

фундаментальные процессы — подавляющему большинству организмов свойственно дыхание, приводящее к окислению органических соединений до углекислого газа и воды. Разнообразие организмов определяется разнообразием комбинаций одних и тех же соединений и атомных групп и разнообразием их соотношений в пространстве и времени.

Химическая гетерогенность живой системы означает не только наличие различных молекул в клетках. Для жизни обязательна пространственная гетерогенность, т.е. разделение веществ в пространстве полупроницаемыми перегородками — мембранами, и наличие концентрационных градиентов.

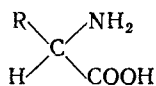
В обычной химии малые различия в строении молекул, например различие между метильной группой и этильной, не сказываются существенным образом на свойствах сложной молекулы. В биоорганической химии малые различия между молекулами имеют важное значение. Особенно существенны конформационные различия, возникающие в результате поворотов вокруг единичных связей. Химия сравнительно недавно обратилась к изучению конформаций. Между тем, именно конформационные свойства определяют биологическую функциональность биополимеров, равно, как и малых молекул.

Таким образом, жизнь характеризуется химической индивидуализацией молекул, не имеющей особого значения в обычной химии. Биологические молекулы и макромолекулы имеют строго определенные состав и химическое строение, в отличие, скажем, от синтетического полимера, всегда представляющего собой некую смесь макромолекул различной длины с различными «дефектами» строения. Свойства данного белка индивидуальны и определены, свойства синтетического полимера имеют смысл усредненной характеристики, ибо к нему неприменим закон постоянства состава.

Дадим краткие характеристики основных биополимеров — белков, нуклеиновых кислот и углеводов, мономеров, из которых они строятся, а также ряда важнейших для биологии низкомолекулярных соединений, биорегуляторов.

§ 2.2. АМИНОКИСЛОТЫ

Химическое строение α -аминокислот, остатки которых фигурируют в белках и в полипептидах (белковые цепи длиной до 100 звеньев):

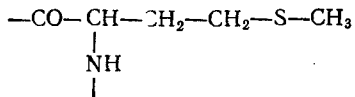
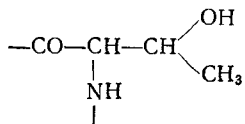
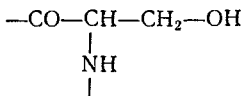
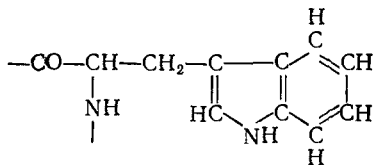
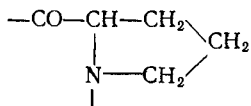
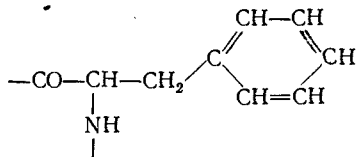


где R — какой-либо радикал — углеводородный или содержащий, помимо C и H, другие атомы, например O, S, N. Приведенная

Канонические аминокислотные остатки

№	Название остатка и аминокислоты	Обозначение остатка	Краткое обозначение	Структурная формула
I. Нейтральные остатки				
1	Глицил Глицин	Гли (Gly)	G	$\begin{array}{c} \text{—CO—CH}_2 \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$
2	Аланил Аланин	Ала (Ala)	A	$\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH}_3 \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$
3	Валил Валин	Вал (Val)	V	$\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH} \begin{array}{l} \nearrow \text{CH}_3 \\ \searrow \text{CH}_3 \end{array} \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$
4	Лейцил Лейцин	Лей (Leu)	L	$\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH}_2\text{—CH} \begin{array}{l} \nearrow \text{CH}_3 \\ \searrow \text{CH}_3 \end{array} \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$
5	Изолейцил Изолейцин	Иле (Ile)	I	$\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH} \begin{array}{l} \nearrow \text{CH}_2\text{—CH}_3 \\ \searrow \text{CH}_3 \end{array} \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$

6	Фенилаланил Фенилаланин	Фен (Phe)	<i>F</i>
7	Пролил Пролин	Про (Pro)	<i>P</i>
8	Триптофанил Триптофанин	Три (Trp)	<i>W</i>
9	Серил Серин	Сер (Ser)	<i>S</i>
10	Треонил Треонин	Тре (Thr)	<i>T</i>
11	Метионил Метионин	Мет (Met)	<i>M</i>



№	Название остатка в аминокислоте	Обозначение остатка	Краткое обозначение	Структурная формула
12	Аспарагинил Аспарагин	Асп Асп — NH ₂ (Asn)	N	2 $\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH}_2\text{—CO—NH}_2 \\ \\ \text{NH} \end{array}$
13	Глутаминил Глутамин	Глн Глу — NH ₂ (Gln)	Q	2 $\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CO—NH}_2 \\ \\ \text{NH} \end{array}$
14	Цистинил Цистин	Цис (—S—) (Cys)	C	6 $\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH}_2\text{—S(—S—CH}_2\text{—CH—CO—)} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{NH} \qquad \qquad \qquad \text{NH} \end{array}$
14a	Цистеинил Цистеин	Цис—SH (Cys — SH)	C	6 $\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH}_2\text{—SH} \\ \\ \text{NH} \end{array}$

II. Кислотные остатки (в виде анионов) -

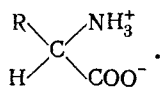
15	Аспартил Аспарагиновая кислота	Асп (Asp)	D	6 $\begin{array}{c} \text{—CO—CH—CH}_2\text{—COO}^- \\ \\ \text{NH} \end{array}$
----	-----------------------------------	--------------	---	---

16	Глутамил Глутаминовая кислота	Глу (Glu)	E	$\begin{array}{c} \text{---CO---CH---CH}_2\text{---CH}_2\text{---COO}^- \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$
17	Тирозил Тирозин	Тир (Tyr)	Y	$\begin{array}{c} \text{---CO---CH---CH}_2\text{---C} \begin{array}{l} \text{H} \ \text{H} \\ \text{C}=\text{C} \\ \text{C} \ \text{O}^- \\ \text{H} \ \text{H} \end{array} \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$

III. Основные остатки (в виде катионов)

18	Гистидил Гистидин	Гис (His)	H	$\begin{array}{c} \text{---CO---CH---CH}_2\text{---C=CH} \\ \quad \quad \quad \\ \text{NH} \quad \text{H}_2\text{N}^+ \quad \quad \text{N} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{CH} \end{array}$
19	Лизил Лизин	Лиз (Lys)	K	$\begin{array}{c} \text{---CO---CH---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---NH}_3^+ \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$
20	Аргинил Аргинин	Арг (Arg)	R	$\begin{array}{c} \text{---CO---CH---CH}_2\text{---CH}_2\text{---CH}_2\text{---NH---C} \begin{array}{l} \text{NH}_3^+ \\ \text{NH} \end{array} \\ \\ \text{NH} \\ \end{array}$

здесь формула в сущности не точна. Ряд фактов свидетельствует о том, что в нейтральной среде аминокислоты являются дипольными ионами, или цвиттерионами (см. стр. 67)



При поликонденсации аминокислот в белковую цепь образуется пептидная связь $-\text{NH}-\text{CO}-$ и выделяется вода (см. стр. 118).

Все природные белки строятся, как правило, из двадцати канонических аминокислотных остатков, приведенных в табл. 2.1. Из них 19 — действительно аминокислотные остатки, но Про — остаток иминокислотный, соответствующий иминокислоте пролину. Остатки цистеинила (Цис—SH) в белке часто попарно соединяются друг с другом ковалентной дисульфидной связью, образуя Цис—S—S—Цис.

Двадцать остатков содержат двадцать различных радикалов R. В табл. 2.1 остатки разделены по электрохимическим свойствам.

Если классифицировать их по химическому строению, то мы убедимся в большом разнообразии остатков. Перечислим их.

А. *Алифатические аминокислотные остатки* (15): Ала, Арг, Асп, Асн, Вал, Гли, Глу, Глн, Иле, Лей, Лиз, Мет, Сер, Тре, Цис (Цис—SH).

В том числе:

а. Углеводородные остатки (5): Ала, Вал, Гли, Иле, Лей.

б. Остатки, содержащие гидроксильную группу: Сер, Тре.

в. Кислотные остатки (содержащие COOH): Асп, Глу.

г. Остатки, содержащие амидную группу $-\text{CONH}_2$: Асн, Глн.

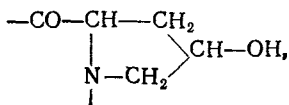
д. Остатки, содержащие аминогруппу (основную): Арг, Лиз.

е. Остатки, содержащие серу: Мет, Цис (Цис—SH).

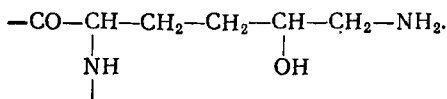
Б. *Аминокислотные остатки, содержащие π-электронные циклы*: Гис, Тир, Три, Фен.

В. *Иминокислотный остаток* — Про.

Помимо 20 канонических аминокислотных остатков, в белках встречаются производные некоторых из них. Среди этих минорных остатков особенно важен оксипролил (Опро)



так как он присутствует в значительном количестве в одном из универсальных белков животных организмов — в коллагене (см. § 4.10). В ряде ферментов фигурирует оксизил (Олиз)



В белках некоторых морских организмов присутствуют дийодтирозил, дибромтирозил и т. д. Многие неканонические аминокислоты (орнитин, α , γ -диаминовалериановая кислота, α , δ -диаминомасляная кислота и т. д.) фигурируют не в белках, а в низкомолекулярных пептидах и участвуют в процессах метаболизма.

Все функциональное многообразие белков определяется многообразием последовательностей 20 аминокислотных остатков в полипептидных цепях. Разнообразие этих остатков определяется радикалами R; немногих типов таких атомных групп достаточно для обеспечения любых молекулярно-биологических процессов.

§ 2.3. СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Свободные аминокислоты и входящие в состав белков основные и кислотные остатки являются электролитами. Функционируя в водной среде, они диссоциируют на ионы. Рационально пользоваться следующим определением Бренстеда: *кислота* — молекула, от которой отщепляется протон; *основание* — молекула, присоединяющая протон. Сам растворитель — вода — выступает как кислота в реакции $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ и как основание в реакции $\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+$ (ион оксония).

Вода — чрезвычайно слабый электролит, ее константа диссоциации очень мала. При 25 °С в чистой воде, т. е. при $[\text{H}_2\text{O}] = 1$,

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K[\text{H}_2\text{O}] = 10^{-14} \text{ (моль} \cdot \text{л}^{-1})^2.$$

Так как $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$, концентрация водородных ионов в воде составляет 10^{-7} . Удобно пользоваться отрицательным десятичным логарифмом этой величины, обозначаемым рН. Для воды, т. е. для нейтральной среды рН = 7. Соответственно, для кислот рН < 7, а для оснований рН > 7.

Биологические электролиты обычно слабые, иными словами, они мало диссоциированы. *Константа диссоциации* кислоты, т. е. константа равновесия K реакции $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ равна

$$K = \frac{a_{\text{H}^+} a_{\text{A}^-}}{a_{\text{HA}}}, \quad (2.1)$$