεργητικών μέσων. Έτσι, η διατροφή των εκτρεφόμενων ιχθύων άρχισε ολοένα και περισσότερο να εξαρτάται από την προσφορά σύνθετων τροφών από τον άνθρωπο-εκτροφέα. Η πρώτη σύνθετη τροφή που χρησιμοποιήθηκε για να καλύψει τις διατροφικές απαιτήσεις των ιχθύων ήταν τη δεκαετία του '50 στις Η.Π.Α. (υγρή πελλέτα Oregon) και περιείχε διάφορα βασικά συστατικά όπως αραβόσιτος και σιτάρι. Στο τέλος της ίδιας δεκαετίας εμφανίστηκαν και οι πρώτες ξηρές τροφές σε μορφή πελλέτας. Από τη δεκαετία του '70 μέχρι σήμερα πραγματοποιήθηκε μια αλματώδης ανάπτυξη της παραγωγής των ιχθυοκαλλιεργειών κάνοντας χρήση βιομηχανικά παρασκευασμένων ιχθυοτροφών με σκοπό τη γρήγορη ανάπτυξη των ιχθύων και τη μεγιστοποίηση της παραγωγής. Σε αυτό συνετέλεσε η μεγάλη πρόοδος στη γνώση μας σχετικά με τη διατροφή των εκτρεφόμενων υδρόβιων ζωικών οργανισμών και η έρευνα πλέον διεξάγεται με εντατικούς ρυθμούς. Για κάποια εκτρεφόμενα είδη, όπως π.χ. η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*), ο σολομός (*Salmo salar*), η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) γνωρίζουμε πλέον αρκετά για τη διατροφή τους. Ωστόσο, οι γνώσεις μας δεν είναι ακόμα πλήρεις, ενώ για άλλα εκτρεφόμενα είδη οι γνώσεις μας είναι περιορισμένες. Η περαιτέρω πρόοδος στην επιστήμη της διατροφής θα δημιουργήσει ακόμα ποιοτικότερες και φθηνότερες ιχθυοτροφές που θα αποδώσουν πιο γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης των ψαριών με λιγότερες αποβολές θρεπτικών ουσιών στο περιβάλλον.

Το παρόν σύγγραμμα βασίζεται στις πανεπιστημιακές παραδόσεις του μαθήματος «Διατροφή υδρόβιων ζωικών οργανισμών» που διδάσκεται στους/στις φοιτητές/φοιτήτριες του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ

1.1 Η επιστήμη της διατροφής

Η επιστήμη της διατροφής αποτελεί τον κλάδο εκείνο της φυσιολογίας που μελετάει όλες τις διεργασίες που επιτελούνται στον ζωικό οργανισμό με σκοπό τη προμήθεια των θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται για τη τέλεση των ζωικών του λειτουργιών, όπως είναι η διατήρηση στη ζωή, η υγεία, η ανάπτυξη και η αναπαραγωγή. Οι διεργασίες αυτές είναι παρόμοιες σε όλους τους ζωικούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου των ιχθύων και του ανθρώπου.

Αντικείμενο της διατροφής

Η επιστήμη της διατροφής των υδρόβιων των ζωικών οργανισμών μελετά:

- τη διατροφική συμπεριφορά τους και την πρόσληψη της τροφής τους
- τη φυσιολογία θρέψης τους: πέψη τροφών – απορρόφηση θρεπτικών ουσιών – μεταβολισμός θρεπτικών ουσιών, λειτουργία πεπτικού συστήματος και αδένων, αποβολή προϊόντων του μεταβολισμού στο περιβάλλον κ.λπ.
- τη μεταφορά και την κατανομή της ενέργειας των τροφών (διαιτητική ενέργεια) εντός του οργανισμού για την επιτέλεση των διαφόρων φυσιολογικών λειτουργιών του (ενεργειακός μεταβολισμός)
- τις διαιτητικές απαιτήσεις τους σε θρεπτικές ουσίες: πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία
- το είδος και την καταλληλότητα των τροφών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως ιχθυοτροφές
- τη σύσταση (κατάρτιση) και την παρασκευή ιχθυοτροφών που είναι πλήρεις σε θρεπτικές ουσίες (σιτηρέσιο) και καλύπτουν επακριβώς τις διαιτητικές απαιτήσεις των εκτρεφόμενων ψαριών
- τη διατροφή των εκτρεφόμενων ψαριών ανάλογα με το υδατοκαλλιεργητικό σύστημα εκτροφής τους

1.2 Τροφή

Με τον όρο τροφή εννοείται κάθε ύλη φυτικής ή ζωικής προέλευσης που αποτελείται από θρεπτικές ουσίες και η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί από τον ζωικό οργανισμό για τις διάφορες λειτουργίες του. Οι τροφές των υδρόβιων ζωικών οργανισμών είναι δύο ειδών:

α) Φυσική τροφή

Περιλαμβάνονται οι διάφοροι φυτικοί & ζωικοί οργανισμοί

Υδρόβιοι

- Φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν
- Μικρά ασπόνδυλα (π.χ. σκώληκες, μαλάκια, αρθρόποδα)
- Σπονδυλωτά (π.χ. αμφίβια, νύμφες ψαριών, ψάρια)
- Αυγά ψαριών
- Έντομα στην επιφάνεια του νερού – νύμφες εντόμων
- Σαλιγκάρια κ.λπ.

β) Επεξεργασμένη τροφή

Στις ημιεντατικές και εντατικές ιχθυοκαλλιέργειες η διατροφή των ψαριών βασίζεται στην προσφορά επεξεργασμένων τροφών από τον καλλιεργητή – εκτροφέα. Οι τροφές αυτές μπορεί να είναι σύνθετες ή πλήρεις:

Σύνθετη τροφή

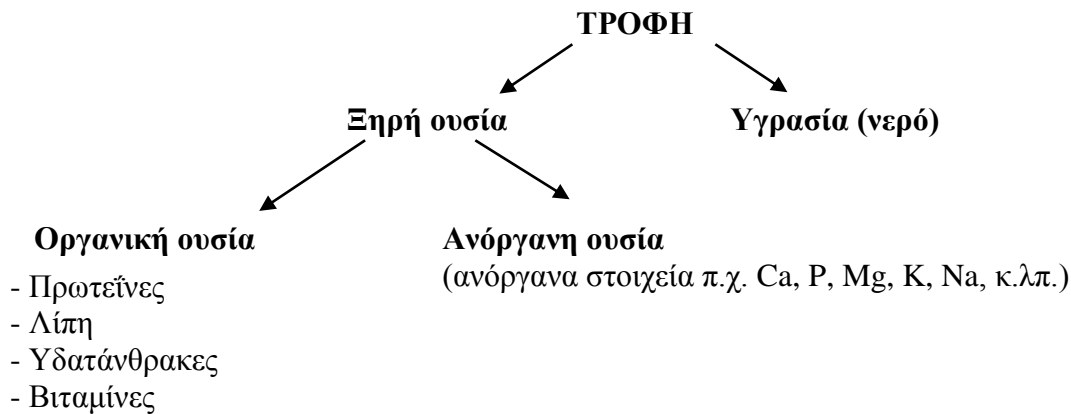
- Κάθε τροφή που προέρχεται από ομοιογενή ανάμιξη δύο ή περισσότερων συστατικών, φυτικής ή ζωικής προέλευσης
π.χ. μία τροφή που περιέχει αλεύρι σιταριού, αλεύρι καλαμποκιού και αλεύρι σόγιας

Πλήρης τροφή

- Κάθε τροφή που προέρχεται από ομοιογενή ανάμιξη πολλών συστατικών και περιέχει όλες τις θρεπτικές ουσίες και την ενέργεια σε τέτοιες ποσότητες που ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις του ζωικού οργανισμού
- Η πλήρης τροφή όταν χορηγείται ημερησίως σε συγκεκριμένη ποσότητα ώστε να καλύψει επακριβώς τις ημερήσιες διατροφικές ανάγκες ενός ζωικού οργανισμού συχνά καλείται «**σιτηρέσιο**» ή «**δίαιτα**»
- Οι πλήρεις ιχθυοτροφές χορηγούνται στα ψάρια ως «**σύμπηκτα (ή κοινώς πελλέτες)**», που ονομάζονται έτσι από τον τρόπο παρασκευής τους (σύμπηξη των σωματιδίων και συγκρότηση στερεάς και συμπαγής μορφής κόκκων ή κυλινδρικών).

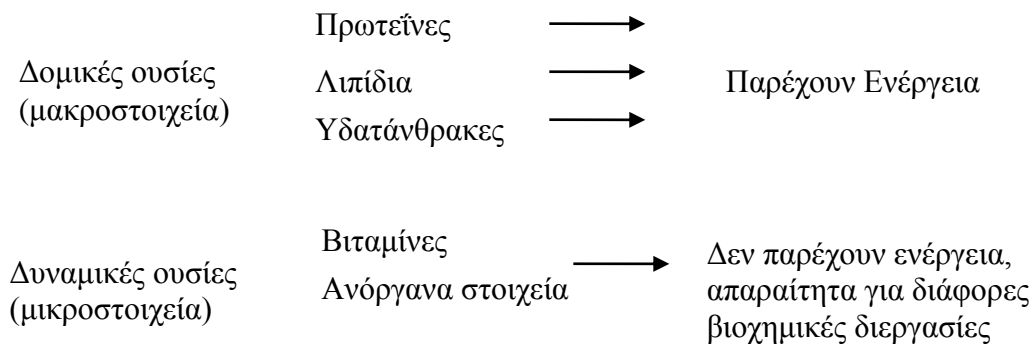
1.3 Θρεπτικές ουσίες

Οι «θρεπτικές ουσίες» ή «θρεπτικά στοιχεία» ή «θρεπτικά συστατικά» (nutrients) είναι κάθε ουσία της τροφής (χημικό στοιχείο ή χημική ένωση ή ομάδα χημικών ενώσεων), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον οργανισμό για την υποστήριξη των φυσιολογικών λειτουργιών του.



Σχήμα 1.1. Σύσταση της τροφής.

Οι θρεπτικές ουσίες διακρίνονται σε δομικές & δυναμικές ουσίες:



Σχήμα 1.2. Οι θρεπτικές ουσίες της τροφής.

Απαραίτητες θρεπτικές ουσίες

Μια θρεπτική ουσία θεωρείται «απαραίτητη» για τον οργανισμό αν αυτός δεν είναι ικανός να τη συνθέσει ή αν η συνθετική του ικανότητα είναι ανεπαρκής για την κάλυψη των αναγκών του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΤΡΟΦΗΣ

2.1 Διατροφική συμπεριφορά

2.1.1 Γενικά

Τα διάφορα είδη των ζωικών οργανισμών εκδηλώνουν συγκεκριμένες συμπεριφορές («ηθολογία») για το υδάτινο περιβάλλον στο οποίο προτιμούν να ζήσουν, για τις κοινωνίες που θα δημιουργήσουν, για τις αναπαραγωγικές διαδικασίες που θα εφαρμόσουν κ.λπ. Παρομοίως, ένα είδος έχει συγκεκριμένη διατροφική συμπεριφορά που εκφράζει τις διατροφικές του προτιμήσεις ή απλά το που θα ψάξει την τροφή του, πότε θα φάει, τί θα φάει, πόσο θα φάει κ.λπ. Η διατροφική συμπεριφορά των υδρόβιων ζωικών οργανισμών περιλαμβάνει όλες εκείνες τις συμπεριφορές που καθορίζουν και επηρεάζουν τη διατροφή τους, ενώ επίσης καθορίζει και την παρουσία του είδους αυτού σε ένα συγκεκριμένο υδάτινο ενδιαίτημα.

Για παράδειγμα:

- «Με τί θα τραφεί»
 - κάθε είδος ιχθύος έχει τις δικές του τροφικές προτιμήσεις και συχνά κατηγοριοποιούνται σε χορτοφάγα, παμφάγα και σαρκοφάγα είδη
 - Αλλά και κάθε είδος που αποτελεί τροφή έχει την χαρακτηριστική του γεύση, οσμή, ελκυστικότητα
 - Κάθε είδος τροφής έχει χαρακτηριστική σύσταση σε θρεπτικές ουσίες
 - Ανάλογα με τη φυσιολογία θρέψης του ιχθύος, το σύνολο των βιοχημικών & νευροορμονικών διεργασιών κατά την πέψη καθορίζουν τη θρεπτική σύσταση των τροφών που πρέπει να καταναλώνει το ψάρι.
- «Που θα τραφεί» (ενδιαίτημα & φυσικοί-χημικοί παράμετροι του)
 - Η διατροφική συμπεριφορά ενός είδους καθορίζει την παρουσία του σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Για παράδειγμα, παρατηρούνται «τροφικές μεταναστεύσεις» των ειδών με σκοπό την αναζήτηση τροφής σε συγκεκριμένα ενδιαίτηματα ή τα ιχθύδια ενός είδους διαβιούν σε συγκεκριμένα «πεδία ανατροφής» πριν την ενηλικίωση και μετανάστευση τους από αυτά.

- Η διατροφική συμπεριφορά επηρεάζεται από το περιβάλλον – ενδιαίτημα. Για παράδειγμα, πολλά είδη που διαβιούν σε ένα συγκεκριμένο ενδιαίτημα μεταβάλλουν την ένταση της τροφοληψίας τους ανάλογα με την αφθονία της τροφής στο ενδιαίτημα τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η φυσική παραγωγικότητα του ενδιαίτηματος παίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτήν την περίπτωση.
 - Επίσης, η παρουσία ενός είδους σε ένα ενδιαίτημα καθορίζεται από την ύπαρξη ή απουσία των «διατροφικών του ανταγωνιστών». Για παράδειγμα, η ύπαρξη άλλων ειδών ιχθύων που έχουν ίδιες τροφικές προτιμήσεις με το είδος αυτό μπορεί να οδηγήσει στη μετακίνηση του από το συγκεκριμένο ενδιαίτημα.
 - Παρομοίως, η ύπαρξη ή απουσία φυσικών εχθρών στο ενδιαίτημα μπορεί να καθορίσει την παρουσία ενός είδους στο ενδιαίτημα.
- «Πότε θα τραφεί»
 - Αν και η αναζήτηση της τροφής είναι συχνά διαρκής καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, τα διάφορα είδη ενδέχεται να εμφανίζουν προτιμήσεις σχετικά με τη χρονική στιγμή της τροφοληψίας τους. Για παράδειγμα, η συντριπτική πλειοψηφία των ειδών αναζητούν την τροφή τους, μέσω της όρασης, κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά κάποιοι οργανισμοί (π.χ. καρκινοειδή) εμφανίζουν μια απογευματινή/ νυκτερινή διάθεση λήψης τροφής.
 - Επίσης, συχνά παρατηρείται μια εποχική διατροφική δραστηριότητα, δηλαδή σε συγκεκριμένες εποχές του χρόνου η τροφοληψία είναι πιο έντονη. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους λόγους όπως για παράδειγμα, στις εποχικές διαφοροποιήσεις της φυσικής παραγωγικότητας ενός ενδιαίτηματος και την αφθονία της φυσικής τροφής σε συγκεκριμένες εποχές (π.χ. άνοιξη, καλοκαίρι). Επίσης, έντονη τροφοληψία μπορεί να παρατηρηθεί και τους φθινοπωρινούς μήνες με σκοπό την εναπόθεση θρεπτικών στο σώμα και την κινητοποίηση αυτών κατά τους χειμερινούς μήνες όπου η διαθεσιμότητα της τροφής είναι περιορισμένη. Έντονη τροφοληψία επίσης παρατηρείται σε χρονικές περιόδους όπου προηγούνται μιας μεγάλης μεταναστευτικής πορείας με σκοπό την αναπαραγωγή.
 - «Πόσο θα τραφεί»
 - Η ποσότητα της τροφής που πρέπει να λάβει καθημερινά οργανισμός χαρακτηρίζει επίσης τη διατροφική συμπεριφορά ενός είδους και αυτή εξαρτάται από την ίδια τη

φυσιολογία θρέψης του, το ρυθμό κένωσης του στομάχου του, την επανέναρξη της όρεξης του κ.λπ.

- Στους εκτρεφόμενους ιχθύες, γίνεται λόγος για καθημερινές «ποσοτικές απαιτήσεις» σε τροφή με σκοπό την κάλυψη των ποσοτικών απαιτήσεων των ειδών στα διάφορα θρεπτικά συστατικά (πρωτεΐνες και αμινοξέα, λιπίδια και λιπαρά οξέα, βιταμίνες, ανόργανα στοιχεία, ενέργεια κ.λπ.)
- «Πώς θα τραφεί»
 - Ο τρόπος σύλληψης της τροφής επίσης χαρακτηρίζει τη διατροφική συμπεριφορά ενός είδους. Παρατηρούνται διάφορες συμπεριφορές μεταξύ των ειδών όπως σύλληψη μέσω αρπαγής, διήθηση του νερού, κατάποση-τεμαχισμός κ.λπ.
 - Ο τρόπος σύλληψης της τροφής μπορεί να επηρεάζει και την κοινωνικότητα του είδους, π.χ. μονήρης ή μέλος ομάδας.

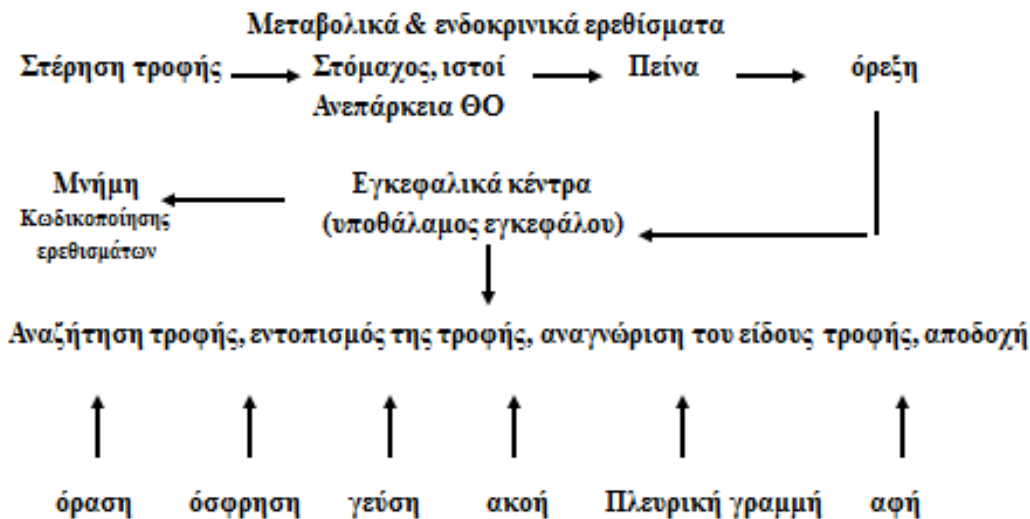
Γενικά, η διατροφική συμπεριφορά ενός υδρόβιου ζωικού οργανισμού είναι γενετικά καθορισμένη. Για κάθε είδος οργανισμού υπάρχει γενετική πληροφορία για το τί, πότε, πόσο κ.λπ. θα τραφεί. Η διατροφική συμπεριφορά μεταβάλλεται στα διάφορα στάδια της ανάπτυξης των οργανισμών. Για παράδειγμα τα ατελή ιχθύδια κάποιων ειδών τρέφονται με πλαγκτονικά είδη τροφής, ενώ καθώς ενηλικιώνονται προτιμούν μεγαλύτερου μεγέθους τροφή. Η διατροφική συμπεριφορά ενδέχεται να επηρεάζεται κατά την αναπαραγωγή φάση. Για παράδειγμα ορισμένα είδη οργανισμών παύουν τη σίτιση τους κατά την αναπαραγωγική περίοδο, άλλα είδη εντείνουν την τροφοληψία τους καθώς πλησιάζει η αναπαραγωγικής περιόδος κ.λπ.

2.1.2 Πείνα και ρύθμισης της πρόσληψης τροφής

Το φαινόμενο της «πείνας» αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη διατροφική συμπεριφορά των οργανισμών. Η επίδραση της πείνας στη διατροφική συμπεριφορά των οργανισμών ποικίλλει τόσο μεταξύ των ειδών όσο και μεταξύ διαφορετικών ατόμων. Η πρόκληση του αισθήματος της πείνας, γενικά, αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο αρκετών αλληλεπιδράσεων και περιλαμβάνει διεργασίες που αφορούν νευροορμονικά μηνύματα που δέχονται συγκεκριμένα εγκεφαλικά κέντρα (π.χ. υποθάλαμος, διεγκέφαλος κ.λπ.) κατόπιν μεταβολικών και ενδοκρινών ερεθισμάτων (όπως π.χ. ανεπάρκεια θρεπτικών ουσιών στα κύτταρα), τα οποία κωδικοποιούνται στη μνήμη του οργανισμού, προκαλώντας εν τέλει διάθεση για πρόσληψη τροφής. Παράλληλα, αισθήσεις όπως η όραση,

η όσφρηση, η γεύση, η ακοή, η αφή κ.λπ. δέχονται ερεθίσματα από το περιβάλλον που καταγράφονται και κωδικοποιούνται απομνημονεύοντας πληροφορίες σχετικά με την αναζήτηση της τροφής, την αναγνώριση της λείας και την εν τέλει αποδοχή της.

Μηχανισμός ρύθμισης της πρόσληψης τροφής



Σχήμα 2.1. Απλοποιημένη σχηματική αναπαράσταση του μηχανισμού ρύθμισης της πρόσληψης τροφής των υδρόβιων ζωικών οργανισμών.

2.2 Διατροφικοί τύποι υδρόβιων ζωικών οργανισμών

Η διατροφική συμπεριφορά ποικίλλει μεταξύ των διαφορετικών ειδών των υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Ανάλογα με το τί τρέφονται, τα διάφορα είδη διαχωρίζονται σε:

- Σαρκοφάγα
- Παμφάγα
- Χορτοφάγα

Παρακάτω αναλύονται οι διάφοροι διατροφικοί τύποι των ιχθύων.

2.2.1 Σαρκοφάγα είδη

Η τροφή των σαρκοφάγων ειδών αποτελείται αποκλειστικά από ζωικούς οργανισμούς (ζωντανούς ή νεκρούς). Στην κατηγορία αυτή υπάρχουν διάφορες υποκατηγορίες:

- Είδη που τρέφονται κυρίως με ζωοπλακτονικούς οργανισμούς

Τα ιχθύδια διαφόρων ειδών, για παράδειγμα, τρέφονται με ζωοπλακτόν. Μια κοινή τακτική πρόσληψης της τροφής τους είναι αρχικά η επισήμανση ενός ζωοπλακτονικού

οργανισμού, η αναμονή σε μικρή απόσταση, η αιφνίδια επίθεση και τέλος η καταβρόχθιση του. Αργότερα, ως ενήλικα άτομα, μεταβάλουν τον τρόπο λήψης της τροφής τους και φιλτράρουν το διερχόμενο νερό είτε κολυμπώντας με ανοικτό το στόμα (διαδικασία όπου δε μετέχει η όραση) είτε μένοντας σε ακινησία αντλώντας νερό.

– Είδη που τρέφονται κυρίως με βενθικούς ασπόνδυλους οργανισμούς

Στην υποκατηγορία αυτή ανήκουν ψάρια που τρέφονται με δεκάποδα, καρκινοειδή, δίθυρα μαλάκια, γαστερόποδα, σκόληκες κ.λπ. Τα ψάρια αυτά διαβιούν συνήθως κοντά στον πυθμένα, που είτε κινούνται διαρκώς στην επιφάνεια του πυθμένα είτε παραμένουν ακίνητα στον πυθμένα περιμένουν τη λεία τους. Τα ψάρια αυτά συνήθως διαθέτουν διάφορες ανατομικές προσαρμογές όπως π.χ. ισχυρά δόντια και γναθικούς μύες για τον θρυμματισμό της λείας, προώθηση της στοματικής κοιλότητας, μύστακες για ανεύρεση λείας κ.λπ.

– Είδη που τρέφονται με νηκτόν

Όπως π.χ. άλλα είδη ψαριών, κεφαλόποδα κ.λπ. Τα ψάρια αυτά μεταναστεύουν προκειμένου να βρουν τροφή. Κάποια είδη μετακινούνται συνεχώς σε μεγάλες αποστάσεις (π.χ. τόνος), άλλα μετακινούνται σε μικρές αποστάσεις (π.χ. λαβράκι) και άλλα παραμένουν ακίνητα. Επίσης, κάποια είδη κυνηγούν ομαδικά (π.χ. κοπάδι σολομών) και άλλα ατομικά (π.χ. τόνος). Κάποια είδη κυνηγούν κατά τη διάρκεια της νύχτας, άλλα την ημέρα. Γενικά, τα ψάρια-κυνηγοί έχουν μορφολογικές προσαρμογές που τα βοηθούν στο κυνήγι τους όπως π.χ. έντονα ατρακτοειδές σχήμα σώματος, λίγα ή καθόλου λέπια, μπορεί να φέρουν ψευδοπτερύγια, ισχυρή ουρά, μικρή νηκτική κύστη, η θέση των ματιών τους είναι κοντά στο ρύγχος κ.λπ. Τα ακίνητα ψάρια έχουν μεγάλο στόμα, κοιλιακά πεπλατυσμένο σώμα, χρωματισμούς του βυθού για απόκρυψη κ.λπ.

– Είδη που τρέφονται με ημι-υδρόβιους και χερσαίους οργανισμούς

Τα ψάρια αυτά συνήθως διαβιούν σε γλυκά – υφάλμυρα νερά και τρέφονται με προνύμφες εντόμων και έντομα στην επιφάνεια του νερού, βάτραχους, μικρά υδρόβια πτηνά κ.λπ.

– Παρασιτοφάγα – σαπροφάγα είδη

Αυτά αποτελούν μειοψηφία των σαρκοφάγων ψαριών και τρέφονται με παρασιτικά κωπήποδα που βρίσκονται στο σώμα, τα βράγχια και το στόμα άλλων ψαριών. Πολλές

φορές τρέφονται και με τα απεκκρίματα των άλλων ψαριών. Ωστόσο, πέραν των παρασίτων μπορεί να τρώνε και άλλους ζωοπλακτονικούς οργανισμούς. Τα ψάρια αυτά συνήθως έχουν οξύτατη όραση και ικανότητα απόσπασης μικρού μεγέθους οργανισμών από το σώμα των άλλων ψαριών με τα οποία στην ουσία έχουν αναπτύξει ένα είδος συμβίωσης.

2.2.2 Παμφάγα είδη

Τα παμφάγα είδη τρέφονται τόσο με ζωικούς όσο και με φυτικούς ιστούς. Υπάρχουν και εδώ διάφορες υποκατηγορίες:

- Είδη που τρέφονται με σωματίδια ύλης,

τα οποία προέρχονται από την αποσύνθεση σάρκας ζωικών οργανισμών ή υδρόβιων φυτών. Τα ψάρια αυτά συνήθως αναζητούν την οργανική ύλη-τροφή τους σε χαλίκια, βράχια, άμμο κ.λπ.

- Είδη που τρέφονται με ζωντανούς ζωικούς και φυτικούς ιστούς

Τα ψάρια αυτά προσλαμβάνουν ταυτόχρονα ζωικούς μικροοργανισμούς, φυτοπλακτόν και υδρόβιας βλάστηση και διαθέτουν φαρυγγικά δόντια για τη διάσπαση των φυτών.

2.2.3 Φυτοφάγα είδη

Η τροφή τους αποτελείται αποκλειστικά από φυτικούς ιστούς όπως π.χ. φυτοπλακτόν, υδροχαρής βλάστηση, φύκια, φύλλα, άνθη φυτών, χερσαίους καρπούς κ.λπ. Τα φυτοφάγα είδη ψαριών είναι λιγότερα από τα σαρκοφάγα και τα παμφάγα είδη ψαριών. Ωστόσο αποτελούν ζωικούς οργανισμούς μεγάλης οικολογικής σημασίας μιας και τρέφονται στα κατώτερα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας. Τα είδη αυτά καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες τροφής για την κάλυψη των διατροφικών τους αναγκών και το πεπτικό τους σύστημα είναι κατάλληλα διαμορφωμένο (π.χ. μεγάλο έντερο, άφθονη μικροχλωρίδα εντέρου κ.λπ.).

2.3 Πρόσληψη τροφής

Η έναρξη της «λήψης» ή «κατανάλωσης» ή «κατάποσης» της τροφής και η έκταση που αυτή συμβαίνει ρυθμίζονται από το φαινόμενο της «πείνας», η οποία είναι μια φυσιολογική κατάσταση που απορρέει από τη στέρηση της τροφής και ελέγχεται από τα εγκεφαλικά κέντρα (υποθάλαμος του εγκεφάλου). Η πείνα, λοιπόν, εκφράζει την ανάγκη για πρόσληψη τροφής («όρεξη»), η οποία οδηγεί στην αναζήτηση της και αναστέλλεται όταν η

ανάγκη αυτή ικανοποιηθεί («κορεσμός»). Η όρεξη στους υδρόβιους ζωικούς οργανισμούς προκαλείται από τις οργανοληπτικές ιδιότητες της τροφής (γεύση, οσμή, κ.λπ.) και μπορεί να εκδηλωθεί ενστικτωδώς ως αποτέλεσμα παρατεταμένης ανεπάρκειας συγκεκριμένων θρεπτικών ουσιών (π.χ. μειωμένα επίπεδα σωματικής πρωτεΐνης). Κατά την αναζήτηση της τροφής συμμετέχουν όλες οι αισθήσεις των ψαριών όπως η όραση, η όσφρηση, η γεύση, η «ακοή» και η αφή. Ακολούθως, η πρόσληψη της τροφής επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως διατροφικούς, περιβαλλοντικούς και γενετικούς:

2.3.1 Διατροφικοί παράγοντες

- Ελκυστικότητα – γευστικότητα της τροφής. Για παράδειγμα συγκεκριμένα αμινοξέα και σάκχαρα των τροφών έχει αποδειχθεί ότι έχουν καλύτερη γεύση για κάποια ψάρια από ότι άλλα θρεπτικά συστατικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι διάφορες τροφές να προσλαμβάνονται σε διαφορετικό βαθμό από τα ψάρια.
- Συνολική σύσταση της τροφής σε θρεπτικές ουσίες (πρωτεΐνες, ενέργεια, λιπίδια, βιταμίνες κ.λπ.). Για παράδειγμα, μία τροφή με χαμηλά επίπεδα ενέργειας και πρωτεΐνης θα καταναλωθεί σε μεγαλύτερες ποσότητες από τα ψάρια για να καλύψει τις διατροφικές τους απαιτήσεις.
- Κατάσταση παρατεταμένης ασιτίας. Μετά από παρατεταμένη ασιτία, η πρόσληψη και η κατανάλωση τροφής από τα ψάρια είναι αυξημένη.

2.3.2 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

- Θερμοκρασία νερού. Τα ψάρια είναι ποικιλόθερμοι οργανισμοί και ως εκ τούτου για κάθε είδος υπάρχει ένα ανεκτό θερμοκρασιακό εύρος και μια άριστη θερμοκρασία στην οποία διαβιούν και η οποία επηρεάζει την πρόσληψη της τροφής τους. Π.χ. όσο αυξάνει η Θ. του νερού στο οποίο διαβιούν τα ψάρια, τόσο επιταχύνονται οι μεταβολικές λειτουργίες του οργανισμού με αποτέλεσμα την ταχύτερη πέψη, απορρόφηση και αξιοποίηση της τροφής, που με τη σειρά της οδηγεί σε ταχύτερη σωματική ανάπτυξη. Άρα όσο αυξάνει η Θ. του νερού, τόσο επιταχύνεται το φαινόμενο της πείνας και της ορέξεως με αποτέλεσμα την αυξανόμενη πρόσληψη τροφής. Πέραν όμως ενός ανώτατου θερμοκρασιακού ορίου, η πρόσληψη τροφής διακόπτεται απότομα. Αντίθετα, όσο μειώνεται η Θ. νερού, τόσο μειώνεται ο ρυθμός

του μεταβολισμού των ψαριών με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της πρόσληψης τροφής έως τη διακοπή της.

- Ποιότητα του νερού. Τα ψάρια είναι ευαίσθητα στις μεταβολές της ποιότητας του νερού (π.χ. επίπεδα οξυγόνου, αμμωνίας, ιόντων, pH κ.λπ.) με αποτέλεσμα η πρόσληψη της τροφής να επηρεάζεται άμεσα. Αν κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού υπερβούν τα όρια ανοχής των ψαριών τότε διακόπτεται απότομα η πρόσληψη της τροφής.
- Συνθήκες εκτροφής (για εκτρεφόμενους ιχθύες) - στρες, μεταχείριση, καταπόνηση. Π.χ. η υψηλή ιχθυοπυκνότητα μπορεί να αποτελέσει στρεσογόνο παράγοντα για τα ψάρια με αποτέλεσμα τη μείωση της πρόσληψης τροφής. Από την άλλη, η χαμηλή ιχθυοπυκνότητα μπορεί να οδηγήσει σε ετερογενή πρόσληψη τροφής με αποτέλεσμα κάποια ψάρια να τρώνε πολύ και κάποια καθόλου (κυριαρχία ατόμων στον πληθυσμό). Η μεταχείριση των ψαριών (διαλογή, μετακίνηση κλωβών, δειγματοληψία, κ.λπ.) αποτελεί επίσης στρεσογόνο παράγοντα που μπορεί να επηρεάσει την πρόσληψη τροφής από αυτά.
- Φωτοπερίοδος. Κάποια είδη αρέσκονται να τρέφονται το βράδυ, ενώ άλλα είδη την ημέρα. Κάποια είδη αυξάνουν την πρόσληψη τροφής την άνοιξη ή με αυξημένη φωτοπερίοδο.
- Παθολογικές καταστάσεις. Η προσβολή των ψαριών από παθογόνους οργανισμούς έχει ως συνέπεια την απώλεια της όρεξης τους και τη μείωση ή τη διακοπή της πρόσληψης τροφής

2.3.3 Γενετικοί παράγοντες

Σε κάθε είδος υπάρχει γενετική πληροφορία για το τί, πότε και πόσο θα φάει. Η διατροφική συμπεριφορά ενός είδους ψαριού μπορεί να αλλάζει στα διάφορα στάδια της ανάπτυξης του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΘΥΩΝ

3.1 Ανατομία και φυσιολογία πεπτικού συστήματος ιχθύων

Στο πεπτικό σύστημα των ψαριών, όπως και όλων των ζωικών οργανισμών, συμμετέχουν κατασκευές όπως τα δόντια για τη μάσηση της τροφής έως και εσωτερικά όργανα όπως ο στομάχος όπου επιτελείται η κύρια πέψη των τροφών. Παρακάτω αναλύονται οι διάφορες κατασκευές και τα όργανα του πεπτικού συστήματος.

Στόμα – Δόντια – βράγχια – φάρυγγας

Το στόμα αποτελεί την κύρια είσοδο της τροφής και του νερού (προκειμένου για την απορρόφηση ανόργανων στοιχείων). Το μέγεθος και η θέση του στόματος διαφέρουν ανάμεσα στα είδη και είναι ενδεικτικό των τροφικών συνηθειών τους. Τα δόντια είναι υπεύθυνα για τη μηχανική επεξεργασία της τροφής. Τα βράγχια, μέσω των βραγχιάκανθων, μπορεί να συμπληρώνουν το έργο των δοντιών με το να συγκρατούν και να αλέθουν την τροφή. Επίσης, τα βραγχιακά νημάτια προσλαμβάνουν ανόργανα στοιχεία από το νερό. Ο φάρυγγας είναι υπεύθυνος για την κατάποση της τροφής και την προώθηση της στον οισοφάγο

Οισοφάγος

Ο οισοφάγος αποτελεί την κύρια πύλη του στομάχου. Η διάμετρος του οισοφάγου ποικίλλει ανά είδος και μπορεί να αυξομειώνεται ανάλογα το είδος της τροφής. Επίσης ο οισοφάγος παράγει βλέννα.

Στόμαχος

Ο στόμαχος είναι το κύριο όργανο στο οποίο επιτελείται η διάσπαση (πέψη) των τροφών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι στομάχου στα ψάρια όπως π.χ. ο ευθύς – επιμήκης (*Esox lucius*), ο ημικυκλικός – σιφωνοειδής (σχήμα U ή J, *Coregonus lavaretus*, *E. Engrasicholus*), ο διχαλωτός (σχήμα Y, *Anguilla anguilla*, *Silurus glanis*). Κάποια είδη δε διαθέτουν ευδιάκριτο στόμαχο (π.χ. κυπρινοειδή), αλλά ένα εκτενές έντερο.

Ιστολογικά ο στόμαχος αποτελείται από (Σχ. 3.1):

- Βλεννογόνο χιτώνα, είναι υπεύθυνος για την παραγωγή βλέννας (που προστατεύει τα τοιχώματα του στομάχου από τις χαμηλές τιμές του pH που παράγονται κατά τη διαδικασία της πέψης), διαθέτει γαστρικούς αδένες (που παράγουν H^+ , Cl^- , πεπτικά

ένζυμα όπως πεψίνη, α-αμυλάση, χιτινάση, εστεράση), αιμοφόρα & λεμφικά αγγεία, νευρικές ίνες, ενδοκρινικά κύτταρα (που παράγουν τις υπεύθυνες για την πέψη ορμόνες όπως γαστρίνη και σωματοστατίνη), συνδετικό ιστός κ.λπ.

- Υποβλεννογόνο χιτώνα
- Μυϊκό χιτώνα, που αποτελείται από λείες και γραμμωτές μυϊκές ίνες και είναι υπεύθυνος για τις περισταλτικές κινήσεις του στομάχου.
- Ορογόνο χιτώνα

Η διάσπαση (πέψη) των τροφών που επιτελείται στον στόμαχο είναι ταυτόχρονα:

- χημική (ενζυμική) επεξεργασία των τροφών, όπου συμμετέχουν τα διάφορα γαστρικά υγρά, τα πεπτικά ένζυμα και οι ορμόνες
- φυσική (μηχανική) επεξεργασία των τροφών, όπου οι μύες του στομάχου κάνουν περισταλτικές κινήσεις για την ανάμιξη της τροφής με τα γαστρικά υγρά (χυμός)

Πυλωρός – πυλωρικά τυφλά

Το τελευταίο τμήμα του στομάχου. Είναι ένας ισχυρός μυς που δρα ως σφιγκτήρας και ρυθμίζει την έξοδο και την προώθηση της επεξεργασμένης τροφής (χυμός) προς το έντερο. Ο πυλωρός αποτρέπει την παλινδρόμηση του χυμού από το έντερο προς το στόμαχο. Τα πυλωρικά τυφλά βρίσκονται αμέσως μετά τον πυλωρό και αποτελούν αποφύσεις του λεπτού εντέρου. Πρόκειται για σάκους, των οποίων το ένα άκρο είναι τυφλό και το άλλο ανοιχτό. Ο ρόλος τους είναι να αυξήσουν την επιφάνεια του λεπτού εντέρου με σκοπό την αποδοτικότερη απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών του χυμού. Τα πυλωρικά τυφλά απουσιάζουν σε κάποια είδη.

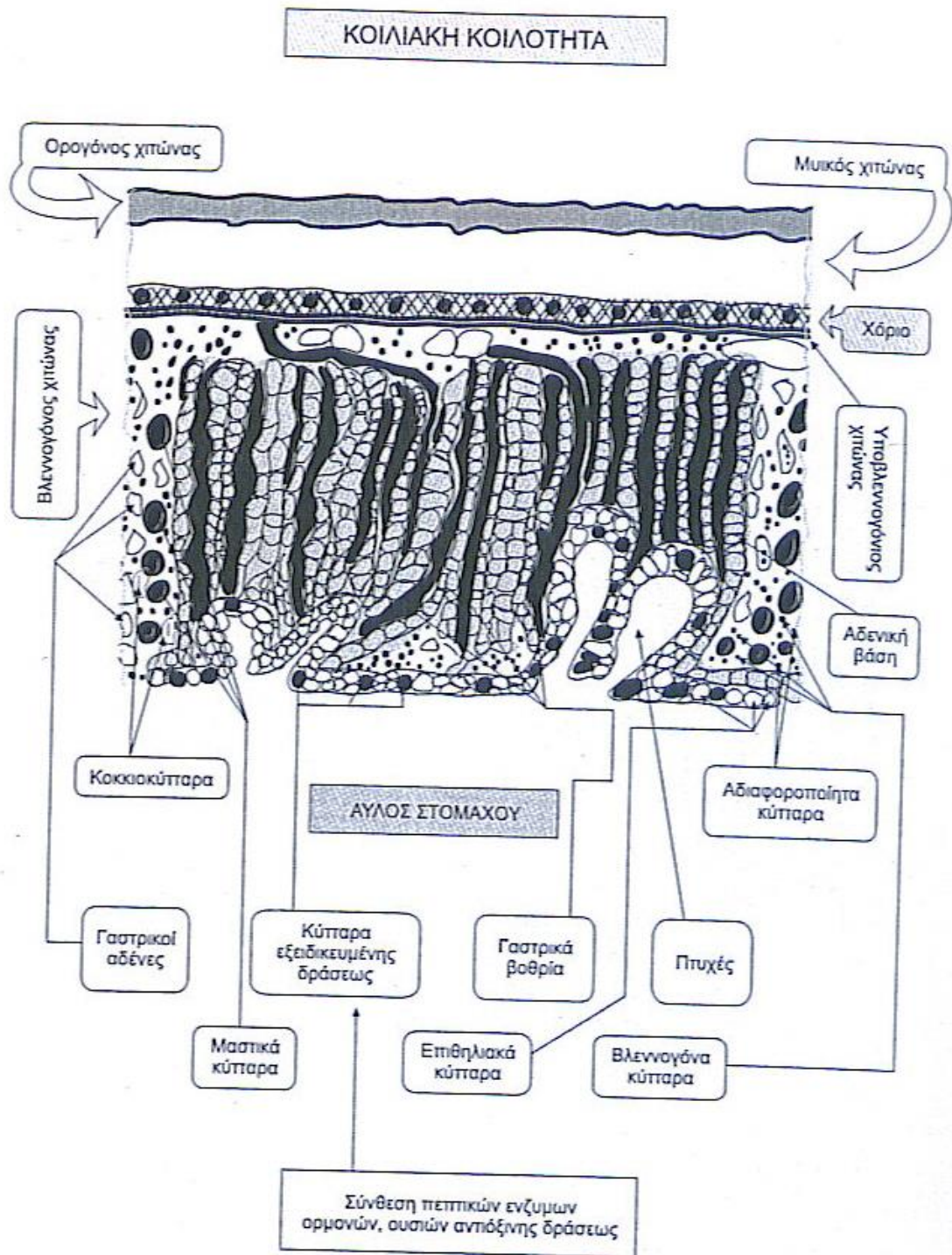
Έντερο

Διακρίνεται σε δύο τμήματα: το πρόσθιο και το οπίσθιο. Το πρόσθιο έντερο (ή κυρίως έντερο) είναι ένα όργανο σωληνοειδούς μορφής στο οποίο πραγματοποιείται η τελική χημική επεξεργασία της τροφής (στην περίπτωση που δεν έχει διασπαστεί πλήρως στο στόμαχο). Ο κύριος ρόλος του πρόσθιου εντέρου, ωστόσο, είναι η απορρόφηση των προϊόντων και των ηλεκτρολυτών της πέψης (θρεπτικές ουσίες). Το μήκος του εντέρου είναι ανάλογο με τις διατροφικές συνήθειες του ψαριού.

Ιστολογικά, το έντερο αποτελείται από (Σχ. 3.2):

- Βλεννογόνο χιτώνα, ο οποίος έχει πτυχές για την αύξηση της απορροφητικής ικανότητας

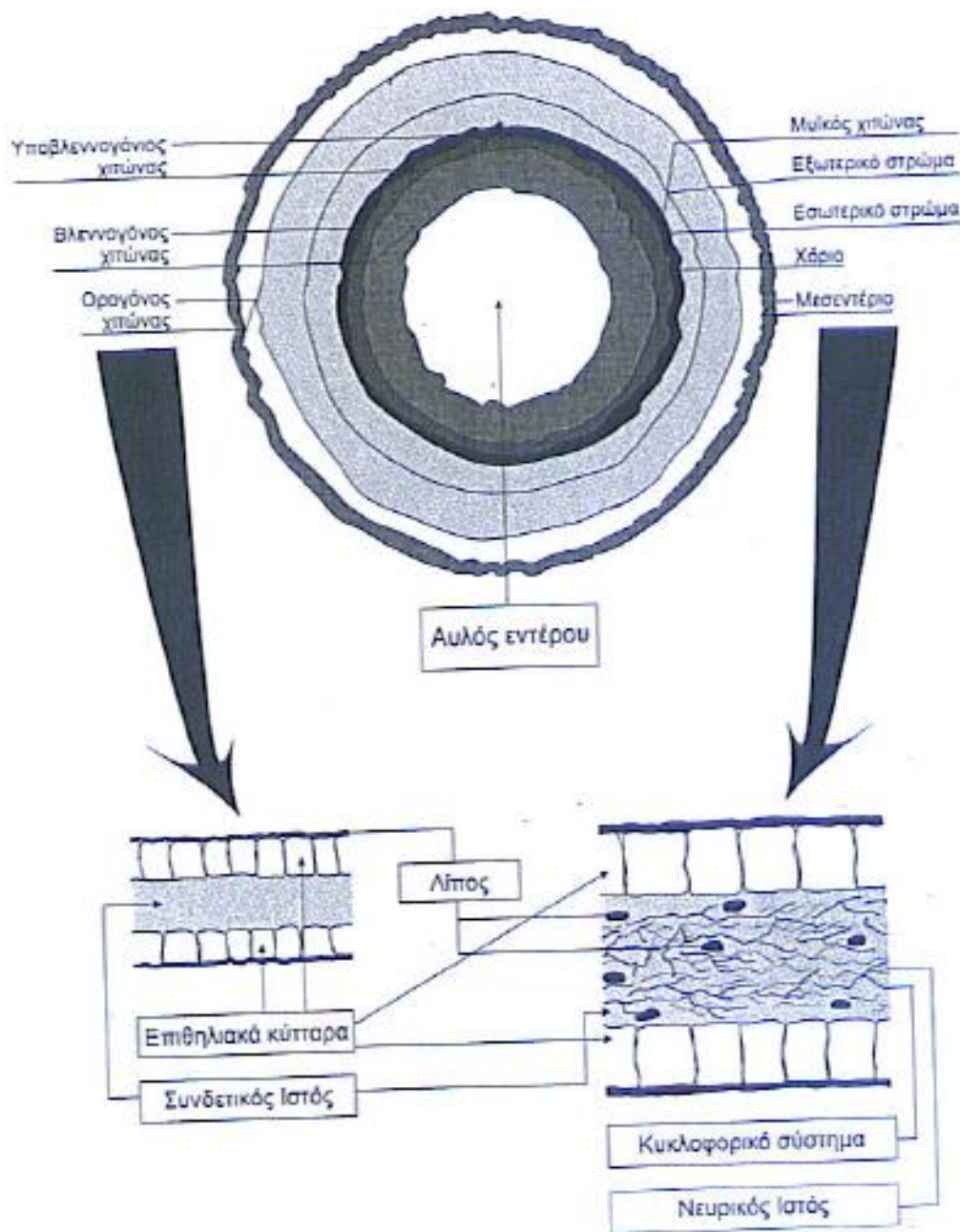
- Υποβλεννογόνο χιτώνα
- Μυϊκό χιτώνα, που αποτελείται από λείες και γραμμωτές μυϊκές ίνες και είναι υπεύθυνος για τις περισταλτικές κινήσεις του εντέρου
- Ορογόνο χιτώνα



Σχήμα 3.1. Ιστολογική δομή στομάχου ιχθύων (Παπουτσόγλου, 2008).

Σε όλους τους χιτώνες υπάρχουν κυλινδρικά κύτταρα (εντεροκύτταρα) που απορροφούν τις θρεπτικές ουσίες, αιμοφόρα αγγεία, νεύρα, μυϊκές ίνες κ.λπ. Το έντερο κάνει δακτυλιοειδείς περισφίγγεις και περισταλτικές κινήσεις ώστε να πετυχαίνετε η ανάμιξη και η προώθηση του χυμού.

Το οπίσθιο έντερο, το οποίο δεν υπάρχει σε όλα τα είδη, είναι η συνέχεια του πρόσθιου εντέρου μέχρι την έδρα, έχει μεγαλύτερη διάμετρο και μεταφέρει τα άχρηστα προϊόντα της πέψης προς την έδρα για να αποβληθούν.



Σχήμα 3.2. Ιστολογική δομή εντέρου ιχθύων (Παπουτσόγλου, 2008).

Ήπαρ

Συνήθως το μεγαλύτερο σε όγκο όργανο της κοιλιακής χώρας. Μπορεί να είναι μονόλοβο ή δίλοβο και αποτελείται από ηπατοκύτταρα, δίκτυο πόρων, σωληνάκια, αγγεία, φλέβες, αρτηρίες κ.λπ. Οι θρεπτικές ουσίες που απορροφώνται στο έντερο μεταφέρονται στο ήπαρ μέσω της ηπατικής φλέβας και από εκεί διοχετεύονται στα διάφορα όργανα και ιστούς του σώματος. Το ήπαρ αποτελεί την κύρια αποθήκη του λίπους αλλά και ορισμένων υδατανθράκων, όπως το γλυκογόνο. Το ήπαρ συμμετέχει στην πέψη των τροφών ως εξωκρινής αδένος που εκκρίνει τη χολή, η οποία αποθηκεύεται στη χοληδόχο κύστη.

Πάγκρεας

Στα περισσότερα ψάρια, ο παγκρεατικός αδένος είναι διάχυτος γύρω από το ήπαρ (σωματίδια του παγκρέατος διάχυτα γύρω από ήπαρ & έντερο). Έτσι γίνεται αναφορά για κοινό αδένος, το ηπατοπάγκρεας. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια είδη ψαριών που το πάγκρεας αποτελεί ξεχωριστό αδένος (π.χ. χέλι, τούρνα). Το πάγκρεας έχει τόσο εξωκρινή όσο και ενδοκρινή ρόλο κατά τη διαδικασία της πέψης. Ως εξωκρινής αδένος διοχετεύει το παγκρεατικό υγρό στο έντερο, το οποίο αποτελείται από διάφορα πεπτικά ένζυμα, όπως πρωτεάσες (τρυψίνη, χυμοτρυψίνη), καρβοϋδράσες (παγκρεατική αμυλάση), εστεράσες-λιπάσες. Ως ενδοκρινής αδένος εκκρίνει ορμόνες προς τα αιμοφόρα αγγεία που ρυθμίζουν την πέψη και το μεταβολισμό των τροφών.

Χοληδόχος κύστη

Αποτελεί ένα σάκο που περιέχει τα χολικά υγρά (χολή). Συνδέεται με το πρόσθιο έντερο και εφάπτεται με το ήπαρ. Στη χοληδόχο κύστη αποθηκεύεται η χολή που συντέθηκε και εκκρίθηκε από το ήπαρ. Η χολή αποτελείται από χολικά άλατα, οξέα, χοληστερόλη, λιπαρά οξέα, Na, K, νερό, ορμόνες κ.λπ. Η χολή διοχετεύεται στο έντερο για την περαιτέρω πέψη των τροφών. Η χολή, επίσης, συμβάλλει στη διάσπαση των λιπιδίων, στην απορρόφηση τους από το έντερο και στην αποθήκευσή τους στο ήπαρ.

3.2 Πέψη και μεταβολισμός των τροφών

Κατόπιν της προσλήψεως, η τροφή διέρχεται από τον πεπτικό σωλήνα και αρχίζουν οι διαδικασίες της πέψεως και της απορρόφησης της. «**Πέψη**» είναι το σύνολο των φυσικών (μηχανικών) και χημικών διεργασιών που επιτελούνται στον πεπτικό σωλήνα, αποσκοπώντας στην επίτευξη της αποδομήσεως της προσληφθείσης τροφής, προκειμένου να καταστεί δυνατή η απορρόφηση και αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών της. Οι φυσικές διεργασίες

προηγούνται των χημικών, και περιλαμβάνουν τον τεμαχισμό, τη σύνθλιψη και την πολτοποίηση της τροφής. Ακολουθούν οι χημικές διεργασίες της πέψεως με την εμπλοκή της δράσεως διαφόρων ουσιών (HCl, πεπτικών ενζύμων), καθώς και διαφόρων νευροορμονικών μηχανισμών. Τα αποδομημένα θρεπτικά συστατικά έπειτα απορροφούνται κυρίως από το εντερικό επιθήλιο του οργανισμού και διοχετεύονται στα διάφορα όργανα και ιστούς του σώματος για να επιτελέσουν συγκεκριμένες μεταβολικές λειτουργίες.

Η χημική πέψη των τροφών είναι μια υδρολυτική διεργασία και τα ένζυμα που μετέχουν σε αυτήν υδρολάσες που καταλύουν την υδρόλυση, όπως πρωτεολυτικά ένζυμα (π.χ. πεψίνη, πρωτεάσες), λιπολυτικά ένζυμα (εστεράσες, λιπάσες) και αμυλολυτικά ένζυμα (καρβοϋδράσες). Η χημική πέψη των τροφών συμβαίνει σε όλα τα τμήματα του πεπτικού σωλήνα και στις περιπτώσεις που υπάρχει στόμαχος, είναι το πρώτο τμήμα στο οποίο αρχίζουν οι διεργασίες αυτές, ακολουθούμενο από το πρόσθιο τμήμα του εντέρου, τα πυλωρικά τυφλά (όπου υπάρχουν) και το οπίσθιο τμήμα του εντέρου.

3.2.1 Χημική πέψη στο στόμαχο

Κατά τη διέλευση της στο στόμαχο, η τροφή διέρχεται σε ένα ιδιαίτερα όξινο περιβάλλον (pH 3-7), υπό την παρουσία του υδροχλωρικού οξέος (HCl), με αποτέλεσμα τη λύση των κυτταρικών τοιχωμάτων και τη δράση των διαφόρων πεπτικών ενζύμων (κυρίως πεψίνη, αλλά και εστερασών και καρβοϋδρασών) σε αυτήν. Στο τέλος της χημικής πέψεως, ο χυμός που προκύπτει περιλαμβάνει πολυπεπίδια και αμινοξέα (από τη διάσπαση των πρωτεϊνών), άμυλο και απλούς υδατάνθρακες (από τη διάσπαση των υδατανθράκων), λιπαρά οξέα και ακυλογλυκερόλες (από τη διάσπαση των λιπιδίων), διάφορα ιόντα κ.λπ.

3.2.2 Χημική πέψη στο έντερο

Η χημική πέψη του εντέρου αποτελεί το τελευταίο στάδιο των διεργασιών της χημικής πέψης των ιχθύων που έχουν στόμαχο και ουσιαστικά το μοναδικό στους ιχθύς που τον στερούνται. Κατά τη χημική πέψη του χυμού της τροφής στο έντερο, δρουν διάφορα πεπτικά ένζυμα, τα οποία συντίθενται στον βλεννογόνο χιτώνα του εντέρου και στο πάγκρεας (παγκρεατικά ένζυμα) ή προέρχονται από τα χολικά υγρά. Η παρουσία των αντιόξινων παγκρεατικών και χολικών υγρών εξουδετερώνει την οξύτητα του προερχόμενου από το στόμαχο χυμού, αυξάνοντας την τιμή του pH (6-9) στον αυλό του εντέρου. Τα προϊόντα της χημικής πέψης στο έντερο είναι τα ίδια με αυτά της χημικής πέψης στο στόμαχο.

3.2.3 Μεταβολισμός

Με τον όρο «**μεταβολισμός**» εννοείται το σύνολο των μεταβολών που προκύπτει από βιοχημικές διεργασίες, με απαραίτητη συμμετοχή ενζύμων, που αποσκοπούν στην απομόνωση και στη μετατροπή των θρεπτικών συστατικών της τροφής σε συστατικά των κυττάρων, στην ανάπτυξη, στην απομάκρυνση των ουσιών που πρέπει να αποβληθούν, καθώς και στην πλήρη ενεργειακή κάλυψη των ιχθύων. Το φαινόμενο του μεταβολισμού μπορεί να διακριθεί σε 3 στάδια (κατηγορίες) διεργασιών.

Το **πρώτο στάδιο** περιλαμβάνει τις υδρολυτικές διεργασίες που επιτελούνται στον πεπτικό σωλήνα των ιχθύων, με τις οποίες επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός-απομόνωση και η μετατροπή-αποδόμηση σε απορροφήσιμη μορφή των κατάλληλων για τη θρέψη και για την παραγωγή ενέργειας **συστατικών της τροφής**.

Το **δεύτερο** στάδιο περιλαμβάνει όλες τις βιοχημικές διεργασίες, που επιτελούνται μέσα σε όλα τα κύτταρα του οργανισμού και οι οποίες αποσκοπούν κυρίως στη σύνθεση των κυτταρικών υλικών, καθώς και στη μερική παραγωγή ενέργειας.

Το **τρίτο στάδιο** περιλαμβάνει τις, σε όλα τα κύτταρα πραγματοποιούμενες, κυρίως οξειδωτικές διεργασίες (πλήρης οξείδωση – καύση απορροφηθέντων προϊόντων της πέψεως) με τελικά προϊόντα H_2O και CO_2 και την παραγωγή του μεγαλύτερου ποσοστού ενέργειας, καθώς και τη σύνθεση ορισμένων οργανικών ενώσεων. Επίσης, ως τελικό προϊόν του μεταβολισμού αναφέρεται και η τοξική μορφή της NH_3 , η οποία προκύπτει κατά τη διεργασία της απαμινώσεως των πρωτεϊνών.

Το σύνολο των διεργασιών του μεταβολισμού που χαρακτηρίζονται από σύνθεση (δόμηση) σύνθετων από απλές μοριακές ενώσεις καλείται **αναβολισμός**, ενώ εκείνων που χαρακτηρίζονται από αποδόμηση σύνθετων σε απλές μοριακές ενώσεις καλείται **καταβολισμός**. Οι διεργασίες του καταβολισμού και του αναβολισμού είναι αλληλένδετες και πραγματοποιούνται σε όλα τα στάδια του μεταβολισμού σε διαφορετική ένταση-παρουσία της καθεμίας στα διάφορα στάδια. Κατά τον καταβολισμό παράγεται ενέργεια, ενώ κατά τον αναβολισμό δαπανάται ενέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

4.1 Γενικά

Με τον όρο «ενέργεια» εννοείται η ικανότητα παραγωγής έργου. Υπάρχουν διάφορες μορφές ενέργειας στη φύση, όπως π.χ. η χημική, η θερμική, η ηλεκτρική κ.λπ. Από τη θερμοδυναμική είναι γνωστό πως η ενέργεια δε χάνεται (σε ένα κλειστό κύκλωμα) αλλά μετατρέπεται από μία μορφή σε μία άλλη. Η βασική μονάδα μέτρησης της ενέργειας είναι η θερμίδα (*calorie*), η οποία ισούται με την ενέργεια που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας 1 g αποσταγμένου νερού από τους 14,5 °C στους 15,5 °C. Η θερμίδα χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ενεργειακή αξία των τροφών και τις ενεργειακές ανάγκες των ζώων. Μία άλλη μονάδα μέτρησης της ενέργειας - συνήθως της ηλεκτρικής, της χημικής και της μηχανικής - είναι το Joule (J), το οποίο ισούται με:

- 1 J = 0,239 cal ή 1 cal = 4,184 J
- 1 Kcal = 1000 cal , 1 KJ = 1000 joules , 1 MJ = 1000 KJ

Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί χρειάζονται ενέργεια για να διατηρηθούν στη ζωή. Τα φυτά (αυτότροφοι οργανισμοί) προμηθεύονται την απαιτούμενη ενέργεια απευθείας από τον ήλιο (χημική ενέργεια) που μέσω της φωτοσύνθεσης συνθέτουν τις διάφορες οργανικές ενώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους θα συνθέσουν τις θρεπτικές ουσίες. Τα ζώα (ετερότροφοι οργανισμοί) προμηθεύονται την απαιτούμενη ενέργεια από την τροφή τους. Οι θρεπτικές ουσίες της τροφής διασπώνται σε απλά μόρια κατά τη διάρκεια της πέψης (μεταβολισμός). Έπειτα, τα προϊόντα της πέψης (π.χ. αμινοξέα, λιπαρά οξέα κ.λπ.) απορροφώνται και διαχέονται στα διάφορα όργανα και ιστούς του σώματος του ζώου. Τα προϊόντα αυτά είτε συνθέτουν νέα προϊόντα, δηλ. νέες θρεπτικές ουσίες, μια διαδικασία που καλείται «*αναβολισμός*» και απαιτεί δέσμευση ενέργειας, είτε οξειδώνονται για να προσφέρουν ενέργεια στον οργανισμό, μια διαδικασία που καλείται «*καταβολισμός*» και κατά την οποία απελευθερώνεται ενέργεια.

Η ενέργεια, λοιπόν, στα βιολογικά συστήματα βρίσκεται στη χημική μορφή (χημικοί δεσμοί) που είτε δεσμεύεται (αναβολισμός) είτε απελευθερώνεται (καταβολισμός). Αυτή η μεταφορά της ενέργειας γίνεται με τη σύνθεση ενώσεων όπου η ενέργεια διατηρείται σε δεσμούς «υψηλής ενέργειας», όπως π.χ. το ATP (αδενοσινωτριφωσφορικό οξύ). Η ενέργεια που απελευθερώνεται από τον καταβολισμό των θρεπτικών ουσιών αλλά δε δεσμεύεται από τις αναβολικές διεργασίες του οργανισμού μετατρέπεται σε θερμότητα. Η μελέτη της

μεταφοράς και της κατανομής της ενέργειας για την επιτέλεση διαφόρων φυσιολογικών λειτουργιών των οργανισμών ονομάζεται «ενεργειακός μεταβολισμός».

4.2 Ενεργειακός μεταβολισμός

4.2.1 Ολική Ενέργεια (ΟΕ)

Κάθε τροφή εμπεριέχει ένα συνολικό ποσό ενέργειας που καλείται ολική ενέργεια (ΟΕ) της τροφής. Η ΟΕ μιας τροφής είναι η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν η οργανική της ουσία οξειδώνεται (καύση) πλήρως σε CO₂ και H₂O. Η ΟΕ μιας τροφής εξαρτάται από τη χημική σύσταση της σε θρεπτικές ουσίες. Κατά μέσο όρο 1 g λιπιδίων περιέχει ολική ενέργεια ίση με 39,5 KJ, 1 g πρωτεϊνών περιέχει 23,6 KJ και 1 g υδατανθράκων περιέχει 17,2 KJ. Τα λιπίδια, δηλαδή, περιέχουν διπλάσια ενέργεια από τους υδατάνθρακες, και 1,5 φορές περισσότερη ενέργεια από τις πρωτεΐνες.

Ένα μεγάλο μέρος της ΟΕ της τροφής που προσλαμβάνει το ζώο αποβάλλεται με τα κόπρανα, τα ούρα, τις απεκκρίσεις των βραγχίων αλλά και την παραγόμενη θερμότητα. Τα παραπάνω παράγονται κατά τις διεργασίες της πέψης, της απορρόφησης και του μεταβολισμού των θρεπτικών ουσιών.

4.2.2 Πέψιμη ή Πεπτή Ενέργεια (ΠΕ)

Ένα μέρος της τροφής δεν θα πεφθεί και δεν θα χρησιμοποιηθεί από τον οργανισμό, αλλά θα αποβληθεί μέσω των κοπράνων του. Έτσι, ένα ποσό από την ΟΕ της τροφής δεν θα χρησιμοποιηθεί από τον οργανισμό αλλά θα χαθεί ως «Ενέργεια Κοπράνων (ΕΚ)». Το υπόλοιπο αυτής της ενέργειας που είναι διαθέσιμη για τον οργανισμό καλείται «Πέψιμη Ενέργεια (ΠΕ)» της τροφής.

$$\text{Πέψιμη Ενέργεια (ΠΕ)} = \text{Ολική Ενέργεια (ΟΕ)} - \text{Ενέργεια Κοπράνων (ΕΚ)}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κόπρανα εκτός από το άπεπτο μέρος της τροφής περιλαμβάνουν και τις διάφορες μεταβολικές απεκκρίσεις όπως π.χ. επιθηλιακά κύτταρα, πεπτικά ένζυμα, μικροχλωρίδα εντέρου κ.λπ. Η ενέργεια αυτών των μεταβολικών απεκκρίσεων καλείται «Ενέργεια Κοπράνων Μεταβολικής Προέλευσης (ΕΚΜΠ)» και συνήθως γίνεται διάκριση μεταξύ της φαινόμενης και της αληθούς πέψιμης ενέργειας της τροφής. Ο προσδιορισμός της ΕΚΜΠ στα ψάρια είναι αρκετά δύσκολος, γι' αυτό πάντα υπολογίζουμε τη Φαινόμενη Πέψιμη Ενέργεια, όπως αποδόθηκε στον παραπάνω τύπο.

Επειδή οι υδατάνθρακες (ινώδεις ουσίες, άμυλο κ.λπ.) είναι οι περισσότερο άπεπτες θρεπτικές ουσίες μιας τροφής συγκριτικά με τα λιπίδια και τις πρωτεΐνες, όσο περισσότεροι υδατάνθρακες υπάρχουν στην τροφή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα των κοπράνων που αποβάλλονται από τα ψάρια και τόσο μικρότερη είναι η διαθέσιμη ΠΕ της τροφής για αυτά. Αντίθετα, τροφές πλούσιες σε λιπίδια και πρωτεΐνες είναι περισσότερο εύπεπτες από τα ψάρια. Η ΠΕ μιας τροφής διαφέρει επίσης και ανάλογα με το είδος του ψαριού. Για παράδειγμα, η ΠΕ μιας τροφής πλούσιας σε υδατάνθρακες είναι υψηλότερη στα χορτοφάγα-παμφάγα είδη από ότι στα σαρκοφάγα είδη, διότι τα πρώτα είναι περισσότερο ικανά στο να αποδεσμεύσουν την ενέργεια των υδατανθράκων της τροφής και να την αξιοποιήσουν μεταβολικά.

4.2.3 Μεταβολίσιμη Ενέργεια (ME)

Μετά την πέψη των τροφών ακολουθεί η απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών. Η χρησιμοποίηση των θρεπτικών ουσιών (οξειδωση - καύση) παράγει CO₂ , H₂O και άζωτο (στην περίπτωση των πρωτεϊνών). Η αποβολή των αζωτούχων ουσιών απαιτεί δαπάνη ενέργειας. Στα ψάρια, η αποβολή των N-ούχων ουσιών γίνεται κυρίως ως NH₃ από τα βράγχια (η ενέργεια που δαπανάται καλείται Ενέργεια Βραγχίων, EBP) και λιγότερο ως ουρία από τους νεφρούς με τα ούρα (η ενέργεια που δαπανάται καλείται Ενέργεια Ούρων, EOY). Η ενέργεια που απομένει από την Πέψιμη Ενέργεια αν αφαιρεθούν οι παραπάνω δαπάνες καλείται Μεταβολίσιμη Ενέργεια (ME).

$$\text{Μεταβολίσιμη Ενέργεια (ME)} = \text{Πέψιμη Ενέργεια (ΠΕ)} - \\ (\text{Ενέργεια Ούρων, EOY} + \text{Ενέργεια Βραγχίων, EBP})$$

Στα ψάρια, η αποβολή του N απαιτεί λιγότερη ενέργεια από ότι στα ομοιόθερμα ζώα, διότι γίνεται παθητικά μέσω των βραγχίων συγκριτικά με τη σύνθεση και την απέκκριση της ουρίας και του ουρικού οξέος που απαιτεί μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Ωστόσο, η αποβλητέα ποσότητα του N από τα ψάρια έχει μεγάλη σημασία μιας και σε μεγάλες ποσότητες, όπως συμβαίνει σε συνθήκες εκτροφής, επιβαρύνει το υδάτινο περιβάλλον και μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες ευτροφισμού. Λόγω του υδάτινου καλλιεργητικού μέσου, η μέτρηση της ME στα ψάρια είναι αρκετά δύσκολη. Η αποβολή N-ούχων ουσιών από τα ψάρια επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως π.χ. το επίπεδο της πρωτεΐνης της τροφής, την πεπτικότητα της πρωτεΐνης κ.λπ.

4.2.4 Καθαρή Ενέργεια (ΚΕ)

Οι απορροφηθείσες θρεπτικές ουσίες μεταβολίζονται εντός του οργανισμού μέσω διαφόρων βιοχημικών διεργασιών οι οποίες απαιτούν δαπάνη ενέργειας. Η απώλεια αυτή της Μεταβολίσιμης Ενέργειας εκλύεται ως θερμότητα και καλείται Διατροφικό Θερμικό Αύξημα ή Θερμικό Αύξημα (ΘΑ). Το ΘΑ περιλαμβάνει επίσης την απώλεια ενέργειας (που εκλύεται ως θερμότητα) που δαπανάται κατά την πέψη, την απορρόφηση και τη μεταφορά των θρεπτικών ουσιών και την αποβολή των κοπράνων. Η ενέργεια που απομένει καλείται Καθαρή Ενέργεια (ΚΕ)

$$\text{Καθαρή Ενέργεια (ΚΕ)} = \text{Μεταβολίσιμη Ενέργεια (ΜΕ)} - \text{Θερμικό Αύξημα (ΘΑ)}$$

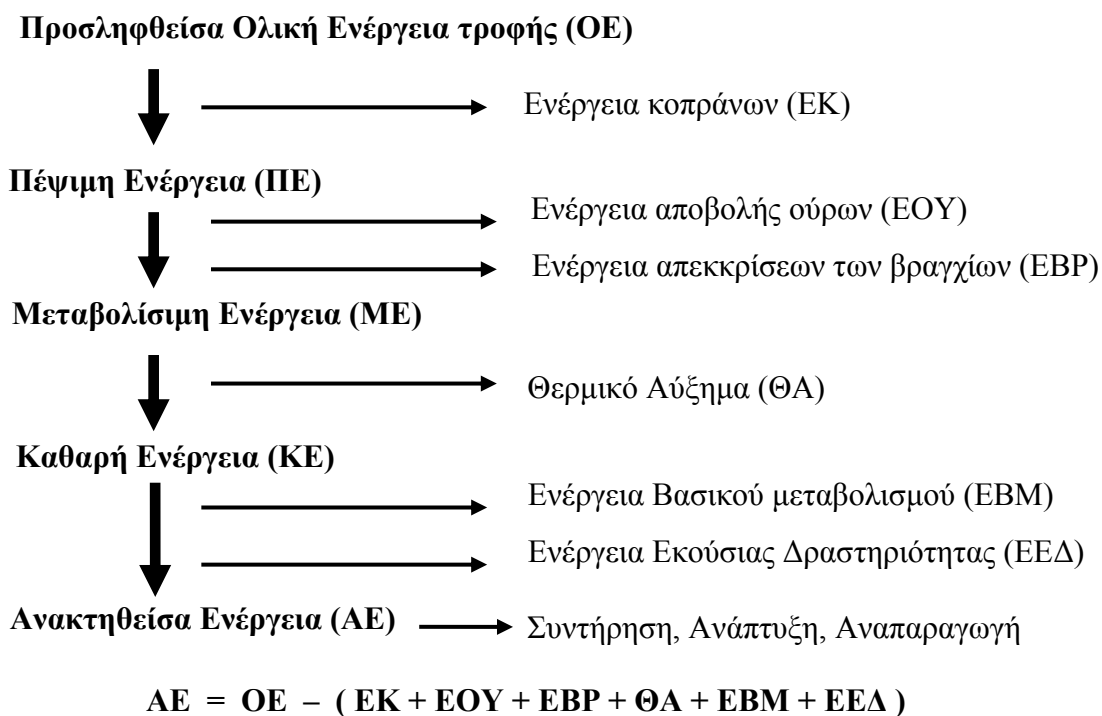
4.2.5 Ανακτηθείσα Ενέργεια (ΑΕ)

Τα ψάρια, όπως και όλοι οι ζωικοί οργανισμοί, δαπανούν ανά πάσα στιγμή ένα ποσό ενέργειας για να επιτελέσουν τις διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες τους που απαιτούνται για να διατηρηθούν στη ζωή. Αυτές οι φυσιολογικές λειτουργίες και διεργασίες που επιτελούνται ασταμάτητα εντός του οργανισμού καλούνται «*βασικός μεταβολισμός*» και η ελάχιστη ενέργεια που δαπανάται για αυτόν Ενέργεια Βασικού Μεταβολισμού (EBM). Στα ζώα, η EBM μετράται όταν αυτά βρίσκονται σε ασιτία και ακινησία. Στα ψάρια, όμως, αυτό είναι ανέφικτο διότι ποτέ δεν παραμένουν σε ακινησία αλλά πάντοτε βρίσκονται σε μια ελάχιστη φυσική δραστηριότητα (κολύμβηση). Η ενέργεια που ξοδεύεται για αυτήν την ελάχιστη κίνηση ώστε να διατηρήσουν την ισορροπία τους και την πλευστότητα τους στο νερό καλείται Ενέργεια Εκούσιας Δραστηριότητας (ΕΕΔ). Τελικώς, η ενέργεια που απομένει διαθέσιμη στα ψάρια αν αφαιρεθούν οι παραπάνω απώλειες καλείται Ανακτηθείσα Ενέργεια (ΑΕ) και είναι αυτή που θα χρησιμοποιήσουν τα ψάρια για τη συντήρηση του σωματικού τους βάρους, την ανάπτυξη τους και την παραγωγή προϊόντων αναπαραγωγής (αυγά, σπέρμα).

$$\text{Ανακτηθείσα Ενέργεια (ΑΕ)} = \text{ΚΕ} - \text{EBM} - \text{ΕΕΔ}$$

Αξίζει να αναφερθεί πως οι ενεργειακές δαπάνες του ΒΜ και της εκούσιας δραστηριότητας στα υδρόβια ζώα είναι 10-30 φορές μικρότερες από ότι στα θηλαστικά εξαιτίας α) της ποικιλοθερμίας των ψαριών, όπου δε χρειάζεται να ξοδέψουν ενέργεια για να διατηρήσουν τη θερμοκρασία του σώματος τους σταθερή, όπως συμβαίνει με τα θηλαστικά β) της πλευστότητας τους, όπου τα ψάρια την εκμεταλλεύονται για να εξοικονομήσουν

ενέργεια. Για παράδειγμα, τα ψάρια κατά την ελάχιστη φυσική δραστηριότητα τους ξοδεύουν ελάχιστα ποσά ενέργειας. Έτσι, κατά την αργή κολύμβηση τους ξοδεύονται μικρά ποσά ενέργειας. Ωστόσο, κατά τη γρήγορη κολύμβηση τους ξοδεύονται μεγάλα ποσά ενέργειας, περισσότερο από το ποσό ενέργειας που ξοδεύεται κατά το βάδισμα των χερσαίων ζώων. Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τις ενεργειακές δαπάνες του ΒΜ των ψαριών όπως π.χ. η ηλικία, η θερμοκρασία του νερού, η οσμωρύθμιση κ.λπ. Οι λάρβες, για παράδειγμα, έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές δαπάνες από τα ενήλικα άτομα, λόγω του ταχύτερου βασικού μεταβολισμού τους. Οι ενεργειακές δαπάνες του ΒΜ είναι χαμηλότερες κοντά στην ιδανική θερμοκρασία νερού κάθε είδους. Η αλατότητα επιδρά στον ΒΜ, αλλά το ενεργειακό κόστος της οσμωρύθμισης είναι σχετικά χαμηλό.



Σχήμα 4.1. Ο ενεργειακός μεταβολισμός των υδρόβιων ζωικών οργανισμών.

4.3 Ενεργειακές ανάγκες υδρόβιων ζωικών οργανισμών

Η ανακτηθείσα ενέργεια που είναι τελικά διαθέσιμη για τον οργανισμό θα χρησιμοποιηθεί για την επιτέλεση και την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων:

- Ενεργειακές ανάγκες συντήρησης σωματικού βάρους
- Ενεργειακές ανάγκες ανάπτυξης
- Ενεργειακές ανάγκες αναπαραγωγής

4.3.1 Ενεργειακές ανάγκες συντήρησης σωματικού βάρους

Είναι η ενέργεια που απαιτείται μέσω της τροφής για την εξισορρόπηση των ενεργειακών δαπανών ούτως ώστε να διατηρηθεί το σωματικό βάρος. Για τη συντήρηση του σωματικού βάρους χρειάζεται περισσότερη ενέργεια από εκείνη που δαπανάται κατά τον βασικό μεταβολισμό του και την εκούσια δραστηριότητα του, διότι πέρα του ΒΜ, ο οργανισμός χρειάζεται ενέργεια για την καθημερινή ανάπλαση των ιστών του σώματος, ειδάλλως θα έχανε διαρκώς βάρος.

4.3.2 Ενεργειακές ανάγκες ανάπτυξης

Είναι η ενέργεια που απαιτείται μέσω της τροφής για την ανάπτυξη της σωματικής μάζας. Στα ψάρια, συνήθως αυτή μετράται ως ποσό ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση 1 Kg σωματικής μάζας, π.χ. Ε ανάπτυξης στην πέστροφα = 15-16 MJ/Kg σωματικού βάρους. Οι ενεργειακές ανάγκες ανάπτυξης εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του νερού, π.χ. πέστροφα στους 8 °C χρειάζεται E=15 MJ/Kg, ενώ στους 15 °C χρειάζεται E=18 MJ/Kg.

4.3.3 Ενεργειακές ανάγκες αναπαραγωγής

Είναι η ενέργεια που απαιτείται μέσω της τροφής για την ωρίμανση των γονάδων, για την παραγωγή αυγών/σπέρματος, αλλά και για τη διαμόρφωση δευτερογενών χαρακτηριστικών (π.χ. αλλαγή του χρώματος του δέρματος κατά την ωρίμανση, επιμήκυνση σιαγόνας αρσενικών κ.λπ.).

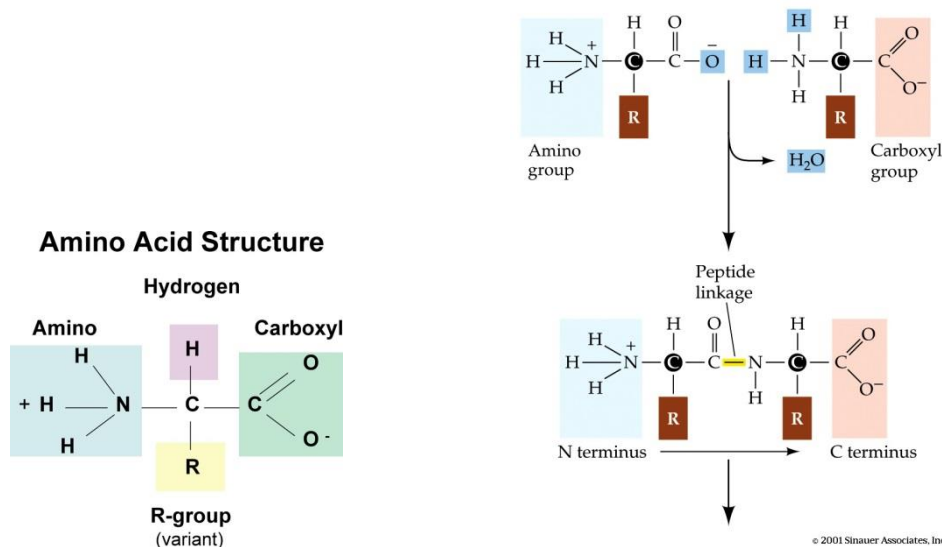
Προτεραιότητα στη χρησιμοποίηση της ενέργειας

Όλοι οι ζωικοί οργανισμοί πρέπει πρώτα να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες για συντήρηση του σωματικού τους βάρους και για την εθελοντική δραστηριότητα τους και έπειτα να χρησιμοποιήσουν την υπόλοιπη ενέργεια για ανάπτυξη και αναπαραγωγή. Σε κατάσταση αστίας ή όταν η πρόσληψη τροφής είναι χαμηλή, τα λιπίδια και οι πρωτεΐνες του σώματος κινητοποιούνται (οξειδώνονται) για να προμηθεύσουν την απαιτούμενη ενέργεια συντήρησης για τον οργανισμό. Σε αυτήν την περίπτωση, το σωματικό βάρος του ζώου μειώνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ & ΑΜΙΝΟΞΕΑ

5.1 Γενικά

Οι πρωτεΐνες είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις, που υπάρχουν σε όλα τα ζωντανά κύτταρα (φυτικά και ζωικά) και συντίθενται από αμινοξέα, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς.



Σχήμα 5.1 Χημική δομή αμινοξέος και πεπτιδικού δεσμού (Πηγή: διαδίκτυο).

Κάθε αμινοξύ αποτελείται από μία αμινομάδα (NH_3^+ , βασική ομάδα), μία καρβοξυλομάδα (COO^- , όξινη ομάδα), ένα υδρογόνο (H) και ένα μεταβλητό μέρος (R ομάδα) που είναι ανάλογο του κάθε αμινοξέος και μπορεί να περιέχει θείο (S) ή φώσφορο (P). Οι πεπτιδικοί δεσμοί των αμινοξέων γίνονται μεταξύ της αμινομάδας του ενός με την καρβοξυλομάδα του άλλου με την αφαίρεση ενός μορίου νερού (αφυδάτωση).

Κατηγορίες πρωτεϊνών

Ανάλογα με τη δομή τους οι πρωτεΐνες διακρίνονται σε:

- Απλές πρωτεΐνες
(αλβουμίνες, σφαιρίνες, γλουτελίνες, προλαμίνες, ιστόνες, πρωταμίνες κ.α.)
- Σύνθετες πρωτεΐνες
(νουκλεοπρωτεΐνες, φωσφοροπρωτεΐνες, γλυκοπρωτεΐνες, λιποπρωτεΐνες κ.α.)
- Παράγωγα πρωτεϊνών
(πεπτίδια, πολυπεπτίδια κ.α.)

Οι απλές πρωτεΐνες αποτελούνται μόνο από αμινοξέα (και μικρές ανθρακικές ενώσεις), ενώ οι σύνθετες πρωτεΐνες αποτελούνται επιπλέον από μη πρωτεϊνικά μέρη π.χ. λιπίδια, μέταλλα, σάκχαρα κ.λπ. Τα παράγωγα των πρωτεϊνών προέρχονται από τις απλές και τις σύνθετες πρωτεΐνες.

Μορφή πρωτεϊνών

Οι πρωτεΐνες δεν έχουν μία συγκεκριμένη μορφή. Η πολυπλοκότητα τους οδηγεί σε διαφορετικές μορφές και φυσικές ιδιότητες:

- Σφαιρικές πρωτεΐνες, βρίσκονται στο αίμα και στα υγρά του σώματος
- Κολλοειδείς πρωτεΐνες, βρίσκονται στο συνδετικό ιστό (δέρμα, κυτταρική μεμβράνη)
- Ινώδεις πρωτεΐνες, βρίσκονται στο μυϊκό και συνδετικό ιστό
- Κρυσταλλώδεις πρωτεΐνες, βρίσκονται στο φακό του οφθαλμού

Ο μυϊκός ιστός αποτελείται από διάφορων ειδών πολυπεπίδια που επιτρέπουν τη μυϊκή ταλάντωση και ευλυγισία του.

Φυσιολογικός ρόλος

Ο ρόλος των πρωτεϊνών στους ζωικούς οργανισμούς:

- Αποτελούν κύρια δομικά υλικά των κυττάρων των διαφόρων ιστών (δομικές πρωτεΐνες). Στην ουσία, οι πρωτεΐνες αποτελούν το υψηλότερο ποσοστό της οργανικής ουσίας του σώματος των ζώων.
- Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ζωικού οργανισμού.
- Παροχή εκείνων των αμινοξέων που δεν μπορεί να τα συνθέσει ο οργανισμός αλλά του είναι απαραίτητα για τις διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες του (απαραίτητα αμινοξέα)
- Οι πρωτεΐνες μετέχουν στις διεργασίες της οσμωτικής & ιοντικής ρύθμισης – έλεγχος του pH
- Δέσμευση & μεταφορά διαφόρων στοιχείων και ενώσεων (όπως O₂, CO₂, κ.α.)
- Εφοδιασμός του ζωικού οργανισμού με ενώσεις όπως ένζυμα, ορμόνες κ.λπ. Τα ένζυμα είναι στην ουσία πρωτεΐνες που καταλύουν τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ρυθμίζουν τις περισσότερες φυσιολογικές διεργασίες του οργανισμού που είναι απαραίτητες για να τον διατηρήσουν στη ζωή. Οι ορμόνες είναι παράγωγα των πρωτεϊνών που δρουν στους ιστούς και τα όργανα ρυθμίζοντας διάφορες λειτουργίες του οργανισμού.

Χημική σύσταση

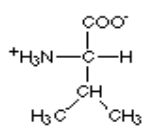
Οι πρωτεΐνες αποτελούνται από C, H, O και N (κάποιες με S και P). Κατά μέσο όρο:

- C: 50 – 55 %
- O: 21 – 24 %
- H: 6,5 – 7,5 %
- N: 12 – 19 %

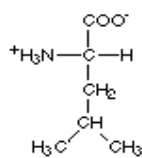
Οι πρωτεΐνες είναι οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν το περισσότερο N από κάθε άλλη ένωση. Στους περισσότερους ζωικούς και φυτικούς ιστούς, οι πρωτεΐνες τους περιέχουν κατά μέσο όρο 16% N.

5.2 Αμινοξέα

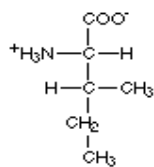
Amino acids with hydrophobic side groups



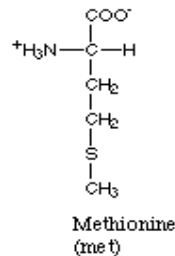
Valine
(val)



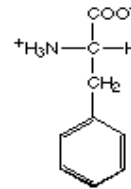
Leucine
(leu)



Isoleucine
(ile)

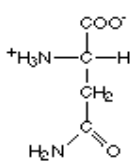


Methionine
(met)

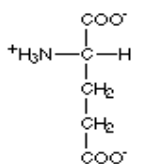


Phenylalanine
(phe)

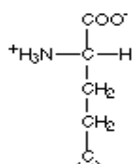
Amino acids with hydrophilic side groups



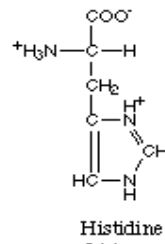
Asparagine
(asn)



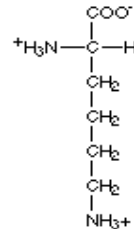
Glutamic acid
(glu)



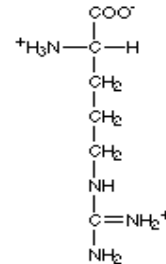
Glutamine
(gln)



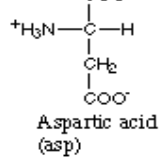
Histidine
(his)



Lysine
(lys)

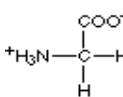


Arginine
(arg)

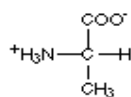


Aspartic acid
(asp)

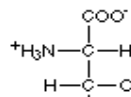
Amino acids that are in between



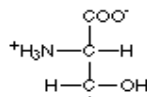
Glycine
(gly)



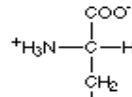
Alanine
(ala)



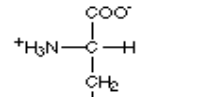
Serine
(ser)



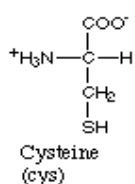
Threonine
(thr)



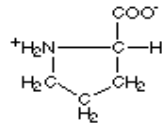
Tyrosine
(tyr)



Tryptophan
(trp)



Cysteine
(cys)



Proline
(pro)

Σχήμα 5.2. Χημική δομή των αμινοξέων των πρωτεϊνών (Πηγή: διαδίκτυο).

Οι δομικές μονάδες των πρωτεϊνών, όπως προαναφέρθηκε, είναι τα αμινοξέα. Στη φύση υπάρχουν 100 περίπου αμινοξέα, αλλά μόνο 23 (γνωστά σήμερα) θεωρούνται ότι είναι συστατικά των πρωτεϊνών. Τα αμινοξέα διαδραματίζουν πολύ σημαντικούς ρόλους στη φυσιολογία του ζωικού οργανισμού. Πέρα από την εμπλοκή τους στην πρωτεϊνσύνθεση (ως δομικά συστατικά των πρωτεϊνών) και την προσφορά ενέργειας στον οργανισμό, επηρεάζουν διάφορες άλλες λειτουργίες όπως π.χ. όρεξη, οσμωρύθμιση, ανάπτυξη, ανοσοποιητικό σύστημα, γενικότερη κυτταρική λειτουργία, αντι-οξειδωτική άμυνα του οργανισμού, παραγωγή ορμονών, αποβολή αμμωνίας, ρύθμιση του μεταβολισμού, χρωματισμός, μεταμόρφωση νυμφών, συμπεριφορά κ.λπ.

Ο ζωικός οργανισμός είναι ικανός να συνθέσει ορισμένα αμινοξέα και σε ικανοποιητικές ποσότητες αυτών ώστε να καλύψει τις ανάγκες του (**«μη απαραίτητα αμινοξέα»**). Ωστόσο, όλοι οι σπονδυλωτοί ζωικοί οργανισμοί, συμπεριλαμβανομένων των ιχθύων, δεν είναι ικανοί στο να συνθέσουν 10 συγκεκριμένα αμινοξέα, τα οποία όμως είναι απαραίτητα για την επιβίωση, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους. Τα 10 αυτά αμινοξέα καλούνται **«απαραίτητα αμινοξέα»** και ο ζωικός οργανισμός θα πρέπει να τα προμηθευτεί απ' ευθείας από την τροφή του (Πίν. 5.1). Τα απαραίτητα αμινοξέα συνθέτονται από μικροοργανισμούς, οι οποίοι μετατρέπουν το ατμοσφαιρικό άζωτο σε αμμωνία και έπειτα σε αμινοξύ. **«Ημι-απαραίτητα αμινοξέα»** στη διατροφή είναι εκείνα τα αμινοξέα που ο οργανισμός μπορεί να τα συνθέσει από κάποια απαραίτητα αμινοξέα, όπως π.χ. η κυστεΐνη και η τυροσίνη.

Πίνακας 5.1. Απαραίτητα, μη απαραίτητα και ημι-απαραίτητα αμινοξέα στη διατροφή των ψαριών.

Απαραίτητα Αμινοξέα		Μη απαραίτητα & ημι-απαραίτητα	
Αργινίνη	(Arg)	Αλανίνη	(Ala)
Ιστιδίνη	(His)	Ασπαραγγίνη	(Asn)
Ισολευκίνη	(Ile)	Ασπαρτικό οξύ	(Asp)
Λευκίνη	(Leu)	Γλουταμίνη	(Gln)
Λυσίνη	(Lys)	Γλουταμινικό οξύ	(Glu)
Μεθειονίνη	(Met)	Γλυκίνη	(Gly)
Φαινυλαλανίνη	(Phe)	Προλίνη	(Pro)
Θρεονίνη	(Thr)	Σερίνη	(Ser)
Τρυπτοφάνη	(Trp)	Κυστεΐνη *	(Cys)
Βαλίνη	(Val)	Τυροσίνη **	(Tyr)

* Η κυστεΐνη (μη απαραίτητο αμινοξύ) συντίθεται από την μεθειονίνη και τη σερίνη.

** Η τυροσίνη (μη απαραίτητο αμινοξύ) συντίθεται από τη φαινυλαλανίνη.

Ορισμός: «απαραίτητα» θρεπτικά συστατικά είναι εκείνα τα οποία απαιτούνται για τη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού και διαδραματίζουν θεμελιώδους σημασίας ρόλους στο μεταβολισμό. Η «εκ νέου» (*de novo*) σύνθεση τους εντός του οργανισμού δεν είναι δυνατή ή συνθέτονται σε μη επαρκείς ποσότητες και άρα υπάρχει απαίτηση να ληφθούν από την τροφή.

5.3 Πέψη και μεταβολισμός των πρωτεϊνών

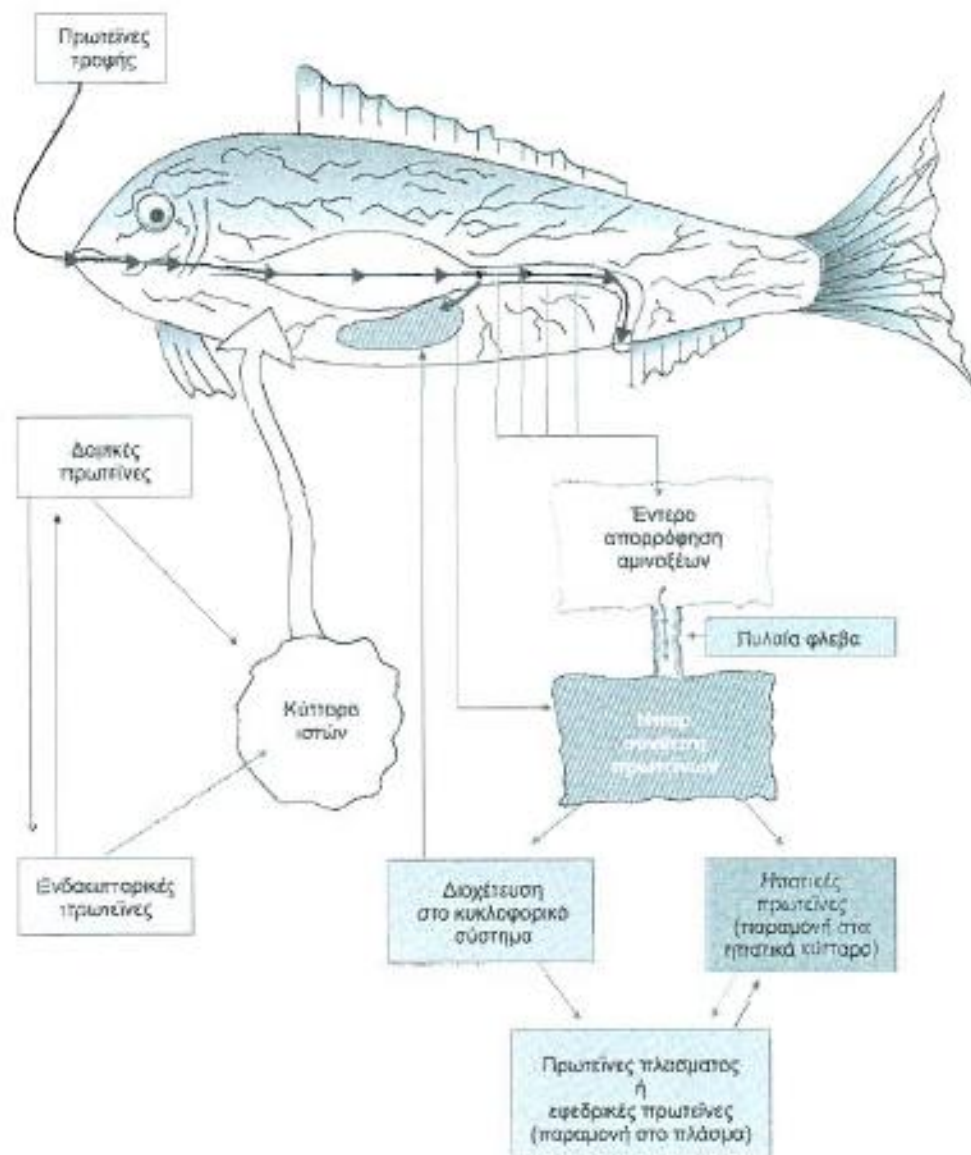
Η χημική πέψη των πρωτεϊνών επιτελείται πρώτα από τα πρωτεολυτικά ένζυμα του στομάχου (πεψίνη) και έπειτα στο έντερο από τα πρωτεολυτικά ένζυμα του παγκρέατος (θρυψίνη, χυμοθρυψίνη) και του επιθηλίου του βλεννογόνου χιτώνα του εντέρου (πεπτιδάσες). Από την πέψη των πρωτεϊνών προκύπτουν τα διάφορα ελεύθερα αμινοξέα και μικρού μοριακού βάρους πεπτίδια που τις συνθέτουν.

Τα ελεύθερα αμινοξέα έπειτα απορροφούνται από τον βλεννογόνο χιτώνα του εντέρου και φέρονται μέσω της πυλαίας φλέβας στο ήπαρ. Στα ηπατικά κύτταρα, τα ελεύθερα αμινοξέα συντίθενται και δομούν πρωτεΐνες (**ηπατικές πρωτεΐνες**), ενώ άλλες αμέσως μετά τη σύνθεση τους διοχετεύονται στο κυκλοφορικό σύστημα και είτε παραμένουν στο αίμα (**πρωτεΐνες του πλάσματος**) είτε καταλήγουν στα κύτταρα των διαφόρων ιστών του σώματος. Στα κύτταρα των ιστών, οι πρωτεΐνες είτε μετέχουν ως δομικά υλικά (**δομικές πρωτεΐνες**), είτε συσσωρεύονται στο ενδοκυτταρικό περιβάλλον (**ενδοκυτταρικές πρωτεΐνες**). Οι ηπατικές πρωτεΐνες λειτουργούν ως αποθήκες αμινοξέων και εφοδιάζουν διαρκώς με αμινοξέα τα κυττάρων των ιστών και των οργάνων, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Επίσης, οι ηπατικές πρωτεΐνες συμμετέχουν στη σύνθεση σύμπλοκων μορίων όπως οι λιποπρωτεΐνες και οι γλυκοπρωτεΐνες. Στο Σχήμα 5.3 δείχνεται η απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση της πορείας των προϊόντων της πέψης των πρωτεϊνών.

Όλες οι παραπάνω πρωτεΐνες, κατόπιν, επανα-ϋδρολύονται (**καταβολισμός πρωτεϊνών - πρωτεϊνόλυση**) και προκύπτουν αμινοξέα τα οποία είτε αποδομούνται κυρίως για την παραγωγή ενέργειας (**καταβολισμός αμινοξέων**), είτε μετέχουν σε διεργασίες για τη σύνθεση νέων πρωτεϊνών στο σώμα (**αναβολισμός πρωτεϊνών και αμινοξέων**).

5.3.1 Καταβολισμός πρωτεϊνών και αμινοξέων

Ο καταβολισμός των πρωτεϊνών είναι μια υδρολυτική διεργασία που επιτελείται συνεχώς στα κύτταρα των ιστών και κυρίως στο μυϊκό ιστό, στο ήπαρ, και στο πλάσμα αίματος. Για την υδρόλυση των πρωτεϊνών δρουν κάποια ενδοκυτταρικά πρωτεολυτικά ένζυμα (καθεψίνες), τα οποία ελέγχονται από ορμόνες του θυρεοειδούς και τα γλυκοκορτικοειδή.



Σχήμα 5.3. Η απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση της πορείας των προϊόντων της πέψης των πρωτεϊνών. (Πηγή: Παπουτσόγλου, 2008)

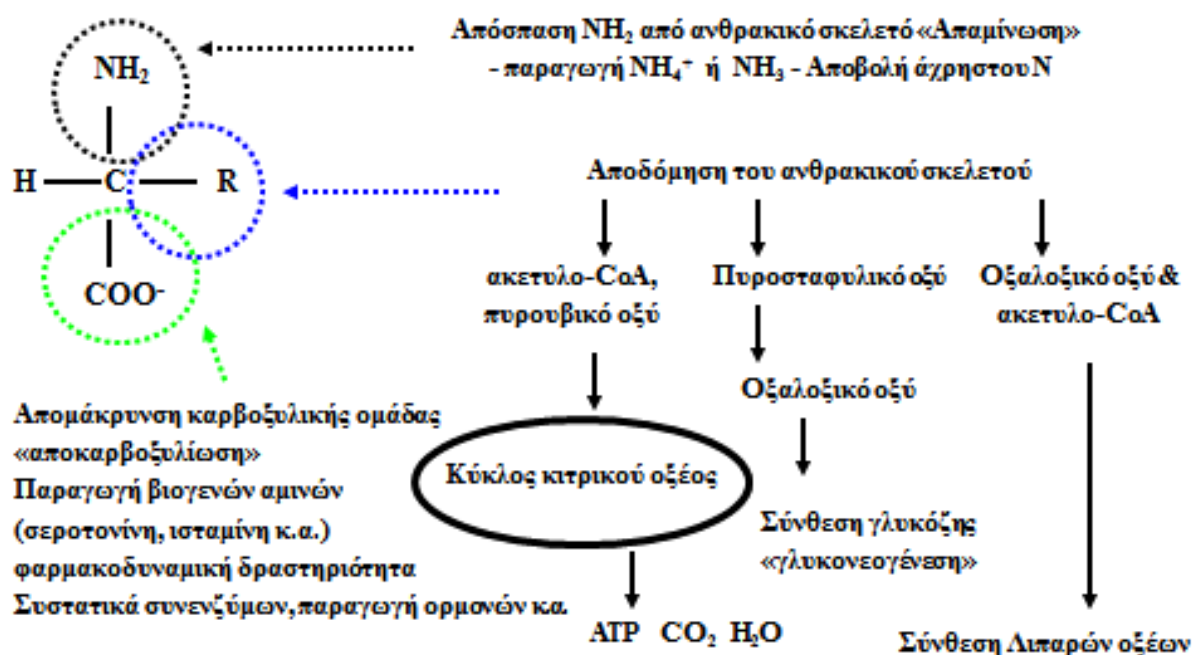
Η αποδόμηση των αμινοξέων (Σχ. 5.4) αποσκοπεί κυρίως στην παραγωγή ενέργειας για τον οργανισμό, αλλά και στη σύνθεση λιπαρών οξέων και γλυκόζης καθώς και στην αποβολή του άχρηστου N. Η αποδόμηση των αμινοξέων περιλαμβάνει:

- Μηχανισμούς απόσπασης των αμινομάδων από τον ανθρακικό σκελετό των αμινοξέων, **«απαμίνωση»**
- Μηχανισμούς αποδομήσεως του ανθρακικού σκελετού τους (παραγωγή ενέργειας μέσω του κύκλου του κιτρικού οξέος)
- Μηχανισμούς συνθέσεως λιπαρών οξέων και γλυκόζης

- Μηχανισμούς απομάκρυνσης της καρβοξυλικής ομάδας, «αποκαρβοξυλίωση», από την οποία προκύπτει παραγωγή βιογενών αμίνων που έχουν φαρμακοδυναμική δραστηριότητα, αποτελούν συστατικά συνενζύμων, παραγωγή ορμονών κ.α.
- Μηχανισμούς αποβολής του άχρηστου N.

Καταβολισμός (αποδόμηση) των αμινοξέων

- Η αποδόμηση των αμινοξέων περιλαμβάνει:



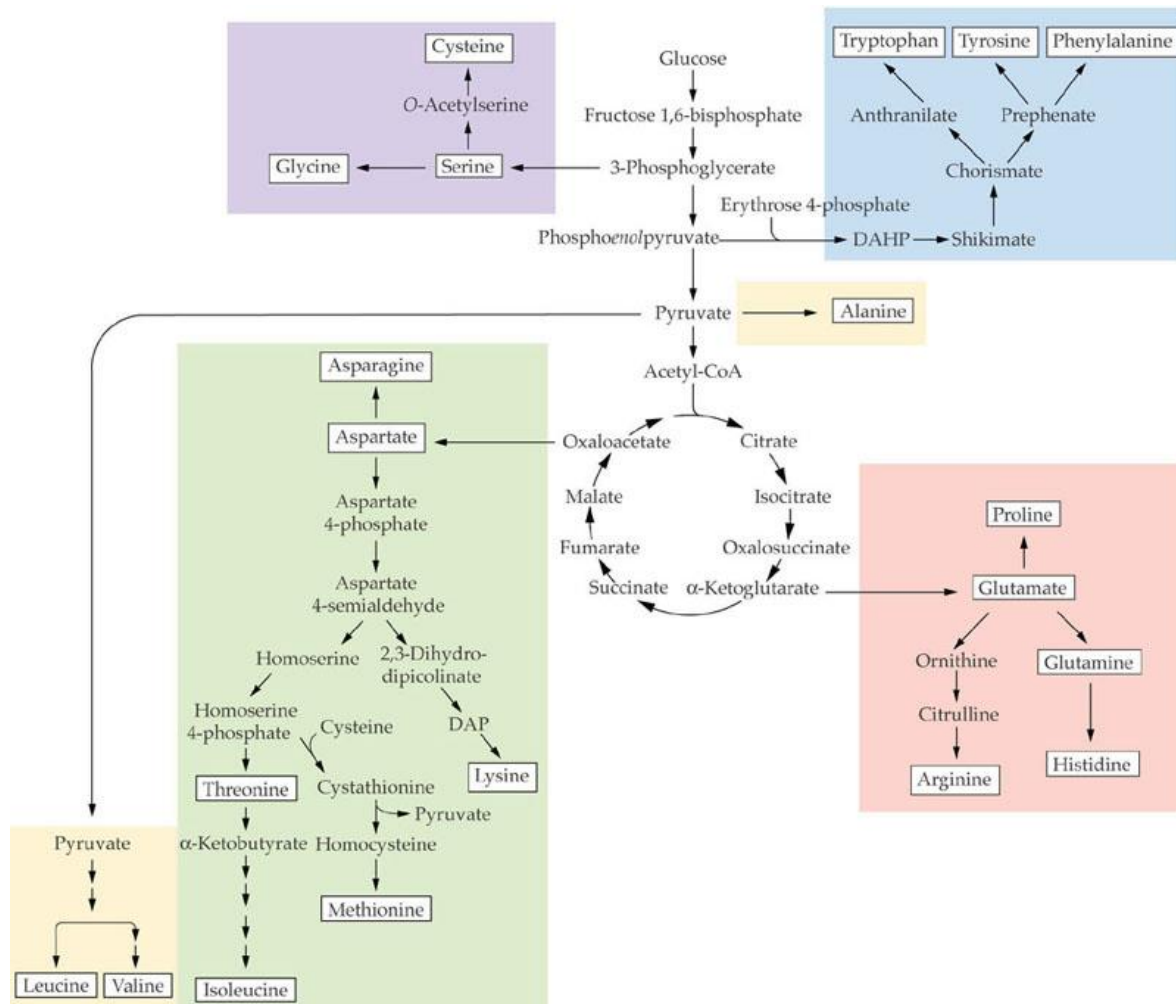
Σχήμα 5.4. Απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση του καταβολισμού των αμινοξέων.

Ο καταβολισμός των πρωτεϊνών και των αμινοξέων ελέγχεται ορμονικά από διάφορες ορμόνες όπως π.χ. αυξητική ορμόνη, ινσουλίνη, θυροειδικές ορμόνες, φυλετικά στεροειδή. Στον ορμονικό αυτό έλεγχο επιδρούν οι διάφορες παράμετροι της διατροφής (χημική σύσταση τροφής, ποσότητα και συχνότητα σίτισης κ.λπ.) και παράγοντες όπως ο γονότυπος, το βιολογικό στάδιο, η φυσιολογική κατάσταση των ψαριών κ.λπ.

5.3.2 Αναβολισμός πρωτεϊνών και αμινοξέων

Ο ζωικός οργανισμός πρέπει να προμηθεύεται τα απαραίτητα αμινοξέα απ' ευθείας από την τροφή του μιας και δεν είναι ικανός να τα συνθέσει ή τα συνθέτει σε ανεπαρκείς όμως ποσότητες που δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες τους. Αντίθετα, τα μη απαραίτητα αμινοξέα ο ζωικός οργανισμός μπορεί να τα βιοσυνθέσει (ενδοσωματική

σύνθεση). Για παράδειγμα, στον κύκλο του κιτρικού οξέος, η αργινίνη παράγεται από 2-κετογλουταρικό οξύ, το ασπαραγινικό οξύ παράγεται από οξαλοξικό οξύ, η σερίνη, η γλυκίνη και η κυστεΐνη παράγονται από φωσφογλυκερίδια κ.λπ. (Σχ. 5.5). Αξίζει να αναφέρουμε ότι τα φυτά και οι μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα βιοσύνθεσης όλων των απαραίτητων αμινοξέων.



Σχήμα 5.5. Ενδογενής σύνθεση αμινοξέων (Πηγή: διαδίκτυο).

Απαραίτητα και μη απαραίτητα αμινοξέα βρίσκονται σε κάθε κύτταρο, σε κάθε ιστό και σε κάθε όργανο του σώματος. Ο οργανισμός χρησιμοποιεί τα αμινοξέα για να συνθέσει νέα πεπτίδια, πολυπεπτίδια και πρωτεΐνες. Η σύνθεση (**πρωτεϊνοσύνθεση**) επιτελείται σε όλα τα κύτταρα όλων των ιστών και των οργάνων του σώματος, διότι κάθε κύτταρο έχει τις δικές του πρωτεϊνικές ανάγκες. Η σύνθεση νέας πρωτεΐνης καθορίζεται και επιτελείται από την έκφραση συγκεκριμένων γονιδίων στο κύτταρο. Ο ρυθμός της πρωτεϊνοσύνθεσης διαφέρει στα διάφορα όργανα & ιστούς των ψαριών και εξαρτάται από το ρυθμό ανάπτυξης του ψαριού.

- Σε περίπτωση θετικού ρυθμού ανάπτυξης του ψαριού, η πρωτεϊνοσύνθεση είναι υψηλότερη στο λευκό μυϊκό ιστό, έπειτα στο μυοκάρδιο > στομάχο > έντερο > βράγχια
- Σε περίπτωση μηδενικού ρυθμού ανάπτυξης του ψαριού, η πρωτεϊνοσύνθεση είναι υψηλότερη κατά σειρά βράγχια > μυοκάρδιο > έντερο > στομάχο > λευκός μυς

5.4. Διαιτητικές απαιτήσεις των υδρόβιων ζωικών οργανισμών σε πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες υπάρχουν σε όλα τα ζωντανά κύτταρα (φυτικά και ζωικά), ως συστατικά των κυττάρων, των ιστών και των οργάνων του σώματος. Άρα, ο οργανισμός πρέπει να εφοδιάζεται διαρκώς με πρωτεΐνες για την ανάπλαση και ανάπτυξη των κυττάρων, των ιστών και των οργάνων του.

Οι πρωτεΐνες θεωρούνται η πιο σημαντική ομάδα θρεπτικών ουσιών στις ιχθυοτροφές, το κόστος των οποίων αποτελεί τουλάχιστον το 50% της συνολικής τιμής μιας ιχθυοτροφής.

Οι διαιτητικές απαιτήσεις των ιχθύων και όλων των υδρόβιων ζωικών οργανισμών σε πρωτεΐνες είναι :

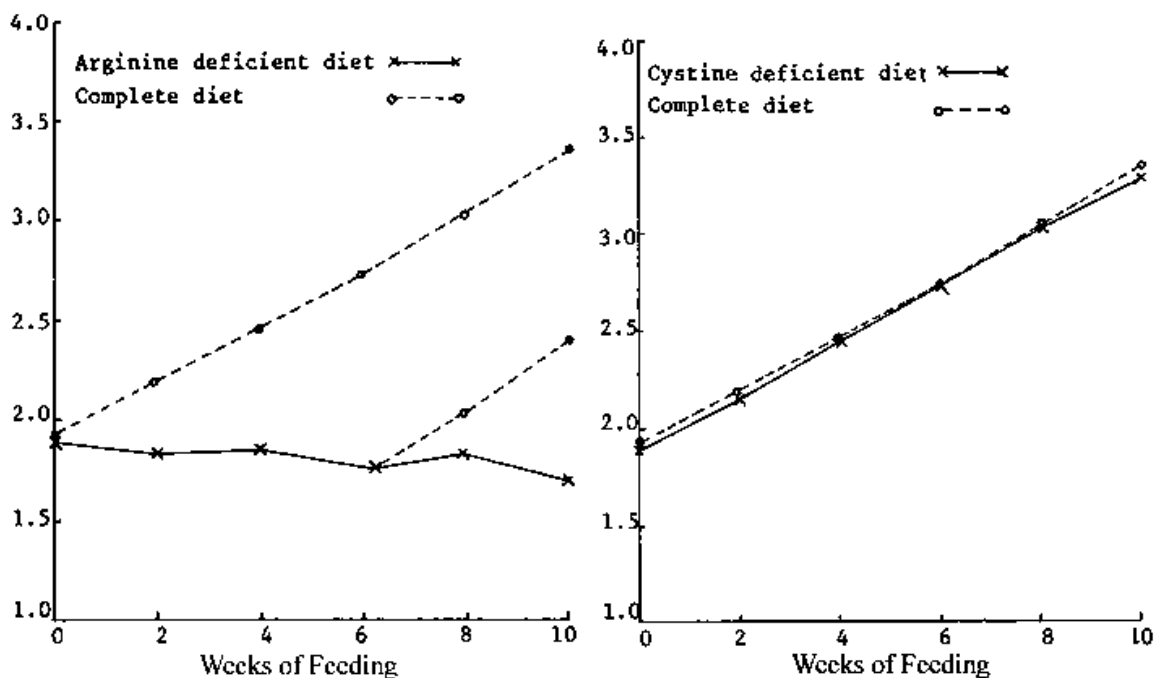
- **Ποιοτικές**, δηλ. απαιτήσεις σε συγκεκριμένα αμινοξέα που πρέπει να περιέχονται στην τροφή τους.
- **Ποσοτικές**, δηλ. απαιτήσεις σε συγκεκριμένα επίπεδα ολικής πρωτεΐνης και αμινοξέων που πρέπει να προσλαμβάνει καθημερινά ο οργανισμός από την τροφή του.

5.4.1. Ποιοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε πρωτεΐνες/αμινοξέα

Στα αρχικά διατροφικά πειράματα των De Long, Halver & Mertz (1957-1959) με το σολομό του Ατλαντικού (*Salmo salar*), την ιριδιζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) και το γατόψαρο (*Silurus glanis*), διαφορετικές ομάδες ψαριών διατράφηκαν με σιτηρέσια που ήταν ελλειμματικά σε ένα από τα εξής αμινοξέα: αργινίνη, ιστιδίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, λυσίνη, μεθειονίνη, φαινυλαλανίνη, θρεονίνη, τρυπτοφάνη ή βαλίνη. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι το σωματικό βάρος των ιχθύων αυτών μειώνονταν με το πέρασμα του χρόνου. Όταν, ωστόσο, τους χορηγούνταν σιτηρέσιο που ήταν πλήρες σε όλα τα παραπάνω αμινοξέα, τότε το σωματικό βάρος των ιχθύων άρχισε να αυξάνεται άμεσα και μάλιστα ο ρυθμός ανάπτυξης ήταν παρόμοιος με εκείνον μιας άλλης ομάδας ιχθύων που εξαρχής διατρέφονταν με πλήρες σιτηρέσιο (Σχ. 5.6). Αντίθετα, όταν διαφορετικές ομάδες ψαριών διατρέφονταν με

σιτηρέσια που ήταν ελλειμματικά σε ένα από τα εξής αμινοξέα: αλανίνη, ασπαραγγίνη, ασπαρτικό οξύ, γλουταμίνη, γλουταμινικό οξύ, γλυκίνη, προλίνη, σερίνη, κυστεΐνη ή τυροσίνη, τότε η ανάπτυξη των ιχθύων ήταν η ίδια με εκείνων που διατράφηκαν εξ αρχής με σιτηρέσια που ήταν πλήρη σε όλα τα παραπάνω αμινοξέα (Σχ. 5.6).

Τα αποτελέσματα αυτών των διατροφικών πειραμάτων ήταν ίδια τόσο για τον σολομό όσο και για την πέστροφα και το γατόψαρο, αλλά και για τα υπόλοιπα είδη ιχθύων που εξετάστηκαν αργότερα και μάλιστα παρόμοια αποτελέσματα δείχθηκαν και σε διατροφικά πειράματα με άλλα αγροτικά ζώα, όπως π.χ. τα κοτόπουλα. Τα αποτελέσματα αυτά οδήγησαν στη διαπίστωση ότι τα δέκα (10) συγκεκριμένα αμινοξέα: **αργινίνη, ιστιδίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, λυσίνη, μεθειονίνη, φαινυλαλανίνη, θρεονίνη, τρυπτοφάνη και βαλίνη** είναι απαραίτητα στη διατροφή όλων των ειδών ιχθύων, όπως εξάλλου και στη διατροφή όλων των ζωικών οργανισμών.



Σχήμα 5.6. Διαγράμματα ανάπτυξης ιχθύων που διατράφηκαν είτε με σιτηρέσια ελλειμματικά σε αργινίνη (arginine deficient) ή κυστεΐνη (cystine deficient) είτε με πλήρη σιτηρέσια (complete diet). (Πηγή: De Long *et al.*, 1957).

Η έλλειψη ενός εκ των απαραίτητων αμινοξέων στη διατροφή υποδηλώνει ότι η σύνθεση συγκεκριμένων πρωτεϊνών στο σώμα παύει να υφίσταται, γεγονός που οδηγεί σε μεταβολική χρησιμοποίηση των σωματικών αποθεμάτων και άρα μείωση της σωματικής μάζας, ενώ η παρατεταμένη έλλειψη οδηγεί σε παθολογίες και θνησιμότητες.

Οι ποιοτικές διαιτητικές απαιτήσεις των ιχθύων σε πρωτεΐνες, λοιπόν, είναι ίδιες για όλα τα είδη και αναφέρονται στις απαιτήσεις τους στα 10 απαραίτητα αμινοξέα, τα οποία δε μπορούν να τα συνθέσουν εκ νέου (*de novo*) και έτσι υποχρεωτικά θα πρέπει να τα προσλάβουν από την τροφή τους. Υπενθυμίζεται ότι, τα μη απαραίτητα αμινοξέα συντίθενται από τον οργανισμό και άρα δεν υπάρχει «διαιτητική απαίτηση» να τα προσλάβει από την τροφή του. Τα ημι-απαραίτητα αμινοξέα συντίθενται από τον οργανισμό από άλλα απαραίτητα και μη απαραίτητα αμινοξέα, αλλά στην περίπτωση που αυτά δε συντίθενται σε επαρκείς ποσότητες (π.χ. περιορισμένη σύνθεση λόγω παθολογικής κατάστασης), τότε προκύπτει διαιτητική απαίτηση.

Αξίζει να διευκρινιστεί ότι ο όρος «μη απαραίτητα αμινοξέα» δεν σημαίνει ότι αυτά τα αμινοξέα δεν είναι αναγκαία για τον οργανισμό. Όλα τα προαναφερθέντα αμινοξέα (στο σύνολο τους 23 που συχνά καλούνται πρωτεϊνογενετικά αμινοξέα) δομούν τις σωματικές πρωτεΐνες των οργανισμών και άρα είναι αναγκαία. Λόγω, ωστόσο, του ότι ο οργανισμός έχει την ικανότητα σύνθεσης των μη απαραίτητων αμινοξέων, δεν υπάρχει καθαρή διαιτητική απαίτηση για αυτά τα αμινοξέα. Όλοι οι υδρόβιοι ζωικοί οργανισμοί, όπως και όλοι οι σπονδυλωτοί ζωικοί οργανισμοί, έχουν τις ίδιες ποιοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε αμινοξέα, που είναι τα 10 απαραίτητα αμινοξέα.

5.4.2 Ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε πρωτεΐνες/αμινοξέα

Ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε ολικές πρωτεΐνες

Οι ιχθύες έχουν καθημερινές ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε πρωτεΐνες για να επιτελέσουν τις διάφορες μεταβολικές τους διεργασίες, όπως:

- **Συντήρηση**

χρησιμοποίηση της πρωτεΐνης της τροφής για την κάλυψη των ενδοσωματικών απωλειών σε πρωτεΐνη που ήδη χρησιμοποιήθηκε ή καταστράφηκε

- **Καταβολισμός**

χρησιμοποίηση της πρωτεΐνης της τροφής ως υπόστρωμα για παραγωγή ενέργειας

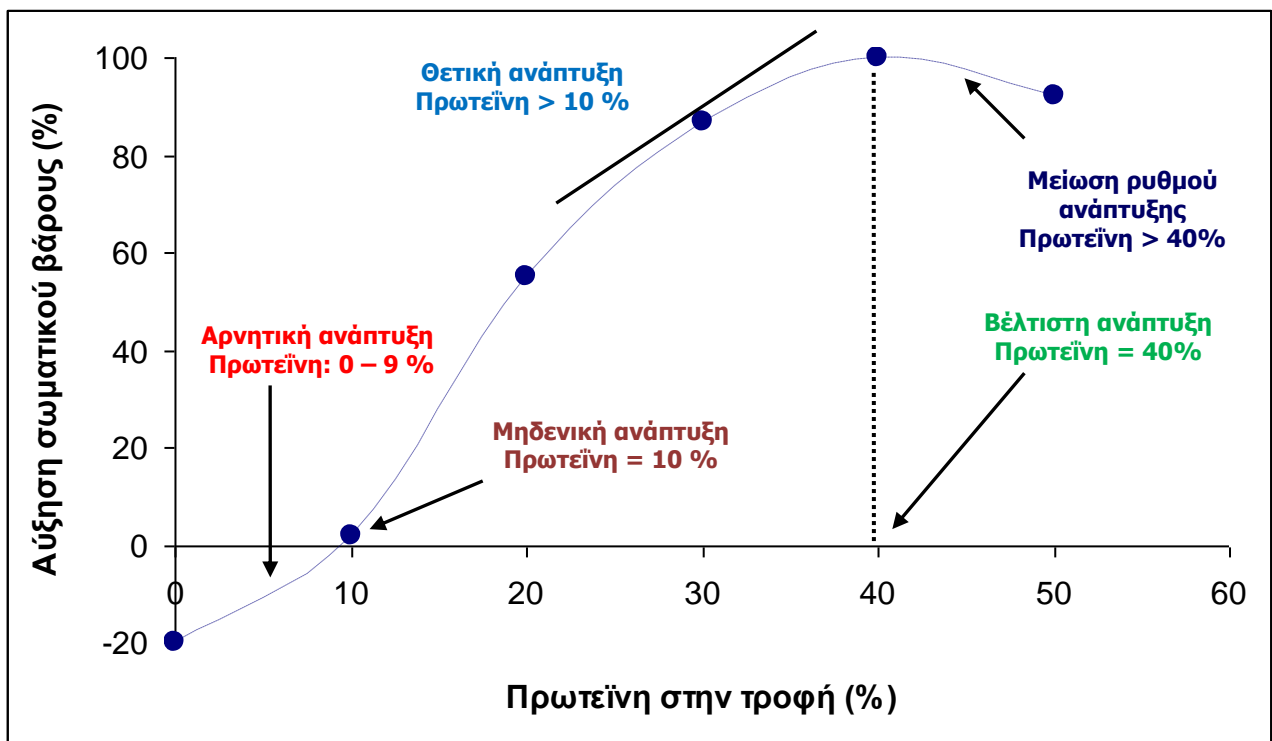
- **Αναβολισμός**

χρησιμοποίηση της πρωτεΐνης της τροφής για σύνθεση νέας σωματικής πρωτεΐνης

Οι ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις των ιχθύων σε πρωτεΐνες αναφέρονται στην ποσότητα των ολικών πρωτεϊνών που πρέπει να έχει η τροφή που τους χορηγείται

καθημερινά, έτσι ώστε αυτή να καλύπτει τις πρωτεϊνικές ανάγκες τους για συντήρηση, για καταβολισμό και παράλληλα να αποδίδουν στο μέγιστο βαθμό τη σύνθεση νέας σωματικής πρωτεΐνης. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να καθοριστεί πόση πρωτεΐνη πρέπει να χορηγηθεί σε έναν ιχθύ ώστε αυτός να αποκτήσει τη μέγιστη σωματική ανάπτυξη.

Οι ποσοτικές απαιτήσεις των ιχθύων σε πρωτεΐνες εκφράζονται συνήθως ως ποσοστό (%) επί της τροφής και έχουν εκτιμηθεί μέσω πειραμάτων καμπύλης δόσης-ανταπόκρισης (dose-response, π.χ. Σχήμα 5.7), ώστε να καθοριστεί η μικρότερη δυνατή ποσότητα πρωτεΐνης που πρέπει να περιέχεται στην τροφή, η οποία θα επιφέρει τη μέγιστη ανάπτυξη στον ιχθύ. Στο παράδειγμα του Σχήματος 5.7, αν το ψάρι σιτίζεται με μία ιχθυοτροφή που περιέχει 10% της ουσίας της σε πρωτεΐνη (δηλ., στα 100 g τροφής τα 10 g είναι πρωτεΐνη), τότε το συγκεκριμένο ψάρι θα έχει μηδενική ανάπτυξη, δηλ. το σωματικό του βάρος ούτε θα μειωθεί ούτε θα αυξηθεί (πρωτεϊνικές απαιτήσεις συντήρησης). Αν η ιχθυοτροφή περιέχει χαμηλότερο από 10% πρωτεΐνη, τότε το ψάρι θα έχει αρνητική ανάπτυξη, δηλαδή το βάρος του θα μειώνεται καθημερινά διότι οι ποσοτικές του απαιτήσεις για συντήρηση είναι υψηλότερες από αυτές που του προσφέρονται μέσω της ιχθυοτροφής του. Αν η ιχθυοτροφή περιέχει 30% πρωτεΐνη, τότε το ψάρι έχει θετική ανάπτυξη (αυξάνει το σωματικό του βάρος).



Σχήμα 5.7. Παράδειγμα δόσης-ανταπόκρισης για τον καθορισμό του βέλτιστου επιπέδου διαιτητικής πρωτεΐνης.

Η μέγιστη ανάπτυξη του, ωστόσο, θα επιτευχθεί αν η ιχθυοτροφή του περιέχει 40% πρωτεΐνη. Η μικρότερη ποσότητα πρωτεΐνης στην τροφή που θα αποδώσει τη μέγιστη ανάπτυξη στο ψάρι ονομάζεται «**βέλτιστο επίπεδο**». Μία ιχθυοτροφή με επίπεδο πρωτεΐνης μεγαλύτερο από το βέλτιστο επίπεδο (π.χ. 50%), εκτός ότι είναι αντιοικονομικό, μπορεί να προσδώσει ανάπτυξη στο ψάρι χαμηλότερη από αυτή του βέλτιστου επιπέδου, διότι το ψάρι θα ξοδέψει περισσότερη ενέργεια για τον καταβολισμό (την απαμίνωση) της περισσευούμενης πρωτεΐνης σε κόστος της ενέργειας που θα χρησιμοποιούνταν για αναβολισμό.

Τα παραπάνω ποσοστά αποτελούν ένα παράδειγμα των ποσοτικών απαιτήσεων των ιχθύων σε ολική πρωτεΐνη στην ιχθυοτροφή τους. Το βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- **Είδος του ιχθύος**

- Το κάθε είδος έχει το δικό του βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης που πρέπει να περιέχει η ιχθυοτροφή του (Πιν. 5.2)
- Στις περισσότερες περιπτώσεις, όσο πιο υψηλό το τροφικό επίπεδο ενός είδους τόσο υψηλότερες οι ανάγκες του σε ολικές πρωτεΐνες. Π.χ. τα σαρκοφάγα είδη έχουν υψηλότερο βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης από ότι τα παμφάγα/χορτοφάγα είδη. Αυτός ο κανόνας, ωστόσο, έχει εξαιρέσεις. Για παράδειγμα, ο χορτοφάγος κυπρίνος (*Ctenopharygodon idella*) και το γαλατόψαρο (*Chanos chanos*) που διατρέφονται χαμηλά στην τροφική αλυσίδα, εν τούτοις οι πρωτεϊνικές τους απαιτήσεις είναι υψηλές (41-43%), ενώ αντίθετα η ιριδιζούσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) που έχει ένα υψηλό τροφικό επίπεδο, το βέλτιστο επίπεδο πρωτεϊνών της είναι σχετικά χαμηλό.

- **Ηλικία – μέγεθος – στάδιο ανάπτυξης του ιχθύος**

Γενικά, τα νεαρά ιχθύδια λόγω του ότι οι ρυθμοί ανάπτυξης τους είναι υψηλότεροι/ταχύτεροι έχουν και υψηλότερες απαιτήσεις σε πρωτεΐνη απ' ότι τα ενήλικα άτομα. Για παράδειγμα, το βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης για νεαρά ιχθύδια τσιπούρας (<2 g σ.β.) είναι 52-60% της τροφής, ενώ για τα ενήλικα άτομα μειώνεται με την αύξηση βάρους στο 43% ή ακόμα χαμηλότερα. Επίσης, οι γεννήτορες γενικά απαιτούν ένα επίπεδο πρωτεΐνης χαμηλότερο μεν από εκείνο των εναρκτήριων σιτηρεσίων, αλλά σαφώς υψηλότερο από ότι εκείνων των εμπορεύσιμων ενήλικων ατόμων, ώστε να αναπτύξουν παράλληλα τις γονάδες και τα προϊόντα αυτών.

Πίνακας 5.2. Χαρακτηριστικά βέλτιστα επίπεδα ολικής πρωτεΐνης σε διάφορα είδη.

Είδος ιχθύος	Διατροφικός τύπος	Πηγή Πρωτεΐνης	Εκτιμώμενες απαιτήσεις (%)
<i>Anguilla anguilla</i>	σαρκοφάγο	Ιχθυάλευρο	40
<i>Dicentrarchus labrax</i>	σαρκοφάγο	Ιχθυάλευρο	50
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	σαρκοφάγο	Καζεΐνη, ζελατίνη	40
<i>Pagrus major</i>	σαρκοφάγο	Καζεΐνη	55
<i>Salmo salar</i>	σαρκοφάγο	Ιχθυάλευρο	55
<i>Sparus aurata</i>	σαρκοφάγο	Καζεΐνη	40
<i>Cyprinus carpio</i>	παμφάγο	Καζεΐνη	31-38
<i>Ictalurus punctatus</i>	παμφάγο	πρωτεΐνη αυγού	32-36
<i>Oreochromis aureus</i>	παμφάγο	καζεΐνη, αλβουμίνη	34
<i>Oreochromis niloticus</i>	παμφάγο	Καζεΐνη	30
<i>Ctenopharygodon idella</i>	φυτοφάγο	Καζεΐνη	41-43
<i>Carassius auratus</i>	φυτοφάγο	Ιχθυάλευρο	29

Πηγή: Τροποποιημένα δεδομένα από Καρακατσούλη Ν. (2015).

Πίνακας 5.3. Βέλτιστα επίπεδα ολικής πρωτεΐνης διαφόρων ειδών ανά φυσιολογικό στάδιο.

Είδος	Βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης (%)		
	νεαρό ιχθύδιο	ενήλικο άτομο	γεννήτορας
<i>Sparus aurata</i>	52 - 60	43 - 52	46 - 48
<i>Dicentrarchus labrax</i>	50 - 58	43 - 50	48 - 50
<i>Onchorhynchus mykiss</i>	52 - 58	38 - 46	46 - 50
<i>Salmo salar</i>	45 - 50	40 - 45	45
<i>Anguilla anguilla</i>	50 - 52	49 - 51	---
<i>Cyprinus carpio</i>	43 - 47	28 - 38	35 - 45
<i>Oreochromis niloticus</i>	40	30 - 32	35

- **Την ολική ενέργεια και την αναλογία πρωτεΐνης:ενέργειας στην τροφή**

Το βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης επηρεάζεται από το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο της τροφής και από την αναλογία πρωτεΐνης:ενέργειας (Π/Ε) στην τροφή. Η ολική ενέργεια μιας τροφής εξαρτάται από την περιεκτικότητα της σε πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες, ο καταβολισμός των οποίων αποδίδει μεταβολική ενέργεια στον ιχθύ. Αν η ολική ενέργεια που περιέχεται σε μια τροφή είναι χαμηλή, τότε αναπόφευκτα μία ποσότητα της πρωτεΐνης της

τροφής θα καταβολιστεί για την παραγωγή μεταβολικής ενέργειας με σκοπό την επιτέλεση των διαφόρων λειτουργιών του οργανισμού. Έτσι, σε ιχθυοτροφές με χαμηλή ενέργεια (δηλαδή υψηλή αναλογία Π/Ε) απαιτείται περισσότερη ποσότητα πρωτεΐνης ώστε να αναβολιστεί μια ικανή ποσότητα της σε μυϊκή μάζα και να προσδώσει τη μέγιστη ανάπτυξη στον ιχθύ. Από την άλλη, αν η ολική ενέργεια της τροφής είναι υψηλή (δηλαδή χαμηλή αναλογία Π/Ε), τότε ένα μικρότερο ποσό πρωτεΐνης της τροφής θα καταβολιστεί για παραγωγή ενέργειας και ένα μεγαλύτερο ποσό θα αναβολιστεί για σωματική ανάπτυξη. Με άλλα λόγια, όσο μικρότερη είναι η αναλογία Π/Ε στην τροφή τόσο χαμηλότερο είναι το βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης.

Τα υψηλά επίπεδα ολικής ενέργειας στην τροφή (δηλ., χαμηλή αναλογία Π/Ε) μπορούν να επιτευχθούν μέσω συγχορήγησης στην τροφή υψηλών επιπέδων λίπους και όχι υψηλών επιπέδων υδατανθράκων, μιας και οι ιχθύες είναι ικανοί να πέπτουν και να αξιοποιούν τα πρώτα, αλλά έχουν περιορισμένη ικανότητα χρησιμοποίησης των δευτέρων. Το φαινόμενο αυτό συχνά καλείται «εξοικονόμηση πρωτεΐνης», και στη διεθνή βιβλιογραφία ως «protein sparing effect». Η εξοικονόμηση πρωτεϊνών με χρήση λίπους έχει οδηγήσει σε παραγωγή σύγχρονων ιχθυοτροφών με αρκετά υψηλά επίπεδα λίπους και πολύ χαμηλότερα επίπεδα πρωτεΐνης από ότι χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν.

- **Την πεπτικότητα της πρωτεΐνης της τροφής**

Η ποσότητα της πρωτεΐνης μιας τροφής δεν αξιοποιείται εξ' ολοκλήρου από τον οργανισμό. Ο βαθμός της πεπτικότητας μιας πρωτεΐνης καθορίζει την πραγματική ποσότητα αυτής που θα χρησιμοποιηθεί για αναβολικούς και καταβολικούς σκοπούς από τον οργανισμό. Οι διάφορες πρώτες ύλες μιας ιχθυοτροφής έχουν διαφορετικό βαθμό πεπτικότητας. Για παράδειγμα, η πρωτεΐνη των ιχθυαλεύρων πέπτεται σε υψηλότερο βαθμό από ότι η πρωτεΐνη των φυτικών αλεύρων (π.χ. σογιαλεύρου). Αυτό σημαίνει ότι αν η πεπτικότητα της πρωτεΐνης μιας τροφής είναι χαμηλότερη από την πεπτικότητα μιας άλλης, τότε θα απαιτηθεί περισσότερη πρωτεΐνη στην πρώτη τροφή συγκριτικά με τη δεύτερη ώστε να καλύψει τις πρωτεϊνικές ανάγκες των ιχθύων. Με άλλα λόγια, το βέλτιστο επίπεδο πρωτεΐνης είναι υψηλότερο όταν χρησιμοποιείται μια λιγότερο εύπεπτη πρωτεΐνη στην τροφή. Για το λόγο αυτό, στα διατροφικά πειράματα δόσης-ανταπόκρισης με σκοπό τον καθορισμό των βέλτιστων επιπέδων, έχει μεγάλη σημασία να γνωρίζει κανείς την κύρια πηγή και το βαθμό της πεπτικότητας της πρωτεΐνης που χρησιμοποιήθηκε (Πιν. 5.2). Αξίζει, ωστόσο, να αναφερθεί ότι στη σύγχρονη τεχνολογία ιχθυοτροφών, οι πρώτες ύλες που θα

αποτελέσουν πρωτεϊνικές πηγές στην τροφή επιλέγονται με γνώμονα την υψηλή πεπτικότητα τους.

Ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε απαραίτητα αμινοξέα

Ο όρος «απαίτηση πρωτεϊνών» στην ουσία δεν είναι δόκιμος, μιας και οι ιχθύες όπως και όλοι οι ζωικοί οργανισμοί δεν έχουν πραγματική απαίτηση σε πρωτεΐνες. Ωστόσο, έχουν πραγματικές διαιτητικές απαιτήσεις σε αμινοξέα που δομούν τις πρωτεΐνες, και συγκεκριμένα στα απαραίτητα αμινοξέα που αδυνατούν να συνθέσουν. Παρ' όλα αυτά, όπως προαναφέρθηκε, ο όρος «πρωτεϊνικές απαιτήσεις» αναφέρεται στην ελάχιστη ποσότητα πρωτεΐνης που απαιτείται να υπάρχει στην τροφή ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των ιχθύων σε αμινοξέα αποδίδοντας ταυτόχρονα τη μέγιστη ανάπτυξη.

Οι ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε απαραίτητα αμινοξέα διαφέρουν για κάθε είδος ιχθύος, αλλά οριακά. Γενικά, οι φαινυλαλανίνη, λυσίνη και αργινίνη αποτελούν τα αμινοξέα που απαιτούνται σε υψηλότερα ποσοστά, ακολουθούμενα από τη λευκίνη, θρεονίνη, βαλίνη, μεθειονίνη και ισολευκίνη, ενώ τα αμινοξέα που απαιτούνται σε μικρότερες ποσότητες είναι η ιστιδίνη και η τρυπτοφάνη (Πιν. 5.4)

Από τα δεδομένα του Πίνακα 5.4 φαίνεται ότι το άθροισμα των ποσοστών των απαραίτητων αμινοξέων (ΑΑ) που απαιτούνται από ένα είδος είναι αρκετά χαμηλότερο από το ποσοστό της ολικής πρωτεΐνης που απαιτείται στην τροφή. Για παράδειγμα, το άθροισμα των ΑΑ της τσιπούρας είναι 14,5-18%, ενώ η ολική πρωτεΐνη που απαιτεί το είδος είναι 45-60%, αναλόγως το στάδιο ανάπτυξης της. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι διαιτητικές πρωτεΐνες δεν χρησιμοποιούνται μόνο για την παροχή των ΑΑ στον οργανισμό αλλά και ως πηγή μεταβολικής ενέργειας και για τις γενικότερες ανάγκες του πρωτεϊνικού μεταβολισμού (αναβολισμός, καταβολισμός, σύνθεση ορμονών, ενζύμων κ.λπ.).

Πίνακας 5.4. Εκτιμηθείσες απαιτήσεις (ως % της τροφής) απαραίτητων αμινοξέων (AA) διαφόρων ειδών. Τροποποιημένα δεδομένα από NRC (1993), Παπουτσόγλου (2008), FAO.

	<i>S. aurata</i>	<i>D. labrax</i>	<i>O. mykiss</i>	<i>O. keta</i>	<i>A. japonica</i>	<i>C. carpio</i>	<i>I. punctatus</i>	<i>O. niloticus</i>
Αργινίνη	2,5-2,8	2,1	1,2-2,0	2,6	1,7	1,6	1,0	1,2
Ιστιδίνη	0,9-1,0	0,7	0,6-0,7	0,7	0,8	0,8	0,4	0,5
Ισολευκίνη	1,2-1,5	1,2	0,8-1,0	1,0	1,5	0,9	0,6	0,9
Λευκίνη	2,1-2,7	1,9	1,4-1,8	1,5	2,0	1,3	0,8	0,9
Λυσίνη	2,3-3,0	2,2	1,3-2,9	1,9	2,0	2,2	1,2	1,4
Μεθειονίνη	1,2-1,4	1,1	1,1-1,4	1,2	1,2	1,2	0,6	0,8
Φαινυλαλανίνη	1,3-1,7	1,2	1,8-2,0	2,5	2,2	2,5	1,2	1,0
Θρεονίνη	1,3-1,6	1,2	0,8-1,4	1,2	1,5	1,5	0,5	1,0
Τρυπτοφάνη	0,3-0,4	0,3	0,2-0,6	0,3	0,4	0,3	0,12	0,3
Βαλίνη	1,4-1,8	1,3	1,3-1,7	1,2	1,5	1,4	0,71	0,8
Σύνολο AA	14,5-18	12,7	10,5-15,5	14,1	14,8	13,7	7,1	8,8
Πρωτεΐνη τροφής	45-60	45	42-58	40,0	38,0	38,5	24,0	28,0
AA(%πρωτ.τροφής)	30-32,2	28,2	25-26,7	35,3	38,9	35,6	29,7	31,5

Οι ποσοτικές διαιτητικές απαιτήσεις σε AA ενός είδους διαφέρουν ανάλογα την/το ηλικία/στάδιο ανάπτυξης τους. Ως γενικός κανόνας, τα νεαρότερα άτομα έχουν υψηλότερες ποσοτικές απαιτήσεις σε AA από ότι τα ενήλικα άτομα του ίδιου είδους, αν και οι διαφορές είναι ελάχιστες. Για παράδειγμα, τα ιχθύδια τσιπούρας με σωματικό βάρος μικρότερο του 1 g απαιτούν αργινίνη σε ποσοστό 2,8% της τροφής, ενώ τα ενήλικα άτομα και οι γεννήτορες απαιτούν αργινίνη σε ποσοστό 2,5% (Πίν. 5.5).

Πίνακας 5.5. Εκτιμηθείσες απαιτήσεις (ως % της τροφής) απαραίτητων αμινοξέων της τσιπούρας (*S. aurata*) αναλόγως το στάδιο ανάπτυξης. Τροποποιημένα δεδομένα FAO.

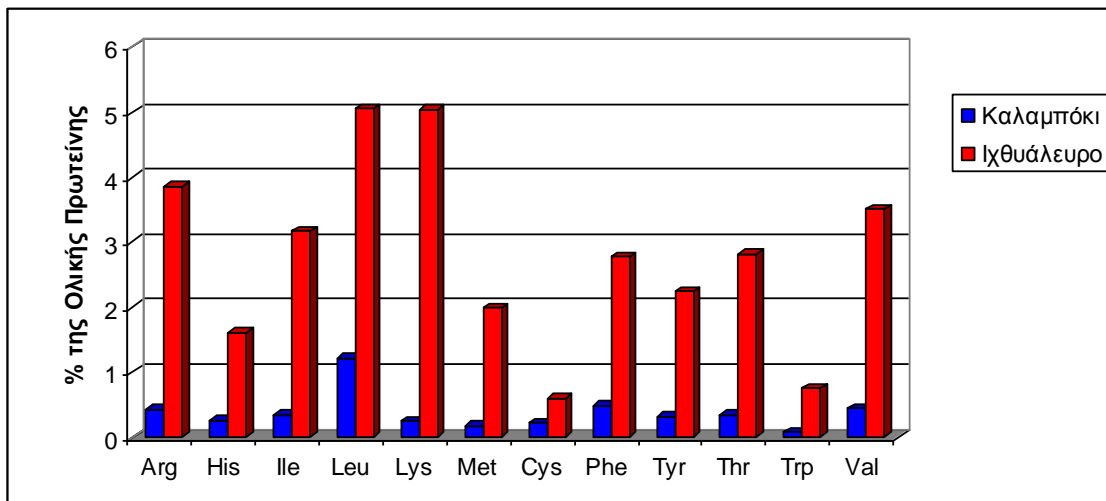
	<u>ιχθύδιο</u>	<u>ενήλικο</u>	<u>γεννήτορας</u>
	(< 1g Σ.Β)		
Αργινίνη	2,8	2,5	2,5
Ιστιδίνη	1,0	0,9	0,9
Ισολευκίνη	1,5	1,2	1,2
Λευκίνη	2,7	2,1	2,1
Λυσίνη	3,0	2,3	2,3
Μεθειονίνη	1,4	1,2	1,2
Φαινυλαλανίνη	1,7	1,3	1,3
Θρεονίνη	1,6	1,3	1,3
Τρυπτοφάνη	0,4	0,3	0,3
Βαλίνη	1,8	1,4	1,4
Πρωτεΐνη τροφής (%)	55-60	45-50	45-50

Ωστόσο, οι γνώσεις μας σχετικά με τις ποσοτικές απαιτήσεις σε AA στα διάφορα στάδια ανάπτυξης των διαφόρων εκτρεφόμενων ειδών είναι περιορισμένες. Οι περισσότερες έρευνες αφορούν τα νεαρά στάδια των ειδών, και μιας και οι ποσοτικές απαιτήσεις

διαφοροποιούνται ελάχιστα στα άλλα στάδια, η συνήθης πρακτική κατά τον καταρτισμό των σιτηρεσιών κύριας εκτροφής είναι η ικανοποίηση των ΑΑ απαιτήσεων των ενήλικων ατόμων βάσει των γνώσεων που υπάρχουν για τα νεαρά στάδια.

Οριακό αμινοξύ

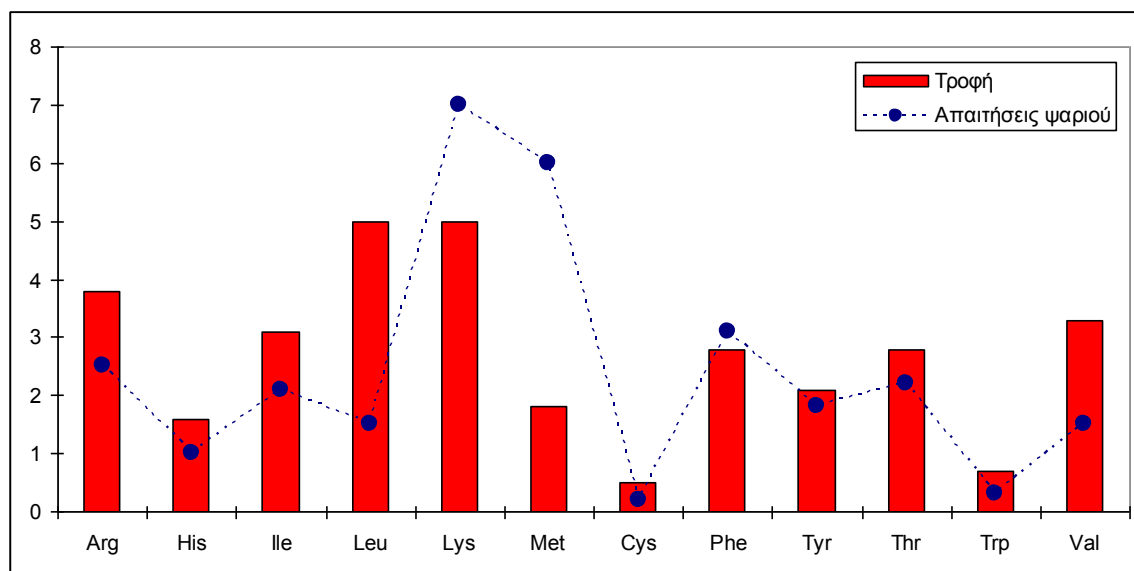
Τα διάφορα συστατικά-πρώτες ύλες που καταρτίζουν μια ιχθυοτροφή περιέχουν διαφορετικά επίπεδα απαραίτητων αμινοξέων (ΑΑ). Όπως για παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 5.8, το ιχθυάλευρο περιέχει σε πολύ υψηλότερα επίπεδα τα 10 ΑΑ συγκριτικά με το καλαμπόκι. Αυτό σημαίνει ότι η πρωτεΐνη του ιχθυαλεύρου είναι υψηλότερης διατροφικής αξίας από ότι αυτή του καλαμποκιού, με αποτέλεσμα το ιχθυάλευρο να μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των ιχθύων σε ΑΑ σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι το καλαμπόκι.



Σχήμα 5.8. Χαρακτηριστικά επίπεδα των απαραίτητων αμινοξέων στο ιχθυάλευρο και στο καλαμπόκι.

Ωστόσο, αν κάποιο από τα ΑΑ μιας ιχθυοτροφής (ενός σιτηρεσιού) περιέχεται σε ποσότητα μικρότερη από εκείνη που απαιτεί ο ιχθύς, τότε η ανάπτυξη του ιχθύος περιορίζεται, ανεξαρτήτως αν η τροφή αυτή περιέχει τα άλλα ΑΑ σε επαρκείς ποσότητες. Αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο αμινοξύ είναι περιοριστικός παράγοντας, περιορίζοντας την ανάπτυξη του ιχθύος μέσω της ελλειπούς διαθεσιμότητάς του. Στην περίπτωση αυτή, όλα τα υπόλοιπα αμινοξέα δεν θα συνθέσουν πρωτεΐνες και αναπόφευκτα θα καταβολιστούν-σπαταληθούν. Το αμινοξύ αυτό ονομάζεται «**οριακό αμινοξύ**» και είναι αυτό που καθορίζει την αξιοποίηση της συνολικής πρωτεΐνης – όλων των ΑΑ – μιας τροφής από τον ιχθύ.

Στο παράδειγμα του Σχήματος 5.9, η ιχθυοτροφή ικανοποιεί τις ποσοτικές απαιτήσεις του ιχθύος σε αργινίνη, ιστιδίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, κυστίνη, τυροσίνη, θρεονίνη, τρυπτοφάνη και βαλίνη, αλλά οι απαιτήσεις του σε λυσίνη, μεθειονίνη και φαινυλαλανίνη δεν ικανοποιούνται. Τα τρία τελευταία αυτά ΑΑ αποτελούν όλα οριακά αμινοξέα. Ωστόσο, η έλλειψη της τροφής σε μεθειονίνη είναι μεγαλύτερη από τις ελλείψεις σε λυσίνη και φαινυλαλανίνη, διότι η μεθειονίνη ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ιχθύος σε χαμηλότερο βαθμό από τα άλλα δύο οριακά αμινοξέα. Το πλέον ελλειμματικό ΑΑ στην τροφή καλείται «**πρώτο οριακό αμινοξύ**» που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η μεθειονίνη, και ομοίως το 2ο στη σειρά ελλειμματικότητας καλείται 2^ο οριακό αμινοξύ, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η λυσίνη, και 3^ο οριακό αμινοξύ είναι η φαινυλαλανίνη. Τα υπόλοιπα ΑΑ της τροφής καλύπτουν τις απαιτήσεις του ιχθύος και άρα δεν αποτελούν οριακά αμινοξέα. Η ποσότητα, λοιπόν, του 1^{ου} οριακού αμινοξέος καθορίζει το ποσοστό χρησιμοποίησης όλων των άλλων αμινοξέων της τροφής για τη σύνθεση νέας σωματικής πρωτεΐνης.



Σχήμα 5.9. Σχηματική αναπαράσταση οριακών αμινοξέων σε τροφή. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν ποσοστά (%).

Τα επίπεδα των ΑΑ διαφέρουν κατά πολύ στις διάφορες πηγές πρωτεϊνών και κάθε πηγή πρωτεΐνης έχει μια χαρακτηριστική σύσταση σε αμινοξέα. Οπότε, θεωρητικά, η ιδανική πηγή πρωτεΐνης για έναν οργανισμό είναι εκείνη που περιέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα στις ποσότητες που απαιτεί ο οργανισμός. **Κατά τον καταρτισμό του σιτηρεσίου ενός εκτρεφόμενου είδους, αποδίδεται πρωταρχική σημασία στην επιλογή των συστατικών-πρώτων υλών της τροφής, ώστε τα επίπεδα των ΑΑ της τροφής να ικανοποιούν επακριβώς τις διατροφικές απαιτήσεις σε ΑΑ των ιχθύων και να μην υπάρχει κάποιο**

οριακό αμινοξύ. Όταν η σύνθεση (καταρτισμός) του σιτηρεσίου, ωστόσο, δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε ΑΑ των ιχθύων, προστίθενται συνθετικά συμπληρώματα ΑΑ όπως π.χ. D-L-μεθειονίνη, L-λυσίνη κ.λπ., αυξάνοντας όμως έτσι το κόστος τους, ενώ παράλληλα και η απορροφησιμότητα των συνθετικών ΑΑ από το σώμα των ιχθύων θεωρείται χαμηλότερη από εκείνη των ΑΑ στη φυσική τους μορφή. Κάποιες πηγές πρωτεΐνης, όπως οι φυτικές πρωτεΐνες, είναι ελλειπείς σε ένα ή περισσότερα απαραίτητα αμινοξέα συγκριτικά με τις ανάγκες των εκτρεφόμενων ιχθύων. Αντιθέτως, τα ιχθυάλευρα αποτελούν την ιδανική πηγή πρωτεΐνης διότι περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα στις επιθυμητές ποσότητες που ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις των ιχθύων. Στις περιπτώσεις που τα ιχθυάλευρα των ιχθυοτροφών αντικαθίστανται από εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης, όπως π.χ. φυτικές, τότε τα επίπεδα των απαραίτητων αμινοξέων στην τροφή είναι μειωμένα και θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τον καταρτισμό των σιτηρεσίων ώστε το τελικό μίγμα της τροφής να είναι ισορροπημένο. Συχνά, αυτό είναι εφικτό μέσω της προσθήκης συνθετικών αμινοξέων, όπως προαναφέρθηκε. Αξίζει, επίσης, να αναφερθεί ότι τα επίπεδα των ΑΑ σε μια τροφή δε σημαίνει ότι είναι και εξ' ολοκλήρου διαθέσιμα για τον ιχθύ μιας και η πεπτικότητα τους ποικίλλει.

5.5 Πεπτικότητα της πρωτεϊνών

Γενικά, όλες οι τροφές χαρακτηρίζονται από ένα πεπτό μέρος, το οποίο απορροφάται από τον οργανισμό, και ένα άπεπτο μέρος, το οποίο απεκκρίνεται μέσω των κοπράνων. Ως αποτέλεσμα, η θρεπτική αξία μιας τροφής δεν εξαρτάται μόνο από την περιεκτικότητα αυτής σε θρεπτικά συστατικά, αλλά παράλληλα και από την ικανότητα του οργανισμού να την πέπτει και να την απορροφά. Στη διατροφή των ιχθύων και των καρκινοειδών, όπως και γενικότερα όλων των παραγωγικών ζώων, ο υπολογισμός της πεπτικότητας μιας τροφής αποσκοπεί στο να εκτιμήσουμε το βαθμό χρησιμοποίησης των θρεπτικών συστατικών αυτής από τον οργανισμό, και άρα την θρεπτική της αξία, καθώς και την ποσότητα των απεκκριμάτων που θα αποβληθούν στο υδάτινο περιβάλλον, και άρα την περιβαλλοντική της επίπτωση.

Τα πεπτό μέρος μιας τροφής αποτελείται από τις πρωτεΐνες και τα αμινοξέα που τις δομούν, τα λιπίδια και τα λιπαρά οξέα που τα δομούν, καθώς και τους υδατάνθρακες αυτής. Η πεπτικότητα εκφράζεται ως ποσοστό (%) και συνήθως υπολογίζεται για κάθε ένα θρεπτικό συστατικό (είτε πρωτεϊνών, είτε λιπιδίων, είτε υδατανθράκων) παρά για την τροφή συνολικά και δίνεται από τη σχέση:

Πεπτικότητα θρεπτικού συστατικού (%) =

$100 \times (\text{ποσότητα θρεπτικού που καταναλώθηκε} - \text{ποσότητα θρεπτικού που απεκκρίθηκε}) / (\text{ποσότητα θρεπτικού που καταναλώθηκε})$

Φαινόμενη και αληθής πεπτικότητα

Στην πραγματικότητα, τα απεκκρίματα του οργανισμού δεν περιέχουν μόνο το μη απορροφήσιμο μέρος της τροφής, αλλά επιπρόσθετα κάποιες ενδογενείς ουσίες που προέρχονται από τη διάβρωση/καταστροφή των επιθηλιακών κυττάρων του εντερικού σωλήνα, βλέννα, εκκρίσεις ενζύμων, προϊόντα ζύμωσης της εντερικής μικροχλωρίδας κ.λπ. Οπότε, η παραπάνω σχέση υπολογισμού της πεπτικότητας στην ουσία αναφέρεται στη «**φαινόμενη πεπτικότητα**» ενός θρεπτικού συστατικού, ενώ αν στη σχέση συνυπολογιστούν και οι ενδογενείς απώλειες τότε μόνο καθορίζεται η «**αληθής πεπτικότητα**». Στην πράξη, βέβαια, είναι πολύπλοκο να υπολογιστεί η αληθής πεπτικότητα ενός θρεπτικού συστατικού και συχνά αναφερόμαστε μόνο στη φαινόμενη πεπτικότητα.

Η πεπτικότητα μιας τροφής ή ενός θρεπτικού συστατικού μιας τροφής επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες που αναφέρονται τόσο στον ίδιο τον οργανισμό όσο και στη χορηγούμενη τροφή σε αυτόν.

Παράγοντες που οφείλονται στον οργανισμό:

- Είδος (διαφορετικά είδη επιδεικνύουν και διαφορετική ικανότητα πέψης. Για παράδειγμα, τα φυτοφάγα είδη ιχθύων πέπτουν σε μεγαλύτερο βαθμό τους υδατάνθρακες της τροφής από ότι τα σαρκοφάγα είδη)
- Ατομικότητα (τα διάφορα άτομα του πληθυσμού ενός είδους ενδέχεται να παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις στην ικανότητα πέψης)
- Ηλικία (τα νεαρότερα άτομα πέπτουν λιγότερο αποδοτικά μια τροφή συγκριτικά με τα ενήλικα του ίδιου είδους, μιας και η έκκριση πεπτικών ενζύμων τους είναι μικρότερη)
- Προσαρμοστικότητα διατροφής (η αλλαγή τροφής ή αλλαγές στη σύσταση της τροφής συχνά μειώνουν την πεπτικότητα και για αυτό κάθε νέα τροφή θα πρέπει να χορηγείται σταδιακά και συγχρηγούμενη με την προηγούμενη για ένα χρονικό διάστημα)

Παράγοντες που οφείλονται στην τροφή:

- Η ποσότητα της χορηγηθείσας τροφής (όσο αυξάνεται η ποσότητα τροφής που χορηγείται στον οργανισμό τόσο ο χρόνος διέλευσης από τον πεπτικό σωλήνα είναι ταχύτερος και άρα η πεπτικότητα των τροφών μειώνεται)
- Η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες και κυρίως πολυσακχαρίτες και ινώδεις ουσίες (όσο περισσότεροι τόσο μειωμένη η συνολική πεπτικότητα της τροφής αλλά και η πεπτικότητα των πρωτεϊνών και των λιπιδίων της τροφής)
- Η επεξεργασία της τροφής (διαδικασίες όπως άλεση, σύμψηξη, άτμιση, θερμική επεξεργασία κ.α. των πρώτων υλών μιας τροφής βοηθούν την πέψη)
- Απουσία ή παρουσία αντι-διατροφικών ουσιών (διάφορες ουσίες που περιέχονται σε πρώτες ύλες, όπως π.χ. φυτικό οξύ στο σογιάλευρο, μειώνουν την πεπτικότητα της τροφής. Η ενσωμάτωση συγκεκριμένων ενζύμων στην τροφή με σκοπό την αδρανοποίηση των αντι-διατροφικών ουσιών βοηθά την πέψη).

Η πεπτικότητα μιας τροφής, λοιπόν, προσδιορίζεται από την πεπτικότητα των επί μέρους θρεπτικών συστατικών της και μιας και η πρωτεΐνη αποτελεί το σημαντικότερο, αφθονότερο και πιο δαπανηρό τμήμα μιας τροφής ο υπολογισμός της πεπτικότητας μιας τροφής επικεντρώνεται στον υπολογισμό της πεπτικότητας της περιεχόμενης πρωτεΐνης της. Οι διάφορες πηγές πρωτεΐνης μιας τροφής έχουν, λοιπόν, διαφορετική πεπτικότητα. Οι ζωικές πρωτεΐνες είναι πιο εύπεπτες από τις φυτικές πρωτεΐνες για τα ψάρια (π.χ. το ιχθυάλευρο είναι πιο εύπεπτο από το σογιάλευρο). Στη βιομηχανία παρασκευής ιχθυοτροφών επιλέγονται πρώτες ύλες που θα χρησιμοποιηθούν ως πηγές πρωτεΐνης με γνώμονα όχι μόνο την περιεκτικότητα τους σε ολικές πρωτεΐνες και απαραίτητα αμινοξέα αλλά ταυτόχρονα με υψηλή πεπτικότητα πρωτεΐνης και αμινοξέων.

5.6 Μέτρηση της θρεπτικής αξίας των πρωτεϊνών

Στη διατροφή των ιχθύων και καρκτινοειδών, όπως και γενικότερα στη διατροφή των αγροτικών παραγωγικών ζώων, χρησιμοποιούνται διάφοροι συντελεστές ώστε να χαρακτηρίσουν την «ποιότητα» ή την «αξία» μιας πρωτεΐνης. Έτσι, χρησιμοποιούνται συντελεστές όπως «χημικός βαθμός», «βιολογική αξία», «καθαρή χρησιμοποίηση πρωτεΐνης», «δείκτης αποδοτικότητας πρωτεΐνης» κ.α. Οι συντελεστές αυτοί είναι σημαντικοί να υπολογίζονται διότι μέσω αυτών εκτιμάται η θρεπτική αξία μιας τροφής και ο βαθμός της αποτελεσματικότητας της τόσο στο ρυθμό ανάπτυξης των οργανισμών όσο και στην δόμηση πρωτεϊνών στο σώμα.

Κάποιοι από αυτούς τους δείκτες είναι οι εξής:

- Χημικός βαθμός (Chemical Score, CS)

$$CS (\%) = 100 \times (\% \text{ του αμινοξέος στην εξεταζόμενη πρωτεΐνη}) / (\% \text{ απαιτήσεις του ψαριού στο συγκεκριμένο αμινοξύ})$$

- Δείκτης Αποδοτικότητας Πρωτεΐνης (Protein Efficiency Ratio, PER)

Ο δείκτης εκφράζει την αναλογία της αύξησης του σωματικού βάρους του οργανισμού και της πρωτεΐνης που καταναλώθηκε

$$PER = \frac{\text{Τελικό Βάρος ψαριού (g)} - \text{Αρχικό Βάρος ψαριού (g)}}{\text{Πρωτεΐνη που καταναλώθηκε (g)}}$$

- Καθαρή Χρησιμοποίηση Πρωτεΐνης (Net Protein Utilization, NPU)

Αντιπροσωπεύει την αναλογία των αμινοξέων της τροφής που θα μετατραπούν σε σωματικές πρωτεΐνες προς το σύνολο των αμινοξέων που χορηγήθηκαν μέσω της τροφής. Πειραματικά, αυτός ο δείκτης υπολογίζεται μέσω του υπολογισμού της συνολικής πρωτεΐνης που καταναλώθηκε και της μέτρησης του αζώτου που απεκκρίθηκε και δίνεται από τη σχέση:

$$NPU = 100 \times (\text{Πρωτεΐνη που εναποτέθηκε στο σώμα (g)} / \text{Πρωτεΐνη που απορροφήθηκε (g)})$$

- Κατακράτηση πρωτεΐνης (Protein retention)

Εκφράζει την ποσοστιαία μεταβολή της περιεκτικότητας ενός ιστού σε πρωτεΐνη σε συνάρτηση με την ποσότητα διαιτητικής πρωτεΐνης που χορηγήθηκε.

$$\text{Κατακράτηση πρωτεΐνης (\%)} = 100 \times \frac{\text{μεταβολή πρωτεΐνης στον ιστό (g)}}{\text{πρωτεΐνη που καταναλώθηκε (g)}}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΛΙΠΙΔΙΑ

6.1 Γενικά

Τα λιπίδια αποτελούν μια μεγάλη ομάδα οργανικών ενώσεων που είναι αδιάλυτες στο νερό, αλλά διαλυτές σε διάφορους οργανικούς διαλύτες όπως π.χ. το χλωροφόρμιο, η μεθανόλη, το βενζόλιο κ.α. Τα λιπίδια υπάρχουν σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς από τα βακτήρια έως τα φυτά και τα ζώα. Συνήθως, τα λιπίδια που είναι στερεά σε θερμοκρασία δωματίου καλούνται λίπη, ενώ όταν είναι ρευστά καλούνται έλαια.

Κατηγορίες λιπιδίων

Τα λιπίδια διακρίνονται σε:

- | <u>Απλά (ή ουδέτερα)</u> | <u>Σύνθετα (ή πολικά)</u> |
|--------------------------|---|
| - Τριακυλογλυκερόλες | - Φωσφολιπίδια (λεκιθίνες, κεφαλίνες κ.λπ.) |
| - Κηροί | - Γλυκολιπίδια |
| - Στερόλες (χοληστερόλη) | |

Οι τριακυλογλυκερόλες και οι κηροί αποτελούν αποθηκευτικούς χώρους ενέργειας, ενώ τα σύνθετα λιπίδια αποτελούν δομικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών.

Φυσιολογικός ρόλος των λιπιδίων

Τα λιπίδια έχουν διάφορους ρόλους στη φυσιολογία των ζωικών οργανισμών:

- Πηγές ενέργειας

Τα λιπίδια είναι οι πιο πλούσιες πηγές Ε στη διατροφή των ψαριών.

1 g λίπους \Rightarrow 38 KJ

1 g πρωτεΐνης \Rightarrow 21 KJ

1 g υδατανθράκων \Rightarrow 15,2 KJ

Τα λιπίδια είναι και οι κύριες αποθήκες ενέργειας για τον οργανισμό. Η αποδόμηση των δομικών τους μονάδων (λιπαρών οξέων) μέσω της β-οξειδωσης στον κύκλο του κιτρικού οξέος παράγει ATP.

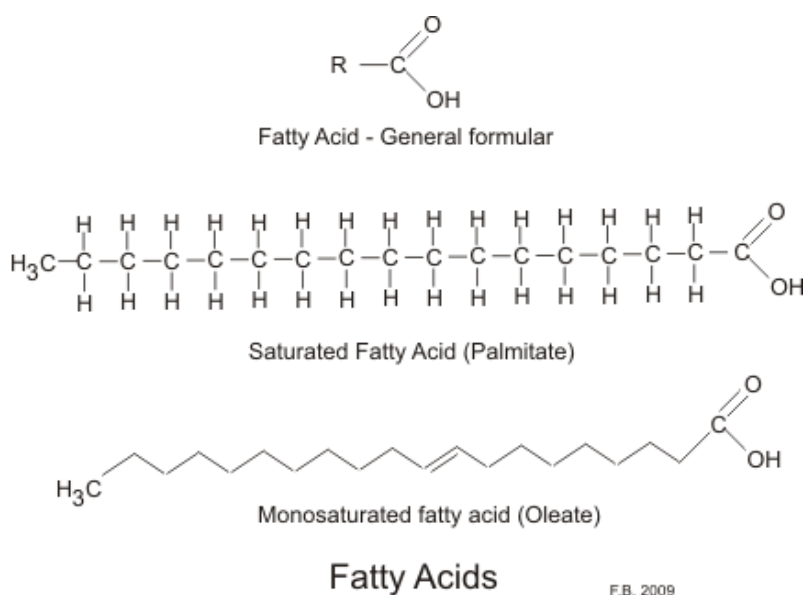
- Δομικά συστατικά κυτταρικών μεμβρανών

Έτσι, ελέγχουν τη διαπερατότητα και τη ρευστότητα του ενδοκυτταρικού χώρου.

- Παροχή των απαραίτητων λιπαρών οξέων για τη θρέψη του οργανισμού
- Μεταφορείς λιποδιαλυτών βιταμινών & χρωστικών ουσιών
- Αποτελούν πρώτες ύλες για την παραγωγή ορμονών

6.2 Λιπαρά οξέα

Η δομική μονάδα όλων των λιπιδίων (εκτός της χοληστερόλης) είναι το λιπαρό οξύ (R-COOH) που αποτελείται από μία καρβοξυλική ομάδα και μία μεταβλητή R-ομάδα ανθρακικής αλυσίδας (Σχ. 6.1). Στη φύση, υπάρχουν περίπου 40 λιπαρά οξέα.

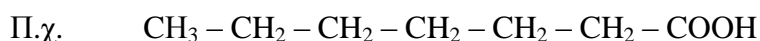


Σχήμα 6.1. Χημική δομή λιπαρού οξέος, κορεσμένων και μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (Εικόνα διαδικτύου).

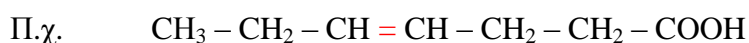
Κατηγορίες λιπαρών οξέων

Τα λιπαρά οξέα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την απουσία ή την ύπαρξη διπλών δεσμών στην ανθρακική τους αλυσίδα

1) Κορεσμένα λιπαρά οξέα (η ανθρακική τους αλυσίδα δεν περιέχει διπλούς δεσμούς)



2) Μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (έχουν ένα διπλό δεσμό στην ανθρακική τους αλυσίδα)



3) Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (έχουν 2 ή περισσότερους διπλούς δεσμούς στην αλυσίδα τους) Π.χ. $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$

Στη διεθνή βιβλιογραφία, συχνά για τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα δίνεται η συντομογραφία **PUFA (polyunsaturated fatty acids)**

Ονοματολογία λιπαρών οξέων

Τα λιπαρά οξέα έχουν συστηματική ονομασία, αλλά συχνά καλούνται και με κοινά ονόματα λόγω της αφθονίας τους σε κάποια συγκεκριμένη τροφή (π.χ. το αραχιδονικό οξύ πήρε το όνομα του λόγω της αφθονίας του στην αραχίδα-φυστίκι). Χάριν ευκολίας, και έτσι έχει επικρατήσει πλέον στη διεθνή βιβλιογραφία, τα λιπαρά οξέα αναφέρονται με μία ιδιότυπη συντομογραφία όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1.

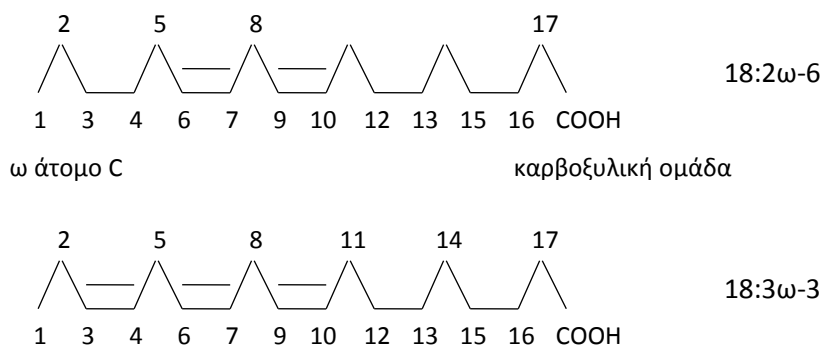
Πίνακας 6.1. Ονοματολογία λιπαρών οξέων.

Χημικός τύπος	Κοινό όνομα	Συντομογραφία
<u>Κορεσμένα λιπαρά οξέα</u>		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	Μυριστικό	C14:0
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Παλμιτικό	C18:0
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Στεαρικό	C20:0
<u>Μονοακόρεστα λιπαρά οξέα</u>		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ολεϊκό	C18:1 ω -9
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	Βατσενικό	C18:1 ω -7
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Γονδοϊκό	C20:1 ω -11
<u>Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα</u>		
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Λινολεϊκό	C18:2 ω -6
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	α -λινολενικό ή λινολενικό	C18:3 ω -3
$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	Εικοσαπενταενοϊκό	C20:5 ω -3
$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Κερβονικό	C22:6 ω -3

Για παράδειγμα το λινολεϊκό οξύ, του οποίου η συστηματική ονομασία είναι 9,12-οκταδεκαδιενοϊκό οξύ, πιο συχνά αναφέρεται ως 18:2 ω -6. Ο πρώτος αριθμός (π.χ. το 18) υποδηλώνει το συνολικό αριθμό ατόμων άνθρακα της ανθρακικής αλυσίδας, ο δεύτερος (π.χ. το 2) τον αριθμό των διπλών δεσμών, ενώ ο αριθμός μετά το πρόθεμα « ω » (ή «n» όπως πλέον έχει επικρατήσει στη διεθνή βιβλιογραφία) καθορίζει τη θέση του πρώτου διπλού δεσμού σε

εκείνο το άτομο άνθρακα της αλυσίδας (ω άτομο C) αριθμώντας από την τελευταία μεθυλική ομάδα (CH_2). Συγκεκριμένα για το λινολεϊκό οξύ, η συντομογραφία 18:2 ω -6 υποδηλώνει ότι αυτό το λιπαρό οξύ διαθέτει 18 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα του και δύο διπλούς δεσμούς (πολυακόρεστο), ο πρώτος εκ των οποίων βρίσκεται στο 6^ο ω -άτομο άνθρακα (Σχήμα 6.1). Το λινολενικό οξύ (18:2 ω -3) διαθέτει 18 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα του και δύο διπλούς δεσμούς (πολυακόρεστο), ο πρώτος εκ των οποίων βρίσκεται στο 3^ο ω -άτομο άνθρακα. Το στεαρικό οξύ (18:0) διαθέτει 18 άτομα άνθρακα και κανέναν διπλό δεσμό στην αλυσίδα του (κορεσμένο), ενώ το 18:1 ω -9 διαθέτει 18 άτομα άνθρακα και έναν διπλό δεσμό στην αλυσίδα του (μονοακόρεστο) ο οποίος βρίσκεται στο 9^ο ω -άτομο άνθρακα.

Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα με 18 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα τους συχνά καλούνται «**βραχεία αλύσου**», ενώ εκείνα με 20 και 22 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα τους καλούνται «**μακράς αλύσου**».



Σχήμα 6.1. Χημική δομή ενός ω -6 και ενός ω -3 πολυακόρεστου λιπαρού οξέος (Εικόνα διαδικτύου).

Πίνακας 6.2. Κοινά λιπαρά οξέα στους ιστούς των ιχθύων.

<u>Κορεσμένα (ΚΛΟ)</u>	<u>Μονοακόρεστα (ΜΛΟ)</u>	<u>Πολυακόρεστα (ΠΛΟ)</u>
C12:0	C16:1 ω -7	C18:2 ω -6
C14:0	C18:1 ω -9	C18:3 ω -6
C15:0	C18:1 ω -7	C20:3 ω -6
C16:0	C20:1 ω -11	C20:4 ω -6
C18:0	C20:1 ω -9	C22:4 ω -6
C20:0	C22:1 ω -11	C22:5 ω -6
C22:0	C22:1 ω -9	C18:3 ω -3
C24:0	C24:1 ω -9	C18:4 ω -3
		C20:5 ω -3
		C22:5 ω -3
		C22:6 ω -3

Λιπαρά οξέα στους ιστούς των ψαριών

- Στους ιστούς των ψαριών βρίσκονται λιπαρά οξέα που η ανθρακική του αλυσίδα περιέχει 12 έως 24 άτομα C (κυρίως με ζυγό αριθμό) (Πίν. 6.2).

6.3 Πέψη και μεταβολισμός των λιπιδίων

Πέψη λιπιδίων

Τα λιπίδια της τροφής αποδομούνται μέσω μίας υδρολυτικής διεργασίας που καλείται «λιπόλυση» και συμβαίνει κυρίως στο πρόσθιο τμήμα του εντέρου και στα πυλωρικά τυφλά. Τα υπεύθυνα για την υδρόλυση των λιπιδίων ένζυμα (λιπολυτικά ένζυμα) καλούνται «λιπάσες» και εκκρίνονται από το ηπατοπάγκρεας και το βλεννογόνο του εντέρου.

Κύρια προϊόντα λιπόλυσης:

- Ελευθέρα λιπαρά οξέα & γλυκερόλη
- Επίσης, μονοάκυλο- & διάκυλο-γλυκερόλες, χοληστερόλη, φωσφογλυκερίδια

Πεπτικότητα λιπιδίων:

- Τα λιπίδια γενικά έχουν υψηλή πεπτικότητα (πέπτονται αρκετά εύκολα)
- Υπάρχουν διαφορές στην πεπτικότητα των λιπιδίων μεταξύ των ειδών
π.χ.
 - Ο σολομός και η πέστροφα πέπτουν ευκολότερα από άλλα είδη μεγάλες ποσότητες λιπιδίων (π.χ. τα επίπεδα λιπών που χορηγούνται στην τροφή τους είναι της τάξης του 25-30% της τροφής)
 - Η τσιπούρα και το λαβράκι πέπτουν υψηλά επίπεδα λίπους αλλά όχι τόσο ικανά όσο τα σολομοειδή (π.χ. επίπεδα λίπους στην τροφή 14-20%)
 - Η τιλάπια και ο κυπρίνος δεν είναι ικανά να πέψουν μεγάλες ποσότητες λίπους (π.χ. επίπεδα λίπους στην τροφή 8-16%)
- Επίσης, τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα πέπτονται από τους ιχθύες ευκολότερα από ότι τα κορεσμένα λιπαρά οξέα (π.χ. το ιχθυέλαιο που είναι πλούσιο σε ΠΛΟ πέπτεται σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι το αραβοσιτέλαιο που είναι πλούσιο σε κορεσμένα)

Απορρόφηση λιπιδίων

Το κύριο ζήτημα με την πέψη και απορρόφηση των λιπιδίων είναι η διαλυτότητα τους. Τα λιπίδια είναι υδρόφοβες ενώσεις που διαλύονται ελάχιστα στο υδατικό διάλυμα του

πεπτικού σωλήνα. Οι λιπάσες, τα ένζυμα που πέπτουν τα λιπίδια, είναι υδατοδιαλυτές ενώσεις και δύναται να λειτουργήσουν μόνο στην επιφάνεια των σφαιριδίων λίπους. Οπότε, η πέψη των λιπιδίων υποβοηθείται σημαντικά από μια διαδικασία που ονομάζεται «γαλακτωματοποίηση». Πρόκειται για ανάμιξη του λίπους με νερό (γαλάκτωμα) και διάρρηξη των σφαιριδίων λίπους σε πολύ μικρότερα σταγονίδια γαλακτώματος. Τα σταγονίδια γαλακτώματος επικαλύπτονται με χολικά άλατα και φωσφολιπίδια, τα οποία είναι ταυτόχρονα υδρόφιλα και υδρόφοβα, σχηματίζοντας «μικύλλια» και παράλληλα εμποδίζοντας τα σταγονίδια του γαλακτώματος να επανενωθούν. Με τη διαδικασία της γαλακτωματοποίησης στην ουσία αυξάνεται η υδρόφιλη επιφάνεια των λιπών ώστε να δράσει η λιπάση.

Τα προϊόντα της λιπόλυσης (λιπαρά οξέα, μονοάκυλο-, διάκυλο-γλυκερόλες κ.λπ.), πλέον ως μικύλλια, απορροφούνται από τα εντερικά κύτταρα (με αργό ρυθμό) και με παθητική διάχυση (δεν ξοδεύεται E). Η απορρόφηση των μικυλλίων από τα εντεροκύτταρα συμβαίνει κυρίως στο πρόσθιο τμήμα του εντέρου (όπως και η πέψη τους). Τα απορροφηθέντα μικύλλια, έπειτα, ενδέχεται να δομήσουν νέα λιπίδια (τριακυλογλυκερόλες & φωσφογλυκερίδια).

Μεταφορά λιπιδίων

Τα νεοσχηματιζόμενα λιπίδια ενσωματώνονται με πρωτεΐνες δημιουργώντας τις «λιποπρωτεΐνες». Οι λιποπρωτεΐνες εξέρχονται από τα εντερικά κύτταρα και διέρχονται στο κυκλοφορικό σύστημα. Εκτός από τις λιποπρωτεΐνες, στο κυκλοφορικό εισέρχονται και ελεύθερα λιπαρά οξέα που δεν έχουν δεσμευθεί με πρωτεΐνες. Κατόπιν, οι λιποπρωτεΐνες και τα ελεύθερα λιπαρά οξέα μέσω του κυκλοφορικού αποθηκεύονται στο ήπαρ, όπου αποδομούνται και συνθέτουν νέες λιποπρωτεΐνες εκ νέου. Οι νέες λιποπρωτεΐνες εισέρχονται ξανά στο κυκλοφορικό με τη μορφή α) πολύ χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνης (VLDL), β) χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνης (LDL, η λεγόμενη «κακή χοληστερόλη») και γ) υψηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνης (HDL, η λεγόμενη «καλή χοληστερόλη»).

Στο κυκλοφορικό, οι νέες λιποπρωτεΐνες υδρολύονται (αποδομούνται) και παράγονται ελεύθερα λιπαρά οξέα και γλυκερόλη, τα οποία μεταφέρονται στους διάφορους ιστούς (π.χ. μυϊκό, λιπώδη ιστό κ.λπ.), όπου θα συνθέσουν τα νέα λιπίδια των ιστών («*λιπογένεση*»).

Αποθήκευση λιπιδίων στους ιστούς

Τα διάφορα λιπίδια που μεταφέρονται και συνθέτονται στους ιστούς του σώματος επιτελούν διαφορετικούς ρόλους:

- Φωσφολιπίδια
Είναι δομικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών και ο ζωικός οργανισμός τα συνθέτει σε ορισμένη ποσότητα, η οποία συνολικά είναι σχεδόν σταθερή στο σώμα του ψαριού
- Οι τριακυλογλυκερόλες & οι κηροί αποθηκεύονται και συσσωρεύονται στους ιστούς ώστε να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για την παραγωγή ενέργειας (καταβολισμός λιπαρών οξέων), την παραγωγή ορμονών και άλλων ουσιών. Η κύρια αποθήκη των τριακυλογλυκερολών & των κηρών στα ψάρια είναι το ήπαρ, ο μυϊκός ιστός και ο λιπώδης ιστός των σπλάχνων (περισπλαχνικό, περιεντερικό, μεσεντέριο λίπος). Στα καρκινοειδή, η κύρια αποθήκη των απλών λιπιδίων είναι το ηπατοπάγκρεας, ενώ στα θηλαστικά, όπως ο άνθρωπος, ο λιπώδης ιστός.

Λιπιδικό περιεχόμενο των ψαριών

Τα διάφορα είδη ψαριών αποθηκεύουν διαφορετικές ποσότητες λιπιδίων στους διάφορους ιστούς τους (Πιν. 6.3). Η ποσότητα των λιπιδίων που θα αποθηκευτεί σε έναν ιστό είναι αρκετά ευμετάβλητη (σε αντίθεση με αυτήν των πρωτεϊνών). Αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Γενετικό υλικό (υπάρχουν λιπαρά ψάρια π.χ. ρέγγα και άπαχα ψάρια π.χ. τσιπούρα)
- Αναπαραγωγική περίοδο (κατά την περίοδο αυτή υπάρχει αυξημένο λίπος στις γονάδες και στο ήπαρ)
- Φύλο (αρσενικό – θηλυκό, σε κάποια είδη υπάρχουν διαφορές στο λιπιδικό περιεχόμενο μεταξύ των δύο φύλων)
- Θερμοκρασία νερού (εναπόθεση λίπους σε χαμηλές θερμοκρασίες)
- Καταναλωθείσα ποσότητα τροφής (εναπόθεση λίπους με αυξημένη κατανάλωση)
- Ενεργειακό περιεχόμενο της τροφής (η πλεονάζουσα ενέργεια θα αποθηκευτεί ως λίπος)
- Ποσότητα και είδος ελαίου στο σιτηρέσιο (όσο περισσότερο έλαιο στην τροφή τόσο μεγαλύτερη εναπόθεση λίπους στα ψάρια. Επίσης, έχουν βρεθεί πως το είδος του ελαίου της τροφής επηρεάζει την ικανότητα εναπόθεσης λίπους στα ψάρια)
- Συχνότητα σίτισης (περισσότερα ταΐσματα την ημέρα οδηγούν σε μικρότερη εναπόθεση λίπους)
- Άγριο ή εκτρεφόμενο ψάρι (συνήθως τα εκτρεφόμενα ψάρια είναι περισσότερο λιπαρά λόγω της αυξημένης κατανάλωσης τροφής και της περιορισμένης κίνησης τους)

Πίνακας 6.3. Χαρακτηριστικά επίπεδα λιπιδίων (% επί του υγρού βάρους σώματος) στους ιστούς διαφόρων ειδών ψαριών.

Είδος	Μυϊκός ιστός	Ηπατικός ιστός
<u>Άπαγα είδη</u>		
Γάδος μελανόγραμμος (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>)	0,3	50,0 – 75,0
Γάδος Ατλαντικού (<i>Gadus morhua</i>)	0,4	50,0 – 75,0
Ηλιόψαρο (<i>Lepomis gibbosus</i>)	0,7	
Τούρνα (<i>Esox lucius</i>)	0,6-0,8	4,0-10,7
Ποταμολάβρακο (<i>Lucioperca lucioperca</i>)	0,8	
Τιλάπια του Νείλου (<i>Oreochromis niloticus</i>)	0,8-2,2	4,3-20,2
Τσιπούρα (<i>Sparus aurata</i>)	0,8-1,1	
Τσιρώνι (<i>Rutilus rutilus</i>)	< 2,0	
<u>Ημιλιπαρά είδη</u>		
Κοινός κυπρίνος (<i>Cyprinus carpio</i>)	1,5 – 12,5	4,8 – 8,8
Λεστιά (<i>Abramis brama</i>)	1,8	
Ιριδίζουσα πέστροφα (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	2,5 – 5,7	3,5 – 6,0
Λαβράκι (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	2,9	
Τόνος (<i>Thunnus thynnus</i>)	4,0	4,0 – 28,0
Σολομός Ατλαντικού (<i>Salmo salar</i>)	4,0 – 10,0	10,0
Ιππόγλωσσα (<i>Hippoglossus hippoglossus</i>)	5,0	4,0 – 28,0
<u>Λιπαρά είδη</u>		
Ρέγγα (<i>Clupea harengus</i>)	11,0	2,0
Σκουμπρί (<i>Scomber scombrus</i>)	13,0	8,0
Χέλι (<i>Anguilla anguilla</i>)	22,0	

6.4 Διαιτητικές απαιτήσεις των υδρόβιων ζωικών οργανισμών σε λιπίδια

Οι ιχθύες και τα καρκινοειδή έχουν συγκεκριμένες διαιτητικές απαιτήσεις σε λιπίδια και λιπαρά οξέα (ΛΟ) για τον μεταβολισμό τους, τη φυσιολογική ανάπτυξη τους και την αναπαραγωγή τους (προμήθεια μεταβολικής ενέργειας, σύνθεση νέων κυτταρικών λιπιδίων, ανάπλαση κυτταρικών μεμβρανών κ.λπ.). Οι διαιτητικές απαιτήσεις τους σε λιπίδια διακρίνονται σε:

- Ποιοτικές απαιτήσεις (δηλ. ανάγκες σε συγκεκριμένα λιπαρά οξέα)
- Ποσοτικές απαιτήσεις (δηλ. ανάγκες σε συγκεκριμένες ποσότητες λιπαρών οξέων και ολικών λιπών)

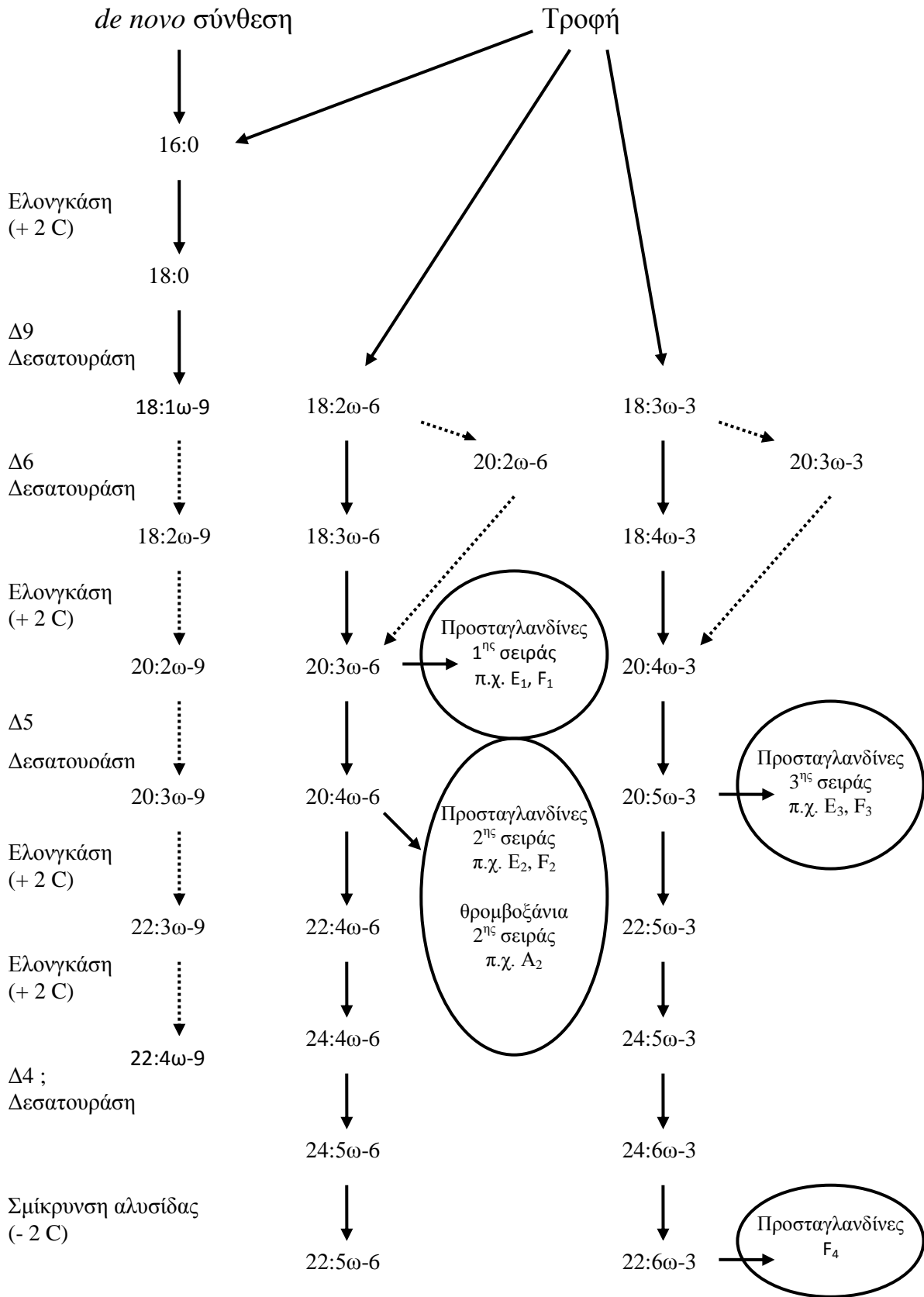
6.4.1 Ποιοτικές απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα

Όλα τα ΛΟ (κορεσμένα – μόνο – πολυακόρεστα) είναι αναγκαία στον οργανισμό για τις διάφορες φυσιολογικές του λειτουργίες. Ωστόσο, οι ιχθύες και όλοι οι σπονδυλωτοί ζωικοί οργανισμοί, ενώ έχουν την ικανότητα να συνθέσουν τα κορεσμένα και μονοακόρεστα ΛΟ, δεν μπορούν να συνθέσουν «εκ νέου (*de novo*)» τα ω-3 & ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά

οξέα (ΠΛΟ). Για τον λόγο αυτόν, **όλα τα ω-3 και ω-6 ΠΛΟ**, και συγκεκριμένα τα 18:3ω-3, 18:2ω-6, 20:4ω-6, 20:5ω-3, 22:6ω-3 κ.λπ, **ονομάζονται «απαραίτητα λιπαρά οξέα»** και θα πρέπει να τα λαμβάνουν απευθείας από την τροφή τους.

Τα ω-3 και ω-6 ΠΛΟ, και ιδιαίτερα εκείνα της μακράς αλύσου όπως τα **20:4ω-6** (αραχιδονικό οξύ), **20:5ω-3** (εικοσαπενταενοϊκό οξύ ή **EPA**) και **22:6 ω-3** (εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ ή **DHA**), είναι απαραίτητα για τη φυσιολογική ανάπτυξη, την υγεία και την αναπαραγωγή. Για παράδειγμα, το 22:6 ω-3 είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη ιστών του νευρικού συστήματος των οργανισμών, όπως ο εγκέφαλος και οι οφθαλμοί. Ιχθύδια που διατράφηκαν με τροφές που είχαν έλλειψη σε 22:6 ω-3 παρουσίασαν μειωμένη όραση, ικανότητα πρόσληψης τροφής και διαταραγμένη συμπεριφορά. Τα 20:4ω-6, 20:5ω-3, 22:6ω-3 είναι άφθονα στα αυγά των ψαριών και έχειδειχθεί πως σε αυτά οφείλεται η επιτυχία της εκκόλαψης, της επιβίωσης και της ανάπτυξης των νυμφών. Επίσης, τα 20:4ω-6, 20:5ω-3, 22:6ω-3 αποτελούν τις πρώτες ύλες για να παραγάγει ο οργανισμός μία ομάδα πολύ σημαντικών ορμονών, όπως οι πρασταγλανδίνες και τα θρομβοξάνια, οι οποίες εμπλέκονται σε πάρα πολλές φυσιολογικές διεργασίες του οργανισμού. Είναι αποδεδειγμένο πως όταν υπάρχει ανεπάρκεια ή έλλειψη των ω-3 και ω-6 ΠΛΟ στην τροφή επέρχεται μειωμένη ανάπτυξη, παθολογικές καταστάσεις και θνησιμότητα των ψαριών.

Στην πραγματικότητα, οι ιχθύες και τα καρκινοειδή δεν μπορούν να συνθέσουν το **18:2ω-6 (λιγνελαιϊκό οξύ)** και **18:3ω-3 (α-λιγνολενικό οξύ)**, που αποτελούν τα βραχείας αλύσου ΠΛΟ. Ωστόσο, ορισμένα είδη, αλλά όχι όλα, έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν ενδοσωματικά τα βραχείας αλύσου ΠΛΟ (18:2ω-6 και 18:3ω-3) που προσέλαβαν από την τροφή τους στα μακράς αλύσου ω-6 και ω-3 ΠΛΟ (δηλαδή 20:4ω-6 και 20:5ω-3, 22:6ω-3, αντίστοιχα), μέσω προσθήκης ατόμων άνθρακα («*επιμήκυνση*» της ανθρακικής αλυσίδας) και προσθήκης διπλών δεσμών («*αποκορεσμός*» της ανθρακικής αλυσίδας) (Σχ. 6.2). Η ενδοσωματική μετατροπή του 18:2ω-6 οδηγεί σε «*βιοσύνθεση*» ΠΛΟ μόνο της σειράς ω-6 (δηλ. 20:4ω-6), ενώ η μετατροπή του 18:3ω-3 οδηγεί σε βιοσύνθεση ΠΛΟ μόνο της σειράς ω-3 (δηλ. 20:5ω-3, 22:6ω-3). Το 20:4ω-6 δύναται να μετατραπεί περαιτέρω σε 22:5ω-6, αλλά το συγκεκριμένο λιπαρό οξύ δεν θεωρείται τόσο βιολογικά ενεργό για τον οργανισμό όπως το 20:4ω-6.



Σχήμα 6.2. Διάγραμμα των κύριων διαδρομών των βιοσυνθέσεων και βιομετατροπών των λιπαρών οξέων και προσταγλανδίνων. Υιοθετημένο και τροποποιημένο από Bell *et al.* (1986). — : κύριες διαδρομές, ---- : δευτερεύουσες διαδρομές.

Οι ποιοτικές απαιτήσεις των ιχθύων και των καρκινοειδών σε απαραίτητα λιπαρά οξέα είναι ανάλογες της ικανότητας τους να μετατρέπουν τα ΠΛΟ με 18 άτομα άνθρακα (C18) στα αντίστοιχα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα με είκοσι και είκοσι δύο άτομα άνθρακα (C20 και C22 ΠΛΟ).

Τα είδη εκείνα που δεν είναι ικανά για τις μετατροπές αυτές έχουν καθαρή απαίτηση σε 20:4 ω -6, 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3, και άρα αυτά αποτελούν τα απαραίτητα λιπαρά οξέα για τη διατροφή τους. Για τα συγκεκριμένα είδη, τα C18 ΠΛΟ (δηλ. τα 18:2 ω -6 και 18:3 ω -3) δεν αποτελούν απαραίτητα λιπαρά οξέα. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν (πιθανώς) όλα τα εκτρεφόμενα είδη ιχθύων του θαλασσινού νερού, όπως η τσιπούρα και το ευρωπαϊκό λαβράκι (Πιν. 6.4). Οι ιχθυοτροφές των ειδών αυτών θα πρέπει υποχρεωτικά να περιέχουν 20:4 ω -6, 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3 σε επαρκείς ποσότητες ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των ιχθύων σε απαραίτητα λιπαρά οξέα.

Στα είδη εκείνα που είναι ικανά για τις μετατροπές των C18 ΠΛΟ σε C20 και C22 ΠΛΟ, όλα τα C18, C20 και C22 θεωρούνται απαραίτητα λιπαρά οξέα. Τα 20:4 ω -6, 20:5 ω -3, 22:6 ω -3 ωστόσο είναι περισσότερο αποτελεσματικά όταν χορηγηθούν απευθείας στην τροφή τους από ότι τα 18:2 ω -6 και 18:3 ω -3. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει η πλειονότητα των ειδών του γλυκού νερού όπως η ιριδίζουσα πέστροφα, ο κοινός κυπρίνος, η τιλάπια του Νείλου κ.λπ. (Πιν. 6.4). Οι ιχθυοτροφές των ειδών αυτών θα πρέπει υποχρεωτικά να περιέχουν τα 18:2 ω -6 και 18:3 ω -3, αν και σε πολλές περιπτώσεις τους χορηγούνται απευθείας τα πιο ενεργά 20:4 ω -6, 20:5 ω -3 και 22:6 ω -3.

6.4.2 Ποσοτικές απαιτήσεις σε λιπαρά οξέα και ολικά λίπη

Οι ποσοτικές απαιτήσεις των ιχθύων και καρκινοειδών στα απαραίτητα λιπαρά οξέα ποικίλλουν ανάλογα με το είδος, το στάδιο ανάπτυξης, τον διατροφικό τύπο και τη θερμοκρασία του νερού εκτροφής, αν και για πολλά είδη αυτές παραμένουν αδιευκρίνιστες (Πιν. 6.3). Το κάθε είδος έχει τις δικές του ποσοτικές απαιτήσεις σε κάθε ΠΛΟ. Γενικά, τα ω -3 & ω -6 ΠΛΟ απαιτούνται από τα διάφορα είδη σε συνολικές ποσότητες της τάξης του 0,5-3% της τροφής τους με τις απαιτήσεις να εξειδικεύονται για κάθε απαραίτητο λιπαρό οξύ.

Τα ψάρια της θάλασσας έχουν υψηλότερες ποσοτικές απαιτήσεις σε ω -3 από ότι σε ω -6. Επίσης, η θερμοκρασία του νερού φαίνεται να επηρεάζει τις απαιτήσεις των ειδών σε απαραίτητα λιπαρά οξέα. Γενικά, τα ψυχρόφιλα είδη έχουν υψηλότερες απαιτήσεις σε ω -3 από ότι σε ω -6, ενώ τα είδη των τροπικών περιοχών έχουν υψηλότερες απαιτήσεις σε ω -6 από ότι σε ω -3. Περαιτέρω, τα σαρκοφάγα είδη γενικά έχουν υψηλότερες ποσοτικές απαιτήσεις σε ω -3 συγκριτικά με παμφάγα-χορτοφάγα είδη. Αναφορικά με το στάδιο ανάπτυξης, ένας

γενικευμένος κανόνας είναι ότι στα νεαρότερα στάδια (π.χ. ιχθυονύμφης, ατελούς ιχθυδίου) οι απαιτήσεις σε ω-3 ΠΛΟ και ιδιαίτερα σε EPA και DHA είναι υψηλότερες συγκριτικά με τα ενήλικα στάδια. Για παράδειγμα, η τσιπούρα στο στάδιο της ιχθυονύμφης και του ατελούς ιχθυδίου απαιτεί 2-5% EPA+DHA επί της τροφής, ενώ στο ενήλικο στάδιο οι ποσοτικές απαιτήσεις μειώνονται κάτω από 2%.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως επειδή τα απαραίτητα λιπαρά οξέα έχουν μεταξύ τους ανταγωνιστικές δράσεις εντός του οργανισμού, είναι σημαντική και η αναλογία αυτών στο σιτηρέσιο. Για παράδειγμα, όταν η αναλογία DHA/EPA στην τροφή είναι ίση με 1/2, η τσιπούρα (*S. aurata*) απαιτεί συνολική ποσότητα των DHA+EPA ίση με 1,9% επί της τροφής, ενώ όταν η αναλογία DHA/EPA στην τροφή είναι ίση με 1, οι απαιτήσεις του είδους για DHA+EPA είναι μόλις 0,9% της τροφής.

Πίνακας 6.4. Διαιτητικές απαιτήσεις σε απαραίτητα λιπαρά οξέα (% της τροφής) διαφόρων ειδών ιχθύων και καρκινοειδών.

Είδος	Λιπαρά οξέα
<u>Είδη ιχθύων γλυκού νερού</u>	
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	0,7-1,0% 18:3ω-3, 0,4-0,5% EPA+DHA
<i>Onchorhynchus keta</i>	1% 18:2ω-6 & 1% 18:3ω-3
<i>Onchorhynchus kisutch</i>	1% 18:2ω-6 & 1% 18:3ω-3
<i>Salvelinus alpinus</i>	1,0-2,0% 18:3ω-3
<i>Cyprinus carpio</i>	1% 18:2ω-6 & 0,5-1,0% 18:3ω-3
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	1% 18:2ω-6 & 0,5% 18:3ω-3
<i>Oreochromis niloticus</i>	0,5% 18:2ω-6
<i>Anguilla japonica</i>	0,5% 18:2ω-6 & 0,5% 18:3ω-3
<i>Plecoglossus altivelis</i>	1% 18:3ω-3 ή 1% 20:5ω-3
<i>Chanos chanos</i>	0,5% 18:2ω-6 & 0,5% 18:3ω-3
<i>Ictalurus punctatus</i>	1,0-2,0% 18:3ω-3 & 0,5-0,75% EPA+DHA
<i>Coregonus lavaretus</i>	> 1,0% 18:3ω-3, 0,5-1,0% EPA+DHA
<i>Silurus glanis</i>	1,0% 18:3ω-3
<u>Είδη ιχθύων θαλασσινού νερού</u>	
<i>Scophthalmus maximus</i>	0,8% EPA+DHA & 0,3% 20:4ω-6
<i>Pagrus major</i>	0,5-1,0% EPA+DHA
<i>Sparus aurata</i>	0,9-1,9% EPA+DHA
<i>Dicentrarchus labrax</i>	1% EPA+DHA
<i>Pleuronectes ferrugineus</i>	2,5% EPA+DHA
<i>Sciaenops ocellatus</i>	0,5-1,0% EPA+DHA
<u>Καρκινοειδή</u>	
<i>Penaeus monodon</i>	1% EPA+DHA
<i>Homarus gamarus</i>	1% EPA+DHA
<i>Marsupenaeus japonicus</i>	>1% 18:3ω-3 ή 1% DHA ή EPA
<i>Penaeus chinensis</i>	0,5% 18:3ω-3 & 0,5% 18:2ω-6
<i>Farfantepenaeus aztecus</i>	1% 18:3ω-3
<i>Farfantepenaeus indicus</i>	0,5% 18:3ω-3 & 0,5% 18:2ω-6
<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	1,3% 18:2ω-6 & 1,5% EPA+DHA

Αναφορικά με τις ποσοτικές απαιτήσεις των ειδών σε ολικά λιπίδια στην τροφή τους θα πρέπει να έχουμε κατά νου ότι, μία από τις βασικές λειτουργίες τους στον οργανισμό είναι η παραγωγή μεταβολικής ενέργειας. Τα λιπίδια είναι οι κύριες πηγές ενέργειας για όλα τα είδη των καρκινοειδών και των ιχθύων, ιδιαίτερα όμως των σαρκοφάγων τα οποία δεν είναι ικανά να πέπτουν μεγάλες ποσότητες υδατανθράκων. Έτσι οι τεχνητές ιχθυοτροφές καταρτίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εμπεριέχουν υψηλά ποσοστά των περισσότερο εύπεπτων πρωτεϊνών και λιπιδίων.

Καθώς η πρωτεΐνη αποτελεί γενικά το πιο ακριβό θρεπτικό συστατικό, η επιθυμία στον καταρτισμό των ιχθυοτροφών είναι να παρέχεται στους εκτρεφόμενους ιχθύες το ελάχιστο αναγκαίο επίπεδο πρωτεϊνών, για την ικανοποίηση των αναγκών τους σε αμινοξέα και τη βέλτιστη σωματική τους ανάπτυξη, ενώ παράλληλα οι ενεργειακές ανάγκες τους να ικανοποιούνται μέσω των άλλων θρεπτικών συστατικών και κυρίως μέσω των λιπιδίων. Κάποια ποσότητα πρωτεΐνης αναπόφευκτα θα χρησιμοποιηθεί από τον οργανισμό για ενέργεια μέσω της απ' ευθείας πρωτεϊνόλυσης ή κατόπιν της μετατροπής των αμινοξέων σε γλυκόζη μέσω της γλυκονεογένεσης. Ωστόσο αυτές οι διεργασίες μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την χρησιμοποίηση υψηλών επιπέδων λιπιδίων στις ιχθυοτροφές, με σκοπό την παραγωγή πεπτής ενέργειας αποκλειστικά από αυτά και τη διατήρηση, κατά αυτόν τον τρόπο, του επιπέδου της πεπτής πρωτεΐνης αποκλειστικά για ανάπτυξη (φαινόμενο «εξοικονόμησης πρωτεϊνών»).

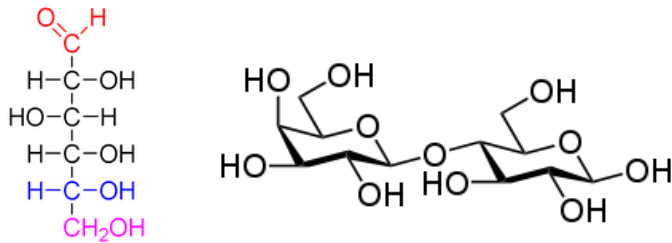
Εξαιτίας αυτών των μεταβολικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ πρωτεϊνών, λιπιδίων και υδατανθράκων, **δεν έχει νόημα ο καθορισμός του ακριβούς ποσοστού συμμετοχής των λιπιδίων στο σιτηρέσιο που θα αποδώσει τη βέλτιστη ανάπτυξη στον οργανισμό.** Ωστόσο, είναι γενικά αποδεκτό πως ένα ποσοστό μεταξύ 10-20% επί της τροφής είναι αρκετό στο να επιτρέψει στην πρωτεΐνη να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικότερα για την ανάπτυξη των περισσότερων σαρκοφάγων ειδών ιχθύων που εκτρέφονται στην Ευρώπη, και παράλληλα να αποφευχθεί η εναπόθεση υπερβολικής ποσότητας λιπιδίων στους ιστούς τους. Με άλλα λόγια, το ποσοστό συμμετοχής των λιπιδίων στο σιτηρέσιο εξαρτάται από εκείνο των πρωτεϊνών και σε μερικές περιπτώσεις, όπως στον κυπρινοειδών, στο ποσοστό συμμετοχής των υδατανθράκων.

Σήμερα, ωστόσο, χρησιμοποιούνται ολοένα και υψηλότερα επίπεδα λιπιδίων στις ιχθυοτροφές, που στις περισσότερες περιπτώσεις αποδίδουν υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης των ιχθύων και των καρκινοειδών. Για παράδειγμα, η αύξηση του ποσοστού των λιπιδίων από 14% σε 20% στο σιτηρέσιο, με παράλληλη μείωση αυτού των πρωτεϊνών από 44% σε 37%, βελτίωσε σημαντικά την ανάπτυξη της ιριδίτσουσας πέστροφας (*O. mykiss*) και

την γενικότερη αποτελεσματικότητα της τροφής της (Corraze, 2001). Στις ιχθυοτροφές που χρησιμοποιούνται για την εκτροφή των σαλμονοειδών, το επίπεδο των λιπιδίων έχει φτάσει να αποτελεί το 30% της ουσίας της ιχθυοτροφής. Μέχρι σήμερα, και για όλα τα γνωστά είδη που εκτρέφονται, δεν είναι γνωστά ποια είναι τα μέγιστα επίπεδα των λιπιδίων που μπορούν να χορηγηθούν στα σιτηρέσια τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ

7.1 Γενικά



Οι υδατάνθρακες (υδωρ – άνθρακας) έχουν γενική χημική δομή - CH₂O – και είναι πολύ – υδροξυλικές αλδεΐδες και κετόνες. Οι υδατάνθρακες αποτελούν το 75% της ξηράς ουσίας των φυτών, ενώ βρίσκονται σε πολύ μικρά ποσά στους ζωικούς ιστούς.

Κατηγορίες υδατανθράκων

Οι υδατάνθρακες διαχωρίζονται σε:

1) Μονοσακχαρίτες ← από φωτοσύνθεση ή γλυκονεογένεση

Τριόζες, τετρόζες, πεντόζες, εξόζες (π.χ γλυκόζη, γαλακτόζη, μαννόζη, φρουκτόζη κ.α)

2) Ολιζακχαρίτες (βρίσκονται στις γλυκοπρωτεΐνες και τα γλυκολιπίδια)

Λίγους μονοσακχαρίτες ενωμένους μεταξύ τους

- δισακχαρίτες (μαλτόζη, σακχαρόζη, λακτόζη)
- τρισακχαρίτες (ραφινόζη)

3) Πολυζακχαρίτες

Πολλοί μονοσακχαρίτες ενωμένοι μεταξύ τους, όπως π.χ.:

- Άμυλο (αποτελεί αποθήκη ενέργειας στα φυτά – αξιοποιείται από τα ψάρια)
- Γλυκογόνο (αποθήκη ενέργειας στα ζώα)
- Κυτταρίνη, ημικυτταρίνη (δομικά στοιχεία των κυτταρικών τοιχωμάτων των φυτών)
- Χητίνη (δομικό στοιχείο στον εξωσκελετό των καρκινοειδών)

Φυσιολογικός ρόλος των υδατανθράκων

- Προσφέρουν ενέργεια
- Δομικά συστατικά των ζωικών ιστών του οργανισμού

- Φτηνή πηγή διαιτητικής ενέργειας για τα ψάρια αφού τα φυτικά προϊόντα (π.χ. ρύζι, σιτάρι, σίκαλη κ.λπ) έχουν χαμηλή τιμή
- Στις ιχθυοτροφές χρησιμοποιούνται και ως συγκολλητικές ουσίες

7.2 Πέψη και μεταβολισμός των υδατανθράκων

Η χημική πέψη των υδατανθράκων συμβαίνει κυρίως στο έντερο των ψαριών και πραγματοποιείται από τα παγκρεατικά ένζυμα (α-αμυλάση, χιτινάση) και από ένζυμα του εντέρου (μαλτάση). Επίσης, στη διάσπαση των υδατανθράκων της τροφής ορισμένων ψαριών μπορεί να συμβάλει και η μικροχλωρίδα του εντέρου τους. Τα τελικά προϊόντα της πέψης των υδατανθράκων είναι οι μονοσακχαρίτες και κυρίως εξόζες όπως η γλυκόζη, η φρουκτόζη, η γαλακτόζη κ.λπ. Τα σάκχαρα αυτά κατόπιν θα απορροφηθούν από τον οργανισμό.

Πεπτικότητα υδατανθράκων

Τα ψάρια δεν μπορούν να πέψουν μεγάλα ποσά υδατανθράκων, αν και διαθέτουν τα κατάλληλα πεπτικά ένζυμα. Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ειδών σχετικά με την ικανότητα πέψης των υδατανθράκων. Π.χ. τα φυτοφάγα ψάρια μπορούν να πέψουν μεγαλύτερες ποσότητες υδατανθράκων από ότι τα σαρκοφάγα ψάρια. Επίσης, τροφές που περιέχουν περισσότερους μονοσακχαρίτες πέπτονται ευκολότερα από τροφές που περιέχουν πολλούς πολυσακχαρίτες). Γενικά, η πεπτικότητα των υδατανθράκων για τα ψάρια είναι χαμηλή.

Στην τεχνολογία των ιχθυοτροφών, η υδροθερμική επεξεργασία των τροφών (θέρμανση, νιφαδοποίηση, εξώθηση) μπορεί να βελτιώσει την πεπτικότητα των υδατανθράκων για τα εκτρεφόμενα ψάρια. Έτσι τροφές πλούσιες σε υδατάνθρακες (όπως π.χ. δημητριακοί καρποί) μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά ως πηγές ενέργειας στις ιχθυοτροφές. Ωστόσο θα πρέπει να δίνεται προσοχή στο επίπεδο των υδατανθράκων που περιέχεται στο σιτηρέσιο των ψαριών ώστε να μην είναι υψηλό.

Απορρόφηση, μεταφορά, καταβολισμός υδατανθράκων

Η απορρόφηση των μονοσακχαριτών (κυρίως γλυκόζη, φρουκτόζη, γαλακτόζη) συμβαίνει στο έντερο, και μέσω του κυκλοφορικού συστήματος διοχετεύονται στα κύτταρα των διαφόρων ιστών, και κυρίως του ήπατος, του μυοκαρδίου, των αρυθρών μυών, του εγκεφάλου και των νεφρών. Γενικά, οι απορροφούμενοι υδατάνθρακες μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τα ψάρια:

- είτε ως άμεση πηγή ενέργειας (ο καταβολισμός-οξειδωση των μονοσακχαριτών

παράγει ATP και NADH)

- είτε ως αποθηκευμένη πηγή ενέργειας με μορφή γλυκογόνου
- είτε ακόμη και ως υλικό συνθέσεως άλλων ενώσεων (τριακυλογλυκερολών, μη απαραίτητων αμινοξέων, γλυκοπρωτεϊνών κ.λπ.).

Ινώδεις ουσίες

Οι ινώδεις ουσίες αποτελούν σύνθετους υδατάνθρακες που βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών και περιλαμβάνουν:

- Πηκτίνες
- Ημικυτταρίνες
- Κυτταρίνη
- Λιγνίνη

Οι ινώδεις ουσίες δεν διασπώνται από τα πεπτικά ένζυμα των ψαριών με αποτέλεσμα η πεπτικότητα τους στα ψάρια είναι πολύ μικρή (μηδενική για τη λιγνίνη).

7.3 Διαιτητικές απαιτήσεις των υδρόβιων ζωικών οργανισμών σε υδατάνθρακες

Οι ιχθύες και τα καρκινοειδή δεν έχουν «ξεκάθαρες» απαιτήσεις για υδατάνθρακες στην τροφή τους, όπως για παράδειγμα έχουν σε απαραίτητα αμινοξέα, απαραίτητα λιπαρά οξέα, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία. Στις βιομηχανικά παρασκευασμένες ιχθυοτροφές χρησιμοποιούνται διάφορες πρώτες ύλες φυτικής προέλευσης, όπως π.χ. άλευρα δημητριακών καρπών, με σκοπό την παροχή μεταβολικής ενέργειας στον οργανισμό. Ωστόσο, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, τόσο στο επίπεδο των ολικών υδατανθράκων, όσο και στο επίπεδο των κυτταρινών, στο σιτηρέσιο των σαρκοφάγων ιχθύων ώστε αυτά να μην είναι υψηλά. Για παράδειγμα, στις ιχθυοτροφές πάχυνσης τσιπούρας και λαβρακιού το επίπεδο των υδατανθράκων στο σιτηρέσιο δεν ξεπερνάει το 26-30% και εκείνο των κυτταρινών το 3%. Αντίθετα, στα σιτηρέσια των χορτοφάγων και παμφάγων ειδών, όπως του κυπρίνου και της τιλάπιας, το επίπεδο των ολικών υδατανθράκων στο σιτηρέσιο μπορεί να ξεπεράσει το 50%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ

8.1 Γενικά

Οι βιταμίνες αποτελούν οργανικές ενώσεις που υπάρχουν σε μικροποσότητες στις τροφές. Δεν παρέχουν ενέργεια όπως οι πρωτεΐνες, τα λιπίδια και οι υδατάνθρακες αλλά είναι απαραίτητες για την επιτέλεση των ζωτικών λειτουργιών, την υγεία, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή του ζωικού οργανισμού. Οι βιταμίνες δρουν ως συνένζυμα για τη μεταφορά πρωτονίων και ηλεκτρονίων στα κυτταρικά συστήματα, έχουν ορμονική δράση και παρέχουν προστασία στις κυτταρικές μεμβράνες. Οι βιταμίνες δε συντίθενται από τον οργανισμό ή κάποιες από αυτές μπορεί να συντίθεται σε ανεπαρκείς ποσότητες, που όμως δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του οργανισμού. Η ανεπάρκεια ή η έλλειψη μιας βιταμίνης από τη διατροφή του οργανισμού οδηγεί σε δυσλειτουργίες ή σε ασθένειες (αβιταμίνωση). Παρόμοια, η υπερβολική πρόσληψη βιταμινών οδηγεί και αυτή σε παθολογίες (υπερβιταμίνωση)

8.2 Ομάδες βιταμινών

Υπάρχουν δύο κύριες ομάδες βιταμινών:

- οι λιποδιαλυτές βιταμίνες,

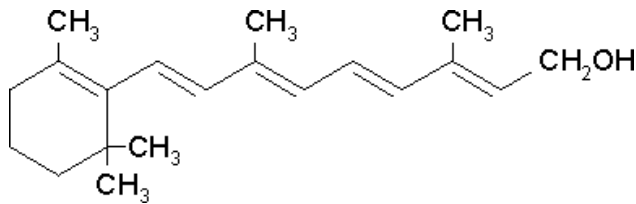
οι οποίες είναι διαλυτές στα λιπίδια και απορροφούνται από τον οργανισμό μαζί με τα λιπίδια της τροφής. Περιλαμβάνουν τις βιταμίνες A, D, E και K. Αν υπάρξει υπερβολική πρόσληψη λιποδιαλυτών βιταμινών, η περίσσεια τους συσσωρεύεται στο ήπαρ και υπάρχει κίνδυνος υπερβιταμίνωσης.

- οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες,

οι οποίες είναι διαλυτές στο νερό και περιλαμβάνουν τη βιταμίνη C και τις βιταμίνες της ομάδα B συμπλέγματος. Η περίσσεια τους αποβάλλεται εύκολα από τον οργανισμό.

8.2.1 Λιποδιαλυτές βιταμίνες

Βιταμίνη Α (ή ρετινόλη)



Λιποδιαλυτή βιταμίνη. Βρίσκεται στη φύση σε 3 μορφές: αλκοόλη, αλδεΐδη, οξύ). Η βιτ. Α καταστρέφεται εύκολα με την οξείδωση (έκθεση στον αέρα, φως, υψηλές θερμοκρασίες).

Φυσιολογικός ρόλος:

- Η βιτ. Α συχνά καλείται αντι-μολυσματική βιταμίνη
- Απαραίτητη για τη συντήρηση των επιθηλιακών κυττάρων των ιστών & των οργάνων. Π.χ. σε ιστούς όπως το δέρμα, όπου τα κύτταρα λύνονται και ανανεώνονται διαρκώς, παρατηρείται έλλειψη βιταμίνης Α. Έτσι, η έλλειψη της βιτ. Α επιφέρει μια ανεπαρκή σύνθεση των επιθηλιακών κυττάρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται κερατινοποιημένα κύτταρα που αποτελούν τροφή για διάφορα βακτήρια και μικροοργανισμούς με αποτέλεσμα τη δημιουργία πληγών.
- Απαραίτητη για τη λειτουργία της όρασης. Π.χ. η βιτ. Α είναι απαραίτητη για την ανανέωση του αμφιβληστροειδούς χιτώνα του οφθαλμού.
- Στον άνθρωπο, η βιτ. Α προστατεύει από διάφορες μορφές καρκίνου και δρα ενάντια στη γήρανση των κυττάρων

Συμπτώματα ανεπάρκειας:

- Αναστολή της ανάπτυξης του οργανισμού
- Δυσμορφία της σπονδυλικής στήλης & οστών
- Δερματοπάθειες
- Δυσλειτουργίες όρασης (κακή όραση, ξηροφθαλμία, εξοφθαλμία)
- Παθολογίες του βλεννογόνου του πεπτικού – αναπνευστικού – ουρογεννητικού συστήματος

Υπερβιταμίνωση: υπερπλασία ήπατος & σπλήνας, μείωση της σωματικής ανάπτυξης

Πλούσιες πηγές βιταμίνης Α:

- Η βιτ. Α βρίσκεται κυρίως σε ζωικής προέλευσης τροφές
- κυρίως ιχθυέλαια, ήπαρ διαφόρων ζώων, ζωικά λίπη, κρόκος αυγού, πλήρες γάλα
- Κάποιες τροφές φυτικής προέλευσης (π.χ. σπανάκι, καρότο, μπρόκολο) περιέχουν την πρόδρομη μορφή της βιτ. Α, που καλείται προβιταμίνη Α (β-καροτίνη). Τα φυλλώδη χόρτα είναι πλούσια σε β-καροτίνη.

Διατροφικές απαιτήσεις:

Οι απαιτήσεις σε βιτ. Α μετρικούνται σε «διεθνείς μονάδες» (International Units, IU).

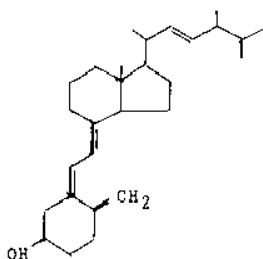
1 IU της βιτ. Α αντιστοιχεί με τη δραστηριότητα π.χ. 0,3 μg κρυσταλλικής βιταμίνης Α αλκοόλης. Οι διατροφικές απαιτήσεις διαφόρων ειδών σε βιτ. Α:

S. aurata απαιτεί 22000 – 27000 IU / Kg τροφής

D. labrax απαιτεί 20000 – 27000 IU / Kg τροφής

O. mykiss απαιτεί 5000 – 6000 IU / Kg τροφής

Βιταμίνη D (ή καλσιφερόλη)



Λιποδιαλυτή βιταμίνη. Υπάρχουν 10 ενώσεις (παράγωγα στερολών) που δρουν ως βιτ. D και έχουν την ίδια φυσιολογική δράση, οι σπουδαιότερες των οποίων είναι οι D₂ και D₃. Σε σύγκριση με τη βιτ. Α, οι βιτ. D₂ και D₃ είναι πιο σταθερές & ανθεκτικές στην οξείδωση.

Φυσιολογικός ρόλος:

- Η βιταμίνη D συχνά καλείται αντι-ραχιακή βιταμίνη
- Η βιτ. D εμπλέκεται στο μεταβολισμό του Ca & του P και βοηθά την απορρόφηση τους από το έντερο. Επίσης ελέγχει την εναπόθεση του Ca & του P στα οστά και διατηρεί την περιεκτικότητά τους στο αίμα σε κανονικά επίπεδα.

- Ρυθμίζει τη δράση της παραθυρεοειδικής ορμόνης που εμπλέκεται στο σχηματισμό των οστών.

Συμπτώματα ανεπάρκειας:

- Ανωμαλίες στο μεταβολισμό του Ca & P
- Ραχίτιδα, ελαττωματική ανάπτυξη οστών – σκελετικές δυσμορφίες
- Τέτανος λευκού μυϊκού ιστού
- Υπερβιταμίνωση: κινητοποίηση Ca & P από τα οστά στο αίμα (εύθραυστα οστά)

Πλούσιες πηγές βιταμίνης D:

- Η βιτ. D περιέχεται σε πολύ λίγες τροφές
- Κυρίως στα ιχθυέλαια
- Τα ζώα & τα φυτά μπορούν να συνθέσουν βιτ. D απ' ευθείας από τον ήλιο. Το δέρμα των ζώων και τα φύλλα των φυτών περιέχουν τις πρόδρομες μορφές της βιταμίνης, προβιταμίνες D, οι οποίες με την επίδραση των υπεριώδων ακτίνων του ηλίου μετατρέπονται σε βιτ. D.

Διατροφικές απαιτήσεις:

Οι απαιτήσεις σε βιτ. D μετριοούνται σε «διεθνείς μονάδες» (International Units, IU)

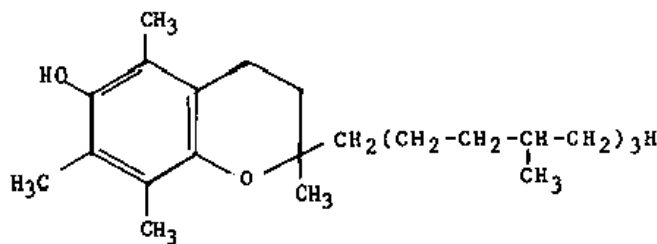
1 IU της βιτ. D αντιστοιχεί με τη δραστηκότητα π.χ. 0,025 μg κρυσταλλική βιταμίνης D3

S. aurata απαιτεί 3000 – 3500 IU / Kg τροφής

D. labrax απαιτεί 3000 – 3500 IU / Kg τροφής

C. carpio απαιτεί 500 – 600 IU / Kg τροφής

Βιταμίνη E (ή τοκοφερόλη)



Λιποδιαλυτή βιταμίνη. Υπάρχει μία ομάδα ενώσεων που δρουν ως βιτ. E, όπως π.χ. οι τοκοφερόλες α, β, γ, δ, ε, ζ, η κ.λπ.. Η σπουδαιότερη και πιο δραστηκή από αυτές είναι η τοκοφερόλη α.

Φυσιολογικός ρόλος:

- Αντιοξειδωτική δράση. Προστατεύει τους ιστούς & τις τροφές από την οξείδωση των λιπαρών τους οξέων, την οξείδωση της βιτ. Α κ.λπ. δεσμεύοντας τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και σταθεροποιώντας τους διπλούς δεσμούς των ΛΟ. Η αντιοξειδωτική δράση της βιτ. Ε συνδυάζεται με τη δράση του Se και της βιτ. C
- Εμπλέκεται σε διάφορες ενδοκυτταρικές διεργασίες, όπως π.χ. σε αντιδράσεις φωσφορυλίωσης της αναπνευστικής αλυσίδας, στο μεταβολισμό των λιπιδίων & των υδατανθράκων, στο μεταβολισμό των νουκλεϊκών οξέων.

Συμπτώματα ανεπάρκειας:

- Μειωμένη ανάπτυξη
- Αναιμία (ανωμαλίες στα ερυθροκύτταρα)
- Μυϊκή δυστροφία
- Υπερβιταμίνωση: σπάνια αλλά οδηγεί σε μειωμένη ανάπτυξη, προβλήματα στο ήπαρ

Πλούσιες πηγές βιταμίνης D:

- Σε πολλές τροφές (φυτικές & ζωικές)
- Κυρίως καρπούς σιτηρών (ενδοκάρπιο - ψίχα)

Διατροφικές απαιτήσεις:

Οι απαιτήσεις σε βιτ. Ε μετριοούνται σε «διεθνείς μονάδες» (International Units, IU)

1 IU αντιστοιχεί με τη δραστηριότητα π.χ. 1 mg οξικού εστέρα α-τοκοφερόλης

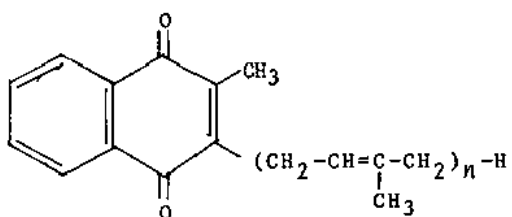
Αλλά και σε mg βιτ. Ε / Kg τροφής

S. aurata απαιτεί 1000 – 1300 mg / Kg τροφής

D. labrax απαιτεί 250 – 500 mg / Kg τροφής

C. carpio απαιτεί 150 – 200 IU / Kg τροφής

Βιταμίνη K



Λιποδιαλυτή βιταμίνη. Υπάρχει μια ομάδα ενώσεων K1 (φυλλοκινόνη), K2, (μενακινόνη), K3 (μεναδιόνη) με την ίδια φυσιολογική δράση. Η βιτ. K είναι ασταθής στην οξείδωση & την έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία

Φυσιολογικός ρόλος:

- Πήξη αίματος (ρυθμίζει τον σχηματισμό προθρομβίνης & θρομβίνης)
- Μεταφορά ηλεκτρονίων στις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στα κύτταρα και τους ιστούς του οργανισμού

Συμπτώματα ανεπάρκειας:

- Παράταση του χρόνου πήξης του αίματος μετά από πληγή
- Ευπάθεια σε αιμορραγίες (π.χ. στα βράγχια, οφθαλμούς κ.λπ.)
- Υπερβιταμίνωση: σπάνια στα ψάρια αλλά μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητα

Πλούσιες πηγές βιταμίνης K:

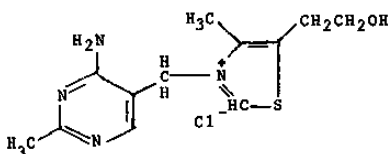
- Όλες οι πράσινες φυλλώδεις τροφές, επίσης τα σπέρματα της σόγιας
- Ήπαρ, αυγά, ιχθυάλευρο

Διατροφικές απαιτήσεις:

Στις ιχθυοτροφές χρησιμοποιείται η K3
S. aurata απαιτεί 25-35 mg / Kg τροφής
D. labrax απαιτεί 25-35 IU / Kg τροφής

8.2.2 Υδατοδιαλυτές βιταμίνες

Βιταμίνη B₁ (θειαμίνη)



Οι βιταμίνες του συμπλέγματος B παίζουν σημαντικό ρόλο στον κυτταρικό μεταβολισμό. Η βιτ. B1 είναι μια υδατοδιαλυτή βιταμίνη και αποτελεί πολύπλοκη αζωτούχο ένωση.

Φυσιολογικός ρόλος:

- Βασικό συστατικό των συνενζύμων που συμμετέχουν στον καταβολισμό των υδατανθράκων
- Επηρεάζει την όρεξη, την πέψη, την ανάπτυξη, τη γονιμότητα, το νευρικό σύστημα κ.λπ.

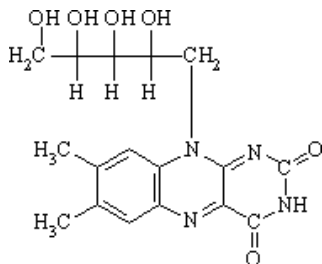
Συμπτώματα ανεπάρκειας:

- Ανορεξία, αναστολή ανάπτυξης, μυϊκή αδυναμία, νευρικούς σπασμούς
- Ευπάθεια σε αιμορραγίες (π.χ. στα βράγχια, οφθαλμούς κ.λπ.)

Πηγές:

- Στις περισσότερες τροφές, κυρίως στα σιτηρά (έμβρυα των καρπών)
- Ζύθος, λαχανικά, χλωρά χόρτα
- Άπαχο χοιρινό κρέας, ήπαρ, κρόκος αυγών

Βιταμίνη B₂ (ριβοφλαβίνη)



Φυσιολογική δράση

- Η B2 αποτελεί συστατικό ενζυμικών συστημάτων και σχετίζεται με το μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών και των λιπών
- Ενισχύει την όραση – χρωματισμός αμφιβληστροειδούς χιτώνα
- Ενισχύει το αναπαραγωγικό σύστημα

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Κακή όραση – καταρράκτης
- Ανορεξία, μείωση του ρυθμού ανάπτυξης

Πηγές

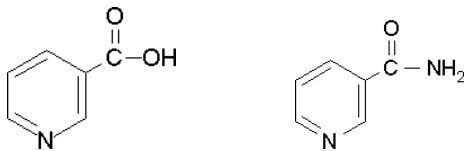
- Σόγια – δημητριακοί καρποί

Διατροφικές ανάγκες

- *O. mykiss* 20-30 mg / Kg σιτηρεσίου

- Κρέας, ήπαρ, γάλα
- Πράσινα χόρτα (χλωρά και ξερά)

Βιταμίνη B₃ (νιασίνη)



Η βιτ. B₃ βρίσκεται σε 2 μορφές - νικοτιναμίδιο & νικοτινικό οξύ

Φυσιολογική δράση

- Δομικό συστατικό του συνενζύμου NAD, το οποίο εμπλέκεται στους μηχανισμούς της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης και της αναπνευστικής αλυσίδας
- Δομικό συστατικό του συνενζύμου NADP, το οποίο εμπλέκεται στη μεταφορά H⁺ στα κύτταρα.

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση όρεξης, μείωση του ρυθμού ανάπτυξης
- Προβλήματα στο γαστρεντερικό

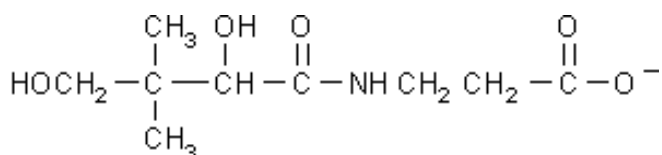
Πηγές

- Κρέας, ήπαρ, γάλα
- Όσπρια, πράσινα φυλλώδη χλωρά χόρτα

Διατροφικές ανάγκες

- *O. mykiss* 120-150 mg / Kg σιτηρεσίου

Βιταμίνη B₅ (παντοθενικό οξύ)

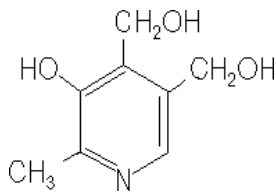


Υδατοδιαλυτή βιταμίνη

Φυσιολογική δράση

- Δομικό συστατικό του ακετυλο-Co-A, το οποίο συμμετέχει στον καταβολισμό των αμινοξέων, των λιπιδίων και των υδατανθράκων
- Ενισχύει το κλείσιμο των πληγών, μειώνει το στρες, ενισχύει το ανοσοποιητικό κ.λπ.
- Συμπτώματα ανεπάρκειας
- Μείωση όρεξης, της κατανάλωσης τροφής και του ρυθμού ανάπτυξης
- Πληγές, νέκρωση ιστών, προβλήματα στα βράγχια
- Πηγές Διατροφικές ανάγκες
- Φυτικές & ζωικές τροφές - *O. mykiss* 40-50 mg / Kg σιτηρεσίου
- Κυρίως ήπαρ, κρόκος αυγού, γάλα

Βιταμίνη B₆ (πυριδοξίνη)



Υδατοδιαλυτή βιταμίνη

Φυσιολογική δράση

- Μαζί με τις βιτ. B₉ & B₁₂ ρυθμίζουν την απορρόφηση του Fe στο σώμα και συμμετέχουν στο σχηματισμό των ερυθρών αιμοσφαιρίων
- Οι βιταμίνες αυτές επίσης είναι σημαντικές για το νευρικό σύστημα
- η B₆ συμμετέχει στον καταβολισμό των πρωτεϊνών και των αμινοξέων

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής, μείωση του ρυθμού ανάπτυξης
- Νευρικές διαταραχές, αναιμία, διαταραχές στο αναπνευστικό

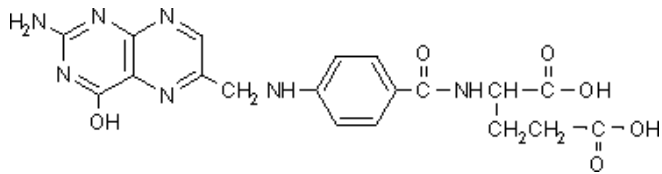
Πηγές

Δημητριακοί καρποί

Διατροφικές ανάγκες

- *S. aurata* 5-6 mg / Kg σιτηρεσίου

Βιταμίνη B₉ (φυλλικό οξύ)



Υδατοδιαλυτή βιταμίνη

Φυσιολογική δράση

- Συμμετέχει σε διάφορα ενζυμικά συστήματα
- Κυρίως δρα ως συνένζυμο στη μεταφορά ατόμων C
- Συμμετέχει στο σχηματισμό ερυθρών αιμοσφαιρίων
- Αποτελεί φυσικό αναλγητικό του πόνου

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής και ρυθμού ανάπτυξης
- Αναιμία, λευκοπενία

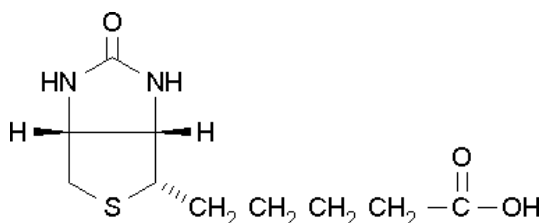
Πηγές

- Σιτηρά, σόγια, ελαιούχοι καρποί
- Ιχθυάλευρα
- Πράσινες τροφές

Διατροφικές ανάγκες

- *O. mykiss* 6-10 mg / Kg σιτηρεσίου

Βιταμίνη B₇ (βιοτίνη)



- Υδατοδιαλυτή βιταμίνη, διάφορες μορφές

Φυσιολογική δράση

- Συμμετέχει σε διάφορα ενζυμικά συστήματα (μεταβολισμό θρεπτικών ουσιών, δέσμευση CO₂ κ.λπ.)

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Δερματοπάθειες, μυϊκή ατροφία κ.λπ.

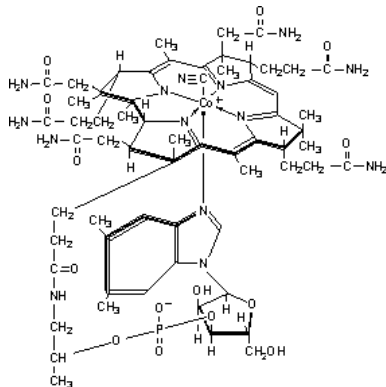
Πηγές

- Σε πάρα πολλές τροφές
- Κυρίως ήπαρ, γάλα

Διατροφικές ανάγκες

- *O. mykiss* 1-1,2 mg / Kg σιτηρεσίου

Βιταμίνη B₁₂ (κοβαλαμίνη)



Υδατοδιαλυτή βιταμίνη, πολύπλοκη οργανική ένωση, περιέχει κοβάλτιο (Co)

Φυσιολογική δράση

- Μαζί με τις βιτ. B₆ & B₉ ρυθμίζουν την απορρόφηση του Fe στο σώμα (και σχηματισμό ερυθρών αιμοσφαιρίων)
- Μεταβολισμό πρωτεϊνών και χοληστερόλης, μεταφορά μεθυλομάδων (-CH₂)

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής, ρυθμού ανάπτυξης
- Αναιμία, διαταραχές του νευρικού κ.λπ.

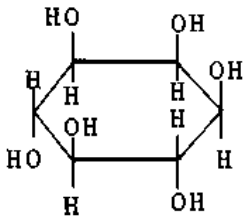
Πηγές

- Ιχθυάλευρα
- ήπαρ

Διατροφικές ανάγκες

- *O. mykiss* 6-10 mg / Kg σιτηρεσίου
- Οι μικροοργανισμοί του εντέρου μπορούν να παράγουν κάποια ποσότητα της B₁₂

Ινοσιτόλη



Υδατοδιαλυτή βιταμίνη του συμπλέγματος Β. Κάποιες φορές αναφέρεται και ως βιτ. Β₈. Υπάρχουν πολλά ισομερή της ινοσιτόλης εκ των οποίων η μυο-ινοσιτόλη είναι το πιο σημαντικό.

Φυσιολογική δράση

- Απαραίτητη για το σχηματισμό & τη διατήρηση της υφής των κυττάρων
- Συμμετέχει στο μεταβολισμό των λιπιδίων και αποτελεί συστατικό των φωσφολιπιδίων

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής, ρυθμού ανάπτυξης
- Πρήξιμο κοιλιάς, οιδήματα, γρήγορη εκκένωση του πεπτικού σωλήνα

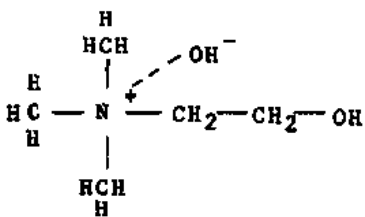
Πηγές

- Σε πολλές τροφές
- Σιτάρι, όσπρια, εσπεριδοειδή
- Καρδιά, εγκέφαλος ζώων

Διατροφικές ανάγκες

- *S. aurata* 300-900 mg / Kg σιτηρεσίου

Χολίνη



Υδατοδιαλυτή βιταμίνη

Φυσιολογική δράση

- Απαραίτητη για το σχηματισμό & τη διατήρηση της υφής των κυττάρων
- Συμμετέχει στο μεταβολισμό των λιπιδίων και αποτελεί συστατικό των φωσφολιπιδίων
- Συστατικό του νευρομεταβιβαστή ακετυλοχολίνη

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής, ρυθμού ανάπτυξης
- αιμορραγίες

Πηγές

- Τροφές που περιέχουν λίπος
- Ιχθυέλαιο, ήπαρ, σογιάλευρο

Διατροφικές ανάγκες

- *O. mykiss* 2000-4000 mg / Kg σιτηρεσίου

Βιταμίνη C – ασκορβικό οξύ

- Υδατοδιαλυτή βιταμίνη, $C_6H_8O_6$
- Λευκή, άοσμη, κρυσταλλική ένωση, οξειδώνεται εύκολα (μειωμένη δραστηριότητα)

Φυσιολογική δράση

- Δρα ως βιολογικό αναγωγικό μέσο για τη μεταφορά υδρογόνου
- Εμπλέκεται σε συστήματα ενζύμων υδροξυλίωσης
- Απαραίτητο για σχηματισμό κολλαγόνου και χόνδρινου ιστού δοντιών και οστών
- Επούλωση πληγών
- Αντιοξειδωτική δράση συνεργατικά με βιτ. E

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- διαταραχή στο σχηματισμό κολλαγόνου και οστών (σκολίωση, λόρδωση), βραγχοκαλλυμμάτων, υπερπλασία γνάθου και ρύγχους
- Αιμορραγίες, αναιμία

Πηγές

- Ιχθυάλευρα, εντομάλευρα

Διατροφικές ανάγκες

- *O. mykiss* 50 -1000 mg / Kg σιτηρεσίου

Βιταμίνη	Δράση	Κύρια Πηγή στις ιχθυοτροφές
A (ρετινόλη)	όραση, συντήρηση επιθηλ. κυττάρων	ιχθυέλαια
D (καλσιφερόλη)	ρυθμίζει εναπόθεση Ca, P στα οστά	ιχθυέλαια
E (τοκοφερόλη)	αντιοξειδωτική ουσία	καρπούς σιτηρών
K	πηκτικότητα του αίματος	πράσινες φυλλ. τροφές
B ₁	νευρικού ιστούς, μεταβολισμό CH ₂ O	ιχθυάλευρα & σιτηρά
B ₂	μεταβολικό πρωτ., λιπιδίων, CH ₂ O	ιχθυάλ., σόγια, δημητριακά
Νιασίνη	μεταφορά H ⁺ στα κύτταρα	ιχθυάλ., ζύμες, όσπρια
B ₆	μεταβολικό πρωτεϊνών	δημητριακά
Παντοθενικό οξύ	μεταβολισμό	σε όλες τις τροφές
Φολικό οξύ	παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων	ιχθυάλευρα & σιτηρά
Βιοτίνη	βιοσύνθεση λιπαρών ουσιών	σε όλες τις τροφές
B ₁₂	παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων	ιχθυάλευρα
C	μεταφορέας H ⁺ , OH ⁻ , οστά, ορμόνες	ιχθυάλευρα, εντομάλευρα
Χολίνη	μεταβολισμό λιπιδίων	ιχθυέλαιο, σογιάλευρο, σιτ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

9.1 Γενικά

Τα ανόργανα στοιχεία βρίσκονται περιέχονται σε μικροποσότητες στους ιστούς των ζωικών οργανισμών και επιτελούν διάφορες λειτουργίες στο σώμα τους. Καταρχήν, τα ανόργανα στοιχεία αποτελούν δομικά συστατικά των κυττάρων και των ιστών. Επίσης, αποτελούν συστατικά διαφόρων οργανικών ενώσεων και ενζύμων και έτσι ελέγχουν το μεταβολισμό των θρεπτικών ουσιών, την ανταλλαγή αερίων και ενέργειας στα διάφορα κυτταρικά συστήματα. Περαιτέρω, ως ιόντα των σωματικών υγρών ρυθμίζουν το οξυ-βασικό ισοζύγιο και την οσμωτική ρύθμιση με το νερό, ενώ είναι ρυθμιστές και του νευρικού και του ενδοκρινικού συστήματος.

Τα ανόργανα στοιχεία διακρίνονται σε μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία:

<u>Μακροστοιχεία</u>	<u>Ιχνοστοιχεία</u>		
Ca (ασβέστιο)	Fe (σίδηρος)	F (φθόριο)	
P (φώσφορος)	Cu (χαλκός)	Cr (χρώμιο)	
Mg (μαγνήσιο)	Zn (ψευδάργυρος)	Ni (νικέλιο)	
K (κάλλιο)	Mn (μαγγάνιο)	V (βανάδιο)	
Na (νάτριο)	Se (σελήνιο)	M (μολυβδαίνιο)	
Cl (χλώριο)	Co (κοβάλτιο)	I (ιώδιο)	
S (θείο)			

Τα μακροστοιχεία απαιτούνται από τον ζωικό οργανισμό σε μεγαλύτερες ποσότητες από ότι τα ιχνοστοιχεία. Ορισμένα ανόργανα στοιχεία μπορεί να γίνουν τοξικά αν ξεπεράσουν κάποια όρια συγκέντρωσης τους στη τροφή.

9.2 Μακροστοιχεία

Ασβέστιο (Ca)

Το ασβέστιο αποτελεί το πιο διαδεδομένο ανόργανο στοιχείο στο σώμα των ζωικών οργανισμών. Μαζί με το φώσφορο αποτελεί το 70% της συνολικής ανόργανης ουσίας του σώματος. Το 99% του συνολικού Ca βρίσκεται στα οστά στα δόντια και στα λέπια.

Φυσιολογική δράση

- Συστολή μυών

- Διατήρηση ωσμωτικής ισορροπίας
- Πήξη αίματος
- Λειτουργία κυτταρικών μεμβρανών
- Συμμετοχή στο νευρικό σύστημα
- Ρύθμιση έκκρισης ορμονών
- Ενεργοποίηση ενζύμων

Τα ψάρια απορροφούν Ca από το νερό μέσω των βραγχίων τους. Ο μεταβολισμός του Ca ρυθμίζεται ορμονικά (π.χ. καλσιτονίνη). Η ανταλλαγή Ca & P από τα οστά στο αίμα, και αντίστροφα, είναι μιας συνεχούς διαδικασίας.

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Σπάνια, γιατί οι απαιτήσεις σε Ca συνήθως καλύπτονται από το νερό & από την τροφή
- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής, ρ. ανάπτυξης
- Σκελετικές δυσμορφίες

Πλούσιες πηγές

- Ιχθυάλευρα

Στις Ιχθυοτροφές το Ca προστίθεται ως φωσφορικό ασβέστιο $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, φωσφορικό διασβέστιο Ca_3HPO_4 ή ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 .

Φώσφορος (P)

Ο φώσφορος είναι στενά συνδεδεμένος με το Ca. Το 80% του συνολικού P βρίσκεται στα οστά, δόντια & λέπια. Το υπόλοιπο βρίσκεται σε φωσφοπρωτεΐνες, νουκλεοπρωτεΐνες, φωσφολιπίδια και νουκλεϊκά οξέα.

Φυσιολογική δράση

- Μεταβολισμό υδατανθράκων (συμμετέχει στις ενώσεις ATP & ADP)
- Μεταβολισμό πρωτεϊνών & λιπιδίων
- Διατήρηση οξεοβασικής ισορροπίας

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής, μείωση του ρ. ανάπτυξης

- Σκελετικές δυσμορφίες

Πλούσιες πηγές

- Ιχθυάλευρα, καρποί σιτηρών, ελαιούχοι καρποί
- Στα φυτά απαντάται στη μορφή του φυτικού οξέος (μη διαθέσιμος P για τα ψάρια)

Μαγνήσιο (Mg)

Το Mg βρίσκεται κυρίως στα οστά των ψαριών & στους μαλακούς ιστούς τους.

Φυσιολογική δράση

- Συμμετέχει σε πολλές ενζυμικές αντιδράσεις του μεταβολισμού

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής, μείωση του ρ. ανάπτυξης
- Σκελετικές δυσμορφίες, μυϊκή δυστροφία

Πλούσιες πηγές

- Τροφές φυτικής προέλευσης

Κάλιο (K), νάτριο (Na), χλώριο (Cl)

Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τους αφθονότερους ηλεκτρολύτες του σώματος και βρίσκονται στα σωματικά υγρά & στους μαλακούς ιστούς των ψαριών

Φυσιολογική δράση

- Ρύθμιση ωσμωτικής πίεσης – διατήρηση οξεοβασικής ισορροπίας
- K & Mg τα κυριότερα κατιόντα του ενδοκυτταρικού υγρού
- Na & Cl τα κυριότερα ανιόντα των εξωκυτταρικών υγρών (πλάσμα αίματος, γαστρικά υγρά)

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Σπάνια στα ψάρια, γιατί τα απορροφούν από το νερό
- Μείωση όρεξης, κατανάλωσης τροφής, μείωση του ρ. ανάπτυξης
- Μυϊκούς σπασμούς

Πλούσιες πηγές

- Τροφές φυτικής προέλευσης πλούσιες σε K
- Ιχθυάλευρα πλούσια σε Na, Cl

9.3 Ιχνοστοιχεία

Σίδηρος (Fe)

Υψίστης σημασίας ιχνοστοιχείο το οποίο βρίσκεται κυρίως στο αίμα.

Φυσιολογική δράση

- 90% του Fe που περιέχεται στο σώμα βρίσκεται ενωμένο με πρωτεΐνες (αιμοσφαιρίνη, μυοσφαιρίνη)
- Συστατικό ενζυμικών συστημάτων (κυτόχρωμα, υπεροξειδάση, καταλάση κ.λπ.)
- Μεταφορά O₂ στα κύτταρα

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Αναιμία
- Υπερβολική δόση – μείωση της διατροφικής αξίας των λιπιδίων

Πλούσιες πηγές

- Απ' ευθείας από το νερό
- Ιχθυάλευρα πλούσια σε Fe
- Πολλές φυτικές τροφές

Χαλκός (Cu)

Βρίσκεται σε όλα τα κύτταρα – περισσότερο στα ηπατοκύτταρα

Φυσιολογική δράση

- Διευκολύνει την απορρόφηση του Fe & Zn
- Μετέχει σε πολλά ενζυμικά συστήματα (μεταφορά ηλεκτρονίων)

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση της ενεργότητας των ενζύμων

- Υπερβολική δόση – τοξικότητα

Πηγές

- Πολλές τροφές

Ψευδάργυρος (Zn)

Βρίσκεται σε όλους τους ιστούς – κυρίως στα οστά

Φυσιολογική δράση

- Μετέχει σε πολλά ενζυμικά συστήματα (μεταβολισμό Θρεπτικών Ουσιών)
- Συστατικό μεταλλοενζύμων

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Καταρράκτης
- Υπερβολική δόση – μείωση του αιματοκρίτη

Πλούσιες πηγές

- Δίθυρα, ιχθυάλευρα
- Δημητριακοί καρποί

Μαγγάνιο (Mn)

Βρίσκεται στα οστά - μιτοχόνδρια

Φυσιολογική δράση

- Μετέχει σε πολλά ενζυμικά συστήματα (καρβοξυλάση, λιπάση κ.α.)
- Μεταβολισμός θρεπτικών ουσιών

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Δυσμορφίες σκελετού

Πλούσιες πηγές

- Πίτυρα ρυζιού, υποπροϊόντα σιταριού
- Καλαμπόκι πολύ φτωχό σε Mn

Ιώδιο (I)

Βρίσκεται σε όλους τους ιστούς - κυρίως στο θυροειδή αδένα

Φυσιολογική δράση

- Βιοσύνθεση θυροειδικών ορμονών
- Μεταβολισμός θρεπτικών ουσιών
- Διεργασίες του νευρικού, μυϊκού & ενδοκρινικού συστήματος

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Μείωση ορμόνης θυροξίνης – υποθυροειδισμός – μείωση ανάπτυξης

Πηγές

- Απ' ευθείας από το νερό
- Φυτά & ζώα της θάλασσας
- Ιχθυάλευρο

Σελήνιο (Se)

Φυσιολογική δράση

- Αντιοξειδωτικό – προστασία κυτταρικής μεμβράνης από οξείδωση
- Αντιτοξικό ρόλο σε βαρέα μέταλλα

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- Καταστροφή κυττάρων

Πηγές

- Ιχθυάλευρο

Μολυβδαίνιο (Mo)

- Συμπαράγοντας της ξανθίνης, οξειδάσης, υδρογενάσης

Χρόμιο (Cr)

- Συμμετέχει στο σχηματισμό κολλαγόνου & ρύθμιση των επιπέδων γλυκόζης

Φθόριο (F)

- Συστατικό των οστών

Νικέλιο (Ni)

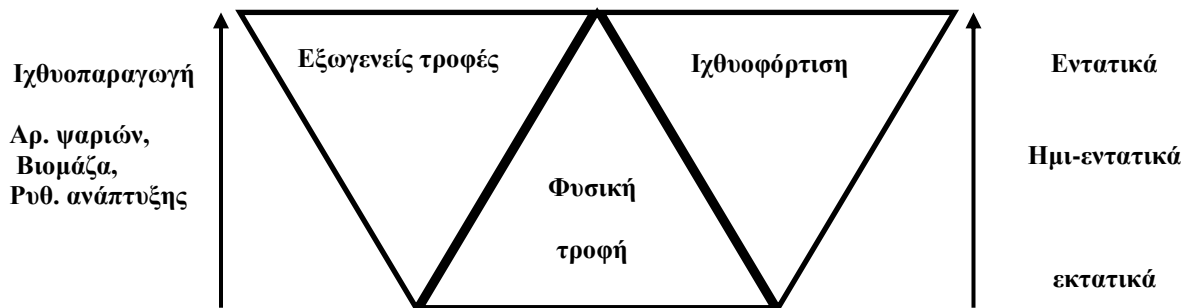
- Συστατικό της ουρεάσης – υδρόλυση της ουρίας
- Συμμετέχει σε κάποια ενζυμικά συστήματα

Αν. Στοιχείο	Δράση	Κύρια Πηγή στις ιχθυοτροφές
Ca	οστά, συστολή μυών, νευρικό, έκκριση ορμονών	ιχθυάλευρα, οστεάλευρα
P	οστά, μαλακούς ιστούς, μεταβολισμό ΘΟ	ιχθυάλευρα, σιτηρά, σόγια
Mg	ενζυμική δράση	φυτικές τροφές
K, Na, Cl	σωματικά υγρά, ηλεκτρολύτες, οσμωτική πίεση	φυτικές τροφές, ιχθυάλ.
Fe	αίμα, μυοσφαιρίνη, μεταφορά O ₂ στα κύτταρα	ιχθυάλ., ψυχανθή
Cu	στοιχείο ενζύμων	σε πολλές τροφές
Zn	σε μεταλλοένζυμα, ρύθμιση ενεργότητας ενζύμων	ιχθυάλ., δίθυρα, δημητρ.
Mn	ένζυμα μεταβολισμού	ρύζι, σιτάρι
I	θυρεοειδή αδένα, ενδοκρινικό, νευρικό σύστημα	θαλάσσια ζώα & φυτά
Se	αντιοξειδωτική & αντιτοξική δράση	ιχθυάλευρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10.

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΕ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

10.1 Γενικά



Σχήμα 10.1. Διατροφή των εκτρεφόμενων ψαριών ανάλογα το σύστημα εκτροφής τους.

Σε συνθήκες ιχθυοκαλλιέργειας, η ικανοποίηση των διαιτητικών αναγκών των ψαριών σε θρεπτικές ουσίες, αλλά και ο ρυθμός ανάπτυξης τους, εξαρτάται από το σύστημα της εκτροφής τους.

- Στην **εκτατική εκτροφή**, δεν χορηγούνται εξωγενείς τροφές και η διατροφή των ψαριών βασίζεται αποκλειστικά στη φυσική τροφή που υπάρχει στο καλλιεργητικό μέσο – υδάτινο περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά μπορούν να υποστηρίξουν μικρό αριθμό εκτρεφόμενων ψαριών (χαμηλή ιχθυοφόρτιση, χαμηλή βιομάζα) τα οποία αναπτύσσονται με αργούς ρυθμούς.
- Στην **ημι-εντατική εκτροφή**, η διατροφή των ψαριών βασίζεται εν μέρει στη φυσική παραγωγικότητα του καλλιεργητικού μέσου και κατά ένα μέρος στην προσφορά συμπληρωματικών εξωγενών τροφών.
- Στην **εντατική εκτροφή**, η διατροφή των ψαριών βασίζεται αποκλειστικά σε εξωγενείς πλήρεις τροφές, οι οποίες καλύπτουν επαρκώς τις ανάγκες των ψαριών σε θρεπτικές ουσίες.

10.2 Διατροφή των ψαριών σε εκτατικά συστήματα εκτροφής

Στα εκτατικά συστήματα ιχθυοκαλλιέργειας, η διατροφή των εκτρεφόμενων ψαριών βασίζεται αποκλειστικά στην πρόσληψη της φυσικής τροφής που υπάρχει στο περιορισμένο υδάτινο περιβάλλον τους. Η φυσική τροφή μπορεί να αποτελείται από:

- Φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς (π.χ. μικροφύκη, διάτομα κ.λπ.)
- Υδρόβια μακρόφυτα (π.χ. *Brassicaceae spp.*, *Iridaceae spp.*, κ.λπ.)

- Ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς (π.χ. κωπήποδα, ροτίφερα κ.λπ.)
- Υδρόβια ασπόνδυλα (π.χ. μαλάκια, μικρά καρκινοειδή κ.λπ.)
- Σαπροφάγους μικροοργανισμούς (π.χ. μύκητες, βακτήρια κ.λπ.)

Η συνολική ιχθυοπαραγωγή και η συνολική βιομάζα που μπορεί να υποστηριχθεί από αυτά τα συστήματα είναι αρκετά κυμαινόμενη:

- Εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών του νερού, και κυρίως από το άζωτο (N), το φώσφορο (P) και τον άνθρακα (C), τα οποία είναι τα κυριότερα συστατικά των οργανισμών της φυσικής τροφής.
- Εξαρτάται από τους διάφορους αβιοτικούς παράγοντες του νερού και κυρίως από τη διαπερατότητα του φωτός για φωτοσύνθεση και τη θερμοκρασία νερού, η οποία επηρεάζει τον μεταβολισμό των οργανισμών.

Η φυσική τροφή είναι γενικά πλούσια σε θρεπτικές ουσίες, όπως:

- πρωτεΐνες & απαραίτητα αμινοξέα
- Λιπίδια & απαραίτητα λιπαρά οξέα
- Βιταμίνες & ανόργανα στοιχεία

Ωστόσο, η ποσότητα της φυσικής τροφής ενός υδάτινου όγκου εκτός ότι είναι αρκετά κυμαινόμενη είναι και περιορισμένη:

- Διότι η πρωτογενής παραγωγικότητα ενός συγκεκριμένου υδάτινου όγκου είναι περιορισμένη και μπορεί να υποστηρίξει ορισμένη παραγωγή φυσικής τροφής που δεν επαρκεί για περισσότερα και μεγαλύτερα ψάρια
- Υπάρχει μία μέγιστη ποσότητα βιομάζας που μπορεί να παραχθεί:

Πολλά μικρά ψάρια (όταν υπάρχει μεγάλη ιχθυοφόρτιση)

Λίγα μεγάλα ψάρια (όταν υπάρχει μικρή ιχθυοφόρτιση)

Η παραγωγικότητα ενός υδάτινου οικοσυστήματος εξαρτάται από την παρουσία των:

α) αυτότροφων οργανισμών:

- πράσινο φυτοπλαγκτόν, υδρόβια μακρόφυτα

τα οποία δεσμεύουν το φως + CO₂ + H₂O → παραγωγή οργανικής ύλης και αποτελούν την τροφή του ζωοπλαγκτόν & των φυτοφάγων ψαριών

- αναερόβια βακτήρια & κυανό-πράσινη άλγη

τα οποία δε φωτοσυνθέτουν, αλλά χρησιμοποιούν τα χημικά στοιχεία του νερού ως πηγή ενέργειας → παραγωγή οργ. ύλης

β) ετερότροφων οργανισμών

- σαπροφάγοι μικροοργανισμοί (μικρόβια)

αποσυνθέτουν τη νεκρή οργανική ύλη → παραγωγή οργ. ύλης μικροβίων

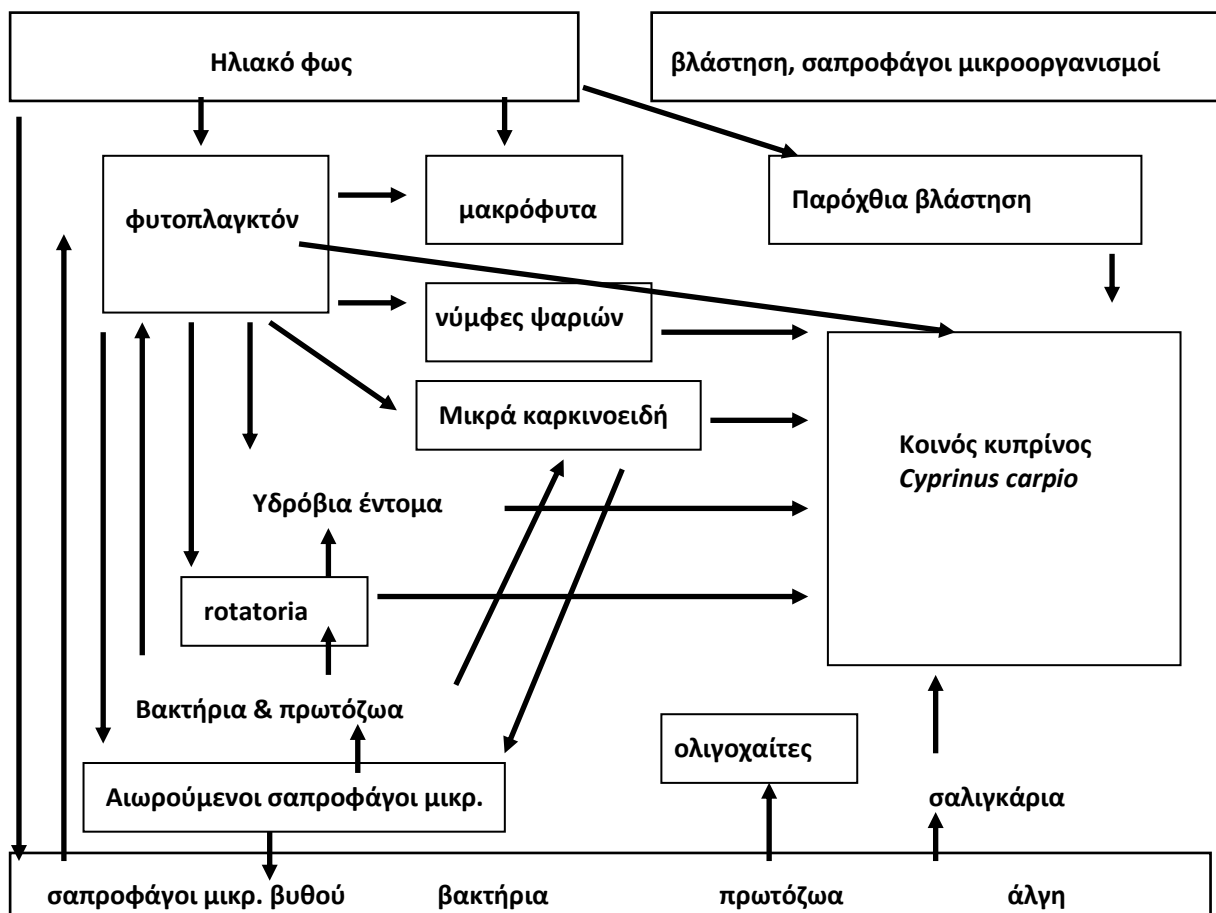
αποτελούν τροφή για τα πρωτόζωα, τα νηματώδη, όλους τους βενθικούς οργανισμούς

Όλοι οι οργανισμοί που αποτελούν τη φυσική τροφή ενός υδάτινου όγκου αποτελούνται κυρίως από:

- Άζωτο (N), φώσφορο (P) και άνθρακα (C)

π.χ. οι φυτοπλαγκτονικοί οργ. περιέχουν κατά μέσο όρο: 40-45% C, 8-10% N και 1% P

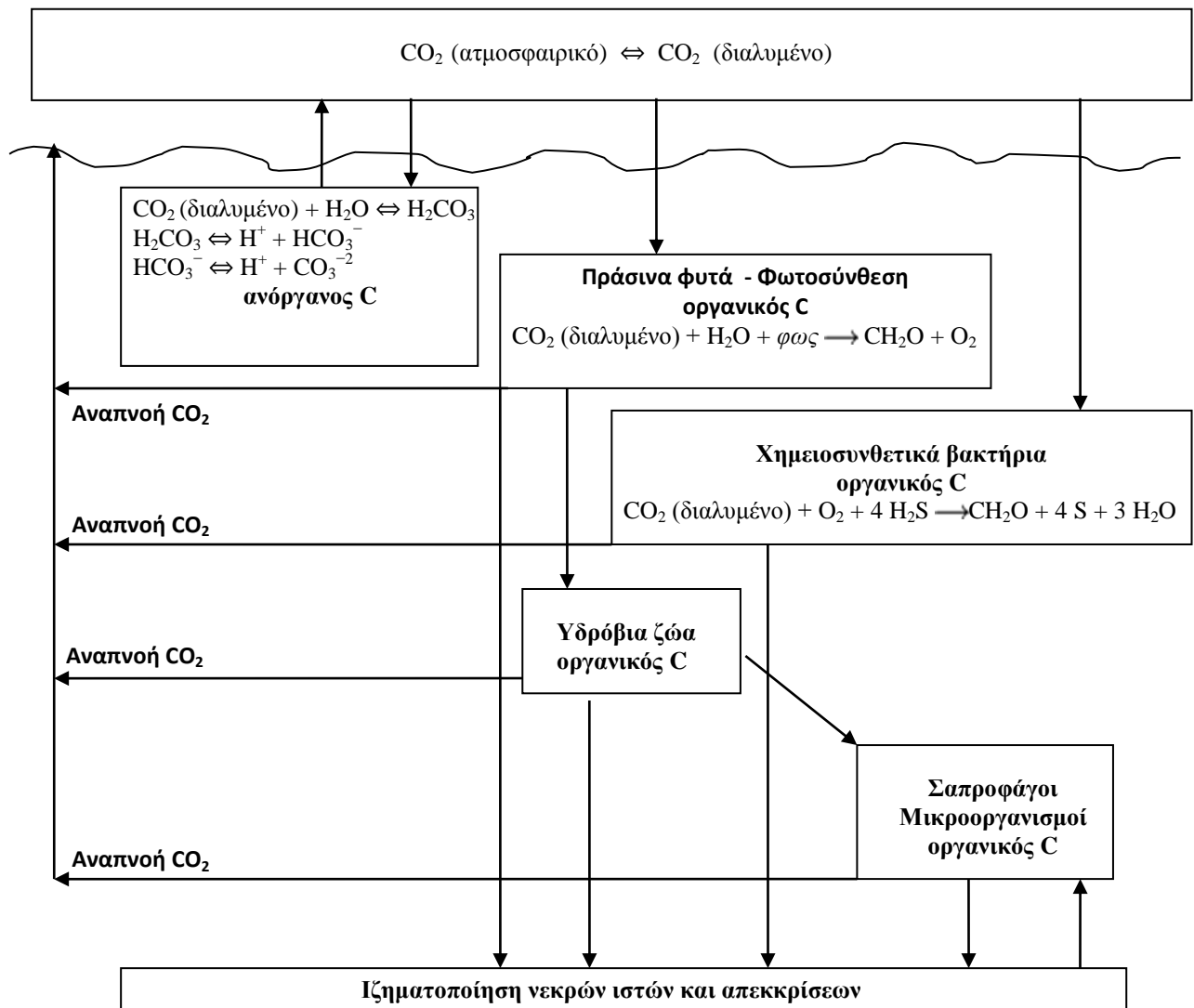
- Ο κύκλος παραγωγής καθενός από αυτά τα στοιχεία μέσα σε έναν υδάτινο όγκο επηρεάζει σημαντικά την πρωτογενή παραγωγή του (παραγωγή της φυσικής τροφής).



Σχήμα 10.2. Γραφική αναπαράσταση της τροφικής αλυσίδας του *C. carpio* σε χωμάτινες δεξαμενές.

10.2.1 Κύκλος του άνθρακα στα υδάτινα περιβάλλοντα

Ο ατμοσφαιρικός άνθρακας που εισέρχεται σε έναν υδάτινο όγκο είναι δεσμευμένος ως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Το ισοζύγιο διάλυσης του CO₂ στο νερό εξαρτάται από το pH του νερού, με τη διαλυτότητα του CO₂ να αυξάνει με την αύξηση του pH. Ένα μέρος του διαλυμένου CO₂ στο νερό θα δεσμευτεί ως ανόργανος C στην μορφή των ανθρακικών (CO₃²⁻) ή διττανθρακικών ιόντων (HCO₃⁻), τα οποία ρυθμίζουν το οξεοβασικό ισοζύγιο του νερού και το προστατεύουν από το να γίνει αρκετά όξινο ή αρκετά βασικό. Μία ποσότητα αυτών των ιόντων θα δεσμευτεί με άλατα και θα ιζηματοποιηθεί και ίσως περάσει αρκετός χρόνος μέχρι την ανάδευση του ιζήματος και την επαναδιάλυση τους στην υδάτινη στήλη. Όταν η θερμοκρασία του νερού αυξηθεί τα ανθρακικά και διττανθρακικά ιόντα θα επιστρέψουν στην ατμόσφαιρα ως CO₂.



Σχήμα 10.3. Απλοποιημένη γραφική αναπαράσταση του κύκλου του άνθρακα σε έναν υδάτινο όγκο.

Ένα μέρος του διαλυμένου CO₂ θα απορροφηθεί, μαζί με νερό και τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, από τα πράσινα φυτά και το φυτοπλαγκτόν, όπου με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης θα παραχθεί οργανικός C υπό τη μορφή απλών υδατανθράκων (CH₂O), όπως γλυκόζη και άλλα σάκχαρα. Αυτοί οι απλοί υδατάνθρακες θα χρησιμοποιηθούν έπειτα από τα φυτά για να συνθέσουν πιο σύνθετους υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια και οργανικά οξέα. Ένα ποσό αυτού του άνθρακα θα γυρίσει στην υδάτινη στήλη μέσω της αναπνοής των φυτών ($6 \text{ O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 6 \text{ H}_2\text{O} + 6 \text{ CO}_2 + \text{ATP}$), όπου είτε θα επαναχρησιμοποιηθεί είτε θα απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Παράλληλα, ένα μικρό μέρος του διαλυμένου CO₂ θα χρησιμοποιηθεί από τα χημειοσυνθετικά βακτήρια για την παραγωγή οργανικού C υπό τη μορφή βακτηριακών υδατανθράκων που με τη σειρά τους θα συνθέσουν πρωτεΐνες, λιπίδια και οργανικά οξέα βακτηριακής προέλευσης. Όπως, και με τα φυτά, ένα ποσό του C των χημειοσυνθετικών βακτηρίων θα γυρίσει στην υδάτινη στήλη μέσω της αναπνοής τους.

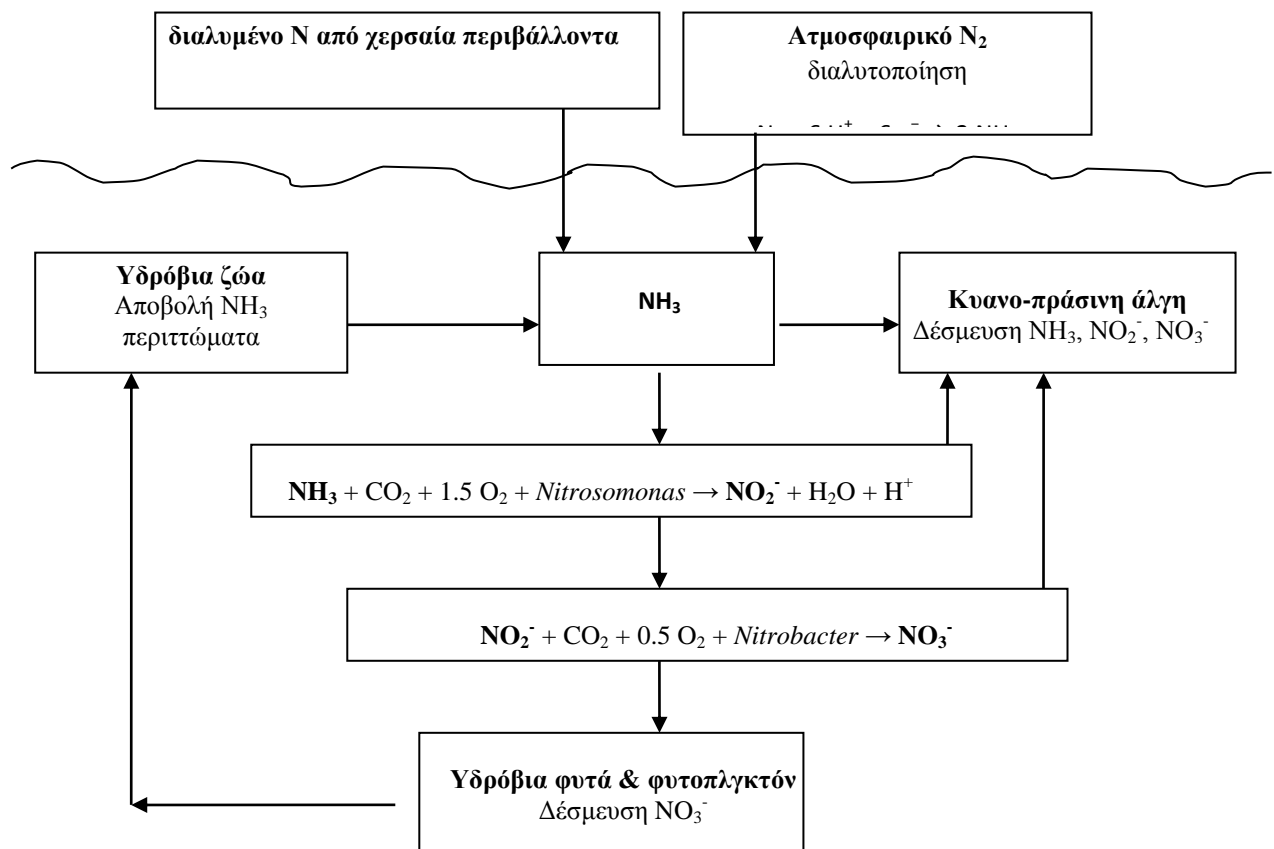
Ο οργανικός C των υδρόβιων φυτών και του φυτοπλαγκτόν θα μεταφερθεί μέσω της τροφικής αλυσίδας στους ετερότροφους υδρόβιους οργανισμούς. Οι απεκκρίσεις και οι νεκροί ιστοί των ετερότροφων οργανισμών, όπως και οι νεκροί ιστοί των αυτότροφων οργανισμών θα πέσουν στο ίζημα του βυθού όπου θα αποσυντεθούν από τους διάφορους σαπροφάγους μικροοργανισμούς και θα παραχθεί εκ νέου οργανικός άνθρακας. Ο οργανικός C αυτός, θα μεταφερθεί στη τροφική αλυσίδα μέσω της κατανάλωσης των σαπροφάγων μικροοργανισμών από ανώτερους ετερότροφους οργανισμούς.

10.2.2 Κύκλος του αζώτου στα υδάτινα περιβάλλοντα

Σε έναν υδάτινο όγκο, οι διάφοροι υδρόβιοι ζωικοί οργανισμοί απεκκρίνουν αζωτούχες ουσίες όπως η αμμωνία (NH₃) και η ουρία ως αποτέλεσμα, όπως είδαμε σε σχετικό κεφάλαιο, του πρωτεϊνικού μεταβολισμού τους. Αμμωνία, επίσης παράγεται και από τους μύκητες και τα βακτήρια που αποσυνθέτουν τη νεκρά οργανικής ύλης και τα περιττώματα των υδρόβιων ζώων που καταβυθίζονται στο ίζημα. Επίσης, το διαλυμένο άζωτο των υδάτινων περιβαλλόντων μπορεί να εμπλουτίζεται από διάφορες φυσικές (π.χ. φύλλα δέντρων) ή ανθρωπογενείς πηγές (π.χ. αγροτικά λιπάσματα) του χερσαίου περιβάλλοντος, που διαμέσου των εδαφών στον υπόγειο υδροφόρο εκχύνονται σε αυτά. Περαιτέρω, μία ακόμη πηγή αζώτου, μικρή όμως, στα υδάτινα περιβάλλοντα αποτελεί το ατμοσφαιρικό N που διαλύεται στο νερό και δεσμεύεται από την κυανο-πράσινη άλγη.

Η διαλυμένη NH₃ στο νερό, η οποία είναι τοξική για τα υδρόβια ζώα, έπειτα οξειδώνεται από τα χημειο-αυτότροφα βακτήρια, όπως π.χ. του γένους *Nitrosomonas*. Τα χημειο-αυτότροφα βακτήρια χρησιμοποιούν κατά αυτόν τον τρόπο την ενέργεια που

παράγεται από την οξείδωση της NH_3 , και παράλληλα τον C του CO_2 ως τροφή, για να παραγάγουν τα οργανικά τους μόρια. Η οξείδωση της NH_3 από τα βακτήρια αυτά απελευθερώνει νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) στο νερό, τα οποία επίσης είναι τοξικά για τα υδρόβια ζώα. Τα NO_2^- οξειδώνονται κατόπιν από μία άλλη ομάδα χημειο-αυτότροφων βακτηρίων, όπως π.χ. του γένους *Nitrobacter*, για τον ίδιο σκοπό όπως προηγουμένως με αποτέλεσμα την απελευθέρωση νιτρικών ιόντων (NO_3^-), τα οποία δεν είναι τοξικά για τα υδρόβια ζώα. Τα NO_3^- δεσμεύονται από το φυτοπλαγκτόν και τα υδρόβια φυτά που χρησιμοποιούν το άζωτο αυτό για την παραγωγή των δικών τους οργανικών μορίων. Με αυτόν τον τρόπο το οργανικό πλέον άζωτο των φυτών μεταφέρεται στην τροφική αλυσίδα.

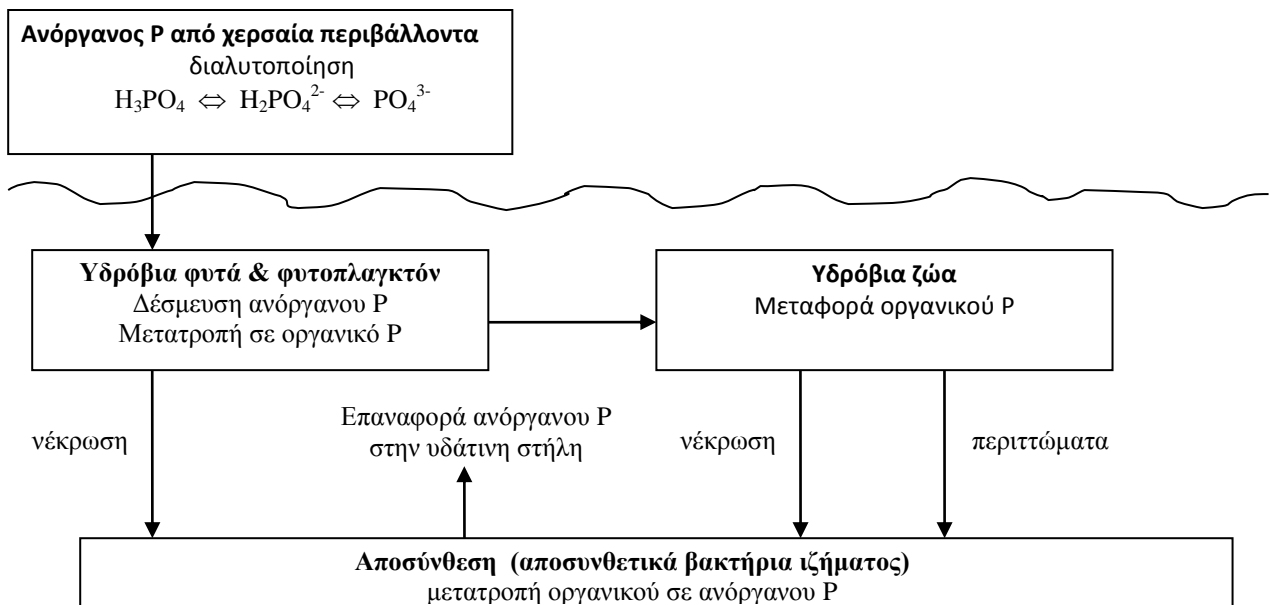


Σχήμα 10.4. Απλοποιημένη γραφική αναπαράσταση του κύκλου του αζώτου σε έναν υδάτινο όγκο.

10.2.3 Κύκλος του φωσφόρου στα υδάτινα περιβάλλοντα

Ο κύκλος του φωσφόρου (P) είναι γενικά ο πιο αργός βιογεωχημικός κύκλος των στοιχείων στη γη. Ο φώσφορος βρίσκεται συνήθως στο έδαφος και στα πετρώματα του χέρσου και του ωκεανού υπό τη μορφή ορθοφωσφορικών αλάτων HPO_2^{-4} . Ο διαλυμένος φώσφορος (PO_4^{-3}) στο υδάτινο περιβάλλον μπορεί να είναι είτε ανόργανος είτε οργανικός. Ο ανόργανος φώσφορος στο υδάτινο περιβάλλον προέρχεται είτε από την έκπλυση του φωσφόρου από το χερσαίο περιβάλλον είτε από την γεωχημική ανάδευση των πετρωμάτων του ωκεανού. Ο οργανικός φώσφορος του υδάτινου περιβάλλοντος βρίσκεται στους ιστούς των φυτών και των ζώων.

Τα υδρόβια φυτά δεσμεύουν τον ανόργανο P και τον μετατρέπουν σε οργανικό, αυτός καθώς γίνεται μέρος των οργανικών μορίων των ιστών τους. Έπειτα, τα υδρόβια ζώα παίρνουν τον οργανικό P μέσω της τροφικής αλυσίδας. Ο οργανικός P που περιέχεται στα περιττώματα των υδρόβιων ζώων, καθώς και στους νεκρούς ιστούς αυτών και των υδρόβιων φυτών, καθιζάνει στο βυθό, όπου τα αποσυνθετικά βακτήρια τον μετατρέπουν πάλι σε ανόργανο P. Ο ανόργανος P επανέρχεται στην υδάτινη στήλη από την ανάδευση του βυθού, είτε αυτή γίνεται από τα υδρόβια ζώα, είτε από τα υδάτινα ρεύματα, είτε επίσης από χημικές αντιδράσεις στο ίζημα και έτσι δεσμεύεται εκ νέου από τα φυτά και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



Σχήμα 10.5. Απλοποιημένη γραφική αναπαράσταση του κύκλου του φωσφόρου σε έναν υδάτινο όγκο.

10.3 Διατροφή των ψαριών σε ημι-εντατικά συστήματα εκτροφής

Λίπανση του συστήματος εκτροφής

Η φυσική παραγωγικότητα ενός εκτατικού υδατοκαλλιεργητικού συστήματος είναι περιορισμένη και μπορεί να υποστηρίξει μικρή υδατοκαλλιεργητική παραγωγή. Ωστόσο, η φυσική τροφή ενός υδάτινου όγκου μπορεί να ενισχυθεί μέσω της λίπανσης του. Το άζωτο (N) είναι συνήθως το «οριακό θρεπτικό στοιχείο» για την ανάπτυξη των οργανισμών στο νερό της θάλασσας, ενώ ο φώσφορος (P) είναι συνήθως το «οριακό θρεπτικό στοιχείο» στα γλυκά νερά. Έτσι, η χορήγηση λιπασμάτων στο νερό μπορεί να προσθέσει άζωτο και φώσφορο σε αυτό και να ενισχύσει τη φυσική παραγωγικότητα και δια μέσου αυτής την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ψαριών. Η πρακτική της λίπανσης εφαρμόζεται συνήθως σε ημι-εντατικά συστήματα εκτροφής χορτοφάγων ή παμφάγων ψαριών ή και σε πολυκαλλιεργητικά συστήματα, όπου τα ψάρια εκτρέφονται σε χωμάτινες δεξαμενές.

Υπάρχουν δύο ειδών λιπάσματα:

α) Οργανικά λιπάσματα:

- κοπριά αγροτικών ζώων, αποσυντιθέμενα φύλλα και ρίζες φυτών κ.λπ.
- είναι φθηνά
- αποτελούν τροφή για τους ετερότροφους οργανισμούς (π.χ. αποσυνθετικά βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα, κάποια ψάρια τρέφονται απ' ευθείας με αυτά)
- Η σύσταση τους σε N, P, C είναι αρκετά κυμαινόμενη (π.χ. ανάλογα από το είδος του ζώου που προέρχεται η κοπριά, ανάλογα τη διατροφή του ζώου κ.λπ.)
- Π.χ. κοπριά αγελάδας περιέχει 2% N και 0,5% P επί της ξηρής ουσίας της. Η κοπριά των πουλερικών περιέχει 4% N και 2% P.

β) Ανόργανα λιπάσματα:

- π.χ. ουρία, αμμωνιακά άλατα, αζωτούχες ουσίες (προσφορά N)
- φωσφορικές ανόργανες ενώσεις (προσφορά P)
- αρκετά ακριβότερα από τα οργανικά λιπάσματα
- αποτελούν συμπυκνωμένες πηγές του N και του P
- αποτελούν τροφή για τους αυτότροφους οργανισμούς (φυτά, φυτοπλαγκτόν, χημειο-αυτότροφα βακτήρια) και οδηγούν σε άμεση και γρήγορη παραγωγή του φυτοπλαγκτόν
- απαιτούνται σε μικρότερες ποσότητες από ότι τα οργανικά λιπάσματα (επίσης ευκολότερη η μεταφορά και η αποθήκευσή τους στην υδατοκαλλιεργητική μονάδα)

Γενικά, μία χωμάτινη δεξαμενή που έχει υποστεί λίπανση έχει ποσότητα φυτοπλαγκτόν 4-5 φορές περισσότερη από ότι αν δεν λιπανθεί

Η ποσότητα της λίπανσης που απαιτείται εξαρτάται από:

- Τη διαπερατότητα του φωτός (όταν σε σκίαση → περισσότερη λίπανση)
- Θολότητα και ποιότητα νερού (κυρίως pH, τα σκληρά νερά που έχουν υψηλό pH → περισσότερη λίπανση)
- Ποιότητα του ιζήματος του βυθού (ίζημα πλούσιο σε οργανική ύλη → λιγότερη λίπανση)
- Ύπαρξη υδρόβιων μακρόφυτων (τα μακρόφυτα ανταγωνίζονται με το φυτοπλαγκτόν για τα θρεπτικά στοιχεία. Ωστόσο, ακόμα και τα χορτοφάγα ψάρια σπάνια τρέφονται με μακρόφυτα)
- Τα είδη του φυτοπλαγκτόν που υπάρχουν στον υδάτινο όγκο (υπάρχει τροφικός ανταγωνισμός μεταξύ τους)
- Διαλυτότητα του λιπάσματος στο νερό (ο P διαλύεται πιο δύσκολα από ότι το N)

Προετοιμασία χωμάτινης δεξαμενής πριν τη λίπανση

Πριν τη λίπανση, μια συνηθισμένη πρακτική είναι η ξήρανση της χωμάτινης δεξαμενής, η οποία προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα:

- Βελτιώνει τη σύσταση του ιζήματος του βυθού. Το ίζημα αερίζεται και αναδεύεται απελευθερώνοντας πολλά θρεπτικά στοιχεία που είχαν δεσμευτεί σε αυτόν. Έτσι θα δημιουργηθούν καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης των βενθικών οργανισμών όταν η δεξαμενή γεμίσει και πάλι με νερό.
- Οξειδώνονται οι ανεπιθύμητοι μεταβολίτες του ιζήματος (π.χ. H₂S τοξικό).
- Σκοτώνει τα παράσιτα και τα αυγά τους που είχαν φωλιάσει στο ίζημα.
- Σκοτώνει τα ανεπιθύμητα υδρόβια μακρόφυτα που δεν αποτελούν τροφή για τα εκτρεφόμενα ψάρια αλλά ωστόσο καταναλώνουν οξυγόνο και θρεπτικά στοιχεία από την υδάτινη στήλη.
- Απομακρύνεται η υπερβολική λάσπη του βυθού που συσσωρεύεται κατά τη διάρκεια του υδατοκαλλιεργητικού κύκλου παραγωγής. Έτσι διευκολύνεται η συγκομιδή των ψαριών.
- Οι χωμάτινες δεξαμενές θα πρέπει να ξηραίνονται σε κάθε κύκλο παραγωγής.

Εκτός από την ξήρανση της χωμάτινης δεξαμενής, μία άλλη συνηθισμένη πρακτική είναι η ασβέστωση της δεξαμενής μετά την ξήρανση της. Για να αποδώσει η λίπανση, το ίζημα του βυθού της δεξαμενής δεν πρέπει να είναι πολύ όξινο και το νερό να είναι ελαφρά αλκαλικό (pH 7-8,5). Τα όξινα ιζήματα απορροφούν εύκολα τον ανόργανο P και τον καθιστούν μη διαθέσιμο για το φυτοπλαγκτόν και τα ψάρια. Η ασβέστωση του βυθού της δεξαμενής γίνεται συνήθως με CaO ή μαρμαρόσκονη (CaCO₃) και προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα:

- Αυξάνει το pH και την αλκαλικότητα του νερού
- Η αυξημένη αλκαλικότητα αυξάνει τη διαθεσιμότητα του C για φωτοσύνθεση
- Αυξάνει η διαθεσιμότητα του ανόργανου P στην υδάτινη στήλη
- Το αλκαλικό pH βοηθάει την ανάπτυξη των ωφέλιμων βακτηρίων, μυκήτων κ.λπ.
- Η ασβέστωση δρα ως απολυμαντικό σκοτώνοντας ανεπιθύμητα παράσιτα, μακρόφυτα κ.λπ.
- Η φυσική παραγωγικότητα του συστήματος αυξάνει κατά 30-40%.

Συμπληρωματικές τροφές

Όσο μεγαλώνουν τα ψάρια (αύξηση της βιομάζας τους) οι απαιτήσεις τους σε θρεπτικές ουσίες δε μπορούν να καλυφθούν μόνο από την περιορισμένη φυσική τροφή του καλλιεργητικού μέσου. Για να επιτευχθούν υψηλότεροι και ταχύτεροι ρυθμοί ανάπτυξης θα πρέπει να καταναλώσουν εξωγενή τροφή, ως συμπλήρωμα στη διατροφή τους. Οι «συμπληρωματικές τροφές» είναι κυρίως φθηνές πρώτες ύλες – συστατικά, άμεσα διαθέσιμα στην αγορά, όπως π.χ. σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι, σίκαλη, σόργο, μηδική, ρύζι κ.λπ., καθώς και τα υποπροϊόντα αυτών.

Διατροφική αξία των συμπληρωματικών τροφών:

- το περιεχόμενο ποσοστό της πρωτεΐνης τους είναι χαμηλότερο από εκείνο που απαιτούν τα ψάρια
- Ωστόσο είναι καλές πηγές διαιτητικής ενέργειας
- Έτσι προσφέρουν συμπληρωματική πρωτεΐνη αλλά και αρκετή ενέργεια στα εκτρεφόμενα ψάρια

Οι συμπληρωματικές τροφές μπορεί να χορηγηθούν στα ψάρια ως ξηρά άλευρα (είτε μόνα τους είτε ανάμειξη διαφόρων συστατικών), ως ζυμάρια, ως πολτοί (αυξημένη υγρασία), ή και ως σύμπηκτα-πελλέτες (σωματίδια τροφής με συγκεκριμένη μορφή και σταθερή υφή).

Οι συμπληρωματικές τροφές δρουν επίσης και ως οργανικά λιπάσματα όταν χορηγούνται σε μεγάλες ποσότητες. Η διατροφή των ψαριών με συμπληρωματικές τροφές μπορεί να διπλασιάσει την υδατοκαλλιεργητική παραγωγή από ότι αν εφαρμόζονταν μόνο η λίπανση. Περίπου το 90% της παγκόσμιας παραγωγής εκτρεφόμενων ψαριών διατρέφεται σε εκτατικά & ημι-εντατικά συστήματα εκτροφής. Η πλειοψηφία των ειδών που εκτρέφονται είναι χορτοφάγα – παμφάγα ψάρια όπως π.χ. διάφορα κυπρινοειδή, τιλάπιες, γατόψαρα, κεφαλοειδή κ.λπ.

10.4 Διατροφή των ψαριών σε εντατικά συστήματα εκτροφής

Τα εντατικά συστήματα εκτροφής ιχθύων χαρακτηρίζονται από υψηλές ιχθυοφορτίσεις και την επιθυμία επιτυχίας υψηλών ρυθμών ανάπτυξης των ιχθύων, ώστε να είναι επικερδής η υψηλή χρηματική επένδυση. Στη συντριπτική πλειοψηφία τους στα συστήματα αυτά εκτρέφονται σαρκοφάγα είδη. Η ικανοποίηση των διαιτητικών απαιτήσεων των εκτρεφόμενων ιχθύων καλύπτεται εξολοκλήρου από εξωγενείς, υψηλής τεχνολογίας παρασκευής, τροφές που είναι της μορφής πελλέτας. Οι προπαρασκευασμένες αυτές τροφές είναι αρκετά ακριβές, το κόστος των οποίων συνήθως φθάνει το 40-60% του μεταβλητού κόστους παραγωγής μιας μονάδας. Οι τροφές αυτές παρέχουν όλες τις θρεπτικές ουσίες και στις ποσότητες που απαιτούνται από τα ψάρια (αναλυτικότερα στο μάθημα Τεχνολογία Ιχθυοτροφών).

10.5 Επιλογή συστήματος διατροφής

Πριν επιλέξουμε ποιά σύστημα διατροφής (εκτατικό, ημι-εντατικό, εντατικό) είναι κατάλληλο για μια υδατοκαλλιεργητική προσπάθεια, θα πρέπει να συνυπολογίσουμε διάφορους οικονομικούς, κοινωνικούς, βιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες:

- Ποιές είναι οι διατροφικές συνήθειες των εκτρεφόμενων ψαριών (ποιές οι διατροφικές τους προτιμήσεις, ποιά η διατροφική τους συμπεριφορά, αν ως είδος επιτυγχάνει καλούς ρυθμούς ανάπτυξης κ.λπ.)
- Ποιός είναι ο τύπος του καλλιεργητικού μέσου που θα χρησιμοποιήσουμε (π.χ. χωμάτινες-τσιμεντένιες δεξαμενές, ιχθυοκλωβοί κ.λπ.)
- Ποιές οι απαιτήσεις των ψαριών σε ποιοτικές παράμετρους του νερού (π.χ. αν είναι ανθεκτικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου και σε υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας, αν υπάρχει η δυνατότητα συχνής αλλαγής του νερού κ.λπ.)

- Ποιός είναι ο επιθυμητός στόχος της συνολικής υδατοκαλλιεργητικής παραγωγής (ώστε να εκτιμηθεί η μέγιστη επιτρεπτή ιχθυοφόρτιση)
- Ποιό είναι το κόστος αγοράς λιπασμάτων, συμπληρωματικών τροφών, προπαρασκευασμένων τροφών (συμπεριλαμβανομένων του κόστους μεταφοράς, αποθήκευσης και μεταποίησης τους)
- Ποιά είναι η αγοραστική αξία και το δίκτυο εμπορίας των ψαριών που θέλουμε να παράγουμε (τιμή πώλησης, κόστος εργασίας της συγκομιδής, κόστος εμπορίας-μεταφοράς-αποθήκευσης κ.λπ.)
- Ποιά είναι η συνολική επένδυση του κεφαλαίου της υδατοκαλλιεργητικής μονάδας
- Πόσος είναι ο διαθέσιμος χρόνος καθημερινής απασχόλησης του παραγωγού με τη διατροφή των ψαριών (π.χ. η λίπανση απαιτεί χρόνο & εργασία)
- Υπάρχει διαθεσιμότητα ειδικού (επιστημονικού) και εργατικού δυναμικού (συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου εκπαίδευσης τους) και ποιό το κόστος αυτών.

Επιλογή ανάλογα:

- αν στοχεύουμε σε μια συντηρητική ιχθυοπαραγωγή που προορίζεται προς κατανάλωση στην τοπική αγορά
π.χ. μικρή οικογενειακή επιχείρηση - συμπληρωματική αγροτική απασχόληση
μονάδα με μικρές χωμάτινες δεξαμενές 500m²
χαμηλό κόστος – επένδυση
μικρές προσθήκες συμπληρωματικών τροφών
εκτατικά προς ημι-εντατικά συστήματα εκτροφής
- ή στοχεύουμε προς μία ιχθυοπαραγωγή υψηλής επένδυσης – υψηλής απόδοσης
π.χ. επιχείρηση υψηλού κεφαλαίου
με δεξαμενές διαχείρισης αποβλήτων ή εγκατάσταση ιχθυοκλωβών στη θάλασσα
εργατικό δυναμικό ολικής απασχόλησης
διατροφή των ψαριών αποκλειστικά με προπαρασκευασμένες τροφές – αυτοματοποιημένα συστήματα

10.6 Σίτιση εκτρεφόμενων ιχθύων

Η σίτιση και η ικανοποίηση των θρεπτικών αναγκών των ψαριών έχει μεγάλη σημασία στη επιτυχημένη διαχείριση της ιχθυοκαλλιεργητικής παραγωγής, λαμβάνοντας υπόψη ότι το κόστος των χορηγούμενων τροφών είναι αρκετά υψηλό. Ο παραγωγός πρέπει να διασφαλίσει ότι διανέμει ορθολογικά την τροφή και σιτίζονται όλα τα ψάρια. Στόχος της ορθολογικής σίτισης είναι να προσφέρονται σε όλα τα ψάρια του καλλιεργητικού μέσου οι απαιτούμενες ποσότητες τροφής για την επίτευξη γρήγορης ανάπτυξης, και να διανέμονται σε τέτοιες ποσότητες και με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν απώλειες τροφής στο υδάτινο περιβάλλον. Η τροφή που δεν καταναλώνεται και χάνεται στο υδάτινο περιβάλλον θα διαλυθεί στο νερό, με αποτέλεσμα οι θρεπτικές ουσίες της να επιβαρύνουν με ευτροφισμό το οικοσύστημα. Ευτροφικές συνθήκες του υδάτινου περιβάλλοντος έχουν ως αποτέλεσμα την προσέλκυση μεγάλων πληθυσμών αποικοδομητικών και παρασιτικών οργανισμών (φορείς ασθενειών), την υπερβολική αύξηση των πληθυσμών των αυτότροφων οργανισμών (φυτοπλαγκτονική άνθηση), την προσέλκυση μεγάλων πληθυσμών ετερότροφων οργανισμών, αλλαγή της βενθικής βιοποικιλότητας, και τη δραστική μείωση του διαλυμένου διαθέσιμου οξυγόνου μέσω της αναπνοής όλων αυτών.

Στην πράξη, ο παραγωγός πρέπει να καθορίσει:

- Πόση ποσότητα τροφής πρέπει να χορηγήσει στα ψάρια καθημερινά – (καθημερινή απαιτούμενη καταναλωθείσα ποσότητα τροφής ή «επίπεδο σίτισης»)
- Πόσες φορές τη μέρα πρέπει να σιτίζει – «συχνότητα σίτισης»
- Σε ποιές συγκεκριμένες ώρες πρέπει να σιτίζει – «χρόνος σίτισης»
- με ποιόν τρόπο πρέπει να σιτίζει – «μέθοδοι σίτισης»

10.6.1. Καθημερινό απαιτούμενο επίπεδο σίτισης

Το καθημερινό επίπεδο της σίτισης ορίζει την απαιτούμενη ποσότητα τροφής που πρέπει να χορηγηθεί στα ψάρια καθημερινά. Πολλά είδη ψαριών είναι αδηφάγα και συνεχίζουν να τρώνε ακόμα και μετά τον κορεσμό της όρεξης τους. Ωστόσο, αυτό δε συνεπάγεται ότι όσο καταναλώνουν περισσότερη τροφή τόσο περισσότερο αναπτύσσονται. Ο χρόνος που θα διέλθει η τροφή από τον πεπτικό σωλήνα, ο ρυθμός του μεταβολισμού και ο βαθμός αξιοποίησης της τροφής έχουν χρονικούς περιορισμούς, με αποτέλεσμα όταν τα ψάρια υπερκαταναλώνουν τροφή ένα σημαντικό μέρος αυτής να απεκκρίνεται στην υδάτινη στήλη ως άπεπτο και αχρησιμοποίητο. Έτσι, ενώ πολλές φορές εφαρμόζεται «σίτιση σε κορεσμό (*ad libitum*)», αυτή ενδέχεται να μην είναι η ορθολογική πρακτική. **Είναι**

επιθυμητό τα ψάρια να σιτίζονται με τόση ποσότητα όση θα αποδώσει τους υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης στα ψάρια, αλλά παράλληλα και τη μέγιστη αξιοποίηση των θρεπτικών ουσιών της από αυτά με τις λιγότερες απώλειες στο υδάτινο περιβάλλον.

- Χαμηλό επίπεδο σίτισης = υποσιτισμός = χαμηλή ανάπτυξη & παραγωγή ψαριών
- Υψηλό επίπεδο σίτισης = υπερσιτισμός = υψηλό κόστος & υποβάθμιση της ποιότητας του νερού

Ο ρυθμός ανάπτυξης των ψαριών εκφράζεται από την αύξηση του σωματικού τους βάρους. Στη διατροφή, συνήθως χρησιμοποιείται ένας συντελεστής που ονομάζεται «**ειδικός ρυθμός ανάπτυξης, SGR - specific growth rate**», ο οποίος υποδηλώνει την ημερήσια ποσοστιαία αύξηση του σωματικού βάρους του ψαριού στο χρονικό διάστημα που σιτίστηκε και δίνεται από τη σχέση:

Ειδικός ρ. ανάπτυξης (SGR, σε %/ημέρα) = $100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / \text{ημέρες σίτισης}$

Όπου,

$\ln W_2$ = ο φυσικός λογάριθμος του τελικού σωματικού βάρους

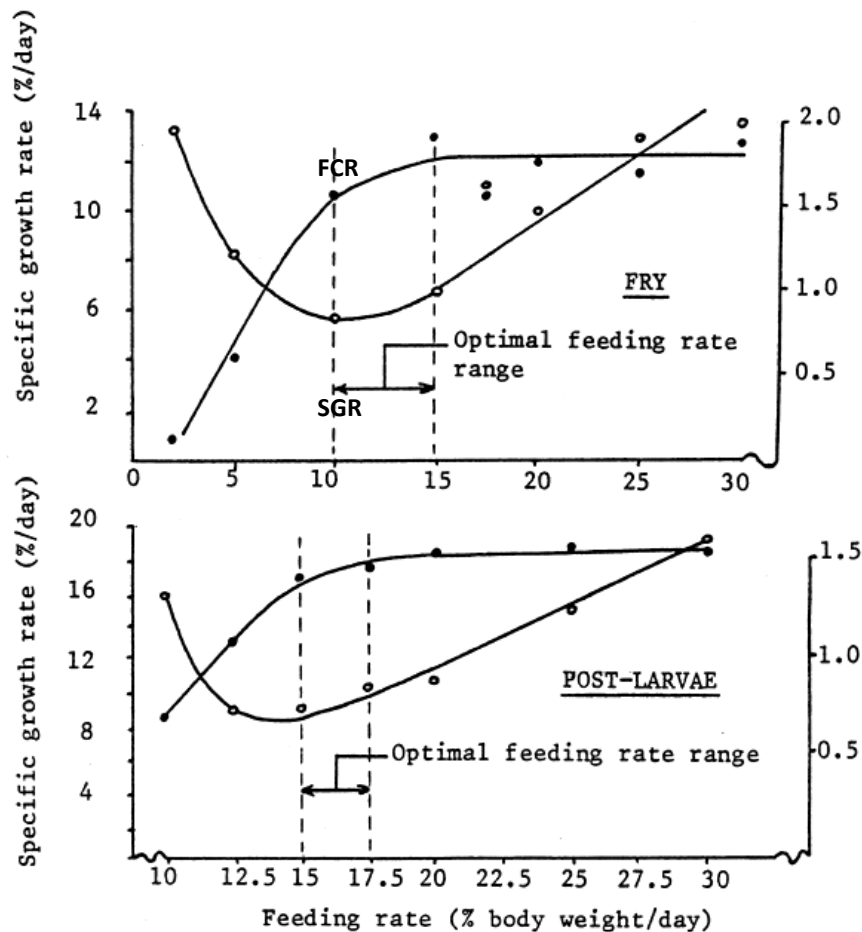
$\ln W_1$ = ο φυσικός λογάριθμος του αρχικού σωματικού βάρους

Ο SGR είναι υψηλότερος στα νεαρά ιχθύδια, όπου το σωματικό τους βάρος αυξάνει ταχύτερα, από ότι στα ενήλικα άτομα όπου η ανάπτυξη του βάρους τους μειώνεται σταδιακά. Για την αξιοποίηση της τροφής από τα ψάρια, συνήθως χρησιμοποιείται ένας συντελεστής που ονομάζεται «**συντελεστής μετατρεψιμότητας τροφής, FCR - food conversion ratio**», ο οποίος υποδηλώνει την ποσότητα της καταναλωθείσας τροφής που μετατράπηκε σε σωματικό βάρος από το ψάρι και δίνεται από τη σχέση:

Σ.Μ.Τ. (FCR) = συνολική τροφή που καταναλώθηκε (g) / συνολική αύξηση βάρους (g)

Ο FCR είναι καθαρός αριθμός. Π.χ. FCR = 2 υποδηλώνει ότι ένα ψάρι έφαγε 2 Kg τροφής και αύξησε κατά 1 Kg το σωματικό του βάρος. FCR = 1 υποδηλώνει ότι ένα ψάρι έφαγε 1 Kg τροφής και αύξησε κατά 1 Kg το σωματικό του βάρος, το οποίο σημαίνει πως υπήρξε μέγιστη αξιοποίηση της τροφής από το ψάρι.

Σχετικά με την άριστη μερίδα σίτισης των ψαριών, λοιπόν, αυτή θα πρέπει να αποδίδει τον υψηλότερο SGR και το χαμηλότερο FCR (Σχ. 10.5).



Σχήμα 10.5. Παράδειγμα υπολογισμού άριστου επιπέδου σίτισης για ιχθύδια και μετα-προνύφμες (Tacon, 1988).

Το επίπεδο της σίτισης χορηγείται ως ποσοστό (%) επί του σωματικού βάρους (σ.β.) ενός ψαριού ή συνηθέστερα επί της συνολικής βιομάζας των ψαριών που εκτρέφονται. Π.χ. σίτιση των ψαριών που ζυγίζει 3% του σ.β. των ψαριών. Ο ακριβής υπολογισμός του απαιτούμενου επιπέδου σίτισης είναι πρακτικά δύσκολος, καθώς θα πρέπει να γνωρίζουμε επακριβώς τη συνολική βιομάζα των ψαριών. Για να εκτιμήσουμε τη βιομάζα των ψαριών πρέπει να κάνουμε συχνές δειγματοληψίες. Οι παρασκευαστές ιχθυοτροφών που προορίζονται για τα εντατικά εκτρεφόμενα ψάρια συνήθως χορηγούν έναν πίνακα διατροφής ο οποίος δίνει το απαιτούμενο επίπεδο σίτισης ανάλογα το μέσο σωματικό βάρος του εκτρεφόμενου ψαριού (όπως ο Πίνακας 10.1). Ο πίνακας αυτός καταρτίζεται από καταγραφές κατανάλωσης τροφής, πειράματα και δειγματοληψίες για το συγκεκριμένο είδος ψαριού. Ωστόσο, υπάρχει μεγάλη διακύμανση μεταξύ των καλλιεργητικών συστημάτων και η κάθε

παραγωγική μονάδα είναι διαφορετική από τις άλλες, αφού μεγάλη επίδραση στην όρεξη των ψαριών παίζουν οι συνθήκες εκτροφής και διάφοροι περιβαλλοντικοί παράμετροι. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι τα ψάρια δεν τρώνε το ίδιο σε καθημερινή βάση. Για το λόγο αυτό, μια ορθολογική πρακτική διατροφής θα πρέπει να καταγράφει και να παρακολουθεί καθημερινά τις ποσότητες τροφής που καταναλώνονται από τα ψάρια. Κανένας δε γνωρίζει καλύτερα το πόσο τρώνε τα ψάρια από τον ίδιο τον παραγωγό, αρκεί να υπάρχει παρατηρητικότητα και οξυδέρκεια.

- Κατά τη χορήγηση της τροφής, τα ψάρια κινούνται γρήγορα προς αυτήν ;
- κινούνται όλα τα ψάρια προς την τροφή ;
- Πότε τα ψάρια δεν ενδιαφέρονται πλέον για την προσφερόμενη τροφή
- Παρατήρηση των παραμέτρων ποιότητας του νερού

Το επίπεδο σίτισης εξαρτάται από:

- το μέγεθος και την ηλικία των ψαριών:

Τα ιχθύδια απαιτούν περισσότερη ενέργεια και θρεπτικές ουσίες για την ανάπτυξη τους από ότι τα ενήλικα ψάρια. Άρα το επίπεδο σίτισης (% σ.β.) για τα ιχθύδια είναι μεγαλύτερο από ότι για τα ενήλικα ψάρια. Όσο μεγαλώνουν τα ψάρια, το επίπεδο σίτισης μειώνεται, διότι τα ενήλικα άτομα έχουν μικρότερες διατροφικές απαιτήσεις ανά μονάδα σωματικού βάρους, αλλά η απόλυτη ποσότητα της τροφής που του χορηγείται αυξάνει. Στο παράδειγμα του Πίνακα 10.1, τα ιχθύδια της τιλάπιας σωματικού βάρους < 10 g απαιτούν επίπεδο σίτισης μεταξύ 9-7 % σ.β., το οποίο ισοδυναμεί με 0,9-0,7 g τροφής. Αντίθετα, οι ενήλικες τιλάπιες (>100 g) απαιτούν επίπεδο σίτισης 5-3% σ.β., το οποίο ισοδυναμεί με 50-30 g τροφής.

Πίνακας 10.1. Επίπεδο σίτισης της τιλάπιας (*Oreochromis niloticus*) στα διάφορα μεγέθη βάρους.

Μέγεθος ψαριού (g) τιλάπιας	Επίπεδο σίτισης (% σ.β.)
< 10	9 – 7 π.χ. 0,9 – 0,7 g
10 – 40	8 – 6
40 – 100	7 – 5
> 100	5 – 3 π.χ. 50 – 30 g

– Τη θερμοκρασία του νερού

Η θερμοκρασία νερού επηρεάζει την όρεξη και το βαθμό πρόσληψης της τροφής. Άρα το επίπεδο σίτισης θα πρέπει να μεταβάλλεται ανάλογα με τις θερμοκρασίες του νερού (Πιν. 10.2).

Πίνακας 10.2. Επίπεδο σίτισης (% σ.β.) και μέγεθος πελλέτας για το *Cyprinus carpio* ανάλογα το σωματικό του βάρος (g).

Μέγεθος ψαριών (g) - μέγεθος πελλέτας (mm)						
Θ (°C)	< 5 g	5-20 g	20-50 g	50-100 g	100-300 g	300-1000 g
	<1,5 mm	1,5 mm	2,7 mm	4 mm	5 mm	5mm
< 17	6	5	4	3	2	1,5
17-20	7	6	5	4	3	2
20-23	9	7	6	5	4	3
23-26	12	10	8	6	5	4
>26	19	12	11	8	6	5

Ιδανικά, το επίπεδο της σίτισης θα πρέπει να επανακαθορίζεται καθημερινά, αφού αυξάνει καθημερινά η συνολική βιομάζα. Αυτό όμως δεν είναι πρακτικό, γι' αυτό το επίπεδο σίτισης συνήθως επανακαθορίζεται κάθε εβδομάδα ή κάθε 14 ημέρες. Κάποιοι παραγωγοί (π.χ. στις γαριδοκαλλιέργειες της Ασίας) σιτίζουν μέχρι κορεσμού της ορέξεως, και ο επανακαθορισμός του επιπέδου σίτισης γίνεται με γνώμονα την κατανάλωση της τροφής της προηγούμενης ημέρας. Σήμερα, υπάρχουν ηλεκτρονικά συστήματα σίτισης που χορηγούν τροφή ανάλογα την όρεξη των ψαριών, τα οποία ωστόσο αυξάνουν το συνολικό κόστος της παραγωγής.

10.6.2. Συχνότητα σίτισης

Η συχνότητα της σίτισης υποδηλώνει το κάθε πότε θα πρέπει να σιτίζονται τα ψάρια (φορές ανά ημέρα). Η ιδανική συχνότητα σίτισης διασφαλίζει τη μέγιστη ανάπτυξη στα ψάρια και το χαμηλότερο συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR). Για πολλά από τα εκτρεφόμενα ψάρια, οι γνώσεις μας δεν είναι αρκετές σε αυτόν τον τομέα.

Στον Πίνακα 10.3. παρουσιάζεται η ιδανική συχνότητα σίτισης για διάφορα είδη. Τα διάφορα είδη έχουν διαφορετική διατροφική συμπεριφορά ως προς τη συχνότητα σίτισης:

– *Salmonidae*

Τρώνε έως ότου κορέσουν την πείνα τους και δεν τρώνε ξανά εάν πρώτα δεν έχει αδειάσει ο στομάχος τους. Η συχνότητα σίτισης τους είναι 1-2 φορές την ημέρα,

– *C. carpio*

προτιμά να τρώει αρκετές φορές την ημέρα. Σε πείραμα δείχθηκε ότι τα ψάρια που σιτίστηκαν 6 φορές την ημέρα είχαν καλύτερη ανάπτυξη από άλλα που σιτίστηκαν 4 φορές τη ημέρα.

– Ως γενικός κανόνας, τα ιχθύδια προτιμούν να τρώνε αρκετές φορές την ημέρα, ενώ τα ενήλικα προτιμούν να τρώνε λιγότερες φορές.

Πίνακας 10.3. Συχνότητα σίτισης μεταξύ των ειδών.

<u>Είδος ψαριού</u>	<u>Συχνότητα ταΐσματος</u> (φορές/ημέρα)	<u>Μέγεθος ψαριού</u> (g)
<i>C. Carpio</i>	3	1
<i>Chanos chanos</i>	8	1
<i>O. mykiss</i>	2	7 – 16
<i>Ictalurus punctatus</i>	2	10
<i>Channa striatus</i>	1	1
<i>Oreochromis niloticus</i>	1	7

10.6.3. Μέθοδοι σίτισης

Η σίτιση των ψαριών αποτελεί την πιο σημαντική καθημερινή ασχολία σε μια υδατοκαλλιεργητική μονάδα. Η σίτιση απαιτεί τον περισσότερο χρόνο του εργατικού δυναμικού, ασχέτως της τεχνολογίας που υιοθετείται. Ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένα συστήματα, αυτά θέλουν συνεχή εφοδιασμό, καθημερινό έλεγχο και συντήρηση. Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι ταΐσματος:

- Χειρωνακτικά
- Με ταΐστρες

Χειρωνακτική σίτιση

- Είναι ο πιο κοινός τρόπος στα ημι-εντατικά συστήματα
- Και στα εντατικά συστήματα συχνά γίνεται συμπληρωματικό τάισμα με το χέρι

Πλεονεκτήματα

- Εξασφαλίζει ότι τα ψάρια ταΐστηκαν σε κορεσμό της όρεξης τους, διότι αυτή παρακολουθείται κατά τη διάρκεια της σίτισης,
- Βελτιώνει την ομοιομορφία των μεγεθών των ψαριών,
- Έχει παρατηρηθεί υψηλότερη κατανάλωση τροφής από τα ψάρια,
- Υψηλότεροι ρυθμοί ανάπτυξης,
- δίνει τη δυνατότητα παρατήρησης της φυσικής τους κατάστασης (π.χ. αν κάποια είναι ασθενή κ.λπ.)

Μειονεκτήματα

- Απαιτεί αρκετό χρόνο απασχόλησης,
- Η υψηλότερη κατανάλωση τροφής μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερα FCR. Τα ψάρια ενώ τρώνε περισσότερο δε βάζουν το ανάλογο σωματικό βάρος, αλλά εναποθέτουν λίπος στη σάρκα τους.

Σίτιση με ταΐστρες

- Σε εντατικά συστήματα, για τη μείωση της χρονοβόρας απασχόλησης ταΐσματος
- Σήμερα, υπάρχουν αυτοματοποιημένα συστήματα ταΐσματος

Πλεονεκτήματα

- Μειώνει το κόστος απασχόλησης
- Βελτιώνει το FCR
- Επιτρέπει το τάισμα κάθε ώρα της ημέρας, όλες τις ημέρες του χρόνου (ανεξαρτήτως καιρού). Επίσης, όταν οι ιχθυοκλωβοί είναι αρκετά μακριά από την ακτή

Μειονεκτήματα

- Μπορεί τα ψάρια να υποσιτίζονται, αφού η προκαθορισμένη ποσότητα τη συγκεκριμένη ημέρα μπορεί να μην επαρκεί να καλύψει την όρεξη τους
- Υψηλό κόστος αγοράς του συστήματος
- Ανομοιογένεια μεγεθών των ψαριών

Υπάρχουν δύο 2 τύποι ταϊστρών:

Συμβατικές ταΐστρες

- η ποσότητα & ο χρόνος διανομής της τροφής καθορίζεται μηχανικά ή ηλεκτρονικά
- απαιτείται καθημερινός εφοδιασμός τους με τροφή
- απαιτείται ο υπολογισμός της ποσότητας της τροφής που διανέμεται από αυτήν ανά χρονική στιγμή

Ταΐστρες βούλησης

- διανέμουν την τροφή έπειτα από τη βούληση των ψαριών. Τα ψάρια μαθαίνουν να ενεργοποιούν με την εφή τους έναν μοχλό ο οποίος ενεργοποιεί τη διανομή της τροφής
 - Η ποσότητα της τροφής που θα πέσει ελέγχεται από τα ψάρια
 - Εξασφαλίζει το κορεσμό της όρεξης των ψαριών
 - Ωστόσο, μόνο τα κυρίαρχα ψάρια μαθαίνουν να το ενεργοποιούν

Γενικά τα αυτοματοποιημένα συστήματα έχουν συνδυαστεί με υποβρύχιες κάμερες παρακολούθησης των ψαριών και υδροακουστικά μέσα αυτόματης παύσης της διανομής της τροφής.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διατροφή Ιχθύων. Παπουτσόγλου Ε.Σ.. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, 2008.

Διατροφή Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών. Καραλάζος Β. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, 2008.

Διατροφή Αγροτικών Ζώων. Ζέρβας Γ., Καλαϊσάκης Π., Φεγγερός Κ. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, 2004.

Διατροφή Ιχθύων - Συγγραφείς: John E. Halver, Ronald W. Hardy. Επιστημονική Επιμέλεια. Καρακατσούλη Ν., Έκδοση: 1/2015, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟ Α.Ε.

An Introduction to Nutrition and Feeding of Fish. Bureau D.P. and Cho C.Y. University of Guelph (Canada), Fish Nutrition Research Laboratory.

Fish Feed Technology. FAO/UNDP, 1980

Fish Nutrition. Halver J.E. and Hardy R.W. Academic Press, 2002

Fish Nutrition in Aquaculture. De Silva S.S., Anderson T.A. Springer, 1995.

Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture. Webster C.D. and Lim C. CABI, 2002

Nutrient Requirements of Fish. NRC – National Research Council. National Academic Press, 1993.

Nutrition and Feeding of Fish. Lovell T. Springer, 1999.

Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans. Cuillaume J., Kaushik S et al., Springer 2001.

Nutrition of Pond Fishes. Hopher B. CUP Archive, 1988

Principles of Fish Nutrition. Steffens W. John Wiley and Sons Ltd, 1991.

The Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp - A Training Manual. Tacon A.G.J. FAO, 1988.