

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Ивановский государственный химико-технологический университет

О. А. Петров, М. Е. Ключева, О. В. Малкова

## ОСНОВЫ БИОХИМИИ

Учебное пособие

Иваново 2008

УДК 577. 1 (072)

Петров, О. А. Основы биохимии: учеб. пособие / О. А. Петров, М. Е. Ключева, О. В. Малкова; Иван. гос. хим.-технол. ун.-т. – Иваново, 2008. -48 с.

ISBN 978-5-9616-0294-4

В учебном пособии рассмотрена классификация, состав и структура белков, ферментов, нуклеиновых кислот, витаминов, углеводов и липидов. Приведены основные представители этих классов соединений. Показана взаимосвязь между витаминами и ферментами, а также рассмотрен механизм действия ферментов. Особое внимание уделено химии углеводов, в частности, образованию циклических форм и формированию на их основе ди- и полисахаридов.

Предназначено для студентов факультета заочного обучения и дополнительного профессионального образования по направлению 260100 – Технологии продуктов питания.

Табл. 4. Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра химии Ивановской государственной сельскохозяйственной академии; доктор химических наук Н. Ж. Мамардашвили (Институт химии растворов РАН).

ISBN 978-5-9616-0294-4

© Петров О.А., Ключева М.Е., Малкова О.В., 2008

© Ивановский государственный химико-технологический университет, 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.   | АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ                        | 4  |
| 1.1. | Структура и классификация аминокислот                | 4  |
| 1.2. | Пептиды  | 8  |
| 1.3. | Уровни структурной организации белковых макромолекул | 8  |
| 1.4. | Биологические функции белков                         | 11 |
| 1.5. | Классификация белков                                 | 12 |
| 2.   | ФЕРМЕНТЫ   | 13 |
| 2.1. | Свойства ферментов                                   | 14 |
| 2.2. | Номенклатура и классификация ферментов               | 15 |
| 2.3. | Строение ферментов                                   | 16 |
| 2.4. | Механизм действия ферментов                          | 17 |
| 3.   | ВИТАМИНЫ   | 19 |
| 3.1. | Классификация витаминов                              | 19 |
| 3.2. | Коферментная функция витаминов                       | 20 |
| 3.3. | Краткая характеристика некоторых витаминов           | 21 |
| 4.   | УГЛЕВОДЫ   | 25 |
| 4.1. | Функции углеводов                                    | 26 |
| 4.2. | Классификация и свойства моносахаридов               | 27 |
| 4.3. | Олигосахариды  | 33 |
| 4.4. | Полисахариды   | 34 |
| 5.   | НУКЛЕОТИДЫ И НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ                     | 37 |
| 5.1. | Нуклеозиды и нуклеотиды                              | 37 |
| 5.2. | Первичная структура нуклеиновых кислот               | 39 |
| 5.3. | Вторичная структура ДНК                              | 40 |
| 5.4. | Третичная структура ДНК                              | 41 |
| 6.   | ЛИПИДЫ (ЖИРЫ)  | 42 |
| 6.1. | Классификация липидов                                | 42 |
| 6.2. | Глицериды  | 42 |
| 6.3. | Воска  | 43 |
| 6.4. | Фосфолипиды  | 44 |
| 6.5. | Гликолипиды (гликосфинголипиды)                      | 45 |
| 6.6. | Стероиды   | 46 |
|      | Список рекомендуемой литературы                      | 47 |

## 1. АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ

Из всех химических соединений белки, вероятно, наиболее важны, поскольку они являются основой всего живого. Белки не только составляют существенную часть каждой клетки всех живых организмов, но и обеспечивают их жизнедеятельность. С химической точки зрения белки представляют собой высокополимерные вещества, для синтеза которых исходными мономерами служат  $\alpha$ -аминокислоты.

### 1.1. Структура и классификация аминокислот

Гетерофункциональные соединения, молекулы которых содержат одновременно амино– и карбоксильную группы, называются аминокислотами. Общее число встречающихся в природе аминокислот достигает 100. При этом в организме человека найдено около 70 аминокислот, из которых 20 входят в состав белков. Они относятся к  $\alpha$ -аминокислотам и называются протеиногенными (табл. 1). Некоторые из них, отмеченные «звёздочкой» \*, являются незаменимыми. Эти аминокислоты не могут синтезироваться в организме животного из других веществ, поэтому должны содержаться в пище.

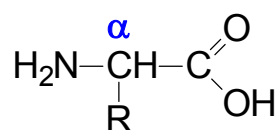


Таблица 1

Протеиногенные  $\alpha$  – аминокислоты

| Название аминокислоты | Сокращенное название |               | Формула   |
|-----------------------|----------------------|---------------|---|
|                       | русское              | международное |   |
| 1                     | 2                    | 3             | 4   |
| Глицин                | Гли                  | Gly           | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$  |
| Аланин                | Ала                  | Ala           | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$   |
| Валин*                | Вал                  | Val           | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$                     |
| Лейцин*               | Лей                  | Leu           | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ |

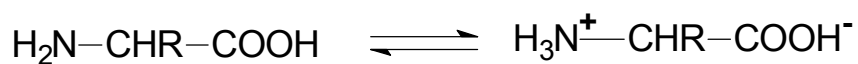
Продолжение таблицы 1

| 1                    | 2   | 3   | 4   |
|----------------------|-----|-----|---|
| Изолейцин*           | Иле | Ile | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $                   |
| Серин                | Сер | Ser | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $   |
| Треонин*             | Тре | Thr | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $   |
| Цистеин              | Цис | Cys | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{SH}  \end{array}  $   |
| Метионин*            | Мет | Met | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{S}-\text{CH}_3  \end{array}  $  |
| Аспаргиновая кислота | Асп | Asp | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{COOH}  \end{array}  $   |
| Аспаргин             | Асн | Asn | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $                       |
| Глутаминовая кислота | Глу | Glu | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{COOH}  \end{array}  $                             |
| Глутамин             | Глн | Gln | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $ |
| Лизин*               | Лиз | Lys | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2  \end{array}  $                                 |

Окончание таблицы 1

| 1            | 2   | 3   | 4  |
|--------------|-----|-----|--|
| Аргинин*     | Арг | Arg | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{NH} \\    \\  \text{C}=\text{NH} \\    \\  \text{NH}_2  \end{array}  $ |
| Фенилаланин* | Фен | Phe | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}_6\text{H}_5  \end{array}  $   |
| Тирозин      | Тир | Tyr | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}_6\text{H}_4 \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $   |
| Триптофан*   | Три | Trp | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{Indole}  \end{array}  $  |
| Гистидин*    | Гис | His | $  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{Imidazole}  \end{array}  $   |
| Пролин       | Про | Pro | $  \begin{array}{c}  \text{Cycloproline} \\    \\  \text{COOH}  \end{array}  $   |

Высокая температура плавления, легкость кристаллизации, высокие дипольные моменты и хорошая растворимость аминокислот в воде объясняются их ионным характером:



Способность  $\alpha$ -аминокислот растворяться в воде является важным фактором обеспечения их биологического функционирования – с ней связаны всасываемость  $\alpha$ -аминокислот, их транспорт в организме и т. п.

В твёрдом состоянии  $\alpha$ -аминокислоты существуют в виде диполярных ионов; в водном растворе – в виде равновесной смеси диполярного иона, катионной и анионной форм (обычно используемая запись строения  $\alpha$ -аминокислоты в неионизированном виде служит лишь для удобства). Положение равновесия зависит от рН среды. Общим для всех  $\alpha$ -аминокислот является преобладание катионных форм в сильноокислых (рН 1-2) и анионных – в сильнощелочных (рН 13-14) средах.

Положение равновесия, т.е. соотношение различных форм аминокислоты, в водном растворе при определённых значениях рН существенно зависит от строения радикала, главным образом наличия в нём ионогенных групп, играющих роль кислотных и основных центров.

Значение рН, при котором концентрация диполярных ионов максимальна, а минимальные концентрации катионных и анионных форм  $\alpha$ -аминокислоты равны, называется *изоэлектрической точкой* (рI). Значение рI в общем случае вычисляется по формуле:

$$pI = \frac{pKa_n + pKa_{n+1}}{2},$$

где n – максимальное число положительных зарядов в полностью протонированной  $\alpha$ -аминокислоте.

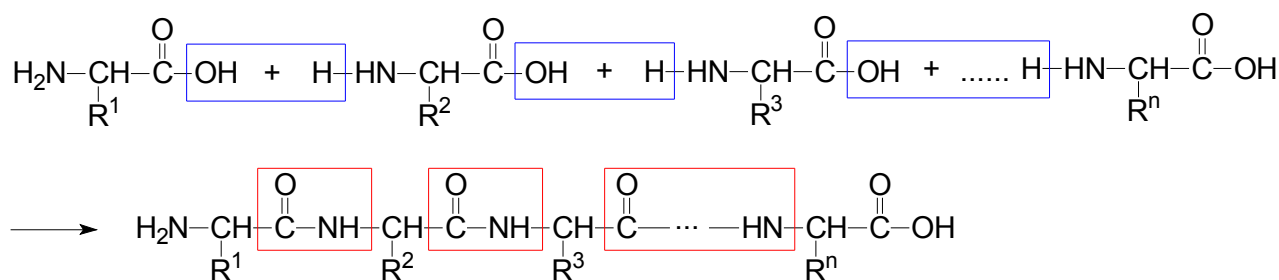
Из таблицы 1 видно, что наряду с карбоксильной и амино-группами некоторые аминокислоты содержат вторую карбоксильную группу (аспарагиновая и глутаминовая кислоты) или потенциальную карбоксильную группу в виде карбоксамидной (аспарагин); такие кислоты называют *кислыми аминокислотами*. Некоторые аминокислоты содержат вторую основную группу, в качестве которой может быть аминогруппа (лизин), гуанидогруппа (аргинин) или имидазольная группа (гистидин); такие кислоты называют *основными аминокислотами*. Некоторые аминокислоты содержат бензольную или гетероциклическую систему, фенольные или спиртовые гидроксильные группы, атомы серы или галогенов.

Химическая природа перечисленных функциональных групп позволяет осуществлять реакции солеобразования (по  $NH_2$ - и  $CO$ -группам), окисления и восстановления (по  $HS$ - и  $SS$ -группировкам), алкилирования, ацилирования и этерификации (по  $NH_2$ -,  $OH$ -,  $COOH$ -группам), амидирования (по  $COOH$ -группам), нитрования и галогенирования (по ароматическим ядрам), дезаминирования посредством азотистой кислоты (по  $NH_2$ -группам), фосфорилирования (по  $OH$ -группам), сочетания с диазосоединениями (по ароматическим и гетероциклическим ядрам) и т. п. Некоторые из указанных реакций протекают в жи-

вых организмах (солеобразование, окисление, восстановление, ацилирование, этерификация, амидирование, фосфорилирование).

## 1.2. Пептиды

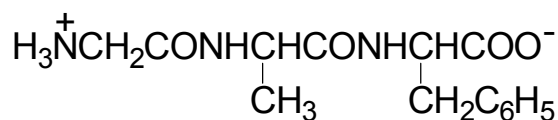
Одновременное присутствие в молекулах α-аминокислот аминной и карбоксильной групп обуславливает их способность вступать в реакции поликонденсации, которые приводят к образованию пептидных (амидных) связей между мономерными звеньями.



В результате такой реакции образуются пептиды, полипептиды и белки (протеины). Последние содержат свыше 100 аминокислотных остатков и имеют молекулярную массу от 10000 до нескольких миллионов. Чередование аминокислотных остатков в молекуле белка неповторимо и строго специфично. Специфичность белков определяется аминокислотным составом и аминокислотной последовательностью.

Согласно данным рентгеноструктурного анализа аминокислот и дипептидов, вся амидная группа является плоской: углерод карбонильной группы, азот и четыре связанных с ними атома лежат в одной плоскости. Связь углерод – азот носит в значительной степени характер двойной связи.

Структуры полипептидов изображают, как правило, при помощи стандартных сокращений (см. таблицу 1). N-концевой аминокислотный остаток (имеющий свободную аминогруппу) пишут с левой стороны формулы, а С-концевой аминокислотный остаток (имеющий свободную карбоксильную группу) – с правой стороны. Ниже показан пример такой записи для трипептида глицилаланилфенилаланина:



Gly-Ala-Phe

## 1.3. Уровни структурной организации белковых макромолекул

Последовательность расположения аминокислотных остатков в одной или нескольких полипептидных цепях, составляющих молекулу белка, – это первичная структура белка.



Кроме первичной в белковых молекулах выделяют вторичную, третичную и четвертичную структуры.

Под вторичной структурой белка подразумевают конформацию полипептидной цепи, т. е. способ её скручивания или складывания в соответствии с программой, заложенной в первичной структуре, в  $\alpha$ -спираль или  $\beta$ -структуру. Ключевую роль в стабилизации этой структуры играют водородные связи, которые в  $\alpha$ -спирали образуются между карбонильным атомом кислорода каждого первого и атомом водорода NH-группы каждого пятого  $\alpha$ -аминокислотных остатков (рис.1).

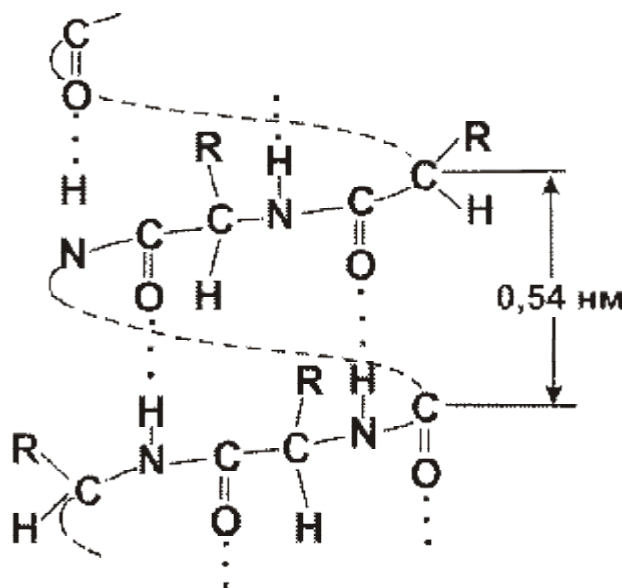


Рис.1. Вторичная структура белка ( $\alpha$ -спираль)

В отличие от  $\alpha$ -спирали  $\beta$ -структура образована за счёт межцепочечных водородных связей между соседними участками полипептидной цепи (рис. 2).

Особенности вторичной структуры белка во многом определяются аминокислотным составом (табл. 2).

Таблица 2

Некоторые аминокислоты, определяющие тип вторичной структуры белка

| $\alpha$ -спираль    | $\beta$ -структура |
|----------------------|--------------------|
| Аланин               | Валин              |
| Глутаминовая кислота | Изолейцин          |
| Глутамин             | Треонин            |
| Лейцин               | Тирозин            |
| Лизин                | Фенилаланин        |
| Метионин             |                    |
| Гистидин             |                    |

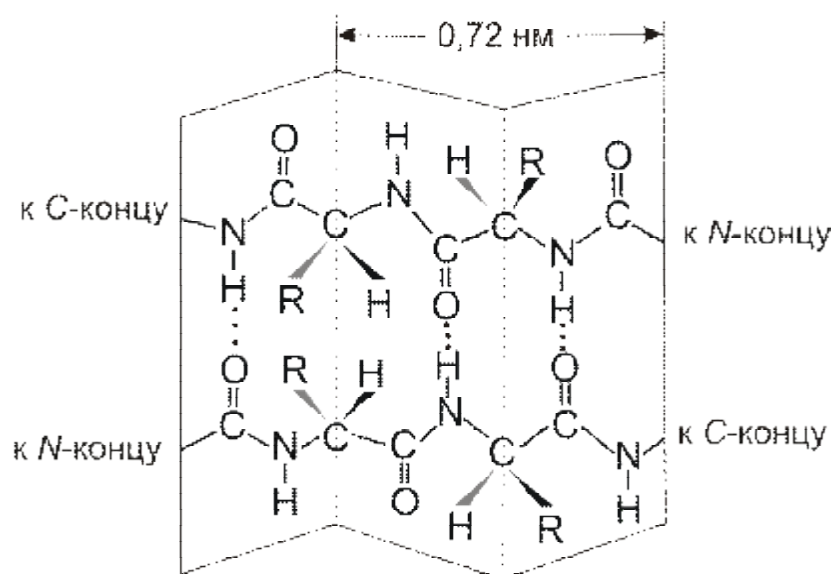


Рис. 2. Вторичная  $\beta$ -структура белка

Под третичной структурой белка (субъединицей) подразумевают пространственную ориентацию полипептидной цепи в определенном объеме, которая включает элементы вторичной структуры. Она стабилизируется за счет различных взаимодействий (рис. 3), в которых участвуют боковые радикалы  $\alpha$ -аминокислотных остатков, находящихся в линейной полипептидной цепи на значительном удалении друг от друга, но сближенные в пространстве за счет изгибов цепи.

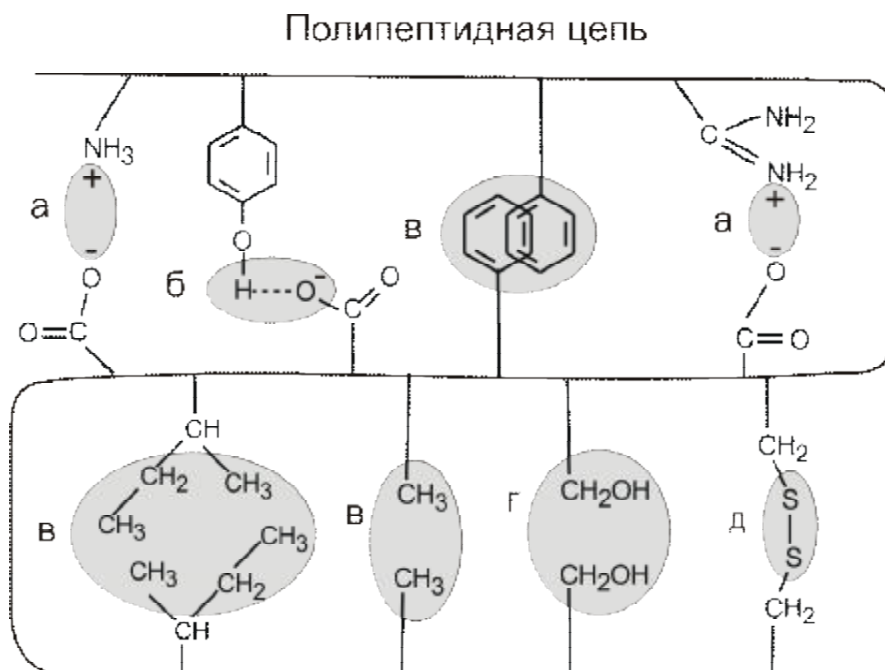


Рис. 3. Типы взаимодействий, стабилизирующие третичную структуру белка

Под четвертичной структурой белка подразумевают ассоциированные между собой две или более субъединиц, ориентированных в пространстве. Чет-