

Χημική σύσταση των ζωοτροφών & του ζωικού σώματος

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τόσο ο άνθρωπος όσο και τα ζώα έχουν ανάγνη από τη συνεχή πρόσληψη τροφής για την εξασφάλιση των λειτουργιών της ζωής. Η τροφή των αγροτικών ζώων αποτελείται, πρωταρχικά, από τα φυτά και τα προϊόντα τους. Με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, μέσω της φωτοσύνθεσης, τα φυτά βιοσυνθέτουν τα συστατικά τους, δηλ. ουσίες πολύπλοκης κατά κανόνα χημικής δομής (πρωτεΐνες, λίπη και υδατάνθρακες) από απλές χημικές ενώσεις, όπως διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα και νερό, καθώς και ανόργανες ουσίες, από το έδαφος.

Τεράστιες ποσότητες ενέργειας που έχουν την προέλευσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία, αποθηκεύονται, με τη μορφή χημικής ενέργειας, στα συστατικά των φυτών. Έτσι, όταν τα ζώα καταναλώνουν τροφές φυτικής προέλευσης, η ενέργεια που περιέχεται σ' αυτές χρησιμοποιείται, από μέρους των ζώων, για την εξασφάλιση βασικών σωματικών λειτουργιών, όπως π.χ. της αναπνοής, της κυκλοφορίας του αίματος, της λειτουργίας του νευρικού συστήματος κ.λ.π., για την απόθεση σωματικών ιστών στα αναπτυσσόμενα ζώα και, τέλος, για τη βιοσύνθεση ζωικών προϊόντων (γάλα, αυγά, έρσο κ.λ.π.).

Τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα περιέχουν παρόμοια είδη χημικών ουσιών, οι οποίες κατατάσσονται στις επόμενες βασικές ομάδες, με βάση τη σύστασή τους, τις ιδιότητες ή τις λειτουργίες τους (Εικ. 1.1).

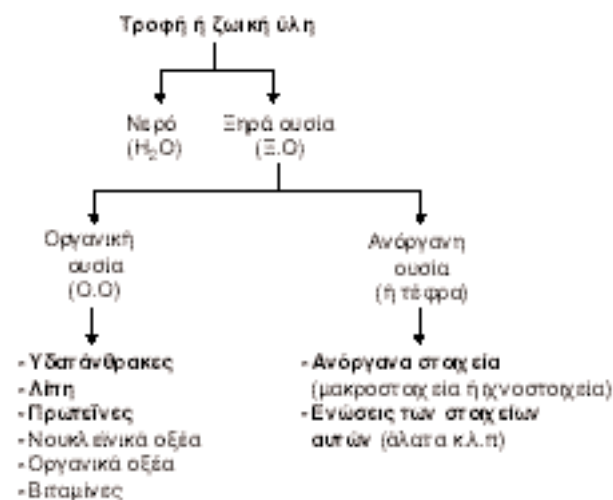
1. Χημική σύσταση του ζωικού σώματος

Τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά καιρούς, δείχνουν ότι η τυπική

σύνθεση του σώματος αναπτυγμένου θηλαστικού ζώου είναι, κατά προσέγγιση, η εξής:

Νερό	50%
Πρωτεΐνες	16%
Λίπος	20%
Ανόργανες ουσίες	4%
Σύνολο	100%

Η χημική σύσταση του σώματος στα διάφορα είδη ζώων παραλλάσσει σε κάποιο βαθμό, πλην όμως οι διαφορές μεταξύ των ειδών δεν είναι μεγάλες. Οι μεγαλύτερες διαφορές αφορούν στο λίπος και το νερό (Πίν. 1.1 και 1.2). Από τα διάφορα είδη ζώων, εκείνα τα οποία είναι χαρακτηριστικά παχύτερα, περιέχουν λιγότερο νερό. Έτσι, ο εκτομίας μύσχος και ο χοίρος



Εικόνα 1.1. Κατάταξη των χημικών ουσιών-συστατικών του ζωικού σώματος και των τροφών.

περιέχουν κατά προσέγγιση 25% λίπος και περίπου 55% νερό, σε αντίθεση προς τον ίππο, ο οποίος περιέχει λιγότερο λίπος (17% περίπου) και περισσότερο νερό (60% περίπου).

Στη χημική σύνθεση που προαναφέρθηκε δεν αναφέρεται η περιεκτικότητα του σώματος σε υδατάνθρακες διότι αυτοί απαντούν σε ένα πολύ μικρό ποσοστό (κάτω του 1%) στο ζωικό οργανισμό, κυρίως με τη μορφή του **γλυκογόνου** (στο ήπαρ και τους μύς) και της **γλυκώζης** του αίματος.

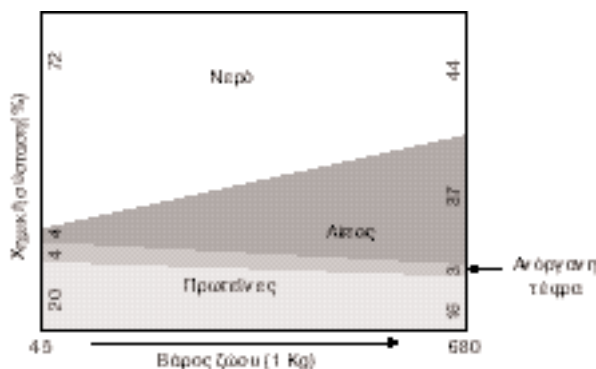
Αν και δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές, ως προς τη χημική σύσταση, στα διάφορα είδη ζώων, παρ' όλα αυτά η παραλλακτικότητα ως προς την περιεκτικότητα του ζωικού σώματος σε νερό και λίπος είναι πολύ σημαντική και εξαρτάται κυρίως από την ηλικία και τη θρεπτική κατάσταση του ζώου (Πίν. 1.1, 1.2 και Εικ. 1.2).

Πίνακας 1.1. Σύσταση % του ζωικού σώματος* (από το βιβλίο των Maynard et al. *Animal Nutrition 7th ed.*, 1979 σελ. 10)

Είδος ζώου	Επί ξηρού, ελεύθερ. λίπους				Πρωτεΐνη Τέφρα	
	Νερό	Πρωτεΐνη	Λίπος	Τέφρα	Πρωτεΐνη	Τέφρα
Μοσχάρι, νεογέννητο	74	19	3	4,1	82,2	17,8
Μοσχάρι, παχύ	68	18	10	4,0	81,6	18,4
Ταυρίδιο, ισχνό	64	19	12	5,1	79,1	20,9
Ταυρίδιο, παχύ	43	13	41	3,3	79,5	20,5
Πρόβατο, ισχνό	74	16	5	4,4	78,2	21,8
Πρόβατο, παχύ	40	11	46	2,8	79,3	20,7
Χοιρίδιο, 8 kg	73	17	6	3,4	83,3	16,7
Χοιρίδιο, 30 kg	60	13	24	2,5	84,3	15,7
Χοίρος, 100 kg	49	12	36	2,6	82,4	17,6
Όρνιθα	56	21	19	3,2	86,8	13,2
Ίππος	61	17	17	4,5	79,2	20,8
Άνθρωπος	59	18	18	4,3	80,7	19,3

* Από το ζωικό σώμα έχει αφαιρεθεί το περιεχόμενο του πεπτικού σωλήνα

Όπως λοιπόν διαπιστώνεται από τον πίνακα 1.1, παρατηρείται μία πολύ σημαντική μείωση στην περιεκτικότητα σε νερό κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του ζώου. Έτσι π.χ., το έμβρυο ενός βοοειδούς περιέχει 95% νερό, ενώ η περιεκτικότητα σε νερό του νεογέννητου μόσχου κυμαίνεται μεταξύ του 75 και 80%,



Εικόνα 1.2. Μεταβολές στη χημική σύσταση μόσχου, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης (Κατά τους Kolb και Gürtler 1971).

ενός μόσχου ηλικίας 5 μηνών γύρω στο 66-72% και του αναπτυγμένου βοοειδούς από 50 μέχρι 60%. Η διακύμανση αυτή γίνεται ακόμη πιο σημαντική σε επίπεδο ζωικών ιστών. Έτσι, ενώ ο λιπώδης ιστός π.χ. στερείται πρακτικά νερού, ο πρωτεϊνικός ιστός, αντίθετα, περιέχει μέχρι 75% νερό. Η περιεκτικότητα σε νερό διαφόρων οργάνων του σώματος μιας αγελάδας έχει ως εξής: πλάσμα αίματος: 90-92%, καρδιά, νεφροί, πνεύμονες: 80%, μύες: 72-75%, οστά: 45% και σμάλτο δοντιών: μόνο 5%. Η ανάπτυξη των ζώων συνοδεύεται από ισχυρή πτώση της περιεκτικότητας σε νερό, με μία παράλληλη αύξηση της περιεκτικότητας σε λίπος καθώς και κάποια ήπια μείωση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη καθώς και της περιεκτικότητας σε τέφρα.

Οι παραλλαγές που παρατηρούνται σε ζώα της αυτής ηλικίας οφείλονται κατά κύριο λόγο στη θρεπτική τους κατάσταση, η οποία και αντανακλά την αποθήκευση λίπους στο ζωικό σώμα. Έτσι, πολύ παχιά αναπτυγμένα ζώα εμφανίζουν περιεκτικότητα σε νερό μικρότερη του 50%. Η περιεκτικότητα του ζωικού σώματος σε λίπος εξαρτάται, εκτός από την ηλικία, και από την ποσότητα της τροφής που το ζώο καταναλώνει. Η παραλλακτικότητα της περιεκτικότητας σε λίπος επηρεάζει σημαντικά την περιεκτικότητα σε νερό, όπως άλλωστε αναφέρθηκε πιο πάνω. Αναφέρουμε για παράδειγμα την περίπτωση ενός βοοειδούς, το οποίο ενώ, όταν είναι ισχνό μπορεί να περιέχει 18% λίπος και 57% νερό, όταν είναι παχύ, εί-

Πίνακας 1.2. Χημική σύσταση του σώματος χοίρων, προβάτων και βοοειδών (*National Academy of Sciences*, 1968)

Ζωικά είδη	Σύσταση (%) του ζωικού σώματος χωρίς το περιεχόμενο του πεπτικού σωλήνα				Μέση σύσταση ζωικού σώματος σε ελεύθερη λίπους βάση (%)			Μέση σύσταση σε ξηρά ελεύθερη λίπους βάση	
	Νερό	Λίπος	Πρωτεΐνη	Τέφρα	Νερό	Πρωτεΐνη	Τέφρα	Πρωτεΐνη	Τέφρα
Χοίρος	30,7-80,8	1,1-61,5	8,3-19,6	1,3-5,6	77,0±2,69	19,2±2,34	3,9±0,79	83,4±2,33	17,0±1,69
Πρόβατο	39,6-73,8	4,9-46,6	10,7-19,5	1,7-5,8	74,9±1,02	20,3±0,84	4,8±0,67	81,1±2,40	18,9±2,39
Βοοειδές	39,8-77,6	1,8-44,6	12,4-20,6	3,0-6,8	72,9±2,01	21,6±1,53	5,3±0,95	80,3±1,69	19,7±1,69

και δυνατόν να περιέχει 41% λίπος και 42% νερό.

Επειδή η περιεκτικότητα σε λίπος, με την επίδραση που ασκεί στην περιεκτικότητα στα άλλα συστατικά, περιπλέκει τα πράγματα, η χημική σύνθεση του ζωικού σώματος εκφράζεται συχνά πάνω σε ελεύθερη λίπους βάση. Στην περίπτωση αυτή, η περιεκτικότητα στα άλλα συστατικά παραλλάσσει ελάχιστα με τη θρεπτική κατάσταση του ζώου. Έτσι, η χημική σύνθεση του αναπτυγμένου ζωικού σώματος, από το οποίο αφαιρέθηκε το περιεχόμενο του πεπτικού σωλήνα, πάνω σε ελεύθερη λίπους βάση, έχει περίπου ως εξής:

Νερό	75%
Πρωτεΐνες	20%
Ανόργανες ουσίες	5%

Οι πρωτεΐνες αποτελούν το κύριο συστατικό της ξηράς ουσίας των οργάνων και των μαλακών ιστών, όπως είναι οι μύες, το ήπαρ, η καρδιά, οι πνεύμονες και οι νεφροί. Οι μύες, οι οποίοι, ως γνωστό, αντιπροσωπεύουν περίπου το 50% του βάρους του σώματος ενός βοοειδούς, περιέχουν 75-80% πρωτεΐνες στην ξηρή τους ουσία. Οι πρωτεΐνες απαντούν επίσης στους συνδετικούς ιστούς και τους τένοντες, όπως επίσης στο δέρμα, τα μαλλιά, τα φτερά των πτηνών, το έριο, τα οστά κ.λ.π.

Ένα πολύ σημαντικό μέρος του λίπους του σώματος αποθηκεύεται στο λιπώδη ιστό, όπως π.χ. στις λιπαποθήκες που βρίσκονται κάτω από το δέρμα (υποδόρειο λίπος, λαρδί) καθώς επίσης και γύρω από τους νεφρούς (περινεφρικό λίπος), το έντερο και άλλα όργανα. Σημαντικές ποσότητες λίπους απαντούν επίσης σε διάφορα όργανα, όπως είναι το ήπαρ, οι νεφροί, η καρδιά και οι πνεύμονες και μικρές ποσότητες στους μυς και τα οστά.

Πολύ μικρές ποσότητες υδατανθράκων, με τη μορφή γλυκόζης και γλυκογόνου, απαντούν στο ήπαρ, στους μυς και στο αίμα, όπως άλλωστε αναφέρθηκε και σε προηγούμενη θέση.

Τα διάφορα τμήματα του σώματος περιέχουν ανόργανα άλατα σε ποσότητες που κυμαίνονται ανάλογα με τις λειτουργίες που αυτά επιτελούν. Το σώμα ενός βοοειδούς (χωρίς το περιεχόμενο του πεπτικού σωλήνα) περιέχει τα παρακάτω ποσοστά ανοργάνων:

ασβέστιο	1,33%
φωσφόρος	0,74%
νάτριο	0,16%
χλώριο	0,11%
κάλιο	0,19%
μαγνήσιο	0,04%
θείο	0,15%

Εκτός από τα παραπάνω ανόργανα, στο ζωικό σώμα απαντούν και πολλά άλλα ανόργανα στοιχεία σε πολύ μικρότερες ποσότητες, αρκετά από τα οποία είναι απαραίτητα* για το ζωικό οργανισμό.

Σημασία του νερού ως συστατικού του ζωικού σώματος

Για τη διατήρηση της ζωής του ζωικού οργανισμού σημαντικότερη προϋπόθεση είναι η διατήρηση σε σταθερά επίπεδα της περιεκτικότητας του σώματος σε νερό. Αποτελεί κοινό μυστικό το γεγονός ότι ένα ζώο (όπως φυσικά και ο άνθρωπος) πεθαίνει γρηγορότερα εάν στερηθεί το νερό παρά την τροφή. Ο ζωτικός ρόλος του νερού στο ζωικό οργανισμό αποδεικνύεται σαφέστατα από την παρατήρηση του μεγάλου φυσιολόγου Rubner, σύμφωνα με την οποία το σώμα του ζώου μπορεί να χάσει πρακτικά όλο του το λίπος και πάνω από τη μισή ποσότητα των πρωτεϊνών του και να συνεχίσει να ζει, ενώ η απώλεια του 1/10 του νερού που περιέχει, οδηγεί ασφαλέστατα στο θάνατο.

Το νερό επιτελεί διάφορες λειτουργίες στο ζωικό σώμα, εξαιρετικά σημαντικές. Έτσι ενεργεί ως διαλυτικό μέσο, με τη βοήθεια του οποίου οι θρεπτικές ουσίες μεταφέρονται στους ιστούς και τα όργανα του σώματος, ενώ απεκκρίνονται τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού. Πέρα από τον προηγούμενο ρόλο, ο οποίος σχετίζεται στενά με τη θρέψη του ζωικού οργανισμού, το νερό επιτελεί και μια ολόκληρη σειρά από φυσιολογικούς γενικότερα ρόλους, με την αναλυτική περιγραφή των οποίων θα ασχοληθούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Αρχές εκτίμησης της σύστασης του ζωικού σώματος

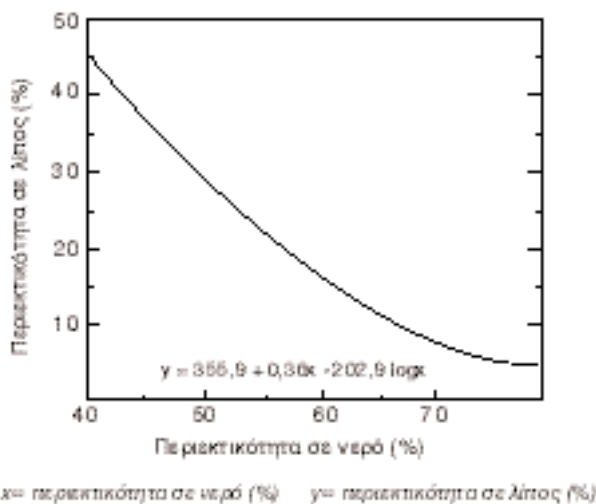
Η σύσταση του ζωικού σώματος μπορεί να προσδιορισθεί με σφαγή των ζώων και χημική ανάλυση των σφαγίων τους. Όπως είναι αυτονόητο, ο προσδιορισμός της σύστασης μεγαλόσωμων ζώων είναι δύσκολος και κοπιαστικός. Από το άλλο μέρος, ο προσδιορισμός της σύστασης του σώματος ζώντων και όχι νεκρών ζώων εμφανίζει επιπλέον το μεγάλο πλεονέκτημα ότι επιτρέπει τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης του σώματος ενός και του αυτού ζώου σε διάφορα στάδια των πειραμάτων διατροφής.

Ένα σημαντικό μέρος των μετρήσεων που αφορούν στο βαθμό απόθεσης λίπους ή ψαχνού κρέατος βασίζεται σε μετρήσεις του ειδικού βάρους, με την παραδοχή ότι η πυκνότητα του λίπους είναι 0,900 και

* Με τον όρο "απαραίτητα", στα πλαίσια της Φυσιολογίας Θρέψης, εννοούμε τα στοιχεία εκείνα, τα οποία πρέπει απαραίτητα να προσλάβει ο ζωικός οργανισμός (μέσω της τροφής και του πόσιμου νερού), για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του.

του ψαχνού κρέατος 1,300. Η τεχνική αυτή βασίζεται στη γνωστή αρχή του Αρχιμήδη και προβλέπει τη ζύγιση του ζώου στον αέρα και κάτω από το νερό, πράγμα που επιτρέπει τη μέτρηση της ειδικής πυκνότητας. Η μέτρηση του όγκου του σώματος του ζώου είναι δυνατή με την εκτόπιση του αέρα μάλλον παρά με την εκτόπιση του νερού.

Ένα πολύ σημαντικό μέρος των μεθόδων εκτίμησης της σύστασης του ζωικού σώματος βασίζεται στον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του σώματος σε νερό. Το πράγμα αυτό είναι δυνατό διότι οι περιεκτικότητες του σώματος σε λίπος και νερό συσχετίζονται αντίστροφα (Εικ. 1.3), ενώ η σχέση ανάμεσα στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και σε τέφρα του ελεύθερου λίπους και νερού ζωικού σώματος είναι περίπου σταθερή.



Εικόνα 1.3. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε λίπος και της περιεκτικότητας σε νερό του σώματος ενός βοοειδούς (Kirchgesner, 1978).

Η περιεκτικότητα του ζωικού σώματος σε νερό μπορεί να εκτιμηθεί με μέτρηση της διάλυσης ενός υδατο-διαλυτού ιχνηλάτη (tracer), δηλαδή κάποιας ουσίας της οποίας γνωστή ποσότητα χορηγήθηκε στο ζώο, μέσω ενδοφλέβιας ένεσης. Οι ιδιότητες που πρέπει να έχει μία ουσία-ιχνηλάτης είναι οι εξής: 1) πρέπει να είναι πολύ διαλυτή στο νερό 2) να εισχωρεί πολύ γρήγορα στο σωματικό νερό 3) να μην αντιδρά (χημικά) με άλλα συστατικά του σώματος και, τέλος, 4) να αποβάλλεται από το σώμα με σταθερό ρυθμό. Ουσίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν με ικανοποιητικά αποτελέσματα, μέχρι σήμερα, είναι: η **αντιπυρίνη** και τα **ισότοπα του υδρογόνου** δευτέριο (H^{2+}) και τρίτιο (H^{3+}), τα οποία χορηγήθηκαν, με ενδοφλέβια ένεση, με τη μορφή του «βαρέος ύδατος»

(H^3HO ή 3H_2O). Μετά την επίτευξη ισορροπίας, γίνεται ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης του ιχνηλάτη. Το λίπος του σώματος είναι ελεύθερο νερού (δηλαδή δεν περιέχει νερό), ενώ, αντίθετα, όλη η ποσότητα του νερού που απαντά στους ιστούς μπορεί να εκτιμηθεί από κοινού με τις πρωτεΐνες. Έτσι, μπορούμε να εκτιμήσουμε, τόσο την περιεκτικότητα του σώματος σε λίπος όσο και την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, με βάση την περιεκτικότητα του σώματος σε νερό. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε λίπος και σε πρωτεΐνη του σώματος προβάτου μπορεί να εκτιμηθεί από την περιεκτικότητα σε τρίτιο του όλου σώματος, με τη χρησιμοποίηση των παρακάτω εξισώσεων συμμεταβολής:

Λίπος (επί τοις % του Ζ.Β.) = $1,26\chi - 97,3$

Πρωτεΐνη (επί τοις % του Ζ.Β.) = $0,145\chi + 4,8$

όπου $\chi = H^3HO$, ως περιεκτικότητα επί τοις % του Ζ.Β.

Άλλοι τρόποι εκτίμησης της περιεκτικότητας του σώματος σε πρωτεΐνη βασίζονται στο γεγονός ότι η συγκέντρωση καλίου στα κύτταρα είναι εξαιρετικά σταθερή ανά g πρωτεΐνης. Η περιεκτικότητα του σώματος σε κάλιο μπορεί να εκτιμηθεί άμεσα, μέσω μέτρησης της γ-ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το ραδιενεργό ισότοπο του καλίου, ^{40}K .

2. Χημική σύσταση φυτικών τροφών

Σε αντίθεση με τις περιορισμένες διαφορές ως προς τη χημική σύνθεση του ζωικού σώματος ανάμεσα στα διάφορα είδη ζώων, οι τροφές, οι οποίες παρέχουν στα ζώα τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες για την ικανοποίηση των αναγκών τους, εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ τους, όπως φαίνεται από τον πίνακα 1.3, ο οποίος δίνει τη χημική σύνθεση τυπικών ζωοτροφών φυτικής προέλευσης.

Όπως εύκολα διαπιστώνεται από τον πίνακα αυτόν, η περιεκτικότητα σε νερό εμφανίζει πολύ μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα διάφορα είδη φυτών. Η περιεκτικότητα σε νερό των αναπτυσσόμενων φυτών εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξής τους. Έτσι, όσο νεαρότερο είναι το φυτό τόσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητά του σε νερό. Πολύ μεγάλες όμως είναι και οι διαφορές των φυτών ως προς την περιεκτικό-

Πίνακας 1.3. Χημική σύνθεση (%) μερικών φυτικών τροφών

Τροφή	Περιεκτικότητα %				
	Νερό	Υδατάνθρακες	Λίπη	Πρωτεΐνες	Τέφρα
Χλωρός αραβόσπορος	69	26	0,8	2,5	1,7
Χλωρή μηδική	73	19	0,8	5,2	2,4
Καρπός αραβοσίτου	14	72	3,9	9,0	1,3
Καρπός σόγιας	8	34	18,1	34,9	4,7
Ξηρό χόρτο μηδικής	9,5	65	1,9	15,6	8,0

τητά τους στις διάφορες κατηγορίες θρεπτικών ουσιών. Ως προς το τελευταίο αυτό σημείο οι σχετικές παρατηρήσεις συνοψίζονται ως εξής:

- Η σημαντικότερη παρατήρηση είναι ότι τα φυτά αποτελούνται κυρίως από υδατάνθρακες. Ειδικότερα, τα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών αποτελούνται από αδιάλυτους υδατάνθρακες, όπως είναι η λεγόμενη ακαθάριστη κυτταρίνη, ενώ στο κυτόπλασμα απαντούν κυρίως διαλυτοί υδατάνθρακες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα φυτά αποθηκεύουν ενέργεια γενικά με τη μορφή υδατανθράκων και κυρίως με τη μορφή του αμύλου.
- Η περιεκτικότητα των φυτών σε λίπη είναι κατά κανόνα χαμηλή. Εξαιρέση αποτελούν ορισμένα τμήματα (κυρίως σπέρματα, καρποί, κ.λ.π.) μερικών μόνο φυτών και κυρίως ψυχανθών (π.χ. ο καρπός σόγιας) όπου η περιεκτικότητα σε λίπη είναι σημαντική (18-20% περίπου).
- Η περιεκτικότητα των φυτών σε πρωτεΐνες είναι πολύ πιο σημαντική, από ποσοτική άποψη τουλάχιστο, σε σύγκριση με την περιεκτικότητα των φυτών σε λίπος, αν και εμφανίζει τεράστιες διακυμάνσεις, ειδικά όταν η περιεκτικότητα αυτή εκφράζεται επί τοις εκατό του βάρους του φυτού ως έχει.
- Πολύ μεγάλες είναι οι διαφορές (από το απλό στο εξαπλάσιο) των διαφόρων φυτών ως προς την περιεκτικότητα σε ανόργανες ουσίες (τέφρα).

Οι τεράστιες αυτές διαφορές ως προς τη χημική σύσταση των φυτών (ή των φυτικών τροφών) περιορίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό όταν η περιεκτικότητα εκφραστεί επί τοις εκατό του βάρους της ξηράς ουσίας των φυτών* και αυτό διότι η διακύμανση της περιεκτικότητας των διαφόρων φυτών σε νερό είναι πράγματι τεράστια. Έτσι, η χημική σύσταση των φυτικών τροφών του πίνακα 1.3 διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 1.4. Χημική σύνθεση, επί τοις εκατό της ξηράς ουσίας, των φυτικών τροφών του πίνακα

Τροφή	Ξηρά ουσία (Ξ.Ο.) Υδατάνθρακες Λίπη Πρωτεΐνες Τέφρα				
	Χλωρός αραβόσιπος	31	83,9	2,6	8,1
Χλωρή μηδική	27	70,4	3,0	19,2	8,9
Καρπός αραβοσίτου	86	83,7	4,5	10,5	1,5
Καρπός σόγιας	92	37,0	19,7	37,9	5,1
Ξηρό χόρτο μηδικής	90,5	71,8	2,1	17,2	8,8

Κάποιες γενικότερες παρατηρήσεις, ως προς τη χημική σύνθεση των φυτών, οι οποίες βέβαια δε φαίνονται στους προηγούμενους πίνακες 1.3 και 1.4, είναι οι εξής:

1. Στην ανόργανη ουσία των φυτών τα κυριότερα, α-

πό ποσοτική άποψη, στοιχεία είναι το κάλιο και το πυρίτιο.

2. Τα φυτά περιέχουν όλες τις βιταμίνες σε ποσοστά τα οποία κυμαίνονται σε εξαιρετικά πλατιά περιθώρια. Γενικά πάντως, τα φυτά περιέχουν τις βιταμίνες σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Εκείνο που αξίζει να σημειωθεί ιδιαίτερα είναι το γεγονός ότι τα φυτά μπορούν να συνθέσουν όλες τις βιταμίνες τις οποίες χρειάζονται για τις μεταβολικές λειτουργίες τους.

Στον πίνακα 1.5 παραθέτονται, κατά τρόπο συστηματοποιημένο, αλλά και απλοποιημένο, τα στοιχεία (καθώς και οι ουσίες) που αποτελούν συστατικά των τροφών.

Ταξινόμηση των ζωοτροφών

Οι χονδροειδείς και οι συμπτκνωμένες τροφές αποτελούν τις κύριες κατηγορίες ζωοτροφών.

Οι **χονδροειδείς τροφές** χρησιμοποιούνται πρωταρχικά για τη διατροφή των μηρυκαστικών. Τέτοιες είναι οι ογκώδεις τροφές, δηλαδή οι τροφές που έχουν μικρό βάρος ανά μονάδα όγκου και υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρικά τοιχώματα (ή καλύτερα κυτταρο-τοιχωματικούς υδατάνθρακες). Έτσι, η περιεκτικότητα, επί τοις εκατό της ξηράς ουσίας, σε ακαθάριστη κυτταρίνη κυμαίνεται από 25 μέχρι 30%, κατά μέσο όρο. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα χλωρά φυτά (π.χ. χλωρά χόρτα βοσκών κ.λ.π.), συγκομιζόμενα χόρτα και φυτά, προϊόντα που προκύπτουν από τα χλωρά φυτά μέσω συντήρησης, όπως π.χ. τα ξηρά χόρτα, τα αφυδατωμένα χόρτα ή τα ενσιρώματα. Τα άχυρα, τα ανεμίδια, τα λέπυρα και οι σπάδικες του αραβοσίτου αποτελούν εξαιρετικά πλούσιες σε κυτταρίνη τροφές, χαμηλής θρεπτικής αξίας. Τα ριζώματα και οι κόνδυλοι μοιάζουν με τα χλωρά χόρτα και φυτά ως προς την υψηλή περιεκτικότητά τους σε νερό (75-92%), αλλά διαφοροποιούνται από αυτά εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητάς τους σε ακαθάριστη κυτταρίνη, λόγος, άλλωστε, για τον οποίο οι τροφές αυτές (ριζώματα και κόνδυλοι) κατατάσσονται από αρκετούς σε μία τρίτη, ιδιαίτερη, κατηγορία, τις **χυμώδεις τροφές**.

Οι **συμπτκνωμένες τροφές** αποτελούν σχεδόν αποκλειστικές τροφές για τα μονογαστρικά αγροτικά ζώα. Παρ' όλα αυτά, οι ζωοτροφές αυτές ενσωματώνονται κατά κανόνα στο σιτηρέσιο των μηρυκαστικών ζώων, με σκοπό την ενίσχυση των χονδροειδών τροφών, πρωταρχικά από πλευράς ενέργειας αλλά όχι μόνον. Ο όρος «**συμπτκνωμένες**» χρησιμοποιείται

* Εξαιρέση αποτελεί η τέφρα, της οποίας η διακύμανση συνεχίζει να είναι τεράστια και αυτό φυσικά είναι ευνόητο.

Πίνακας 1.5. Απλοποιημένος πίνακας των στοιχείων και ενώσεων, τα οποία απαντούν ως συστατικά των τροφών (κατά τους Pond W. G., D. C. Church and K.R. Pond: *Basic Animal Nutrition and Feeding*, 1996)

Οργανικά συστατικά	Αζωτούχες ουσίες	Πρωτεΐνες	<p><i>Απαραίτητα αμινοξέα:</i> ισολευκίνη, λευκίνη, λυσίνη, μεθειονίνη, φαινυλαλανίνη, θρεονίνη, τρυπτοφάνη, βαλίνη</p> <p><i>Ημι-απαραίτητα αμινοξέα:</i> αργινίνη, κυστίνη, γλυκίνη, ιστιδίνη, προλίνη, τυροσίνη</p> <p><i>Μη απαραίτητα αμινοξέα:</i> αλανίνη, ασπαρτικό οξύ, γλουταμικό οξύ, υδροξυπρολίνη, σερίνη</p>
			<p><i>Μη πρωτεϊνικά πεπτίδια, αμίνες, αμίδια, νουκλεϊνικά οξέα, νιτρικά άλατα, ουρία, πολλά μη πρωτεϊνικά αμινοξέα και εκατοντάδες άλλων ενώσεων που περιέχουν N.</i></p>
	Λίπη (λιπίδια)	<p><i>Απαραίτητα λιπαρά οξέα:</i> λινελαϊκό, λινολενικό</p> <p><i>Στερόλες:</i> χοληστερόλη, βιταμίνη D, καθώς και πολλές άλλες ανάλογες ενώσεις</p> <p><i>Τερπένια:</i> καροτίνη, ξανθοφύλλες και άλλα</p> <p><i>Κηροί:</i> κουτίνη κ.ά.</p> <p><i>Φωσφολιπίδια:</i> λεκιθίνες κ.ά.</p> <p><i>Διάφορα:</i> ελεύθερα λιπαρά οξέα και άλλα</p>	
	Υδατάνθρακες	<p><i>Μονοσακχαρίτες:</i> απλά σάκχαρα (πεντόζες, εξόζες)</p> <p><i>Δισακχαρίτες:</i> σάκχαρα που περιέχουν δύο μόρια απλών σακχάρων</p> <p><i>Ολιγοσακχαρίτες:</i> σάκχαρα που περιέχουν περισσότερα από δύο μόρια απλών σακχάρων, αλλά μικρού Μ.Β.</p> <p><i>Μη ινώδεις πολυσακχαρίτες:</i> δεξτρίνες, άμυλο, πηκτίνες</p> <p><i>Ινώδεις πολυσακχαρίτες,</i> ημικυτταρίνες, κυτταρίνη, ξυλάνες</p>	
	Βιταμίνες	<p><i>Υδατοδιαλυτές:</i> ασκορβικό οξύ, βιτίνη, χολίνη, κοβαλαμίνη, φυλλικό οξύ, νιασίνη, παντοθενικό οξύ, πυριδοξίνη, ριβοφλαβίνη, θειαμίνη</p> <p><i>Λιποδιαλυτές:</i> Α, D, E και K</p>	
	Διάφορα:	<p>λιγνίνη, οργανικά οξέα, ενώσεις που συντελούν στη χρώση, τη γεύση και την οσμή</p> <p>τοξίνες ή αναστολές διαφόρων τύπων: ζωικές και φυτικές ορμόνες</p>	
Ανόργανα συστατικά	Απαραίτητα ανόργανα στοιχεία	<p><i>Μακροστοιχεία:</i> Ca, P, Mg, K, Na, Cl, S</p>	
		<p><i>Μικροστοιχεία (Ιχνοστοιχεία):</i> Fe, Cu, Co, Mn, Zn, Mo, Cr, Se, F, I, Si, Sn, V, Ni</p>	
		<p><i>Πιθανόν απαραίτητα:</i> As, Ba, Br, Cd, Sr</p>	
		<p><i>Μη απαραίτητα:</i> Ag, Al, Au, Bi, Ge, Hg, Pb, Rb, Sb, Ti</p> <p><i>Συχνά τοξικά:</i> As, Cd, Cu, Hg, Mo, Pb, Se, Si</p>	

για τις ζωοτροφές εκείνες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τη χαμηλή περιεκτικότητά τους σε ακαθάριστη κυτταρίνη (μικρότερη του 10% «επί ξηράς βάσεως»), τη χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό (10% περίπου) και από έναν υψηλό συντελεστή πεπτικότητας.

Υπάρχουν συμπυκνωμένες τροφές που χορηγούνται κυρίως για την ενέργειά τους (**ενεργειακές τροφές**), ενώ χαρακτηρίζονται από χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη. Τέτοιες τροφές είναι π.χ. οι **δημητριακοί καρποί**, κυρίως, και ακολουθούν τα υποπροϊόντα άλεσης (π.χ. πίτυρα σίτου). Οι τροφές αυτές είναι πλούσιες σε άμυλο, λίπη κ.λ.π.

Αντίθετα, άλλες συμπυκνωμένες τροφές που περιέχουν πάνω από 20% ολική πρωτεΐνη χαρακτηρίζονται ως **πρωτεϊνικές** και εμφανίζουν σπουδαίο ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για τα νεαρά αναπτυσσόμενα ζώα

και τα υπερπαραγωγά αναπτυγμένα. Οι πρωτεϊνικές συμπυκνωμένες τροφές μπορεί να είναι είτε φυτικής είτε ζωϊκής προέλευσης. Πρωτεϊνικές πηγές φυτικής προέλευσης, πολύ σημαντικές, είναι οι **πλακούντες** και τα **άλευρα εκχύλισης**, που προκύπτουν από ελαιούχους καρπούς, όταν αυτοί κατεργάζονται με σκοπό την αφαίρεση του ελαίου που περιέχουν. Αντίθετα, τα κρεατάλευρα, τα ιχθυάλευρα, τα αιματάλευρα κ.λ.π. αποτελούν σημαντικούς εκπροσώπους των πρωτεϊνικών τροφών ζωϊκής προέλευσης. Οι τροφές αυτές είναι, κατά κανόνα, δαπανηρές και προστίθενται σε μικρές ποσότητες στα σιτηρέσια ορισμένων μόνο κατηγοριών αγροτικών ζώων (χοίροι, ορνιθοειδή).

Τέλος, για να διασφαλιστεί η υψηλή παραγωγικότητα των αγροτικών ζώων, είναι συχνά αναγκαία η συμμετοχή στο σιτηρέσιο, πέρα από τις καθεαυτού

ζωοτροφές, και ορισμένων συμπληρωμάτων διατροφής, όπως είναι π.χ. οι βιταμίνες, τα προμύγματα ανόργανων αλάτων, τα αντιβιοτικά κ.λ.π.

Χημική σύσταση μερικών αντιπροσωπευτικών ζωοτροφών

Η χημική σύσταση μερικών τυπικών ζωοτροφών, τόσο χονδροειδών όσο και συμπυκνωμένων, δίνεται στον πίνακα 1.6. Όπως λοιπόν διαπιστώνεται από τη μελέτη του πίνακα αυτού, τα αποτελέσματα της ανάλυσης του χλωρού χόρτου μηδικής, η οποία κόπηκε (θερίστηκε) σε τρία διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, δείχνουν μια έντονη αύξηση της περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία και σε ακαθάριστη κυτταρίνη καθώς και κάποια περιορισμένη αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη. Ανάλογες διακυμάνσεις της χημικής σύστασης παρατηρούνται και σε άλλα φυτά, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους. Τα αποξηραμένα χόρτα μπορούν να αποθηκευτούν για μεγάλο χρονικό διάστημα (πολλούς μήνες ή και χρόνια), εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητάς τους σε νερό (κάτω του 15%). Η υψηλή περιεκτικότητα σε ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες (κυρίως άμυλο) του καρπού κριθής αποτελεί τυπικό γνώρισμα της πλειονότητας των δημητριακών καρπών. Τα πύτυρα σίτου χαρακτηρίζονται από τη σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητά τους σε ακαθάριστη κυτταρίνη, σε σύγκριση με τον καρπό του σίτου (όπως έχει), ενώ, παράλληλα, είναι πλουσιότερα από αυτόν και σε πρωτεΐνες, λίπη, βιταμίνες και ανόργανα άλατα. Η σύγκριση της σύστασης του σογιαλεύρου εκχύλισης με εκείνη των σπερμάτων της σόγιας, οδηγεί εύκολα στη διαπίστωση ότι το σογιαλέυρο χαρακτηρίζεται από υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και χαμηλότερη σε λίπος (και επομένως και σε ενέργεια), σε σύγκριση με τα σπέρματα σόγιας (όπως έχουν). Τέλος, τα ιχθυάλευρα του εμπορίου, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στη διατροφή των χοίρων και των πουλερικών, χα-

ρακτηρίζονται από κάποια σχετικά σταθερή σύσταση καθώς και από μία περιεκτικότητα σε ολική πρωτεΐνη υψηλότερη του 60%.

3. Σύγκριση της χημικής σύστασης του ζωικού σώματος προς εκείνη των τροφών

Στις σελίδες που προηγήθηκαν καταβλήθηκε προσπάθεια να δοθούν αρκετές πληροφορίες γύρω από τη χημική σύσταση τόσο του ζωικού σώματος όσο και των ζωοτροφών, ανεξάρτητα μεταξύ τους. Στη συνέχεια θα επιχειρήσουμε κάποια σύντομη εξέταση της χημικής σύνθεσης του ζωικού οργανισμού σε σχέση με τη χημική σύνθεση των τροφών, με τις οποίες αυτός τρέφεται. Μια τέτοια εξέταση θεωρείται σκόπιμη και χρήσιμη διότι συμβάλλει σημαντικά στο να κατανοηθούν, κατά το δυνατόν ικανοποιητικότερα, όλα όσα αφορούν στις λειτουργίες θρέψης και στην ικανοποίηση των θρεπτικών αναγκών των αγροτικών ζώων, βασικά αντικείμενα της επιστήμης της Φυσιολογίας Θρέψεως και Διατροφής.

Η σημαντικότερη λοιπόν διαφορά, ως προς τη χημική σύνθεση, μεταξύ του ζωικού σώματος και των φυτών είναι ότι η ξηρά ουσία των φυτών αποτελείται πρωταρχικά από υδατάνθρακες (75-80%), ενώ η ξηρά ουσία του ζωικού σώματος περιέχει τους υδατάνθρακες σε ποσοστό μικρότερο του 1%, αν και οι τελευταίοι παίζουν έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση ενέργειας από μέρους του ζωικού οργανισμού για την επιτέλεση ζωικών λειτουργιών του. Στο σημείο αυτό, πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο ρυθμός βιοσύνθεσης και καταβολισμού των υδατανθράκων στο ζωικό σώμα είναι εξαιρετικά ταχύς. Οι **διαλυτοί υδατάνθρακες** (πρωταρχικά το άμυλο) χρησιμεύουν ως αποθηκευτικό υλικό ενέργειας για το φυτό, ενώ οι **αδιάλυτοι υδατάνθρακες** (κυτταρίνες κατά κύριο λόγο) χρησιμοποιούνται από το φυτό ως δομικά υλικά και για την εξασφάλιση μηχανικής σταθερότητας.

Οι **πρωτεΐνες** αποτελούν δομικό συστατικό των

Πίνακας 1.6. Σύσταση (%) ορισμένων ζωοτροφών

Είδος τροφής					Ελεύθερες			
	Νερό	Πρωτεΐνη	Λίπος	Τέφρα	Ακαθάρ. Κυτταρίνη	N. εκχυλισμ. ουσίες	Ασβέστιο Ca	Φωσφόρος P
Μηδική, πολύ νεαρής ηλικίας	83	4,3	0,5	2,0	4,0	6,2	0,41	0,06
Μηδική, κατά την άνθηση	77,3	5,2	0,8	2,6	5,9	8,2	0,58	0,07
Μηδική, κατά το τέλος της άνθησης	71,0	5,5	1,0	3,0	8,7	10,8	0,51	0,07
Μηδική, ξηρό χόρτο	10,8	16,5	2,4	7,5	25,5	37,3	1,321	0,21
Ξηρό χόρτο βίκου και βρώμης	12,0	13,1	1,9	8,5	25,8	38,7	0,66	0,18
Άχυρο σίτου	9,9	3,0	2,0	11,0	35,1	38,9	0,31	0,06
Καρπός κριθής	10,3	10,8	1,8	5,5	4,7	66,9	0,05	0,38
Πίτυρα σίτου	11,9	14,3	4,6	4,6	10,3	54,3	0,15	1,05
Σογιαλέυρο	10,8	44,5	0,6	5,6	4,5	34,0	0,18	0,66
Σόγια, σπέρματα	9,1	37,9	17,4	4,9	5,3	25,4	0,26	0,62
Ιχθυάλευρο	9,0	62,0	2,5	23,8	-	-	4,10	2,70

μαλακών ιστών του ζωικού οργανισμού, ενώ, τέλος, τα λίπη αποτίθενται στο ζωικό σώμα ως εφεδρείες ενέργειας. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες του ζωικού σώματος είναι κατά κανόνα υψηλότερη σε σύγκριση με εκείνη των φυτών, με εξαίρεση τους πλούσιους σε πρωτεΐνη ελαιούχους σπόρους, και ειδικότερα τα προϊόντα που προκύπτουν με εκχύλιση του λίπους των σπόρων αυτών.

Η **ανόργανη ουσία**, που περιέχεται στην ξηρά ουσία τόσο των φυτών όσο και των ζώων, αποτελείται από ένα πολύ μεγάλο αριθμό ανόργανων στοιχείων, τα οποία περιέχονται σε ποσότητες που κυμαίνονται στα διάφορα μέρη των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Ορισμένα από τα ανόργανα αυτά στοιχεία περιέχονται σε σημαντικές ποσότητες τόσο στα φυτά όσο και στα ζώα (ασβέστιο, φωσφόρος, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο, χλώριο και θείο), ενώ άλλα απαντούν σε ελάχιστες ποσότητες (σχεδόν σε ίχνη), όπως είναι π.χ. ο σίδηρος, ο χαλκός, το κοβάλτιο, το ιώδιο, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, το φθόριο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο κ.ά. Η σημαντικότερη διαφορά ανάμεσα στα φυτά και τα ζώα, ως προς την περιεκτικότητά τους σε ανόργανα στοιχεία, είναι η εξής: Στην ανόργανη ουσία των ζώων τα κυριότερα, από ποσοτική άποψη, συστατικά είναι το **ασβέστιο** και ο **φωσφόρος**, ενώ στην ανόργανη ουσία των φυτών τα κυριότερα, από ποσοτική άποψη, στοιχεία είναι το **κάλιο** και το **πυρίτιο**.

Σχετικά με την **περιεκτικότητα σε νερό**, η διαφορά μεταξύ του ζωικού σώματος και των φυτικών τροφών συνίσταται στο γεγονός ότι οι διακυμάνσεις της είναι πολύ μεγαλύτερες στην περίπτωση των τροφών από ό,τι στην περίπτωση του ζωικού σώματος.

Τέλος, οι βιταμίνες απαντούν στα ζώα και τα φυτά σε ελάχιστα ποσά, ενώ οι περισσότερες από αυτές είναι μεγάλης σπουδαιότητας ως συστατικά ενζυμικών συστημάτων. Η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στα φυτά και τα ζώα, σε σχέση με τις βιταμίνες, είναι ότι, ενώ τα φυτά μπορούν να συνθέτουν όλες τις βιταμίνες που χρειάζονται για τις μεταβολικές λειτουργίες τους, τα ζώα δεν μπορούν ή έχουν πολύ περιορισμένη ικανότητα σύνθεσης, με αποτέλεσμα να εξαρτώνται, για τον εφοδιασμό τους, από εξωτερικές πηγές.

Στον πίνακα 1.7 παραθέτονται συγκριτικά οι απαιτήσεις των φυτών, των ζώων και του ανθρώπου στις διάφορες κατηγορίες θρεπτικών ουσιών ή και σε επιμέρους θρεπτικά στοιχεία (ή και ουσίες).

4. Βασικές αρχές της ανάλυσης ζωοτροφών και βιολογικών υλικών

Οι χημικές αναλύσεις των επί μέρους συστατικών δειγμάτων ζωοτροφών ή και ζωικών ιστών εμφανίζουν αρκετές δυσκολίες στην πραγματοποίησή τους,

ενώ τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών είναι συχνά δύσκολο να συσχετισθούν με τη χρησιμοποίησή τους από μέρους του ζώου.

Υπάρχουν βέβαια σύγχρονες μέθοδοι ανάλυσης, που προβλέπουν τη χρησιμοποίηση χρωματογραφικών και φασματοφωτομετρικών τεχνικών, με τη βοήθεια των οποίων είναι δυνατός ο προσδιορισμός των υδατανθράκων, πρωτεϊνών, λιπών, βιταμινών και ανοργάνων ουσιών, πλην όμως η εφαρμογή των μεθόδων αυτών χρειάζεται πολλή και κοπιαστική αναλυτική εργασία, εκτός και εάν το Εργαστήριο Φυσιολογίας Θρέψεως και Διατροφής των αγροτικών ζώων διαθέτει τις πολύ δαπανηρές αυτόματες αναλυτικές συσκευές, με τη χρησιμοποίηση των οποίων απλοποιείται σε πολύ σημαντικό βαθμό η ως άνω αναλυτική διαδικασία.

Το μεγαλύτερο μέρος των γνώσεών μας γύρω από τη χημική σύνθεση τόσο των τροφών όσο και των βιολογικών υλικών στηρίζεται στην αναλυτική τεχνική που επινοήθηκε πριν από 130 περίπου χρόνια (1865) από τους Γερμανούς επιστήμονες Hennenberg & Stohman στον πειραματικό σταθμό του Weende της Γερμανίας, από όπου και πήρε την ονομασία της η αναλυτική αυτή τεχνική: **μέθοδος Weender**.

Σύμφωνα με την αναλυτική τεχνική Weender, οποιαδήποτε τροφή ή και βιολογικό υλικό (κόπρανα, ούρα, σωματικοί ιστοί κ.λ.π.) διαχωρίζεται στα εξής 6 επί μέρους κλάσματα: νερό, αιθέριο εκχύλισμα (ή ακαθάριστο λίπος), ολική ή ακαθάριστη κυτταρίνη, ολική πρωτεΐνη, ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες και τέφρα. Το ένα από τα κλάσματα αυτά, οι ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες, υπολογίζεται από τη διαφορά:

(100-άθροισμα των πέντε άλλων κλασμάτων) (Εικ. 1.4)

Η μέθοδος Weender εξακολουθεί και σήμερα να αποτελεί τη συνήθη μέθοδο ανάλυσης και τη βάση της περιγραφόμενης χημικής σύνθεσης των τροφών στους συνήθεις Πίνακες Διατροφής των ζώων, και αυτό γιατί διακρίνει ομάδες θρεπτικών ουσιών, οι οποίες, ως πηγές ενέργειας, για τον οργανισμό, καθορίζουν τη θρεπτική αξία, από άποψη ενέργειας, των ζωοτροφών. Σήμερα βέβαια, στα σύγχρονα εργαστήρια Φυσιολογίας Θρέψεως και Διατροφής των αγροτικών ζώων, η μέθοδος Weender συμπληρώνεται από λεπτομερειακότερες αναλύσεις για ειδικές θρεπτικές ουσίες (βιταμίνες, απαραίτητα αμινοξέα, απαραίτητες ανόργανες ουσίες κ.λ.π.), οι οποίες επιτελούν ειδικές φυσιολογικές λειτουργίες στον οργανισμό.

a. Προσδιορισμός του νερού και της ξηράς ουσίας

Η περιεκτικότητα σε νερό της τροφής (ή και του

Πίνακας 1.7. Θρεπτικά στοιχεία (ή ουσίες) που απαιτούνται από τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο (κατά τους W.G. Pond, D.C. Churchand K.R. Pond: *Basic Animal Nutrition and Feeding*, 1996)

Θρεπτικό στοιχείο (ή ουσία)	Απαραίτητα για			Θρεπτικό στοιχείο (ή ουσία)	Απαραίτητα για		
	τα φυτά	τα ζώα	τον άνθρωπο		τα φυτά	τα ζώα	τον άνθρωπο
Νερό	X	X	X	Ανόργανα στοιχεία (συνέχεια)			
Ενέργεια	X	X	X	Φωσφόρος	X	X	X
Υδατάνθρακες		?α	?	Κάλιο	X	X	X
Λίπη		X	X	Σελήνιο	X	X	X
Λινελαϊκό οξύ		X	X	Πυρίτιο	X	X	X
Λινολενικό οξύ		X	X	Ψευδάργυρος	X	X	X
Πρωτεΐνες		?	X	Αλουμίνιο	X	?	?
Άζωτο	X			Βρώμιο	X	?	?
Αμινοξέα		X	X	Καΐσιο	X		
Αργινίνη		X	X	Στρόντιο	X		
Ιστιδίνη		X	X	Κάδμιο		?	?
Ισολευκίνη		X	X	Αρσενικό		?	?
Λευκίνη		X	X	Λίθιο		?	?
Λυσίνη		X	X	Μόλυβδος		?	?
Μεθειονίνη		X	X	Νικέλιο		?	?
Φαινυλαλανίνη		X	X	Τιτάνιο		?	?
Προλίνη		X	?	Βανάδιο		?	?
Θρεονίνη		X	X	Βιταμίνες			
Τρυπτοφάνη		X	X	Βιταμίνη A		X	X
Βαλίνη		X	X	Βιταμίνη C		X	X
Ανόργανα στοιχεία		X	X	Βιταμίνη D		X	X
Βόριο	X	X	X	Βιταμίνη E		X	X
Κάδμιο	X	X	X	Βιταμίνη K		X	X
Κοβάλτιο	X	X	X	Βιταμίνη B ₁₂		X	X
Χαλκός	X	X	X	Βιοτίνη		X	X
Χρώμιο	X	X	X	Χολίνη		X	X
Χλώριο	X	X	X	Φυλλικό οξύ		X	X
Φθόριο	X	X	X	Νιασίνη		X	X
Σίδηρος	X	X	X	Παντοθενικό οξύ		X	X
Ιώδιο	X	X	X	Πυριδοξίνη		X	X
Μαγνήσιο	X	X	X	Ριβοφλαβίνη		X	X
Μολυβδαίνιο	X	X	X	Μυο-ινοσιτόλη		X	X
				PABA		X	X

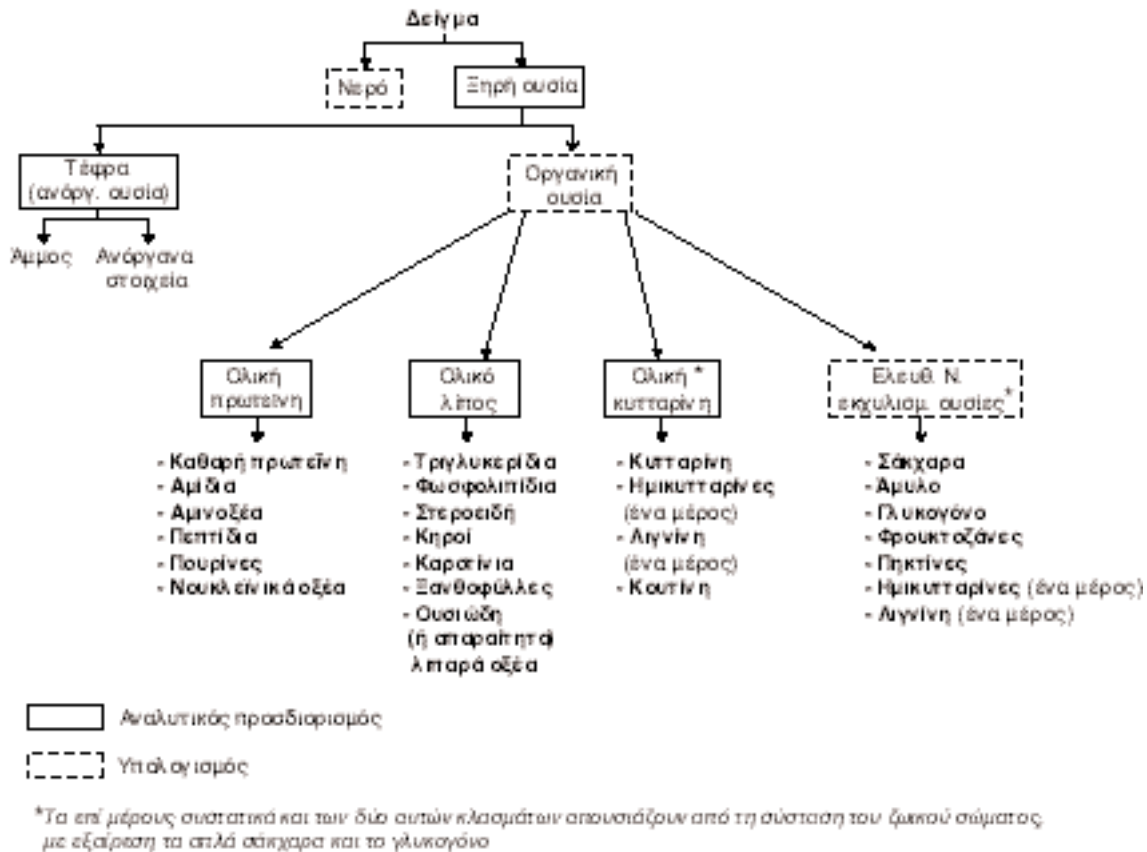
α. Το ερωτηματικό σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αδιαμφισβήτητα στοιχεία για την ύπαρξη πραγματικής διατροφικής ανάγκης για το εν λόγω διατροφικό στοιχείο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να σημαίνει επίσης και ότι για μερικά ζωικά είδη υπάρχουν τέτοιου είδους ανάγκες, ενώ για άλλα όχι.

βιολογικού υλικού) προσδιορίζεται με ξήρανση γνωστού βάρους δείγματος της τροφής σε κλίβανο και σε θερμοκρασία 100-105°C μέχρι λήψης σταθερού βάρους. Η απώλεια βάρους, εκφρασμένη επί τοις εκατό του αρχικού βάρους του δείγματος, παριστάνει την περιεκτικότητα (%) της τροφής (ή του βιολογικού υλικού) σε νερό. Η περιεκτικότητα της τροφής σε ξηρά ουσία αποτελείται από το υπόλοιπο που απομένει μετά την εξάτμιση από αυτήν του περιεχόμενου νερού. Η προηγούμενη μέθοδος είναι ικανοποιητική για ένα πολύ μεγάλο αριθμό ζωοτροφών. Αντίθετα, για μερικές ζωοτροφές, οι οποίες περιέχουν πτητικά συστατικά (πτητικά λιπαρά οξέα, αμμωνία κ.λ.π.), όπως π.χ. τα ενσιρώματα, η εφαρμογή της προηγούμενης μεθόδου, δε δίνει ικανοποιητικά, από άποψη ακρίβειας, αποτελέσματα. Στην περίπτωση αυτή, για την αποφυγή απωλειών πτητικών συστατικών, κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, η περιεκτικότητα σε νερό (και επομένως και σε ξηρά ουσία) προσδιορίζεται με την εφαρμογή βελτιωμένων μεθόδων απομάκρυνσης

του νερού, όπως π.χ. η ξήρανση του δείγματος σε χαμηλότερη θερμοκρασία κάτω από μειωμένη πίεση, η ψυχρή ξήρανση (freeze-drying), η απόσταξη με τολουόλη κ.λ.π. Η εφαρμογή τέτοιων βελτιωμένων μεθόδων ξήρανσης θεωρείται επίσης απαραίτητη και για τροφές που στη θερμοκρασία των 100-105°C υφίστανται αλλοιώσεις (π.χ. οξειδωση).

β. Προσδιορισμός της ανόργανης και οργανικής ουσίας

Η περιεκτικότητα της τροφής, ή του βιολογικού υλικού, σε ανόργανη ουσία (δηλαδή σε τέφρα) προσδιορίζεται με πυράκτωση γνωστού βάρους δείγματος του προηγούμενου υλικού σε θερμοκρασία 500-600°C. Προς το σκοπό αυτό, το εν λόγω δείγμα τοποθετείται σε ειδικό εργαστηριακό αποτεφρωτικό κλίβανο, όπου και παραμένει για 2-3 ώρες, δηλαδή μέχρις ότου απομακρυνθεί ολόκληρη η ποσότητα του περιεχόμενου άνθρακα. Με την κατεργασία αυτή δεν απομακρύνεται μόνο το νερό αλλά και η οργανική



Εικόνα 1.4. Συστατικά των διαφόρων κλασμάτων κατά την κατά προσέγγιση ανάλυση των ζωοτροφών ή των βιολογικών υλικών. (Μέθοδος Weender).

κή λεγόμενη ουσία, η οποία οξειδώνεται και απομακρύνεται με τη μορφή αερίων, για να μείνει μόνον η ανόργανη ουσία, η οποία είναι περισσότερο γνωστή με το όνομα **τέφρα**. Τα ανόργανα στοιχεία που περιέχονται στις οργανικές ουσίες, όπως π.χ. το θείο, και ο φωσφόρος του μορίου των πρωτεϊνών, παραμένουν στην τέφρα και συμπροσδιορίζονται με αυτήν. Η γνώση της περιεκτικότητας της τροφής σε τέφρα εμφανίζει αρκετά μεγάλη θρεπτική σημασία, ανάλογα με το είδος της υπό εξέταση τροφής. Έτσι π.χ., ενώ για τις τροφές ζωικής προέλευσης, η περιεκτικότητα σε τέφρα, εξαιτίας της σχετικά σταθερής σύνθεσής τους, αποτελεί δείκτη της περιεκτικότητάς τους σε ασβέστιο και φωσφόρο, δε συμβαίνει το ίδιο και για τις τροφές φυτικής προέλευσης, διότι πολλές από αυτές περιέχουν ανόργανες ουσίες μικρής ή μηδαμικής θρεπτικής σημασίας για το ζωικό οργανισμό. Κοινό παράδειγμα τέτοιας ανόργανης ουσίας αποτελεί το πυρίτιο, το οποίο και απαντά σε σημαντικό ποσοστό σε όλες τις φυτικές τροφές.

Σε μερικές φυτικές, τροφές, όπως π.χ. στα χόρτα των λειμώνων, η περιεκτικότητά τους σε τέφρα εμφανίζει υψηλές τιμές, εξαιτίας της προσκόλλησης πάνω σ' αυτές άμμου ή χρώματος.

Η περιεκτικότητα της τροφής, ή του βιολογικού υλικού, σε οργανική ουσία προσδιορίζεται, εάν από το βάρος της ξηράς ουσίας της τροφής αφαιρεθεί το βάρος της τέφρας που απομένει μετά την τέλεια καύση στον αποτεφρωτικό κλίβανο.

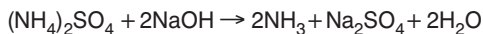
γ. Προσδιορισμός των αζωτούχων ουσιών

Ο προσδιορισμός των διαφόρων μορφών αζώτου που περιέχονται στις διάφορες ζωοτροφές (ή και τα βιολογικά υλικά) εμφανίζει αξιολογικό ενδιαφέρον.

Στην πράξη αρκούμαστε συνήθως στον προσδιορισμό του ολικού αζώτου με την κλασική μέθοδο Kjeldahl, οπότε, πολλαπλασιάζοντας την τιμή του ολικού αζώτου με το συντελεστή 6,25, αφού οι πρωτεΐνες, βασικοί αντιπρόσωποι των αζωτούχων ουσιών, περιέχουν 16% άζωτο ($100:16=6,25$), υπολογίζει κανείς την περιεκτικότητα της τροφής σε ολικές αζωτούχες ουσίες (ή σε ολικές πρωτεΐνες, όπως συνηθίζουμε να λέμε στην πράξη).

Η μέθοδος Kjeldahl στηρίζεται στη μετατροπή οποιασδήποτε μορφής οργανικού αζώτου σε ανόργανο άζωτο (ανοργανοποίηση οργανικού αζώτου, γαλ. Kjeldahlisation). Το αμμωνιακό άζωτο που προκύπτει (θειικό αμμώνιο) αποσπάζεται και τιτλομετρεί-

ται με διάλυση υδροχλωρικού οξέος 0,1N (δεκατοκονικό διάλυμα):



Η αναλυτική τεχνική Weender παραδέχεται ότι το άζωτο προέρχεται από πρωτεΐνες που περιέχουν 16% άζωτο, όπως αυτό συμβαίνει στις ζωικές πρωτεΐνες και, κατά συνέπεια, ο προσδιορισμός κατά προσέγγιση της τιμής της περιεκτικότητας της τροφής σε πρωτεΐνη γίνεται με πολλαπλασιασμό της ποσότητας του N, όπως αυτή προσδιορίστηκε μέσω της μεθόδου Kjeldahl, με το συντελεστή 6,25.

Παρ' όλα αυτά, η περιεκτικότητα σε N των πρωτεϊνών διαφόρων φυτικών τροφών παρουσιάζει αποκλίσεις από την τιμή 16%, οπότε σε μερικές περιπτώσεις θα ήταν απαραίτητη η χρησιμοποίηση άλλου συντελεστή. Έτσι, π.χ., η περιεκτικότητα σε N των πρωτεϊνών των καρπών σιτηρών είναι 17%, οπότε στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής 5,9 θα ήταν περισσότερο ακριβής. Επειδή όμως η επιλογή κάθε φορά του καταλληλότερου συντελεστή συναντά σημαντικές δυσχέρειες, καθιερώθηκε στην πράξη να χρησιμοποιείται γενικά για όλες τις τροφές ο συντελεστής 6,25. Αυτό διότι η προσδιοριζόμενη με τον τρόπο αυτό τιμή πρωτεΐνης αποτελεί ένα λογικά ικανοποιητικό δείκτη, με τη βοήθεια του οποίου εκφράζονται οι ανάγκες σε πρωτεΐνες των αγροτικών ζώων και γίνονται, βάσει αυτού, οι συνδυασμοί των πρωτεϊνών των διαφόρων τροφών στα σιτηρέσιά τους, σε τρόπο ώστε το επίπεδο πρωτεΐνης των σιτηρεσίων αυτών να ικανοποιεί τις πρωτεϊνικές ανάγκες των ζώων αυτών.

Οι αζωτούχες ουσίες που προσδιορίζονται μέσω της αναλυτικής τεχνικής Weender δεν αποτελούνται μόνον από πρωτεΐνες, αφού σ' αυτές συμπεριλαμβάνεται και το άζωτο μη πρωτεϊνικών αζωτούχων ουσιών. Αυτός άλλωστε είναι ο λόγος για τον οποίο οι αζωτούχες ουσίες που με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζονται λέγονται **ακάθαρτο λεύκωμα** ή **ακάθαρτη πρωτεΐνη**.

– Προσδιορισμός της περιεκτικότητας των τροφών σε πραγματικές πρωτεΐνες

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας της τροφής σε πραγματικές πρωτεΐνες γίνεται με θρόμβωσή τους, με τη χρησιμοποίηση υδροξειδίου του χαλκού (αντιδραστηρίου Stutzer) μέσα σε υδατικό διάλυμα που βράζει. Έτσι, ύστερα από διήθηση, στο ίζημα που αποχωρίζεται περιλαμβάνονται οι πρωτεΐνες, ενώ στο διήθημα παραμένουν σε διάλυση οι μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ουσίες. Με τον προσδιορισμό στη συνέχεια, κατά τη μέθοδο Kjeldahl, των πρωτεϊνών που βρίσκονται στο ίζημα και με αφαίρεσή τους από τις ολικές αζωτούχες ουσίες, υπολογίζουμε την πε-

ριεκτικότητα της τροφής σε μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ουσίες.

Οι πραγματικές πρωτεΐνες που προσδιορίζονται σύμφωνα με τα προηγούμενα αποτελούν πρωταρχικής σημασίας συστατικό του ζωντανού οργανισμού, λόγος άλλωστε που δικαιολογεί και την ονομασία τους «πρωτεΐνες». Χαρακτηριστικό γνώρισμα των πρωτεϊνών είναι ότι το μόριό τους αποτελείται από αμινοξέα, ενωμένα μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς.

Όταν συγκρίνουμε τις διάφορες τροφές μεταξύ τους, από την πλευρά της χημικής σύνθεσής τους, δίνουμε ιδιαίτερη σημασία στην περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη, εξαιτίας της μεγάλης σημασίας που έχει αυτή στη θρέψη-διατροφή των ζώων. Η περιεκτικότητα των διαφόρων τροφών σε πρωτεΐνη κυμαίνεται μέσα σε πολύ πλατιά περιθώρια. Ιδιαίτερα πλούσιες σε πρωτεΐνη τροφές θεωρούνται οι **τροφές ζωικής προέλευσης** (ιχθυάλευρα, κρεατάλευρα, αιματάλευρα, κ.λ.π.), ενώ αμέσως μετά ακολουθούν τα **προϊόντα κατεργασίας διαφόρων ελαιούχων καρπών** (σογιάλευρα, λινάλευρο, βαμβακάλευρο κ.λ.π.). Πλούσια πηγή πρωτεΐνης είναι επίσης και η ξηρή ζύμη (οινοπνευματοποιίας ή ζυθοποιίας). Στη συνέχεια έρχονται, σε βαθμό που μειώνεται, μερικοί από τους ελαιούχους καρπούς, οι καρποί των ψυχανθών, τα πίτυρα των σιτηρών, οι καρποί των σιτηρών κ.ο.κ. Από τα ξηρά χόρτα, τα χόρτα των ψυχανθών είναι πλουσιότερα σε πρωτεΐνη από τα χόρτα των αγροσωδών.

Οι μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ουσίες (κυρίως αμιδια και αμινοξέα καθώς και μικρές ποσότητες αζωτούχων γλυκοζιτών, αζωτούχων λιπών, αμμωνιακών αλάτων κ.λ.π.) είναι ειδικά άφθονες στα **αναπτυσσόμενα τμήματα των φυτών**, καθώς και στα χλωρά χόρτα, ενώ η αναλογία τους ελαττώνεται προοδευτικά με την ωρίμανση των φυτών. Παρ' όλα αυτά, σχετικά μεγάλες ποσότητες μη πρωτεϊνικών αζωτούχων ουσιών περιέχουν επίσης και οι **ρίζες** και οι **κόνδυλοι**, μια και περιέχουν σημαντικό μέρος των αζωτούχων ουσιών, που αποθησαυρίζουν για τη μελλοντική τους ανάπτυξη, με μη πρωτεϊνική μορφή. Οι ενσιρωμένες τροφές επίσης, οι οποίες έχουν υποστεί ειδική ζύμωση για τη συντήρησή τους, περιέχουν περισσότερες μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ουσίες σε σύγκριση με τις χλωρές τροφές από τις οποίες προήλθαν.

δ. Προσδιορισμός της περιεκτικότητας των τροφών σε ολικό λίπος

Η περιεκτικότητα μιας τροφής σε ολικό λίπος (Crude fat) προσδιορίζεται με εκχύλιση δείγματος της τροφής με αιθέρα, ή με κάποιον παρόμοιο οργανικό διαλύτη. Το υπόλειμμα που επιτυγχάνεται, μετά την εξάτμιση του οργανικού διαλύτη αποτελεί το **αι-**

θέριο εκχύλισμα (ether extract), το οποίο λέγεται επίσης και «**ολικό λίπος**». Πέρα από τα καθαυτό λίπη (τριγλυκερίδια), το κλάσμα αυτό περιέχει επίσης και άλλα λίπη, όπως φωσφολιπίδια, κηρούς, στερόλες και φυτικές χρωστικές. Οι τελευταίες ενώσεις είναι πολύ χαμηλότερης ενεργειακής αξίας από ό,τι τα λίπη (τριγλυκερίδια). Έτσι εξηγείται γιατί η υψηλή περιεκτικότητα σε ολικό λίπος δε σημαίνει αναγκαστικά υψηλή ενεργειακή αξία και αντιστρόφως.

Για τον προσδιορισμό του λίπους, το δείγμα της υπό εξέταση τροφής ξηραίνεται σε πυριατήριο (ηλεκτρικό κλίβανο), για την απομάκρυνση του νερού, και στη συνέχεια εκχυλίζεται με άνυδρο αιθυλικό αιθέρα, επί 16 ώρες, σε ειδική συσκευή (Soxhlet), στον υποδοχέα της οποίας συλλέγεται το αιθέριο εκχύλισμα. Ο υποδοχέας της συσκευής, ο οποίος είχε ζυγιστεί πριν την εκχύλιση, θερμαίνεται, για την απομάκρυνση του αιθέρα, και επαναζυγίζεται. Η διαφορά των δύο αυτών ζυγίσεων αντιπροσωπεύει το αιθέριο εκχύλισμα ή ολικό λίπος της τροφής.

Σε μερικές φυλλώδεις τροφές η ποσότητα των μη λιπαρών ουσιών στο αιθέριο εκχύλισμα είναι δυνατόν να αντιπροσωπεύει το 15-40% του συνολικού αιθέριου εκχυλίσματος. Παρ' όλα αυτά, στις τροφές οι οποίες αποτελούν τις κύριες πηγές λίπους στο σιτηρέσιο των αγροτικών ζώων, δηλαδή στους καρπούς των ψυχανθών και στις τροφές ζωικής προέλευσης, το αιθέριο εκχύλισμα περιέχει κυρίως γλυκερίδια (εστέρες της γλυκερίνης με ανώτερα λιπαρά οξέα).

Εκτός από τον τρόπο προσδιορισμού που προαναφέρθηκε, το αιθέριο εκχύλισμα μπορεί να προσδιοριστεί από την απώλεια βάρους του δείγματος τροφής που αποξηράνθηκε, μετά την εκχύλισή του με αιθέρα.

Τροφές με υψηλή περιεκτικότητα σε ολικό λίπος είναι:

- οι ελαιούχοι καρποί και οι πλακούντες που προκύπτουν από αυτούς,
- τα πίτυρα και τα κτηνάλευρα ρυζιού,
- τα ζωικά υποπροϊόντα (κρεατάλευρα, ιχθυάλευρα κ.λ.π.)
- μερικοί καρποί ψυχανθών (σόγιας, βαμβακιού, αραχίδας κ.λ.π.)
- μερικοί καρποί σιτηρών, όπως η βρώμη και ο αραβόσιτος

Αντίθετα, τροφές με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικό λίπος είναι: οι ρίζες και οι κόνδυλοι καθώς επίσης και οι χλωρές τροφές (π.χ. τα χλωρά χόρτα).

ε. Προσδιορισμός της περιεκτικότητας των τροφών σε υδατάνθρακες

Η αναλυτική τεχνική κατά Weender, εξαιτίας της

μακρόχρονης και κοπιαστικής αναλυτικής εργασίας που θα απαιτούνταν για το χωριστό χημικό προσδιορισμό των επί μέρους υδατανθράκων των τροφών, κατανέμει τους υδατάνθρακες, με βάση τη θρεπτική τους σημασία, σε δύο κατηγορίες: την **ακαθάριστη (ή ολική) κυτταρίνη** (αγγλ. Crude fibre) και τις **ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες** (αγγλ. nitrogen-free extract). Με τον όρο «ακαθάριστη κυτταρίνη» εννοούμε το σύνολο της καθαυτό κυτταρίνης, των ημικυτταρινών και της λιγνίνης. Η λιγνίνη, αν και ακόρεστη πολυαλκοόλη, συμπεριλαμβάνεται στην ακαθάριστη κυτταρίνη διότι συμμετέχει, μαζί με την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες, στη δομή των φυτικών κυτταρικών τοιχωμάτων και μάλιστα προκύπτει από τη σταδιακή ξυλοποίηση (λιγνινοποίηση) της κυτταρίνης, η οποία επέρχεται με την πρόοδο της ηλικίας του φυτού.

– Προσδιορισμός της περιεκτικότητας των τροφών σε ακαθάριστη κυτταρίνη

Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται, στα πλαίσια της αναλυτικής τεχνικής Weender, με ειδική εργαστηριακή μέθοδο, γνωστή ως «μέθοδος του Αγρονομικού Σταθμού Weende».

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην επεξεργασία του δείγματος της τροφής με αναβράζουσα **διάλυση θειικού οξέος**, σε ένα πρώτο στάδιο, και με αναβράζουσα επίσης **διάλυση καυστικού νατρίου**, σε ένα δεύτερο στάδιο. Το αδιάλυτο υπόλειμμα που παραμένει μετά την προηγούμενη κατεργασία διηθείται, εκπλύνεται με βραστό νερό και με οινόπνευμα, ενώ, στη συνέχεια, ξηραίνεται και ζυγίζεται. Για την ταχύτερη δυνατή διήθηση του υπολείμματος χρησιμοποιείται ειδική συσκευή δημιουργίας υποπίεσης, ενώ ως βοηθητικό υλικό διήθησης χρησιμοποιείται διάλυση αμιάντου και γης διατόμων σε απεσταγμένο νερό. Το αδιάλυτο αυτό υπόλειμμα περιέχει τη λεγόμενη **ακαθάριστη κυτταρίνη** και επιπλέον ανόργανες ουσίες.

Μετά την τέλεια καύση του υπολείμματος αυτού, η απώλεια βάρους του αποτελεί την **ακαθάριστη κυτταρίνη κατά Weender**.

Με την κατεργασία αυτή απομακρύνονται οι αζωτούχες ουσίες, το άμυλο και τα σάκχαρα καθώς και άλλες ουσίες, ενώ το αδιάλυτο υπόλειμμα που απομένει και που αποτελεί την ακαθάριστη κυτταρίνη περιλαμβάνει: σχεδόν ολόκληρη την ποσότητα της καθαυτό κυτταρίνης, όπως επίσης και το σημαντικότερο μέρος των ημικυτταρινών και της λιγνίνης. Όλα αυτά διότι, με την κατεργασία που προαναφέρθηκε, προσβάλλεται και εκχυλίζεται ένα μικρό μέρος της κυτταρίνης, ένα μεταβλητό μέρος των ημικυτταρινών και, τέλος, μια μικρή, αλλά πολύ κυμαινόμενη, ποσότητα λιγνίνης.

Καθαρή κυτταρίνη απαντά, όπως ήδη αναφέρθηκε, στα τοιχώματα των κυττάρων πολύ νεαρών φυτικών ιστών. Με την πρόοδο όμως της ανάπτυξης και ωρίμανσης των φυτών, παρατηρείται βαθμιαία εναπόθεση λιγνίνης, η οποία συνδυάζεται με την κυτταρίνη και επιφέρει την ξυλοποίησή της.

Οι ερευνητές που επινόησαν την αναλυτική μέθοδο προσδιορισμού της ακαθάριστης κυτταρίνης απέβλεπαν στο να μιμηθούν, με την κατεργασία του δείγματος της τροφής που προαναφέρθηκε, την πέψη της τροφής, όπως αυτή γίνεται στο όξινο περιβάλλον του στομάχου, σε ένα πρώτο στάδιο, και στο αλκαλικό περιβάλλον του εντερικού σωλήνα, στη συνέχεια. Έτσι λοιπόν, προσδιορίζοντας το αδιάλυτο αυτό υπόλειμμα της τροφής, το οποίο ονομάστηκε ακαθάριστη κυτταρίνη, έχουμε ένα μέτρο του άπεπτου τμήματος της τροφής, αφού κανένα από τα πεπτικά υγρά δεν περιέχει ένζυμα που να πέπτουν την κυτταρίνη, τις ημικυτταρίνες και τη λιγνίνη.

Παρ' όλα αυτά, με βάση τις επιστημονικές γνώσεις που αποκτήθηκαν στη συνέχεια, διαπιστώθηκε ότι ένα σημαντικό ποσό της ακαθάριστης κυτταρίνης διασπάται από τα ένζυμα που παράγουν οι μικροοργανισμοί που συμβιούν στον πεπτικό σωλήνα των ζώων και ιδιαίτερα των μηρυκαστικών. Μόνο η λιγνίνη είναι πρακτικά άπεπτη διότι είναι πολύ ανθεκτική στη δράση των μικροοργανισμών.

Με βάση την περιεκτικότητα σε ακαθάριστη κυτταρίνη καθώς και τη στενά σχετιζόμενη με αυτήν ενεργειακή αξία, οι τροφές κατατάσσονται σε δύο γενικές κατηγορίες: τις **συμπυκνωμένες** και τις **χονδροειδείς**, όπως άλλωστε αναφέρθηκε και στα προηγούμενα.

– Προσδιορισμός των ελεύθερων Ν εκχυλισματικών ουσιών

Με τον όρο «ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες» (ΕΝΕΟ) εννοούμε: 1) τους υδατάνθρακες που είναι διαλυτοί στα αντιδραστήρια προσδιορισμού της κυτταρίνης (δηλαδή τα σάκχαρα και το άμυλο), 2) διάφορα οργανικά οξέα, 3) το μέρος της κυτταρίνης που διαλύεται στα προαναφερθέντα αντιδραστήρια και 4) κάποιες άλλες ενώσεις.

Ο προσδιορισμός των ελεύθερων αζώτου εκχυλισματικών ουσιών γίνεται έμμεσα, από τη διαφορά. Προς το σκοπό αυτό, από τα 100 μέρη της αναλυόμενης τροφής αφαιρείται το άθροισμα των περιεκτικότητων της τροφής (%) σε νερό (H₂O), τέφρα (ανόργανες ουσίες), ακαθάριστη πρωτεΐνη, ακαθάριστο λίπος και ακαθάριστη κυτταρίνη.

$ΕΝΕΟ(\%) = 100 - (H_2O\% + \text{τέφρα}\% + \text{ακαθ. πρωτεΐνη}\% + \text{ακαθ. λίπος}\% + \text{ακαθ. κυτταρίνη}\%)$

Αφού λοιπόν ο προσδιορισμός γίνεται έμμεσα,

από τη διαφορά, και όχι άμεσα με χωριστό προσδιορισμό των ιδιαίτερων υδατανθράκων, εμφανίζει, όπως είναι ευνόητο, το μειονέκτημα ότι περιλαμβάνει τα τυχόν επί μέρους σφάλματα των άλλων προσδιορισμών, με αποτέλεσμα η τιμή που με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται να μην είναι απόλυτα ακριβής. Παρ' όλα αυτά όμως, επειδή το συνολικό σφάλμα δεν είναι, από πρακτική άποψη, αρκετά σημαντικό και επειδή, παράλληλα, ο άμεσος (δηλαδή ο αναλυτικός) προσδιορισμός της κατηγορίας αυτής θρεπτικών ουσιών απαιτεί μακρόχρονη και κοπιαστική εργασία, ο έμμεσος αυτός τρόπος προσδιορισμού χρησιμοποιείται, κατά κανόνα, στην πράξη.

Επειδή στις ελεύθερες Ν εκχυλισματικές ουσίες περιλαμβάνεται το άμυλο, οι ουσίες αυτές αποτελούν το κύριο συστατικό των περισσότερων τροφών φυτικής προέλευσης.

Κριτική της μεθόδου Weender

Αν και η μέθοδος Weender, για τον προσδιορισμό των υδατανθράκων, είναι εμπειρική και δεν εξασφαλίζει σαφή διαχωρισμό σε χημικές ομάδες, θεωρείται παρ' όλα αυτά πολύ χρήσιμη στην πράξη διότι είναι απλή μέθοδος, η οποία επιτρέπει το διαχωρισμό, έστω και κατά προσέγγιση, των υδατανθράκων σε:

- **περισσότερο πεπτούς** (σάκχαρα, άμυλο κ.λ.π.) και
- **λιγότερο πεπτούς υδατάνθρακες** (κυτταρίνη κ.λ.π.)

Το βασικότερο μειονέκτημα της κλασικής μεθόδου Weender είναι ότι συνυπολογίζει μαζί με τους υπόλοιπους εύπεπτους υδατάνθρακες που περιλαμβάνονται στις ελεύθερες Ν εκχυλισματικές ουσίες, και τη λιγνίνη, και αυτό γιατί η ένωση αυτή διαλύεται εν μέρει, κατά την κατεργασία του δείγματος της τροφής με καυστικό νάτριο, παρά το γεγονός ότι αυτή είναι πρακτικά άπεπτη από όλα τα αγροτικά ζώα (ακόμη και από τα μηρυκαστικά). Αυτός λοιπόν ήταν ο λόγος για τον οποίο έγιναν προσπάθειες για την ανάπτυξη μεθόδων ανάλυσης, οι οποίες θα διαχωρίζουν πληρέστερα την κυτταρίνη και τη λιγνίνη από τους υπόλοιπους, περισσότερο εύπεπτους, υδατάνθρακες. Δείγμα των ερευνητικών αυτών προσπαθειών δίνεται αμέσως παρακάτω.

Σύγχρονες αναλυτικές μέθοδοι

Πρόσφατα, η κατά προσέγγιση αναλυτική τεχνική κατά Weender έχει υποστεί έντονη και αυστηρή κριτική από πολλούς ειδικούς της Φυσιολογίας Θρέψης και Διατροφής, μερικοί μάλιστα από τους οποίους τη θεωρούν αρχαϊκή και ανακριβή. Έτσι, στην πλειονότητα των σύγχρονων εργαστηρίων η αναλυτική αυτή μέθοδος έχει, κατά ένα μέρος, αντικατασταθεί από άλλες αναλυτικές τεχνικές. Οι περισσότερες αρνητικές κριτικές αναφέρονται στην ακαθάριστη κυτταρίνη.

ταρίνη, την τέφρα και τις ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες. Εναλλακτικές μέθοδοι προσδιορισμού των κυτταρινών (ινωδών ουσιών) έχουν αναπτυχθεί και προταθεί από τον Van Soest (Πίν. 1.8).

Πίνακας 1.8. Ταξινόμηση των διαφόρων κλασμάτων των χονδροειδών τροφών με τη χρησιμοποίηση των μεθόδων των αποκαθαριστικών ουσιών (σαπώνων) του Van Soest

Κλάσμα	Συστατικά
<ul style="list-style-type: none"> Κυτταρικό περιεχόμενο (διαλυτό σε ουδέτερο διάλυμα αποκαθαριστικών ουσιών) 	<ul style="list-style-type: none"> - Λιπίδια - Σάκχαρα, οργανικά οξέα και υδατοδιαλυτές ουσίες - Πηκτίνες, άμυλο - Μη πρωτεϊνικό N - Διαλυτή πρωτεΐνη
<ul style="list-style-type: none"> Συστατικά κυτταρικών τοιχωμάτων (κυτταρίνες αδιάλυτες σε ουδέτερο διάλυμα αποκαθαριστικών ουσιών) 	
1. Διαλυτές σε όξινη διάλυση αποκαθαριστικών ουσιών	Ημικυτταρίνες, πρωτεΐνες ενωμένες με κυτταρίνη
2. Υπόλειμμα ADF	Κυτταρίνη, λιγνίνη, λιγνινοποιημένο N, άμμος

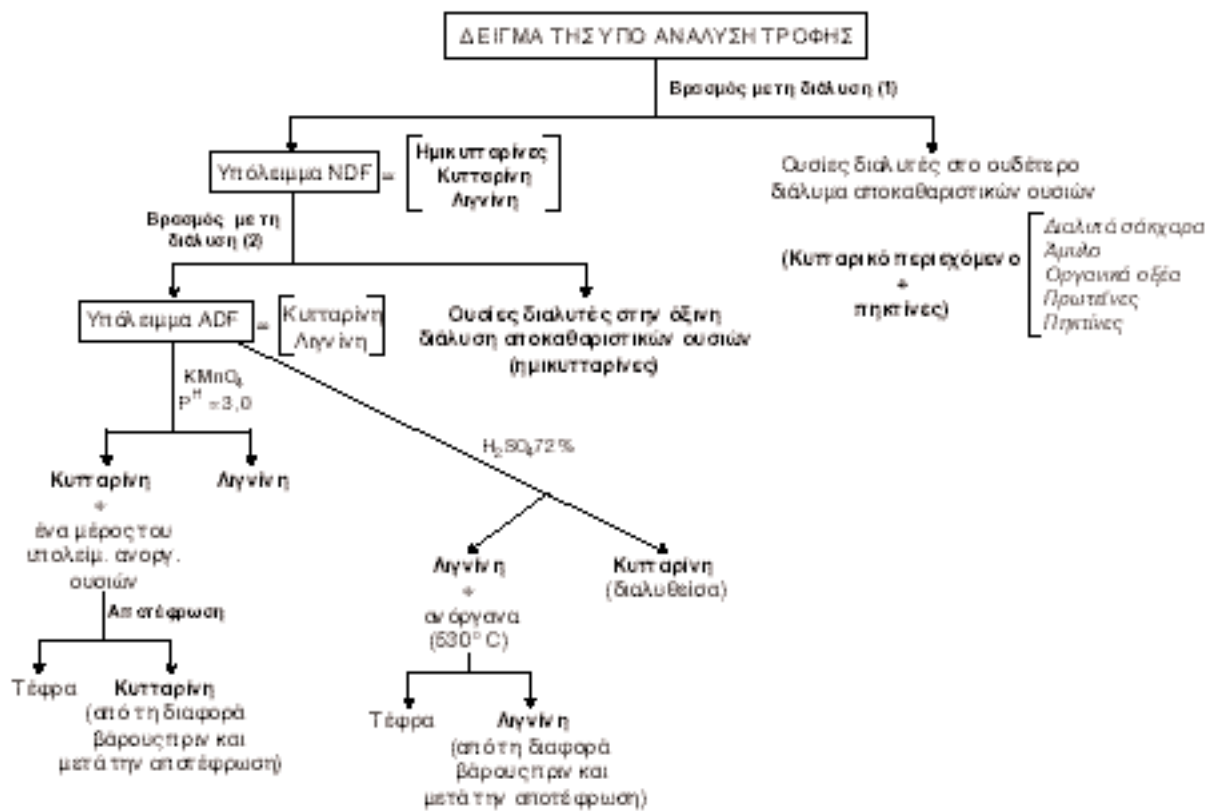
Στην εικόνα 1.5 δίνονται σχηματικά τα διάφορα στάδια προσδιορισμού των επί μέρους κλασμάτων

της ακαθάριστης κυτταρίνης.

Το υπόλειμμα NDF, σύμφωνα με το προηγούμενο διάγραμμα, είναι το υπόλειμμα που προκύπτει ύστερα από βρασμό με ουδέτερη διάλυση αποκαθαριστικών ουσιών (Sodium lauryl sulphate και αιθυλενοδιαμινο-τετραοξικό οξύ, EDTA). Το υπόλειμμα περιλαμβάνει κυρίως τη **λιγνίνη**, την **κυτταρίνη** και τις **ημικυτταρίνες** και μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μέτρο των ουσιών των φυτικών κυτταρικών τοιχωμάτων.

Η αναλυτική μέθοδος NDF, η οποία προορίζεται κυρίως για τις χονδροειδείς τροφές, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για τροφές που περιέχουν άμυλο. Το υπόλειμμα ADF είναι αυτό που μένει ύστερα από βρασμό με την όξινη διάλυση αποκαθαριστικών ουσιών (θειικό οξύ κανονικότητας 0,5 M και acetyl-trimethyl-ammonium bromide) και αντιπροσωπεύει κυρίως την ολική κυτταρίνη και λιγνίνη, καθώς επίσης και ένα μέρος του υπολείμματος των ανόργανων ουσιών.

Ο προσδιορισμός του ADF είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τις χονδροειδείς τροφές, αφού, όπως διαπιστώθηκε, υπάρχει στενή στατιστική συσχέτιση ανάμεσα στο υπόλειμμα αυτό (ADF) και στο βαθμό κατά τον οποίο πέπτει η τροφή (πεπτικότητα). Στο Ηνωμένο Βασίλειο (UK), η μέθοδος ADF έχει ελαφρά



(1) Ουδέτερη διάλυση αποκαθαριστικών ουσιών (Na lauryl sulfate sodium EDTA)
 (2) Όξινη διάλυση αποκαθαριστικών ουσιών (διάλυση " acetyl - trimethyl - ammonium bromide" σε κανονικό H₂SO₄)

Εικόνα 1.5. Στάδια προσδιορισμού των επί μέρους κλασμάτων της ακαθάριστης κυτταρίνης.

τροποποιηθεί, μέσω της αύξησης της διάρκειας βρασμού καθώς και της όξινης ισχύος του διαλύματος. Για τον τελευταίο αυτό προσδιορισμό χρησιμοποιείται ο όρος «**τροποποιημένο υπόλειμμα ADF**» (αγγλ. modified acid detergent fibre, MADF).

Στη Θρέψη-Διατροφή των μονογαστρικών και ιδιαίτερα του ανθρώπου χρησιμοποιείται συχνά ο όρος «**διατροφική κυτταρίνη**» (αγγλ. dietary fibre). Με τον όρο αυτό εννοούμε τη λιγνίνη και επιπλέον τους πολυσακχαρίτες εκείνους που δεν μπορούν να πεφθούν από τα ενδογενή ένζυμα του πεπτικού συστήματος των μονογαστρικών. Επειδή παρ' όλα αυτά, η διατροφική κυτταρίνη είναι δύσκολο να προσδιοριστεί στο εργαστήριο, προτάθηκε ο εναλλακτικός όρος «**πολυσακχαρίτες πλην του αμύλου**» (αγγλ. non-starch polysaccharide, NSP). Το NSP στις περισσότερες τροφές, μαζί με τη λιγνίνη, θεωρείται ότι αντιπρο-

σωπεύει τα κυριότερα συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων. Οι μέθοδοι προσδιορισμού του NSP διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: **ενζυματικές-βαρομετρικές** και **ενζυματικές-χημικές**. Οι ενζυματικές-βαρομετρικές μέθοδοι μετρούν τα διάφορα συστατικά, χωρίς όμως να δίνουν αναλυτικά τους τύπους (είδη) των πολυσακχαριτών, σε αντίθεση με τις ενζυματικές-χημικές μεθόδους, οι οποίες ταυτοποιούν τους ιδιαίτερους υδατάνθρακες της τροφής (ή της δίαιτας).

Το NSP περιλαμβάνει δύο επί μέρους κλάσματα: το **διαλυτό** και το **αδιάλυτο**. Το πρώτο είναι διαλυτό στο νερό και περιλαμβάνει: τα κόμια, τις πηκτίνες, τις κολλώδεις ουσίες και μερικές ημικυτταρίνες. Το αδιάλυτο κλάσμα περιλαμβάνει την κυτταρίνη και το μεγαλύτερο μέρος των ημικυτταρινών. Τα τελευταία χρόνια δίνεται ιδιαίτερη προσοχή και στις δύο αυτές μορφές κυτταρινούχων ουσιών, στη δίαιτα του ανθρώπου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα περιέχουν παρόμοια είδη χημικών ουσιών, οι οποίες κατατάσσονται, με βάση τη σύστασή τους, τις ιδιότητές τους ή τις λειτουργίες τους, ως εξής: **νερό** (H_2O) και **ξηρά ουσία** (Ξ.Ο.). Η Ξ.Ο. περιλαμβάνει την οργανική ουσία (υδατάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα, οργανικά οξέα, βιταμίνες) και την ανόργανη ουσία (ανόργανα στοιχεία και ενώσεις των στοιχείων αυτών). Η τυπική σύνθεση του σώματος αναπτυσσόμενου θηλαστικού ζώου έχει ως εξής: νερό 50%, πρωτεΐνες 16%, λίπος 20% και ανόργανες ουσίες 4%. Στη χημική αυτή σύνθεση δεν αναφέρεται η περιεκτικότητα του σώματος σε υδατάνθρακες, διότι αυτοί απαντούν σε ένα πολύ χαμηλό ποσοστό (<1,0%) στο ζωικό οργανισμό, κυρίως με τη μορφή του γλυκογόνου (στο ήπαρ και τους μύς) και της γλυκόζης του αίματος. Αν και δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές, ως προς τη χημική σύσταση, στα διάφορα είδη ζώων, παρ' όλα αυτά η παραλλακτικότητα ως προς την περιεκτικότητα του ζωικού σώματος σε νερό και λίπος είναι πολύ σημαντική και εξαρτάται κυρίως από την ηλικία και τη θρεπτική κατάσταση του ζώου. Ειδικότερα, με την πρόοδο της ανάπτυξης του ζώου παρατηρείται ισχυρή πτώση της περιεκτικότητας σε νερό, με παράλληλη αύξηση της περιεκτικότητας σε λίπος, καθώς και κάποια ήπια μείωση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη και τέφρα. Για τη διατήρηση της ζωής του οργανισμού σημαντικότερη προϋπόθεση είναι η διατήρηση σε σταθερά επίπεδα της περιεκτικότητάς του σε νερό, μια και αυτό επιτελεί διάφορες, εξαιρετικά σημαντικές, λειτουργίες στο ζωικό σώμα. Η σύσταση του ζωικού σώματος προσ-

διορίζεται με σφαγή των ζώων και χημική ανάλυση των σφαγίων τους. Ένα πολύ σημαντικό μέρος των μεθόδων εκτίμησης του ζωικού σώματος βασίζεται στον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του σώματος σε νερό, και αυτό διότι οι περιεκτικότητες του σώματος σε λίπος και νερό συσχετίζονται αντίστροφα, ενώ η σχέση ανάμεσα στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και σε τέφρα του «ελεύθερου λίπους και νερού ζωικού σώματος» είναι περίπου σταθερή.

Σχετικά με τη χημική σύσταση των φυτών και γενικότερα των φυτικών τροφών διαπιστώνεται ότι: 1) τα φυτά αποτελούνται κυρίως από υδατάνθρακες, οι οποίοι και αποτελούν την κύρια μορφή αποθηκευμένης ενέργειας γι' αυτά, 2) η περιεκτικότητα των φυτών σε λίπη είναι, κατά κανόνα, χαμηλή, 3) η περιεκτικότητα των φυτών σε πρωτεΐνες είναι, ποσοτικά πολύ πιο σημαντική, σε σύγκριση με την περιεκτικότητά τους σε λίπος και 4) πολύ μεγάλες είναι οι διακυμάνσεις της περιεκτικότητας των φυτών σε ανόργανες ουσίες (τέφρα).

Οι διάφορες ζωοτροφές διακρίνονται σε **χονδροειδείς** και **συμπυκνωμένες**. Οι χονδροειδείς χρησιμοποιούνται πρωταρχικά για τη διατροφή των μηρυκαστικών και χαρακτηρίζονται από το μικρό βάρος ανά μονάδα όγκου και την υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρικά τοιχώματα (25-30% κατά μέσο όρο). Αντίθετα, οι συμπυκνωμένες αποτελούν σχεδόν αποκλειστικές τροφές για τα μονογαστρικά αγροτικά ζώα και χαρακτηρίζονται από τη χαμηλή περιεκτικότητά τους σε ακαθάριστη κυτταρίνη (<10% επί ξηράς βάσεως), τη χαμηλή περιεκτικότητά τους σε νερό (10-

15% περίπου) και από έναν υψηλό, κατά κανόνα, συντελεστή πεπτικότητα.

Η σημαντικότερη διαφορά, ως προς τη χημική σύσταση, μεταξύ του ζωικού σώματος και των φυτών είναι ότι η ξηρά ουσία των φυτών αποτελείται πρωταρχικά από υδατάνθρακες (75-80%), ενώ η ξηρά ουσία του ζωικού σώματος περιέχει τους υδατάνθρακες σε ποσοστό μικρότερο του 1%, αν και οι τελευταίοι παίζουν έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση ενέργειας από μέρους του οργανισμού για την επιτέλεση ζωτικών λειτουργιών του. Η περιεκτικότητά σε πρωτεΐνες του ζωικού σώματος είναι, κατά κανόνα, υψηλότερη σε σύγκριση με εκείνη των φυτών. Η ανόργανη ουσία που περιέχεται στην ξηρά ουσία τόσο των φυτών όσο και των ζώων αποτελείται από ένα σημαντικό αριθμό ανόργανων στοιχείων, τα οποία περιέχονται σε ποσότητες που κυμαίνονται στα διάφορα μέρη των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Η σημαντικότερη διαφορά ανάμεσα στα φυτά και τα ζώα, ως προς την περιεκτικότητά τους σε ανόργανα στοιχεία, είναι ότι, ενώ στην ανόργανη ουσία των ζώων τα κυριότερα, από ποσοτική άποψη, συστατικά είναι το **ασβέστιο** και ο **φωσφόρος**, στην ανόργανη ουσία των φυτών τα βασικά στοιχεία είναι το **κάλιο** και το **πυρίτιο**.

Οι χημικές αναλύσεις των επί μέρους συστατικών δειγμάτων ζωοτροφών ή και ζωικών ιστών εμφανίζουν αρκετές δυσκολίες στην πραγματοποίησή τους, ενώ τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών είναι συχνά δύσκολο να συσχετιστούν με τη χρησιμοποίηση των συστατικών αυτών από μέρους του ζώου. Αν και υπάρχουν σύγχρονες μέθοδοι ανάλυσης με τη χρησιμοποίηση χρωματογραφικών και φασματομετρικών τεχνικών, το μεγαλύτερο μέρος των γνώσεών μας, γύρω από τη χημική σύνθεση τόσο των τροφών όσο και των βιολογικών υλικών, στηρίζεται στην αναλυτική τεχνική που επινοήθηκε από τους Hennenberg και Stohman (1865) στον πειραματικό σταθμό του Weende της Γερμανίας. Σύμφωνα με την αναλυτική τεχνική Weender, οποιαδήποτε τροφή (ή και βιολογικό υλικό) διαχωρίζεται στα εξής επί μέρους κλάσματα: νερό, αιθέριο εκχύλισμα, ακαθάριστη (ή ολική) κυτταρίνη, ολικές αζωτούχες ουσίες και ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες. Στα πλαίσια της αναλυτικής αυτής τεχνικής, η περιεκτικότητά της τροφής (ή του βιολογικού υλικού) σε νερό προσδιορίζεται με ξήρανση γνωστού βάρους δείγματος της τροφής σε κλίβανο και σε θερμοκρασία 100-105°C μέχρι λήψης σταθερού βάρους. Η περιεκτικότητά της τροφής σε Ξ.Ο. αποτελείται από το υπόλοιπο που απομένει μετά την εξάτμιση από αυτήν του περιεχόμενου νερού. Η περιεκτικότητά της τροφής ή του βιολογικού υλικού σε

ανόργανη ουσία (τέφρα) προσδιορίζεται με πυράκτωση γνωστού βάρους δείγματος της τροφής σε θερμοκρασία 500-600°C σε ειδικό εργαστηριακό αποτεφρωτικό κλίβανο, για 2-3 ώρες, δηλ. μέχρις ότου απομακρυνθεί ολόκληρη η ποσότητα του περιεχόμενου άνθρακα. Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών επιτυγχάνεται, στα πλαίσια πάντα της αναλυτικής τεχνικής Weender, μέσω προσδιορισμού του ολικού αζώτου της τροφής, ή του βιολογικού υλικού, με τη γνωστή μέθοδο Kjeldahl και πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα N που προσδιορίστηκε με το συντελεστή 6,25 (100:16, όπου 16 η περιεκτικότητα % των πρωτεϊνών των διαφόρων φυτικών τροφών σε N). Η περιεκτικότητά σε ολικό λίπος προσδιορίζεται με εκχύλιση δείγματος της τροφής με αιθέρα, ή με κάποιο παρόμοιο οργανικό διαλύτη, σε ειδική συσκευή (Soxhlet), στον υποδοχέα της οποίας συλλέγεται το αιθέριο εκχύλισμα. Η αναλυτική τεχνική Weender, εξαιτίας της μακρόχρονης και κοπιαστικής εργασίας που θα απαιτούνταν για το χωριστό χημικό προσδιορισμό των επί μέρους υδατανθράκων των τροφών, κατανέμει τους υδατάνθρακες, με βάση τη θρεπτική τους σημασία, σε **ακαθάριστη** (ή ολική) **κυτταρίνη** και **ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες**. Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας των τροφών (ή των βιολογικών υλικών) σε ακαθάριστη κυτταρίνη (καθαυτό κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνες και λυγνίνη) γίνεται με ειδική εργαστηριακή μέθοδο, γνωστή ως «**μέθοδος του Αγρονομικού Σταθμού Weende**», η οποία βασίζεται στην επεξεργασία του δείγματος της τροφής με αναβράζουσα διάλυση θειικού οξέος, σε ένα πρώτο στάδιο, και με αναβράζουσα επίσης διάλυση καυστικού νατρίου, σε ένα δεύτερο. Ο προσδιορισμός των ελεύθερων N εκχυλισματικών ουσιών γίνεται έμμεσα, από τη διαφορά. Προς το σκοπό αυτό, από τα 100 μέρη της υπό ανάλυση τροφής αφαιρείται το άθροισμα των περιεκτικότητων της τροφής (%) σε νερό, τέφρα, ακαθάριστη πρωτεΐνη, ολικό λίπος και ακαθάριστη κυτταρίνη. Αν και η μέθοδος Weender, σε ό,τι αφορά τον προσδιορισμό των υδατανθράκων, είναι εμπειρική και δεν εξασφαλίζει το σαφή διαχωρισμό των ουσιών αυτών σε χημικές ομάδες, θεωρείται παρ' όλα αυτά πολύ χρήσιμη στην πράξη, διότι είναι απλή και επιτρέπει το διαχωρισμό, έστω και κατά προσέγγιση, των υδατανθράκων σε περισσότερο πεπτούς (άμυλο, σάκχαρα κ.λ.π.) και λιγότερο πεπτούς υδατάνθρακες (κυτταρίνη κ.λ.π.). Πρόσφατα, η αναλυτική τεχνική Weender έχει υποστεί έντονη και αυστηρή κριτική, γεγονός που εξηγεί γιατί στα περισσότερα από τα σύγχρονα Εργαστήρια Φυσιολογίας Θρέψεως - Διατροφής έχει, κατά ένα μέρος, αντικατασταθεί από σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές (όπως είναι π.χ. η μέθοδος Van Soest).