

Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

C, H, O, N (Άνθρακας, Υδρογόνο, Οξυγόνο, Άζωτο)

Τα στοιχεία C, H, O, N αποτελούν το 95% περίπου της μάζας του σώματος των οργανισμών. Η βιολογική καταλληλότητα αυτών των στοιχείων βασίζεται σε συγκεκριμένες χημικές ιδιότητες:

α) Σχηματίζουν εύκολα ομοιοπολικούς δεσμούς με αμοιβαία συνεισφορά ηλεκτρονίων. Τα H, O, N, C χρειάζονται 1, 2, 3, 4 ηλεκτρόνια αντίστοιχα, για τη συμπλήρωση της εξωτερικής στοιβάδας και για να σχηματίσουν σταθερούς ομοιοπολικούς δεσμούς και επίσης μπορούν να σχηματίσουν διπλούς ή τριπλούς δεσμούς επίσης με μεγάλη ευελιξία,

β) Τα στοιχεία C, H, O σχηματίζουν πολύ ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Είναι τα ελαφρότερα στοιχεία που σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς, η σταθερότητα των οποίων είναι αντιστρόφως ανάλογη του ατομικού βάρους των στοιχείων που συμμετέχουν στο σχηματισμό τους, ιδιαίτερη σημασία έχει ο άνθρακας που μπορεί να σχηματίσει ομοιοπολικούς δεσμούς με άλλα άτομα άνθρακα, που θ' αποτελέσουν τον σκελετό για μια μεγάλη ποικιλία οργανικών ενώσεων. Ο άνθρακας επίσης έχει την ιδιότητα ν' αντιδρά και με τα στοιχεία O, H, N, S.

γ) Λόγω της τετραεδρικής στερεοδιάταξης των κοινών ζευγαριών ηλεκτρονίων στο άτομο του άνθρακα, τα διάφορα οργανικά μόρια έχουν και διαφορετική τρισδιάστατη δομή. Δεν υπάρχει άλλο χημικό στοιχείο που να σχηματίζει σταθερά μόρια σε τόσο μεγάλη ποικιλία ως προς το μέγεθος, σχήμα και λειτουργικές ομάδες, από τον άνθρακα.

δ) Οι οργανικές ενώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς είναι πολύ υδρογονωμένες, ενώ ο άνθρακας στο φλοιό της γης είναι οξειδωμένος (ανθρακικά ή όξινα ανθρακικά άλατα). Επειδή υπάρχει μεγάλη ποσότητα οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, ο άνθρακας και το υδρογόνο σχηματίζουν CO₂ και H₂O, ενώσεις σταθερές και φτωχές σε ενέργεια.

Από το CO₂, το H₂O και το N₂ του περιβάλλοντος, μπορούν να σχηματισθούν όλα τα μικρού μοριακού βάρους πρόδρομα μόρια και στη συνέχεια όλα τα συστατικά του κυττάρου με βιολογικούς μηχανισμούς.

Υπάρχουν 30 διαφορετικά βιομόρια, που ονομάζονται πρωτογενή, τα οποία με κατάλληλες μεταβολικές οδούς αλληλομετατρέπονται και δίνουν γένεση σε όλα τα συστατικά του κυττάρου. Τα πρωτογενή βιομόρια είναι 20 αμινοξέα, 5 αζωτούχες βάσεις, 1 λιπαρό οξύ, 2 σάκχαρα, 1 αλκοόλη και 1 αμίνη.

Η ιεραρχία της μοριακής οργάνωσης του κυττάρου
οργανίδια (χλωροπλάστες, μιτοχόνδρια, πυρήνας)

υπερμοριακά συμπλέγματα - (ενζυμικά συμπλέγματα, ριβοσώματα, συσταλά στοιχεία)

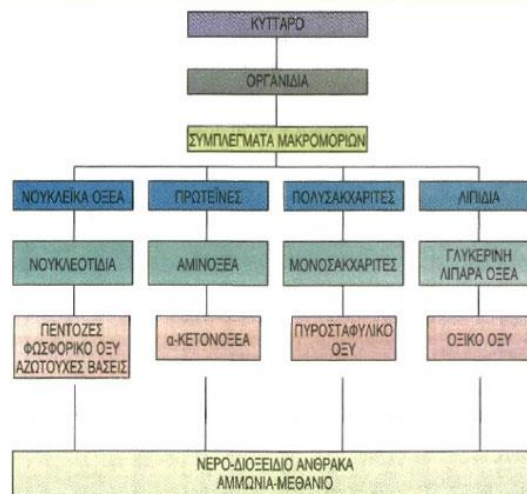
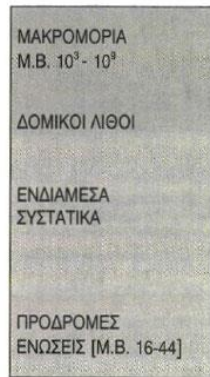
μακρομόρια - (λιπίδια, πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα)

δομικά συστατικά - (γλυκερίνη, λιπαρά οξέα, μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, μονονουκλεοτίδια)

ενδιάμεσα πρόδρομα μόρια (τριφωσφορική γλυκεριναλδεΐδη, μηλικό οξύ, κιτρικό οξύ, πυροσιαφυλικό οξύ, οξικό, μηλονικό)

πρόδρομα από το περιβάλλον - (CO₂, H₂O, N₂)

Η ιεραρχία στα μακρομόρια



Τα βιολογικά συστήματα

Οι ζωντανοί οργανισμοί είναι αυτόνομα, αυτοπολλαπλασιαζόμενα χημικά συστήματα. Αποτελούνται από μία ξεχωριστή και περιορισμένη ομάδα μικρών οργανικών μορίων, που είναι βασικά τα ίδια για κάθε είδος ζώντος οργανισμού. Οι κύριες κατηγορίες είναι

**σάκχαρα,
λιπαρά οξέα,
αμινοξέα και
νουκλεοτίδια.**

Τα σάκχαρα είναι η κύρια πηγή χημικής ενέργειας των κυττάρων και μπορούν να σχηματίσουν πολυσακχαρίτες για αποταμίευση ενέργειας.

Τα λιπαρά οξέα επίσης παρουσιάζουν ενδιαφέρον σαν αποθησαυριστικές ουσίες, αλλά η πιο σημαντική τους λειτουργία, είναι στο σχηματισμό των κυτταρικών μεμβρανών.

Πολυμερή που αποτελούνται από αμινοξέα συνιστούν τα πιο ποικίλα μακρομόρια, τις πρωτεΐνες.

Τα νουκλεοτίδια παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά ενέργειας και εμπλέκονται στην ενδοκυτταρική μεταβίβαση σημάτων, αλλά μοναδικός είναι ο ρόλος τους στη δόμηση των RNA και DNA.

Νερό και Ιδιότητες

Η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης οφείλεται στις τεράστιες ποσότητες νερού που υπάρχουν σε αυτή. Επειδή το νερό ελευθερώνει ή απορροφά τεραστία ποσά θερμότητας, όταν παγώνει ή εξατμίζεται αντίστοιχα, προστατεύει την επιφάνεια της γης από υπερβολική ψύξη ή υπερθέρμανση.

Το νερό:

α) Είναι άριστο διαλυτικό μέσο πολλών ενώσεων.

β) Λαμβάνει μέρος σε πολλές χημικές αντιδράσεις είτε σαν αντιδρών μόριο είτε σαν προϊόν μιας αντίδρασης.

γ) Είναι η πηγή του ατμοσφαιρικού οξυγόνου μέσω του μεταβολισμού των φυτών, ενώ τα

υδρογόνα του ενσωματώνονται σε πολλές οργανικές ενώσεις στα κύτταρα,
δ) Είναι κατάλληλο λιπαντικό (διευκολύνει την τριβή των οργάνων και των συνδέσμων)

Τα μόρια του νερού είναι πολικά και έλκονται μεταξύ τους σχηματίζοντας δεσμούς υδρογόνου (το Η του ενός μορίου έλκεται από το Ο του άλλου).

Οι ιδιότητες του

α) Μεγάλη ειδική θερμότητα: συμβάλλει στη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στους ωκεανούς, λίμνες, σώμα οργανισμών.

β) Μειωμένη πυκνότητα μεταξύ 4° και 0° C: οι μεγάλοι υδάτινοι όγκοι της γης παγώνουν επιφανειακά, ο πάγος επιπλέει και δεν επηρεάζονται οι οργανισμοί που ζουν μέσα στο νερό,

γ) Υψηλή θερμοκρασία εξάτμισης: συμβάλλει στην αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης. Για να εξατμισθεί το νερό απορροφά θερμότητα

δ) Υψηλή θερμική αγωγιμότητα γεγονός που εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας σ' όλο το σώμα.

ε) Μεγάλη επιφανειακή τάση: λόγω μεγάλων δυνάμεων συνοχής μεταξύ των μορίων του νερού διευκολύνεται η κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος και η απορρόφησή του από τις ρίζες, καθώς και στα στελέχη και φύλλα των φυτών.

Οξινή βροχή.

Τα οξείδια **S** και **N** που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από τις βιομηχανίες και εξατμίσεις αυτοκινήτων, μετατρέπονται με την υγρασία σε οξέα (θειικό, νιτρικό) που παρασύρονται με τη βροχή πάνω σε φυτά και ζώα. Ενώ το pH της μη μολυσμένης βροχής είναι περίπου 5,6 (λόγω H_2CO_3 που σχηματίζεται από το CO_2 της ατμόσφαιρας) σε μολυσμένες περιοχές είναι μικρότερο του 4,2. Η όξινη βροχή έχει βλαβερές επιπτώσεις τόσο στα χερσαία όσο και στα υδάτινα οικοσυστήματα. Η μείωση του pH του εδάφους επηρεάζει την διαλυτότητα των μετάλλων που βρίσκονται στο έδαφος. Κάποια χρήσιμα για τα φυτά μεταλλικά στοιχεία εκπλένονται, ενώ αυξάνεται και η συγκέντρωση των τοξικών μετάλλων. Αποτέλεσμα είναι τελικά η καταστροφή των δασών, όπως συνέβη για παράδειγμα στην Τσεχοσλοβακία. Όσον αφορά τα υδάτινα οικοσυστήματα, η μείωση του pH των λιμνών όσο και η συγκέντρωση σ' αυτές μετάλλων που εκπλένονται από το έδαφος, επηρεάζουν ψάρια, αμφίβια και ασπόνδυλα που ζουν σ' αυτές. Τα περισσότερα ψάρια πεθαίνουν σε pH 4,2-5.

Κάθε οργανισμός πρέπει να ρυθμίζει την χημεία των κυττάρων του, ιδιαίτερα το pH των διαφόρων κυτταρικών διαμερισμάτων. Τα ζώα πρέπει να ρυθμίζουν επίσης το pH του αίματός τους. Το φυσιολογικό pH του ανθρώπινου αίματος είναι 7,4 και αποκλίσεις από την τιμή αυτή έστω και κατά λίγα δέκατα της μονάδας, μπορεί να αποβούν μοιραίες. Η ρύθμιση του pH είναι δυνατή μερικώς από τα **ρυθμιστικά διαλύματα**, που είναι συστήματα που διατηρούν σχετικά σταθερό το pH διαλυμάτων ακόμα κι όταν προστεθούν σ' αυτά σημαντικά ποσά οξέος ή βάσης. Ένα ρυθμιστικό διάλυμα είναι μίγμα ενός οξέος που δεν ιονίζεται πλήρως στο νερό και της συζυγής του βάσης - παράδειγμα το ανθρακικό οξύ (H_2CO_3) και τα δικαρβονικά ιόντα (HCO_3^-) που σχηματίζονται από το CO_2 του αίματος. Αν προστεθεί οξύ σ' αυτό το διάλυμα όλα τα ιόντα H^+ του οξέος δεν παραμένουν στο διάλυμα. Πολλά από αυτά ενώνονται με τα δικαρβονικά ιόντα και παράγουν επί πλέον ανθρακικό οξύ που διασπάται σε CO_2 και νερό, μειώνοντας έτσι την επίδραση οξείνισης από την προσθήκη του οξέος. Αν προστεθεί βάση η αντίδραση αντιστρέφεται. Μέρος του ανθρακικού οξέος ιονίζεται και παράγει δικαρβονικά ιόντα και επί πλέον ιόντα υδρογόνου που εξουδετερώνουν μέρος της προστιθέμενης βάσης.

Εκτός από το μέγεθος και τη δομή, τα μόρια έχουν ορισμένες ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν και προσδιορίζουν το βιολογικό τους ρόλο.

**Η χημική σύσταση,
η τρισδιάστατη δομή,**

η **ενεργότητα** και

η **διαλυτότητα** είναι χαρακτηριστικά που διακρίνουν μια καθαρή χημική ένωση από μια άλλη.

Η παρουσία πολικών ή φορτισμένων θέσεων σ' ένα μόριο παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της διαλυτότητάς τους στο νερό. Τέτοιες θέσεις επίσης καθορίζουν τα είδη των χημικών αντιδράσεων τις οποίες τα μόρια αυτά συμμετέχουν. Ορισμένες ομάδες ατόμων, που αποτελούν λειτουργικές ομάδες και απαντούν σε μια ποικιλία μορίων, απλοποιούν την κατανόηση των αντιδράσεων στις οποίες λαμβάνουν μέρος αυτά τα μόρια. **Στα κύτταρα υπάρχουν 3 τύποι μακρομορίων: οι πολυσακχαρίτες, οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα.**

Ιδιότητες των Μορίων

Τα μόρια ποικίλουν ως προς το μέγεθος. Μερικά είναι μικρά όπως το H_2 και το CH_4 . Άλλα είναι μεγάλα, όπως το μόριο της σακχαρόζης που έχει 45 άτομα. Άλλα υπάρχουν και άλλα μόρια, όπως οι πρωτεΐνες που είναι γιγάντια, περιέχοντας μερικές δεκάδες χιλιάδες ατόμων. Ανεξαρτήτως μεγέθους, τα πλείστα των μορίων των ζώντων οργανισμών περιέχουν άτομα άνθρακα και γι' αυτό ονομάζονται **οργανικά μόρια**. Τα περισσότερα οργανικά μόρια περιέχουν επίσης υδρογόνο και οξυγόνο, και πολλά περιέχουν επίσης άζωτο και φώσφορο.

Όλα τα μόρια έχουν μια ειδική τρισδιάστατη δομή. Για παράδειγμα, ο προσανατολισμός των εξωτερικών στιβάδων γύρω από το άτομο άνθρακα δίνει στο μόριο του μεθανίου (CH_4) τη δομή ενός κανονικού τετραέδρου, ενώ στο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) τα τρία άτομα βρίσκονται στη σειρά. Μεγαλύτερα μόρια έχουν ειδικές περίπλοκες δομές, που είναι αποτέλεσμα του αριθμού και του είδους των ατόμων και του τρόπου σύνδεσής τους. Μερικά μεγάλα μόρια έχουν συμπαγείς σφαιρικές δομές, άλλα επιμήκεις, λεπτές, νηματοειδείς δομές. Οι δομές σχετίζονται με τους ρόλους που παίζουν τα μόρια αυτά στα κύτταρα.

Εκτός από το μέγεθος και τη δομή, τα μόρια έχουν ορισμένες ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν και προσδιορίζουν το βιολογικό τους ρόλο. Η **χημική σύσταση, η τρισδιάστατη δομή, η ενεργότητα και η διαλυτότητα** είναι χαρακτηριστικά που διακρίνουν μια καθαρή χημική ένωση από μια άλλη. Για παράδειγμα η ζάχαρη είναι ουσία διαλυτή στο νερό, που σημαίνει ότι η στερεή ουσία διαλύεται και σχηματίζει ένα ομοιογενές μίγμα, αλλά η ίδια ένωση είναι αδιάλυτη στο λάδι (η στερεή ζάχαρη παραμένει σταθερή) και το προκύπτον μίγμα είναι ετερογενές. Μια άλλη ουσία, όπως το βουτάνιο, είναι αδιάλυτη στο νερό αλλά πολύ διαλυτή στο λάδι.

Η παρουσία πολικών ή φορτισμένων θέσεων σ' ένα μόριο παίζουν σημαντικό ρόλο στον κα-

θορισμό της διαλυτότητάς τους στο νερό. Τέτοιες θέσεις επίσης καθορίζουν τα είδη των χημικών αντιδράσεων τις οποίες τα μόρια αυτά συμμετέχουν. Ορισμένες ομάδες ατόμων, που αποτελούν **λειτουργικές ομάδες** και απαντούν σε μια ποικιλία μορίων, απλοποιούν την κατανόηση των αντιδράσεων στις οποίες λαμβάνουν μέρος αυτά τα μόρια. Οι σημαντικότερες λειτουργικές ομάδες των οργανικών ενώσεων των κυττάρων φαίνονται στον Πίνακα που ακολουθεί. Οι λειτουργικές αυτές ομάδες έχουν σταθερή συμπεριφορά σ' όλα τα μόρια που βρίσκονται. Επί πλέον ο αριθμός και η διάταξή τους σε κάθε μόριο του προσδίδουν μοναδικές ιδιότητες.

Λειτουργική ομάδα	Ομάδα ενώσεων	Συντακτικός Τύπος	Ιδιότητες
Υδροξυλομάδα -OH	Αλκοόλες	R-OH	Υδρόφιλη, σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου
Καρβονυλομάδα -CHO	Σάκκαρα - αλδεΐδες	$R-\overset{O}{\parallel}C-H$	» » » »
Καρβονυλομάδα >CO	Σάκκαρα - κετόνες	$R-\overset{O}{\parallel}C-$	» » » »
Καρβοξυλομάδα -COOH	Οργανικά οξέα	$R-\overset{O}{\parallel}C-OH$	» » » »
Αμινομάδα -NH ₂	Αμίνες	$R-N\begin{matrix} H \\ \\ H \end{matrix}$	» » » »
Φωσφορική ομάδα -OPO ₃ ⁻³	Οργανικές φωσφορικές ενώσεις	$R-O-\overset{O}{\parallel}P-O^-$	Άρνητικά φορτισμένη, σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με νερό
Σουλφυδριλομάδα -SH	Θειόλες, κυστεΐνη	R-SH	Σχηματίζουν πολύ ασθενείς δεσμούς υδρογόνου Με οξειδωση από δύο -SH, σχηματίζεται S-S δισουλφιδικός δεσμός
Μεθυλομάδα -CH ₃	Άλειφνη	R-CH ₃	Εξαιρετικά ομόλυτη στο νερό. Δεν σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου

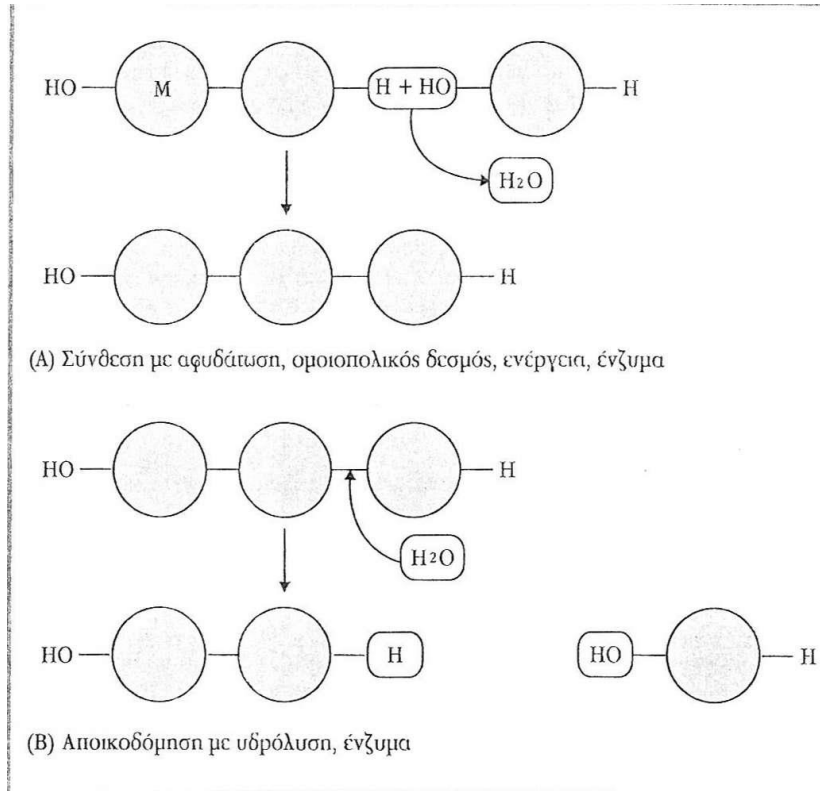
Μακρομόρια βιολογικού ενδιαφέροντος

Μακρομόρια ονομάζονται γιγάντια μόρια που αποτελούνται από εκατοντάδες ή χιλιάδες άτομα και έχουν πολύ μεγάλα μοριακά βάρη. Τα μακρομόρια είναι αλυσίδες μικρών μεμονωμένων υπομονάδων, που ονομάζονται **μονομερή**, ενωμένων μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς για να σχηματίσουν το **πολυμερές**.

Στα κύτταρα υπάρχουν τρεις τύποι μακρομορίων: οι **πολυσακχαρίτες**, οι **πρωτεΐνες** και τα **νουκλεϊκά οξέα**. Οι πολυσακχαρίτες αποτελούνται από μονομερή σακχάρων όπως η γλυκόζη.

Οι πρωτεΐνες αποτελούνται από αμινοξέα και τα νουκλεϊκά οξέα από νουκλεοτίδια. Η σύνθεση και η αποικοδόμηση των πολυμερών ακολουθεί το ίδιο βασικό σχήμα. Έχουμε **σύνθεση με αφυδάτωση**, όπου τα μονομερή με τη βοήθεια ενζύμων και ενέργειας ενώνονται το ένα μετά το άλλο με ομοιοπολικούς δεσμούς και σχηματίζουν το πολυμερές, και **αποικοδόμηση με υδρόλυση** όπου με τη βοήθεια ενζύμων το πολυμερές διασπάται. Οι δύο διαδικασίες δεν είναι η μία απλή αντιστροφή της άλλης, αλλά ξεχωριστές οδοί για αποτελεσματικό έλεγχο.

Σύνθεση και Αποικοδόμηση Πολυμερών. (Α) Τα μονομερή (M) ενώνονται με απομάκρυνση ενός μορίου νερού. Σχηματίζεται ομοιοπολικό δεσμό, απαιτείται ενέργεια και ένζυμα. (Β) Η αντίστροφη διαδικασία σπάζει τον ομοιοπολικό δεσμό μεταξύ των μονομερών με την προσθήκη νερού και ενζύμων.



Στα κύτταρα εκτός από τους πολυσακχαρίτες, τις πρωτεΐνες και τα νουκλεϊνικά οξέα υπάρχει και μια τέταρτη κατηγορία μορίων, που μπορούν να σχηματίσουν μεγάλες δομές, τα **λιπίδια**. Αλλά επειδή τα μεμονωμένα συστατικά (λιπίδια) δεν ενώνονται μεταξύ τους ομοιοπολικά, οι μεγάλες δομές που σχηματίζουν δεν είναι πραγματικά μακρομόρια.

Λιπίδια

Τα **λιπίδια** είναι μια ομάδα οργανικών μορίων χημικά ετερογενής. Όμως διακρίνονται από μία κοινή ιδιότητα, την **αδιαλυτότητά τους στο νερό**, που οφείλεται στην παρουσία πολλών μη πολικών ομοιοπολικών δεσμών. Μη πολικά μόρια μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους και να σχηματίσουν μεγάλες δομές, αλλά αυτές οι δομές δεν θεωρούνται μακρομόρια, επειδή οι δεσμοί ανάμεσα στα ξεχωριστά μόρια δεν είναι ομοιοπολικοί. Αυτά τα μη πολικά μόρια υδρογονανθράκων ωθούνται μαζί από τα μόρια του νερού, τα οποία δεν έλκονται από τις μη πολικές ενώσεις. Όταν μη πολικές ενώσεις είναι επαρκώς κοντά ή μια με την άλλη, ασθενείς αλλά προστιθέμενες **δυνάμεις Van der Waals** τα κρατούν κοντά. Αν και αδιάλυτα στο νερό, τα λιπίδια είναι διαλυτά σε άλλα λιπίδια, ή μη πολικούς οργανικούς διαλύτες όπως ο αιθέρας και το βενζόλιο. Λόγω της αδιαλυτότητάς τους στο νερό, στο σώμα μας κάποια λιπίδια (π.χ. χοληστερίνη) χρειάζονται υδατοδιαλυτούς φορείς πρωτεΐνες για την μεταφορά τους δια του αίματος, που αποτελείται από μεγαλύτερο μέρος του από νερό.

Εκτός από την ποικιλότητα στην χημική τους δομή τα λιπίδια έχουν και πολλούς διαφορετικούς

βιολογικούς ρόλους. Κάποια λιπίδια είναι αποθησαυριστικά (λίπη και έλαια). Άλλα είναι βασικά δομικά συστατικά των βιολογικών μεμβρανών (φωσφολιπίδια). Τα καρωτενοειδή βοηθούν τα φυτά και δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια, και τα στεροειδή παίζουν ρυθμιστικό ρόλο.

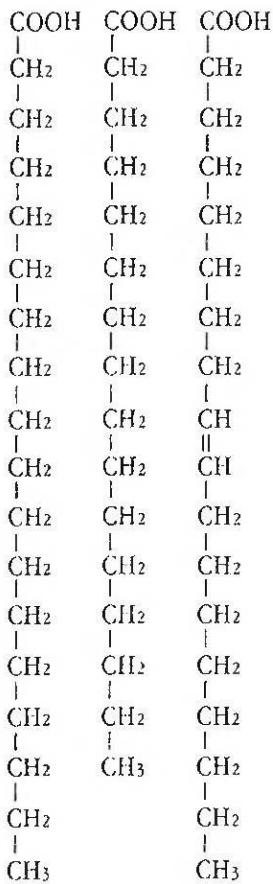
I. Ουδέτερα λιπίδια

Είναι τα πιο άφθονα στα ζώντα συστήματα και δίνουν διπλάσια ενέργεια απ' ό τι το ίδιο βάρος υδατανθράκων. Είναι οικονομικό αποθησαυριστικό υλικό. Οι υδατάνθρακες και οι πρωτεΐνες μετατρέπονται σε λιπίδια και αποθηκεύονται στον λιπώδη ιστό. Το λιπώδες στρώμα κάτω από το δέρμα λειτουργεί σαν μονωτικό υλικό, ώστε να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία του σώματος. Τα φυτά αποθηκεύουν λιπίδια στους σπόρους των.

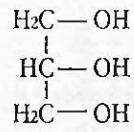
Χημικά τα ουδέτερα λιπίδια, είναι **τριγλυκερίδια**. Τριγλυκερίδια που είναι στερεά σε θερμοκρασία δωματίου (20° C) ονομάζονται **λίπη**, τριγλυκερίδια υγρά σε θερμοκρασία δωματίου, **έλαια**. Τα τριγλυκερίδια αποτελούνται από γλυκερίνη και λιπαρά οξέα. Η **γλυκερίνη** είναι μικρό μόριο με τρία υδροξύλια (-OH). Τα **λιπαρά οξέα** έχουν μακριές μη πολικές ουρές και μια πολική καρβοξυλομάδα (-COOH). Το μήκος της ουράς ποικίλει (συνήθως 16-20 άτομα άνθρακα) και μπορεί να είναι κορεσμένα ή όχι.

Στα **κορεσμένα λιπαρά οξέα**, όλοι οι δεσμοί ανάμεσα στα άτομα άνθρακα της υδρογονανθρακικής αλυσίδας είναι απλοί δεσμοί. Το παλμιτικό οξύ με 16 άτομα άνθρακα και το στεατικό με 18, είναι μόρια σχετικά συμπαγή και ευθέα.

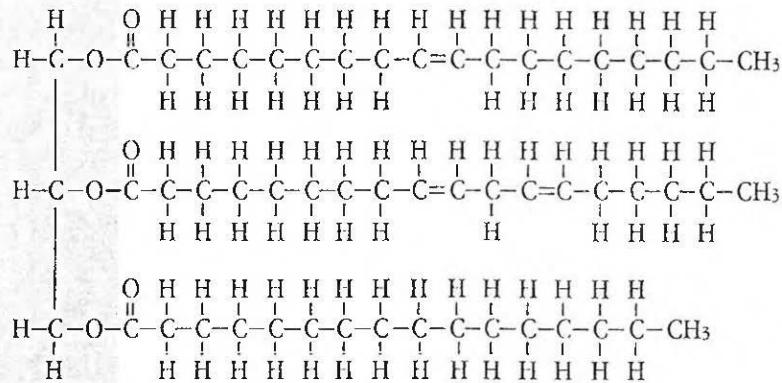
Στα **ακόρεστα λιπαρά οξέα**, η υδρογονανθρακική αλυσίδα έχει ένα ή περισσότερους διπλούς δεσμούς. Το ελαϊκό οξύ με 18 άτομα άνθρακα και ένα διπλό δεσμό στη μέση της αλυσίδας, είναι λιπαρό οξύ με μία κάμψη στην αλυσίδα. Το λινολεϊκό οξύ είναι **πολυακόρεστο** και έχει πολλαπλές κάμψεις. Αυτές οι κάμψεις δεν αφήνουν τα μόρια αυτά να πακεταριστούν στενά το ένα με το άλλο. Τα δύο λιπαρά οξέα που ο άνθρωπος δεν μπορεί να βιοσυνθέσει και πρέπει να παίρνει με την τροφή του είναι και τα δύο ακόρεστα. Διατροφή πλούσια σε ακόρεστα λιπαρά οξέα μειώνουν τις πιθανότητες αρτηριοσκλήρυνσης, και επομένως καρδιακών επεισοδίων. Δίαιτες πλούσιες σε κορεσμένα λιπαρά οξέα έχουν το αντίθετο αποτέλεσμα.



(B)



(A)



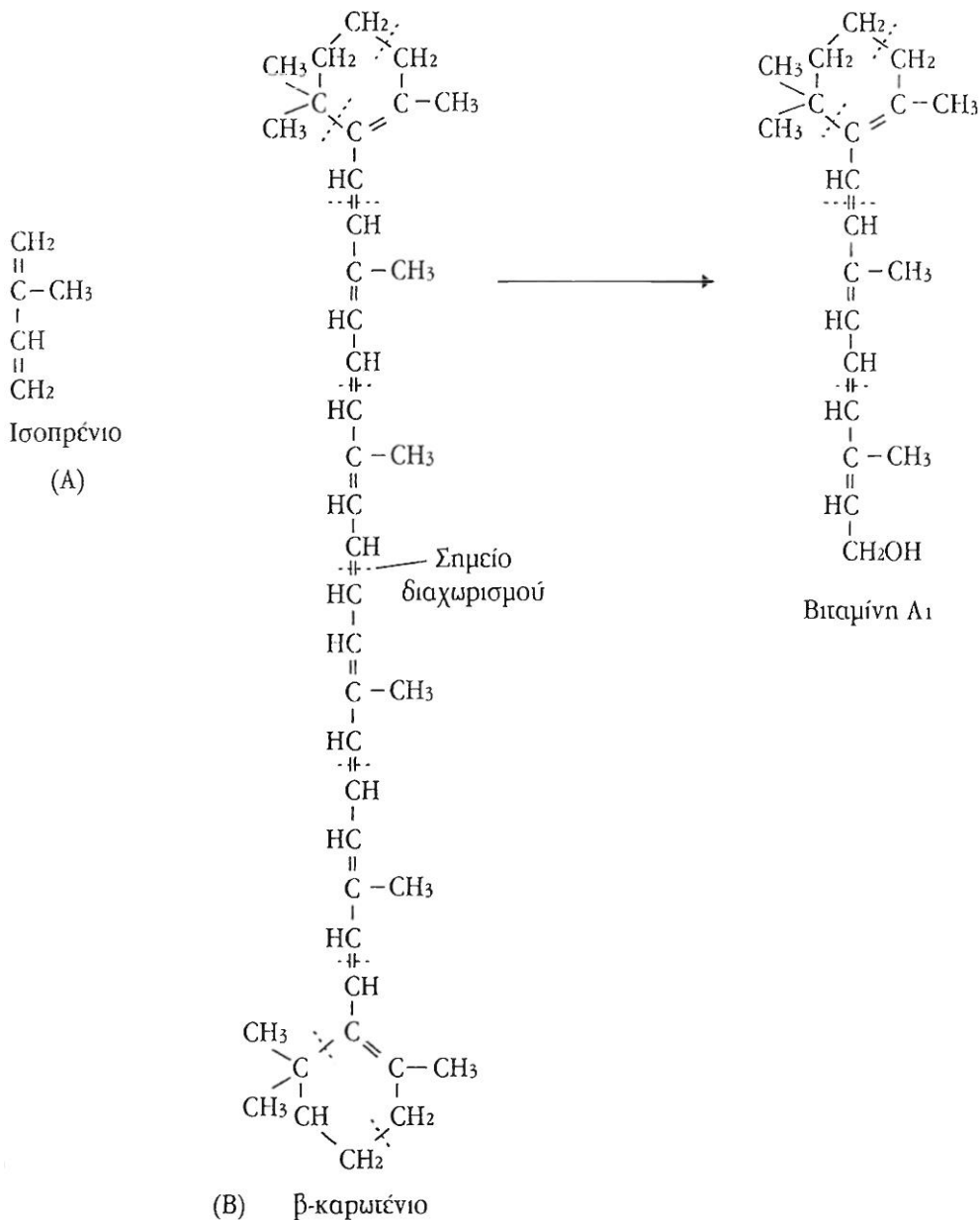
(Γ)

Ουδέτερα λιπίδια. (A) γλυκερίνη (B) λιπαρά οξέα (στεατικό, παλμιτικό, ολεϊκό) (Γ) τριγλυκερίδιο

Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι βασικής σημασίας για τη διατροφή. Είναι πρόδρομοι σημαντικών μορίων και οι μεμβράνες των κυττάρων μας είναι πλούσιες σε ακόρεστα λιπαρά οξέα. Αλλά επειδή τόσο ο ανθρώπινος οργανισμός όσο και άλλα θηλαστικά δεν μπορούν να βιοσυν- θέσουν λιπαρά οξέα με διπλούς δεσμούς πέρα από το ένατο άτομο άνθρακα στην αλυσίδα, είναι απαραίτητο να παρέχεται μικρή ποσότητα ακόρεστων λιπαρών οξέων σ' αυτούς τους οργανισμούς. Τόσο το **λινολεϊκό** όσο και το **λινολενικό** είναι απαραίτητα στα θηλαστικά.

2. Φωσfolιπίδια

Είναι συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών. Ένα μόριο φωσfolιπιδίου αποτελείται από ένα μόριο γλυκερίνης, στην οποία είναι ενωμένα 1 ή 2 μόρια λιπαρού οξέος, και ένα φωσφορικό οξύ στο οποίο δένεται μια οργανική βάση **αιθανολαμίνη**, ή **χολίνη** ή **σερίνη**. Τα φωσfolιπίδια περιέχουν P και N που δεν υπάρχουν στα ουδέτερα λιπίδια. Τα δύο άκρα ενός φωσfolιπιδίου διαφέρουν χημικά και φυσικά. Το ένα άκρο έχει **υδρόφοβο** χαρακτήρα, λόγω των λιπαρών οξέων και το άλλο **υδρόφιλο**, (λόγω φωσφορικού, βάσης) (εικ. α). Τα μόρια λοιπόν των φωσfolιπιδίων έχουν **πολικότητα** και επομένως παίρνουν ορισμένη διάταξη μέσα στο νερό, με τα υδρόφιλα άκρα προς τα έξω και τα υδρόφοβα προς τα μέσα. Η κυτταρική μεμβράνη αποτελείται από δύο στιβάδες φωσfolιπιδίων (εικ. β). Τα φωσfolιπίδια μερικές φορές αποτελούν αποθησαυριστικά υλικά, αλλά ο κύριος ρόλος τους είναι δομικός (μεμβράνες).



Καροτενοειδή. (A) ισοπρένιο (B) β-καροτένιο

3. Καροτενοειδή

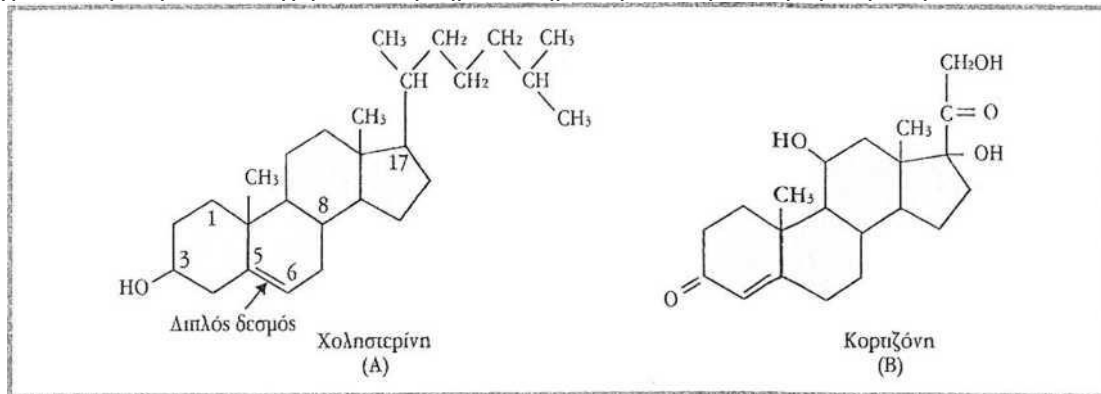
Τα **καροτενοειδή** είναι μια οικογένεια χρωστικών που απορροφούν το φως και βρίσκονται οπου φυτά και στα ζώα. Το **β-καροτένιο** είναι μια χρωστική που απορροφά την ηλιακή ενέργεια στα φύλλα κατά την φωτοσύνθεση και είναι επίσης υπεύθυνο για τον φωτοτροπισμό. Στον άνθρωπο ένα μόριο β-καροτενίου μπορεί να διασπασθεί σε δύο μόρια βιταμίνης Α, από την οποία βιοσυνθέτουμε την ροδοψίνη που απαιτείται για την όραση. Τα καροτενοειδή είναι υπεύθυνα για το χρώμα του καρότου, της ντομάτας, της κίτρινης κολοκύθας, του κρόκου αυγού (και της γλυκοπατάτας)

4. Στεροειδή

Τα **στεροειδή** είναι μια οικογένεια οργανικών ενώσεων, των οποίων οι πολλαπλοί δακτύλιοι μοιράζονται άτομα άνθρακα. Μερικά στεροειδή είναι σημαντικά συστατικά των μεμβρανών. Άλλα

είναι ορμόνες. Η **τεστοστερόνη** και τα **οιστρογόνα** είναι στεροειδή, ορμόνες που ρυθμίζουν την ανάπτυξη του φύλου στα σπονδυλωτά. Η **κορτιζόνη** και συναφείς ορμόνες, παίζουν ρυθμιστικό ρόλο στην πέψη υδατανθράκων και πρωτεϊνών, στην διατήρηση της οσμωτικής ισορροπίας και στη σεξουαλική ανάπτυξη.

Η **χοληστερίνη** συντίθεται στο συκώτι και συμβάλλει στη δομή μερικών κυτταρικών μεμβρανών. Είναι η βάση για τη βιοσύνθεση της τεστοστερόνης και άλλων στεροειδών ορμονών, καθώς επίσης και των χολικών αλάτων που βοηθούν στην αποικοδόμηση του λίπους της διατροφής. Όταν υπάρχουν μεγάλα ποσά χοληστερίνης στο αίμα, αυτή αποτίθεται στις αρτηρίες πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε αρτηριοσκλήρωση και καρδιακή προσβολή.



Στεροειδή. Χαρακτηριστικός τετραμερής δακτύλιος (A) χοληστερίνη (B) κορτιζόνη

Βιταμίνες

Οι βιταμίνες αποτελούν μία μεγάλη ομάδα λιποδιαλυτών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων των καρωτενοειδών και στεροειδών, που συντίθενται με ομοιοπολική σύνδεση και χημική τροποποίηση του ισοπρενίου, ώστε να σχηματισθεί μια σειρά υπομονάδων ισοπρενίου. Η **βιταμίνη Α** σχηματίζεται από το β-καροτένιο που υπάρχει στα πράσινα και κίτρινα λαχανικά. Εκτός των άλλων ρόλων η βιταμίνη Α εμπλέκεται στην αντίληψη του φωτός από τα μάτια μας. Αβιταμίνωση Α έχει σαν αποτέλεσμα ξηρότητα του δέρματος, των οφθαλμών και των εσωτερικών επιφανειών του σώματος, καθυστέρηση στην αύξηση και ανάπτυξη και νυχτερινή τύφλωση, που είναι το διαγνωστικό σύμπτωμα γι' αυτή την αβιταμίνωση. Η **βιταμίνη D** ρυθμίζει την απορρόφηση του ασβεστίου από τα έντερα, είναι απαραίτητη για την καλή εναπόθεση του ασβεστίου στα οστά. Αβιταμίνωση D οδηγεί σε ραχίτιδα και οστεοπόρωση.

Η **βιταμίνη Ε** δεν είναι μια απλή βιταμίνη, αλλά μια ομάδα παρόμοιων λιπιδίων που φαίνεται να προστατεύουν τα κύτταρα από τις βλαβερές επιπτώσεις των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Αυτά τα λιπίδια φαίνεται ότι έχουν σημαντικό ρόλο στην προστασία των διπλών δεσμών των φωσfolιπιδίων των μεμβρανών. Η βιταμίνη Ε προστίθεται σε ορισμένα τρόφιμα για την καθυστέρηση της αλλοίωσής τους. Η **βιταμίνη Κ** βρίσκεται στα πράσινα φύλλα και συντίθεται επίσης από βακτήρια που φυσιολογικά υπάρχουν στον εντερικό σωλήνα του ανθρώπου. Αυτή η βιταμίνη είναι σημαντική για την πήξη του αίματος. Προφανώς αβιταμίνωση Κ οδηγεί σε επιβράδυνση της πήξης του αίματος και πιθανή θανατηφόρο αιμορραγία από μια πληγή.

Υδατάνθρακες: Σάκχαρα και Πολυμερή Σακχάρων

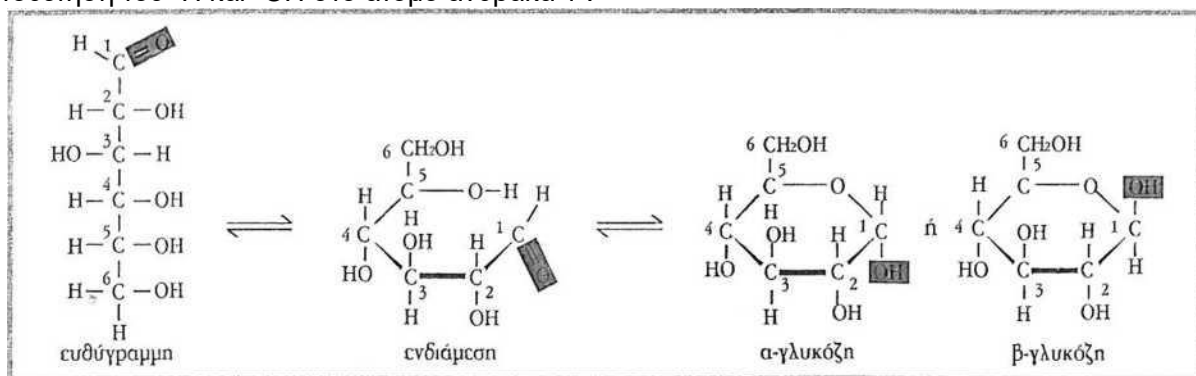
Οι υδατάνθρακες είναι μια ομάδα οργανικών ουσιών με γενικό τύπο CH_2O . Μερικοί είναι

σχετικά μικροί, με μοριακά βάρη μικρότερα του 100. Άλλοι είναι πραγματικά μακρομόρια με μοριακά βάρη πολλές εκατοντάδες ή χιλιάδες. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες υδατανθράκων βιολογικού ενδιαφέροντος. Οι **μονοσακχαρίτες**, όπως η γλυκόζη και η φρουκτόζη, είναι τα μονομερή από τα οποία δομούνται μεγαλύτερες μορφές. Οι **δισακχαρίτες** αποτελούνται από δύο μονοσακχαρίτες. Οι **ολιγοσακχαρίτες** αποτελούνται από 20 - 30 μόρια μονοσακχαρίτη. Τέλος οι **πολυσακχαρίτες**, όπως άμυλο, γλυκογόνο, κυτταρίνη, αποτελούνται από εκατοντάδες χιλιάδες υπομονάδες γλυκόζης.

Μονοσακχαρίτες

Όλα τα κύτταρα περιέχουν **γλυκόζη** με τύπο $C_6H_{12}O_6$. Τα πράσινα φυτά παράγουν γλυκόζη κατά τη φωτοσύνθεση και οι άλλοι οργανισμοί προσλαμβάνουν γλυκόζη άμεσα ή έμμεσα από τα φυτά. Τα κύτταρα χρησιμοποιούν τη γλυκόζη σα πηγή ενέργειας, μετατρέποντάς την σε μια σειρά αντιδράσεων κατά τις οποίες ελευθερώνεται ενέργεια και παράγουν νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

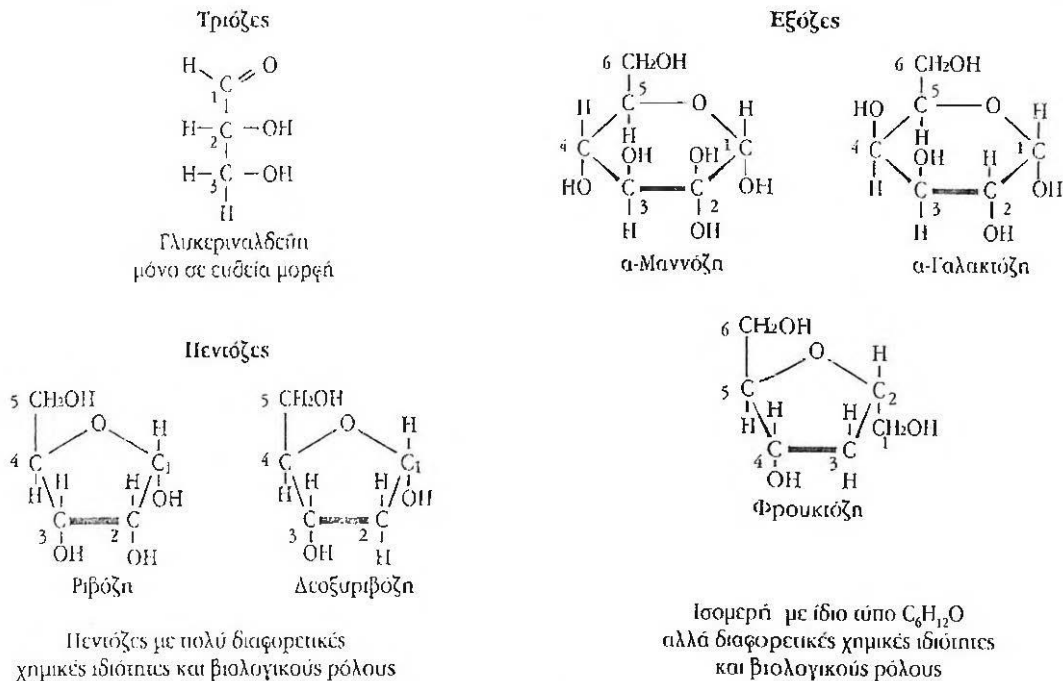
Υπάρχουν δύο μορφές γλυκόζης, η ευθύγραμμη αλυσίδα και η κυκλική μορφή. Σε υδατικό διάλυμα βρίσκονται σε ισορροπία μεταξύ τους, αλλά στα κύτταρα η κυκλική μορφή κυριαρχεί (>99%). Οι δύο διακριτές κυκλικές μορφές (α και β γλυκόζη) διαφέρουν μόνον ως προς τη τοποθέτηση του -H και -OH στο άτομο άνθρακα 1 .



Γλυκόζη: Ευθύγραμμη και Κυκλική Μορφή. Διαλυμένες στο νερό οι μορφές α και β γλυκόζη αλληλομετατρέπονται. Η ευθύγραμμη μορφή έχει μια αλδεϋδομάδα στο άτομο άνθρακα 1. Αντίδραση μεταξύ της αλδεϋδομάδας και της υδροξυλομάδας στο άτομο άνθρακα 5 δίνει την κυκλική μορφή.

Οι περισσότεροι από τους μονοσακχαρίτες των κυττάρων είναι της μορφής των **D** οπτικών ισομερών. Αλλά υπάρχουν δομικά ισομερή, που αποτελούνται από το ίδιο ακριβώς αριθμό και είδος ατόμων, τα οποία όμως συνδυάζονται διαφορετικά. Όλες οι **εξόζες** αποτελούν μια ομάδα δομικών ισομερών με γενικό τύπο $C_6H_{12}O_6$. Εκτός της γλυκόζης, άλλες εξόζες είναι η φρουκτόζη, η μαννόζη και η γαλακτόζη.

Οι πεντόζες είναι σάκχαρα με πέντε άτομα άνθρακα. Μερικές βρίσκονται κυρίως στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών, όπως και αρκετές εξόζες. Δύο πεντόζες έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, η ριβόζη και η δεσοξυριβόζη που είναι συστατικά του RNA και DNA αντίστοιχα. Αυτές οι δύο πεντόζες δεν είναι ισομερή.



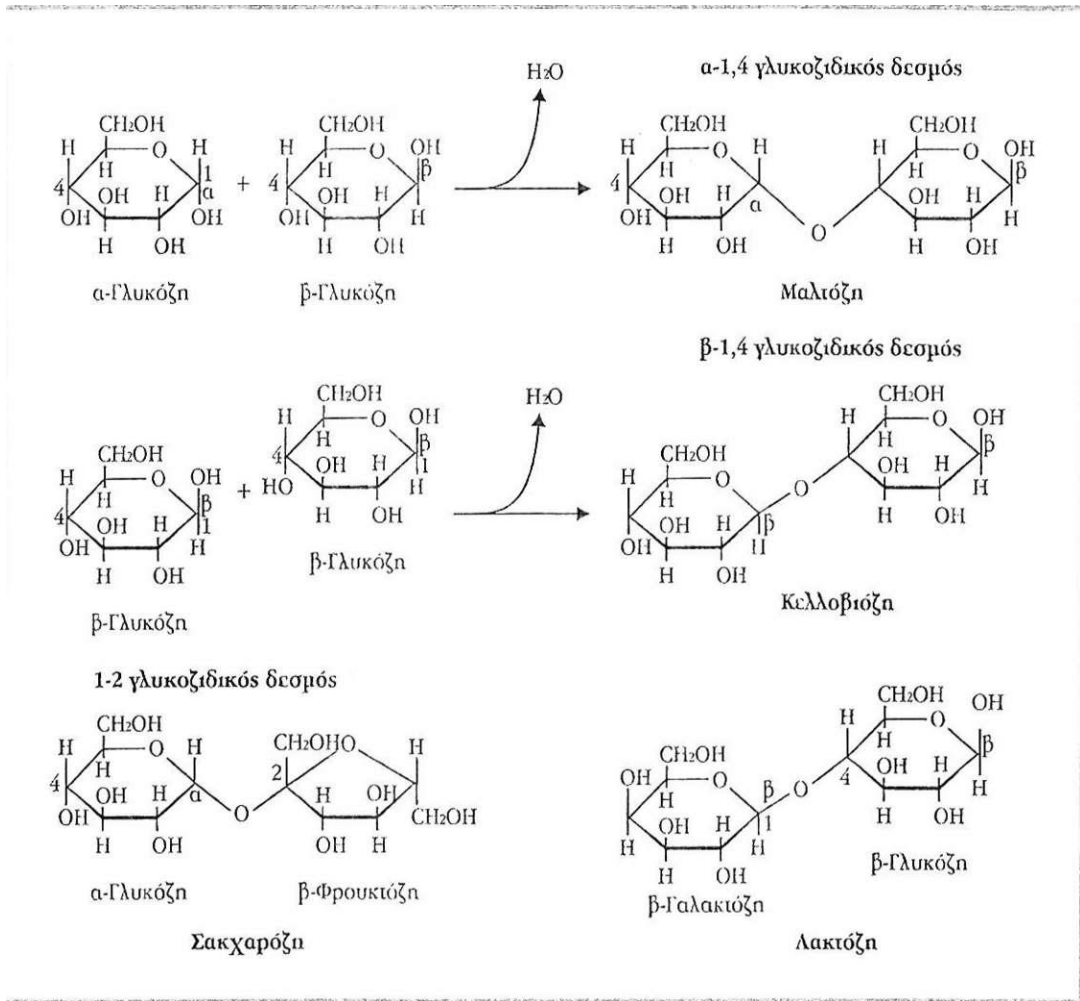
Μονοσακχαρίτες

Γλυκοζιδικοί δεσμοί

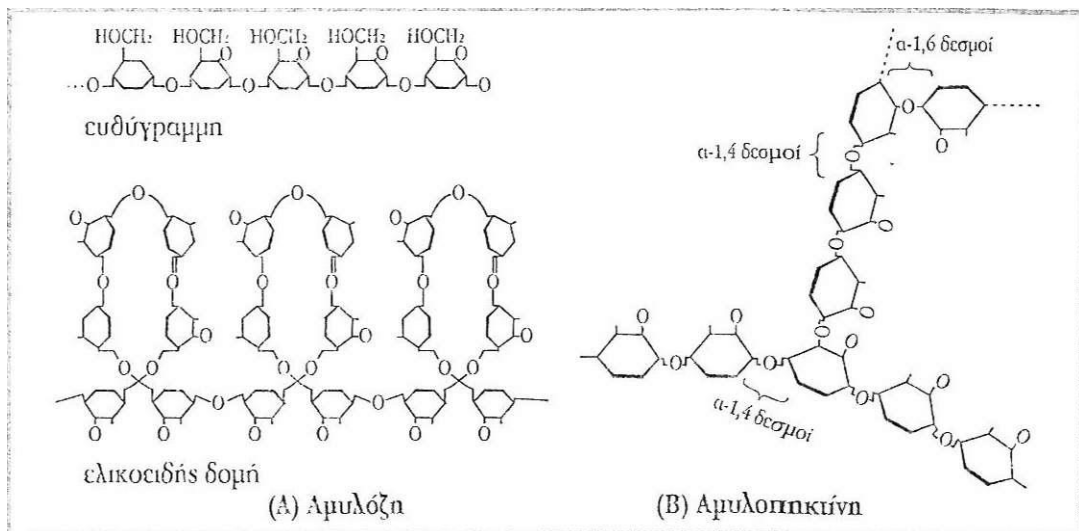
Οι μονοσακχαρίτες ενώνονται ομοιοπολικά μεταξύ τους σχηματίζοντας **γλυκοζιδικούς δεσμούς**. Δύο μόρια ενωμένα με ένα γλυκοζιδικό δεσμό σχηματίζουν ένα **δισακχαρίτη**. Για παράδειγμα, ένα μόριο **σακχαρόζης** (ζάχαρη) - το σάκχαρο που μεταφέρεται σε διάφορα τμήματα των φυτών - σχηματίζεται από ένα μόριο γλυκόζης και ένα φρουκτόζη, ενώ η **λακτόζη** (γαλακτοσάκχαρο) από γλυκόζη και γαλακτόζη. Η **μαλτόζη** είναι δισακχαρίτης από δύο μόρια γλυκόζης, όπως και το ισομερές της η **κελλοβιάζη**. Έχουν γενικό τύπο $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ αλλά είναι διαφορετικές ενώσεις με διαφορετικές ιδιότητες. Η μαλτόζη αποτελείται από ένα μόριο α-γλυκόζης και ένα μόριο β-γλυκόζης ενωμένα με **γλυκοζιδικό δεσμό 1-4**, ενώ η κελλοβιάζη από δύο μόρια β-γλυκόζης ενωμένα με δεσμό 1-4. Η σακχαρόζη αποτελείται από μια α-γλυκόζη και μια β-φρουκτόζη ενωμένες με **γλυκοζιδικό δεσμό 1-2**.

Οι **ολιγοσακχαρίτες** αποτελούνται από αρκετούς μονοσακχαρίτες ενωμένους με γλυκοζιδικούς δεσμούς. Πολλοί ολιγοσακχαρίτες έχουν πρόσθετες λειτουργικές ομάδες που τους προσδίδουν ειδικές ιδιότητες. Οι ολιγοσακχαρίτες είναι συχνά ομοιοπολικά δεμένοι σε πρωτεΐνες και λιπίδια στην εξωτερική επιφάνεια των κυττάρων, όπου λειτουργούν ως σιγνάλα αναγνώρισης.

Οι **πολυσακχαρίτες** διακρίνονται σε **αποθησαυριστικούς** και **δομικούς**. Το **άμυλο** είναι κύριος αποθησαυριστικός πολυσακχαρίτης (πατάτες, σιτηρά κ.ά.) πολυμερές της α-γλυκόζης και βρίσκεται σε δύο μορφές, **αμυλόζη** και **αμυλοπηκτίνη**. Η αμυλόζη (20% του αμύλου της πατάτας) είναι ευθύγραμμο πολυμερές αποτελούμενο από εκατοντάδες μόρια γλυκόζης (δεσμοί 1-4). Στο νερό η αλυσίδα σχηματίζει αυθόρμητα μια έλικα και σ' αυτή τη μορφή είναι αδιάλυτη. Η ελικοειδής αυτή δομή σταθεροποιείται με δεσμούς υδρογόνου. Η αμυλοπηκτίνη (80% αμύλου πατάτας) είναι πολυμερές με κύρια αλυσίδα γλυκόζης (δεσμοί 1-4) και διακλαδώσεις (δεσμός 1-6 στη διακλάδωση).

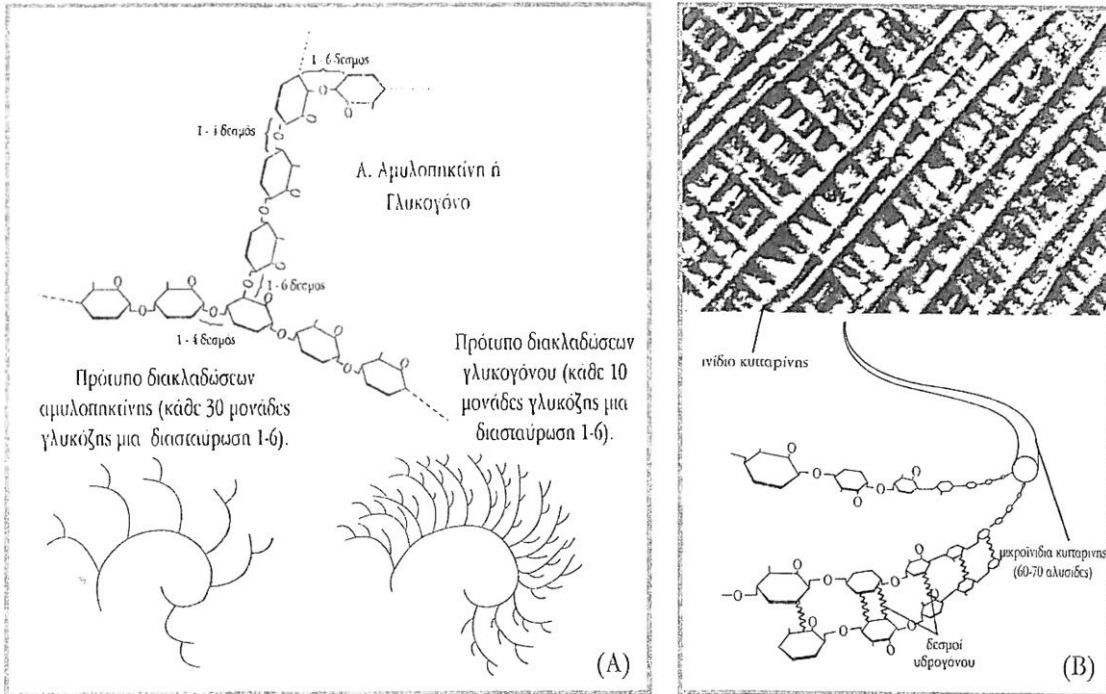


Σχηματισμός δισακχαριτών με γλυκοζιδικούς δεσμούς



Άμυλο. (A) αμυλόζη (B) αμυλοπηκίνη

Το γλυκογόνο είναι ένα πολυμερές της γλυκόζης σαν την αμυλοπηκτίνη, αλλά είναι μεγαλύτερο και με πολύ περισσότερες διακλαδώσεις. Βρίσκεται με τη μορφή κοκκίων στα κύτταρα συκωτιού και μυϊκά κύτταρα. Κύριοι δομικοί πολυσακχαρίτες είναι η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και πηκτίνες και η χιτίνη.



Πολυσακχαρίτες. (Α) αποθησαυριστικοί (αμυλόζη, αμυλοπηκτίνη) (Β) δομικοί (κυτταρίνη)

Η **κυτταρίνη** είναι γραμμικό πολυμερές β-γλυκόζης (δεσμοί 1-4) μεγάλου μήκους. Πολλές αλυσίδες (60-70) παράλληλα τοποθετημένες, συγκροτούνται με δεσμούς υδρογόνου και σχηματίζουν τα **μικροϊνίδια** κυτταρίνης. Πολλά μικροϊνίδια μαζί σχηματίζουν τα **ινίδια** κυτταρίνης που είναι ισχυρότατες βιολογικές δομές και σχηματίζουν μαζί με άλλα υλικά τα τοιχώματα των φυτικών κυττάρων. Η κυτταρίνη είναι η πιο άφθονη οργανική ένωση και πολύ ισχυρό υλικό, αλλά είναι εύκαμπτη και μπορεί σε ειδικές συνθήκες να γίνει μαλακή (χαρτί).

Η **χιτίνη** είναι γραμμικό πολυμερές της N - ακετυλογλυκοζαμίνης (δεσμοί 1-4). Αποτελεί κύριο συστατικό του εξωσκελετού των εντόμων και άλλων αρθροπόδων. Η χιτίνη είναι εύκαμπτη στον εξωσκελετό πολλών εντόμων (π.χ. κατσαρίδες) αλλά πολύ σκληρή σε συνδυασμό με ασβέστιο σε άλλα αρθρόποδα (αστακός, καβούρι).

Πρωτεΐνες

Είναι βασικής σημασίας μακρομόρια αποτελούμενα από C, H, O, N και S. Καταλαμβάνουν περισσότερο από το 50% του ξηρού βάρους του κυττάρου. Κάθε πρωτεΐνη αποτελείται από ένα ή περισσότερα πολυπεπτίδια. Ένα πολυπεπτίδιο είναι μια γραμμική αλυσίδα **αμινοξέων** που ενώνονται με **πεπτιδικούς δεσμούς**. Το 1950 πρώτος ο Frederick Sanger προσδιόρισε την αμινοξική αλληλουχία της **ινσουλίνης**, η οποία είναι ίδια σε όλα τα μόρια της ινσουλίνης. Στις πρωτεΐνες απαντούν 20 διαφορετικά αμινοξέα, κάθε ένα με μοναδικές ιδιότητες που βοηθούν στον καθορισμό της δομής και των λειτουργικών ιδιοτήτων της πρωτεΐνης. Κάθε κύτταρο περιέχει εκατοντάδες διαφορετικών πρωτεϊνών και κάθε είδος κυττάρου μερικές πρωτεΐνες που είναι μοναδικές. Δηλαδή οι χαρακτηριστικοί τύποι, η κατανομή και το ποσό των πρωτεϊνών καθορίζουν

τη δομή και τη λειτουργία του κυττάρου. Το μυϊκό κύτταρο π.χ. περιέχει μεγάλες ποσότητες ακτίνης και μυοσίνης που του προσδίδουν τη χαρακτηριστική του δομή και λειτουργία, τα ερυθρά κύτταρα περιέχουν αιμογλοβίνη. Οι περισσότερες πρωτεΐνες είναι ειδικές για κάθε είδος οργανισμού. Το πόσο διαφέρουν οι πρωτεΐνες από δύο διαφορετικά είδη οργανισμών, εξαρτάται από την εξελικτική τους συγγένεια. Μερικά είδη πρωτεϊνών εμφανίζουν μικρές διαφορές ακόμα και μέσα στο ίδιο είδος οργανισμού, έτσι που κάθε άτομο είναι βιοχημικά μοναδικό. Μόνον τα μονοζυγωτικά δίδυμα δεν έχουν διαφορές.

Τα κύρια αμινοξέα των πρωτεϊνών είναι είκοσι αλλά τα επιπλέον είναι δευτερεύοντα γιατί προέρχονται από τα κύρια. Όλα τα αμινοξέα έχουν την ίδια κεντρική δομή που αποτελείται από το **άλφα άτομο άνθρακα**, στο οποίο είναι ενωμένα μια **αμινομάδα** (NH_2) μια **καρβοξυλομάδα** (COOH), ένα **υδρογόνο** (H) και μια **ομάδα R**, που ποικίλει στα διάφορα αμινοξέα. Τα αμινοξέα ιονίζονται εύκολα υπό φυσιολογικές συνθήκες, δηλαδή μέσα στα κύτταρα και στα εξωκυτταρικά υγρά. Κατά τον ιονισμό, η καρβοξυλομάδα δίνει ένα πρωτόνιο (γι' αυτό το μόριο ονομάζεται οξύ), και η αμινομάδα προσλαμβάνει ένα πρωτόνιο (που σημαίνει ότι είναι επίσης βάση). Στην ιονισμένη του μορφή το αμινοξύ έχει αρνητικό και θετικό φορτίο.

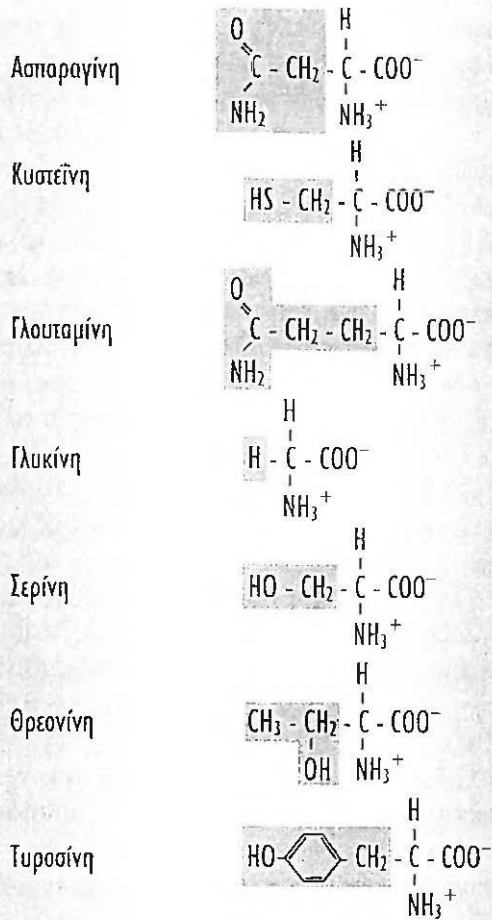
Η ομάδα R διαφέρει στα 20 αμινοξέα. Τα αμινοξέα κατατάσσονται σύμφωνα με τις ιδιότητες της ομάδας R, ιδιαίτερα σύμφωνα με την πολικότητα ή έλλειψη πολικότητας και με την παρουσία ή απουσία καθαρού φορτίου. Η πολικότητα της ομάδας R αναφέρεται στην τάση ν' αλληλεπιδρά με το νερό σχηματίζοντας δεσμούς υδρογόνου. Με τον ιονισμό της ομάδας R σχηματίζονται φορτία. Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί το κύτταρο είναι φυσιολογικά ένα υδάτινο περιβάλλον. Από τα 20 αμινοξέα τα οκτώ είναι μη πολικά, αφόρτιστα και επομένως υδρόφοβα, τα επτά έχουν πολική ομάδα R, που δεν ιονίζεται και είναι υδρόφιλα και τα πέντε αμινοξέα έχουν ομάδα R που ιονίζεται στο νερό και επομένως έχουν φορτίο θετικό ή αρνητικό. Η κυστεΐνη, η τρυπτοφάνη και η μεθιονίνη αποτελούν το 5% περίπου των αμινοξέων μιας πρωτεΐνης ενώ το 32% περίπου αποτελούν η λεύκινη, σερίνη, λυσίνη και το γλουταμικό οξύ.

Πρωτεΐνες (Τύποι και λειτουργικότητα)

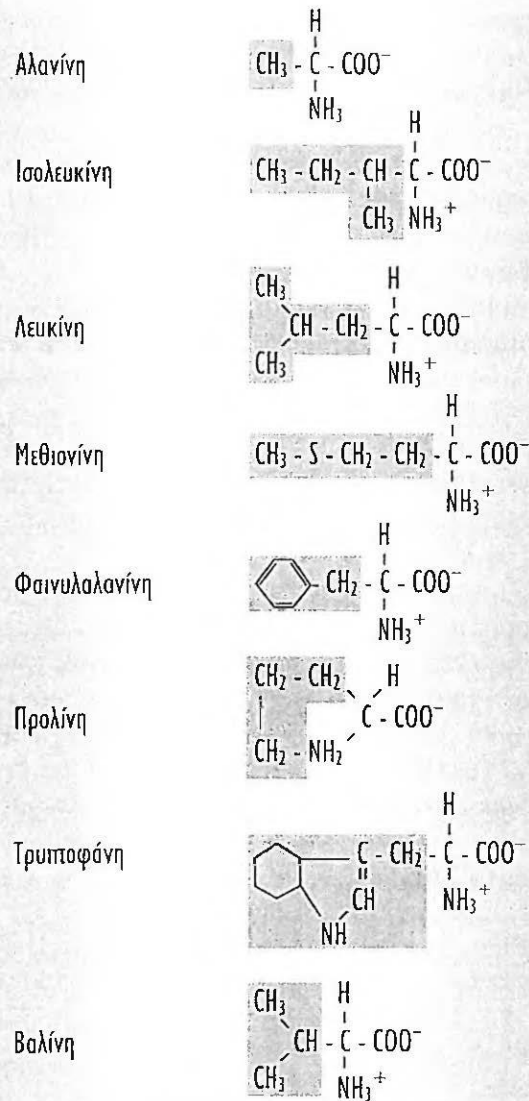
Λειτουργικότητα	Είδος	Παράδειγμα	Χρησιμότητα
Δομή	Ίνες	Κολλαγόνο Κερατίνη Ινώδες	Χόνδρος Μαλλιά, νύχια θρόμβος αίματος
Μεταβολισμός	Ένζυμα	Λυσοσώματα Πρωτεάσες Πολυμεράσες Κινάσες	Αποικοδόμηση πολυσακχαριτών " πρωτεϊνών Παραγωγή νουκλεϊνικών Φωσφορυλίωση σακχάρων και πρωτεϊνών
Μπαφορά μέσω μεμβρανών Κυτταρική αναγνώριση Ωσμωρύθμιση	Μεταφορείς Αντιγόνα κυτ. επιφάνειας Αλβουμίνη	Αντλία K, Na Αντλία πρωτονίων Κανάλια ανιόντων MHC πρωτεΐνες Αλβουμίνη ορρού	Διέγερση μεμβρανών Χημειώσμωση Μεταφορά χλωρίου Αυτό - αναγνώριση Διατήρηση ωσμωτικής συγκέντρω σης αίματος Ρύθμιση μεταγραφής
Ρύθμιση γονιδίων Ρύθμιση λειτουργιών σώματος	Καταστολείς Ορμόνες	Lac καταστολέας Ινσουλίνη Αγγειοπρεσίνη Ωκυτοκίνη	Ρύθμιση σακχάρου αίματος Αύξηση κατακράτησης ύδατος από νεφρούς Ρύθμιση παραγωγής γάλακτος
Μεταφορά μέσα στο σώμα Αποθήκευση	Σφαιρίνες Ιοντοδεσμευτικές	Αιμογλοβίνη Μυογλοβίνη Κυτοχρώματα Φερίνη Καζεΐνη Καλμοδουλίνη	Μεταφορά O ₂ και CO ₂ στο αίμα " στους μύες Μπαφορά ηλεκτρονίων Αποθήκευση Fe στο σπλήνα " ιόντων στο γάλα Πρόσδεση ιόντων ασβεστίου
Συστολή Αμυνα	Μύες Ανοσοσφαιρίνες Τοξίνες	Ακτίνη, Μυοσίνη Αντισώματα Δηλητήριο φιδιού	Συστολή μυϊκών ινών Εξάλειψη ξένων πρωτεϊνών Παρεμπόδιση λειτουργίας νεφρών

Στα πολυπεπτίδιο η καρβοξυλομάδα του ενός αμινοξέος ενώνεται με την αμινομάδα του επόμενου αμινοξέος. Ο δεσμός αυτός είναι ο **πεπτιδικός δεσμός**. Το πλήρες πολυπεπτίδιο έχει ένα αμινοξικό άκρο, **N - άκρο**, (το πρώτο αμινοξύ της αλυσίδας) και ένα καρβοξυλικό, **C - άκρο** (το τελευταίο αμινοξύ). Ένα πολυπεπτίδιο γράφεται από αριστερά προς τα δεξιά με το N - άκρο αριστερά και το C - άκρο δεξιά.

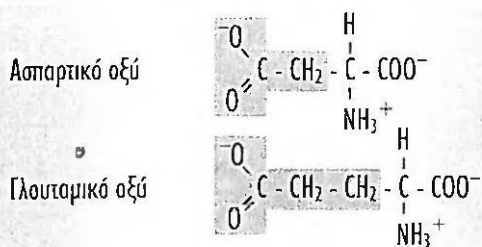
Αφόρτιστα πολικά αμινοξέα



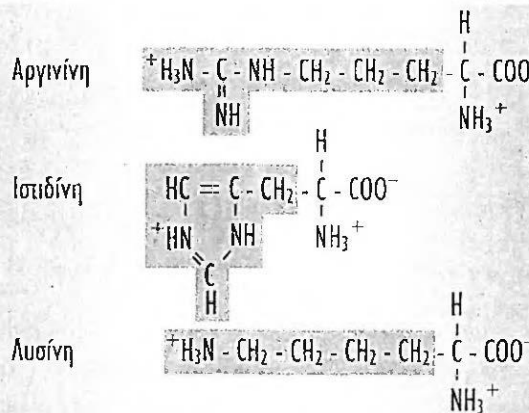
Μη πολικά αμινοξέα



Όξινα αμινοξέα (αρνητικά φορτισμένα σε pH6)



Βασικά αμινοξέα (θετικά φορτισμένα σε pH6)



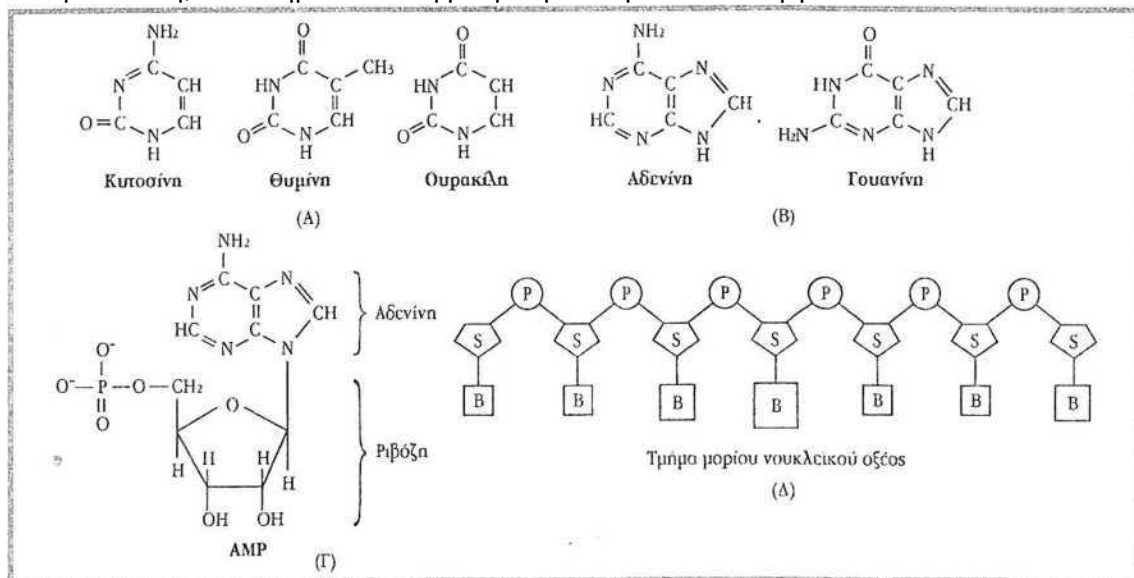
Νουκλεϊκά οξέα

Τόσο το **DNA** όσο και το **RNA** υπάρχουν σε όλα τα κύτταρα (λίγες εξαιρέσεις). Το DNA είναι το γενετικό υλικό γιατί περιέχει τα γονίδια που καθορίζουν την αλληλουχία των αμινοξέων κάθε πρωτεΐνης που παράγει ο οργανισμός. Όμως το DNA δεν συμμετέχει άμεσα στη σύνθεση των πρωτεϊνών, αλλά μεταγράφεται σε RNA που άμεσα εμπλέκεται στην διαδοχική συνένωση των αμινοξέων κατά την πρωτεϊνοσύνθεση.

Κάθε μόριο DNA είναι δίκλωνο αποτελούμενο από δύο πολύ μακριά πολυμερή νουκλεοτιδίων που κρατιούνται μαζί με δεσμούς υδρογόνου, σχηματίζοντας τη γνωστή διπλή έλικα. Τα RNA είναι μονόκλινα πολυμερή νουκλεοτιδίων που μπορεί όμως ν' αναδιπλωθούν και να πάρουν συγκεκριμένη στερεοδιάταξη που περιέχει και δίκλωνες περιοχές.

Νουκλεοτίδιο είναι μία ένωση που αποτελείται από μια βάση **αδενίνη (A)**, ή **θυμίνη (T)**, ή **γουανίνη (G)**, ή **κυτοσίνη (C)**, ή **ουρακίλη (U)**, ένα **σάκχαρο** (ριβόζη ή δεσοξυριβόζη) και **φωσφορικό οξύ**. Διακρίνονται σε μονοφωσφορικά (AMP, GMP, TMP, CMP, UMP), διφωσφορικά (ADP, GDP, TDP, CDP, UDP) και τριφωσφορικά (ATP, GTP, TTP, CTP, UTP) ανάλογα με τον αριθμό των φωσφορικών τους ριζών. Τα νουκλεοτιδία του DNA είναι τα dAMP, dTMP, dGMP και dCMP ενώ στα RNA υπάρχουν τα AMP, GMP, CMP και UMP. Τα μονονουκλεοτίδια στο DNA και RNA ενώνονται με 3-5 φωσφοδιεστερικούς δεσμούς (ανάμεσα στο OH του σακχάρου του ενός νουκλεοτιδίου και του φωσφορικού του επομένου).

Τα νουκλεοτίδια είναι βασικής σημασίας βιολογικά μόρια όχι μόνο γιατί είναι δομικοί λίθοι των νουκλεϊνικών οξέων (DNA, RNA) αλλά και γιατί συμμετέχουν σε πολλές μεταβολικές διεργασίες στα κύτταρα. Το **ATP** με τους δεσμούς υψηλής ενέργειας που περιέχει αποτελεί την αποθήκη χημικής ενέργειας του κυττάρου. Το **GTP** είναι απαραίτητο στη διαδικασία της πρωτεϊνοσύνθεσης, το **UTP** στη σύνθεση του γλυκογόνου και το **CTP** στη σύνθεση λιπιδίων και φωσφολιπιδίων. Το κυκλικό AMP, που παράγεται από το ATP με τη βοήθεια του ενζύμου αδενυλική κυκλάση, είναι σημαντικό στη ρύθμιση κυτταρικών λειτουργιών.



Νουκλεϊνικά οξέα. (A) πυριμιδινικές βάσεις (B) πουρινικές βάσεις. (Γ) αδενοσινο-μονοφωσφορικό νουκλεοτίδιο. (Δ) ιμάμα μορίου νουκλεϊνικού οξέος S=σάκχαρο, B=βάση, P=φωσφορικό.

Δομή Πληροφοριακών Μακρομορίων - Ασθενείς Αλληλεπιδράσεις

Οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊνικά οξέα ονομάζονται και πληροφοριακά μακρομόρια. Αυτό γιατί για τη σύνθεσή τους, απαιτείται η ύπαρξη "μήτρας" που θα δώσει την πληροφορία για τη σειρά με την οποία θα ενωθούν οι υπομονάδες που τα απαρτίζουν (αμινοξέα, νουκλεοτίδια).

Οι υπομονάδες που απαρτίζουν ένα πολυμερές μόριο κρατιούνται μαζί με **ομοιοπολικούς δεσμούς**. Όμως η τρισδιάστατη δομή, που καθορίζει τη λειτουργικότητα του πολυμερούς σταθεροποιείται με πιο ασθενείς μη ομοιοπολικούς δεσμούς, που αναπτύσσονται μέσα στο ίδιο το μακρομόριο ή και ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα μακρομόρια. Οι δεσμοί αυτοί είναι:

α) **Ιοντικοί δεσμοί**: Ελκτικές δυνάμεις μεταξύ ανιόντων και κατιόντων. Είναι ασθενείς δεσμοί σε υδατικά διαλύματα, που τείνουν να σπάσουν λόγω της πολικότητας των μορίων του νερού.

β) **Δεσμοί υδρογόνου**: Ο δεσμός που σχηματίζεται μεταξύ ενός ατόμου H, που είναι ενωμένο με O, ή άλλο ηλεκτραρνητικό άτομο (N), και ενός άλλου ηλεκτραρνητικού ατόμου. Τα άτομα που συμμετέχουν στο δεσμό υδρογόνου, μπορεί να βρίσκονται σε δύο διαφορετικά μέρη του ίδιου μορίου ή σε δύο διαφορετικά μόρια. Οι δεσμοί αυτοί είναι ασθενείς δεσμοί μεγάλης βιολογικής σημασίας.

γ) **Δεσμοί van der Waals**: Ασθενείς ελκτικές δυνάμεις μεταξύ μορίων που βρίσκονται πολύ κοντά και οφείλονται στην αλληλεπίδραση των ηλεκτρονιακών νεφών τους.

δ) **Υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις**. Αναπτύσσονται μεταξύ ομάδων μη πολικών μορίων. Οι ομάδες αυτές τείνουν να συσσωρευτούν, καθώς σπρώχνονται μαζί από τα μόρια του νερού, ώστε να ελαχιστοποιείται η καταστροφική τους επίδραση στο πλέγμα των μορίων του νερού που ενώνονται με δεσμούς υδρογόνου. Μικρά σταγονίδια λαδιού μέσα σε νερό, για παράδειγμα, σχηματίζουν μεγάλες σταγόνες, αφού έτσι προκαλούν μικρότερη διατάραξη στο πλέγμα των μορίων του νερού.

Ο μεγάλος αριθμός μη ομοιοπολικών δεσμών, που μπορούν να αναπτυχθούν σ' ένα βιολογικό μακρομόριο, προσδίδει σταθερότητα στο μόριο αυτό. Οι ασθενείς μη ομοιοπολικές δυνάμεις υποδηλώνουν την εξειδίκευση της βιολογικής αναγνώρισης που υπάρχει ανάμεσα στις διάφορες περιοχές του ίδιου ή διαφορετικών μακρομορίων.

Ο αριθμός των δυνατών τρισδιάστατων διευθετήσεων των ατόμων είναι περιορισμένος, γιατί τα άτομα συμπεριφέρονται σχεδόν σαν συμπαγείς σφαίρες, με μια συγκεκριμένη ακτίνα. Παρ' όλα αυτά, μια μακρυνά πολυπεπτιδική αλυσίδα, μπορεί να πάρει ένα πολύ μεγάλο αριθμό αναδιπλώσεων ανάλογα με το είδος των ασθενών αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται. Στην πράξη όμως οι περισσότερες πρωτεΐνες του κυττάρου αναδιπλώνονται σταθερά μόνο με ένα τρόπο. Κατά την εξέλιξη ή αλληλουχία των αμινοξέων έχει επιλεγεί έτσι ώστε μία μόνο στερεοδιάταξη είναι θερμοδυναμικά η πιο ευνοϊκή.

Μακρομόρια που σχηματίζονται από τη διαδοχική συνένωση ομοίων μονομερών σχηματίζουν τη δομή **έλικας**. Έλικες υπάρχουν συνήθως στις βιολογικές δομές, είτε τα μονομερή είναι μικρά μόρια ομοιοπολικά δεμένα μεταξύ τους, όπως αμινοξέα ή νουκλεοτίδια (πρωτεΐνες, DNA), είτε τα μονομερή είναι μεγάλα πρωτεϊνικά μόρια που συνδέονται με μη ομοιοπολικές δυνάμεις (όπως στα ινίδια ακτίνης). Η έλικα είναι μια τέλεια δομή που γεννιέται βάζοντας, απλά και μόνο, πολλές όμοιες υπομονάδες τη μία μετά την άλλη με τους ίδιους δεσμούς. Η αλληλουχία των υπομονάδων σ' ένα μακρομόριο περιέχει την πληροφορία που καθορίζει τις λειτουργικές θέσεις που θα

δημιουργηθούν με τη διευθέτηση του στο χώρο. Αυτές οι θέσεις με τη σειρά τους καθορίζουν την αναγνώριση των μακρομορίων μεταξύ τους, ή μεταξύ διαφόρων τμημάτων του ίδιου μορίου, με την έννοια της ανάπτυξης ασθενών μη ομοιοπολικών δεσμών.

Επίπεδα Οργάνωσης Πρωτεϊνών και Λειτουργική Ποικιλότητα

Πολλές πρωτεΐνες αποτελούνται από πολύ μακρές αλυσίδες που αναδιπλώνονται και σχηματίζουν περίπλοκες δομές. Οι πρωτεΐνες αυτές ονομάζονται **σφαιροπρωτεΐνες**. Τη γνώση για την τρισδιάστατη δομή των πρωτεϊνών παίρνουμε από μελέτες περίθλασης με ακτίνες Χ. Η πρώτη πρωτεΐνη που αναλύθηκε με τον τρόπο αυτό είναι η μυογλοβίνη και αργότερα η αιμογλοβίνη. Γρήγορα έγινε σαφές ότι όλες οι πρωτεΐνες αναδιπλούμενες κλείνουν στο εσωτερικό τους τα μη πολικά αμινοξέα, λόγω υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων.

Οι σφαιροπρωτεΐνες μπορεί να έχουν μέχρι τέσσερα επίπεδα οργάνωσης, αλλά οι περισσότερες έχουν τρία. Το πρώτο επίπεδο οργάνωσης η **πρωτοταγής δομή** καθορίζεται από τον αριθμό, το είδος και την αλληλουχία των αμινοξέων που ενώνονται με πεπτιδικούς δεσμούς και σχηματίζουν μια απλή πολυπεπτιδική αλυσίδα. Η πρωτοταγής δομή καθορίζεται γενετικά (από την αλληλουχία βάσεων του γονιδίου), έτσι που κάθε πρωτεΐνη έχει εξειδικευμένη αλληλουχία και αριθμό αμινοξέων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τα επόμενα επίπεδα οργάνωσης, και τελικά για τη λειτουργικότητα του μορίου. Παράδειγμα η β - αλυσίδα της αιμοσφαιρίνης. Αν στη θέση 6 του μορίου υπάρχει βαλίνη αντί του γλουταμικού οξέος, έχουμε άτομο με δρεπανοκυτταρική αναιμία.

Η **δευτεροταγής δομή**, το δεύτερο επίπεδο οργάνωσης, σχηματίζεται αυθόρμητα καθώς το πολυπεπτιδίο βιοσυντίθεται. Σε πολλά πολυπεπτιδία η αλυσίδα των αμινοξέων περιστρέφεται προς τα δεξιά σχηματίζοντας μια ραβδοειδή δομή την **α-έλικα**. Η α-έλικα σταθεροποιείται με δεσμούς υδρογόνου **μέσα στην ίδια** την πολυπεπτιδική αλυσίδα. Η καρβοξυλομάδα κάθε αμινοξέος κάνει δεσμό υδρογόνου με την αμινομάδα του αμινοξέος που βρίσκεται τέσσερα αμινοξέα μπροστά στην γραμμική αλληλουχία.

Μια άλλη κοινή δευτεροταγής δομή είναι η ζικ - ζακ αναδίπλωση του πολυπεπτιδίου που ονομάζεται **β-πτυχωτή επιφάνεια**. Αυτή διαφέρει πολύ από την α - έλικα, γιατί είναι μια απλωμένη επιφάνεια, παρά μία ράβδος. Η πολυπεπτιδική αλυσίδα είναι σχεδόν πλήρως εκτεταμένη και η όλη επιφάνεια σταθεροποιείται με δεσμούς υδρογόνου ανάμεσα σε παράλληλα τμήματα της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Η α - έλικα και η β - πτυχωτή επιφάνεια ανακαλύφθηκαν το 1951 από τη μελέτη με ακτίνες Χ δύο πρωτεϊνών της **α-κερατίνης** (δέρμα, μαλλιά, νύχια, φτερά) και της **φιβροΐνης** του μεταξιού αντίστοιχα.

Οι **στροφές** αποτελούνται από 3-4 αμινοξέα και είναι συμπαγείς σχήματος U δευτεροταγείς δομές που σταθεροποιούνται με ένα δεσμό υδρογόνου ανάμεσα στο ακραία αμινοξέα. Υπάρχουν στην επιφάνεια μιας πρωτεΐνης και δημιουργούν ένα οξύ δίπλωμα που επανακατευθύνει το πολυπεπτιδίο πίσω προς το εσωτερικό. Στις στροφές υπάρχουν συνήθως γλυκίνη και προλίνη. Χωρίς τις στροφές για πρωτεΐνη θα ήταν μεγάλη, εκτεταμένη και χαλαρά πακεταρισμένη.

Ένα άλλο επίπεδο δευτεροταγούς δομής που γνωρίζουμε σήμερα, ονομάζεται **υπερδευτεροταγής δομή** και αναφέρεται στον συνδυασμό των στοιχείων της δευτεροταγούς δομής. Η υπερδευτεροταγής δομή έχει σημασία στην αλληλεπίδραση πρωτεΐνης και DNA.

Το τρίτο επίπεδο οργάνωσης, η **τριτοταγής δομή**, οφείλεται στην εξαιρετικά

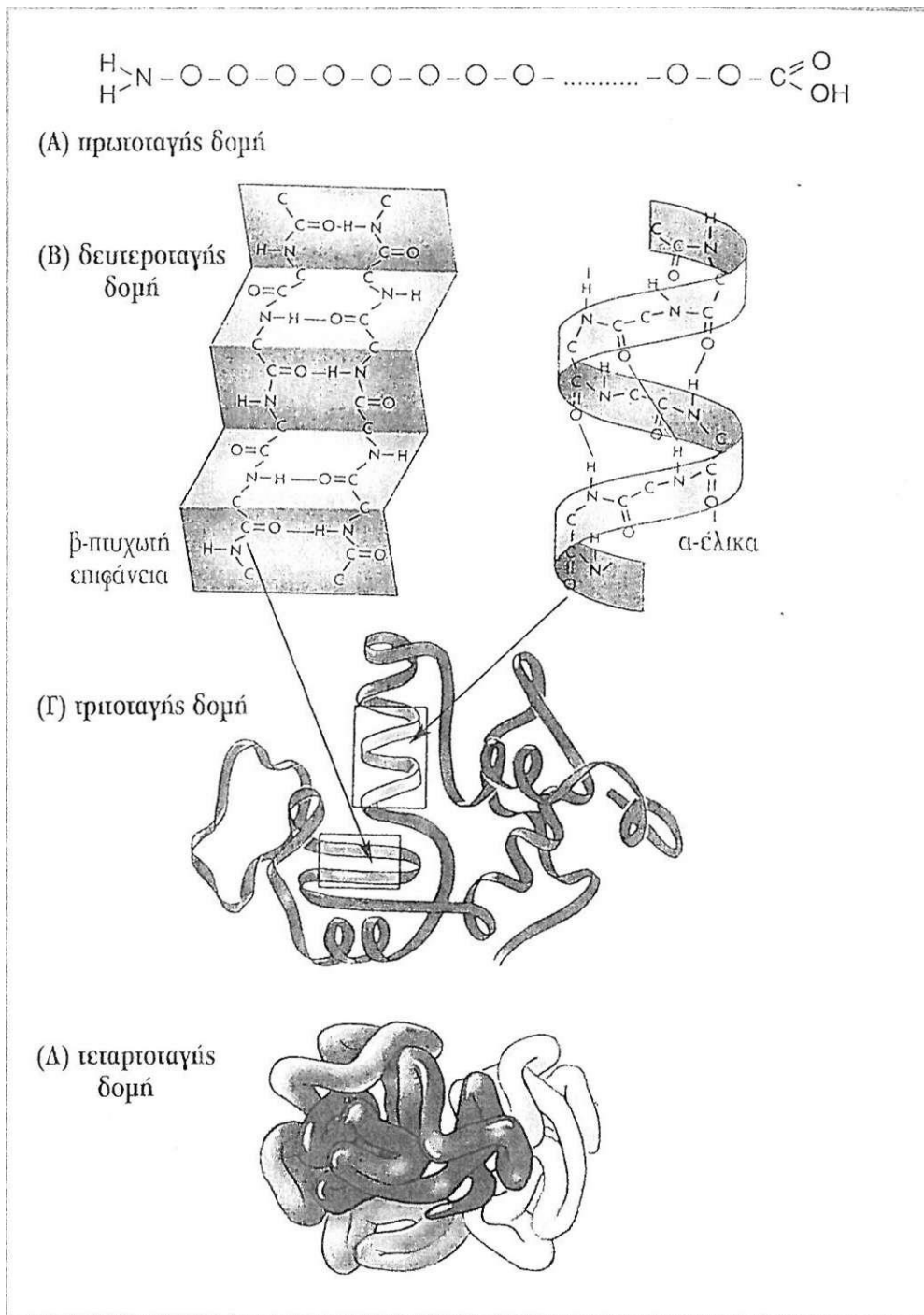
εξειδικευμένη αναδίπλωση του πολυπεπτιδίου, που δημιουργείται λόγω ελκτικών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στις ποικίλες πλευρικές (R) ομάδες των αμινοξέων της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Επειδή οι ομάδες R είναι πολύ εξειδικευμένες, με μοναδικά για κάθε μία χαρακτηριστικά, η τριτοταγής δομή κάθε πρωτεΐνης είναι μοναδική. Δεσμοί υδρογόνου, ιοντικοί και υδρόφοβοι, επαναλαμβανόμενοι σ' όλο το μήκος μιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας σταθεροποιούν το μόριο σε ορισμένη στερεοδιάταξη. Μια τέταρτη κατηγορία αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε ομάδες R αφορά ομοιοπολική πρόσδεση, οπότε η οπαθεροποίηση της τριτοταγούς δομής είναι ακόμη μεγαλύτερη. Σε πρωτεΐνες που περιέχουν το αμινοξύ κυστεΐνη (R ομάδα περιέχει **σουλφυδρύλιο** -SH) δημιουργούνται **δισουλφυδικοί δεσμοί (S - S)**, που σταθεροποιούν ακόμη περισσότερο την τριτοταγή δομή. Σε μια τριτοταγή δομή λοιπόν, που είναι το ανώτερο επίπεδο οργάνωσης για τις πρωτεΐνες που αποτελούνται από μια μόνο πολυπεπτιδική αλυσίδα, περιοχές α - έλικας και β - πτυχωτής επιφάνειας δίνουν στενά διπλωμένες σφαιρικές **λειτουργικές μονάδες (domain)**.

Μια λειτουργική μονάδα αποτελείται συνήθως από 50 - 350 αμινοξέα. Οι μικρές πρωτεΐνες συγκροτούνται σε μια λειτουργική μονάδα, ενώ οι μεγαλύτερες από περισσότερες που συνδέονται συνήθως με σχετικά ανοιχτά τμήματα της πεπτιδικής αλυσίδας.

Η τεταρτοταγής δομή, είναι το τελευταίο επίπεδο οργάνωσης, αφορά εκείνες τις πρωτεΐνες που αποτελούνται από περισσότερες της μιας, ίδιες ή διαφορετικές, πολυπεπτιδικές αλυσίδες. Δημιουργούνται γιγάντια πρωτεϊνικά σύμπλοκα που σταθεροποιούνται με μεγάλο αριθμό ασθενών μη ομοιοπολικών αλληλεπιδράσεων, καθώς και με S - S δεσμούς. Μια από τις πρωτεΐνες η **αιμοσφαιρίνη** αποτελείται από τέσσερεις πολυπεπτιδικές αλυσίδες ανά δύο όμοιες και 4 ομάδες αίμης.

Την λειτουργική ποικιλότητα των πρωτεϊνών μπορούμε να δούμε στην ζύμη ***Saccharomyces cerevisiae***, έναν απλό, μονοκύτταρο, ευκαρυωτικό οργανισμό. Το γονιδίωμα της ζύμης υπολογίζεται ότι κωδικοποιεί περίπου 6.225 πρωτεΐνες.

Οι πρωτεΐνες για τη σωστή διεκπεραίωση του ρόλου τους έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να προσδένουν κάθε μόριο από απλά ιόντα, μέχρι μεγάλα περίπλοκα μόρια όπως λίπη, σάκχαρα, νουκλεϊκά οξέα αλλά και άλλες πρωτεΐνες. Καταλύουν ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος χημικών αντιδράσεων και προσδίδουν δομική στερεότητα στο κύτταρο. Οι πρωτεΐνες ρυθμίζουν την ροή ουσιών δια των μεμβρανών, δρουν σαν αισθητήρες και διακόπτες, προκαλούν κίνηση και ρυθμίζουν την έκφραση των γονιδίων. Οι τρισδιάστατες δομές των πρωτεϊνών έχουν εξελιχθεί έτσι ώστε να μπορούν να διεκπεραιώνουν αυτές τις λειτουργικότητες με ακρίβεια. Η λειτουργικότητα μιας πρωτεΐνης οφείλεται στην τρισδιάστατη δομή της και η τρισδιάστατη δομή καθορίζεται από την αμινοξική αλληλουχία. Επομένως η σωστή αμινοξική αλληλουχία των πρωτεϊνών είναι προϋπόθεση για τη σωστή δομή και λειτουργία των κυττάρων των οργανισμών.



Αποδιάταξη, Επαναδιάταξη Πρωτεϊνικής Δομής, Πρωτεΐνες Συνοδοί (chaperones) και στερεοδιάταξη Πρωτεϊνών

Όπως προαναφέρθηκε η πρωτοταγής δομή μιας πρωτεΐνης καθορίζει την δευτεροταγή, τριτοταγή και τεταρτοταγή δομή (αν υπάρχει). Προσδιορίζοντας την πρωτοταγή δομή, το DNA προσδιορίζει επίσης τα ανώτερα επίπεδα οργάνωσης μιας πρωτεΐνης. Όμως, και

άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την τριτοταγή δομή που απαιτείται για την λειτουργικότητα της πρωτεΐνης.

Υψηλές θερμοκρασίες, αλλαγές του pH, ή αλλαγές στη συγκέντρωση άλατος, μπορεί να προκαλέσουν αλλαγή στην κανονική στερεοδιάταξη μιας πρωτεΐνης και κατά συνέπεια στην απώλεια της βιολογικής ενεργότητάς της. Παραδοσιακές τεχνικές συντήρησης τροφίμων, όπως η παρασκευή τουρσιών και παστών ψαριών, βασίζονται στην αδρανοποίηση των ενζύμων των μικροοργανισμών που υπάρχουν στα τρόφιμα, με υψηλή συγκέντρωση όξους και χλωριούχου νατρίου αντίστοιχα.

Η βιολογική ενεργότητα κάθε πρωτεϊνικού μορίου βασίζεται σε μια ειδική τριτοταγή δομή. Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί επιτάχυνση των μοριακών κινήσεων και κατά συνέπεια σπάσιμο των ασθενών δεσμών υδρογόνου και των υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων. Αλλαγές στο pH προκαλούν αλλαγές στον ιονισμό των καρβοξυλομάδων και αμινομάδων των πλευρικών αλυσίδων των αμινοξέων και έτσι διαταράσσουν τις ιοντικές έλξεις και απώσεις που συμβάλλουν στη φυσιολογική τριτοταγή δομή.

Η απώλεια της κανονικής τριτοταγούς δομής ονομάζεται **αποδιάταξη** και συνοδεύεται πάντοτε με απώλεια της φυσιολογικής βιολογικής λειτουργικότητας της πρωτεΐνης. Αποδιάταξη μπορεί να προκληθεί από θερμότητα ή μεγάλη συγκέντρωση πολικών ουσιών, όπως η ουρία που διαταράσσουν τους δεσμούς υδρογόνου. Συνήθως η αποδιάταξη είναι αντιστρεπτή, και η επαναφορά της αποδιαταγμένης πρωτεΐνης σε κανονικές συνθήκες, αποκαθιστά την κανονική δομή και λειτουργία της. Αυτό ονομάζεται **επαναδιάταξη**.

Εισαγωγή στο Μεταβολισμό

Η διατήρηση της οργάνωσης των ζώντων οργανισμών απαιτεί δαπάνη ενέργειας και επιτυγχάνεται μέσω του μεταβολισμού.

Μεταβολισμός είναι το σύνολο των χιλιάδων χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στα κύτταρα και που τα βοηθούν ν' αυξάνονται, να κινούνται, να διατηρούν σταθερή την κατάστασή τους, να επιδιορθώνουν τις βλάβες τους, ν' αναπαράγονται και ν' αντιδρούν σε ερεθίσματα. Κατά τον μεταβολισμό συμβαίνουν χημικές και ενεργειακές μετατροπές. Παρά τις μεγάλες διαφορές που εμφανίζουν τα διάφορα είδη των οργανισμών μεταξύ τους, οι μεταβολικές αντιδράσεις τους είναι σε μεγάλο βαθμό όμοιες.

Οι αντιδράσεις του μεταβολισμού μπορεί να διακριθούν σε δύο κατηγορίες:

- I. Καταβολικές αντιδράσεις: Οι χημικές ενώσεις διασπώνται και διατηρούν μέρος της ενέργειας τους με τη μορφή ATP. Στα περισσότερα είδη κυττάρων η γλυκόζη και άλλα απλά σάκχαρα μεταβολίζονται σε CO₂ και νερό και παράγεται ATP στις αντιδράσεις της κυτταρικής αναπνοής.
- II. Αναβολικές αντιδράσεις: τα κύτταρα χρησιμοποιούν την ενέργεια (ATP) και τα κατάλληλα ένζυμα για να συνθέσουν πρωτεΐνες, λιπίδια, νουκλεϊνικά οξέα, στεροειδή, υδαάνθρακες και άλλες ενώσεις από άλλα πρόδρομα μόρια. Αυτή η αναβολική φύση του μεταβολισμού είναι αρκετά πολύπλοκη, αλλά μπορούμε να περιοριστούμε αρχικά σε λίγες αλλά βασικές αρχές που διέπουν τις κυτταρικές βιοσυνθέσεις:

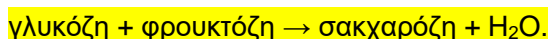
1. Κάθε κύτταρο γενικώς συνθέτει τις δικές του πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα, λιπίδια, πολυσακχαρίτες και άλλα πολύπλοκα μόρια και δεν τα παίρνει έτοιμα από άλλα κύτταρα. Το γλυκογόνο των μυών, για παράδειγμα, συντίθεται στα μυϊκά κύτταρα

- και δεν προέρχεται από το ήπαρ που συνθέτει και αυτό γλυκογόνο.
2. Κάθε βαθμίδα μιας βιοσυνθετικής διαδικασίας καταλύεται από ένα ξεχωριστό ένζυμο, που καθορίζεται γενετικά από ένα ξεχωριστό γονίδιο.
 3. Αν και ορισμένα βιοσυνθετικά στάδια μιας διαδικασίας μπορεί να συμβούν χωρίς κατανάλωση ATP, η όλη σύνθεση αυτών των πολύπλοκων μορίων είναι ενδεργονική και απαιτεί χημική ενέργεια στο μέτρο που έχουμε μετάβαση σε ανώτερης τάξης οργάνωση.
 4. Οι βιοσυνθετικές διαδικασίες χρησιμοποιούν λίγες μόνον ουσίες σα πρώτη ύλη. Αυτές είναι το ακετυλοσυνένζυμο A, η γλυκίνη, το ηλεκτρυλοσυνένζυμο A, η ριβόζη, το πυρο-σταφυλλικό οξύ και η γλυκερίνη.
 5. Οι βιοσυνθετικές διαδικασίες γενικώς δεν είναι απλά το αντίστροφο της αποικοδόμησης. Κάθε μία απ' αυτές περιλαμβάνει μια ή περισσότερες βαθμίδες που διαφέρουν από οποιαδήποτε βαθμίδα της αποικοδομητικής διεργασίας. Αυτές οι βαθμίδες καταλύονται από διαφορετικά ένζυμα, επιτρέποντας έτσι τη λειτουργία ξεχωριστών μηχανισμών ελέγχου για τη σύνθεση και αποικοδόμηση ενός μορίου.
 6. Οι βιοσυνθετικές διαδικασίες δεν περιλαμβάνουν μόνον το σχηματισμό των ποικίλων μαρκομοριακών συστατικών αλλά και το συνδυασμό τους για τη δημιουργία μεμβρανών και οργανιδίων. Σε κάθε κύτταρο τα συστατικά του μόρια βρίσκονται σε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας, δηλαδή συνεχώς συντίθεται και αποικοδομούνται.

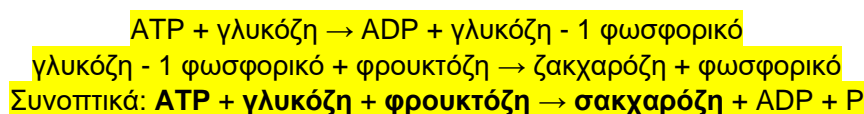
Ακόμη και ένα κύτταρο που δεν αναπτύσσεται, δεν αυξάνει δηλαδή τη μάζα του, χρησιμοποιεί σημαντικό μέρος της ολικής του ενέργειας σε βιοσυνθέσεις. Ένα γρήγορα αναπτυσσόμενο κύτταρο πρέπει να καταναίμει ένα αντίστοιχα μεγαλύτερο τμήμα της ολικής του ενέργειας σε βιοσυνθέσεις. Ένα γρήγορο αναπτυσσόμενο βακτηριακό κύτταρο, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί μέχρι και το 90% της ολικής του ενέργειας στη βιοσύνθεση πρωτεϊνών.

Σε αντιδράσεις όπου σχηματίζονται πεπτιδικόι, γλυκοζιδικόι ή εστερικόι δεσμοί, ο δεσμός δεν σχηματίζεται απλά και μόνο με απομάκρυνση ενός μορίου νερού.

Η σύνθεση σακχαρόζης στο φυτό του σακχαροκάλαμου, για παράδειγμα δεν γίνεται:



Μια τέτοια αντίδραση θα απαιτούσε ενέργεια ίση περίπου με 5,5 kcal/mol για να συμβεί, αν όλα τα αντιδρώντα μόρια βρίσκονται σε συγκέντρωση 1 mole/lit. Όμως οι συγκεντρώσεις της γλυκόζης και της φρουκτόζης στα φυτικά κύτταρα, είναι πιθανότατα μικρότερες από 0,01 mole/lit, ενώ η συγκέντρωση του νερού πολύ μεγάλη, 55 moles/lit περίπου. Με τόσο νερό το σημείο ισορροπίας της αντίδρασης θα έπρεπε να κινείται προς τ' αριστερά, προς αποικοδόμηση δηλαδή της σακχαρόζης παρά προς βιοσύνθεση. Όμως στις βιοσυνθετικές αντιδράσεις ένα από τ' αντιδρώντα μόρια ενεργοποιείται από το ATP. Το ακραίο φωσφορικό του ATP μεταφέρεται ενζυμικά στη γλυκόζη. Η φωσφογλυκόζη, με υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο από τη γλυκόζη, μπορεί ν' αντιδράσει με τη φρουκτόζη (αυτή η αντίδραση καταλύεται από άλλο ένζυμο) και δίνει σακχαρόζη και ανόργανο φωσφορικό:



Η όλη αντίδραση προχωρεί προς τα δεξιά γιατί υπάρχει καθαρή μείωση στην ενέργεια (και καθαρή αύξηση της εντροπίας).

Εισαγωγή στη Βιοσύνθεση Πληροφοριακών Μακρομορίων - Δομή Πρωτεϊνών - Μήτρες

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι, για να βιοσυντεθεί ένα βιομόριο πρέπει να υπάρχουν τα πρόδρομα μόρια, τα κατάλληλα ένζυμα και ενέργεια (ATP).

Όμως υπάρχει μια κατηγορία μακρομορίων, που ονομάζονται **πληροφοριακά** και είναι οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊνικά οξέα, η βιοσύνθεση των οποίων δεν ακολουθεί τον προηγούμενο κανόνα. Για τη σύνθεση ενός πληροφοριακού μακρομορίου, εκτός από τα ενεργοποιημένα πρόδρομα μόρια και τα κατάλληλα ένζυμα, απαιτούνται επί πλέον **μήτρες**, δηλαδή επιφάνειες μόρια, που θα δίνουν "πληροφορία" για τη σειρά με την οποία πρέπει να ενωθούν τα πρόδρομα μόρια για να σχηματισθεί το πληροφοριακό μακρομόριο.

Όπως σας είναι ήδη γνωστό, οι πρωτεΐνες είναι εξαιρετικά πολύπλοκα μακρομόρια, που αποτελούνται από 20 διαφορετικές δομικές μονάδες (αμινοξέα) τοποθετημένες σε μια σειρά (αλληλουχία), που είναι ακριβώς η ίδια για όλα τα μόρια ενός είδους πρωτεΐνης. Εκτός από το θέμα της πρωτοδιάταξης ενός πρωτεϊνικού μορίου, υπάρχει το πρόβλημα της στερεοδιάταξης, της διευθέτησης δηλαδή του πρωτεϊνικού μορίου στο χώρο. Σε μια μακρὰ πολυπεπτιδική αλυσίδα, πολλοί από τους δεσμούς επιτρέπουν ελεύθερη περιστροφή των ατόμων που συνδέουν, δίνοντας έτσι στην πρωτεΐνη μεγάλη ευκαμψία. Θεωρητικά λοιπόν, ένα πρωτεϊνικό μόριο θα μπορούσε να πάρει ένα απεριόριστο αριθμό στερεοδιατάξεων. Όμως οι περισσότερες πολυπεπτιδικές αλυσίδες παίρνουν μια συγκεκριμένη στερεοδιάταξη που καθορίζεται από την πρωτοδιάταξή τους. Και αυτό γιατί οι πλευρικές ομάδες των αμινοξέων, δημιουργούν μεταξύ τους και με το νερό ασθενείς μη ομοιοπολικούς δεσμούς, οι οποίοι λόγω μεγάλου αριθμού, καθιστούν την συγκεκριμένη στερεοδομή ιδιαίτερα σταθερή. Οι περισσότερες πρωτεΐνες παίρνουν αυθόρμητα τη σωστή τους στερεοδιάταξη, που είναι ευνοϊκότερη από θερμοδυναμική άποψη μορφή ή κατάσταση ελάχιστης ελεύθερης ενέργειας. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από πειράματα αποδιάταξης, κατά τα οποία υψηλή θερμοκρασία ή άλλος αποδιαταξικός παράγοντας καταστρέφει την τρισδιάστατη δομή και τη βιολογική δραστηριότητα. Αν οι αποδιαταγμένες πρωτεΐνες μεταφερθούν προσεκτικά στο φυσιολογικό τους περιβάλλον, μερικές μπορούν να αποκτήσουν πάλι τη σωστή τους στερεοδιάταξη και επομένως και τη βιολογική δραστηριότητά τους.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που διέπουν την αναδίπλωση των πρωτεϊνών είναι οι πολικές και μη πολικές πλευρικές ομάδες των αμινοξέων. Οι πολλές υδρόφοβες ομάδες (30 - 50% των αμινοξέων στις πρωτεΐνες είναι μη πολικά) τείνουν να μαζευτούν προς το εσωτερικό του μορίου ώστε ν' αποφεύγεται η επαφή τους με τα μόρια του νερού. Έτσι οι υδρόφοβοι δεσμοί αν και ασθενείς είναι πολύ σημαντικοί, λόγω αριθμού, για τη σταθεροποίηση της στερεοδιάταξης.

Αντίθετα οι πολικές ομάδες διευθετούνται προς το εξωτερικό του πρωτεϊνικού μορίου, όπου αλληλεπιδρούν με το νερό και άλλες πλευρικές πολικές ομάδες (ιοντικοί δεσμοί). Επειδή οι πεπτιδικοί δεσμοί είναι πολικοί, τείνουν ν' αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με τις πλευρικές ομάδες των αμινοξέων σχηματίζοντας δεσμούς υδρογόνου. Επομένως και οι δεσμοί υδρογόνου έχουν κυρίαρχο ρόλο στην σταθεροποίηση της πρωτεϊνικής δομής.

Οι πρωτεΐνες που εκκρίνονται από τα κύτταρα ή βρίσκονται στην επιφάνεια των κυττάρων, δημιουργούν συχνά πρόσθετους ομοιοπολικούς δεσμούς, όπως οι δισουλφιδικοί δεσμοί (S - S) ανάμεσα σε δύο σουλφυδρυλικές ομάδες (-SH) γειτονικών κυστεϊνών. Οι δεσμοί αυτοί σταθεροποιούν την ήδη αναδιπλωμένη αλυσίδα και δεν απαιτούνται για την εξειδικευμένη αναδίπλωση της πρωτεΐνης. Αυτό γίνεται φανερό από το γεγονός ότι, παρουσία αναγωγικού παράγοντα που παρεμποδίζει το σχηματισμό S - S δεσμών, η εξειδικευμένη αναδίπλωση του πρωτεϊνικού μορίου δεν παρεμποδίζεται. Στις πρωτεΐνες που υπάρχουν και δρουν μέσα στα κύτταρα, οι δεσμοί S - S είναι σπάνιοι γιατί

στο κυττασώλιο υπάρχουν αναγωγικοί παράγοντες σε μεγάλη συγκέντρωση. Το τελικό αποτέλεσμα όλων των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των αμινο- ξέων (υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις, δεσμοί υδρογόνου, ιοντικοί δεσμοί, -S - S δεσμοί) είναι ότι τα περισσότερα πρωτεϊνικά μόρια αναδιπλώνονται αυθόρμητα σε συγκεκριμένες στερεοδιατάξεις, συνήθως συμπαγείς και σφαιρικές, αλλά μερικές φορές επιμήκεις και ινώδεις. Εσωτερικά υπάρχουν οι υδρόφοβες ομάδες, στενά πακεταρισμένες και σε σχεδόν κρυσταλλική διεύθυνση, ενώ εξωτερικά το μόριο είναι περίπλοκο και ακανόνιστο, δίνοντας έτσι μοναδικές ιδιότητες σε κάθε είδος πρωτεΐνης.

Συμπερασματικά: Κάθε πρωτεϊνική αλυσίδα έχει μια ορισμένη πρωτογενή στερεοδιάταξη. Η στερεοδιάταξη αυτή είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης και σχηματισμού δεσμών μεταξύ των πλευρικών ομάδων των αμινοξέων. Επομένως εξαρτάται τελείως από την πρωτοδιάταξη, δηλαδή την αλληλουχία των αμινοξέων. Η στερεοδιάταξη που έχουν τα πρωτεϊνικά μόρια όταν είναι βιολογικά δραστικά, είναι η πιο ευνοϊκή από θερμοδυναμική άποψη κατάσταση, είναι δηλαδή κατάσταση ελάχιστης ελεύθερης ενέργειας και επομένως σταθερή.

Ανάγκη για μόρια μήτρες - ιδιότητες

Επειδή η πρωτοδιάταξη των πρωτεϊνών καθορίζει τη στερεοδιάταξή τους, από την οποία εξαρτάται η βιολογική δραστηριότητα των μορίων, γίνεται φανερή η σημασία των μηχανισμών πρωτεϊνοσύνθεσης που θα εξασφαλίζουν τη σύνθεση πρωτεϊνών με τη σωστή πρωτοδιάταξη.

Πρωτεϊνοσύνθεση είναι η διαδοχική σύνδεση αμινοξέων με πεπτιδικούς δεσμούς, αλλά σε μια συγκεκριμένη σειρά. Η δημιουργία συνδετικών κρίκων ανάμεσα σε δύο διαδοχικά αμινοξέα είναι σχεδόν ασήμαντο πρόβλημα και θα μπορούσε να γίνει με ένα ή λίγα σχετικά ένζυμα. Όμως η σύνδεση των αμινοξέων σε μια συγκεκριμένη αλληλουχία, θα απαιτούσε τόσα, τουλάχιστον, ένζυμα όσο και τ' αμινοξέα της πρωτεΐνης. Μα αφού και τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες, χρειάζονται και άλλα ένζυμα για να τα συνθέσουν κ.ο.κ. Κάτι τέτοιο θα ήταν παράδοξο, εκτός πια αν παραδεχόμασταν μια σειρά από αλληλοσχετιζόμενες συνθέσεις, όπου κάθε πρωτεΐνη θα μπορούσε να έχει πολλές και διαφορετικές ενζυμικές ειδικότητες. Αλλά και μ' αυτήν ακόμα την παραδοχή, θα ήταν δύσκολο να φανταστούμε ένα κύτταρο που να λειτουργεί ικανοποιητικά.

Είναι λοιπόν φυσικό να προδικάσουμε την ύπαρξη μιας ειδικής επιφάνειας που λειτουργεί σαν **μήτρα**. Η μήτρα θα μπορεί να έλκει τα αμινοξέα (ή τα ενεργοποιημένα τους παράγωγα) και να τα βάζει στη σωστή σειρά. Ύστερα ένα ειδικό ένζυμο, κοινό για τη σύνθεση όλων των πρωτεϊνών, θα μπορεί να σχηματίσει τους πεπτιδικούς δεσμούς. Πρέπει επίσης να δεχθούμε ότι οι μήτρες μπορούν να αυτοδιπλασιάζονται, ν' αντιγράφουν δηλαδή με ακρίβεια τον εαυτό τους και να σχηματίζουν καινούργιες μήτρες (γιατί αλλιώς θα καταλήγαμε στο ίδιο ενζυμικό πρόβλημα).

Έτσι λοιπόν, η ύπαρξη πρωτεϊνών προϋποθέτει αυτόματα την ύπαρξη ειδικών μορίων που δρουν σαν μήτρες. Ακόμα, οι μήτρες πρέπει να είναι μακρομόρια και να έχουν το ίδιο τουλάχιστον μέγεθος με τα παράγωγά τους και να έλκουν τα αμινοξέα. Η έλξη αυτή πρέπει να βασίζεται σε σχετικά ασθενείς δεσμούς που μπορούν να σχηματισθούν χωρίς τη συμμετοχή ενζύμων. Οι δεσμοί αυτοί είναι ιοντικοί, υδρογονικοί και δυνάμεις van der Waals.

Μια και όλες αυτές οι δυνάμεις δρουν σε κοντινές μόνον αποστάσεις, οι μήτρες μπορούν να βάλουν στη σειρά μικρά μόρια, μόνον αν βρίσκονται πολύ κοντά τους στο ατομικό επίπεδο. Έτσι, περιμένουμε οι ειδικές θέσεις στις μήτρες να έχουν το ίδιο περίπου μέγεθος με τις πλευρικές ομάδες των αμινοξέων του πρωτεϊνικού παραγώγου.

Μπορεί μια πολυπεπτιδική αλυσίδα να χρησιμεύει σαν μήτρα του εαυτού της; Αν ναι, θα ελαττώνονταν σε μεγάλο βαθμό οι χημικές προϋποθέσεις για τη συνέχιση της ζωής.

Τότε το πρόβλημα της πρωτεϊνοσύνθεσης θα ταυτιζόταν με το πρόβλημα διπλασιασμού της μήτρας. Αν όμως παρατηρήσουμε τις πλευρικές ομάδες των αμινοξέων, δεν μπορούμε να υποστηρίξουμε μια τέτοια ιδέα. Δεν υπάρχει π.χ. κανένας χημικός λόγος που θα έκανε ένα μόριο βαλίνης πάνω στη μήτρα να έλκει εκλεκτικά την ειδική πλευρική ομάδα μιας άλλης βαλίνης. Πράγματι, καμιά αμινοξική πλευρική ομάδα δεν έχει εκλεκτική συγγένεια για τον εαυτό της. Πολύ πιο εύκολα φανταζόμαστε μόρια με αντίθετα ή συμπληρωματικά χαρακτηριστικά να έλκουν το ένα το άλλο. Τα άτομα υδρογόνου χρησιμεύουν για το σχηματισμό υδρογονικών δεσμών μόνο με ηλεκτραρνητικά άτομα. Κατά παρόμοιο τρόπο, τα μόρια μπορούν να έλκονται με δυνάμεις van der Waals μόνον όταν διαθέτουν συμπληρωματική μορφή.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχει θεωρητικά ένας τρόπος που θα μπορούσαν οι πρωτεΐνες να είναι μήτρες. Θα μπορούσαμε να φαντασθούμε 20 διαφορετικά ειδικά μόρια που θα τα λέγαμε "συνδέσμους". Καθένα απ' αυτά θα έπρεπε να έχει απαράλλαχτες επιφάνειες συμπληρωματικές ως προς το φορτίο ή το σχήμα μ' ένα ορισμένο αμινοξύ. Με τη μεσολάβηση των συνδέσμων και μιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας που θα χρησίμευε για μήτρα θα ήταν δυνατό να μπουν τα αμινοξέα στη σειρά. Δεν υπάρχει όμως καμιά ένδειξη για την ύπαρξη τέτοιων μορίων συνδέσμων.

Ο λόγος που οι πρωτεΐνες δεν παίζουν ρόλο μήτρας μπορεί να αναζητηθεί στη σύσταση των αμινοξικών πλευρικών ομάδων. Καμιά μήτρα δεν θα ήταν δυνατό να αντιγράψει με την ακρίβεια που απαιτείται για μια αποδοτική κυτταρική λειτουργία, αν η ειδικότητά της βρισκόταν σε άμεση εξάρτηση από τη συμπληρωματικότητα πλευρικών ομάδων αμινοξέων σαν τη βαλίνη ή αλανίνη. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι μερικά αμινοξέα μοιάζουν πολύ από χημική άποψη. Η ισολευκίνη π.χ. διαφέρει από τη βαλίνη μόνο στο ότι έχει μια μεθυλενική ομάδα παραπάνω. Το ίδιο ισχύει και για τη γλυκίνη και την αλανίνη. Αυτή η μεγάλη χημική ομοιότητα θέτει αυτόματα το ερώτημα αν μια διαδικασία αντιγραφής μπορεί να έχει ικανοποιητική ακρίβεια ώστε να ξεχωρίζει τόσο στενά συγγενικά μόρια. Μέχρι ένα σημείο η απάντησή μας εξαρτάται από τι εννοούμε όταν λέμε "να έχει ικανοποιητική ακρίβεια". Κάνοντας μια καλή υπόθεση, (που στηρίζεται σε γενετικά δεδομένα), θα λέγαμε πως ένα αμινοξύ που μετέχει σ' ένα μόριο με κληρονομικές ιδιότητες πρέπει να αντιγράφεται με μια ακρίβεια, που να μην επιτρέπει πάνω από ένα λάθος στα 10^8 . Από την άλλη μεριά, θα μπορούσε κανείς να χρησιμοποιήσει ένα σχετικά αυστηρό χημικό επιχείρημα και να υποστηρίξει πως δεν υπάρχει χημική αντίδραση που να κάνει διάκριση ανάμεσα σε μόρια που διαφέρουν μόνον σ' ένα μεθυλένιο, με ακρίβεια μεγαλύτερη από ένα στο εκατομμύριο. Μα ακόμη αν ελέγξουμε την ακρίβεια κατά την πρωτεϊνοσύνθεση, θα παρατηρήσουμε πως μερικά αμινοξέα τοποθετούνται στις πολυπεπτιδικές αλυσίδες με ακρίβεια μόνον 99,9% (ένα λάθος στα χίλια). Οι πρωτεΐνες, λοιπόν, δεν φαίνονται να παίζουν ούτε να έχουν τη δυνατότητα να παίξουν το ρόλο μορίων με κληρονομικές ιδιότητες. **Το ρόλο αυτό παίζουν τα μόρια DNA.**