

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра органической химии

З.П. Белоусова, П.П. Пурыгин

ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Учебное пособие

2-е издание

Издательство «Самарский университет»
2005

*Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Самарского государственного университета*

УДК 547.9. 577.1

ББК 24.239

Б 438

ISBN 5-86465-143-5

Белоусова З.П., Пурыгин П.П. Химические основы жизнедеятельности: Учебное пособие. – 2-е изд. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2005. – 84 с.

В пособии подробно рассматриваются структура и свойства важнейших классов природных соединений: аминокислот, пептидов, белков, углеводов, липидов, а также гормонов, витаминов и минеральных веществ. Все приведенные биохимические реакции сопровождаются описанием действия тех ферментов, которые участвуют в превращении.

Пособие может быть рекомендовано студентам-химикам при изучении экологических дисциплин, а также студентам специальности «Биология».

Рекомендовано Советом по химии УМО университетов РФ в качестве методических разработок для студентов-химиков при изучении экологических дисциплин.

УДК 547.9. 577.1

ББК 24.239

Отв. редактор проф. П.П. Пурыгин

Рецензент проф. И.К. Моисеев

ISBN 5-86465-143-5

© Белоусова З.П., Пурыгин П.П., 2000

© Изд-во «Самарский университет», 2005

Редактор Е.А. Краснова
Компьютерная верстка, макет Д.В.Миргородский

Подписано в печать 09.06.05. Гарнитура «Times New Roman».

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Объем 4,9 усл. печ. л., 5,25 уч. -изд. л. Тираж 150 экз. Заказ № 328.

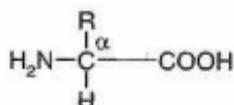
Издательство «Самарский университет», 443011, г. Самара, ул. Ак. Павлова, д.1.

Отпечатано ООО «Универс-групп»

ЧАСТЬ I

Аминокислоты, пептиды, белки

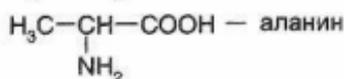
Аминокислоты – амфотерные органические соединения, содержащие наряду с кислотной, карбоксильной группой COOH и аминогруппу NH_2 . Схематически структура аминокислоты изображается так:



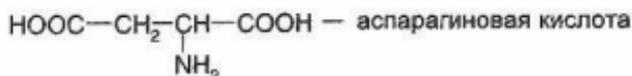
В зависимости от характера боковых групп аминокислоты могут быть нейтральными, кислыми или основными. В состав белков входят α -аминокислоты, у которых обе функциональные группы связаны с одним и тем же атомом углерода (α -атом). С данным углеродным атомом связаны боковая группа R и атом водорода. Ни один из известных в настоящее время живых организмов не обходится без аминокислот.

Наиболее важными являются α -аминокислоты, так как они чаще других кислот встречаются в природе и входят в состав всех белков. Кроме того α -аминокислоты, являясь составной частью белков, принимают участие во всех процессах жизнедеятельности живого организма.

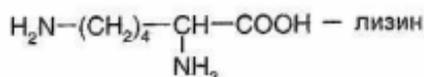
Аминокислоты подразделяются на нейтральные, кислые и основные в зависимости от того, сколько они содержат аминогрупп и карбоксильных групп. Например, глицин и аланин являются нейтральными аминокислотами, так как в них содержится одна аминогруппа и одна карбоксильная группа.



Аспарагиновая кислота принадлежит к кислым аминокислотам.

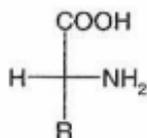


В отличие от этого лизин, который содержит две аминогруппы, представляет собой основную аминокислоту.



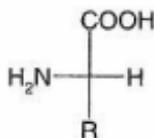
α -аминокислоты обычно выделяют из веществ природного происхождения: молока, крови, волос, чешуи и многих других природных объектов.

В настоящее время известно более 200 природных аминокислот. Однако из них лишь двадцать аминокислот входят в состав почти всех белков. Характерной особенностью строения α -аминокислот является то, что α -атом углерода в них, за исключением глицина, является асимметрическим. Поэтому все α -аминокислоты, за исключением глицина, обладают *хиральностью* и, следовательно, обнаруживают *оптическую изомерию*.



R-конфигурация

Аминокислота D-ряда



S-конфигурация

Аминокислота L-ряда

Было установлено, что большинство α -аминокислот природного происхождения относится к L-ряду и имеют S-конфигурацию. Долгое время считалось, что белки построены только из остатков L-аминокислот, но в последнее время в составе некоторых белков обнаружены и D-изомеры.

В водных растворах аминокислоты могут существовать в различных ионных формах в зависимости от pH и их принадлежности к нейтральным, кислотным либо основным аминокислотам. В водном растворе нейтральной аминокислоты, в зависимости от pH, могут быть следующие формы:

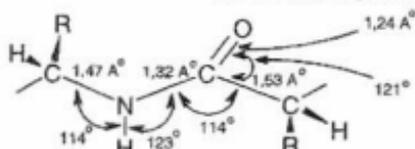
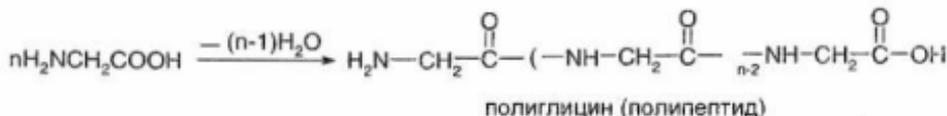


Значение pH, при котором аминокислота существует в виде цвиттер-иона, называется изоэлектрической точкой. Каждая аминокислота имеет

свою изоэлектрическую точку. Для многих α -аминокислот изоэлектрическая точка несколько сдвинута в область кислых значений рН. Например, изоэлектрические точки глицина и аланина имеют значения 5,97 и 6,02 соответственно.

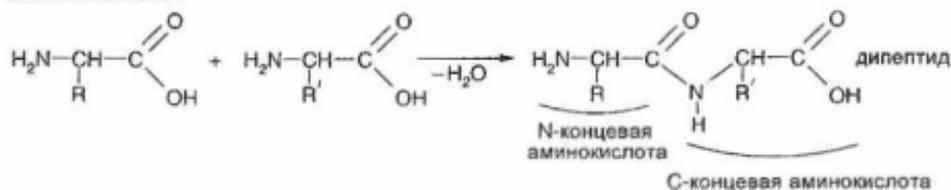
Пептиды

Полиамиды, состоящие из α -аминокислот, называются **пептидами** или **полипептидами**. Амидная группа $-\text{NHCO}-$ в таких соединениях часто называется пептидной связью.

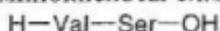


Природные гетерополимеры – это полипептиды с очень сложной последовательностью α -аминокислот. В зависимости от числа аминокислотных остатков в молекуле пептиды классифицируются как дипептиды, тетрапептиды и т.д. вплоть до полипептида. Принято считать пептиды с молекулярным весом до 10000 **полипептидами**, а пептиды с большим молекулярным весом – **белками**.

Формально пептиды образуются при конденсации двух или более аминокислот:



Аминокислотные остатки в полипептидной цепи нумеруются по порядку, начиная с N-концевой аминокислоты, которая обозначается цифрой 1. Обычно для наглядности пептиды изображают с использованием общепринятых сокращений для названий аминокислот. При этом свободная аминогруппа – N-концевой аминокислоты обозначают символом водорода H, а свободную карбоксильную группу – C-концевой аминокислоты символом OH, например:



валинсерин

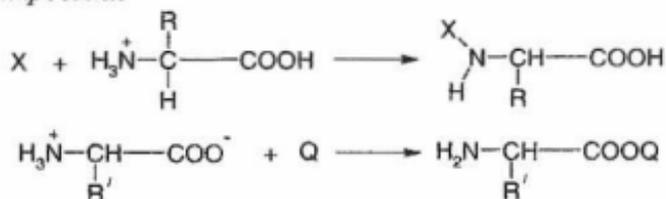


глицилглицилаланин

Пептиды заданного строения невозможно получить прямой конденсацией α -аминокислот, так как уже при синтезе дипептида из двух различных α -аминокислот могут быть получены четыре различных дипептида. В связи с этим необходимо «заблокировать» С-концевую группу одной аминокислоты и N-концевую группу другой аминокислоты защитными аминогруппами. Кроме того, необходима активизация карбоксильной группы. Условия проведения реакции должны исключить рацемизацию.

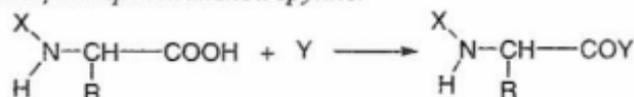
Таким образом, синтез пептидов включает четыре стадии:

1. Блокирование

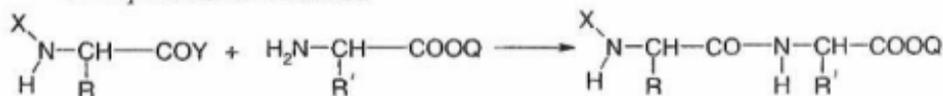


Здесь X и Q – защитные группы.

2. Активация карбоксильной группы



3. Образование пептида



4. Деблокирование

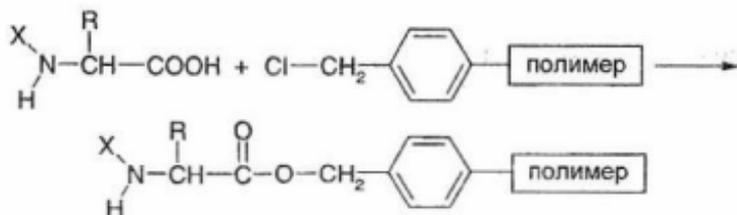


Для блокирования С-концевых групп и N-концевых групп подобрано много разных защитных групп, а для их удаления разработаны различные методы. В настоящее время имеется достаточно много методов синтеза пептидов и получения простейших природных белков – инсулина, рибонуклеазы, окситоцина и других.

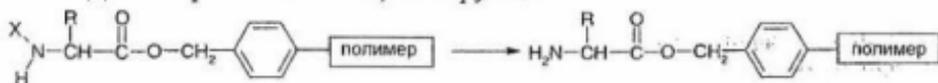
До конца 1950-х – начала 1960-х годов синтез пептидов требовал много времени. Значительный прогресс в этой области начался с исследований американского химика В. Мэррифилда. В 1963 году был

опубликован полный синтез инсулина, который содержал 51 аминокислоту. Данный метод получил название твердофазного синтеза пептидов. Первая аминокислота с защищённой аминогруппой присоединяется через её карбоксильную группу к полимеру.

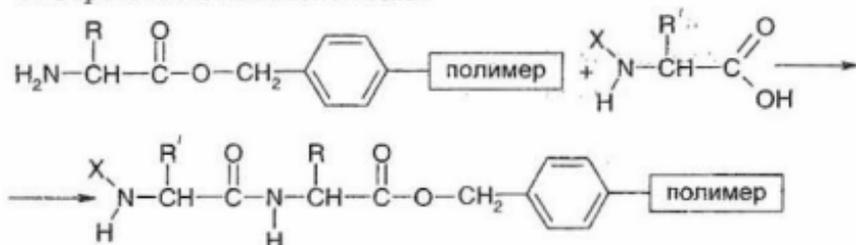
1.



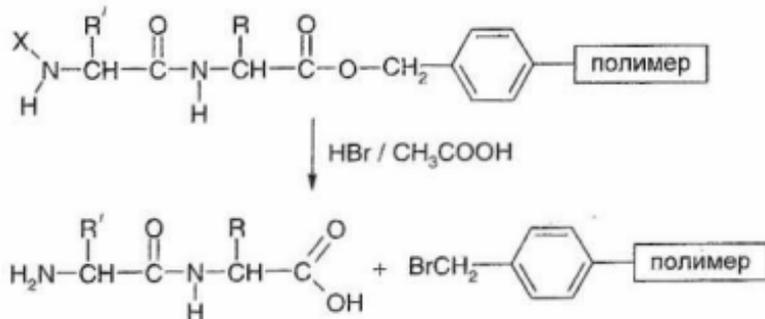
2. Деблокирование N-концевой группы



3. Образование пептидной связи



4. Отщепление дипептида от смолы и деблокирование N-концевой группы



При помощи метода твердофазного синтеза пептидов были синтезированы инсулин и фермент рибонуклеаза, состоящий из 124 аминокислот.

Белки

Белки – это природные полипептиды, построенные из остатков α -аминокислот. Условно считают, что белки содержат свыше 100 аминокислотных остатков с молекулярной массой от 10000 до нескольких миллионов. Белки входят в состав всех животных и растительных организмов. В животных организмах белки содержатся во всех тканях (мышцы, хрящи, кровь, чешуя рыб, перья и т.д.). Значение белков в природе трудно переоценить, так как они принимают участие во всех процессах, связанных с жизнедеятельностью растений и животных.

Состав и строение белков

По существующей классификации различают простые белки – протеины, фрагментами которых являются исключительно α -аминокислоты, и сложные белки – протеиды, содержащие не только остатки α -аминокислот, но и другие остатки соединений других классов (углеводы, неорганические кислоты, нуклеиновые кислоты, гетероциклические соединения и др.).

Простые белки принято подразделять по их растворимости в воде на **глобулярные** и **фибриллярные**.

Глобулярные белки – это простые белки, которые растворимы в воде, либо образующие в ней коллоидные растворы. Все глобулярные белки растворимы в разбавленных водных растворах кислот, оснований и солей, но осаждаются в концентрированных растворах кислот, оснований и солей, а также в органических растворителях. Например, глобулярные белки альбумины растворимы в воде, свёртываются при нагревании, нейтральны, сравнительно трудно осаждаются растворами солей. Примерами их могут быть альбумин белка куриного яйца, альбумин кровяной сыворотки, инсулин, альбумин мышечной ткани, молочный альбумин.

Показано, что растворимость и биологическая активность глобулярных белков уменьшается при повышении температуры и при высоких значениях рН. Это явление называется **денатурацией**. Результатом данного явления является изменение упорядоченной свёрнутой структуры белка на неупорядоченную, хаотическую структуру. Следует отметить, что денатурация не сопровождается разрушением полипептидной цепи.

Фибриллярные белки – это простые белки, нерастворимы в воде. Такие белки содержатся в коже, волосах и мускульных тканях. Их иногда называют структурными белками.

К числу фибриллярных белков относятся, например:

кератины – белки, содержащиеся в шерсти, волосах и ногтях;

коллагены – белки, которые содержатся в коже и соединительных тканях;

фиброин – белок шёлка;

эластины – белки, содержащиеся в лёгких, артериях и некоторых связках.

К сложным белкам – протеидам относятся следующие:

Фосфопротеиды – это белки, имеющие в своём составе фосфорную кислоту. Данные белки имеют кислотный характер. Основным представителем фосфопротеидов является казеин молока. Соли казеина называются казеинатами. Из других фосфопротеидов следует отметить вителлин, который входит в состав желтка куриного яйца.

Нуклеопротеиды в своём составе содержат белки и нуклеиновые кислоты, что подтверждается их гидролизом. Нуклеопротеиды входят в состав клеточных ядер.

Из других сложных белков следует отметить: гликопротеиды, липопротеиды, фосфопротеиды, гемопротеиды, флавопротеиды и металлопротеиды.

Гликопротеиды состоят из белковых веществ и соединений, содержащих углеводные остатки.

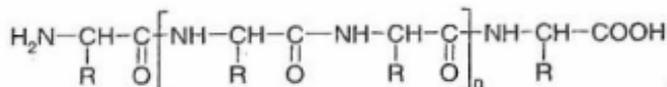
Липопротеиды содержат триацилглицерины, холестерин и фосфолипиды.

Металлопротеиды в своём составе содержат белковую часть, а также либо ион металла, либо комплексное соединение, как гем. Так гемоглобин состоит из белка глобина и окрашенного вещества – гема, который содержит азот и железо.

Структура белков

Для знания природы белков, их роли в процессах жизнедеятельности, необходимо знать состав и строение белковых макромолекул. Для белков различают первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры.

Первичная структура белка – это специфическая последовательность α -аминокислот в полипептидной цепи. Следует отметить, что последовательность α -аминокислот в макромолекуле строго индивидуальна для белков каждого организма.



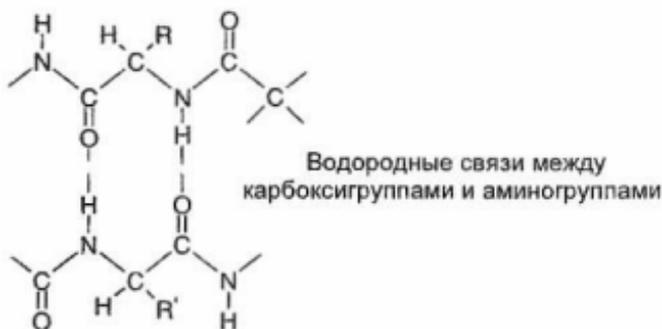
N - концевая
аминокислота

C - концевая
аминокислота

Вторичная структура белка – это упорядоченное свёртывание «остова» полипептидной цепи путём образования внутри и межмолекулярных водородных связей между карбоксигруппами и аминогруппами.

Обычно белковые цепи спирализованы не полностью, а лишь частично. Так в белке миоглобине цепь спирализована на 75%.

Другим видом вторичной структуры белков является β -структура, которую называют складчатым листом или складчатым слоем.



Эта структура определяется образованием водородных связей между соседними полипептидными цепями. Таким образом, α -спиральная и складчатая β -структура полипептидных цепей и есть вторичная структура белка.

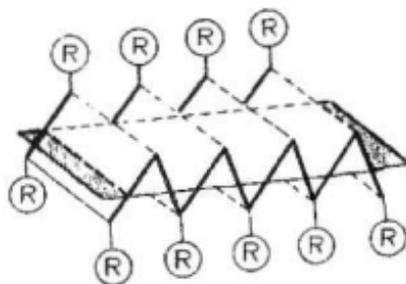


Рис. 1. В-структура белка – один из видов вторичной структуры

Третичная структура. Трёхмерное свёртывание полипептидной цепи за счёт наложения одних участков α -спирали или β -структуры складчатого листа на другие её участки приводит к формированию третичной структуры. Для многих белков третичная структура эквивалентна полной пространственной структуре. В образовании третичной структуры важную роль играют ионное (электростатическое) и гидрофобное взаимодействия, а также дисульфидные связи.

Четвертичная структура белка. Несколько отдельных полипептидных цепей способны образовать макрокомплекс. При этом каждая цепь сохраняет характерную для неё первичную, вторичную и третичную структуры. Такой комплекс представляет собой единое целое и выполняет биологическую функцию, не свойственную отдельно взятым субъединицам. Таким образом, четвертичная структура белка определяет степень ассоциации мономеров в биологически активном материале. Четвертичная структура закрепляется за счёт водородных связей и гидрофобных взаимодействий между субъединичными полипептидными цепями.

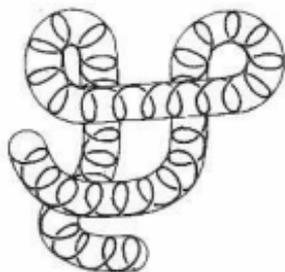


Рис.2. Третичная структура белка

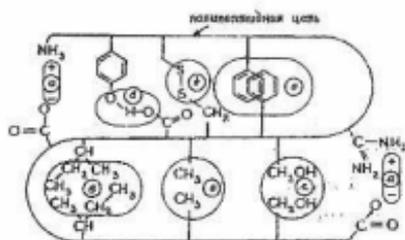


Рис.3. Четвертичная структура белка

Углеводы

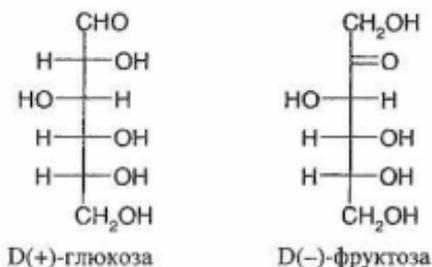
Углеводы, многие из которых называются просто сахарами, встречаются во всех растениях и животных и имеют самые разнообразные функции. Одни используются как источники энергии в процессах метаболизма, другие являются компонентами ряда классов веществ клетки, включая нуклеиновые кислоты и витаминсодержащие кофакторы. Многие сложные углеводы играют важную роль как компоненты клеточных стенок растений и бактерий. Часто в тканях животных углеводы находятся в комбинации с белками (гликопротеины).

Углеводы, являются либо полиоксиальдегидами, либо полиоксикетонами, либо производными и тех и других. Они могут быть разделены на четыре группы: моносахариды, производные моносахаридов, олигосахариды и полисахариды. Производные моносахаридов вместо карбонильных и гидроксильных групп (или дополнение к ним) содержат другие функциональные группировки. Олигосахариды и полисахариды являются продуктами конденсации остатков моносахаридов друг с другом

с образованием ацетальных связей, представлены большим числом соединений. Самый простой олигосахарид образуется из двух моносахаридов и называется дисахаридом. Олигосахариды, полученные из трёх, четырёх или пяти моносахаридов, называются три-, тетра- и пентасахаридами соответственно. Полисахариды, образующиеся при конденсации большого числа мономерных остатков одного типа, называются гомополисахаридами, нескольких типов – гетерополисахаридами.

Альдозы с тремя и более углеродными атомами и кетозы с четырьмя и более углеродными атомами содержат асимметрические центры, образованные атомами углерода с четырьмя различными заместителями. Таким образом, в основу номенклатуры моносахаридов положена конфигурация молекулы относительно каждого её асимметрического центра. При изображении моносахаридов в проекциях Фишера буквы D- и L- в их названии указывают на конфигурацию относительно асимметрического центра, наиболее удалённого от альдозной группы молекулы. Для гексоз таким атомом является углерод C-5. Двум стереоизомерам глицеринового альдегида были приписаны условные конфигурации, совпадающие с абсолютными, как теперь было установлено. Отнесение этих углеводов к D- или L- ряду осуществляется путём сравнения конфигурации «концевого» асимметрического центра с конфигурацией соответствующего стереоизомера глицеринового альдегида.

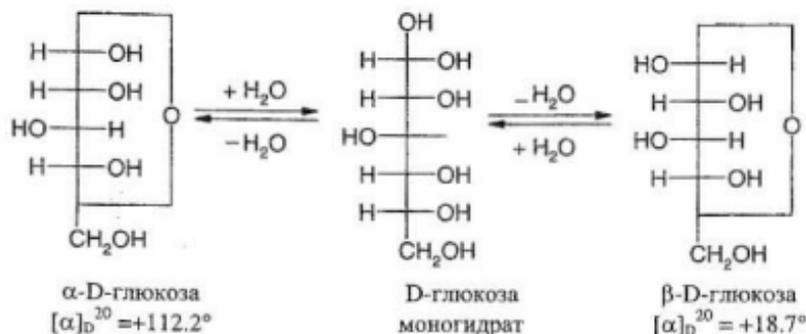
Символы + и – вводятся в название соединения для отражения знака оптического вращения. Например, правовращающая D-глюкоза и левовращающая D-фруктоза могут быть изображены следующим образом:



Линейные формулы (проекция Фишера) удобны при изображении различных стереоизомеров моносахаридов, но они не демонстрируют дополнительный центр асимметрии, имеющийся во многих углеводах, в частности, не объясняют явление мутаротации (изменение оптического вращения свежеприготовленных растворов сахаров).

В растворах моносахариды образуют стабильные внутримолекулярные полуацетали с одной из гидроксильных групп его углеродной цепи, давая два различных стереоизомера, которые подвергаются мутаротации.

Например, глюкоза в результате образования внутримолекулярного полуацетала с гидроксильной группой при атоме С-5 дает α -D-глюкозу и β -D-глюкозу:



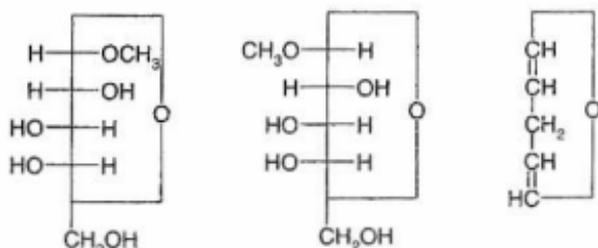
Атом С-1, новый центр асимметрии является аномерным атомом углерода, и альдозы, которые различаются лишь конфигурацией этого атома углерода, называются аномерами. Предполагается, что мутаротация включает в себя взаимопревращение α - и β -форм с промежуточной стадией образования альдегида с открытой цепью или его гидрата. В водных растворах содержание альдегида с открытой цепью в равновесной смеси очень мало: для глюкозы приблизительно 0.024%.

Число стереоизомеров для любого соединения равно 2^n , где n -число асимметрических центров в молекуле. Например, с помощью проекций Фишера можно изобразить $2^4 = 16$ стереоизомеров глюкозы. Молекула обладает пятью центрами асимметрии, следовательно, возможны $2^5 = 32$ изомера, включая α - и β -формы каждой альдогексозы. Буква α используется тогда, когда в плоскостной проекции гидроксильная группа при С-1 находится на той же стороне, что и кислородный атом кольца. Буква β соответствует той форме, у которой эта гидроксильная группа находится на стороне, противоположной кислородному атому кольца. Среди углеводов D-конфигурации α -аномер всегда имеет более положительное удельное вращение, чем β -аномер. В L-ряду (проекционные формулы получаются путем зеркального отражения D-структур) аномером с более отрицательным вращением является α -аномер.

Углеводы, содержащие шестичленное кольцо, из-за сходства с пирановым циклом носят название пираноз. Альдозы, содержащие пиранозное кольцо называются альдопиранозами. Например, α -D-манноза и β -D-манноза могут существовать в растворах в виде α -D-маннопиранозы и β -D-маннопиранозы, соответственно.

Реакционная способность полуацетальной и спиртовой гидроксильных групп резко отличаются. Гликозидная связь, формально похожая на

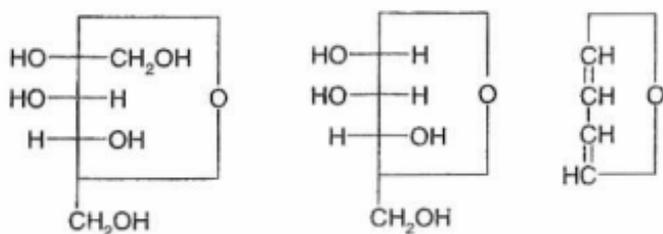
эфирную, не отличается химической устойчивостью, характерной для простых эфиров. Вот почему при взаимодействии углеводов с метиловым спиртом в присутствии минеральных кислот образуются ацетали – метилгликозиды, сохраняющие α - или β -конфигурацию при C-1. Например, при обработке D-галактозы метиловым спиртом в присутствии HCL получатся метил- α -D-галактозид и метил- β -D-галактозид.



метил- α -D-галактозид метил- β -D-галактозид пиран

Биологически важные гликозиды получают при взаимодействии полуацетальной гидроксильной группы одного моносахарида с гидроксильной (в том числе полуацетальной) группой другого моносахарида.

Альдозы могут существовать также в виде соединений с пятичленным кольцом – альдофураноз. Особенно это характерно для альдопентоз и кетогексоз.



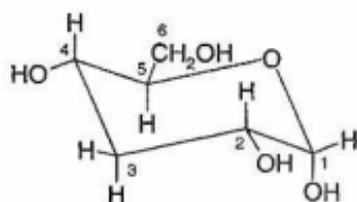
β -D-фруктофураноза β -D-арбинофураноза фуран

Такие полукетали при взаимодействии их полукетальной гидроксильной группы со спиртом могут образовывать фуранозиды, структура которых аналогична пиранозидам.

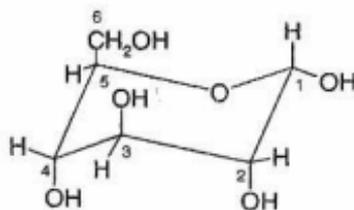
Аналогично пентозам альдозы и кетозы с более длинной цепью могут образовывать либо фуранозное, либо пиранозное кольцо. Образование наиболее стабильного цикла зависит не только от конфигурации каждого асимметрического центра, но и от природы заместителей при карбонильной и гидроксильной группе.

Для изображения циклических структур удобнее применять проекции Хеурса. При этом плоскость кольца располагается перпендикулярно

C-2 – C-5 занимают экваториальные положения, называется нормальным конформером (C1).



нормальный конформер (C1)

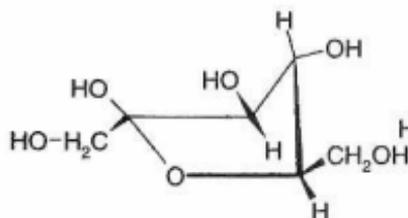


альтернативный конформер (1C)

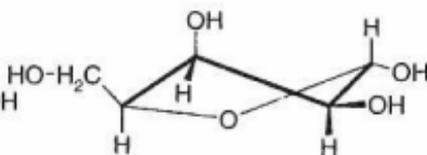
α -D-глюкопираноза

В альтернативном конформере (1C) заместители при атомах C-2 – C-5 имеют аксиальную ориентацию, то есть все они расположены по одну сторону от плоскости кольца. Поэтому данный конформер менее устойчив, чем нормальный.

Конформации фуранов менее изучены. Однако известно, что фурановое кольцо не плоское и может существовать либо в виде конформации конверт (E), либо в скрученной («твист») конформации (T). В конформации конверт четыре атома, включая атом кислорода кольца, находятся в одной плоскости, а пятый выступает из неё. В скрученной конформации три соседних атома находятся в одной плоскости, а два других – выше или ниже неё.

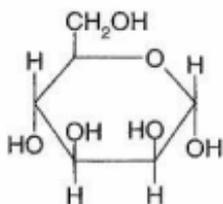


конформация «конверт»
 β -D-фруктофуранозы

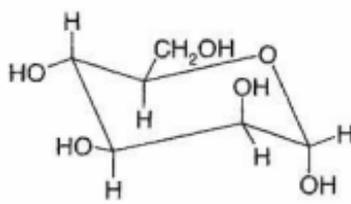


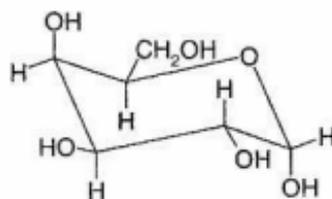
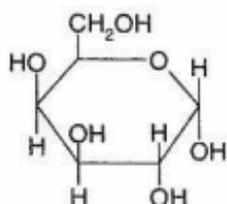
скрученная конформация
 β -D-липсофуранозы

Наиболее распространённые в природе гексозы – глюкоза, галактоза, манноза (альдогексозы) и фруктоза (кетогексоза).



α -D-маннопираноза

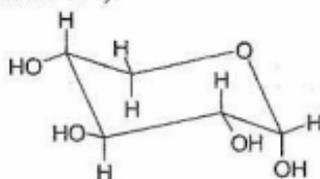
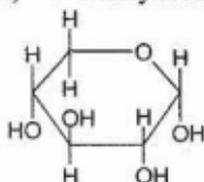




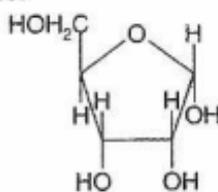
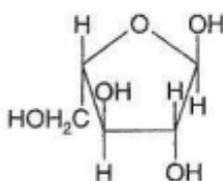
α -D-галактопираноза

Глюкоза и манноза являются эписимерами (различаются лишь конфигурацией одного атома углерода) по атому C-2. Глюкоза и галактоза – эписимерны по атому C-4. Фруктоза отличается от альдогексоз тем, что её аномерный атом находится не при C-1, а при C-2 атоме. Но она идентична глюкозе и маннозе по конфигурации при атомах 3,4 и 5.

Из пентоз в природе встречаются L-арабиноза, D-рибоза и D-ксилоза (альдопентозы) и L-ксилулоза (кетопентоза).

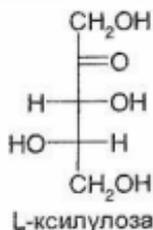


α - D - ксилопираноза



α - L - арабинофураноза

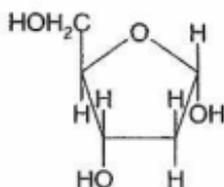
α - D - рибофураноза



Сахарная кислота, широко распространённая в растительном и животном мире, известна как аскорбиновая кислота или витамин С.

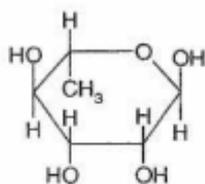
Углеводы, в которых одна или более гидроксильных групп пиранозного или фуранозного кольца заменены на атом водорода, называются дезоксисахарами.

Например, 2-деоксирибоза является компонентом нуклеиновых звеньев в ДНК.

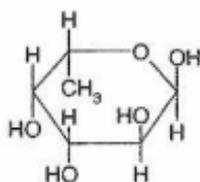


2-деокси- α - D - рибофураноза

L-Рамноза (6-деокси-L-манноза) и L-фукоза (6-деокси-L-галактоза) – одни из немногих моносахаридов L-конфигурации, найденных в растениях и животных.

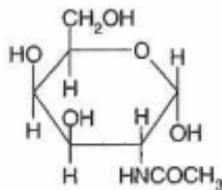
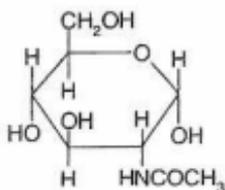


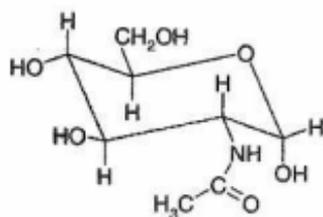
α - L - рамноза



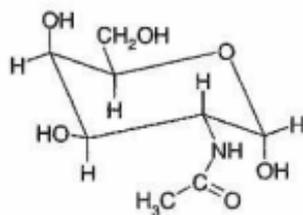
α - L - фукоза

Гидроксильная группа пиранозного кольца углевода может быть замещена на аминогруппу. Такие соединения представлены в растительном и животном мире в виде 2-аминоальдогексоз – D-глюкозамина и D-галактозамина. Обычно они встречаются в виде N-ацетильных производных.



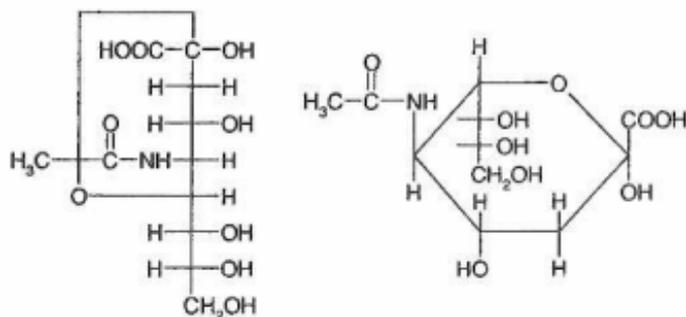


N - ацетил- α -D-глюкозамин
(2-ацетиламида-2-дезоксид- α -D-глюкозамин)



N - ацетил- α -D-галактозамин
(2-ацетиламида-2-дезоксид- α -D-галактозамин)

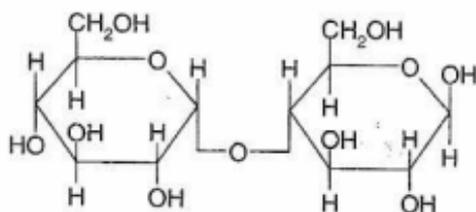
Сиаловые кислоты содержат девять атомов углерода (кетонозы) и являются ацильными производными 3,5-дидезокси-5-аминононулоновой кислоты, которая называется нейраминовой кислотой. N-Ацетил-нейраминовая кислота имеет следующую структуру:



N-ацетил-D-нейраминовая кислота

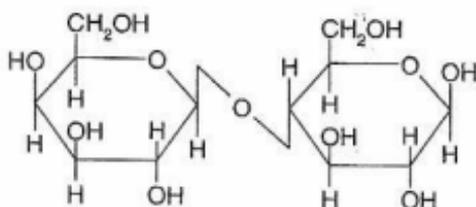
Хотя пиранозное кольцо соответствует кольцу L-моносахарида, нейраминовая кислота относится к D-моносахаридам, поскольку конфигурация при определяющем атоме C-7 стехиометрически подобна таковой для D-глицеринового альдегида. Сиаловые кислоты широко распространены в бактериях и животных тканях как компоненты липидов, полисахаридов, гликопротеинов и мукопротеинов.

Наиболее важными олигосахаридами (дисахаридами) являются мальтоза, лактоза и сахароза, в которых остатки моносахаридов соединены гликозидной связью.



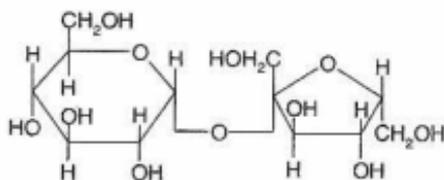
β -мальтоза

4-O- α -D-глюкопиранозил- β -D-глюкопираноза



β -лактоза

4-O- β -D-галактопиранозил- β -D-глюкопираноза

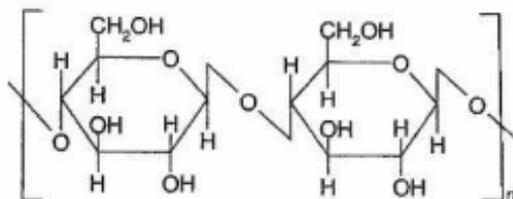


сахароза

α -D-глюкопиранозил- β -D-фруктофуранозид

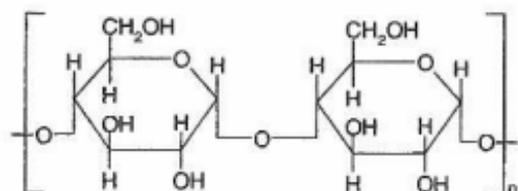
Сахароза в отличие от других представленных выше дисахаридов – невосстанавливающий углевод, так как она не подвергается мутаротации и не обладает свойствами, которые определяются присутствием полуацетальной группы.

подавляющее большинство углеводов существует в природе в виде высокомолекулярных соединений, которые при гидролизе дают моносахариды или их производные (либо то и другое). Наиболее часто встречающимся моносахаридным звеном является D-глюкоза. Природные полисахариды различаются не только молекулярной массой и моносахаридным составом, но и структурными особенностями (линейные и разветвлённые). Во всех случаях моносахаридные звенья соединены гликозидными связями типа (1–2), (1–3), (1–4) или (1–6), находящимися в α - или β -форме. Например, в растительном (структурном) полисахариде – целлюлозе – остатки D-глюкозы соединены β (1–4) гликозидной связью.



повторяющееся целлобиозное звено целлюлозы

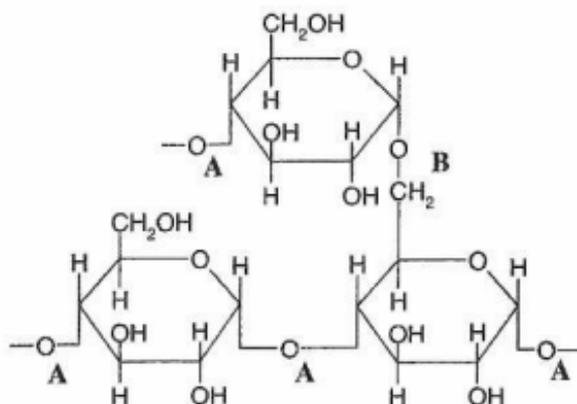
В крахмале (резервном полисахариде), распространённом в растительном мире, остатки D-глюкозы соединены $\alpha(1-4)$ гликозидной связью.



повторяющееся мальтозное звено крахмала

Природные крахмалы – амилоза и амилопектин – различаются степенью разветвления (первый обладает более длинной неразветвлённой цепью).

Ещё большей степенью разветвления обладает гликоген – природный (резервный) полисахарид, встречающийся в тканях животных (печени, мышцах).



точки ветвления акмилопектина и гликогена

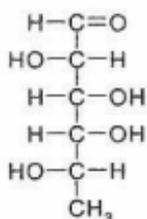
А – α - (1-4) - гликозидная связь

Б – α - (1-6) - гликозидная связь

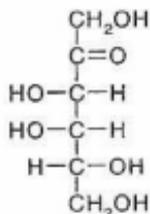
В молоке содержатся моносахариды, их производные и дисахарид-лактоза, а также более сложные олигосахариды. Лактоза выполняет в основном энергетическую функцию, на неё приходится около 30% энергетической ценности молока. Кроме того, один из компонентов лактозы – глюкоза является источником синтеза резервного углевода организма новорождённого – гликогена, другой компонент – галактоза необходим для образования ганглеозидов мозга.

Содержание глюкозы в молоке составляет 5-7%, галактозы-8%. В результате тепловой обработки появляется изомер галактозы – тагатоза.

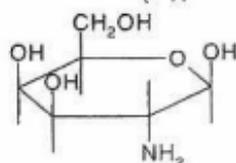
Аминопроизводные моносахаридов представлены аminosахарами — глюкозамин и N-ацетилнейраминовой кислотой, они входят в состав углеводной части гликопротеидов молока – χ -казеина, иммуноглобулинов, лактоферрина.



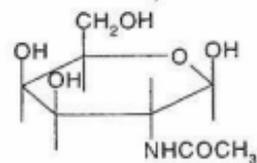
L-фукоза
(6-дезоксид - L-галактоза)



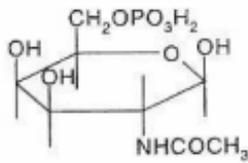
D-тагатоза



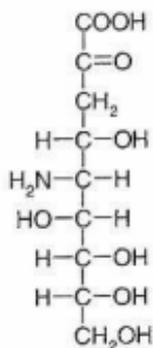
D-галактозамин



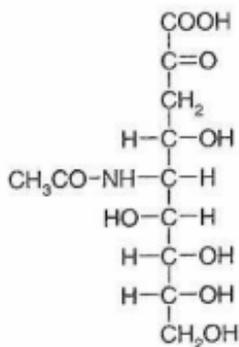
N-ацетилгалактозамин



N-ацетилгалактозамин -
- 6-фосфат



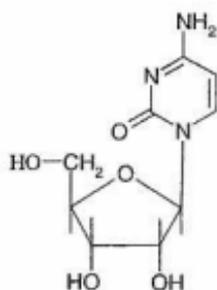
нейраминовая кислота



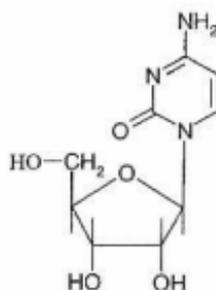
N-ацетилнейраминовая
кислота

Нуклеозиды

Нуклеозидами называется большой класс природных и синтетических веществ, являющихся N и C-гликозидами различных углеводов и гетероциклических оснований. В зависимости от природы углеводного остатка различают *рибонуклеозиды* и дезоксирибонуклеозиды.

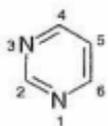


аденозин

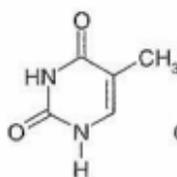


дезокситидин

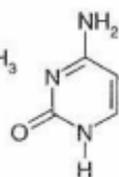
Природные нуклеозиды, входящие в состав нуклеиновых кислот, в большинстве случаев в качестве гетероциклических оснований содержат урацил, тимин, цитозин – это производные пиридина, аденин и гуанин – производные пурина.



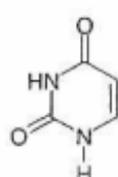
пиридин



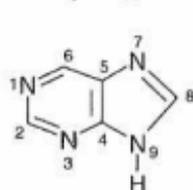
тимин



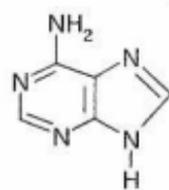
цитозин



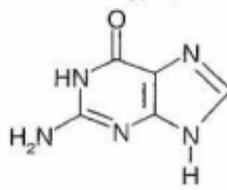
урацил



пурин

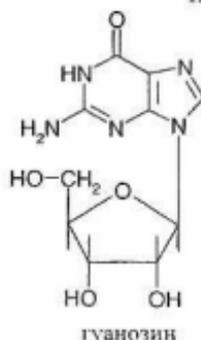
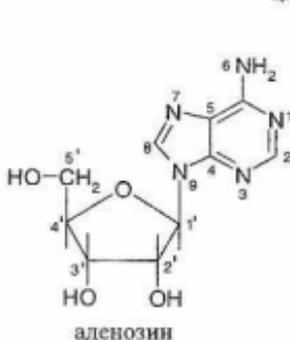
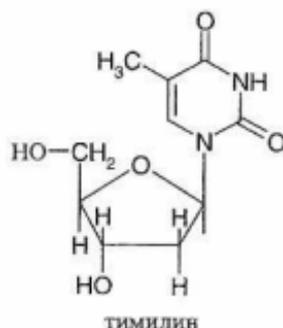
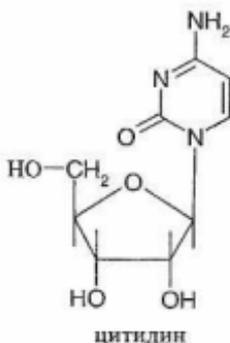
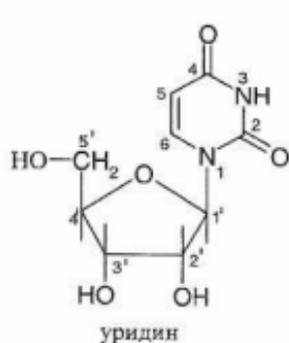


аденин



гуанин

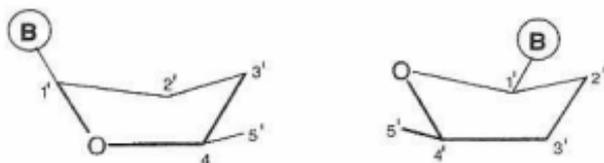
Полученные экспериментальные данные о структуре нуклеозидов свидетельствуют, что в природных пуриновых нуклеозидах пуриновые основания соединяются с углеводным остатком своими N-9 атомами азота, а пиридиновые с N-1.



Являясь N-гликозидами, нуклеозиды достаточно устойчивы к гидролизу в слабощелочной среде, но расщепляются в кислой. Пуриновые нуклеозиды гидролизуются легче, чем пиримидиновые.

Пространственное строение нуклеозидов

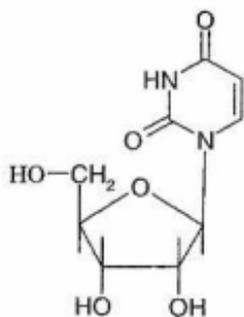
Углеводный остаток в нуклеозидах согласно экспериментальным данным имеет фуранозную структуру и по конформационному строению подобен циклопентану. Для него предпочтительна конформация конверта с выведением из плоскости одного атома углерода – C-3' или C-2'.



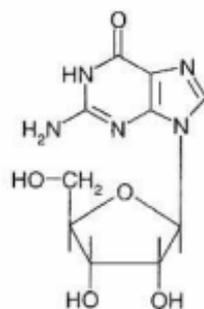
В-гетероциклическое основание

Плоские гетероциклы в нуклеозидах располагаются почти перпендикулярно плоскости фуранозного кольца. В связи с тем, что гетероциклическое основание в нуклеозидах может вращаться вокруг гликозидной связи, то из общего числа конформаций наиболее устойчивые – син- и анти-конформеры. Данные конформеры различаются поло-

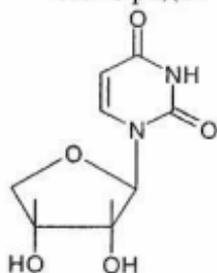
жением атома кислорода оксогруппы пиримидинового основания или атома N-3 пуринового цикла.



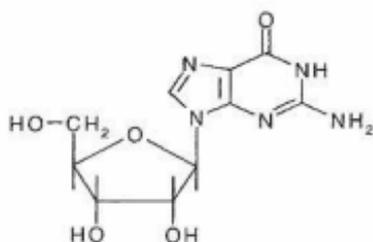
син-Уридин



син-Гуанозин



анти-Уридин

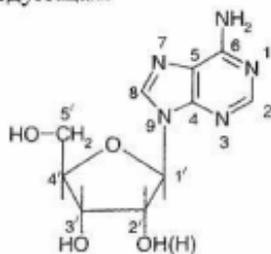


анти-Гуанозин

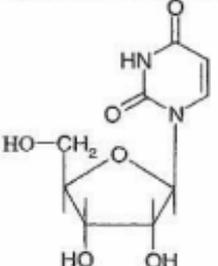
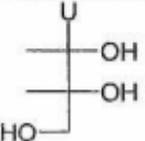
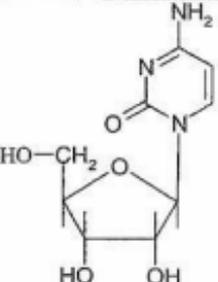
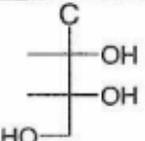
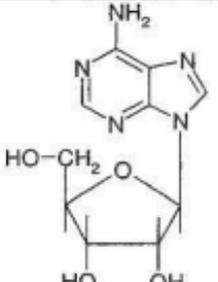
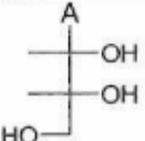
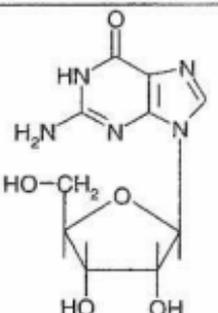
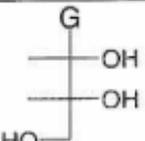
Обычно в кристаллическом состоянии нуклеозиды имеют анти-конформацию. В растворе для пиримидиновых нуклеозидов характерна анти-, а для пуриновых – анти- и син- конформации.

Номенклатура, сокращённые формулы нуклеозидов

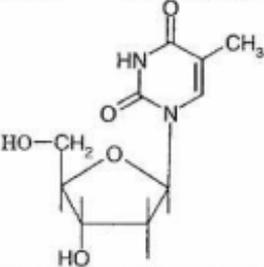
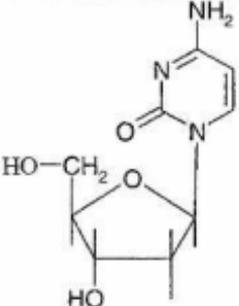
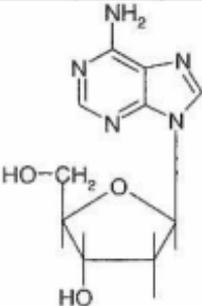
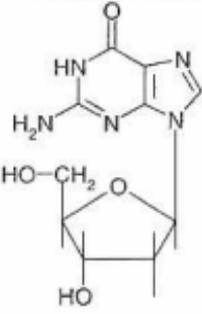
Приведённые экспериментальные данные о структуре нуклеозидов свидетельствуют, что природные пуриновые нуклеозиды являются 9 β D - рибо или 9 β 2' дезокси D - рибофуранозидами аденина и гуанина или 1 β D - рибо или 1 - β - 2' - дезокси D - рибофуранозидами цитозина, урацила и тимина. Нумерация атомов в пиримидиновых и пуриновых нуклеозидах следующая:

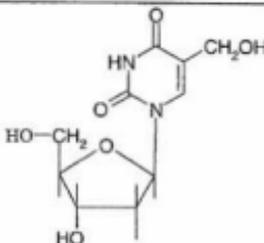
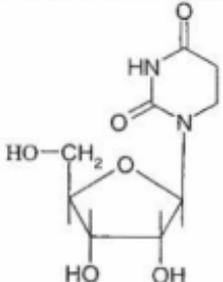
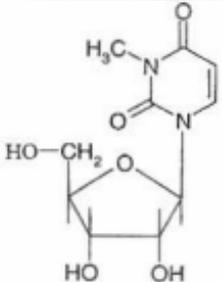


**Структура, название и обозначение основных пириимидиновых
пуриновых нуклеозидов, выделенных из РНК:**

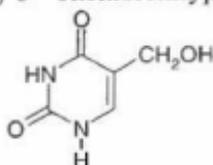
Структурная формула	Название	Сокращённая структурная формула	Сокращённые обозначения
	уридин (1 - β - D - рибофуранозилурацил)		U, Urd
	цитидин (1 - β - D - рибофуранозилцитозин)		C, Cyd
	аденозин (9 - β - D - рибофуранозиладенин)		A, Ado
	гуанозин (9 - β - D - рибофуранозилгуанин)		G, Guo

Пиримидиновые и пуриновые нуклеозиды из ДНК

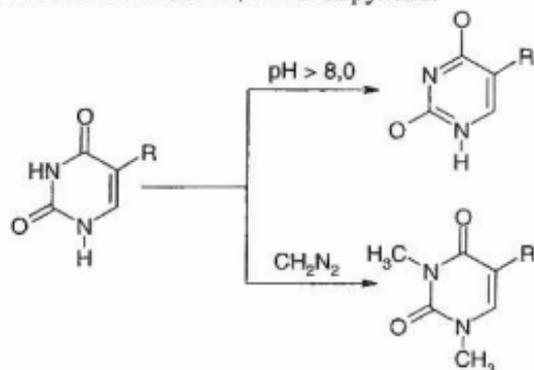
Структурная формула	Название	Сокращённые обозначения
	дезокситимидин 1 - β - 2' - D - рибофуранозилтимин	dT, dThd
	дезоксицитидин 1 - β - 2' - дезокси - D - рибофуранозилцитозин	dC, dCyt
	дезоксиаденозин 9 - β - 2' - дезокси - D - рибофуранозиладенин	dA, dAdo
	дезоксигуанозин 9 - β - 2' - дезокси - D - рибофуранозилгуанин	dG, dGuo

Минорные		
	5 – оксиметилдеоксиуридин 1 - β - 2' - дезокси - D - рибофуранозил - 5 - оксиметилурацил	Фaг SP8 (дезокситимидин)
	дигидроуридин 1 - β - D - рибофуранозил - 5,6 – дигидроурацил	
	3 – метилуридин 1 - β - D – рибофуранозил - 3 - метилурацил	M ³ U

Кроме основных и минорных нуклеозидов с N гликозидной связью, в соединениях некоторых РНК входят в значительных количествах нуклеозид с гликозидной связью иной природы – псевдоуридин, который был обнаружен в 1951 году, но для расшифровки его структуры потребовалось 10 лет. К псевдоуридину оказались неприменимы общие методы определения структуры. Было показано, что псевдоуридин имеет тот же элементарный состав, что и уридин, но устойчив к кислотному гидролизу. Долгое время его не удавалось расщепить на компоненты, УФ - спектр поглощения соединения отличался от уридина и 1 - алкилурацилов и был очень близок к спектру 5 - оксиметилурацила:



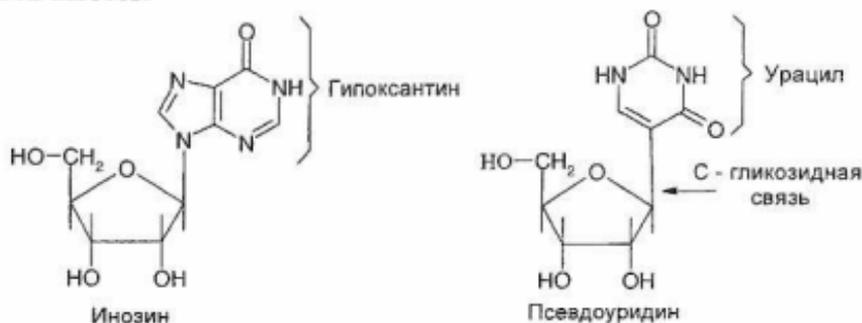
На основании этих данных было сделано предположение, что данный нуклеозид представляет собой С - гликозид с гликозидной связью в положении 5 или 6 (C⁵ или C⁶) пиримидинового кольца. Данный вывод подтвердили данными УФ-спектроскопии при различных значениях рН. Батохромный сдвиг кривой поглощения изучаемого нуклеозида в УФ - области при рН = 8,0 по сравнению с кривой поглощения в кислой среде указывает на то, что гетероциклические основания этого нуклеозида содержат две способные к ионизации оксигруппы:



R – остаток рибозы

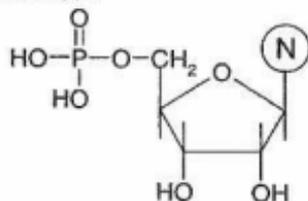
Метилирование обоих атомов азота свидетельствует, что в исходном нуклеозиде они не замещены. Наличие остатка D рибозы доказано расщеплением нуклеозида гидразином. Окончательная структура псевдоуридина была установлена путём двукратного окисления иодной кислотой с последующим восстановлением боргидридом натрия в 5' окси-метилацетил.

Кроме основных нуклеозидов в состав некоторых РНК входят в значительных количествах рибонуклеозиды – инозин, который является продуктом дезаминирования аденозина, а также псевдоуридин с С гликозидной связью, с чем связана его высокая гидролитическая устойчивость.



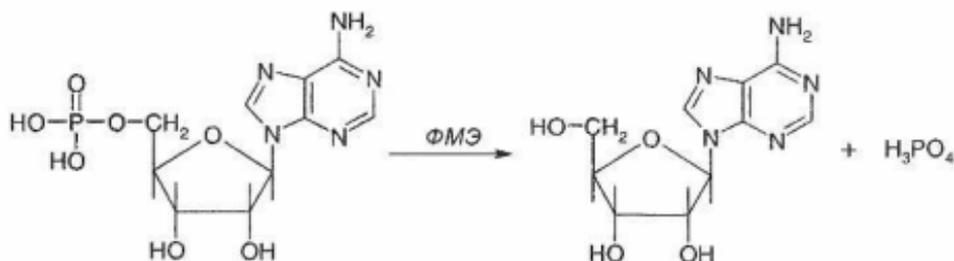
Нуклеотиды

Нуклеотидами называются фосфаты нуклеозидов. Было показано, что связь остатка фосфорной кислоты с нуклеозидом является сложноэфирной, когда фосфатная группа связана с одним из гидроксильных углеводного остатка нуклеозида.



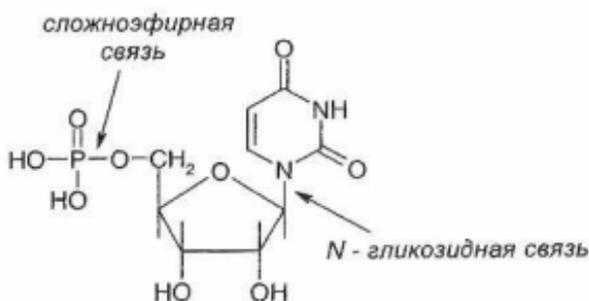
N – гетероциклическое основание Gua, Ade, Ura, Cyt, Thy

Такой вариант связи в мономерах нуклеиновых кислот подтверждается как химическими свойствами, так и расщеплением фосфатнуклеозидов с помощью специфических ферментов до фосфорной кислоты и нуклеозидов.

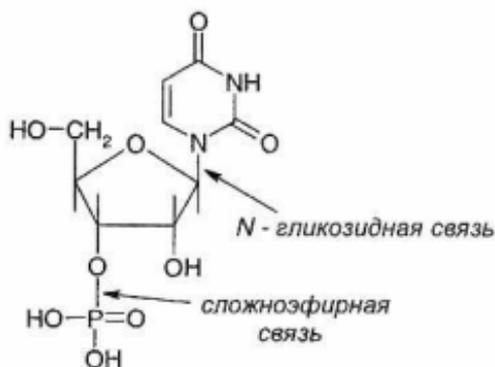


ФМЭ – фосфомоноэстераза

Таким образом, нуклеотиды можно рассматривать, с одной стороны, как эфиры нуклеозидов, с другой – как кислоты (в связи с наличием остатка фосфорной кислоты).



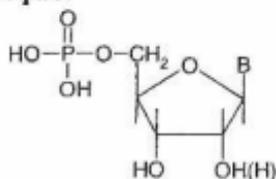
Уридин – 5' - фосфат, 5' - уридилловая кислота



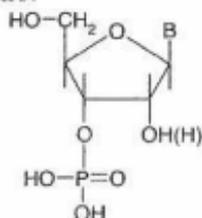
Номенклатура и изомерия

В зависимости от положения, которое занимает фосфатный остаток в рибо- или дезоксирибонуклеотиде, различают три типа (изомерных) нуклеотида:

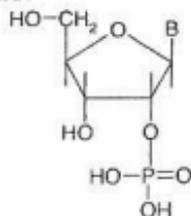
а) нуклеозид – 5' - фосфат:



б) нуклеозид – 3' - фосфат:

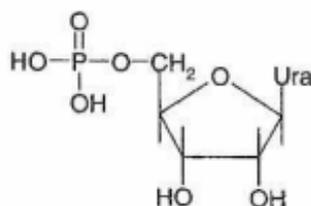


в) нуклеозид – 2' - фосфат:



Название нуклеотида составляет название нуклеозида с указанием положения места фосфатного остатка. Примеры:

Уридин – 5' - фосфат



или другое название – 5' - уридиловая кислота. То есть в этом случае к названию соответствующего нуклеозида добавляется окончание «-овая кислота»:

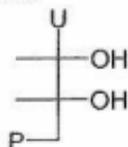
уридин (ил) > уридил + овая кислота
тимидин (ил) > тимидиловая кислота
цитидин (ил) > цитидиловая кислота

Для пуриновых нуклеотидов за основу берут название соответствующего основания + овая кислота с указанием местоположения фосфатного остатка в нуклеотиде. Примеры:

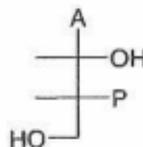
гуанил + овая кислота
 аденил + овая кислота

Иногда используют другую форму записи: уридиловая – 5' - кислота.

Согласно правилам IUPAC и IUB фосфатный остаток обозначают латинской буквой «P». Сокращённые формулы нуклеотидов выглядят следующим образом:

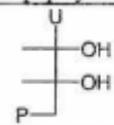
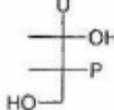
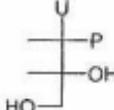
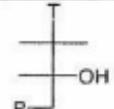
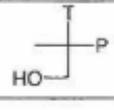


уридин – 5' - фосфат
 5' - уридиловая кислота

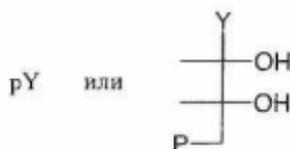


аденозин – 3' - фосфат
 3' - адениловая кислота

**Структура: название и обозначение основных нуклеотидов
выделенных из РНК и ДНК:**

Нуклеозид, входящий в состав нуклеотида	Название нуклеотида	Сокращённая структурная формула	Сокращённое буквенное обозначение
Уридин	уридин – 5' - фосфат 5' - уридилловая кислота		pU
Уридин	уридин – 3' - фосфат 3' - уридилловая кислота		Up
Уридин	уридин – 2' - фосфат 2' - уридилловая кислота		U2p
Дезокситимидин	Дезокситимидин – 5' - фосфат 5' - дезокситимидилловая кислота		pdT
Дезокситимидин	Дезокситимидин – 3' - фосфат 3' - дезокситимидилловая кислота		dTp

Названия и сокращённые обозначения минорных нуклеотидов строятся аналогичным образом. Например, псевдоуридин 5' - фосфат (5' псевдо-уридилловая кислота):

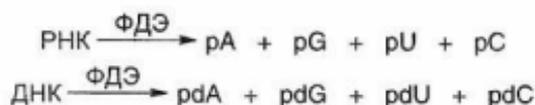


Таким образом, нуклеотиды являются *монофосфорилированными* по углеводному фрагменту *нуклеозидами*.

Рассмотрим более конкретно каждый из нуклеотидов.

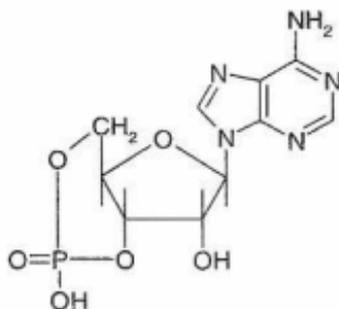
Нуклеозид – 5' - фосфаты

Данные нуклеотиды обычно получают гидролизом ДНК и РНК фосфодиэстеразой (ФДЭ) змеинового яда, либо ФДЭ аминомицетов и дрожжей.

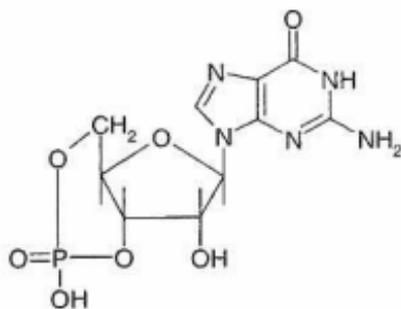


Нуклеозидциклофосфаты

К ним относятся нуклеотиды, у которых фосфорная кислота этерифицирует одновременно две гидроксильные группы углеводного остатка. Из циклофосфатов нуклеозидов наибольший интерес представляют аденозин-3',5'-циклофосфат, и гуанозин-3',5'-циклофосфат, которые присутствуют практически во всех клетках.



аденозин-3',5'-циклофосфат



гуанозин-3',5'-циклофосфат

В биохимической литературе достаточно широко используется сокращённое обозначение нуклеозидциклофосфатов, например, циклогуанозинмонофосфат – cGMP, циклоаденозинмонофосфат – cAMP.

Липиды

Эти органические соединения, входящие в состав тканей и животных растений, построены по типу сложных эфиров. Нейтральные жиры и жироподобные соединения (липоиды) объединяют общим названием липиды.

Они могут различаться структурой входящих в их состав спиртов и жирных кислот. Условно их разделяют на 6 групп: **глицериды, фосфатиды, сфинго-липиды, стериды, каротиноиды и воска.**

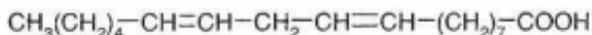
В организме они выполняют следующие функции:

- являются структурными компонентами мембран,
- служат формой, которой депонируются запасы метаболического топлива,
- служат формой, в которой это топливо транспортируется,
- выполняют защитную роль в клеточных стенках бактерий, клетках высших растений, в наружном скелете насекомых, в коже позвоночных.

Свободные жирные кислоты содержатся в большинстве клеток лишь в следовых количествах. В основном они играют роль строительных блоков для липидов, таких как глицериды, нейтральные жиры, эфиры холестерина и некоторые воска. Углеводные цепи жирных кислот различаются длиной углеводной цепи, а также числом и расположением ненасыщенных связей. Среди ненасыщенных жирных кислот у высших организмов чаще других встречаются олеиновая, линолевая, линоленовая и арахидоновая кислоты.



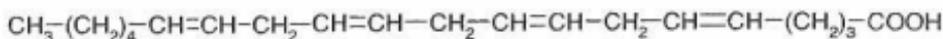
олеиновая кислота



линолевая кислота



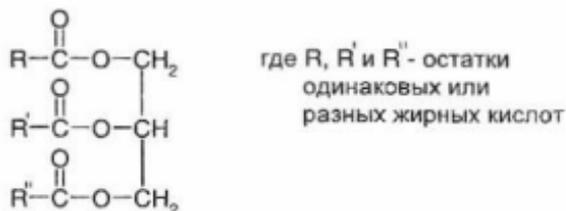
линоленовая кислота



арахидоновая кислота

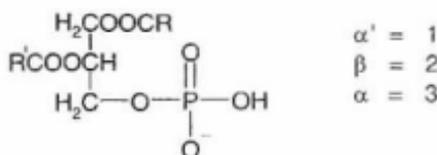
Липиды бактерий имеют более простое строение, чем липиды высших организмов. Так в состав *E.coli* входят насыщенные жирные кислоты, содержащие от 12 до 18 атомов углерода.

В качестве спиртовой компоненты в природных липидах часто используется глицерин. При этом жирной кислотой могут быть этерифицированы одна-, две- или три его гидроксильные группы с образованием моно-, ди- или триацилглицеринов. Последние являются наиболее распространенной формой нейтральных жиров в природе и играют важную роль в метаболизме липидов.



общая формула триацилглицеринов

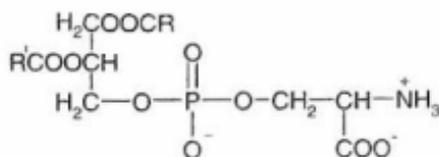
Фосфатиды или фосфоглицериды широко распространены в растениях, животных, микроорганизмах и могут рассматриваться как производные L-глицеро-3-фосфата. Биологическая роль этих амфифильных молекул велика, так как именно они составляют до 50% всех липидов биологических мембран.



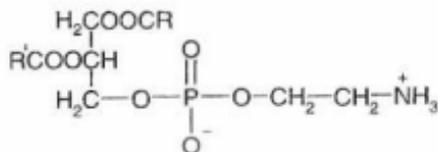
L-фосфатидная кислота (1,2-O-диацил-L-глицеро-3-фосфат)

У большинства природных фосфатидов насыщенные жирные кислоты находятся в положении C-1, а ненасыщенные – в положении C-2.

Среди соединений этой группы наиболее часто встречаются фосфатидилхолин (лецитин), фосфатидилэтаноламин, фосфатидилсерин, фосфатидилинозитид, содержащие азотистое основание холин, этаноламин, аминокислоту серин и шестиатомный спирт миоинозит, соответственно.



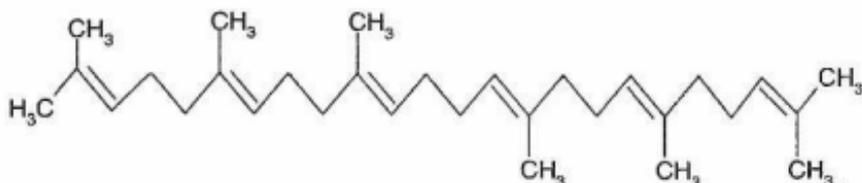
L-фосфатидилхолин



L-фосфатидилэтаноламин

В качестве моносахарида обычно присутствуют D-галактопираноза или (реже) D-глюкопираноза.

В живой природе существует множество соединений, содержащих в своей структуре звенья, сходные с изопреном. Их называют терпенами. Примером такого соединения служит сквален – углеводород, являющийся главным липидным компонентом вируса дифтерии птиц, а также промежуточным продуктом в биосинтезе холестерина.

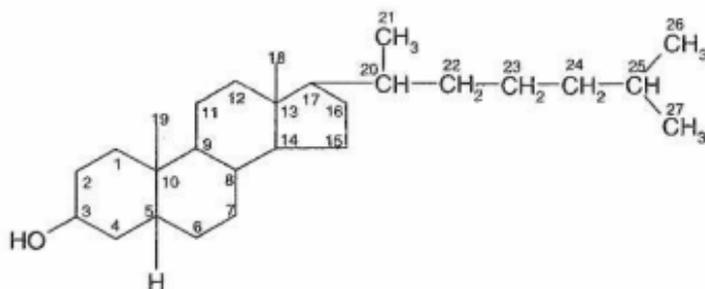


сквален

К классу терпенов относятся каротиноиды, являющиеся растительными пигментами.

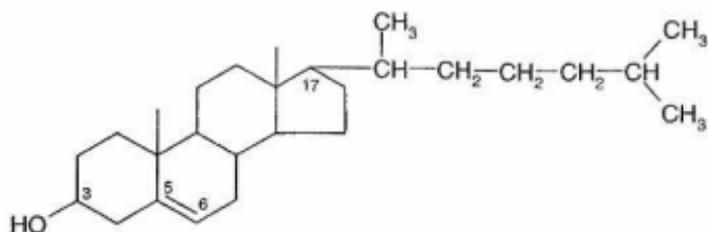
Структурное сходство с ними имеют стероиды. Их можно рассматривать как производные восстановленных конденсированных циклических систем – циклопентанофенантронов, состоящих из трех конденсированных циклогексановых колец типа фенантрена и одного циклопентанового кольца.

Типичным представителем этой группы является холестеранол, все циклы в молекуле которого являются насыщенными.



холестанол

Стероиды, имеющие от 8 до 10 углеродных атомов в боковой цепи, находящейся в положении 17, и гидроксильную группу в положении 3, выделили в отдельный класс и назвали стеринами. В животных тканях наиболее распространенным представителем стерина является холестерин.



холестерин

Гормоны

Это физиологически активные вещества, которые вырабатываются эндокринными органами в ответ на сигналы из внешней или внутренней среды. Они секретируются в кровь или лимфу и далее разносятся по всему организму. Гормоны участвуют в регуляции функций организма как единого целого. Согласно химической классификации, их разделяют на три группы: стероидные, пептидные (белковые) и прочие (непептидные производные аминокислот).

Витамины

Это группа органических соединений разнообразной химической природы, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма человека и животных. Они присутствуют в пище в ничтожно малых количествах по сравнению с основными питательными веществами – белками, жирами и углеводами. Многие витамины являются коферментами, то есть входят в состав ферментов, а поэтому при недостатке или отсутствии их в пище обмен веществ нарушается.

Для установления химической структуры витаминов их обозначают буквами латинского алфавита (А, В, С, D, Е, F и так далее). По физико-химическим свойствам, в частности, по растворимости, их делят на две группы: жирорастворимые и водорастворимые. Жирорастворимые витамины всасываются из кишечника вместе с липидами пищи. Вследствие растворимости в липидах значительное количество жирорастворимых витаминов сохраняется в печени. Запасы водорастворимых витаминов в организме человека незначительны. Поэтому можно однократно ввести дозу жирорастворимых витаминов, обеспечивающую потребность организма в течении нескольких недель, водорастворимые же витамины необходимо вводить значительно чаще.

Ферменты

Ферменты (энзимы) – специфические белки, образующиеся в тканях животных и растительных организмов, обладающих способностью ускорять химические реакции. Поэтому их называют биокатализаторами.

В настоящее время известно свыше 1000 различных ферментов, около 150 из них выделены в кристаллическом состоянии.

В структуре фермента можно выделить два основных структурных фрагмента: **апофермент** (белковая часть) и **простетическую группу** (небелковую часть). Если небелковая представляет собой сложное органическое соединение типа фолиевой или пантотеновой кислоты, витаминов группы В (витамины В₁, В₂, В₆, В₁₂), то её называют коферментом. Если небелковая часть – ион металла, то это кофактор.

Сами по себе эти компоненты неактивны. В клетках они образуют активный комплекс фермента – холофермент.

Ферменты – глобулярные белки, поэтому они обладают свойствами белковых веществ. В частности, проявляют своё действие при определённых рН среды. Одни ферменты активны в кислой среде: так, пепсин активен при рН = 1,6 – 2,5, другие ферменты активны в щелочной среде – трипсин проявляет своё каталитическое действие при рН = 7,8–8,2, третьи – проявляют активность в слабокислой или слабощелочной среде, например – амилаза при рН = 6,8 – 7,2. При нагревании до 100°С фермент теряет свою каталитическую активность (инактивируется).

В 1956 году Комиссия о ферментах Международного Биохимического Союза предложила классификацию и систематическую номенклатуру ферментов. Согласно этой классификации, ферменты подразделяются на 6 основных классов:

оксиредуктазы – ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные процессы;

трансферазы – ферменты, катализирующие реакции переноса групп;

гидролазы – ферменты, катализирующие реакции гидролиза;

лиазы – ферменты, катализирующие присоединение групп к двойным связям или отщепление групп с образованием двойной связи негидролитическим путём;

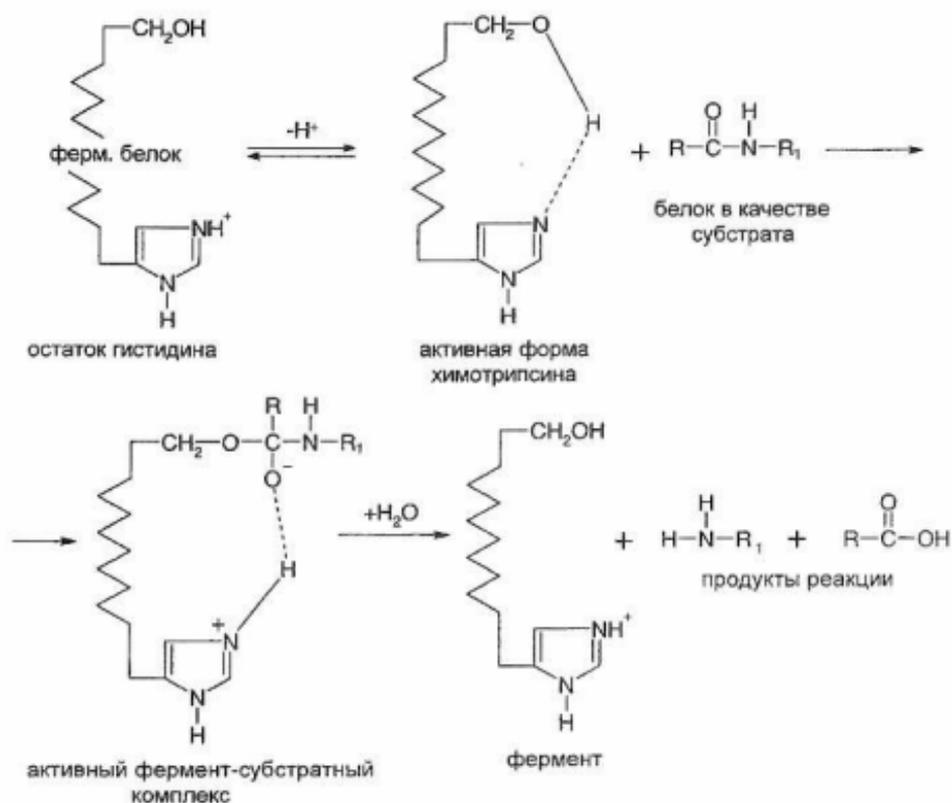
изомеразы – ферменты, катализирующие реакции изомеризации;

лигазы (синтетазы) – ферменты, катализирующие реакции конденсации двух молекул, сопряжённые с расщеплением пирофосфатной связи в молекуле АТФ или аналогичного трифосфата.

Каждый класс ферментов подразделяется на подклассы и подподклассы в зависимости от структуры субстратов и типа катализируемой реакции. Одно из условий протекания ферментативных реакций – определённое пространственное расположение реагирующих

веществ относительно друг друга. Этот стерический фактор указывает на существование активного центра фермента, который находится в его белковой части.

В качестве примера можно привести механизм действия протеолитического фермента химотрипсина.



ЧАСТЬ II

Пищевая и биологическая ценность молока

Удобным объектом для изучения природных соединений являются молоко и молочные продукты, так как в них содержатся все необходимые для человеческого организма питательные (белки, жиры, углеводы, минеральные вещества, витамины, воду) в хорошо сбалансированных соотношениях и легко перевариваемой форме.

Как известно, важная роль в рациональном питании принадлежит животным белкам. По перевариваемости и сбалансированности аминокислотного состава белки молока относятся к наиболее биологически ценным. Их усвояемость составляет 96-98%, показатель чистой утилизации 82%. Важно отметить, что основной белок молока – казеин легко атакуется и переваривается в нативном неденатурированном виде с помощью протеолитических ферментов пищеварительного тракта.

Некоторый дефицит серосодержащих аминокислот, в основном цистина, отмечен для казеина, но им богаты и сывороточные белки молока, которые в свою очередь характеризуются высоким содержанием таких дефицитных аминокислот, как лизин и триптофан.

Определённую ценность в питании человека представляет жир молока. Его лучше всего по сравнению с растительными жирами усвоению способствуют, во-первых, относительно низкая температура плавления жира (28-33°C), во-вторых, нахождение в молоке в тонкодисперсном виде. Коэффициент перевариваемости молочного жира составляет 97-99%. Присутствие же в молочном жире дефицитной арахидоновой кислоты, жирных кислот с короткой цепью, а также значительных фосфолипидов и витаминов (A, D, E) повышают его биологическую ценность.

Важным компонентом молока является лактоза. В отличие от других сахаров она относительно плохо растворима в воде, медленно всасывается в кишечнике, а тем самым стимулирует развитие в нём молочнокислых палочек, которые, образуя молочную кислоту, подавляют гнилостную микрофлору и способствуют лучшему всасыванию кальция и фосфора. Особенно важна роль лактозы в питании грудных детей.

В молоке присутствуют фосфор и кальций – постоянный источник почти всех витаминов. Особенно богато оно относительно дефицитным в пищевых продуктах рибофлавином. Около 50% суточной потребности человека в рибофлавине удовлетворяются за счёт молока и молочных продуктов.

Биологическую ценность молока дополняют разнообразные ферменты, гормоны, антитела, антибиотики и другие биологически активные вещества.

Кисломолочные продукты обладают хорошими диетологическими свойствами, они содержат белки в мелкодисперсном состоянии, частично расщеплённом, что способствует особенно лёгкой их перевариваемости. Благодаря накоплению углекислоты, молочной кислоты и других вкусовых веществ кисломолочные продукты возбуждают аппетит, стимулируют выделение желудочного сока, улучшают обмен веществ. Наличие в их составе живых микроорганизмов, способных приживаться в кишечнике и подавлять гнилостную микрофлору, приводит к торможению гнилостных процессов и прекращению образования ядовитых продуктов распада белка-фенола, индола, скатола.

Например, кумыс улучшает пищеварение и оказывает антибиотическое действие, потому применяется при лечении некоторых форм туберкулёза, хронического бронхита, желудочно-кишечных заболеваний, малокровия.

Кефир стимулирует желудочную секрецию, творог благодаря высокому содержанию ценной аминокислоты – метионина – обладает липотропными и антисклеротическим действием и применяется при заболеваниях печени, почек и сердечно-сосудистой системы. Он также является источником легкоусвояемых белков, кальция, фосфора.

Белки

Общее содержание кислот в молоке колеблется от 2,9 до 4%. Белки молока разнообразны по строению, физико-химическим свойствам и биологическим функциям.

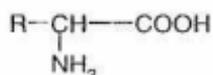
В молоке обнаружена целая система белков, среди которых выделяют две главные группы: казеин и сывороточные белки. Классификация белков приведена в таблице I. Основная часть белков молока (78-85%) представлена казеинами. Компонентами сывороточных белков являются α -лактоглобулин и β -лактальбумин, а также альбумин сыворотки крови, иммуноглобулин, протеозо-пептоны и лактоферрин.

К белкам молока следует отнести ферменты, некоторые гормоны (пролактин) белки оболочек жировых шариков. Биологические функции всех белков молока ещё не выяснены. Известно, что казеины являются собственно пищевыми белками. Они максимально расщепляются пищеварительными протеиназами в нативном состоянии. Казеины обладают свойством свёртывания в желудке новорожденного с образованием сгустков высокой степени дисперсности. Кроме того, они являются источником кальция и

фосфора, а также целого ряда активных пептидов. Так, при частичном гидролизе казеина под действием химозина в желудке освобождаются гликомакропептиды регулирующие процесс пищеварения (уровень желудочной секреции).

Не менее важными биологическими функциями обладают сывороточные белки. Так, иммуноглобулины выполняют защитную функцию, являются носителями пассивного иммунитета, лактоферрин и лизоцим обладают антибактериальными свойствами. Лактоферрин и β -лактоглобулин выполняют транспортную функцию – переносят в кишечник железо, витамины и другие важные соединения. Сывороточный белок α -лактальбумин имеет специфическую функцию: он необходим для синтеза лактозы.

Белки молока содержат почти все аминокислоты, встречающиеся в белках. Аминокислоты белков относятся к α -аминокислотам L-формы и имеют общую формулу:



В состав белков молока входят как циклические, так и ациклические аминокислоты, обычно встречающиеся в белках, – нейтральные, кислые и основные, причём преобладают кислые (таблица 2). Основные белки молока по сравнению с глобулярными белками других пищевых продуктов содержат сравнительно много лейцина, изолейцина, лизина, глутаминовой кислоты, а казеин – также серина и пролина, что видно из таблицы 3.

В настоящее время известны первичные структуры большинства компонентов казеина, α -лактальбумина, β -лактоглобулина и трёх компонентов протеозо-пептонов.

Казеин

Главные компонент казеина – α_s , β и χ – представляют собой одиночные полипептидные цепочки, содержащие соответственно 199, 209 и 169 аминокислотных остатков, причём молекула χ -казеина на N-конце содержит пироглутаминовую кислоту.

γ -казеины являются фрагментами полипептидной цепи β -казеина, т.к. образуются при расщеплении последнего протеиназами молока. Так, γ_1 -казеин представляет собой фрагмент от 29^{-го} по 209^{-й} аминокислотный остаток цепи, γ_2 -казеин – от 106^{-го} по 209^{-й} и γ_3 -казеин – от 108^{-го} по 209^{-й} остаток. (см. схемы в Приложении).

Компоненты казеина содержат по сравнению с обычными глобулярными белками много неполярных (гидрофобных) аминокислот. В полипептидных цепях α_{s1} - и β - казеина наблюдается неравномерное расположение гидрофобных и гидрофильных участков, в χ -казеине они были строго ограничены: макропептид имеет гидрофильный характер, а пара- χ -казеин — гидрофобный. В молекулах α_{s1} - и β - казеина обнаружены специфические гидрофобные участки, обуславливающие способность казеинов к агрегированию.

В полипептидной цепи χ - казеина содержится два остатка цистеина, поэтому он может полимеризоваться за счёт образования дисульфидных связей.

α -Лактальбумин и β -лактоглобулин являются одноцепочечными белками, которые состоят из 123 и 162 аминокислотных остатков. В α -лактальбумине восемь остатков цистеина, которые образуют четыре внутримолекулярные дисульфидные связи. Цепь β -лактоглобулина содержит две сульфидные связи и одну свободную сульфгидрильную группу, поэтому белок легко образует димеры и полимеры.

Три компонента протеозо-пептонов (5, 8 «быстрый» и 8 «медленный») является фрагментами молекулы β -казеина и содержат соответственно аминокислотные остатки 1-28, 1-105 и 1-107.

α_s , β - и χ - казеин имеют незначительное количество α - спиральных участков, что обусловлено высоким содержанием пролина (8-17%) и его беспорядочным расположением вдоль полипептидных цепей.

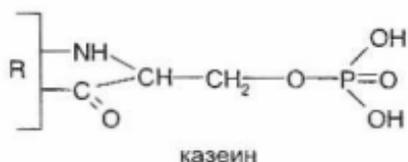
β -Лактоглобулин содержит 10-17% α -спирали, α -лактальбумин – 26%, остальное количество составляют β -конформации и неупорядоченная структура.

Количество казеина в молоке составляет 2,3-2,9%. На практике под казеином понимают смесь белков, осаждаемых из обезжиренного молока при подкислении до pH=4,6. Очищенный казеин представляет собой порошок белого цвета, без запаха и вкуса, практически не растворимый в воде, растворимый в слабых растворах щелочей, солей щелочных и щелочно-земельных металлов и минеральных кислот. Элементарный средний состав нефракционированного казеина (в %) следующий: углерод-53; водород-7,1; азот-15,63; кислород-22,6; сера-0,82; фосфор-0,85.

В растворе казеин имеет ряд свободных функциональных групп, которые обуславливают его заряд, характер взаимодействия с водой и способность вступать в химические реакции.

Носителями отрицательных зарядов и кислотных свойств казеина являются β и γ -группы аспарагиновой и глутаминовой кислот, носителями положительных зарядов и основных свойств – ϵ -аминогруппы лизина, гуанидиновые группы аргинина и имидазольные группы гистидина.

При рН свежего молока (6,6) казеин имеет отрицательный заряд. Изoeлектрическое состояние белка наблюдается при рН=4,6-4,7. Следовательно, в состав казеина входят дикарбоновые кислоты. Кроме того, отрицательный заряд и свойства казеина усиливают гидроксильные группы фосфорной кислоты. Казеин принадлежит к фосфопротеидам, содержит фосфорную кислоту, присоединённую моноэфирной связью к остаткам серина:



Своими полярными группами и пептидными группировками главных цепей казеин связывает значительное количество воды – более 2 граммов на 1 грамм белка.

Казеин подобно всем белкам обладает амфотерными свойствами – способен проявлять как кислые, так и щелочные свойства:



В молоке казеин имеет явно выраженные кислые свойства. Его свободные карбоксильные группы фосфорной кислоты легко взаимодействуют с ионами солей щелочных и щелочно-земельных металлов (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), образуя казеины.

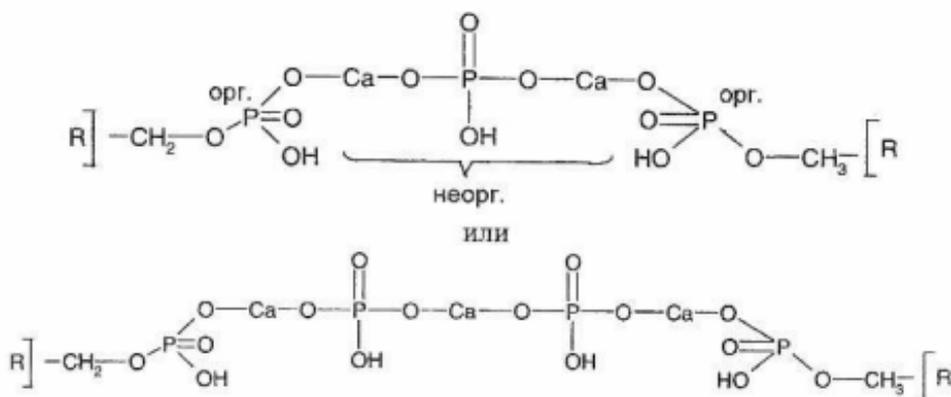
Свободные аминогруппы казеина могут взаимодействовать с альдегидами:



Взаимодействие с альдегидными группами лактозы и глюкозы:



Казеин является гетерогенным белком. Применяя электрофорез на крахмальном или полиакриламидном геле в присутствии мочевины, его можно разделить на компоненты – α_s , β -, χ - и γ -казеины. Они имеют



Среднее содержание (в % к сухому веществу осадка) неорганического фосфора составляет 0,93-1,04; органического фосфора 0,68-0,74, общего кальция 2,65-2,75. Соотношение содержания органического фосфора и азота в казеине в среднем составляет 0,053-0,055. Кроме того, в составе минеральной части ККФК обнаружено 0,2% Mg, 0,21% калия, 0,07% натрия и 0,4-0,52% лимонной кислоты.

Сывороточные белки

После осаждения казеина из обезжиренного молока кислотой в сыворотке остаётся 0,5-0,8% белков (15-22% всех белков), которые называются сывороточными. Главными являются β -лактоглобулин, α -лактальбумин, альбумин сыворотки крови, иммуноглобулин и компоненты протеозо-пептонной фракции. Кроме них в сыворотке содержатся лактоферрин, ферменты и другие минорные компоненты.

Сывороточные белки по содержанию дефицитных незаменимых аминокислот (лизина, триптофана, метионила, треонина) и цистеина является наиболее биологически ценной частью белков молока.

Лактоглобулин. На долю β -лактоглобулина приходится около половины всех сывороточных белков (или 7-12% общего количества белков молока). В последние годы стала известна его структура и пять вариантов, один из которых содержит углеводы. В молоке белок находится в виде димера, состоящего из двух полипептидных цепей с молекулярной массой около 18000 каждая. При нагревании молока до температуры выше 30°C β -лактоглобулин распадается на мономеры, которые при дальнейшем нагревании агрегируют за счёт образования дисульфидных связей. Денатурированный в процессе пастеризации β -лактоглобулин образует комплексы с χ -казеином мицелл казеина и осаждаётся вместе с ними при кислотной или сычужной коагуляции

казеина. Образование комплекса β -лактоглобулин- χ -казеин значительно ухудшает атаку χ -казеина сычужным ферментом и снижает термоустойчивость мицелл казеина.

β -Лактоглобулин в нативном состоянии обладает свойством связывать катионы, анионы и липидные соединения. В кислой среде желудка он устойчив к действию пепсина и химозина и расщепляется лишь в кишечнике трипсином и химотрипсином. Одной из важнейших его функций является транспортирование в кишечнике кислотонеустойчивых веществ.

α -Лактальбумин. Его содержание – 2-5% от общего количества белков молока, является гетерогенным белком. Он содержит главный компонент, имеющий два генетических варианта ($M_r \approx 14000$), а также минорные компоненты, некоторые из которых являются гликопротеидами.

В молоке α -лактальбумин тонко диспергирован, размер частиц 15-20 нм. Он не коагулирует в изоэлектрической точке (рН 4,2-4,5) в силу своей большой гидратированности, не свёртывается под действием сычужного фермента, термостабилен. Повышенная устойчивость α -лактальбумина к нагреванию обусловлена наличием в его молекуле большого количества дисульфидных связей. Он является специфическим белком, необходимым для синтеза лактозы из УДФ-галактозы и глюкозы.

Имуноглобулин. В обычном молоке иммуноглобулинов содержится очень мало (1,9-3,3% от общего количества белков). В малозиве они составляют до 90% сывороточных белков. Иммуноглобулины объединяют в группу высокомолекулярных белков (гликопротеидов), выполняющих функцию антител. Антитела — вещества, образующиеся в организме животного при введении в него чужеродных белков и нейтрализующие их. К ним относятся аглутинины, бактериолизины, преципитаты, антитоксины.

Протеозо-пептоны. Это наиболее термостабильная часть сыворотки. Протеозо-пептоны не осаждаются из обезжиренного молока при рН 4,6 после нагревания до 95-100°C в течение 20 минут. Они составляют около 24% сывороточных белков, 2-6% белков молока. Эта фракция состоит из четырёх компонентов 3,5,8 «быстрый» и 8 «медленный». Компонент 3 представляет собой сывороточный белок массой 41000 и высоким содержанием углеводов (до 17%). Остальные компоненты являются фосфопептидами, образующимися вместе с γ -казеинами при расщеплении β -казеина.

Лактоферрин. Это красный железосвязывающий белок, по своим свойствам похожий на трансферрин крови, но отличающийся последовательностью аминокислот в цепи. Это гликопротеид молекулярной массы около 77000, обладает бактериостатическим

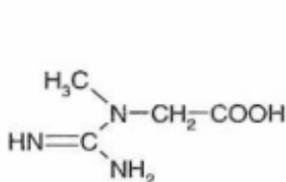
действием по отношению к *E. coli*. В коровьем молоке его содержится 0,1-0,35 мг/мл.

Небелковые азотистые соединения

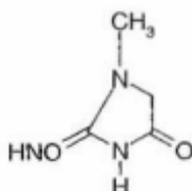
Мочевина – главный конечный продукт азотистого обмена у животных. Нормальное содержание мочевины в крови и молоке – 15-20 мг%.

Пептиды и аминокислоты – промежуточные продукты азотистого обмена, в молоке содержится 5-8 мг%. Эти небелковые азотистые соединения молока являются одним из основных источников азотистого питания микроорганизмов заквасок.

Креатин, креатинин и аммиак. Общее количество креатина и креатинина в молоке не превышает 2,5-4,5 мг%.



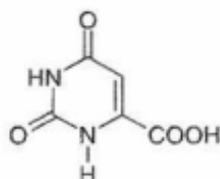
креатин



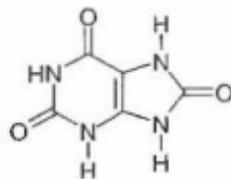
креатинин

Азот аммиака составляет 0,3-1 мг%.

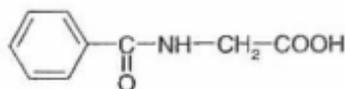
Оротовая, мочева и гиппуровая кислоты.



Оротовая кислота
(6-карбоксиурацил)



мочевая кислота
(2,6,8 - триоксипуриин)



гиппуровая кислота
(N-бензоилглицин)

Ферменты

Наиболее широко в молоке представлены ферменты класса гидролаз.

Протеазы расщепляют белки и продукты их распада, разрывая пептидные связи. Это пепсин, трипсин и сычужный фермент. Под действием протеаз образуются пептоны и протеазы, а также полипептиды и аминокислоты (см. табл. 5, Приложение).

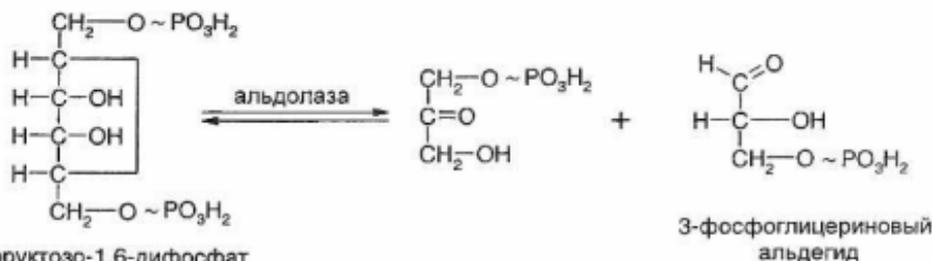
Карбогидразы расщепляют гликозидные связи в углеводах. Наиболее известна нативная карбогидраза молока – α -амилаза, называемая диастазой, которая расщепляет крахмал до мальтозы. Она очень чувствительна к температурным воздействиям и полностью разрушается при повышении температуры до 58°C . Температурный оптимум нативной α -амилазы равен 44°C , а $\text{pH} = 7,4$. Для проявления её активности необходимо наличие ионов кальция (кофактор).

Фосфатаза катализирует гидролиз сложных эфиров фосфорной кислоты.



Ксантиноксидаза катализирует альдегидные реакции.

Альдолаза, относящаяся к классу лиаз, катализирует в цепи молочнокислого брожения расщепление фруктозо-1,6-дифосфата, образование которого является важной стадией в процессе гликолиза лактозы:

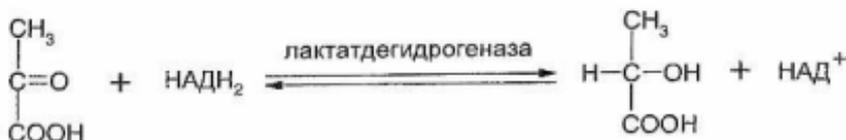


Ацетилэстераза расщепляет сложные эфиры уксусной кислоты.

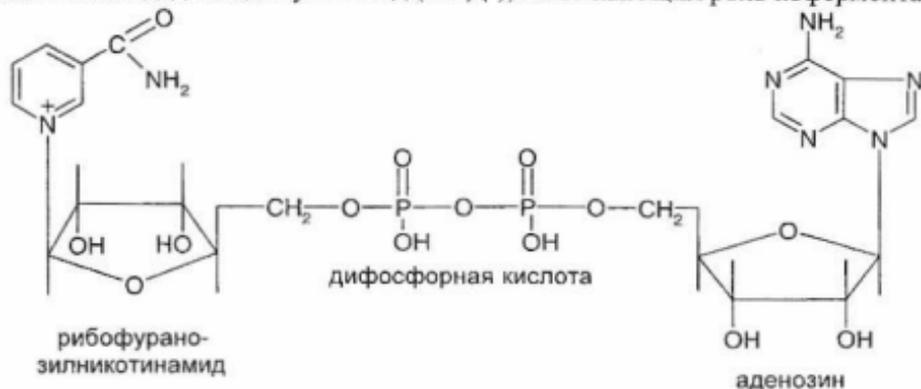
Роданаза контролирует превращение уранида в тиоционат и может обезвреживать ядовитые вещества:



Оригинальные ферменты молока относятся к классу оксиредуктаз. Они являются переносчиками электронов и водорода, которые катализируют процессы биологического окисления. К этому классу ферментов относятся лактатдеhydroгеназа и лактандегидрогеназы:



Важную роль в обмене веществ у молочнокислых бактерий играет никотинамидадениндинуклеотид (НАД⁺), выполняющий роль кофермента:



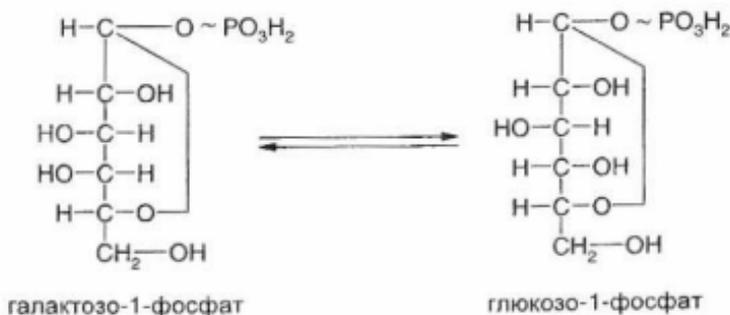
Ещё один представитель класса оксидоруктаз – пероксидаза (обнаружена в количестве 1%) отщепляет от перекисей атомарный кислород и переносит его на легко окисляющиеся вещества; присутствующие в молоке.

Каталаза (оксидоруктаза) – фермент, катализирующий разложение перекиси водорода. Кофактором данного фермента является ион железа (Fe^{2+} или Fe^{3+}).

Трансаминазы – представители класса ферментов трансфераз – являются переносчиками аминогрупп аминокислот.

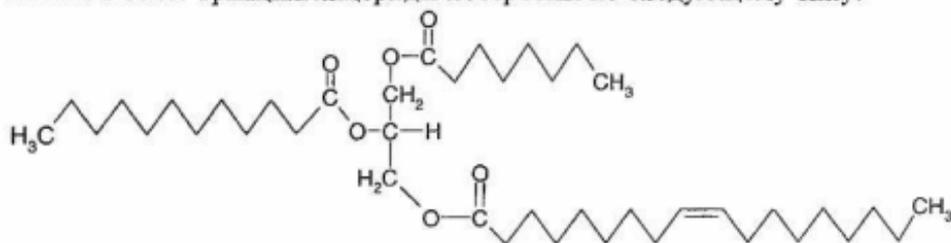


Изомеразы катализируют взаимное превращение галактозо-1-фосфата в глюкозо-6-фосфат.



Липиды

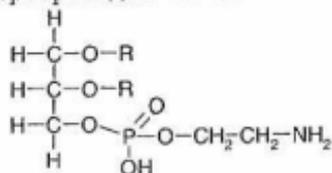
Содержание жира в молоке (молочного жира) колеблется от 2,8 до 5%. Главный компонент жира молока ацилглицериды, составляющие по массе 98-99%. Триацилглицериды построены по следующему типу:



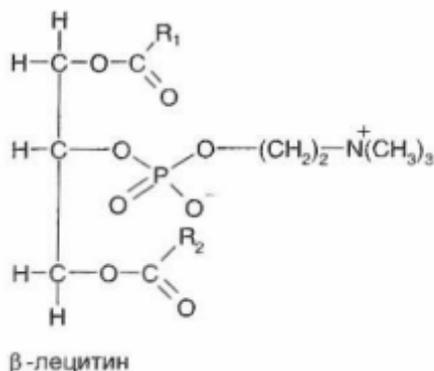
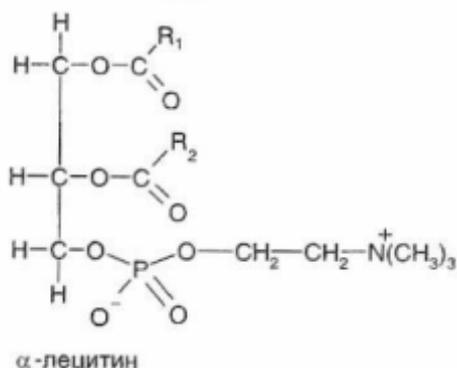
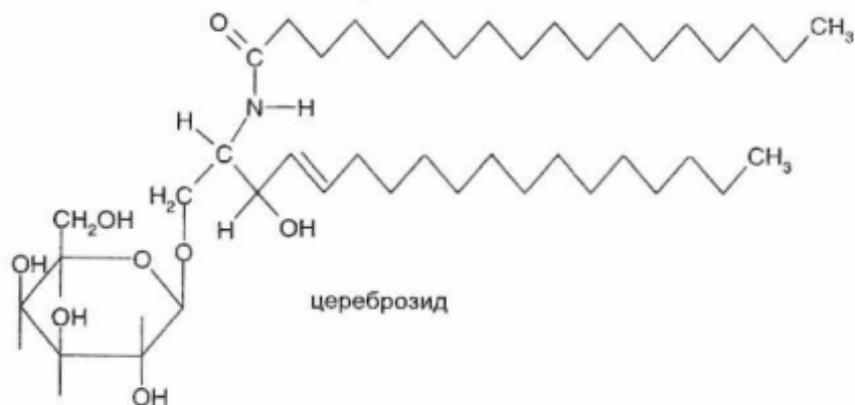
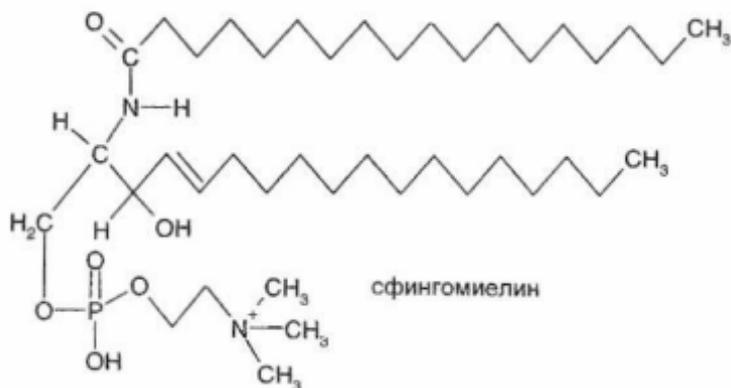
В 1,3-положениях преобладают стеариновая, олеиновая и низкомолекулярные жирные кислоты C_4-C_{10} , в 2-положении – миристиновая, лауриновая, пальмитиновая. В триглицеридах молочного жира обнаружено 140 жирных кислот с числом атомов углерода от C_4 до C_{26} : расщепление с чётным и нечётным числом атомов углерода, моно- и полиненасыщенные (цис- и транс- изомеры); изо-, и многократно разветвлённые насыщенные кислоты, гидрокси- и кетокислоты. Однако лишь 10-12 кислот с чётным числом атомов углерода ($C_{4:0} - C_{15:0}$) встречаются в количестве 1-5% каждая, их называют главными, остальные минорными. Данные о содержании кислот представлены в таблице 4 (см. Приложение).

По сравнению с жирами животного и растительного происхождения молочный жир характеризуется высоким содержанием миристиновой кислоты и низкомолекулярных летучих насыщенных жирных кислот – масляной, капроновой и каприновой, в сумме составляющих 7,4-9,5% от общего количества жирных кислот.

В состав окисленной липидной фракции молока наряду с простыми липидами входят разнообразные фосфолипиды, продукты их распада и гликолипиды (цереброзиды). Содержание фосфолипидов и цереброзидов в молоке составляет 0,03-0,05%, из них на долю лецитина приходится 28-40%, кефаина-29-43, сфингомиелина 19-24%, фосфатидилсерина 10%, фосфатидилинозита и цереброзидов - по 6%.

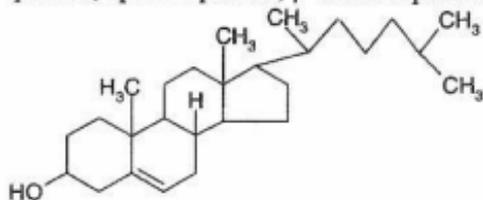


кефалин

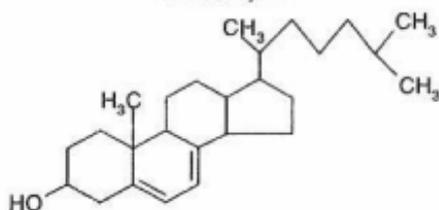


Неокисляемые липиды (стерины, жирорастворимые витамины, пигменты и углеводороды) принадлежат к веществам, сопутствующим жиру молока. Их общее содержание в жире молока колеблется от 0,3 до 0,55%.

Содержание стерина в молоке составляет 0,01-0,014%, в жире молока – 0,2-0,4%. Они представлены в основном холестерином, количество которого в свободном состоянии не превышает 10% к ланостеринам, 7-дегидроксихолестеринам, эргостеринам, β -ситостеринам.

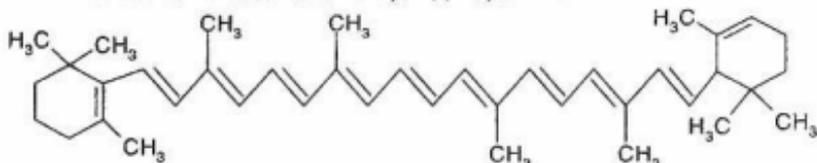


холестерин

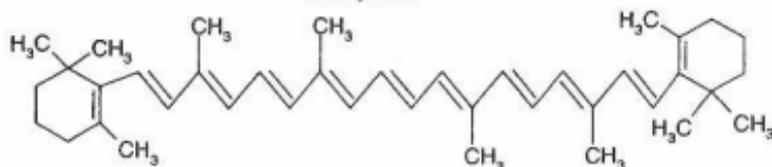


7-дегидроксихолестерин

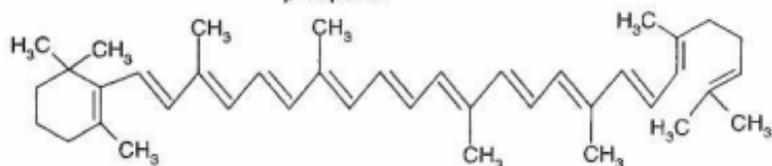
Жёлтая окраска молочного жира обусловлена наличием в нём групп веществ, называемых каротиноидами. К ним относятся тетрапеновые углеводороды – каротин (α , β , γ) и спирты-ксантофиллы. Содержание каротинов в молоке колеблется от 0,05 до 0,09 мг/кг.



α -каротин

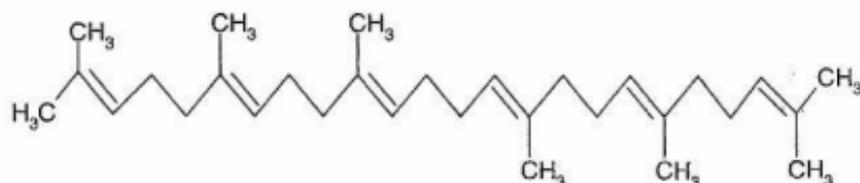


β -каротин



γ -каротин

В молоке обнаружены следы ациклического тритерпенового углеводорода сквалена, который является промежуточным соединением в синтезе холестерина.



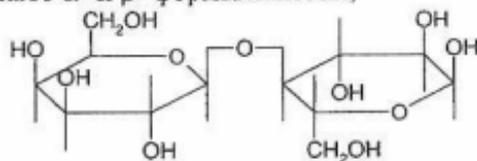
сквален

Лактоза

Содержание лактозы в молоке довольно постоянно и составляет 4,5-5,2%. Оно зависит от индивидуальных особенностей и физиологического состояния животных. В молоке лактоза находится в виде двух таутомерных форм – α и β , свойства которых даны в таблице 7 (см. Приложение).

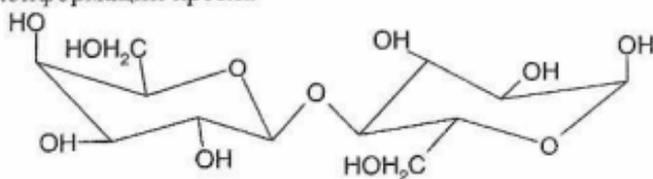
Лактоза, 4-0- (β - D-галактопиранозил)- D-глюкоза, или β - D-галактопиранозил- (1 \rightarrow 4)- D-глюкоза.

В зависимости от пространственной конфигурации полуацетального гидроксила различают α - и β - формы лактозы,



α -лактоза

или в конформации кресла



α -лактоза

Минеральные вещества

Исследование минерального состава золы молока показало наличие в нём более 50 элементов: Ca, P, Mg, Na, K, Cl, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Al, Si, I, Br, Mo, Cd, Pb, Co, F, Cr, Ba, Hg, Sr, Li, Cs, Sn, Se, Ni, As, Ag, Ti, V и др.

Основными минеральными веществами молока являются кальций, фосфор, магний, калий, натрий, хлор и сера.

Кальций и фосфор – это наиболее важные элементы молока. Они содержатся в молоке в легкоусвояемой форме и хорошо сбалансированных соотношениях. Содержание кальция колеблется от 100 до 140 мг. Около 22% всего кальция молока прочно связано с казеином, остальное количество составляют соли – фосфаты, цитраты. Общее содержание фосфора колеблется от 74 до 130 мг. Фосфор содержится в органической и неорганической формах. Неорганические соединения представлены фосфатами кальция и других металлов порядка 45-100 мг. Органические – фосфор в составе казеина, фосфолипидов, фосфорных эфиров углеводов, ряда коферментов, нуклеиновых кислот.

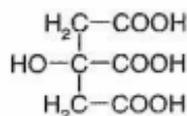
Количество магния в молоке составляет 12-14%.

Содержание калия в молоке 135-160 мг,

натрия 30-60 мг,

хлора (хлоридов) 90-120 мг.

Соли калия и натрия содержатся в молоке в ионно-молекулярном состоянии в виде хорошо диссоциирующих хлоридов, фосфатов и цитратов. Хлориды натрия и калия обеспечивают определённую величину осмотического давления в крови и молоке, фосфаты и карбонаты входят в состав буферных систем организма, поддерживают постоянство концентрации водородных ионов в узких пределах. Кроме того, фосфаты и цитраты калия и натрия обеспечивают так называемое солево-равновесие молока, от него зависит количество ионизированного кальция, который в свою очередь влияет на дисперсность мицелл казеина. В молоке концентрация цитратов достигает в среднем 0,2%. Незначительная часть присутствует в виде свободной лимонной кислоты, которая представляет собой окситрикарбоновую кислоту с формулой:



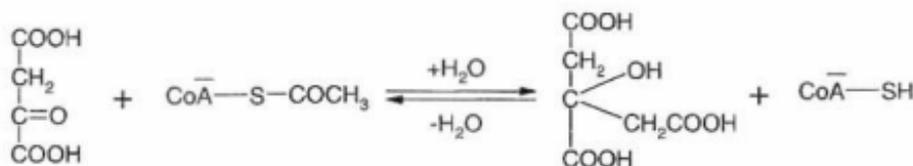
В молокообразующих кислотах она синтезируется из пировиноградной кислоты. Лимонная кислота имеет в молоке следующее значение:

* важная часть буферной системы,

* комплексообразователь для кальция и магния, поэтому служит для стабилизации белков молока во избежании коагуляции при пастеризации молока и при замораживании,

* исходное вещество для образования компонентов вкуса и запаха молока в кисломолочных продуктах.

В процессах обмена веществ в животном организме лимонная кислота выполняет чрезвычайно важную функцию. Образуется она при окислительном распаде углеводов из щавелево-уксусной кислоты и ацетил-коэнзима.



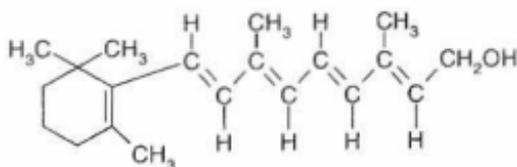
Микроэлементами принято считать минеральные вещества, концентрация которых невелика и измеряется в мкг на 1 кг продукта.

К ним относятся железо, медь, цинк, марганец, кобальт, йод, молибден, фтор, алюминий, кремний, селен, олово, хром, свинец. В молоке они связаны с оболочками жирных кислот (Fe, Cu), казеином и сывороточными белками (Fe, Cu, Zn, Mn, Al, J, Se), входят в состав ферментов (Fe, Mn, Zn), витаминов (Co), гормонов (J, Zn, Cu). Содержание минеральных кислот даны в таблицах 8 и 9 (См. Приложение).

Витамины

Молоко богато витаминами, которые бывают жирорастворимыми и водорастворимыми.

Витамин А (ретинол) представляет собой полиеновый спирт.

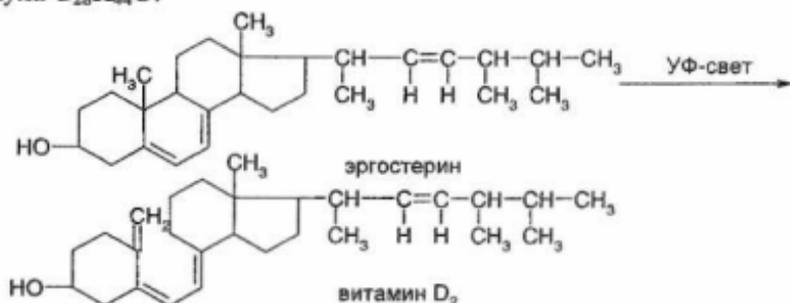


Суммарная формула $\text{C}_{20}\text{H}_{30}\text{O}$. Это кристаллический порошок с температурой плавления 64°C . Он нерастворим в воде, легко растворяется в жирах и маслах, в эфире и ацетоне. Ретинол теплоустойчив, однако на свету под действием кислорода и кислот все формы витамина А быстро разрушаются. Суточная потребность в нём человека – около 3000 МЕ (1 МЕ=0,32 мкг).

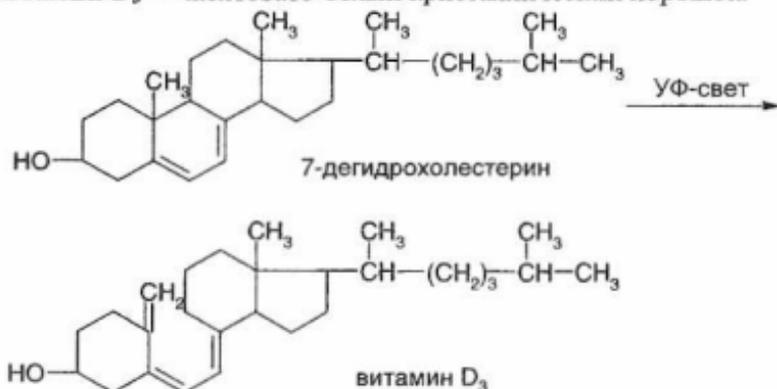
Витамин А образуется из провитамина – β -каротина $C_{40}H_{56}$, который в кишечнике и печени человека превращается в витамин А под действием фермента каротиназы. Недостаток витамина А вызывает нарушение секреции потовых и слюнных желёз, а также поджелудочной железы.

Витамин D (кальциферон). Из витаминов комплекса D для человека практическое значение имеют D_2 (эргокальциферон) и D_3 . По химической структуре являются стеринами. Под действием солнечных лучей провитамин переходит в активную форму.

Витамин D_2 представляет собой бесцветные кристаллы, суммарная формула $C_{28}H_{44}O$.



Витамин D_3 — желтовато-белый кристаллический порошок.

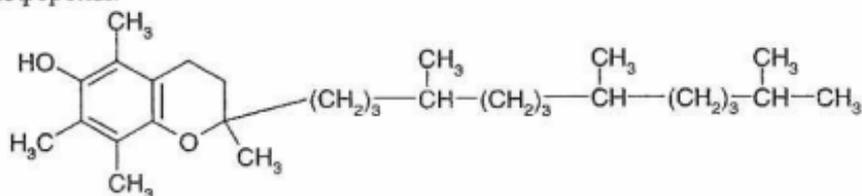


Суточная потребность ребёнка 500 МЕ (1 МЕ = $0,25 \cdot 10^{-4}$ мг). Оба витамина оказывают антирахитическое действие. Их важнейшие физиологические функции заключаются в том, что они регулируют обмен кальция в зонах роста костей.

Недостаток витамина D в организме у детей приводит к развитию рахита, у взрослых вызывает размягчение костей, выпадение волос, кариес зубов. Однако избыток витамина не менее опасен, чем его недостаток, так как ведёт к усиленному отложению кальция во внутренних органах.

способствует развитию атеросклероза и возникновению расстройств пищеварения.

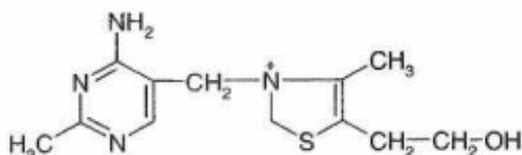
Витамин Е (токоферол) – общее название большого числа соединений, характеризующихся близким сродством и биологической активностью. Наибольшей биологической активностью обладают α - и β -токоферолы.



Суммарная формула витамина $E-C_{29}H_{50}O_2$. Это светло-жёлтая маслянистая жидкость, не растворимая в воде; легко растворяется в жирах и органических растворителях. Витамин Е участвует в реакциях промежуточного обмена веществ, в молоке является активным, природным антиокислителем.

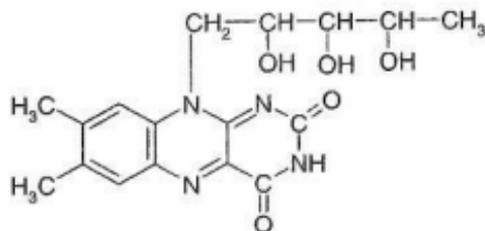
К водорастворимым витаминам молока относится витамин группы В и аскорбиновая кислота.

Тиамин (Витамин В₁) синтезируется микрофлорой в желудочно-кишечном тракте животных и поступает с кормом:



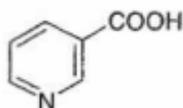
В молоке содержится свободный тиамин (50-70% всего количества), а также фосфорилированный (в виде кофермента ТПФ) и связанный с белком. Содержание 0,2-0,8 мг/кг.

Рибофлавин (витамин В₂)

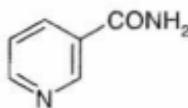


Рибофлавин содержится в молоке в свободном состоянии и входит в состав коферментов (ФМН и ФАД) окислительно-восстановительных флавиновых ферментов молока, его количество значительно 1-2,8 мг/кг.

Ниацин (никотиновая кислота, витамин РР). Никотиновая кислота и её амид встречаются в природных продуктах в свободном состоянии и в составе коферментов НАД и НАДФ дегидрогеназ.



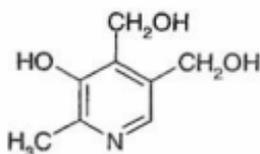
никотиновая кислота



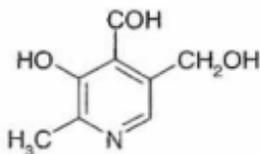
никотинамид

Молоко характеризуется сравнительно малым её количеством 0,7-1,5 мг/кг, однако её белки богаты триптофаном, который в организме человека метаболизируется до никотиновой кислоты.

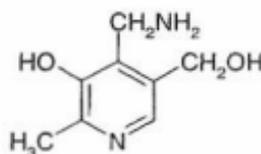
Пиридоксин (витамин В₆).



пиридоксин



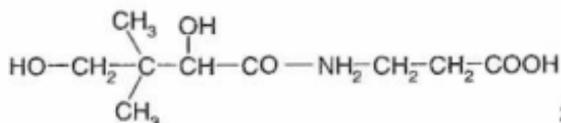
пиридоксаль



пиридоксамин

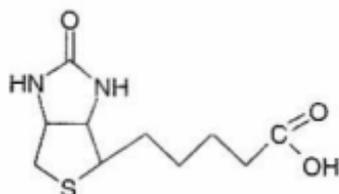
Фосфорпроизводное пиридоксаля – пиридоксальфосфат – является коферментом очень важных ферментов класса трансфераз, катализирующих пересаминирование аминокислот в клетках молочной железы. Составляет 0,2-1,7 мг/кг.

Лактотентовая кислота входит в состав кофермента А, играющего важную роль в синтезе жирных кислот, триглицеридов, фосфалипидов, лимонной кислоты. Для дрожжей и молочнокислых бактерий выполняет функцию фактора роста.



2-3,8 мг/кг

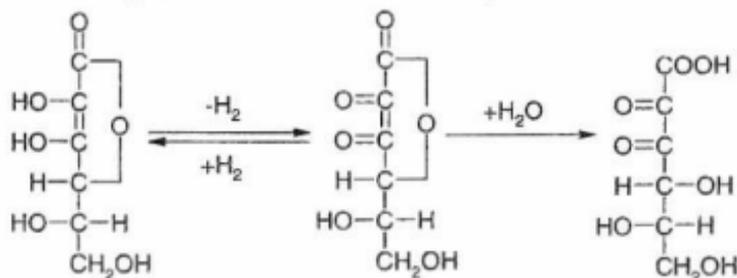
Биотин (витамин Н) принимает участие в реакциях транс-карбонилирования.



Содержание 0,02-0,05 мг/кг.

Фолиевая кислота (витамин В) у животных синтезируется микрофлорой кишечника, находится в организме как в свободном, так и связанном состоянии, выполняя вместе с витамином В₁₂ роль кофермента в реакциях метилирования.

Аскорбиновая кислота активно участвует в окислительно-восстановительных процессах.



L-аскорбиновая кислота

дегидроаскорбиновая кислота

L-дикетогулоновая кислота

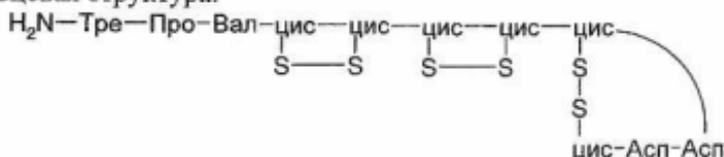
Витамин С синтезируется в организме животных из глюкозы по схеме:

D-глюкоза → D-глюкуроновая кислота → L-гулоновая → L-аскорбиновая кислота. (см. Таблица 6, Приложение)

Гормоны

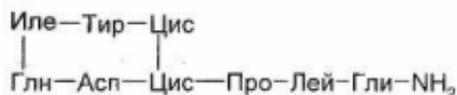
В молоко из крови переходят эндогенные гормоны, выделяемые эндокринными железами животных.

Гормоны пептидной природы. К ним относятся *пролактин*, *окситоцин*, *тирალიберин* и *гонадалиберин*. Пролактин (лактогенный гормон). Это гормон передней доли гипофиза, стимулирующий развитие молочных желёз, образование и секрецию молока. Представляет собой белок с молекулярной массой 24000. Состоит из одной полипептидной цепи, содержащей на конце N-треонин, I-конец отсутствует, вместо него есть кольцевая структура.



Содержание в молоке (15-17) 10^{-3} мкг/мл.

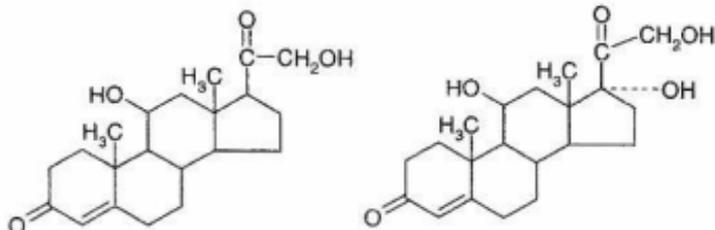
Окситоцин – гормон задней доли гипофиза, который стимулирует секрецию молока, представляет собой



Тиралиберин и **гонадалиберин** вырабатываются гипоталамусом и поступают в гипофиз, где стимулируют образование гонадотропных и тиреотропных гормонов, стимулирующих работу половых и щитовидной желёз. Они представляют собой пептиды, содержащие три и десять аминокислот.

Стероидные гормоны являются гормонами коры надпочечников, оказывают значительное влияние на обмен углеводов и белков, способствуют развитию молочной железы, образованию и секреции *МВЛЖК*.

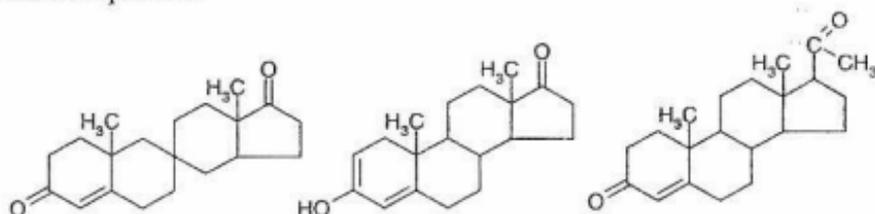
Кортикостероиды связаны в молоке с белками, их количество постоянно и составляет около $4 \cdot 10^{-3}$ мкг/мл.



кортизол

Андрогены – андростендион, тестостерон – относятся к мужским половым гормонам. Содержание $(0,5-2) \cdot 10^{-3}$ мкг/мл, $(0,5-0,15) \cdot 10^{-3}$ мкг/мл.

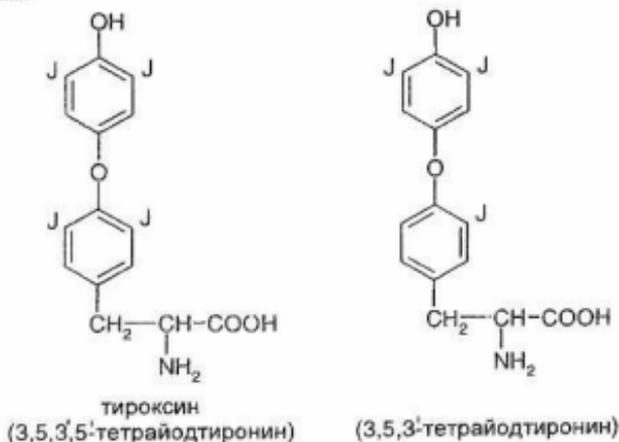
Эстрогены – 17α -, 17β - эстрадиол, эстрон и прогестерон – женские половые гормоны.



андростендион

прогестерон

Тиреоидные гормоны представляют собой производные тирозина, вырабатываются в щитовидной железе, принимают активное участие в биохимических процессах, способствующих повышению массовой доли жира в молоке.



Простагландины – это группа тканевых гормонов, которые образуются во многих органах и тканях организма. В молоке их нет, но возможен их синтез из его липидов.

Все соли натрия и калия диссоциированы нацело и содержатся в молоке в ионном состоянии.

Хлориды натрия и калия обуславливают осмотическое давление и электропроводность молока, дефекты входят в состав его буферной системы.

В ионно-молекулярном состоянии в молоке содержится часть цитратов и фосфатов кальция и магния.



Сдвиг равновесия зависит от рН, температуры и других факторов. Соотношение этих форм фосфатов кальция играют важную роль в стабилизации белковых частиц.

Фосфаты кальция в форме комплексного раствора являются источниками образования ионов Ca^{2+} , от количества и активности которых зависят размер и устойчивость мицелл казеина при типовой обработке.

Молочный сахар, растворяясь в молоке, образует молекулярный раствор. Содержится в виде гидратных α - и β - форм, находящихся в равновесии. Равновесие между формами зависит от температуры, но чаще смещено в сторону β - формы, т. к. она более растворима.

Коллоидная фаза

В коллоидно-дисперсном состоянии в молоке находятся сывороточные белки, казеин и большая часть фосфатов кальция.

Размеры коллоидных частиц молока составляют:

- β - лактоглобулина – 25-50 нм;
- α - лактальбумина – 15-20 нм;
- мицелл казеина – 40-300 нм;
- фосфата кальция – 10-20 нм.

Макромолекулы белков свёрнуты в компактные глобулы и имеют отрицательный заряд и очень прочные гидратные оболочки. Они обладают большой устойчивостью в молоке, не коагулируют при достижении изоэлектрической точки, хотя при понижении рН образуют ассоциаты.

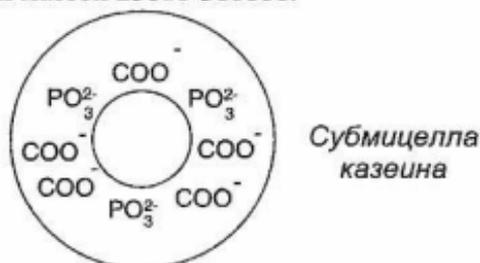
Казеин в молоке содержится в виде мономеров и в форме полимеров (субмицеллярный и мицеллярный казеин). Мицеллы казеина обладают свойствами гидрофильного золя, который при определённых условиях может обратимо перейти в гель.

Коллоидный фосфат кальция малорастворим в воде и молоке и образует типичную неустойчивую коллоидную систему с гидрофобной

дисперсной фазой. Его растворимость повышается под влиянием казеина, вместе с которым он входит в состав мицелл.

Таким образом, мицеллы казеина представляют собой коллоидную фазу смешанного состава, обладающую свойствами гидрофобного и гидрофильного золя. Нахождение казеина и фосфата кальция в виде мицелл имеет большое значение для организма новорожденного. Так, под действием химозина в его желудке мицеллярный белок легко образует сгусток, который затем расщепляется пепсином.

Установлено, что мицеллы казеина имеют почти сферическую форму, средний диаметр 70-100 нм и молекулярную массу $6 \cdot 10^8$. В свою очередь мицеллы казеина состоят из нескольких сотен субмицелл диаметром 10-15 нм и молекулярной массой 25000-300000.



Субмицеллы представляют собой агрегаты из 10-12 субъединиц – основных фракций казеина (α , β и χ), соединённых между собой гидрофобными, а также электростатическими и водородными связями и кальциевыми мостиками. Полипептидные цепи фракций казеина свёртываются в субмицеллы таким образом, что большинство гидрофобных групп составляют ядро, а гидрофильные располагаются на поверхности. Гидрофильная оболочка содержит отрицательно заряженные кислотные группы глутаминовой, аспарагиновой и фосфорной кислот.

Усиливают гидрофильные свойства субмицелл и мицелл в целом ориентированные наружу гликомакропептиды χ -казеина, т.к. они содержат большое количество серина и треонина, глутаминовой и аспарагиновой кислот и свободные карбоксильные группы.

Пористая структура позволяет проникать внутрь мицелл воде, карбоксипепсидам и химозиму.

фаза эмульсии

Молоко является типичной природной эмульсией жира в воде. Жировая фаза находится в плазме молока виде маленьких шариков, окружённых липопротеидной оболочкой. В 1 мл молока содержится 1,5 -3 млрд. шариков жира, их средний диаметр составляет 2-2,5 мкм. Оболочка шариков состоит из липидов и белков. В липидной фракции оболочки

содержатся фосфолипиды, высокоплавкие триглицериды, цереброзиды, холестерин, каротины, витамин А. Белковые компоненты оболочки по растворимости в воде делятся на две фракции.

Одна фракция структурных белков плохо растворима в воде, содержит около 14% азота, по аминокислотному составу отличается от белков молока (содержит меньше лизина, валина, лейцина, глутаминовой и аспарагиновой кислот и больше аргинина). Она включает значительное число гликопротеидов, содержащих гексозы, гексозамины и кислоту.

В другую водорастворимую фракцию входят гликопротеиды с высоким (около 18%) содержанием углеводов и разнообразные ферменты: ксантоксидаза, щелочная и кислая фосфатаза, глюкозо-6-фосфатаза, 5'-нуклеотидаза.

Оболочка шарика жира состоит из двух слоёв — внутреннего тонкого, плотно прилегающего к кристаллическому слою высокоплавких триглицеридов жировой глобулы, и внешнего, рыхлого, диффузного, легко десорбируемого.

Стабильность жировой эмульсии молока можно объяснить следующими факторами:

- * возникновение на поверхности капелек жира электрического заряда;
- * создание на границе раздела фаз структурно-механического барьера.

Формирование антибактериальных факторов молока

Свежевыдоенное молоко в течение определённого периода, называемого «бактерицидной фазой», обладает бактериостатическим и бактерицидным действием. Это обусловлено наличием в молоке различных защитных средств, вырабатываемых организмом животного и поступающих из крови в молоко. Особенно высокой антибактериальной активностью обладает молозиво, которое защищает организм новорождённого от внедрения бактерий, других чужеродных клеток и токсинов, а также способствует выработке иммунитета.

К антибактериальным факторам молока относятся иммуноглобулины, лейкоциты, лизоцины, лактоферрин, система лактопероксидаза тиоцианат - H_2O_2 .

Защитная функция лейкоцитов заключается в их способности к фагоцитозу бактерий, эритроцитов и других клеток. Лейкоциты наряду с другими соматическими клетками всегда присутствуют в молоке. Молоко в 1мл содержит 100-300 тысяч соматических клеток. Из них 80-90% приходится на эпителиальные клетки, 1% — на моноциты.

Лизоцим (фермент мурсимидаза) содержится в качестве защитного агента в выделениях организма. Он обладает свойством не только задерживать рост, но и растворять бактерии путём расщепления их полисахаридных цепей стенок.

Лактоферрин относится к железосвязывающим белкам, находящимся в крови и обеспечивающим транспорт Fe^{2+} . Лактоферрин молока обладает бактериостатическим действием по отношению к *E. coli*, т.к. связывает ионы железа и делает их недоступными для бактерий.

Также в молоке обнаружены пропердин, конглютинин, белки, связывающие некоторые витамины (B_{12}), антистафилококковый фактор и другие.

Приложение

Таблица 1

Белок	Содержание, % от общего количества белков обезжиренного молока	Молекулярная масса*	Изоэлектрическая точка, pH	Компоненты и генетические варианты
Казеины	78-85			
α_s -казеины	45-55	22000-24000 **	4,1	Компоненты: α_{s1} (варианты A, B, C, D), α_{s2} , α_{s3} , α_{s4} , α_{s5}
γ -казеины	8-15	19000	4,1	Компоненты, содержащие от 1 до 5 углеводных цепей, варианты A, B
β -казеины	25-35	24000	4,5	Варианты A ₁ , A ₂ , A ₃ , B, C, D
γ -казеины	3-7	12000-21000	5,8-6	Компоненты: γ_1 (варианты A ₁ , A ₂ , A ₃ , B), γ_2 , γ_3
Сывороточные белки	15-22			
β -лактоглобулин	7-12	18000	5,3	Варианты A, B, C, D, Dr
α -лактальбумин	2-5	14000	4,2-4,5	Варианты A, B
альбумин сыворотки крови	0,7-1,3	69000	4,7	
иммуноглобулины	1,9-3,3			
IgG	1,4-3,3	150000-163000	5,5-6,8	Компоненты: IgG ₁ , IgG ₂
IgA	0,2-0,7	400000		
IgM	0,1-0,7	1000000		
протеозо-пептоны	2-6	4000-41000	3,3-3,7	Компоненты: 3, 5, 8 «быстрый», 8 «медленный»

Примечание. Номенклатурная схема разработана Комитетом по номенклатуре и методологии молочных белков Американской научной ассоциации молочной промышленности.

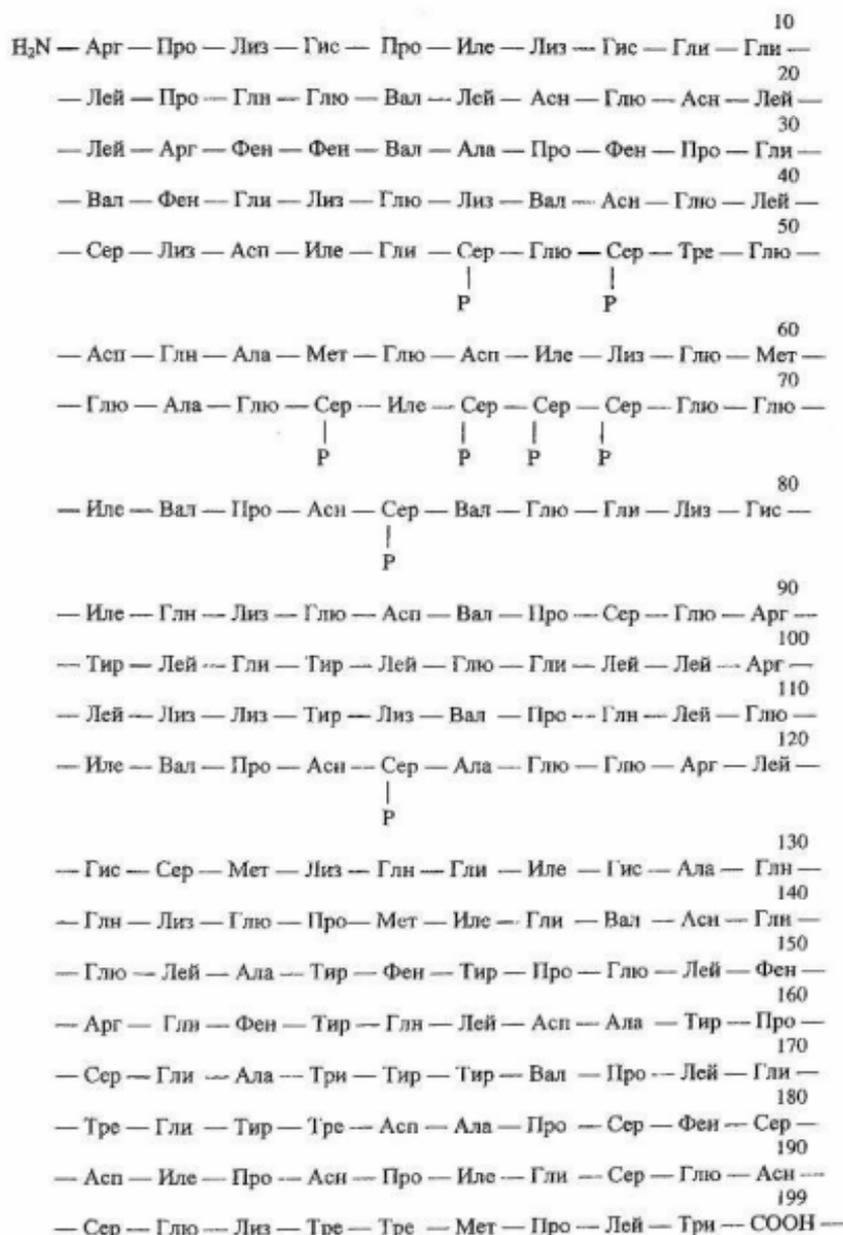
* Средняя молекулярная масса нескольких генетических вариантов.

** Молекулярная масса α_{s1} -казеина.

Таблица 2

Аминокислота	Сокращённое обозначение	Содержание, %, в				
		казеине	β -лактоглобулине	α -лактальбумине	иммуноглобулине G ₁	альбумине сыворотки крови
Аланин	Ала	3	6,9	2,1	—	6,2
Аргинин	Арг	4,1	2,7	1,2	3,5	5,9
Аспарагиновая кислота	Асп	7,1	11,4	18,7	9,4	10,9
Валин	Вал	7,2	5,8	4,7	9,6	12,3
Глицин	Гли	2,7	1,4	3,2	—	1,8
Глутаминовая кислота	Глю	22,4	19,1	12,9	12,3	16,5
Гистидин	Гис	3,1	1,6	2,9	2,1	4
Изолейцин	Иле	6,1	6,8	6,8	3,1	2,6
Лейцин	Лей	9,2	15,1	11,5	9,1	12,3
Лизин	Лиз	8,2	11,7	11,5	7,2	6,3
Метионин	Мет	2,3	3,2	1	1,1	0,8
Пролин	Про	11,3	5,1	1,5	—	4,8
Серин	Сер	6,3	3,6	4,8	—	4,2
Треонин	Тре	4,9	5,2	5,5	10,1	5,8
Триптофан	Три	1,7	1,3	7	2,7	0,7
Тирозин	Тир	6,3	3,6	5,4	—	5,1
Цистеин + цистин	Цис	0,34	3,4	6,4	3	6
Фенилаланин	Фен	5	3,5	4,5	3,8	6,6

Первичная структура α_s -казеина (вариант В)



Примечание. Цифры в схеме обозначают порядковые номера аминокислотных остатков в полипептидной цепи. Гли — глутамин (амид глутаминовой кислоты); Асп — аспарагин (амид аспарагиновой кислоты); Р — остаток фосфорной кислоты.

Первичная структура χ -казеина (вариант В)

ПироГлю — Глю — Гли — Асп — Гли — Глю — Гли — Про — Иле — Арг —	10
— Цис — Глю — Лиз — Асп — Глю — Арг — Фен — Фен — Сер — Асп —	20
— Лиз — Иле — Ала — Лиз — Тир — Иле — Про — Иле — Гли — Тир —	30
— Вал — Лей — Сер — Арг — Тир — Про — Сер — Тир — Гли — Лей —	40
— Асп — Тир — Тир — Гли — Гли — Лиз — Про — Вал — Ала — Лей —	50
— Иле — Асп — Асп — Гли — Фен — Лей — Про — Тир — Про — Тир —	60
— Тир — Ала — Лиз — Про — Ала — Ала — Вал — Арг — Сер — Про —	70
— Ала — Гли — Иле — Лей — Гли — Три — Гли — Вал — Лей — Сер —	80
— Асп — Тре — Вал — Про — Ала — Лиз — Сер — Цис — Гли — Ала —	90
— Гли — Про — Тре — Тре — Мет — Ала — Арг — Гис — Про — Про —	100
	Химозин
	105 ↓ 106
— Про — Гис — Лей — Сер — Фен — Мет — Ала — Иле — Про — Про —	110
— Лиз — Лиз — Асп — Гли — Асп — Лиз — Тре — Глю — Иле — Про —	120
— Тре — Иле — Асп — Тре — Иле — Ала — Сер — Гли — Глю — Про —	130
— Тре — Сер — Тре — Про — Тре — Иле — Глю — Ала — Вал — Глю —	140
— Сер — Тре — Вал — Ала — Тре — Лей — Глю — Ала — Сер — Про —	150
	Р
— Глю — Вал — Иле — Глю — Сер — Про — Про — Глю — Иле — Асп —	160
— Тре — Вал — Гли — Вал — Тре — Сер — Тре — Ала — Вал — СООН	169

Таблица 3

Составная часть	Обозначение	Общий казеин	α -Казеин	β -Казеин	β -Лактоглобулин	α -Лактальбумин	Сывороточный альбумин	Эвглобулин	Псевдоглобулин
Азот	N	15,63	15,53	15,33	15,60	15,86	16,07	16,05	15,29
Фосфор	P	0,86	0,99	0,61	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Сера	S	0,80	0,72	0,86	1,60	1,91	1,92	1,01	1,00
Аминый азот	—	0,93	0,99	0,72	1,24	—	—	—	—
Углеводы	—	—	—	0,00	—	—	—	4,51	4,41
Незаменимые аминокислоты									
всего		52,6	51,3	55,5	60,1	63,0	63,1	58,0	55,6
валин	Вал	7,2	6,3	10,2	5,8	4,7	5,9	10,4	9,6
лейцин	Лей	9,2	7,9	11,6	15,6	11,5	12,3	10,4	9,6
изолейцин	Иле	6,1	6,4	5,5	6,1	6,8	2,6	3,0	3,0
лизин	Лиз	8,2	8,9	6,5	11,4	11,5	12,8	6,3	7,2
метионин	Мет	2,8	2,5	3,4	3,2	1,0	0,8	0,9	0,9
цистеин	Цис	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,3	0,0	0,0
треонин	Тре	4,9	4,9	5,1	5,8	5,5	5,8	10,6	10,3
фенилаланин	Фе	5,0	4,6	5,8	3,5	4,5	6,6	3,6	3,9
триптофан	Трп	1,7	2,2	0,83	1,9	7,0	0,7	2,4	2,7
гистидин	Гис	3,1	2,9	3,1	1,6	2,9	4,0	2,0	2,1
аргинин	Арг	4,1	4,3	3,4	2,9	1,2	5,9	5,1	3,3
Аминокислоты, определяющие структуру белков:									
пролин	Про	11,3	8,2	16,0	4,1	1,5	4,8	—	—
цистин	Цис-Цис	0,34	0,43	0,0	2,3	6,4	5,7	3,3	3,0
Прочие аминокислоты:									
глицин	Гли	2,7	2,8	2,4	1,4	3,2	1,8	—	—
аланин	Ала	3,0	3,7	1,7	7,4	2,1	6,2	—	—
аспарагиновая кислота	Асп	7,1	8,4	4,9	11,4	18,7	10,9	—	—
глутаминовая кислота	Глу	22,4	22,5	23,2	19,5	12,9	16,5	—	—
серин	Сер	6,3	6,3	6,8	5,0	4,8	4,2	—	—
тирозин	Тыр	6,3	8,1	3,2	3,8	5,4	5,1	—	—

Первичная структура β-лактоглобулина (вариант А)

H ₂ N — Лей — Иле — Вал — Тре — Гли — Тре — Мет — Лиз — Гли — Лей —	10
— Асп — Иле — Гли — Лиз — Вал — Ала — Гли — Тре — Три — Тир —	20
— Сер — Лей — Ала — Мет — Ала — Ала — Сер — Асп — Иле — Сер —	30
— Лей — Лей — Асп — Ала — Гли — Сер — Ала — Про — Лей — Арг —	40
— Вал — Тир — Вал — Глю — Глю — Лей — Лиз — Про — Тре — Про —	50
— Глю — Гли — Асп — Лей — Глю — Иле — Лей — Лей — Гли — Лиз —	60
— Три — Глю — Асп — Асп — Глю — Цис — Ала — Гли — Лиз — Лиз —	70
— Иле — Иле — Ала — Глю — Лиз — Тре — Лиз — Иле — Про — Ала —	80
— Вал — Фен — Лиз — Лей — Асп — Ала — Иле — Асп — Глю — Асп —	90
— Лиз — Вал — Лей — Вал — Лей — Асп — Тре — Асп — Тир — Лиз —	100
— Лиз — Тир — Лей — Лей — Фен — Цис — Мет — Глю — Асп — Сер —	110
— Ала — Глю — Про — Глю — Гли — Сер — Лей — Вал — Цис — Гли —	120
— Цис — Лей — Вал — Арг — Тре — Про — Глю — Вал — Асп — Асп —	130
— Глю — Ала — Лей — Глю — Лиз — Фен — Асп — Лиз — Ала — Лей —	140
— Лиз — Ала — Лей — Про — Мет — Гис — Иле — Арг — Лей — Сер —	150
— Фен — Асп — Про — Тре — Лей — Гли — Глю — Глю — Гли — Цис —	160
— Гис — Иле — СООН	162

Первичная структура α -лактальбумина (вариант В)

H_2N — Глю — Гли — Лей — Тре — Лиз — Цис — Глю — Вал — Фен — Арг —	10
— Глю — Лей — Лиз — Асп — Лей — Лиз — Гли — Тир — Гли — Гли —	20
— Вал — Сер — Лей — Про — Глю — Три — Вал — Цис — Тре — Тре —	30
— Фен — Гис — Тре — Сер — Гли — Тир — Асп — Тре — Глю — Ала —	40
— Иле — Вал — Глю — Асп — Асп — Гли — Сер — Тре — Асп — Тир —	50
— Гли — Лей — Фен — Гли — Иле — Асп — Асп — Лиз — Иле — Три —	60
— Цис — Лиз — Асп — Асп — Гли — Асп — Про — Гис — Сер — Сер —	70
— Асп — Иле — Цис — Асп — Иле — Сер — Цис — Асп — Лиз — Фен —	80
— Лей — Асп — Асп — Асп — Лей — Тре — Асп — Асп — Иле — Мет —	90
— Цис — Вал — Лиз — Лиз — Иле — Лей — Асп — Лиз — Вал — Гли —	100
— Иле — Асп — Тир — Три — Лей — Ала — Гис — Лиз — Ала — Лей —	110
— Цис — Сер — Глю — Лиз — Лей — Асп — Гли — Три — Лей — Цис —	120
	123
— Глю — Лиз — Лей — $COOH$	

Таблица 4

Жирные кислоты	Число атомов углерода и принятое обозначение	Температура плавления,	Летучесть с водяным паром	Растворимость в воде при 20°C, г на 100 г	Содержание кислот в жире молока, % по массе
Насыщенные $C_nH_{2n}O_2$					
Бутановая (масляная)	$C_{4:0}$	-7,9	+	Хорошо растворима	2,5–5
Гексановая (капроновая)	$C_{6:0}$	-3,4	+	0,968	1–3,5
Октановая (каприловая)	$C_{8:0}$	+16,7	+	0,068	0,4–1,7
Декановая (каприновая)	$C_{10:0}$	+31,6	+	0,015	0,8–3,6
Додекановая (лауриновая)	$C_{12:0}$	44,2	+	Практически нерастворима	0,8–3,9
Тетрадекановая (миристиновая)	$C_{14:0}$	53,9	—	То же	7,6–13,2
Гексадекановая (пальмитиновая)	$C_{16:0}$	62,9	—	»	20–36
Октадекановая (стеариновая)	$C_{18:0}$	69,6	—	»	5,5–13,7
Эйкозановая (арахиновая)	$C_{20:0}$	75,3	—	Нерастворима	0,3–1,3
Ненасыщенные					
9-Деценная (капролеиновая)	$C_{10:1}$	12,0	—	То же	0,1–0,4
9-Додеценная (лауролеиновая)	$C_{12:1}$	15,0	—	»	0,2–0,4
9-Тетрадеценная (миристолеиновая)	$C_{14:1}$	18,5	—	»	1,5–3,5
9-Гексадеценная (пальмитолеиновая)	$C_{16:1}$	0,5	—	»	1,5–5,6
9-Октадеценная (олеиновая)	$C_{18:1}$	13,4	—	»	16,7–37,6
9, 12-Октадецидиновая (линолевая)	$C_{18:2}$	-5,0	—	»	1–5,2
9, 12, 15-Октадекатриеновая (линоленовая)	$C_{18:3}$	-11,0	—	»	0,1–2,1
5, 8, 11, 14-Эйкозатетраеновая (арахидоновая)	$C_{20:4}$	-49,5	—	»	0,1–0,5

Таблица 5

Ферменты молока

Фермент	Классификация, принятая МСБ	Температурный оптимум °С	pH Оптимум	Температура (в °С) и время реактивации	Относительная молекулярная масса
Альдолоза	Е.С. 4.1.2.7	—	—	45/20 мин	—
α-Амилаза	Е.С. 3.2.1.1	34	7,4	55/30 мин	—
Карбоангидраза	Е.С. 4.2.1.1	—	—	65	—
Каталаза	Е.С. 1.11.1.6	—	6,8–7,0	65–70/30 мин	—
Цитохром-с-редуктаза	Е.С. 1.9.1.3	—	—	—	—
Диафорида	Е.С. 1.6.4.3	—	—	—	—
Карбоксил-эстераза	Е.С. 3.1.1.1	—	—	—	—
β-Галактозидаза	Е.С. 3.2.1.23	40	5,0	—	—
Липаза	Е.С. 3.1.1.3	37	8,5–9,0	—	210000
Лизоцим	Е.С. 3.2.1.17	—	7,9	—	—
Пероксидаза	Е.С. 1.11.1.7	—	6,8	85/15 с	82000
Кислая фосфатаза	Е.С. 3.1.3.1	—	4,6–4,8	96/5 мин	—
Щелочная фосфатаза	Е.С. 3.1.3.1	37	9,0–9,6	60/30 мин	—
Протеазы	Е.С. 3.4	37	6,8	70	—
Роданаза	Е.С. 2.8.1.1	—	—	—	—
Рибоуклеаза	Е.С. 2.7.7.16	—	7,5	—	—
Ксантинооксидаза	Е.С. 1.2.3.2	65	6,0–9,0	70/1 мин	300000
Арилэстераза	Е.С. 3.1.1.2	30–60	—	—	—

Таблица 6

Витамины молока

Показатели	Молоко
Витамин А, мг	0,03
β-каротин, мг	0,02
Витамин D, мкг	0,05
Витамин E, мг	0,09
Витамин C, мг	1,50
Витамин B ₆ , мг	0,05
Витамин B ₁₂ , мкг	0,4
Биотин, мг	3,2
Ниоцин, мг	0,1
Лактотентовая кислота, мг	0,38
Рибофлавин, мг	0,15
Тиамин, мг	0,04
Фолицин, мг	5,00
Холин, мг	23,60

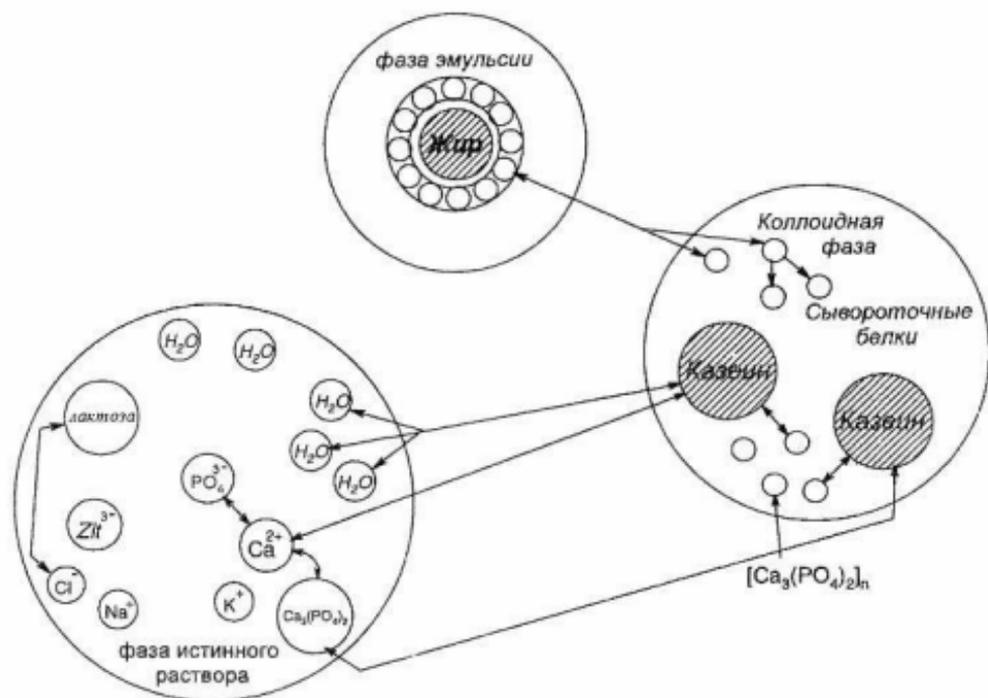


Таблица 7

Равновесная система молока

Физические свойства форм лактозы

Показатели	α -лактоза гидратная форма	β -лактоза
Плотность, г-мл	1,5453	1,5453
Температура плавления, °С	202 (разлож.)	252
Удельное вращение	+88	+34
Теплота сгорания кал/г	3847	3932,7
Удельная теплоёмкость кал/град-г	0,299	0,285
Теплота растворения кал/г	-12,0	-2,3
Относительная молекулярная масса	360,1	342
Коэффициент кубического расширения в диапазоне температур 0-100°С	0,00911 на 1°С	

Таблица 8

Содержание макроэлементов в молоке

Составная часть	Свежее обезжиренное молоко Плазма молока				Содержание в плазме крови, мг/100 мл
	среднее содержание		обычный диапазон мл на 100 мл	эксперим. значения на 100 мл	
	%	мг на 100 мл			
натрий	0,05	50	35-60	11-115	330
калий	0,15	145	135-155	115-200	20
кальций	0,12	120	100-140	65-264	10
магний	0,01	13	10-15	2-23	25
фосфор общий	—	95	75-110	47-144	—
фосфор PO_4^{3-}	0,21	75	—	—	5
хлорид	0,1	100	80-140	54-242	350
сульфат	0,01	10	—	—	—
карбонат HCO_3^-	0,02	20	—	—	—
цитрат	0,2	175	—	—	—

Таблица 9

Содержание микроэлементов в молоке

Микроэлементы	Содержание в 1 л молока, в мг		Биохимическое значение в молоке
	среднее	диапазон колебаний	
Fe	1400	700-2400	пероксидаза, каталаза
Co	0,72	0-2,3	витамин B_{12}
Ni	—	0-25	РНК
Cu	260	50-300	цитохромоксидаза
Zn	3500	1000-5000	и ферменты
B	—	90-290	щелочная фосфатаза
Al	500	—	—
Pb	40	—	фермент-эффектор
As	30	—	токсичен
Cr	15	—	РНК
Se	—	5-3000	фермент-эффектор токсичность
Mo	—	18-47	ксантимоксидаза
Mn	—	5-87	сост. часть ферментов
F	200	60-330	токсичен
Be	—	60-210	—
J	110	5-300	тироксин
Si	3900	—	—

Список рекомендуемой литературы

1. Химический состав пищевых продуктов: Справочник / Под ред. И.М. Скурихина. М.: Агропромиздат, 1987.
2. Горбатова К.К. Биохимия молока и молочных продуктов. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984.
3. Скурихин И.М., Нечаев А.П. Всё о пище с точки зрения химика. М.: Высшая школа, 1991.
4. Тенел А. Химия и физика молока. М.: Пищевая промышленность, 1979.
5. Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. М.: Просвещение, 1987.
6. Гринштейн Дж., Винниц М. Химия аминокислот и пептидов. М.: Мир, 1965.
7. Тюкавкина Н.А., Бауков Ю.И. Биоорганическая химия. М.: Медицина, 1991.
8. Степаненко Б.Н. Химия и биохимия углеводов (моносахариды). М.: Высшая школа, 1977.
9. Степаненко Б.Н. Химия и биохимия углеводов (полисахариды). М.: Высшая школа, 1978.
10. Уайт А., Хендлер Ф., Смит Э., Хилл Р., Леман И. Основы биохимии. М.: Мир, Т. 1-3. 1981.

Оглавление

Часть I

Аминокислоты, пептиды, белки	3
Пептиды	5
Белки	8
Состав и строение белков	8
Структура белков	9
Углеводы	11
Нуклеозиды	24
Пространственное строение нуклеозидов	25
Номенклатура, сокращённые формулы нуклеозидов	26
Нуклеотиды	31
Номенклатура и изомерия	32
Нуклеозид – 5' - фосфаты	35
Нуклеозидциклофосфаты	35
Липиды	36
Гормоны	40
Витамины	40
Ферменты	41

Часть II

Пищевая и биологическая ценность молока	43
Белки	44
Казеин	45
Сывороточные белки	49
Небелковые азотистые соединения	51
Ферменты	51
Липиды	54
Минеральные вещества	58
Витамины	59
Гормоны	64
Вода	66
Молоко как полидисперсная система	66
Фазы истинного раствора	66
Коллоидная фаза	67
Фаза эмульсии	68
Формирование антибактериальных факторов молока	69
Приложение	71
Список рекомендуемой литературы	83