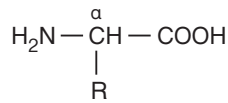


ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ

ΔΟΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ: ΑΜΙΝΟΞΕΑ

Οι πρωτεΐνες είναι βιοπολυμερή. Είναι δηλαδή μακρομόρια που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες (δομικές) μονάδες. Οι δομικές μονάδες των πρωτεϊνών είναι τα **α-αμινοξέα**. Ως α-αμινοξέα χαρακτηρίζονται αμινοξέα στα οποία η αμινομάδα βρίσκεται συνδεδεμένη στον α-άνθρακα του καρβοξυλικού οξέος.

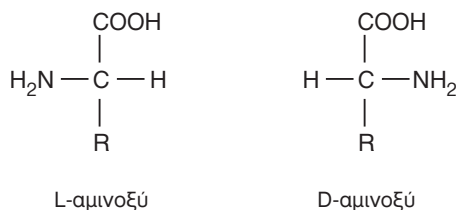


α-αμινοξύ

Τα **είκοσι** α-αμινοξέα που συνδυάζονται για να σχηματίσουν τις πρωτεΐνες διαφέρουν μεταξύ τους στην ομάδα R και δίνονται στον πίνακα 1.

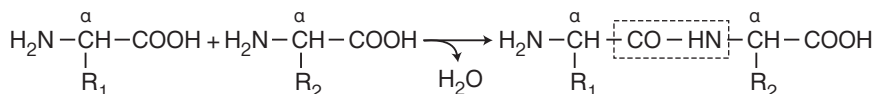
Εκτός από την ονομασία των αμινοξέων έχουν υιοθετηθεί και δύο είδη συμβολισμών με χρήση τριών μικρών γραμμάτων του λατινικού αλφαβήτου ή ενός κεφαλαίου γράμματος.

Σε όλα τα αμινοξέα, εκτός από τη γλυκίνη, στην οποία η ομάδα R είναι το υδρογόνο, H, το **άτομο του α-C** είναι **ασύμμετρο**. Ως ασύμμετρο χαρακτηρίζεται ένα άτομο C το οποίο είναι συνδεδεμένο με τέσσερις διαφορετικούς υποκαταστάτες. Οι ενώσεις που διαθέτουν ασύμμετρο άτομο άνθρακα παρουσιάζουν **στερεοϊσομέρεια**. Μπορούν να υπάρξουν σε δύο μορφές που ενώ έχουν τον ίδιο μοριακό και συντακτικό τύπο, έχουν διαφορετική διάταξη στο χώρο. Οι δύο μορφές έχουν τέτοια διάταξη στο χώρο ώστε να αποτελεί η μία οπτικό είδωλο της άλλης. Χαρακτηρίζονται ως **οπτικοί αντίποδες** ή **εναντιομερή** και συμβολίζονται ως **D** και **L**. Αν και οι χημικές ιδιότητες των δύο εναντιομερών είναι ίδιες, διαφέρουν μεταξύ τους σε ορισμένες φυσικοχημικές ιδιότητες όπως η γωνία στροφής του πολωμένου φωτός. Σε βιολογικό επίπεδο η διαφορά τους γίνεται ιδιαίτερα αισθητή καθώς αναγνωρίζεται από τα ένζυμα. Όλα τα αμινοξέα που συμμετέχουν στη δομή των πρωτεϊνών ανήκουν στην **L-μορφή**. Συμβατικά οι D και L δομές των α-αμινοξέων συμφωνήθηκε να συμβολίζονται με τους παρακάτω κατοπτρικούς συντακτικούς τύπους:

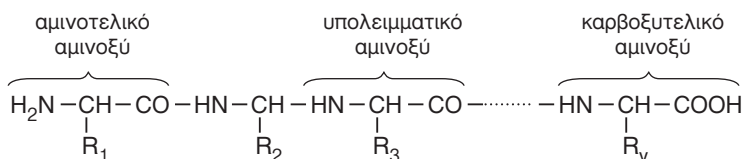


Σχήμα 4. Εναντιομερείς μορφές αμινοξέων.

Τα αμινοξέα ενώνονται μεταξύ τους με τη δημιουργία **πεπτιδικών δεσμών**. Οι πεπτιδικοί δεσμοί δημιουργούνται με αντίδραση μεταξύ της καρβοξυλικής ομάδας ενός αμινοξέος και της αμινομάδας ενός άλλου αμινοξέος με ταυτόχρονη απομάκρυνση ενός μορίου νερού.



Ένα μόριο που αποτελείται από δύο αμινοξέα ενωμένα μεταξύ τους με πεπτιδικό δεσμό χαρακτηρίζεται ως **διπεπτίδιο**, αν αποτελείται από τρία αμινοξέα χαρακτηρίζεται ως **τριπεπτίδιο** και αν αποτελείται από πολλά αμινοξέα ως **πολυπεπτίδιο**. Οι πρωτεΐνες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα πολυπεπτίδια με εκατοντάδες αμινοξέα που χαρακτηρίζονται ως **πολυπεπτιδικοί αλυσιοί**.



Σχήμα 5. Πολυπεπτίδιο.

Το ακραίο αμινοξύ ενός πολυπεπτιδίου που έχει ελεύθερη αμινομάδα χαρακτηρίζεται ως **αμινοτελικό**. Ο ίδιος χαρακτηρισμός προσδίδεται στο αντίστοιχο άκρο του πεπτιδίου (amino-terminal ή N-terminal). Το ακραίο αμινοξύ που έχει ελεύθερη καρβοξυλομάδα χαρακτηρίζεται ως **καρβοξυτελικό** αμινοξύ. Ο χαρακτηρισμός προσδίδεται επίσης στο αντίστοιχο άκρο του πεπτιδίου (carboxy-terminal ή C-terminal). Τα ενδιάμεσα αμινοξέα που συμμετέχουν σε πολυπεπτιδική αλυσίδα χαρακτηρίζονται **υπολειμματικά αμινοξέα** (aminoacid remnants).

Τα **πεπτιδία** γράφονται πάντα με το αμινοτελικό τους άκρο στα αριστερά και το καρβοξυτελικό άκρο στα δεξιά.

Κατηγορίες αμινοξέων

Ανάλογα με την ομάδα R που διαθέτουν τα αμινοξέα χωρίζονται σε κατηγορίες.

Ο σημαντικότερος διαχωρισμός των αμινοξέων είναι σε **ουδέτερα**, σε **όξινα ή αρνητικά φορτισμένα** και σε **βασικά ή θετικά φορτισμένα**. Τα περισσότερα αμινοξέα είναι ουδέτερα δηλαδή διαθέτουν πλευρική αλυσίδα που δεν έχει όξινες ή βασικές ιδιότητες και δεν φορτίζεται θετικά ή αρνητικά σε ουδέτερο pH (pH 7). Υπάρχουν όμως **δύο αμινοξέα, το ασπαρτικό (ασπαραγινικό) και το γλουταμικό (γλουταμινικό)**, η πλευρική αλυσίδα των οποίων περιέχει καρβοξυλική ομάδα και άρα έχει **όξινες ιδιότητες**. Τα αμινοξέα αυτά χαρακτηρίζονται και ως αρνητικά φορτισμένα γιατί έχουν ολικό αρνητικό φορτίο σε ουδέτερο pH εξαιτίας του αρνητικού φορτίου που αποκτά η πλευρική τους αλυσίδα. Τέλος υπάρχουν **τρία αμινοξέα, η λυσίνη, η αργινίνη και η ιστιδίνη** των οποίων οι πλευρικές αλυσίδες έχουν **βασικές ιδιότητες**. Τα αμινοξέα αυτά έχουν ολικό θετικό φορτίο σε ουδέτερο pH.

Τα ουδέτερα αμινοξέα της προηγούμενης κατηγορίας μπορούν να χωριστούν επίσης σε **πολικά (υδροφιλα)** και **μη πολικά (υδρόφοβα)**. Στα πολικά αμινοξέα συγκαταλέγονται όλα τα αμινοξέα που περιέχουν στην πλευρική τους αλυσίδα οξυγόνο, O, ή άζωτο, N, εξαιτίας του έντονου ηλεκτραρνητικού χαρακτήρα των ατόμων αυτών. Επίσης στα πολικά ανήκει η κυστεΐνη που περιέχει σουλφυδρυλο ομάδα, -SH. Εξαιρέση αποτελεί το αμινοξύ τρυπτοφάνη το οποίο παρ'ότι περιέχει N στην πλευρική αλυσίδα, ανήκει στα μη πολικά αμινοξέα εξαιτίας του ογκώδους υδρόφοβου φαινυλίου που προεξέχει και δεν επιτρέπει στο N να αλληλεπιδρά εύκολα με άλλα πολικά μόρια ή ομάδες.

Πολλά αμινοξέα μπορούν να καταταγούν και σε άλλες μικρότερες ομάδες όπως:

Υδροξυαμινοξέα: αμινοξέα που περιέχουν OH (σερίνη, θρεονίνη)

Θειούχα αμινοξέα: αμινοξέα που περιέχουν S (κυστεΐνη, μεθειονίνη)

Ιμινοξέα: αμινοξέα που περιέχουν ιμινοομάδα (προλίνη)

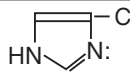
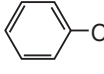
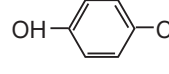
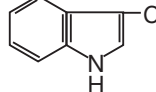
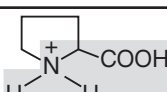
Δικαρβοξυλικά αμινοξέα και τα αμιδιά τους: ασπαρτικό, γλουταμικό, ασπαραγίνη, γλουταμίνη

Αρωματικά αμινοξέα: αμινοξέα που περιέχουν αρωματικό (βενζολικό) δακτύλιο (φαλυλαλανίνη, τυροσίνη, τρυπτοφάνη)

Αλειφατικά αμινοξέα: γλυκίνη, αλανίνη, βαλίνη, λευκίνη, ισολευκίνη.

Πίνακας 1. Αμινοξέα

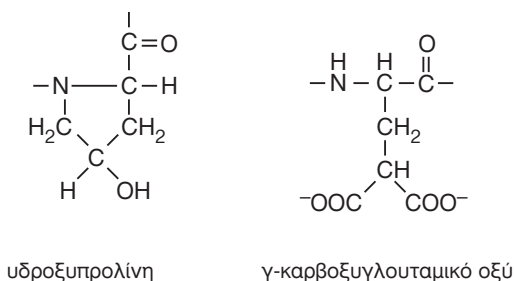
Αμινοξύ	Σύμβολο	Δομή
Αλειφατικά αμινοξέα		
Γλυκίνη Glycine	Gly-G	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Αλανίνη Alanine	Ala-A	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Βαλίνη Valine	Val-V	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} - \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2$
Λευκίνη Leucine	Leu-L	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} - \text{CH}_2 - \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2$
Ισολευκίνη Isoleucine	Ile-I	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} - \text{CH}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2$
Μη αρωματικά υδροξυ-αμινοξέα		
Σερίνη Serine	Ser-S	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Θρεονίνη Threonine	Thr-T	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH} \\ \diagup \\ \text{HO} \end{array} - \text{CH}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2$
Θειούχα αμινοξέα		
Κυστεΐνη Cysteine	Cys-C	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Μεθειονίνη Methionine	Met-M	$\text{H}_3\text{C}-\text{S}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2$

Αμινοξύ	Σύμβολο	Δομή
Όξινα αμινοξέα και τα αμίδια τους		
Ασπαρτικό ή ασπαραγινικό οξύ Aspartic Acid	Asp-D	$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Ασπαριγίνη Asparagine	Asn-N	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Γλουταμικό ή γλουταμινικό οξύ Glutamic Acid	Glue-E	$\text{HOOC}-\overset{\gamma}{\text{CH}_2}-\overset{\beta}{\text{CH}_2}-\overset{\alpha}{\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}}-\text{COOH}$
Γλουταμίνη Glutamine	Gln-Q	$\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Βασικά αμινοξέα		
Αργινίνη Arginine	Arg-R	$\text{HN}-\underset{\text{C}=\text{NH}}{\underset{\text{NH}_2}{\text{N}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Λυσίνη Lysine	Lys-K	$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Ιστιδίνη Histidine	His-H	 $\text{HN}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Αρωματικά αμινοξέα		
Φαινυλαλανίνη Phenylalanine	Phe-F	 $\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Τυροσίνη Tyrosine	Tyr-Y	 $\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Τρυπτοφάνη Tryptophan	Trp-W	 $\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Ιμινοξέα		
Προλίνη Proline	Pro-P	

Σε γκρι φόντο εμφανίζονται τα υδρόφοβα αμινοξέα

Τροποποιημένα αμινοξέα

Σε ορισμένες πρωτεΐνες απαντώνται αμινοξέα των οποίων οι πλευρικές αλυσίδες δεν αντιστοιχούν σε κανένα από τα είκοσι αμινοξέα που αναφέραμε. Τα αμινοξέα αυτά προκύπτουν με τροποποίηση μετά τη σύνθεση της πρωτεΐνης (μετα-μεταφραστική τροποποίηση). Τέτοια αμινοξέα είναι π.χ. η υδροξυπρολίνη, η υδροξυ-λυσίνη, η αλυσίνη, το γ-καρβοξυγλουταμικό οξύ κλπ.



Σχήμα 6. Παραδείγματα αμινοξέων που υπέστησαν μετα-μεταφραστική τροποποίηση.

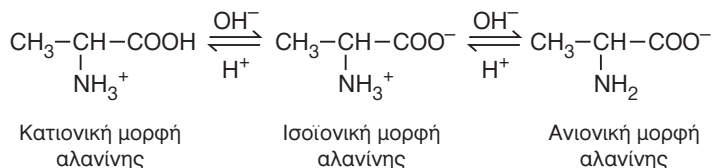
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΜΙΝΟΞΕΩΝ

Φαρματοσκοπικές ιδιότητες

Τα αρωματικά αμινοξέα, φαινυλαλανίνη, τυροσίνη και τρυπτοφάνη, απορροφούν στο υπεριώδες σε μήκος κύματος περίπου 280 nm.

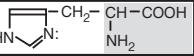



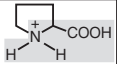
Ισοηλεκτρικό σημείο

Τα αμινοξέα, ανεξάρτητα από την ομάδα R, περιέχουν μια όξινη ομάδα, την καρβοξυλομάδα και μια βασική ομάδα την αμινομάδα. Κατά συνέπεια μπορούν να δράσουν ως οξέα και ως βάσεις. Τα ουδέτερα αμινοξέα όπως η γλυκίνη σε υδατικό διάλυμα εμφανίζονται με την μορφή διπολικού ιόντος.



Η καρβοξυλομάδα χάνει ένα πρωτόνιο το οποίο προσλαμβάνεται από την αμινομάδα. Στην περίπτωση αυτή το συνολικό φορτίο του αμινοξέος είναι

Πίνακας 2. Ισοηλεκτρικά σημεία αμινοξέων

Αμινοξύ	Δομή	pK ₁ (COOH)	pK ₂ (NH ₂)	pK _R	Ι.Σ.
Γλυκίνη	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.4	9.8		5,97
Αλανίνη	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.4	9.9		6,00
Βαλίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.2	9.7		5,96
Λευκίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.3	9.7		5,98
Ισολευκίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2 \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.3	9.8		6,02
Σερίνη	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.2	9.2	~13	5,68
Θρεονίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \diagup \\ \text{HO} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.1	9.1	~13	6,53
Κυστεΐνη	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	1.9	10.8	8.3	5,07
Μεθειονίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{S}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.1	9.3		6,53
Ασπαρτικό οξύ	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.0	9.9	3.9	2,77
Ασπαραγίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.1	8.8		5,41
Γλουταμικό οξύ	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.1	9.5	4.1	3,22
Γλουταμίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.2	9.1		5,65
Αργινίνη	$\begin{array}{c} \text{HN}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{C}=\text{NH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	1.8	9.0	12.5	10,76
Λυσίνη	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.2	9.2	10.8	9,76
Ιστιδίνη	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ 	1.8	9.2	6.0	7,59
Φαινυλαλανίνη	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ 	2.2	9.2		5,48
Τυροσίνη	$\begin{array}{c} \text{OH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ 	2.2	9.1	10.1	5,66
Τρυπτοφάνη	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ 	2.4	9.4		5,89
Προλίνη	$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{N}^+ \\ \\ \text{H} \end{array}$ 	2.0	10.6		6,30

μηδέν. Σε όξινα διαλύματα ιοντίζεται μόνο η αμινομάδα προσλαμβάνοντας ένα πρωτόνιο και το συνολικό φορτίο του αμινοξέος είναι θετικό ενώ σε αλκαλικά διαλύματα διύσταται η καρβοξυλομάδα και το συνολικό φορτίο του αμινοξέος είναι αρνητικό.

Το συνολικό φορτίο του αμινοξέος εξαρτάται από το pH. Το pH στο οποίο το συνολικό φορτίο ενός αμινοξέος είναι μηδέν χαρακτηρίζεται ως **ισοηλεκτρικό σημείο του αμινοξέος, pI**.

Το ισοηλεκτρικό σημείο εξαρτάται από τις τιμές pK της καρβοξυλικής ομάδας (pK_{COOH}), της αμινομάδας (pK_{NH_2}) της ομάδας R. Τα ουδέτερα αμινοξέα έχουν ισοηλεκτρικό σημείο γύρω στο 6. Τα όξινα αμινοξέα έχουν χαμηλό ισοηλεκτρικό σημείο και τα αλκαλικά υψηλό.

Όπως προκύπτει από τον ορισμό του ισοηλεκτρικού σημείου, σε pH μεγαλύτερο του ισοηλεκτρικού σημείου τα αμινοξέα είναι φορτισμένα αρνητικά ενώ σε pH μικρότερο του ισοηλεκτρικού σημείου είναι φορτισμένα θετικά.

Χημικές ιδιότητες αμινοξέων

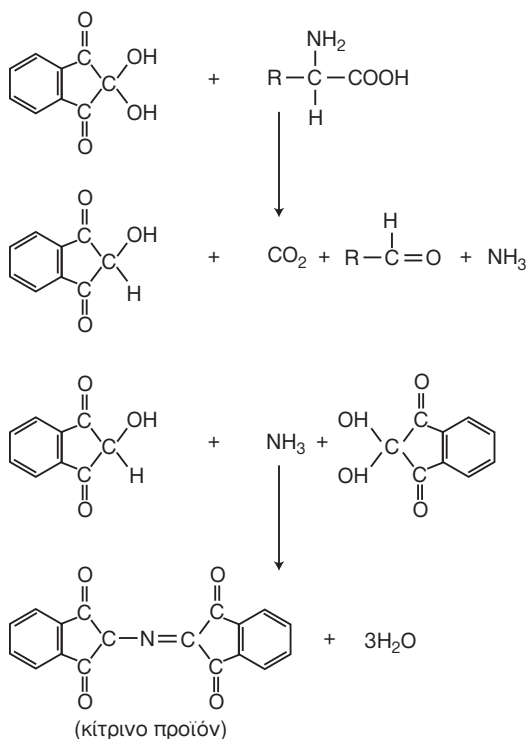
Τα αμινοξέα, ως οργανικά οξέα που είναι μπορούν να συμμετέχουν σε αντιδράσεις με την καρβοξυλομάδα τους όπως οι **αντιδράσεις εξουδετέρωσης**. Επίσης μπορούν να αντιδράσουν ως αμίνες δίνοντας **βάσεις του Schiff**. Η αντίδραση χρησιμοποιείται για την αδρανοποίηση της αμινομάδας πριν να γίνει ποσοτικός προσδιορισμός αμινοξέων με εξουδετέρωση.

Οι **πλευρικές αλυσίδες ορισμένων αμινοξέων** μπορούν να δώσουν ειδικές αντιδράσεις ορισμένες από τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διάκριση μεταξύ των αμινοξέων (ποιοτικός προσδιορισμός αμινοξέων). Αναφέρουμε ενδεικτικά την αντίδραση **Sakaguchi** (αντίδραση **αργινίνης**), την αντίδραση **Millon** (αντίδραση **τυροσίνης**). Ειδικές αντιδράσεις δίνουν και τα θειούχα αμινοξέα.

Μία αντίδραση που δίνουν όλα τα αμινοξέα πλην της προλίνης είναι η **αντίδραση νυνυδρίνης** που χρησιμοποιείται ευρέως για τον ποσοτικό προσδιορισμό των αμινοξέων. Πρόκειται για αντίδραση οξειδωτικής απαμίνωσης που οδηγεί στη δημιουργία κίτρινου προϊόντος.

Δομή πρωτεϊνών

Η ανώτερη διαμόρφωση των πρωτεϊνών είναι άμεσα συνδεδεμένη με το έργο που επιτελεί το πρωτεϊνικό μόριο. Στις πρωτεΐνες διακρίνουμε τέσσερα επίπεδα οργάνωσης: την πρωτοταγή, τη δευτεροταγή, την τριτοταγή και την τεταρτοταγή δομή.



Σχήμα 7. Αντίδραση νινυδρίνης.

Πρωτοταγής δομή των πρωτεϊνών

Ο αριθμός, το είδος και η σειρά των αμινοξέων που ενώνονται με πεπτιδικούς δεσμούς για να σχηματίσουν μια πρωτεΐνη είναι σταθερά και χαρακτηριστικά για τη συγκεκριμένη πρωτεΐνη και αποτελούν τη λεγόμενη **πρωτοταγή δομή** της πρωτεΐνης.

Ορισμένες πρωτεΐνες είναι δυνατόν να αποτελούνται από περισσότερες από μία πεπτιδικές αλυσίδες. Κάθε αλυσίδα έχει τη δική της χαρακτηριστική πρωτοταγή δομή.

Η πρωτοταγής δομή μιας πρωτεΐνης περιγράφεται συνήθως με χρήση των απλούστερων (ενός χαρακτήρα) συμβόλων των αμινοξέων. Η γραφή αρχίζει από το αμινοτελικό άκρο και συνεχίζεται προς το καρβοξυτελικό.

Έτσι μία πρωτεΐνη που στο αμινοτελικό άκρο της απαντώνται κατά σειρά τα αμινοξέα ασπαραγινικό, λευκίνη, ιστιδίνη, γλυκίνη, προλίνη, γλουταμινικό κλπ. Μπορεί να γραφεί:

Asp-Leu-His-Gly-Pro-Glu.....
ή απλούστερα DLHGPE.....

Παρακάτω δίνεται η αμινοξική ακολουθία της πρωτεΐνης τρανσφερίνη που αποτελείται από 641 αμινοξέα.

1 mmsphkthtw lplavaalll ilgrqssælae epiyrlc vrp iylaecqll adpseagirm
61 ecvagrdrvd clelieqrka dvlatepedm yiayhrkned yrwiseirtq qdkdaafrye
121 giilvkkdsp irtlqqlrga kschtgfgm vgykipitkl knthvlkvsd dpqisatere
181 lkslsefttq sclvgtysth petdrllkkk yanlcalcek peqcnypdkf sgydgairc
124 l dkgqge vafs kvqykkyfg lpgagpdapp aegnpnfey lcedgtrrvn tgpacswaqr
301 pwsyvisneq a vhnseqhlq lqsrlerffa nglqaqnkda aahlliqpna vyhskdaaid
361 pkvylteragy kdvierdgsa irkirlcaqn ddefakcqal hqaayardar pelecqvst
421 cvvaltkkea dltivratgy adarsnqlqp iveqraqdd vlvavaapgv trealqkasi
481 kfncencersr aaaallnkrr gldacrsvss ddgeqvivpa selekhkdaq lvcpslerrp
541 vtdfrcnvd vqlprairfir sdttsveqet vkhflslisd kfgargklvd vfallgefqk
601 gkknvyfndk a avqlttelkn eiqneqiytd lqcnankiak q

Δευτεροταγής δομή των πρωτεϊνών

Οι πολυπεπτιδικές αλυσίδες από τις οποίες αποτελούνται οι πρωτεΐνες αναδιπλώνονται ή περιελίσσονται στο χώρο. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτή η αναδίπλωση ή περιέλιξη χαρακτηρίζεται ως **δευτεροταγής δομή** των πρωτεϊνών.

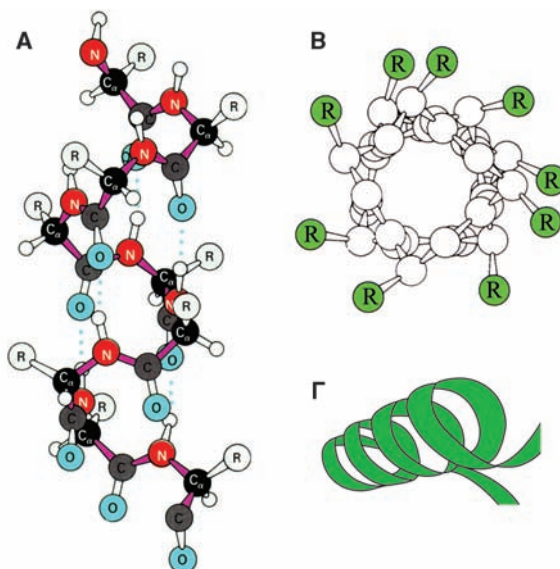
Δύο είναι οι χαρακτηριστικές δομές στις οποίες απαντώνται οι πρωτεΐνες όσον αφορά τη δευτεροταγή τους δομή. Η δομή της **α-έλικας** και η δομή του **β-ελάσματος ή β-φύλλου ή πριονωτή δομή**.

Η δευτεροταγής δομή σταθεροποιείται με δημιουργία **δεσμών υδρογόνου** μεταξύ του **H** της **αμινοομάδας** και του **O** της **καρβονυλικής ομάδας** των **αμιδικών δεσμών** ($C=O^{\delta-} \cdots \delta^+ H-N$).

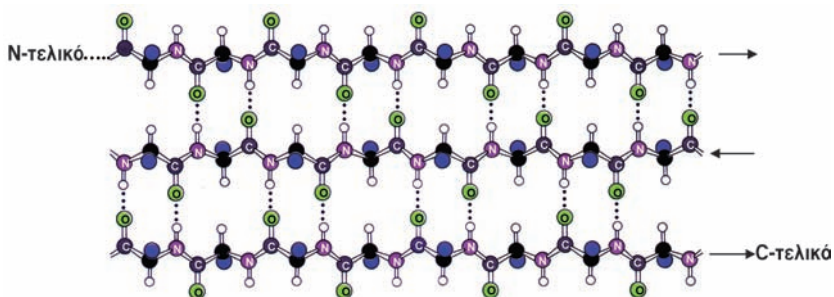
Στη δομή α-έλικας οι δεσμοί υδρογόνου σχηματίζονται ανάμεσα σε γειτονικούς πεπτιδικούς δεσμούς της ίδιας αλυσίδας. Οι α-έλικες που παρατηρούνται στις φυσικές πρωτεΐνες είναι δεξιόστροφες. Στη δομή του β-ελάσματος οι δεσμοί υδρογόνου σχηματίζονται μεταξύ των απόμων πεπτιδικών δεσμών δύο διαφορετικών αλυσίδων ή απομακρυσμένων τμημάτων της ίδιας αλυσίδας που τοποθετούνται παράλληλα το ένα στο άλλο με αντίθετη φορά.

Τα τμήματα των πολυπεπτιδικών αλυσίδων που συμμετέχουν σε δομή β-φύλλου συμβολίζονται με βέλη με φορά από το αμινοτελικό προς το καρβοξυτελικό άκρο.

Σημειώνεται ότι τμήματα μιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας μπορεί να έχουν



Σχήμα 8. Α. δομή α-έλικας, Β. κάτοψη α-έλικας, Γ. συμβολισμός α-έλικας, R: πλευρικές αλυσίδες αμινοξέων) (61).



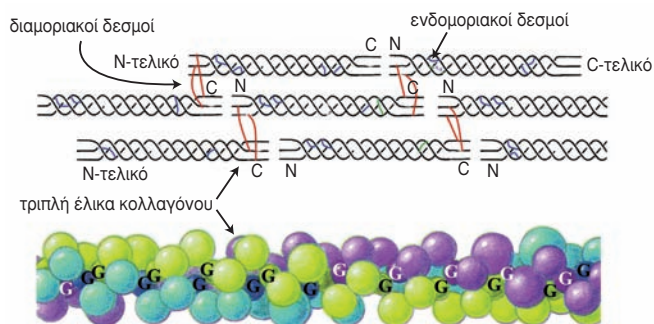
Σχήμα 9. Δομή β-φύλλου (59).



Σχήμα 10. Συμβολισμός δομής β-φύλλου.

δευτεροταγή δομή α-έλικας ενώ άλλα τμήματα της ίδιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας μπορεί να έχουν δομή β-φύλλου. Τμήματα πολυπεπτιδικής αλυσίδας που περιέχουν πολλές μικρές, μη πολικές ομάδες R σχηματίζουν δομή α-έλικας. Το αμινοξύ προλίνη σηματοδοτεί συνήθως τη διακοπή μιας δευτεροταγούς δομής γιατί το άζωτο, N, του πεπτιδικού δεσμού που σχηματίζει δεν έχει υδρογόνο, H, για να συμμετέχει σε δεσμό υδρογόνου.

Εκτός από τις δομές α-έλικας και β-φύλλου που απαντώνται σε όλες τις πρωτεΐνες, υπάρχει μία τρίτη δομή που απαντάται μόνο στο κολλαγόνο και αντιστοιχεί σε δεξιόστροφη τριπλή έλικα, που αποτελείται από τρεις πεπτιδικές αλυσίδες κολλαγόνου (α-αλυσίδες), κάθε μία από τις οποίες περιστρέφεται αριστερόστροφα.



Σχήμα 11. Δομή κολλαγόνου (10).

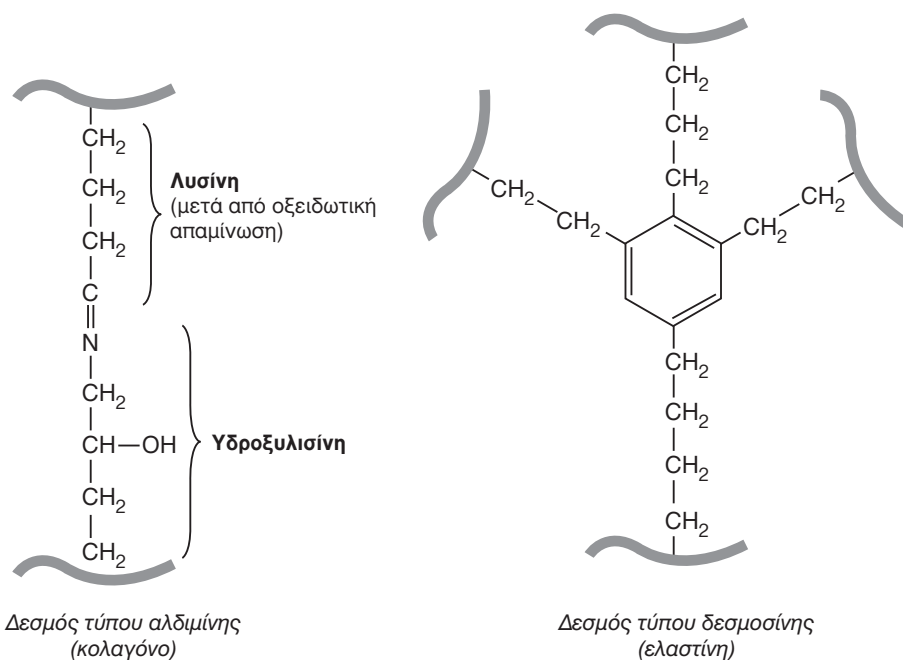
Τριτοταγής διαμόρφωση των πρωτεϊνών

Η τριτοταγής δομή των πρωτεϊνών αφορά αναδιπλώσεις των πρωτεϊνικών αλυσίδων πάνω στον εαυτό τους. Η αναδίπλωση πραγματοποιείται σε σημεία που δεν ευνοείται η δομή α-έλικας και σταθεροποιείται από αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων των πρωτεϊνών. Οι δεσμοί που συγκρατούν την τριτοταγή διαμόρφωση των πρωτεϊνών σχηματίζονται μεταξύ των **πλευρικών αλυσίδων** και είναι:

- **ιοντικοί δεσμοί** μεταξύ αντίθετα φορτισμένων ομάδων,
- **αλληλεπιδράσεις μεταξύ πολικών ομάδων**
- **δεσμοί υδρογόνου** και
- **υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις** (δεσμοί Van Der Waals).

Εκτός των δεσμών που προαναφέραμε μπορεί να πραγματοποιηθούν

- **ομοιοπολικοί δεσμοί** μεταξύ ορισμένων πλευρικών ομάδων.

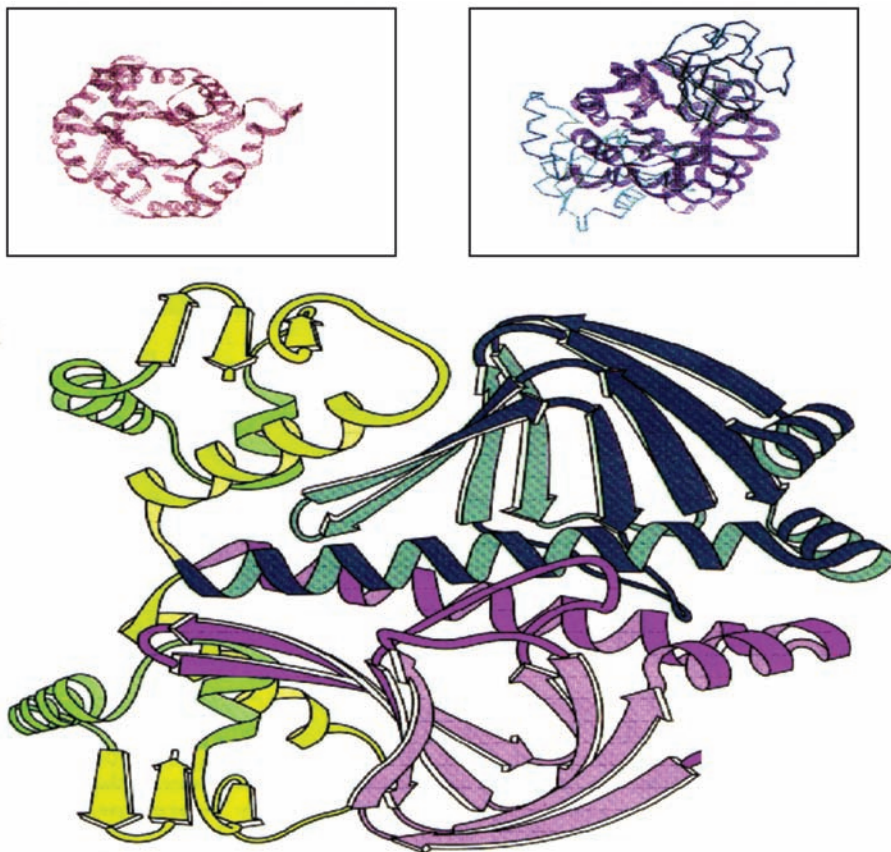


Σχήμα 13. Δομές τύπου αλδιμίνης και δεσμοσίνης.

ση που παρατηρείται στα βοοειδή όταν φάνε το γλυκό μπιζέλι *Lathyrus odoratus* οφείλεται σε έλλειψη δεσμών τύπου αλδιμίνης επειδή μία τοξίνη που υπάρχει στο μπιζέλι αναστέλλει το ένζυμο που δημιουργεί τους δεσμούς αυτούς. Σαν αποτέλεσμα της κατάστασης αυτής παρατηρείται ελλειπής και ανώμαλη ανάπτυξη του σκελετού.

Τεταρτοταγής δομή των πρωτεϊνών

Στην περίπτωση πρωτεϊνών που αποτελούνται από **περισσότερες από μία πεπτιδικές αλυσίδες (υπομονάδες)**, αυτές συμπλέκονται μεταξύ τους και η διαμόρφωση που προκύπτει σταθεροποιείται επίσης από ιοντικούς δεσμούς, δεσμούς υδρογόνου, υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις, αλληλεπιδράσεις διπλόων και ομοιοπολικούς δεσμούς μεταξύ των πλευρικών ομάδων αμινοξέων των δύο ή περισσότερων πολυπεπτιδικών αλυσίδων. Η διαμόρφωση αυτή καλείται **τεταρτοταγής διαμόρφωση** της πρωτεΐνης. Από την τεταρτοταγή διαμόρφωση μιας πρωτεΐνης εξαρτάται κυρίως η λειτουργικότητά της. Τυχόν αλλαγή στην πρωτοταγή δομή μιας πρωτεΐνης μπορεί να μην επηρεάζει τη λειτουργικότητά της αν δεν έχει καμία επίπτωση στην τεταρτοταγή διαμόρφωση της πρωτεΐνης.



Σχήμα 14. Τριτοταγής δομή πρωτεϊνών (σχήματα των Bruce Tidor, Jane Richardson) (18)

και αν δε μεταβληθεί το είδος και οι αποστάσεις των αμινοξέων στην περιοχή αλληλεπίδρασης της πρωτεΐνης με τα μόρια στόχους, με τα οποία αλληλεπιδρά για να επιλέσει το έργο της.

Πεμπτοταγής δομή των πρωτεϊνών

Σε περιπτώσεις που περισσότερες της μίας πρωτεΐνες είναι απαραίτητο να συνεργαστούν για την επιτέλεση μιας λειτουργίας, οι πρωτεΐνες αυτές συμπλέκονται μεταξύ τους σε ένα συμπαγές σύστημα. Η θέση κάθε πρωτεΐνης στο σύστημα είναι πολύ καθορισμένη. Τέτοιες διαμορφώσεις χαρακτηρίζονται ως πεμπτοταγής δομή των πρωτεϊνών.