

## ТЕМА 9. АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ

- 9.1. Аминокислоты
- 9.2. Пептиды и полипептиды
- 9.3. Классификация и общая характеристика белков
- 9.4. Структурная организация белков
- 9.5. Функции белков в клетке

### 9.1. АМИНОКИСЛОТЫ

Гетерофункциональные соединения (органические, карбоновые кислоты), молекулы которых содержат одновременно *амино-* и *карбоксильную* группы, называются аминокислотами (рис. 9.1).

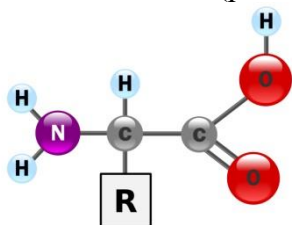


Рис. 9.1. Общая формула аминокислоты

Все они кристаллические вещества, лучше растворяются в воде, чем в органических растворителях. Особенности физических и химических свойств аминокислот обусловлены их строением – присутствием одновременно двух противоположных по свойствам функциональных групп: *кислотной* (COOH) и *основной* (NH<sub>2</sub>). Обладая амфотерными свойствами, α-аминокислоты могут реагировать как амины и как карбоновые кислоты.

Аминокислоты имея общую формулу различаются по структуре радикала (R-группы), который определяет специфические свойства аминокислот. Например, аланин имеет радикал – CH<sub>3</sub>, цистеин содержит серу – CH<sub>2</sub>SH т.д.

Высшие растения все необходимые им аминокислоты синтезируют из аммонийных солей и нитратов и органических кислот – продуктов дыхания и фотосинтеза. Человек и животные синтезируют большинство заменимых аминокислот из обычных безазотистых продуктов обмена и аммонийного азота.

В настоящее время известно около 220 аминокислот, однако только лишь 20 аминокислот могут входить в состав белков и называются *протеиногенными*. Помимо этих аминокислот, называемых *стандартными*, в некоторых белках присутствуют специфические *нестандартные* аминокислоты, являющиеся производными стандартных. В последнее время к стандартным аминокислотам иногда причисляют *селеноцистеин* (Sec) и *пирролизин* (Pyl).

Зеленые растения могут синтезировать все аминокислоты. Некоторые аминокислоты (*незаменимые*) не синтезируются в организме животных. Для человека незаменимыми являются 8 аминокислот: триптофан, фенилаланин, метионин, лизин, валин, треонин, изолейцин, лейцин. Питание белком, не содержащим какой-либо из незаменимых аминокислот, приводит к нарушениям обмена веществ и в конце концов к заболеванию.

#### **Биологические функции аминокислот:**

- *Структурные элементы пептидов и белков.* В состав белков входят 20 протеиногенных аминокислот которые кодируются генетически.
- *Структурные элементы других природных соединений* (коферментов, желчных кислот).

- *Переносчики сигналов.* Некоторые из аминокислот являются нейромедиаторами или предшественниками нейромедиаторов, медиаторов или гормонов.
- *Метаболиты.* Аминокислоты – важнейшие, а некоторые из них жизненно важные компоненты питания. Аминокислоты занимают центральное место в обмене азотистых веществ, служат донорами азота, участвуют в биосинтезе, витаминов, алкалоидов и других соединений.

## 9.2. ПЕПТИДЫ И ПОЛИПЕПТИДЫ

Соединение отдельных аминокислот в молекуле белка осуществляется при помощи пептидной связи так, что аминная группа одной аминокислоты соединяется с карбоксильной группой другой аминокислоты (рис. 9.2). Связи между субъединицами образуются путём удаления молекулы воды (*конденсация*). Для образования связей необходима энергия. Связи разрываются в результате присоединения молекулы воды (*гидролиз*).

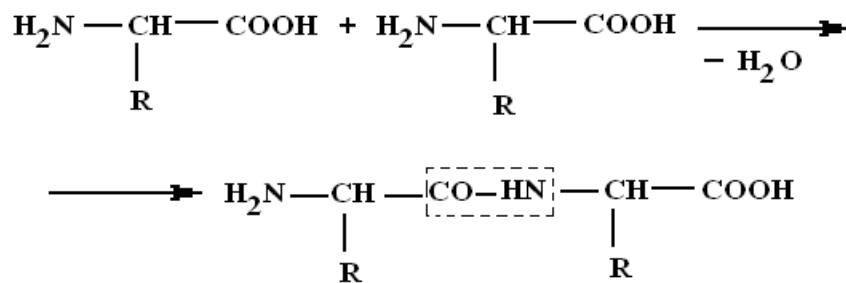


Рис. 9.2. Образование дипептида

Пептидные цепи различаются по количеству, типу и последовательности аминокислот. В зависимости от количества аминокислот выделяют:

- *пептиды* – образуются при конденсации до 50 аминокислот, при этом *олигопептиды* содержат от 2 до 10 аминокислот, иногда в их названии упоминается количество входящих в их состав аминокислот, например, дипептид, трипептид, пентапептид и др.; в то время как *полипептиды* формируются при конденсации более 10 аминокислот; природные полипептиды с молекулярной массой более 6000 дальтон называют белками;
- *белки* – молекулы, в состав которых входит более 50 аминокислот.

**Природные пептиды.** В живых организмах обнаружено несколько сотен свободных пептидов. К ним принадлежат некоторые гормоны, нейропептиды, токсины а также ряд других биологически активных веществ, таких как глутатион.

## 9.3. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКОВ

*Белки* или *протеины* – сложные органические соединения, состоящие из углерода, водорода, кислорода и азота. В некоторых белках содержится еще и сера. Часть белков образует комплексы с другими молекулами, содержащими P, Fe, Cu, Zn. Белки – высокомолекулярные вещества, состоящие из α-аминокислот, соединённых в цепочку

пептидной связью. Их название происходит от греческого слова «*proteinos*», что означает *первостепенной важности, первый*.

Среди органических веществ клетки белки занимают первое место как по количеству, так и по значению. Классификацию белков проводят в соответствии с несколькими основными критериями: химическому, типу строения, функциональному.

### **А. Химическая классификация белков**

Все белки разделяют на две большие группы: *простые белки*, в состав которых входят только лишь остатки аминокислот, и *сложные белки* – соединение простого белка с каким-либо веществом небелковой природы (*простетическая группа*).

### *ПРОСТЫЕ БЕЛКИ*

Классификация простых белков основана на характере их растворимости.

*Альбумины* – это белки растворимые в воде, умеренно растворимые в концентрированных растворах соли и свёртывающиеся при нагревании. Распространены в организмах животных (*овальбумин* в яичном белке, *сывороточный альбумин* в сыворотке крови, *миоглобин* в клетках мышечной ткани, *лактальбумин* в молоке) и растений (*легуемелин* в семенах бобовых, *лейкозин* в семенах злаковых, *фазеолин* в семенах фасоли). При кипячения продуктов содержащих альбумины образуется белая пена, которая является результатом коагуляции альбуминов.

*Глобулины* – это белки растворимые в водных растворах различных солей Среди самых известных животных глобулинов являются *сывороточный глобулин* и *фибриноген* крови, *овоглобулин* яйца, *лактоглобулин* молока, миозин (сократительный белок мышечных клеток). Глобулины растений накапливаются в эндосперме семян и играют роль запасных веществ.

*Проламины* – это растительные белки растворимые в 70% этиловом спирте, характерные для семян злаков; обладают низкой пищевой ценностью из-за низкого содержания незаменимых аминокислот.

*Глютелины* – это растительные белки растворимые в растворах щелочей и кислот. Глютелины в комплексе с проламинами являются главными компонентами клейковины, которая имеет большое значение в хлебопекарной промышленности, определяет эластичность и упругость теста при смешивании с водой, пористость и объем хлеба, и служит одним из критериев определения качества муки.

*Гистоны* (от греч. histos-ткань), – это растворимые в воде группа сильноосновных простых белков. В качестве простых белков встречаются преимущественно в растениях, а также в кровяных клетках животных, в икре рыб. Гистоны основные белковые компоненты (по массе) хромосомы. В ядре они тесно связаны с ДНК, образуя цепочку нуклеопротеидных частиц – *нуклеосом*, представляющих собой низший уровень упаковки ДНК в хромосоме.

*Протамины* – это растворимые в кислотных растворах группа сильноосновных простых белков, присутствуют только в животном царстве, содержатся в больших количествах в икре и молоках рыб.

## СЛОЖНЫЕ БЕЛКИ

В зависимости от химической природы простетической группы сложных белков различают: гликопротеины (содержат углеводы), *липопротеины* (липиды), *нуклеопротеины* (нуклеиновые кислоты), *фосфопротеины* (фосфорную кислоту), *металлопротеины* (металлы), *хромопротеины* (пигменты).

1. *Гликопротеины* – это вещества, в которых белковая часть молекулы ковалентно соединена с углеводами. Гликопротеины являются важным структурным компонентом клеточных мембран животных и растительных организмов. К гликопротеинам относятся большинство белковых гормонов; гликопротеинами являются все антитела, интерфероны, белки плазмы крови, молока, рецепторные белки и др. В семенах риса и в вегетативных органах некоторых бобовых культур (соя, фасоль, горох) содержатся токсичные гликопротеины которые склеивают эритроциты.

2. *Липопротеины* – класс белков, простетическая группа которых представлена каким-либо липидом. Липопротеины подразделяют на:

- *свободные*, растворимые в воде (липопротеины плазмы крови, молока, яйца и др.) которые осуществляют транспорт жирорастворимых соединений – холестерина, жиров и фосфолипидов от печени к периферийным тканям и наоборот от периферийных тканей к печени;
- *структурные*, нерастворимые в воде (липопротеины мембран клетки, липопротеины миелиновой оболочки нервных волокон, липопротеины хлоропластов растений и митохондрий).

Среди свободных липопротеинов наиболее изучены липопротеины плазмы крови, которые классифицируют по их плотности. Чем выше содержание в них липидов, тем ниже плотность липопротеинов. В зависимости от плотности липопротеины делят на 4 группы: *липопротеины очень низкой плотности* (ЛОНП), *липопротеины низкой плотности* (ЛНП), *липопротеины высокой плотности* (ЛВП) и *хиломикроны*.

2.1. *Хиломикроны* – представляют собой липопротеиновые мицеллы состоящие из 99% липидов и 1% протеинов; осуществляют транспорт холестерина и жирных кислот, поступающих с пищей, из кишечника в периферические ткани и печень;

2.2. *Липопротеины очень низкой плотности* (VLDL – *very low density lipoproteins*) – осуществляют транспорт холестерина, триацилглицеридов и фосфолипидов от печени к периферийным тканям;

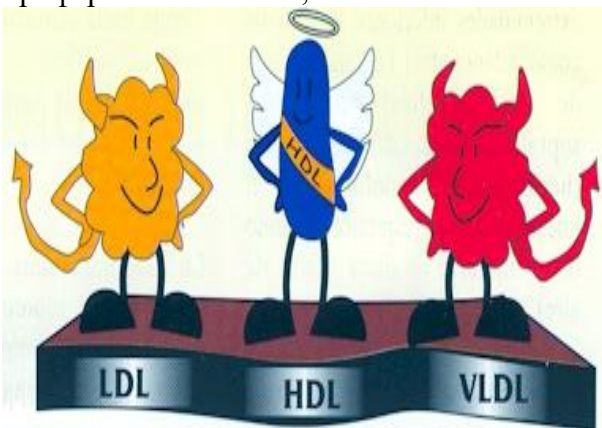


Рис. 9.3. Классификация липопротеинов в зависимости от их плотности

2.3. *Липопротеины низкой плотности* (LDL – *low density lipoproteins*) осуществляют транспорт холестерина, триацилглицеридов и фосфолипидов от печени к периферийным тканям, известен под названием «*плохой холестерин*».

2.4. *Липопротеины высокой плотности* (HDL – *high density lipoproteins*) осуществляют транспорт холестерина от периферийных тканей к печени, известен под названием «*хороший холестерин*».

Липопротеины очень низкой плотности и низкой плотности из-за высокого содержания жиров и соответственно холестерина оказывают пагубное влияние на сердечно-сосудистую систему и вызывают атеросклероз, в то время как липопротеины высокой плотности благодаря высокому содержанию фосфолипидов играют в организме защитную роль.

3. *Металлопротеины* – класс белков, простетическая группа которых представлена ионами одного или нескольких металлов (Fe, Cu, Mg, Zn, Co, Mn, Ni) и выполняющий различные функции в клетке – транспортную, резервную, ферментативную. Можно выделить следующие металлопротеины:

- *ферритин* – это белковый комплекс, выполняющий роль основного внутриклеточного резерва железа, содержится в печени, костном мозге; в организме человека содержание ферритина достигает 2-4 г;
- *трансферрины* – белки плазмы крови, которые осуществляют транспорт ионов железа – *овотрансферрин* осуществляет транспорт железа в яичном белке, *лактоферрин* – в молоке человека;

Выделяют также особый подкласс металлопротеинов – *металлоферменты*. Это белки, обладающие ферментативной активностью и содержащие катионы металлов.

- *уреаза*, гидролитический фермент обладающий специфическим свойством катализировать гидролиз мочевины до диоксида углерода и аммиака, содержит Ni;
- *алкогольдегидрогеназа*, фермент класса дегидрогеназ, катализирующий окисление спиртов и ацеталей до альдегидов и кетонов, содержит Zn;
- *ДНК-полимераза*, фермент, участвующий в репликации ДНК, содержит Mg;

4. *Нуклеопротеины* – в зависимости от типа входящих в состав нуклеопротеинов различают:

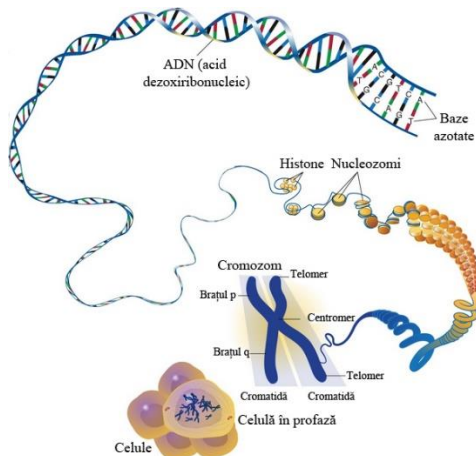


Рис. 9.4. Комплексы ДНК с гистонами

4.1. *Рибонуклеопротеины* - (нуклеопротеины содержащие РНК) являются главными компонентами рибосом и молекул малых ядерных РНК;

4.2. *Дезоксирибонуклеопротеины* (нуклеопротеины содержащие ДНК) представляют собой большую часть хромосом, находятся в больших количествах в клеточных ядрах, а в меньших количествах – в митохондриях, хлоропластах, цитоплазме.

5. *Фосфопротеины* – фосфорная кислота входящая в состав фосфопротеинов соединяется с белковой молекулой сложноэфирной связью через гидроксильные группы аминокислот серина и треонина. Фосфорная к-та находится, как правило, в форме солей К и Са. К фосфопротеинам относятся:

- *казеин* в молоке (составляет около 80% от общего количества белков молока);

- *ововителлин* (поставляет фосфор и аминокислоты необходимые зародышу и молодым организмам);
- *пепсин* (фермент желудочного сока).

6. *Хромопротеины* (от греч. *chroma* – краска) – состоят из простого белка и связанного с ним окрашенного небелкового компонента – простетической группы. Присутствуют как в растительных, так и в животных клетках. Хромопротеины участвуют в таких процессах жизнедеятельности, как фотосинтез, клеточное дыхание, транспорт кислорода и углекислого газа, окислительно-восстановительные реакции. У большинства хромопротеинов простетическая группа представлена атомом металла.

- *хлороглобин* – это хромопротеин в хлоропластах; простетический компонент представлен хлорофиллом, а белковый компонент – *пластином*;
- *гемоглобин* – это хромопротеин способный связываться с кислородом, обеспечивая его перенос в ткани, а также связывать в тканях диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) и освобождать его в лёгких; в качестве простетической группы здесь выступает особая пигментная группа, содержащая железо – *гем*;
- *цитохромы* – это глобулярные белки, которые содержат ковалентно связанный гем. Цитохромы присутствуют во всех клетках организмов. В клетках эукариот они локализованы в митохондриальных мембранах. Цитохромы катализируют окислительно-восстановительные реакции.
- *миоглобин* – кислород-связывающий белок скелетных мышц и мышцы сердца;
- *флавиновые ферменты* – жёлтые ферменты, простетической группой которых служат производные рибофлавина (витамина В<sub>2</sub>);
- *каротинопротеины* – пигменты зрения.

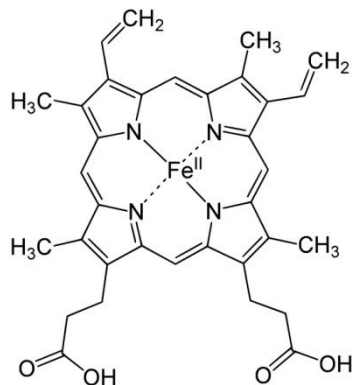


Рис. 9.5. Гем Б – простетическая группа гемоглобина

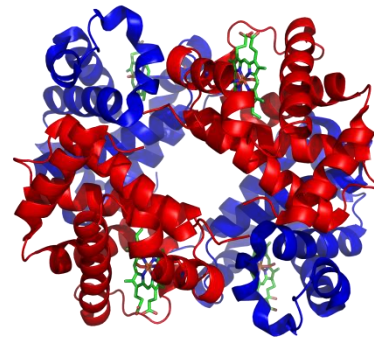


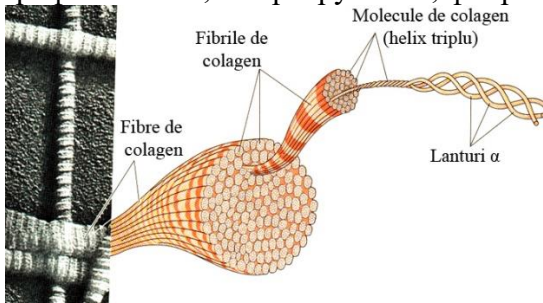
Рис. 9.6. Структура гемоглобина: красный – цепи  $\alpha$ ; синий – цепи  $\beta$ ; зеленый – гем

## Б. Классификация белков по типу строения

По общему типу строения белки можно разбить на три группы:

*Глобулярные белки* – водорастворимы, образуют коллоидные растворы, общая форма молекулы более или менее сферическая. К глобулярным белкам относят простые белки и сложные (гемоглобин – рис. 9.6)

**Фибриллярные белки** – образуют полимеры, их структура обычно высокорегулярна и поддерживается, в основном, взаимодействиями между разными цепями. Они образуют микрофиламенты, микротрубочки, фибриллы, поддерживают структуру клеток и тканей.



**Рис. 9.7. Фибриллярный белок коллаген – эластин**, отвечающий за упругость основной компонент соединительной ткани соединительных тканей, обладающий эластичностью и позволяющий тканям восстанавливаться;

К основным фибриллярным белкам относят:

**коллаген**, составляющий основу соединительной ткани организма (сухожилие, кость, хрящ, дерма и т. п.);  
**кератин**, составляющий основу производных эпидермиса кожи (волосы, ногти, кожа, шерсть);

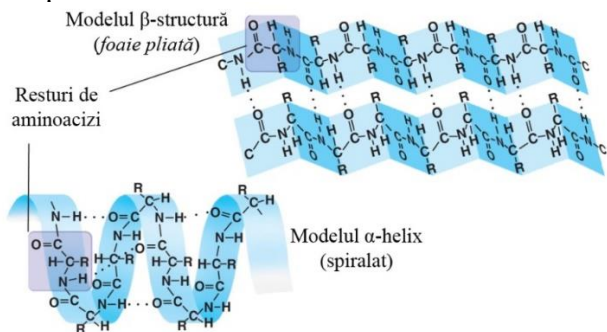
**Мембранные белки** – имеют пересекающие клеточную мембрану домены, но части их выступают из мембраны в межклеточное окружение и цитоплазму клетки. Мембранные белки выполняют функцию рецепторов, то есть осуществляют передачу сигналов, а также обеспечивают трансмембранный транспорт различных веществ. Белки-транспортёры специфичны, каждый из них пропускает через мембрану только определённые молекулы или определённый тип сигнала.

#### 9.4. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЛКОВ

Выделяют 4 уровня структурной организации белков.

**Первичная структура** – последовательность аминокислот в полипептидной цепи. Аминокислоты соединяются пептидными связями. Первичная структура (последовательность аминокислотных остатков) полипептида определяется структурой его гена и генетическим кодом.

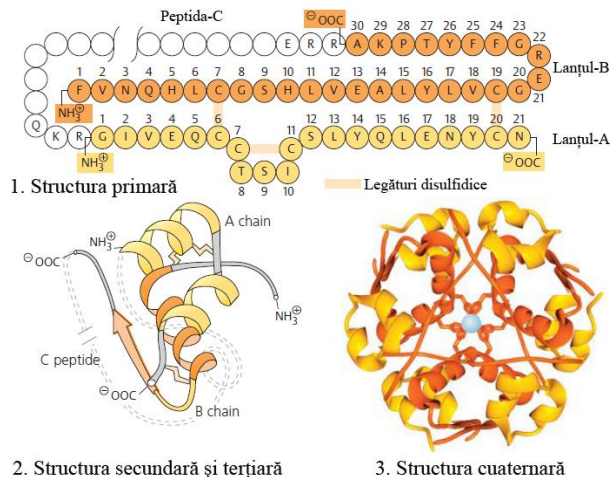
**Вторичная структура** – регулярная укладка полипептидной цепи, удерживаемая водородными связями.



**Рис. 9.8. Элементы вторичной структуры белков**

Путём образования водородных связей между остатками карбоксильных и аминогрупп разных аминокислот белковая молекула принимает вид спирали ( $\alpha$ -спираль) или гармошки ( $\beta$ -листы,  $\beta$ -структура, складчатые слои).  $\beta$ -структура является второй по частоте встречаемости в белках после  $\alpha$ -спирали.

**Третичная структура** – пространственное строение полипептидной цепи. Структурно состоит из элементов вторичной структуры. При третичной структуре белковая спираль сворачивается и приобретает форму шарика или глобулы.



**Рис. 9.9. Структурная организация инсулина**

*Четвертичная структура* – взаимное расположение нескольких полипептидных цепей обладающих третичной структурной организацией в составе единого белкового комплекса. Например, гемоглобин состоит из 4 связанных между собой молекул, инсулин – включает 2 компонента. В состав четвертичной структуры некоторых белков включаются помимо белковых субъединиц и разнообразные небелковые компоненты.

## 9.5. ФУНКЦИИ БЕЛКОВ В КЛЕТКЕ

А. *Строительная.* Белки входят в состав всех клеточных мембран и органоидов клетки, образуют эпидермис и соединительную ткань.

Б. *Каталитическая.* Все биологические катализаторы – ферменты – вещества белковой природы, они ускоряют химические реакции, протекающие в клетке, в десятки и сотни тысяч раз.

В. *Сигнальная.* Мембранные белки воспринимают внешние воздействия и передают сигнал о них внутрь клетки.

Г. *Энергетическая.* Белки могут служить и одним из источников энергии в клетке – при полном расщеплении 1 г белка до конечных продуктов выделяется 17.6 кДж энергии. Однако белки в таком качестве используются редко. Аминокислоты, высвобождающиеся при расщеплении белковых молекул, участвуют в реакциях пластического обмена для построения новых белков.

Д. *Защитная.* Антитела (важнейшие молекулы иммунной системы) представляют собой белки, образуют комплексы с чужими белками и инактивируют их; фибриноген и тромбин участвуют в процессах коагуляции крови.

Е. *Двигательная* функция живых организмов обеспечивается специальными сократительными белками. Эти белки участвуют во все видах движения, к которым способны клетки и организмы: сокращение мышц у многоклеточных животных, движение листьев у растений и др. У многоклеточных животных сокращение мышц обусловлено сократительными белками – *миозин* и *актин*.

Ж. *Транспортная* функция белков заключается в присоединении химических элементов (например, кислорода гемоглобином) или биологически активных веществ (гормонов) и переносе их к различным тканям и органам тела:

- *гемоглобин* фиксирует и осуществляет транспорт  $O_2$  и  $CO_2$  в крови позвоночных;
- *миоглобин* осуществляет транспорт  $O_2$  в мышечной ткани;
- *сывороточный альбумин* осуществляет транспорт  $O_2$  жирных кислот в крови.

Широко представлены транспортные белки в мембранах клеток; они переносят различные вещества из окружающей среды в в клетку и о обратном направлении.