

**УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная
академия ветеринарной медицины»**

Кафедра химии

ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ ГЕТЕРОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ:
[электронный ресурс]

Котович Игорь Викторович,
Елисейкин Дмитрий Владимирович

Химия и биология гетерофункциональных соединений: учеб.-метод.
К 73 пособие / И.В. Котович, Д.В. Елисейкин. – Витебск: УО ВГАВМ, 2006. –
50 с.

Витебск
УО ВГАВМ
2006

© Котович И.В., Елисейкин Д.В., 2006
© УО «Витебская ордена «Знак Почёта»
государственная академия ветеринарной
медицины», 2006

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКАЯ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЁТА» ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ»**

И.В. КОТОВИЧ, Д.В. ЕЛИСЕЙКИН

ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ ГЕТЕРОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Учебно-методическое пособие для преподавателей, студентов факультета ветеринарной
медицины, зооинженерного факультета и факультета заочного обучения

**ВИТЕБСК
УО ВГАВМ
2006**

УДК 547:577
ББК 24.23
К 73

Рекомендовано научно-методическим советом УО «Витебская ордена
«Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»

Рецензенты: А.В.Синковец, кандидат биологических наук, доцент кафедр
ры нормальной и патологической физиологии;
Н.Г.Толкач, кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующий
кафедрой фармакологии

Котович И.В., Елисейкин Д.В.

К 73 Химия и биология гетерофункциональных соединений: учеб.-метод. пособие
для преподавателей, студентов ф-та ветеринар. медицины, зооинж.
ф-та и ф-та заоч. обучения / И.В.Котович, Д.В. Елисейкин. – Витебск:
УО ВГАВМ, 2006. – 50 с.

ISBN 985-6749-62-X

Учебно-методическое пособие написано в соответствии с программой по органической и биологической химии. Оно предназначено для преподавателей, студентов факультета ветеринарной медицины, зооинженерного факультета и факультета заочного обучения. В пособии отражены данные о строении и физико-химических свойствах основных групп гетерофункциональных соединений (гидроксикислот, оксокислот, фенолокислот, аминокислот, аминокислот). Большое внимание уделено вопросам биологической роли важнейших гетерофункциональных соединений и их применению в ветеринарной медицине.

УДК 547:577
ББК 24.23

ISBN 985-6749-62-X

© Котович И.В., Елисейкин Д.В., 2006
© Учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почёта»
государственная академия ветеринарной медицины», 2006

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ГИДРОКСИКИСЛОТЫ. ОКСОКИСЛОТЫ. ФЕНОЛОКИСЛОТЫ. АМИНОСПИРТЫ.....	6
ГИДРОКСИКИСЛОТЫ.....	7
Понятие о гидроксикислотах. классификация и номенклатура.....	7
Наиболее важные представители гидроксикислот, их строение и медико-биологическое значение.....	8
Изомерия гидроксикислот.....	10
Физические и химические свойства гидроксикислот.....	11
ОКСОКИСЛОТЫ.....	15
Понятие об оксокислотах. классификация и номенклатура.....	15
Наиболее важные представители оксокислот, их строение и биологическая роль.....	15
Изомерия оксокислот.....	16
Химические свойства оксокислот.....	17
ФЕНОЛОКИСЛОТЫ.....	19
Понятие о фенолокислотах, их строение и медико-биологическое значение.....	19
Химические свойства фенолокислот.....	19
АМИНОСПИРТЫ. НОМЕНКЛАТУРА. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ, ИХ СТРОЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ.....	22
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ: «ГИДРОКСИКИСЛОТЫ. ОКСОКИСЛОТЫ. ФЕНОЛОКИСЛОТЫ. АМИНОСПИРТЫ.....	23
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ: «ГИДРОКСИКИСЛОТЫ. ОКСОКИСЛОТЫ. ФЕНОЛОКИСЛОТЫ. АМИНОСПИРТЫ.....	24
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «АМИНОКИСЛОТЫ».....	29
Понятие об аминокислотах. Классификация и номенклатура аминокислот.....	30
Изомерия аминокислот.....	31

Протеиногенные аминокислоты, их строение и биологическая роль.....	32
Физические и химические свойства аминокислот.....	37
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ: «АМИНОКИСЛОТЫ».....	41
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ: «АМИНОКИСЛОТЫ».....	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ТЕМЕ «АМИНОКИСЛОТЫ».....	47
СЛОВАРЬ ХИМИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ.....	48
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	49
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Гетерофункциональные соединения – это вещества со смешанными функциями, имеющие в своем составе разные функциональные группы. При этом вещества природного происхождения преимущественно содержат такие функциональные группы, как гидроксильная, карбонильная (оксо-), карбоксильная и аминогруппа. Значение таких соединений весьма велико. Многие из них участвуют в биохимических процессах, протекающих в организме человека и животных, входят в состав липидов, белков, биологически активных веществ, используются в медицине и ветеринарии в качестве лекарственных препаратов. Понимание медико-биологических аспектов роли этих соединений невозможно без глубоких знаний их строения и физико-химических свойств.

Учебно-методическое пособие «Гетерофункциональные соединения» предназначено для преподавателей и студентов факультета ветеринарной медицины, зооинженерного факультета и факультета заочного обучения. Пособие написано в соответствии с программой курса «Органическая и биологическая химия».

В пособии разбираются строение, изомерия, принципы классификации и номенклатуры гидроксикислот, оксокислот, фенолокислот, аминоспиртов и аминокислот. Подробно рассматривается реакционная способность указанных групп органических веществ. Особое внимание уделяется медико-биологическому значению данных гетерофункциональных соединений и их важнейших производных.

Для закрепления изучаемого материала в пособие включены контрольные вопросы и задания, которые студентам необходимо выполнить в процессе подготовки к занятиям по темам «Гидроксикислоты, оксокислоты, фенолокислоты. Аминоспирты» и «Строение и реакционная способность аминокислот». Приведены примерные тесты по данным темам для компьютерного контроля знаний студентов. Предусмотрена лабораторная работа по теме: «Аминокислоты». Указана литература по приводимому в пособии материалу.

В конце пособия имеется предметный указатель и химический словарь, включающий ключевые термины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «ГИДРОСИКИСЛОТЫ. ОКСОКИСЛОТЫ. ФЕНОЛОКИСЛОТЫ. АМИНОСПИРТЫ»

Цель занятия. Разобрать строение, реакционную способность и медико-биологическое значение важнейших представителей гетерофункциональных соединений гидросикислот, оксокислот, фенолокислот и аминосиртов.

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕМЫ:

1. ***Гидросикислоты.***
 - 1.1. Понятие о гидросикислотах. Классификация и номенклатура.
 - 1.2. Наиболее важные представители гидросикислот, их строение и медико-биологическое значение.
 - 1.3. Изомерия гидросикислот.
 - 1.4. Физические и химические свойства гидросикислот.
2. ***Оксокислоты.***
 - 2.1. Понятие об оксокислотах. Классификация и номенклатура.
 - 2.2. Наиболее важные представители оксокислот, их строение и биологическая роль.
 - 2.3. Изомерия оксокислот.
 - 2.4. Химические свойства оксокислот.
3. ***Фенолокислоты.***
 - 3.1. Понятие о фенолокислотах. Наиболее важные представители, их строение и медико-биологическое значение.
 - 3.2. Химические свойства фенолокислот.
4. Аминосирты. Номенклатура. Наиболее важные представители, их строение и биологическая роль.

ЛИТЕРАТУРА ПО ТЕМЕ

1. Березов, Т.Т. Биологическая химия: учебник / Т.Т.Березов, Б.Ф.Коровкин. – М.: Медицина, 1998. – 702 с.
2. Грандберг, И.И. Органическая химия: учебник / И.И.Грандберг. – М.: Высшая школа, 1987. – 480 с.
3. Жеребцов, Н.А. Биохимия: учебник / Н.А.Жеребцов, Т.Н.Попова, В.Г.Артюхов. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002. – 696 с.
4. Степаненко, Б.Н. Курс органической химии / Б.Н.Степаненко. – М.: Высшая школа, 1979. – 432 с.
5. Строев, Е.А. Биологическая химия: учебник / Е.А.Строев. – М.: Высшая школа, 1986. – 479 с.
6. Органическая химия: учебник / А.П.Лузин [и др.]; под ред. Н.А.Тюкавкиной. - М.: Медицина, 1998. – 496 с.

ХОД ЗАНЯТИЯ

1. Ответы на вопросы студентов, возникшие при подготовке к занятию.
2. Рассмотрение ключевых вопросов темы. Опрос студентов у доски. Фронтальный опрос студентов. Компьютерный тест-контроль студентов по вопросам темы.
3. Подведение итогов занятия.

1. ГИДРОКСИКИСЛОТЫ

1.1. Понятие о гидроксикислотах, Классификация и номенклатура.

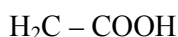
Гидроксикислоты – это производные карбоновых кислот, у которых один или несколько атомов водорода в радикале замещены соответствующим числом гидроксильных групп.

Общая формула гидроксикислот: $R - (COOH)_n$

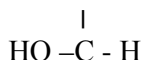


где n – количество карбоксильных групп, m – гидроксильных.

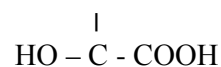
Классификация. В зависимости от количества карбоксильных групп гидроксикислоты подразделяют на *одноосновные* (один карбоксил), *двухосновные* (два карбоксила), *трёхосновные* (три карбоксила) и т.д.



гликолевая кислота
(одноосновная)



яблочная кислота
(двухосновная)



лимонная кислота
(трехосновная)

По расположению гидроксильной группы относительно карбоксила гидроксикислоты подразделяют на α -, β -, γ и т.д.

При названии гидроксикислот используют тривиальную, радикально-функциональную и заместительную **номенклатуру**.

Тривиальная номенклатура чаще всего употребляется для названия гидроксикислот. В ней отражаются особо заметные свойства, источник нахождения и т.д. Например, гликолевая кислота сладкая (от греч. гликос – сладкий), винная кислота выделена из винного камня, молочная кислота находится в молоке и молочных продуктах и т.д.

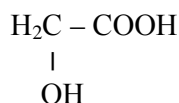
В названии кислот по *радикально-функциональной* номенклатуре указывают тривиальное название соответствующей карбоновой кислоты, а наличие гидроксильной группы отражается в виде префикса с соответствующей буквой греческого алфавита. Например, гликолевая кислота по этой номенклатуре будет иметь название α -гидроксиуксусная; молочная кислота - α -гидроксипропионовая, а яблочная кислота - α -гидроксиянтарная.

При названии гидроксикислот по *заместительной* номенклатуре указывается название соответствующей карбоновой кислоты по этой же номенклатуре, а наличие гидроксильной группы показывается в виде префикса гидрокси- с наличием цифры, обозначающей местоположение этой группы. Так, гликолевая кислота по этой номенклатуре будет названа 2-гидроксиэтановая, молочная кислота – 2-гидроксипропановая, а яблочная кислота – 2-гидроксипропановая.

Следует отметить, что в практике (биохимической, фармакологической) чаще всего употребляют тривиальные названия гидроксикислот.

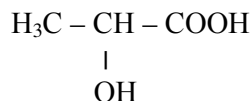
1.2. Наиболее важные представители гидроксикислот, их строение и медико-биологическое значение

Гликолевая кислота (α -гидроксиуксусная, 2-гидроксиэтановая).



В природных условиях встречается в недозрелых фруктах.

Молочная кислота (α -гидроксипропионовая, 2-гидроксипропановая).

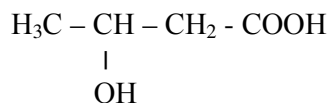


Содержится в молоке и молочных продуктах, кислой капусте, соленых огурцах.

Образуется в организме животных и человека как продукт расщепления гликогена при интенсивной мышечной работе, что обуславливает характерную боль мышц.

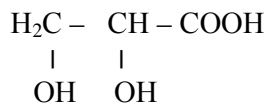
Соли и эфиры молочной кислоты называются *лактатами*. Лактаты кальция и железа применяются в медицине. Молочная кислота крайне гигроскопична. Это свойство пользуют в медицине, применяя ее для прижигания в виде 80 % сиропа.

β -гидроксимасляная кислота (3-гидроксипропановая).



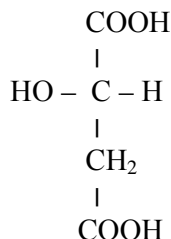
Участвует в обмене веществ в организме животных и человека. Относится к кетонным телам. Соли и производные данной кислоты называются *β -гидроксипропаноатами*.

Глицериновая кислота (α -, β -дигидроксипропионовая, 2,3-дигидроксипропановая).



Фосфорные эфиры этой кислоты (2-фосфоглицерат, 3-фосфоглицерат, 1,3-дифосфоглицерат) участвуют в обмене веществ в организме животных и человека.

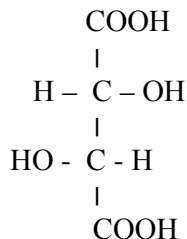
L-Яблочная кислота (α -гидроксиянтарная, 2-гидроксипропандиовая).



Содержится в ягодах и фруктах, особенно много её в ягодах рябины и барбариса.

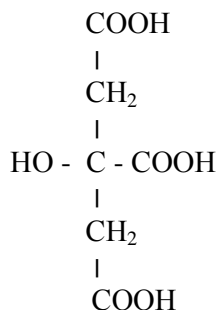
L-яблочная кислота участвует в обмене веществ в организме животных и человека, являясь промежуточным метаболитом цикла трикарбоновых кислот (цикла Кребса). Соли и производные яблочной кислоты называются *малатами*.

D-Винная кислота (α,β -дигидроксиянтарная, 2,3-дигидроксипутандиовая).



Находится во многих растениях, особенно много её в винограде. Выделяется в виде малорастворимой кислой калиевой соли («винный камень») в процессе винного брожения виноградного сока. Соли и сложные эфиры винной кислоты называются *тартратами*. Смешанный калиево-натриевый тартрат (сегнетова соль) – используется для обнаружения алифатических соединений с альдегидной группой. Рацемическая смесь равных количеств D-и L-винных кислот оптически неактивна и называется виноградной кислотой.

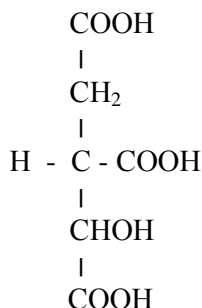
Лимонная кислота (2-гидрокси-1,2,3-пропантрикарбоновая).



Впервые выделена из лимонного сока. Лимонная кислота участвует в обмене веществ, являясь промежуточным метаболитом цикла трикарбоновых кислот.

Соли лимонной кислоты называются *цитратами*. Цитрат натрия является антикоагулянтом, т.е. препятствует свёртыванию крови и используется для консервации донорской крови. Он связывает участвующие в процессе свёртывания крови ионы кальция в нерастворимый цитрат кальция. Цитрат железа используется при анемии.

Изолимонная кислота (1-гидрокси-1,2,3-пропантрикарбоновая).



Соли изолимонной кислоты называются *изоцитратами*. Изолимонная кислота участвует в обмене веществ, являясь промежуточным метаболитом цикла Кребса.

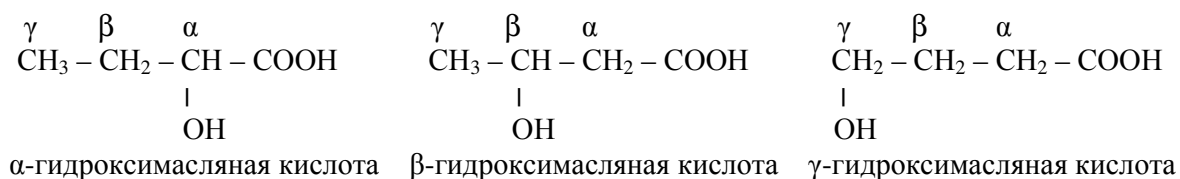
1.3. Изомерия гидроксикислот

Структурная изомерия гидроксикислот обусловлена, во первых, строением (разветвлением) углеродного скелета и, во вторых, положением гидроксильной группы относительно карбоксила.

Пример структурной изомерии по разветвлению углеродной цепи



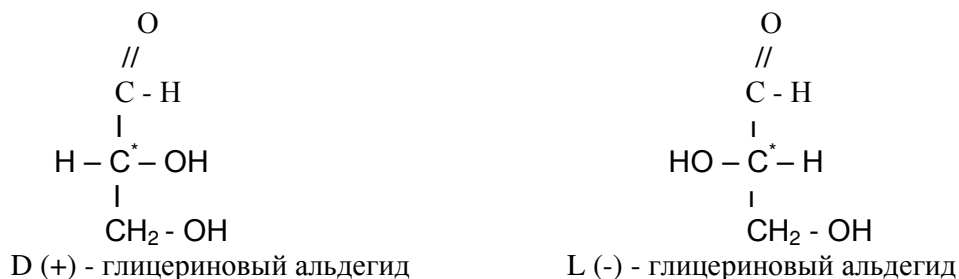
Пример структурной изомерии по положению гидроксильной группы относительно карбоксила



Для гидроксикислот характерна *оптическая изомерия*, которая обусловлена наличием *асимметричных атомов углерода C**. Такие углеродные атомы связаны с *четырьмя различными заместителями*.



Принадлежность соединения к D- или L-ряду устанавливается путем сравнения конфигурации асимметричного центра у этого вещества с конфигурацией асимметричного центра у эталона, за который принимают D- или L-глицериновый альдегид.



D- и L-формы соединения называются зеркальными изомерами (энантиомерами, оптическими антиподами).

Энантиомеры относятся друг к другу как предмет и несовместимое с ним зеркальное изображение. Они обладают одинаковыми физическими и химическими свойствами. Отличаются противоположными знаками **оптической активности**. Оптическая активность проявляется в способности вещества вращать плоскость поляризованного света (см. рис.) При прохождении плоскополяризованного света через раствор одного энантиомера происходит отклонение плоскости поляризации влево, другого – вправо на один и тот же по величине угол α . Величина угла α , приведенная к стандартным условиям, представляет собой константу оптически активного вещества и называется **удельным вращением** $[\alpha]$. Левое вращение обозначается знаком (-), правое – (+), а энантиомеры называются соответственно лево- и правовращающимися. Вращаться могут асимметричные атомы углерода (C^*). Направление вращения плоскости поляризованного света определяется с помощью прибора поляриметра.

Каждое соединение, существующее в виде двух оптически активных энантиомеров, может иметь и третью, оптически неактивную форму – **рацемат**. Рацемат – равномолекулярная смесь двух энантиомеров. Левое вращение одного энантиомера полностью компенсируется правым вращением другого.

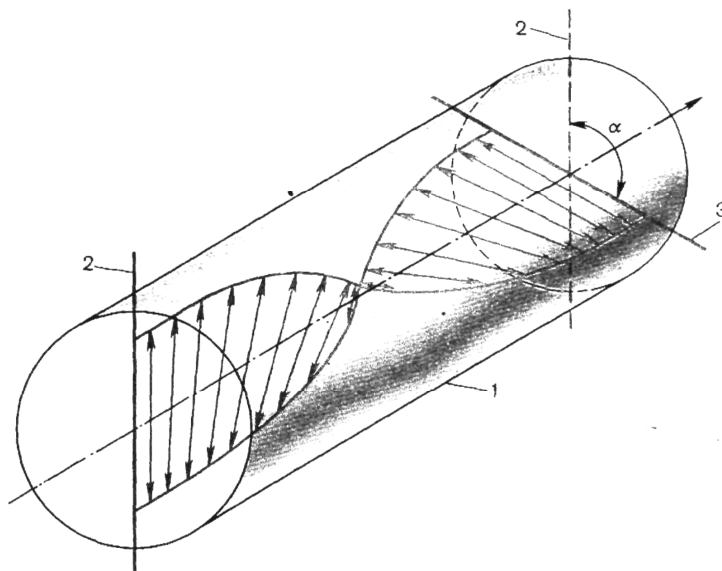


Рис. Отклонение плоскости поляризованного света оптически активным соединением.

1 - Кювета с веществом; 2- исходное положение плоскости поляризации; 3 - положение плоскости поляризации на выходе из кюветы.

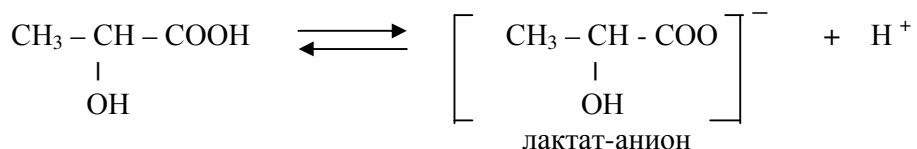
1.4. Физические и химические свойства гидроксикислот

Физические свойства. Простейшие представители одноосновных гидроксикислот либо густые жидкости, либо твердые вещества. Двух- и трехосновные гидроксикислоты – твердые кристаллические вещества. Многие из представителей гидроксикислот обладают оптической активностью.

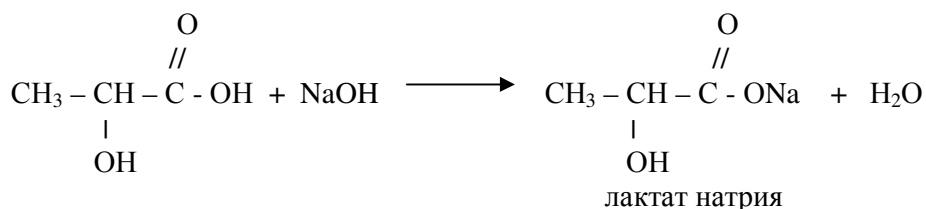
Химические свойства. Гидроксикислоты проявляют свойства характерные как для карбоновых кислот, так и для спиртов. Кроме того, у них проявляется ряд специфических свойств.

I. Реакции по карбоксильной группе

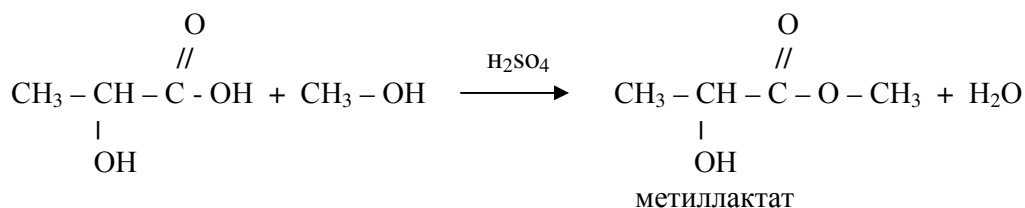
Диссоциация гидроксикислот. Гидроксикислоты проявляют более сильные кислотные свойства по сравнению с карбоновыми кислотами. Это обусловлено влиянием гидроксильной группы, причём чем ближе гидроксильная группа располагается к карбоксильной, тем сильнее гидроксикислота.



- При взаимодействии со щелочами образуются соли.

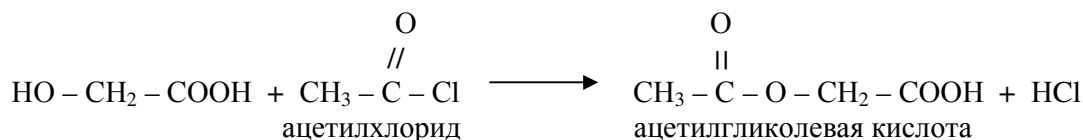


- При взаимодействии со спиртами в кислой среде образуются сложные эфиры.

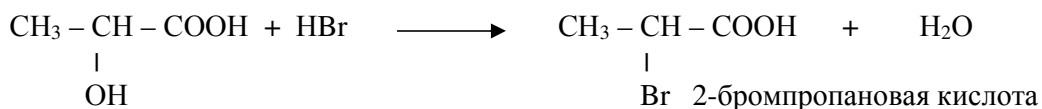


II. Примеры реакций по гидроксильной группе

- Ацилирование галогенангидридами

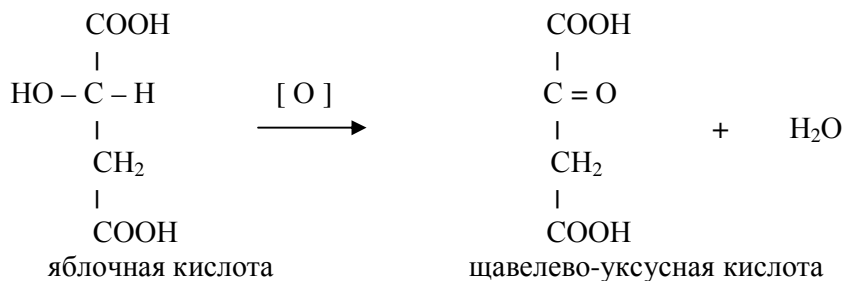
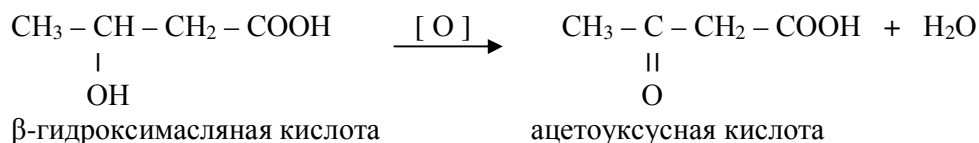
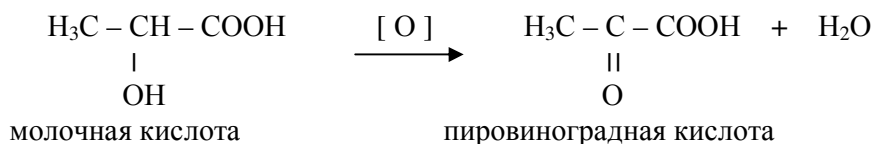
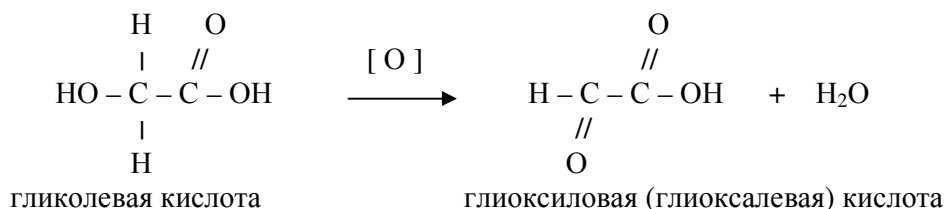


- Взаимодействие с галогеноводородами с образованием галогенопроизводных карбоновых кислот



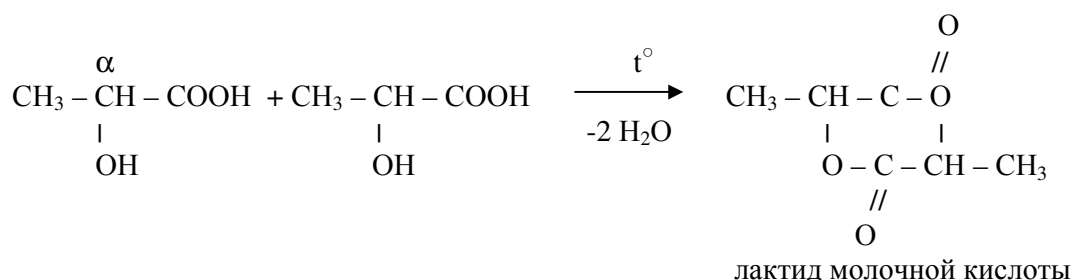
• Окисление

При окислении гидроксикислот получаются оксокислоты (альдегидо- или кетокислоты). При этом если гидроксил располагается у первичного атома углерода, то образуется альдегидокислота, а если у вторичного – то кетокислота. Так, например, при окислении гликолевой кислоты, имеющей гидроксильную группу при первичном атоме углерода, образуется альдегидокислота - глиоксиловая (глиоксалева). При окислении молочной, β-гидроксимасляной, а также яблочной кислоты (у них гидроксил находится при вторичном атоме углерода) образуются кетокислоты – соответственно пировиноградная, ацетоуксусная и щавелево-уксусная.

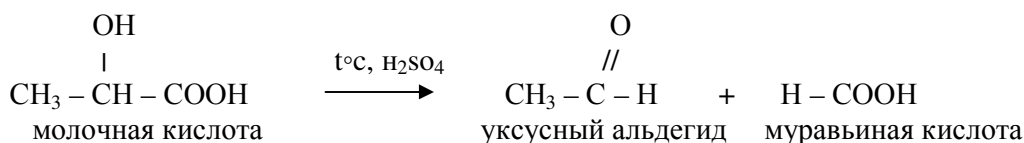


III. Специфические свойства гидроксикислот

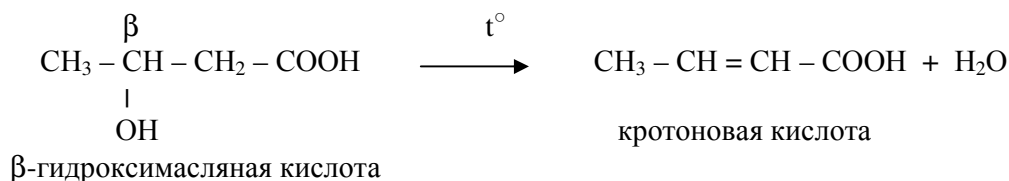
α -Гидроксикислоты при нагревании вступают в реакцию этерификации, происходящую между двумя молекулами, т.е. межмолекулярно. При этом спиртовая гидроксильная группа одной молекулы реагирует с карбоксильной группой другой молекулы и наоборот. Образующиеся сложные эфиры имеют циклическое строение и содержат в молекуле две сложноэфирные группы. Такие соединения называются **лактидами**. Образование лактидов характерно только для α-гидроксикислот, так как лишь в том случае возникает устойчивый шестичленный цикл. Лактиды способны гидролизоваться с образованием исходных кислот.



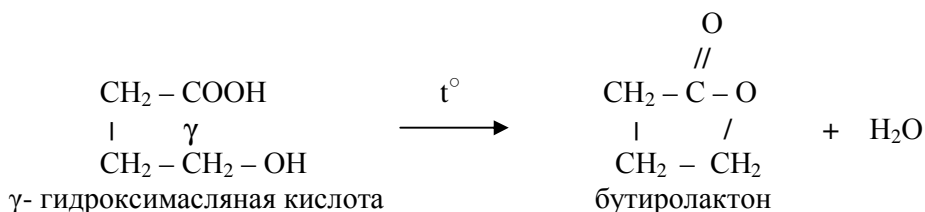
При разложении α -гидроксикислот в процессе нагревания в присутствии минеральных кислот образуется муравьиная кислота и альдегид, имеющий на 1 атом углерода меньше, чем исходная α -гидроксикислота.



β -Гидроксикислоты при нагревании вступают в реакцию дегидратации с образованием α, β -ненасыщенных карбоновых кислот. Склонность β -гидроксикислот к элиминированию молекулы воды обусловлена подвижностью водорода у α -атома углерода (СН-кислотный центр), связанного с двумя электроноакцепторными группировками.



γ -гидроксикислоты уже при комнатной температуре легко вступают в реакцию этерификации. При этом сложный эфир образуется за счет взаимодействия между гидроксильной и карбоксильной группами одной и той же молекулы, т.е. внутримолекулярно. Образующийся сложный эфир содержит в отличие от лактидов одну сложноэфирную группу, но также имеет циклическое строение. Такие соединения называются *лактонами*. Они легко образуются из γ -гидроксикислот в связи с тем, что именно у этих соединений функциональные группы расположены так, что при их взаимодействии замыкаются устойчивые пятичленные циклы. Лактоны, как и лактиды, способны гидролизироваться с образованием исходных гидроксикислот.



2. ОКСОКИСЛОТЫ

2.1. Понятие об оксокислотах. Классификация и номенклатура

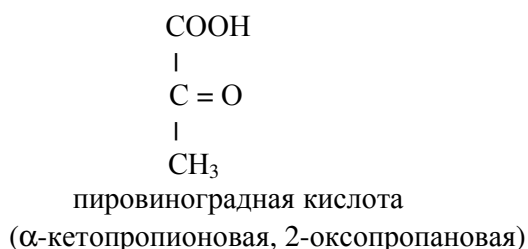
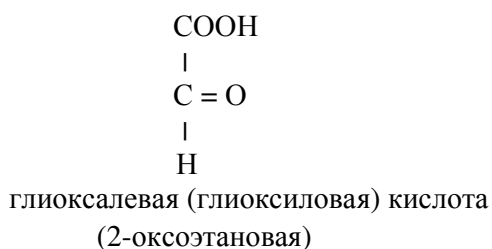
Оксокислоты — это соединения, содержащие наряду с карбоксильной и карбонильную (оксо-) группу. Они подразделяются на альдегидо- и кетокислоты. В зависимости от расположения функциональных групп различают α -, β -, γ - оксокислоты и т.д.

При названии оксокислот чаще всего употребляется *тривиальная* номенклатура.

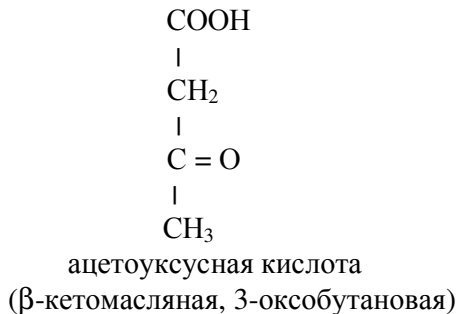
В названии оксокислот по *радикально-функциональной* номенклатуре указывается тривиальное название соответствующей карбоновой кислоты, а наличие оксогруппы отражается в виде префикса с соответствующей буквой греческого алфавита. Например, пировиноградная кислота по этой номенклатуре будет называться α -кетопропионовая; ацетоуксусная кислота – β -кетомасляная.

По заместительной номенклатуре карбонильная группа в названиях оксокислот отражается префиксом **оксо-**, а карбоксильная группа как старшая, — суффиксом - **овая**. Например, пировиноградная кислота по этой номенклатуре называется 2-оксопропановая, а ацетоуксусная – 3-оксопропановая.

2.2. Наиболее важные представители оксокислот, их строение и биологическая роль

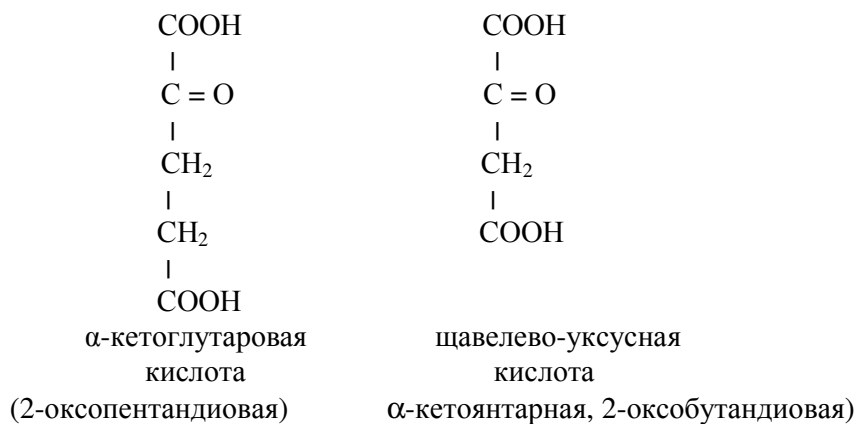


Глиоксалева кислота участвует в обменных процессах в растительных организмах. *Пировиноградная кислота* играет важную роль в процессах обмена веществ, являясь промежуточным продуктом распада углеводов. Соли и эфиры пировиноградной кислоты называются **пируватами**.



Ацетоуксусная кислота участвует в обмене веществ. Относится к кетоновым телам.

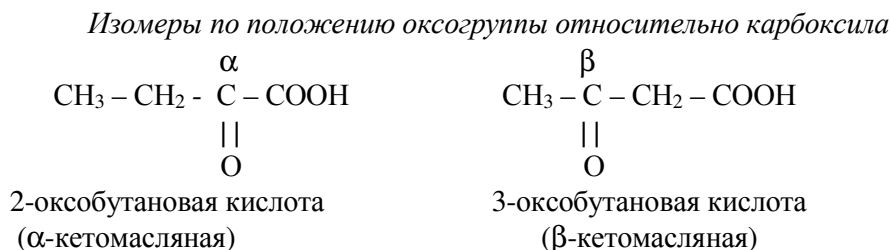
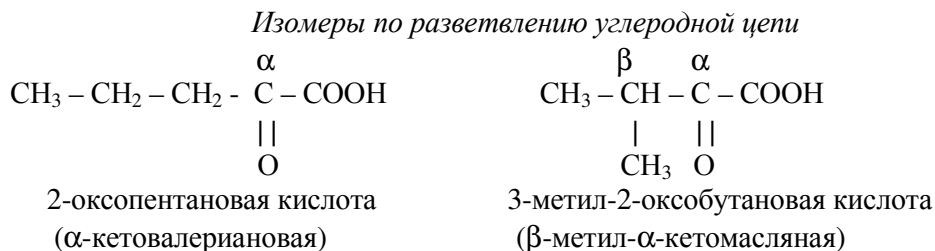
У больных кетозом и сахарным диабетом в результате нарушения обмена веществ наблюдается повышенное содержание в моче ацетоуксусной кислоты и продукта ее распада — ацетона. Соли и эфиры ацетоуксусной кислоты называются **ацетоацетатами**.



α -Кетоглутаровая и щавелевоуксусная кислоты играют важную роль в процессах обмена веществ и энергии, являясь промежуточными метаболитами цикла трикарбоновых кислот. Образуются в организме в результате дезаминирования и трансаминирования соответственно глутаминовой и аспарагиновой кислот. Соли и эфиры щавелево-уксусной кислоты называются **оксалоацетатами**, α -кетоглутаровой кислоты - **α -кетоглутаратами**.

2.3. Изомерия оксокислот

Для оксокислот характерна структурная изомерия по разветвлению углеродной цепи и по положению оксогруппы относительно карбоксила.

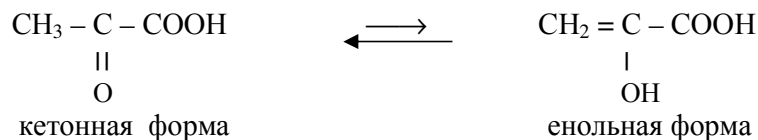


Оксокислотам присуща также и **кето-енольная** таутомерия.

Таутомерия (динамическая изомерия) — это подвижное равновесие между взаимопревращающимися структурными изомерами.

Таутомеры существуют совместно в одном и том же образце вещества и постоянно переходят друг в друга. Чаще всего встречаются прототропная таутомерия которая состоит во взаимопревращении таутомеров с переносом протона. Оксокислотам присуща **кето-енольная** таутомерия — одна из разновидностей прототропной таутомерии.

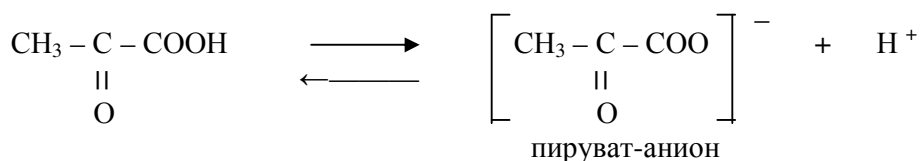
Таутомерные формы пировиноградной кислоты:



2.4. Химические свойства оксокислот

Оксокислоты проявляют свойства, характерные для карбоновых кислот, и в то же время для них характерны реакции карбонильных соединений.

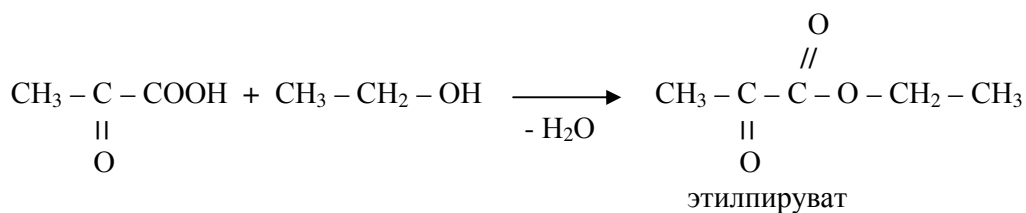
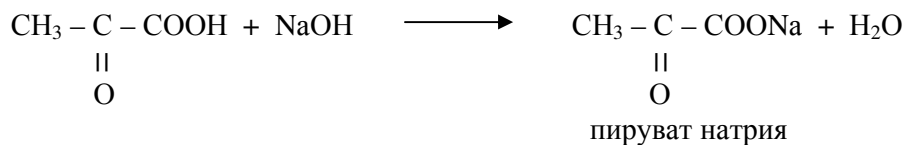
- Диссоциация оксокислот



Оксокислоты являются более сильными по сравнению с карбоновыми кислотами с тем же числом углеродных атомов. Чем ближе оксогруппа расположена к карбоксилу, тем сильнее кислота.

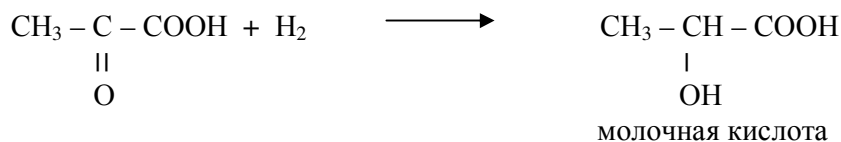
I. Реакции замещения

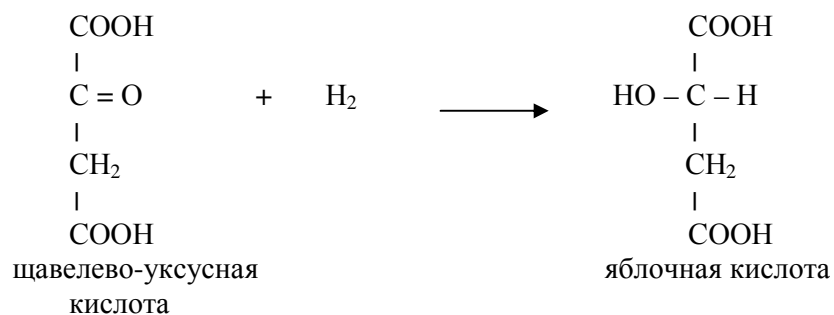
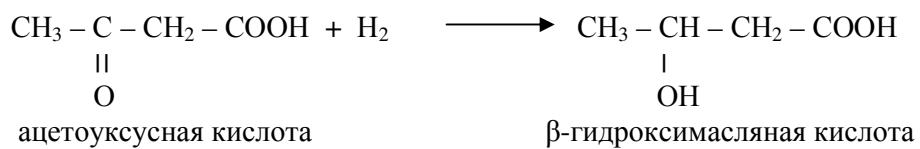
- За счет карбоксильной группы оксокислоты образуют соли с основаниями и вступают в реакцию этерификации со спиртами с образованием сложных эфиров.



II. Реакции присоединения

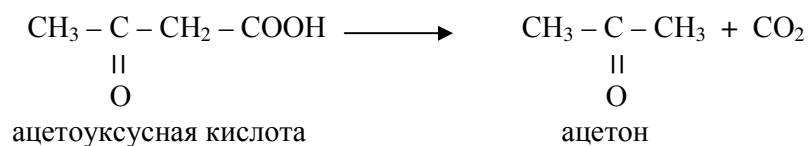
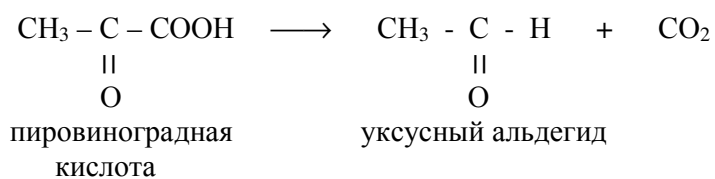
- За счет карбонильной группы оксокислоты вступают в реакции присоединения, в частности с водородом, и образуют гидроксикислоты.





III. Реакции отщепления (элиминирования)

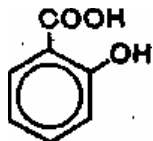
- α - и β -Оксокислоты легко подвергаются декарбоксилированию.



3. ФЕНОЛОКИСЛОТЫ

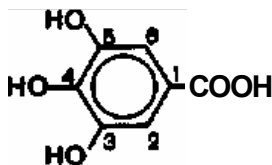
3.1. Понятие о фенолокислотах. Наиболее важные представители, их строение и медико-биологическое значение

Фенолокислоты – это гетерофункциональные соединения, имеющие в своей структуре карбоксильную группу и фенольный гидроксил. В названиях фенолокислот по заместительной номенклатуре за родоначальную структуру правилами ИЮПАК принята **бензойная кислота**; наличие гидроксильной группы отражается префиксом **гидрокси-**. Для многих фенолокислот употребляют тривиальные названия.



2-гидроксibenзойная
(салициловая) кислота

Салициловая кислота обладает антисептическими свойствами, противоревматическим и жаропонижающим действием. Поскольку она раздражает оболочки желудочно-кишечного тракта, то применяется в виде солей и эфиров.



галловая кислота (3,4,5-тригидроксibenзойная)

Галловая кислота в значительном количестве содержится в чае и дубильных веществах, участвует в построении танина. Используется как консервант. Применяется в фотографии как проявитель.

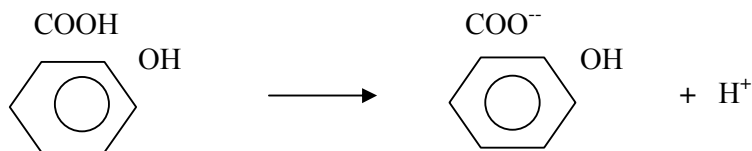
3.2. Химические свойства фенолокислот

Фенолокислоты вступают в реакции, характерные для карбоксильной и фенольной гидроксильной групп. Кроме того, для них характерны реакции, протекающие с участием углеводородного радикала (т.е. бензольного кольца).

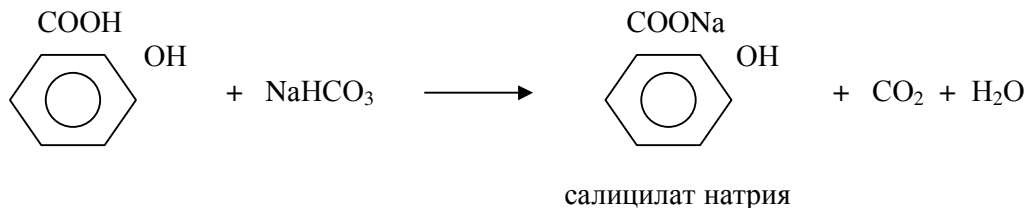
Рассмотрим химические свойства фенолокислот на примере салициловой кислоты, являющейся важнейшим представителем этого класса соединений.

Салициловая кислота имеет два центра кислотности — карбоксильную группу и фенольный гидроксил. Салициловая кислота (орто-гидроксibenзойная) обладает более сильными кислотными свойствами, чем ее мета- и пара-изомеры. Повышенная кислотность салициловой кислоты объясняется тем, что ее анион дополнительно стабилизируется внутримолекулярной водородной связью, возможность образования которой обусловлена орто-положением функциональных групп.

Диссоциация салициловой кислоты



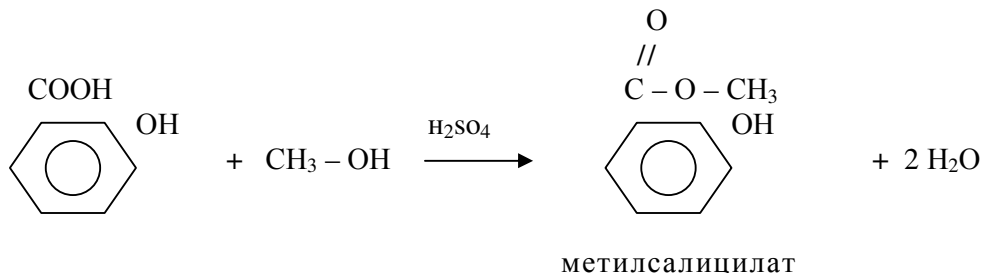
- Салициловая кислота вытесняет слабые кислоты из их солей.



Салицилат натрия обладает противоревматическим и жаропонижающим действием. Растворим в воде и в отличие от салициловой кислоты не вызывает раздражения кишечника.

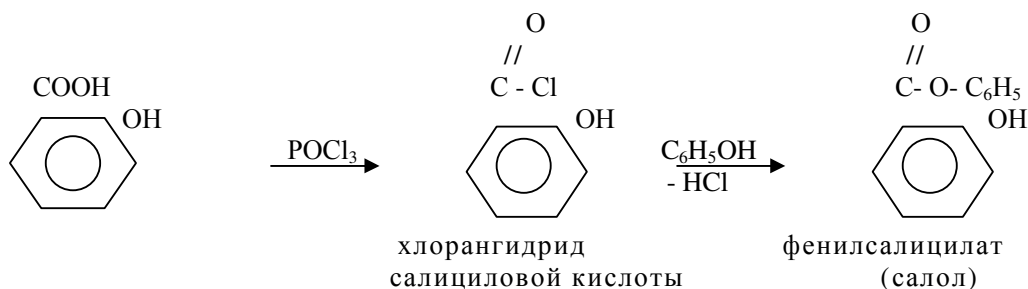
Реакции карбоксильной группы

При взаимодействии фенолокислот со спиртами образуются сложные эфиры.



Метилсалицилат используется в медицине в качестве *противоревматического* средства.

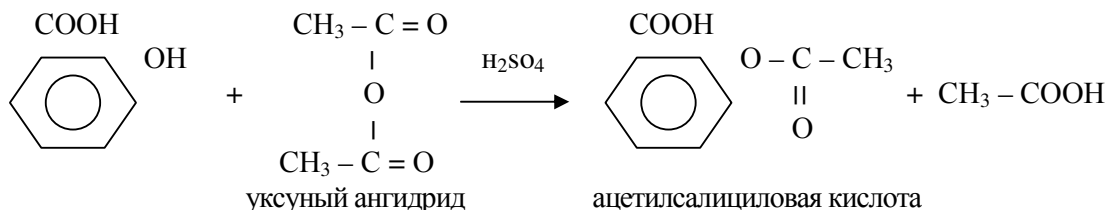
Поскольку фенолы из-за низкой нуклеофильности не вступают в реакцию этерификации, феноловый эфир салициловой кислоты — фенолсалицилат (салол) — получают при взаимодействии салициловой кислоты, фенола и фосфорилхлорида. Сначала из салициловой кислоты и фосфорилхлорида образуется ее хлорангидрид, т. е. более активный ацилирующий реагент, чем сама салициловая кислота, а затем происходит ацилирование фенола.



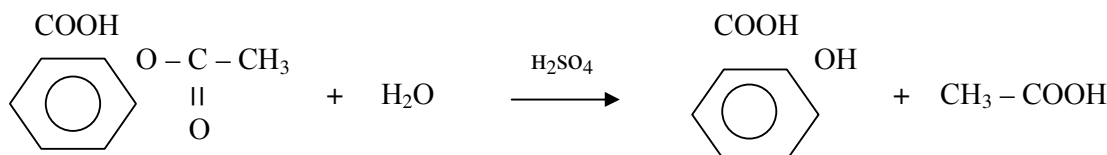
Салол используется как дезинфицирующее средство при некоторых кишечных заболеваниях.

Реакции фенольной гидроксильной группы

Салициловая кислота за счет фенольной гидроксильной группы способна образовывать простые и сложные эфиры. Большое практическое значение имеет ацетилсалициловая кислота (аспирин), которая получается при ацетилировании салициловой кислоты уксусным ангидридом.



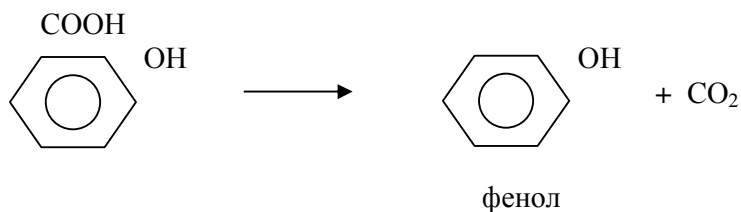
Ацетилсалициловая кислота применяется в медицине как жаропонижающее, противовоспалительное и болеутоляющее средство. Она способна гидролизаться в кислой и щелочной средах. Это обстоятельство следует учитывать при выборе условий ее хранения, которые должны исключать контакт с влагой.



При взаимодействии салициловой кислоты с хлоридом железа (III) образуется *фиолетовая* окраска, тогда как ацетилсалициловая кислота, у которой отсутствует свободная фенольная гидроксильная группа, такую реакцию не дает. Это различие используется при определении доброкачественности ацетилсалициловой кислоты.

Декарбоксилирование

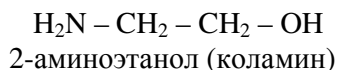
Фенолокислоты сравнительно легко подвергаются декарбоксилированию. Салициловая кислота при осторожном нагревании возгоняется и образует красивые игольчатые кристаллы, а при сильном нагревании происходит ее декарбоксилирование с образованием фенола.



4. АМИНОСПИРТЫ. НОМЕНКЛАТУРА. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ, ИХ СТРОЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ

Аминоспирты — это производные углеводов, содержащие одновременно амино- и гидроксильную группы.

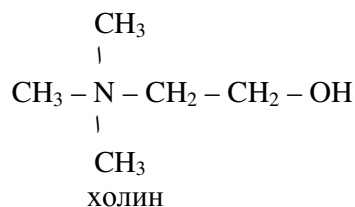
В систематических названиях аминоспиртов по заместительной номенклатуре старшая характеристическая группа (т.е. гидроксильная) обозначается суффиксом **-ол**, а амино-группа префиксом **амино-**. Многие аминоспирты имеют тривиальные названия.



Структура коламина лежит в основе многих лекарственных веществ и биологически активных соединений. Как правило, разнообразные производные получают путем ацилирования и алкилирования амино- и гидроксильных групп.

Коламин используется как добавка к моющим средствам и ингибитор коррозии; благодаря своим основным свойствам, применяется для очистки промышленных газов от примесей кислого характера — хлороводорода, оксида серы (IV), сероводорода.

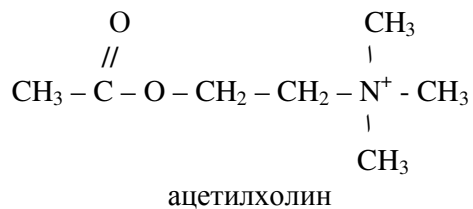
В живых организмах коламин образуется при декарбоксилировании аминокислоты серин. Из биологически активных производных коламина важное значение имеет его N-алкильное производное — **холин**.



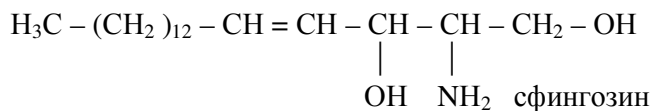
Холин представляет собой четвертичное аммониевое основание, содержащее спиртовую гидроксильную группу. Синтезируется холин из этиленоксида и триметиламина. Холин относится к витаминоподобным соединениям, обладает липотропным действием.

Холин и коламин содержится во многих живых тканях, участвуют в построении клеточных мембран и синтезе фосфолипидов.

Сложный эфир холина и уксусной кислоты (О-ацильное производное) — ацетилхолин — является нейромедиатором, т.е. химическим передатчиком нервного импульса.



Непределённый двухатомный спирт сфингозин входит в состав сфинголипидов.



**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ:
«ГИДРОКСИКИСЛОТЫ. ОКСОКИСЛОТЫ. ФЕНОЛОКИСЛОТЫ.
АМИНОСПИРТЫ»**

1. Приведите формулы молочной, яблочной, лимонной, изолимонной, винной, β -гидроксимасляной кислоты. Укажите основность этих соединений и их медико-биологическое значение.
2. Постройте все возможные изомеры 2-гидроксипропановой кислоты. Укажите их названия по международной номенклатуре.
3. Объясните почему гликолевая кислота не имеет оптических изомеров.
4. Приведите формулы оптических антиподов молочной и яблочной кислот. Какие из зеркальных изомеров принимают участие в обменных процессах в организме животных и человека? Почему равномолярная смесь зеркальных изомеров оптически неактивна?
5. Приведите уравнения реакций окисления молочной, β -гидроксимасляной и яблочной кислот. Какова биологическая роль продуктов этих реакций?
6. Какое количество гидроксида натрия необходимо для полной нейтрализации 50 г лимонной кислоты? В чем состоит биологическая роль цитрата натрия?
7. Какие типы химических реакций характерны для гидроксикислот? Ответ подтвердите соответствующими уравнениями реакций.
8. В какие специфические реакции вступают гидроксикислоты. Приведите уравнения реакций, происходящих при нагревании с α -гидрокси-, β -гидрокси- и γ -гидроксимасляной кислотой.
9. Расположите следующие кислоты – ацетоуксусную, щавелево-уксусную, α -кетоглутаровую, пировиноградную в порядке возрастания их силы. Ответ аргументируйте и приведите уравнения диссоциации этих кислот.
10. Что общего между ацетоуксусной и β -гидроксимасляной кислотой? Ответ поясните в виде химических реакций и указания биологической роли этих веществ.
11. Какие соединения образуются в результате восстановления оксокислот? Ответ подтвердите примерами химических реакций.
12. Рассчитайте какое количество салициловой кислоты необходимо использовать для получения 60 г аспирина.
13. Приведите уравнения реакций получения салицилата натрия, метилсалицилата и фенолсалицилата. В чем состоит медико-биологическое значение данных соединений?
14. Приведите химические структуры холина, коламина, сфингозина. Что общего между данными соединениями и в чем заключается их биологическая роль?

**ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ:
«ГИДРОКСИКИСЛОТЫ. ОКСОКИСЛОТЫ. ФЕНОЛОКИСЛОТЫ.
АМИНОСПИРТЫ»**

?1

Какая форма молочной кислоты участвует в обмене веществ в организме животных:

- рацемат
- D-молочная кислота
- +L-молочная кислота
- этиловый эфир молочной кислоты
- метиловый эфир молочной кислоты

?2

Одноосновными гидроксикислотами являются:

- яблочная
- +гликолевая
- винная
- +молочная
- +β-гидроксимасляная

?3

Количество возможных оптических изомеров винной кислоты:

- 2
- +3
- 4
- 5
- 7

?4

Какое количество оптических изомеров у лимонной кислоты:

- 4
- 3
- 2
- +нет изомеров
- 5

?5

Что такое рацемат:

- равномолярная смесь двух диастереомеров
- +равномолярная смесь двух оптических антиподов
- равномолярная смесь двух эпимеров
- разномолярная смесь двух оптических антиподов
- разномолярная смесь двух диастереомеров

?6

Какой атом углерода называется ассиметричным:

- связанный с 4-мя одинаковыми заместителями
- связанный с 2-мя разными заместителями
- связанный с 3-мя одинаковыми заместителями
- +связанный с 4-мя различными заместителями
- связанный с 3-мя разными заместителями

?7

Пара зеркальных изомеров какого соединения является эталоном для отнесения оптических изомеров к D или L-форме?:

- винная кислота
- яблочная кислота
- +глицериновый альдегид
- аланин
- глюкоза

?8

Двухосновными гидроксикислотами являются:

- лимонная
- изолимонная
- +винная
- молочная
- +яблочная

?9

Окисление β -гидроксимасляной кислоты приводит к образованию:

- щавелево-уксусной кислоты
- +ацетоуксусной кислоты
- молочной кислоты
- яблочной кислоты
- α -кетоглутаровой кислоты

?10

Трехосновными гидроксикислотами являются:

- винная
- +изолимонная
- гликолевая
- молочная
- +лимонная

?11

Окисление молочной кислоты приводит к образованию:

- гликолевой кислоты
- +пировиноградной кислоты
- яблочной кислоты
- винной кислоты
- щавелево-уксусной кислоты

?12

Медико-биологическое значение лимонной кислоты:

- +цитрат железа используется для профилактики анемии
- +участвует в обмене веществ
- применяется для лечения остеопороза
- +используется как антиоксидант при хранении продуктов
- +цитрат натрия применяется как антикоагулянт

?13

Дегидратация β -гидроксимасляной кислоты сопровождается образованием:

- лактидов
- лактонов
- +кетоновой кислоты
- гликолевой кислоты
- акриловой кислоты

?14

Окисление яблочной кислоты приводит к образованию:

- пировиноградной кислоты
- α -кетоглутаровой кислоты
- +щавелево-уксусной кислоты
- β -гидроксимасляной кислоты
- ацетоуксусной кислоты

?15

Дегидратация γ -гидроксимасляной кислоты сопровождается образованием:

- гликолевой кислоты
- +бутиролактона
- лактида
- кетоновой кислоты
- щавелево-уксусной кислоты

?16

К кетоновым телам относят следующие кислоты:

- молочная
- щавелево-уксусная
- яблочная
- +ацетоуксусная
- + β -гидроксимасляная

?17

Соли и производные яблочной кислоты называются:

- лактаты
- +малаты
- ацетаты
- тарtrate
- пируваты

?18

Соли и производные молочной кислоты называются:

- малаты
- тарtrate
- пируваты
- +лактаты
- оксалоацетаты

?19

Соли и производные лимонной кислоты называются:

- пируваты
- лактаты
- +цитраты
- малаты
- оксалоацетаты

?20

Взаимодействие ацетоуксусной кислоты с водородом приводит к образованию:

- молочной кислоты
- винной кислоты
- лимонной кислоты
- гликолевой кислоты
- +β-гидроксимасляной кислоты

?21

При нагревании 2-х молекул молочной кислоты образуется:

- лактон
- +лактид
- гликолевая кислота
- лактам
- дипептид

?22

Взаимодействие щавелево-уксусной кислоты с водородом приводит к образованию:

- пировиноградной кислоты
- глиоксалево-уксусной кислоты
- +яблочной кислоты
- изолимонной кислоты
- молочной кислоты

?23

Расположите пировиноградную, щавелево-уксусную, яблочную и ацетоуксусную кислоты в порядке убывания их силы:

- щавелево-уксусная, пировиноградная, ацетоуксусная, яблочная
- яблочная, пировиноградная, ацетоуксусная, щавелево-уксусная
- пировиноградная, ацетоуксусная, щавелево-уксусная, яблочная
- +щавелево-уксусная, яблочная, пировиноградная, ацетоуксусная
- щавелево-уксусная, пировиноградная, яблочная, ацетоуксусная

?24

Расположите молочную, лимонную, гликолевую, яблочную и винную кислоты в порядке убывания их силы:

- +лимонная, винная, яблочная, гликолевая, молочная
- лимонная, яблочная, винная, молочная, гликолевая
- яблочная, винная, лимонная, молочная, гликолевая
- винная, яблочная, молочная, гликолевая, лимонная
- яблочная, лимонная, молочная, гликолевая, винная

?25

Расположите α -, β , и γ -гидроксимасляную кислоты в порядке возрастания их силы:

- β -гидроксимасляная, α -гидроксимасляная, γ -гидроксимасляная
- все три кислоты одинаковые по силе
- β -гидроксимасляная, γ -гидроксимасляная, α -гидроксимасляная
- + γ -гидроксимасляная, β -гидроксимасляная, α -гидроксимасляная
- α -гидроксимасляная, γ -гидроксимасляная, β -гидроксимасляная

?26

Из нижеуказанных соединений выберите фенолокислоты:

- бензойная кислота
- триптофан
- +салициловая кислота
- гистидин
- +галловая кислота

?27

Продуктом взаимодействия уксусной и салициловой кислот является:

- фенилсалицилат
- +аспирин
- метилсалицилат
- фенолфталеин
- фенилацетат

?28

Биологическая роль холина:

- +входит в состав нейромедиаторов
- +является витаминоподобным соединением
- относится к незаменимым аминокислотам
- +предупреждает жировое перерождение печени
- +входит в состав фосфолипидов

?29

Биологическая роль сфингозина:

- относится к незаменимым аминокислотам
- +входит в состав гликолипидов
- входит в состав триглицеридов
- входит в состав восков
- необходим для образования холестерина

?30

Биологическая роль этаноламина:

- участвует в образовании триглицеридов
- относится к незаменимым аминокислотам
- входит в состав восков
- +участвует в образовании фосфолипидов
- входит в состав нуклеиновых кислот

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «АМИНОКИСЛОТЫ»

Цель занятия. Разобрать строение, реакционную способность и биологическое значение аминокислот.

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕМЫ:

1. Понятие об аминокислотах. Классификация и номенклатура аминокислот.
2. Изомерия аминокислот.
3. Протеиногенные аминокислоты, их строение и биологическая роль.
4. Физические и химические свойства аминокислот.

ЛИТЕРАТУРА ПО ТЕМЕ

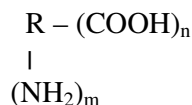
1. Березов, Т.Т. Биологическая химия: учебник / Т.Т.Березов, Б.Ф.Коровкин. – М.: Медицина, 1998. – 702 с.
2. Биохимия животных: учебник / А.В.Чечеткин [и др.]; под ред. А.В.Чечеткина. - М.: Колос, 1982. – 511 с.
3. Грандберг, И.И. Органическая химия: учебник / И.И.Грандберг. – М.: Высшая школа, 1987. – 480 с.
4. Жеребцов, Н.А. Биохимия: учебник / Н.А.Жеребцов, Т.Н.Попова, В.Г.Артюхов. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002. – 696 с.
5. Кононский, А.И. Биохимия животных: учеб. пособие для вузов / А.И.Кононский. – Киев: Вища школа, 1980. – 432 с.
6. Николаев, А.Я. Биологическая химия: учебник / А.Я.Николаев. – М.: Медицинское информационное агентство. – 2004. – 566 с.
7. Овчинников, Ю.А. Биоорганическая химия / Ю.А.Овчинников. – М.: Просвещение, 1987. – 815 с.
8. Степаненко, Б.Н. Курс органической химии: учебник / Б.Н.Степаненко. – М.: Высшая школа, 1979. – 432 с.
9. Строев, Е.А. Биологическая химия: учебник / Е.А.Строев. – М.: Высшая школа, 1986. – 479 с.
10. Органическая химия: учебник / А.П.Лузин [и др.]; под ред. Н.А.Тюкавкиной. - М.: Медицина, 1998. – 496 с.
11. Хазипов, Н.З. Биохимия животных: учебник / Н.З.Хазипов, А.Н.Аскарова. – Казань: КГАВМ, 2003. – 312 с.

ХОД ЗАНЯТИЯ

1. Ответы на вопросы студентов, возникшие при подготовке к занятию.
2. Рассмотрение ключевых вопросов темы. Опрос студентов у доски. Фронтальный опрос студентов. Компьютерный тест-контроль студентов по вопросам темы.
3. Проведение лабораторной работы.
4. Подведение итогов занятия.

1. Понятие об аминокислотах. Классификация и номенклатура аминокислот

Аминокислоты – это гетерофункциональные соединения, имеющие в своей структуре карбоксильную ($-\text{COOH}$) и amino- ($-\text{NH}_2$) группы.



Классификация аминокислот. В зависимости от *характера углеводородного радикала* аминокислоты подразделяют на циклические и ациклические. Циклические аминокислоты в свою очередь делят на ароматические и гетероциклические.

По количеству функциональных групп различают моноаминомонокарбоновые (1 аминогруппа и 1 карбоксил), моноаминодикарбоновые (1 аминогруппа и 2 карбоксила) и диаминотетракарбоновые (2 аминогруппы и 1 карбоксил) аминокислоты.

В зависимости от положения аминогруппы относительно карбоксила различают α -, β -, γ - и т.д. аминокислоты.

По биологическому значению аминокислоты делят на заменимые и незаменимые. Заменимые аминокислоты могут синтезироваться в организме человека и животных. Незаменимые аминокислоты неспособны к такому синтезу и должны поступать в организм экзогенным путем (с пищей или кормом). В составе полноценных белков должны присутствовать все незаменимые аминокислоты в достаточных количествах и в необходимых соотношениях. Абсолютно незаменимых аминокислот для всех видов живых организмов *восемь (метионин, треонин, валин, лейцин, изолейцин, лизин, фенилаланин, триптофан)*. В тоже время следует отметить, что для некоторых живых существ, а также в определенные периоды развития организма, ряд других аминокислот также становится необходимым компонентом рациона. Так, например, гистидин – незаменимая аминокислота для крыс. Для растущих животных помимо вышеуказанных 8 аминокислот требуется также гистидин и аргинин, для птиц во время линьки – глицин.

Номенклатура. При названии аминокислот используют тривиальную, радикально-функциональную и заместительную **номенклатуру**.

Тривиальная номенклатура чаще всего употребляется для названия аминокислот. В ней отражаются особо заметные свойства, источник нахождения и т.д. Например, глицин (от греч. гликос – сладкий). Для аминокислот также используют и трехбуквенные русские или английские обозначения (глицин обозначается *гли* или *gly*).

В названии аминокислот по *радикально-функциональной* номенклатуре отражается тривиальное название соответствующей карбоновой кислоты, а наличие аминогруппы и других функциональных групп указывается в виде префикса с соответствующей буквой греческого алфавита. Например, глицин по этой номенклатуре будет иметь следующее название: α -аминоуксусная; серин - α -амино- β -гидроксипропионовая; лейцин - α -амино- γ -метилвалериановая; фенилаланин - α -амино- β -фенилпропионовая.

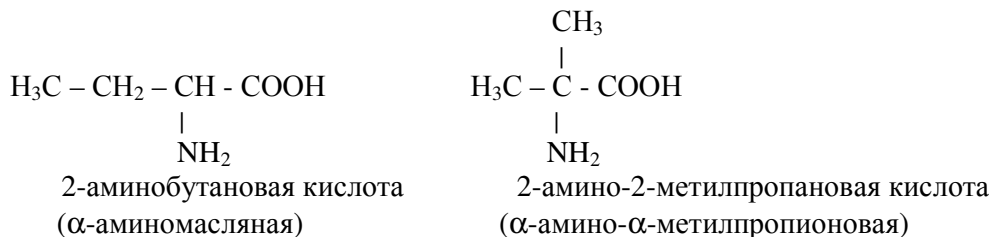
При названии аминокислот по *заместительной* номенклатуре указывается название соответствующей карбоновой кислоты по этой же номенклатуре, а наличие аминогруппы показывается в виде префикса amino- с цифрой, обозначающей местоположение этой группы. Также в виде префикса указывается наличие других функциональных групп или заместителей. Так, глицин по этой номенклатуре будет называться 2-аминоэтановая кислота; серин – 2-амино-3-гидроксипропановая кислота.

2. Изомерия аминокислот

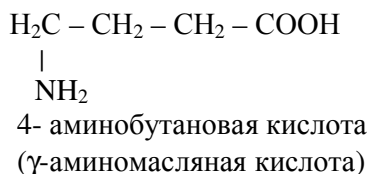
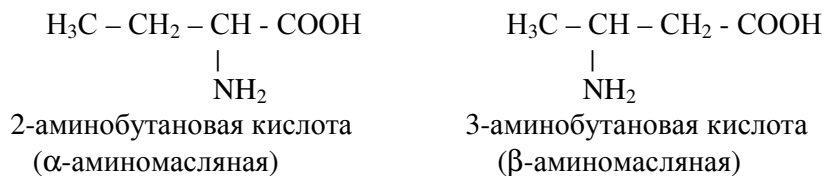
Для аминокислот характерна структурная и пространственная изомерия.

Структурная изомерия может быть обусловлена разветвлением углеродной цепи и положением аминогруппы относительно карбоксила.

Пример изомерии по разветвлению углеродной цепи

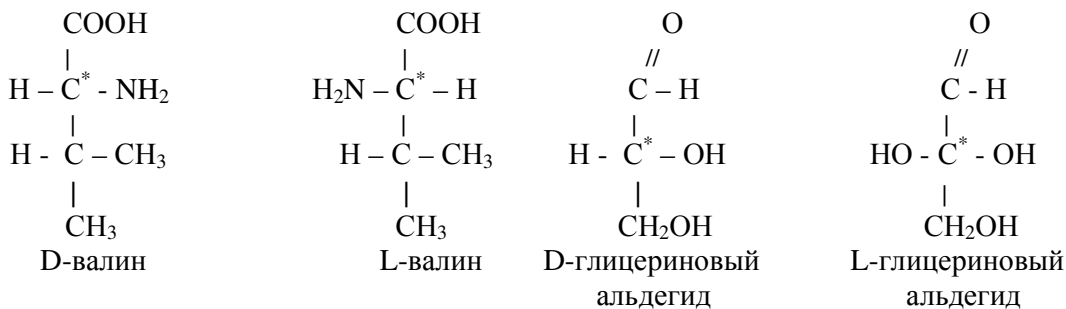


Пример изомерии по положению аминогруппы относительно карбоксила



В состав белков входят α -аминокислоты.

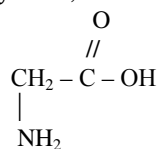
Пространственная изомерия обусловлена наличием у аминокислот ассиметричных атомов углерода. Принадлежность аминокислоты к D- или L-ряду определяется путем сравнения с конфигурацией ассиметричного атома углерода D- или L-глицеринового альдегида, принятого за эталон.



Большинство природных аминокислот относятся к L-ряду. Такие аминокислоты входят в состав белков и называются **протеиногенными**.

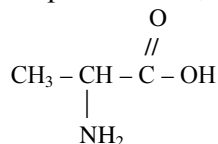
3. Протеиногенные аминокислоты, их строение и биологическая роль

Глицин (Гли; Gly; α -аминоуксусная; 2-аминоэтановая)



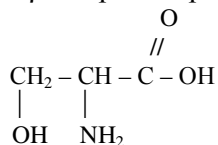
Молекулярная масса (М.м.) = 75; изоэлектрическая точка (pI) = 5,97. Моноаминомонокарбоновая, заменимая аминокислота. Используется в организме животных для синтеза белков, глутатиона, пуриновых оснований, порфиринов, глюкозы и гликогена, серина, креатина, гиппуровой и гликохолевой кислот.

α -аланин (Ала; Ala; α -аминопропионовая; 2-аминопропановая)



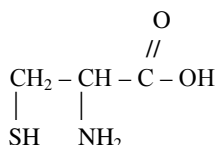
М.м. 89; pI = 6,02. Ациклическая, моноаминомонокарбоновая, заменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков, глюкозы и гликогена.

Серин (Сер; Ser; α -амино- β -гидроксипропионовая; 2-амино-3-гидроксипропановая)



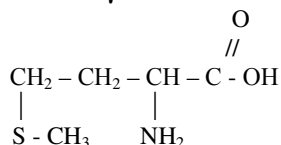
М.м. 105; pI = 5,68. Ациклическая, моноаминомонокарбоновая, заменимая аминокислота. Используется для синтеза белков, глицина, глюкозы и гликогена, этаноламина, фосфатидов.

Цистеин (Цис; Cys; α -амино- β -тиопропионовая; 2-амино-3-тиопропановая)



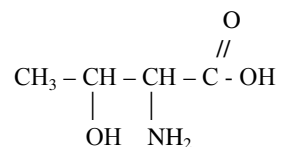
М.м. 121; pI = 5,02. Ациклическая, моноаминомонокарбоновая, заменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков, глутатиона, глюкозы и гликогена, таурина, аминокреатина, коэнзима А.

Метионин (Мет; Met; α -амино- γ -метилтиомасляная; 2-амино-4-метилтиобутановая)



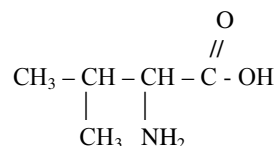
М.м. 149; pI = 5,75. Ациклическая, моноаминомонокарбоновая, незаменимая аминокислота. Входит в состав белков, участвует в синтезе глюкозы и гликогена, цистеина, адреналина, холина, креатина.

Треонин (Тре; Thr; α-амино-β-гидроксимасляная; 2-амино-3-гидроксибутановая)



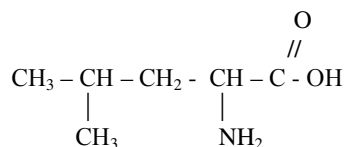
М.м. 119; pI = 6,53. Ациклическая, моноаминомонокарбоновая, незаменимая аминокислота. Используется в организме животных для синтеза белков, глюкозы и гликогена, глицина.

Валин (Вал; Val; α-амино-β-метилмасляная; 2-амино-3-метилбутановая)



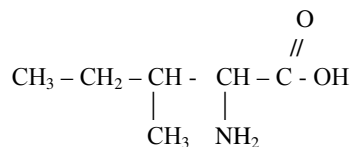
М.м. 117; pI = 5,97. Ациклическая, моноаминомонокарбоновая, незаменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков, глюкозы и гликогена.

Лейцин (Лей; Leu; α-амино-γ-метилвалериановая; 2-амино-4-метилпентановая)



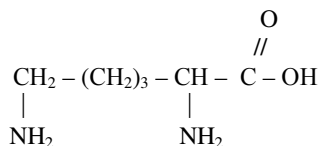
М.м. 113; pI = 5,97. Ациклическая, моноаминомонокарбоновая, незаменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков и кетонových тел.

Изолейцин (Иле; Ile; α-амино-β-метилвалериановая; 2-амино-3-метилпентановая)



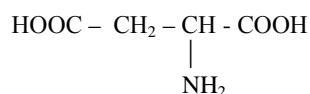
М.м. 113; pI = 5,97. Ациклическая, моноаминомонокарбоновая, незаменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков, глюкозы, гликогена и кетонových тел.

Лизин (Лиз; Lys; α, ε-диаминокапроновая; 2,6-диаминогексановая)



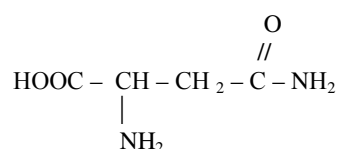
М.м. 146; pI = 9,74. Ациклическая, диаминомонокарбоновая, незаменимая аминокислота. Используется для синтеза белков, глюкозы, гликогена, кетоновых тел.

Аспарагиновая кислота (Асп; Asp; α-аминоянтарная; 2-аминобутандиовая)



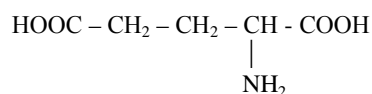
М.м. 133; pI = 2,97. Ациклическая, моноаминодикарбоновая, заменимая аминокислота. Входит в состав белков. Участвует в синтезе глюкозы и гликогена, пиримидиновых оснований нуклеиновых кислот, в реакциях трансаминирования, нейтрализации аммиака.

Аспарагин (Асн; Asn)



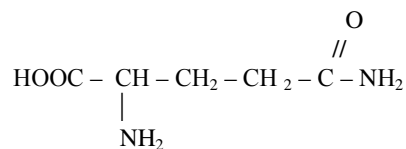
М.м. 132; pI = 5,41. Ациклическая, заменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков, глюкозы, гликогена, нейтрализации аммиака.

Глутаминовая кислота (Глу; Glu; α-аминоглутаровая; 2-аминопентандиовая)



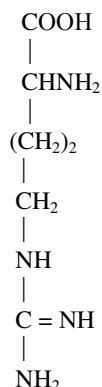
М.м. 147; pI = 3,22. Ациклическая, моноаминодикарбоновая, заменимая аминокислота. Входит в состав белков, трипептида глутатиона. Участвует в синтезе глюкозы и гликогена, в реакциях трансаминирования, окислительного дезаминирования, нейтрализации аммиака.

Глутамин (Глн; Gln)



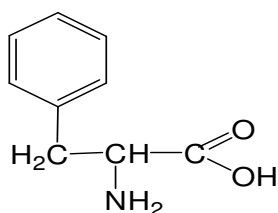
М.м. 146; pI = 5,65. Ациклическая, заменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков, глюкозы, гликогена, пуриновых оснований нуклеиновых кислот, нейтрализации аммиака.

Аргинин (Арг; Arg; α-амино-δ-гуанидиновалериановая; 2-амино-5-гуанидинопентановая)



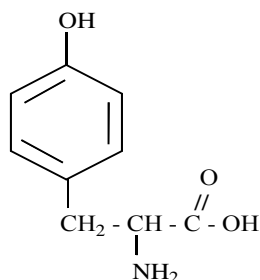
М.м. 174; pI = 10,76. Ациклическая, диаминомонокарбоновая, заменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков, глюкозы. Промежуточный метаболит орнитинового цикла биосинтеза мочевины.

Фенилаланин (Фен; Phe; α-амино-β-фенилпропионовая; 2-амино-3-фенилпропановая)



М.м. 165; pI = 5,98. Ароматическая, моноаминомонокарбоновая, незаменимая аминокислота. Используется в организме для синтеза белков, глюкозы и гликогена, кетоновых тел. Из фенилаланина в организме человека и животных ферментативным путем образуется **тирозин**.

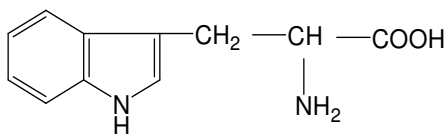
Тирозин (Тир; Tyr)



М.м. 181; pI = 5,65. Он используется для тех же процессов, что и фенилаланин. Кроме того, тирозин участвует в образовании гормонов щитовидной железы (тироксина, трийодтиронина), мозгового слоя надпочечников (адреналина, норадреналина), пигмента меланина, нейромедиатора дофамина.

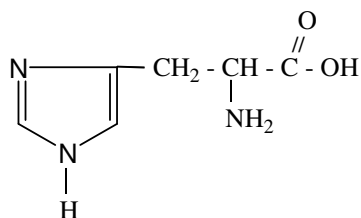
В толстом отделе кишечника при распаде данной аминокислоты образуются токсические соединения (фенол, крезол), обезвреживаемые в печени.

Триптофан (Трп; Trp; α -амино- β -индолилпропионовая; 2-амино-3-индолилпропановая)



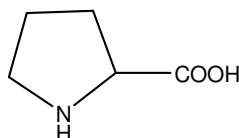
М.м. 204; $\text{pI} = 5,88$. Гетероциклическая, моноаминомонокарбоновая, незаменимая аминокислота. Участвует в синтезе белков, глюкозы и гликогена, кетоновых тел, кофермента НАД (никотинамидадениндинуклеотид), серотонина. При распаде данной аминокислоты в толстом отделе кишечника образуются такие токсические соединения, как индол и скатол, обезвреживаемые в печени.

Гистидин (Гис; His; α -амино- β -имидазолилпропионовая; 2-амино-3-имидазолилпропановая)



М.м. 155; $\text{pI} = 7,59$. Гетероциклическая, моноаминомонокарбоновая, заменимая аминокислота. Используется в организме для синтеза белков, глюкозы и гликогена, гистамина.

Пролин (Про; Pro; α -пирролидинкарбоновая)



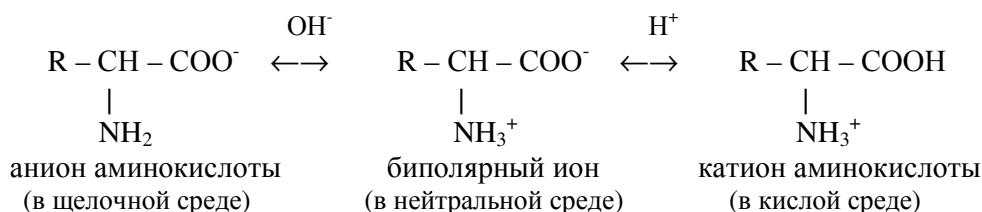
М.м. 115; $\text{pI} = 6,10$. Циклическая, заменимая иминокислота. Участвует в синтезе белков, глюкозы и гликогена.

4. Физические и химические свойства аминокислот

Аминокислоты – твердые, бесцветные вещества, растворимые в воде. Имеют высокие температуры плавления. L-аминокислоты имеют сладкий вкус. Аминокислоты D-ряда – горькие или безвкусные. Большинство аминокислот оптически активны.

Водные растворы моноаминомонокарбоновых аминокислот имеют нейтральную реакцию среды, моноаминодикарбоновых аминокислот – кислую, диаминомонокарбоновых – щелочную.

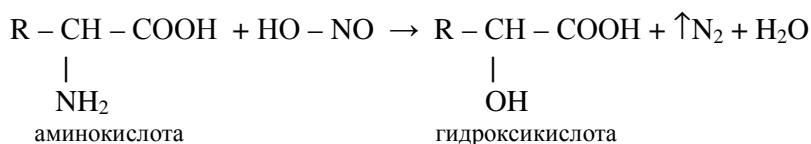
Для аминокислот характерны реакции по карбоксильной группе (как и для карбоновых кислот) и по аминогруппе (как и для аминов). Аминокислоты проявляют амфотерные свойства, т.е. в кислой среде диссоциируют как основания, приобретая положительный заряд, а в щелочной среде диссоциируют как кислоты, имея отрицательный заряд.



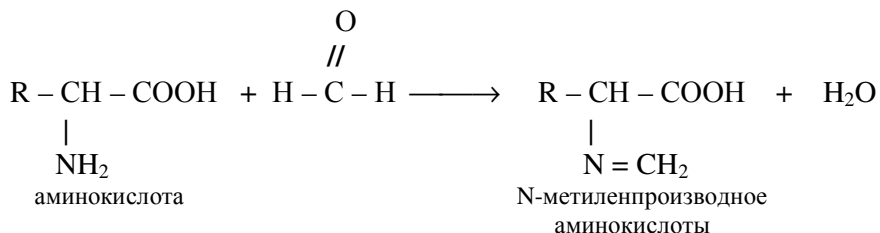
Анион аминокислоты в электрическом поле перемещается аноду, а катион – к катоду. Для каждой аминокислоты характерна изоэлектрическая точка (pI), т.е. реакция среды (pH) при которой суммарный заряд аминокислоты равен нулю.

Амфотерные свойства аминокислот лежат в основе буферного действия белков.

При взаимодействии аминокислот с *азотистой кислотой* (реакция идет по аминогруппе) выделяется газообразный азот и образуются гидроксикислоты. По количеству выделенного азота можно установить количество исходной аминокислоты (метод Ван-Слайка).

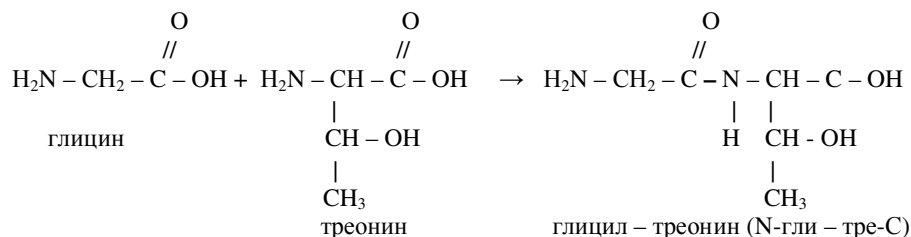


Реакция аминокислот с *формальдегидом* приводит к образованию N-метиленипроизводных, водные растворы которых имеют кислую реакцию среды, т.к. блокируется диссоциация аминогрупп, а диссоциируют только карбоксилы. Количество аминокислоты в этом случае определяется после ее связывания с формальдегидом путем титрования (метод Серенсена).

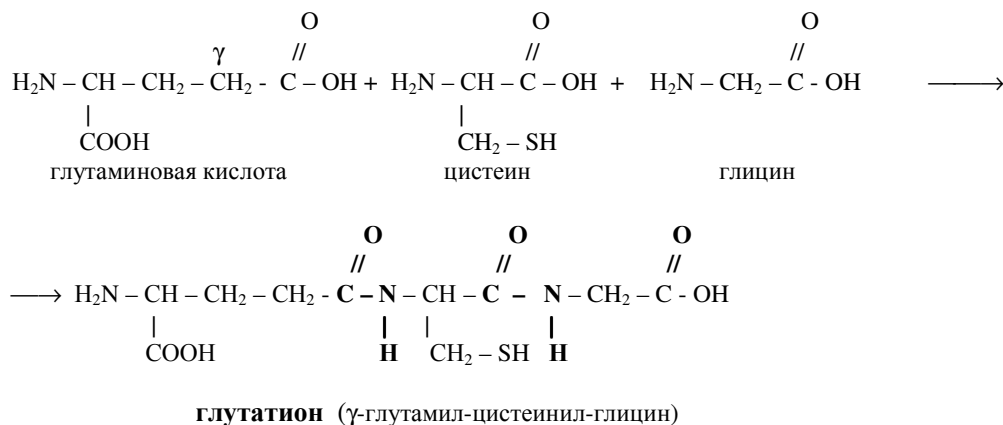


Специфические свойства аминокислот

При взаимодействии α -аминокислот образуются пептиды.

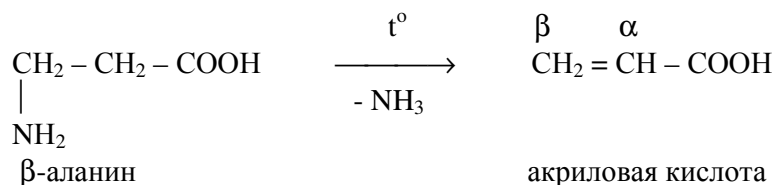


В названии пептидов учитывается, какой функциональной группой аминокислота участвует в образовании пептидной связи. Если у аминокислоты для образования пептидной связи задействована карбоксильная группа, то ее окончание изменяется на **-ил**, а если аминогруппа – то в этом случае окончание не изменяется. Употребляется и сокращенное обозначение пептидов, исходя из сокращенного (трехбуквенного) обозначения аминокислот. В начале наименования пептида ставится символ **N**, указывающий на то, что у аминокислоты в пептиде остается свободной аминогруппа. В конце наименования пептида ставится символ **C**, указывающий на то, что у аминокислоты в пептиде остается свободной карбоксильная группа. *Пептидная связь* участвует в формировании *первичной структуры* молекулы белка.

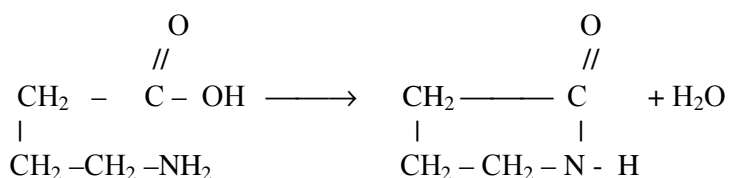


Глутатион принимает участие в окислительно-восстановительных реакциях, протекающих в организме животных и человека.

β -Аминокислоты при нагревании легко отщепляют аммиак, в результате чего образуются **α,β -непредельные кислоты**.



γ -Аминокислоты благодаря возможности принимать клешневидную конформацию, при нагревании образуют внутренние циклические амиды — **γ -лактамы**. При гидролизе лактамы вновь превращаются в γ -аминокислоты.

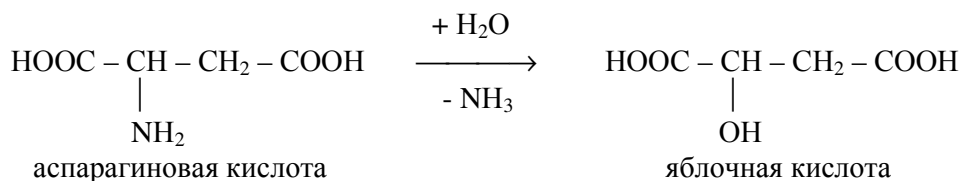


γ-аминомасляная кислота

γ-бутиролактam

Дезаминирование аминокислот – это отщепление от аминокислот аминогруппы в виде аммиака. Существует несколько типов дезаминирования аминокислот.

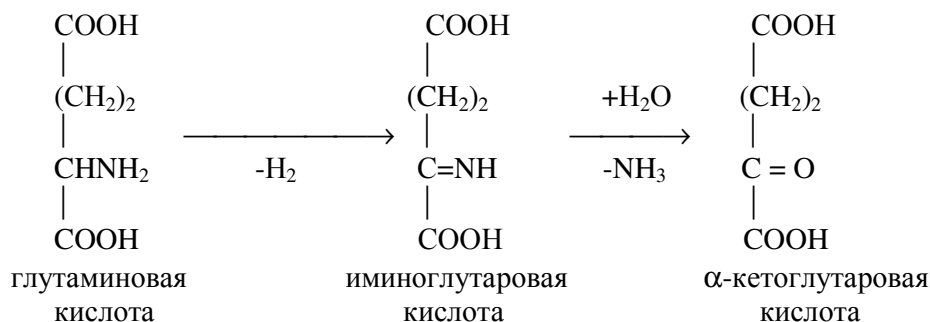
Например, при гидролитическом дезаминировании образуются аммиак и гидроксикислота.



аспарагиновая кислота

яблочная кислота

Наиболее распространенным видом дезаминирования в организме животных и человека является *окислительное*, при котором образуются аммиак и кетокислота.

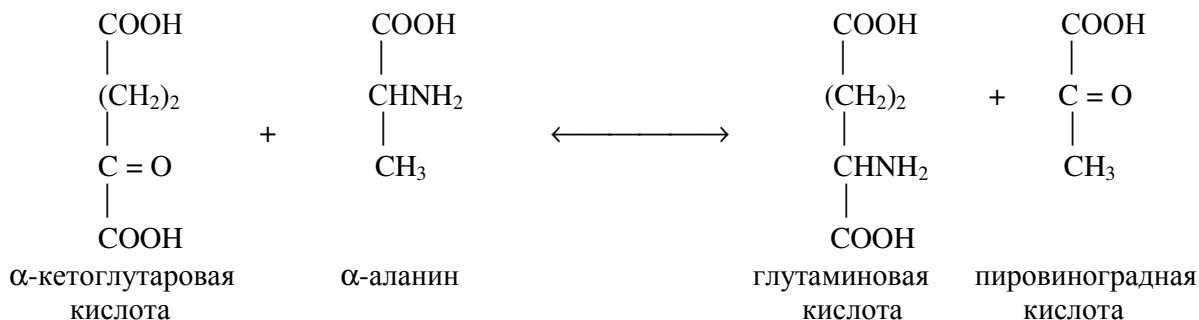


глутаминовая кислота

иминоглутаровая кислота

α-кетоглутаровая кислота

Одной из специфических реакций аминокислот является **трансаминирование**. В ходе данного процесса осуществляется перенос аминогруппы с аминокислоты на кетокислоту. В результате реакции образуются новая амин- и новая кетокислота. В организме животных и человека этот процесс протекает при участии ферментов аминотрансфераз и является одним из путей синтеза заменимых аминокислот.

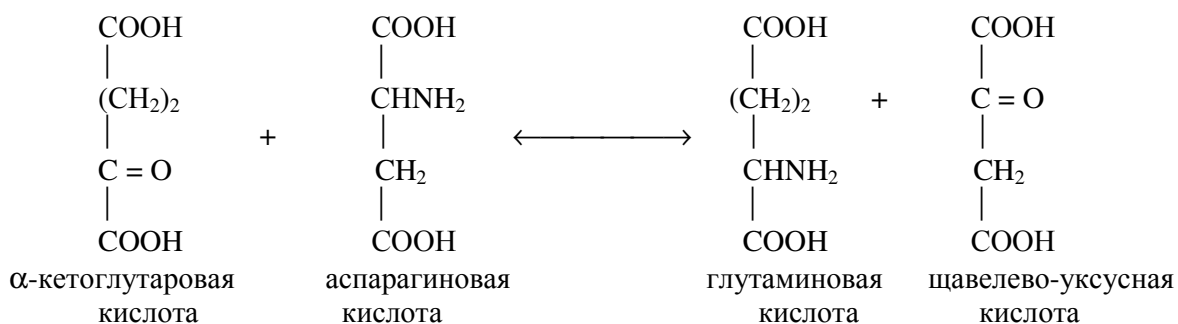


α-кетоглутаровая кислота

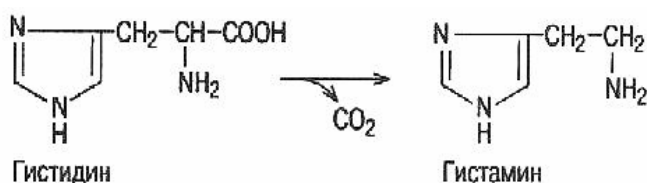
α-аланин

глутаминовая кислота

пировиноградная кислота



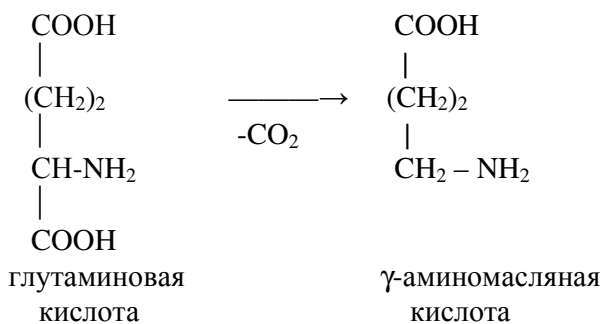
Декарбоксилирование аминокислот сопровождается образованием CO_2 и *биогенных аминов*. В организме человека и животных данный процесс обеспечивают ферменты декарбоксилазы аминокислот.



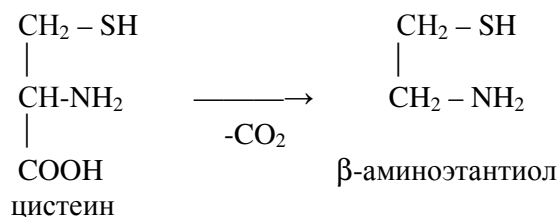
Амины, образующиеся при декарбоксилировании соответствующих аминокислот, выполняют в организме определенную биологическую роль, влияют на процессы обмена веществ и функции определенных органов и тканей.

Так, при декарбоксилировании гистидина образуется гистамин, расширяющий капилляры и снижающий кровяное давление. Он является нейромедиатором, усиливает секрецию соляной кислоты в желудке, участвует в аллергических реакциях организма.

При декарбоксилировании глутаминовой кислоты образуется γ -аминомасляная кислота (ГАМК), которая тормозит деятельность нервных клеток. В медицине она применяется при психических заболеваниях, обладает ноотропным действием, т.е. влияет на процессы мышления.



Декарбоксилирование цистеина приводит к образованию β -аминоэтантантиола, являющегося составным компонентом кофермента ацилирования (коэнзима А), принимающего участие в переносе остатков карбоновых кислот (ацильных групп) в биохимических процессах.



**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ:
«АМИНОКИСЛОТЫ»**

1. Напишите структурные формулы ациклических моноаминомонокарбоновых аминокислот.
2. Приведите структурные формулы ароматических и гетероциклических аминокислот.
3. Напишите структурные формулы моноаминомонокарбоновых и диаминомонокарбоновых аминокислот.
4. В чем состоит различие между заменимыми и незаменимыми аминокислотами? Приведите структурные формулы незаменимых аминокислот.
5. Напишите формулы оптических антиподов серина? Какова биологическая роль L-аминокислот?
6. Какова реакция среды водных растворов лейцина, фенилаланина, глутаминовой кислоты и аргинина? Ответ поясните соответствующими уравнениями реакций диссоциации данных аминокислот.
7. В чем состоят амфотерные свойства аминокислот. Приведите уравнения реакций диссоциации валина в кислой и щелочной средах.
8. Напишите уравнения реакций диссоциации аспарагиновой кислоты в нейтральной, кислой и щелочной средах.
9. Приведите уравнения реакций диссоциации лизина в нейтральной, кислой и щелочной средах.
10. Напишите уравнение реакции получения трипептида N-вал-цис-фен-С.
11. Приведите уравнение реакции получения трипептида N-три-гис-глу-С.
12. Напишите уравнение реакции получения тетрапептида N-гли-иле-тре-мет-С.
13. Напишите уравнение реакции получения тетрапептида N-лей-про-лиз-ала-С.
14. Какое количество азота выделится в реакциях взаимодействия глицина, глутаминовой кислоты и лизина с азотистой кислотой?
15. Напишите уравнения реакций трансаминирования, окислительного дезаминирования и декарбоксилирования в которых участвует глутаминовая кислота. Какова биологическая роль данных процессов?
16. Напишите уравнение реакции α -аланина с формальдегидом. Каково значение данной реакции?

**ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ:
«АМИНОКИСЛОТЫ»**

?1

Из нижеуказанных аминокислот выберите гетероциклические:

- +триптофан
- аланин
- +пролин
- лизин
- +гистидин

?2

Из нижеуказанных аминокислот выберите ароматические:

- треонин
- +тирозин
- валин
- аргинин
- +фенилаланин

?3

Из нижеуказанных аминокислот выберите моноаминомонокарбоновые:

- +лейцин
- аспарагин
- +серин
- глутаминовая кислота
- +тирозин

?4

Из нижеуказанных аминокислот выберите диаминомонокарбоновые:

- +лизин
- +аргинин
- метионин
- пролин
- изолейцин

?5

Из нижеуказанных аминокислот выберите моноаминодикарбоновые:

- цистеин
- +аспарагиновая кислота
- треонин
- +глутаминовая кислота
- глицин

?6

Из нижеуказанных аминокислот выберите серосодержащие:

- тирозин
- лейцин
- +цистеин
- триптофан
- +метионин

?7

Из нижеуказанных аминокислот выберите гидроксисодержащие:

- валин
- +треонин
- +серин
- гистидин
- изолейцин

?8

Из нижеуказанных аминокислот выберите незаменимые:

- цистеин
- +валин
- +лейцин
- +изолейцин
- пролин

?9

Какие из данных аминокислот являются незаменимыми:

- +треонин
- +метионин
- аргинин
- глицин
- глутамин

?10

Выберете незаменимые аминокислоты:

- аланин
- тирозин
- +фенилаланин
- +триптофан
- +лизин

?11

Какие вещества образуются при декарбоксилировании аминокислот:

- гидроксикислоты
- +биогенные амины
- оксокислоты
- спирты
- +углекислый газ

?12

В формировании какой структуры молекулы белка принимает участие пептидная связь:

- +первичной
- вторичной
- третичной
- четвертичной
- надвторичной

?13

β-аминоэтантиол, образующийся при декарбоксилировании цистеина, входит в состав:

- НАД (никотинамиддинуклеотид)
- ФАД (флавинадениндинуклеотид)
- +кофермента ацилирования (коэнзима А)
- ТПФ (тиаминпирофосфат)
- холевой кислоты

?14

Какие аминокислоты входят в состав глутатиона:

- +глутаминовая кислота
- +глицин
- пролин
- аспарагин
- +цистеин

?15

Какая аминокислота может входить в состав фосфатидов:

- фенилаланин
- лизин
- изолейцин
- +серин
- валин

?16

Какая аминокислота участвует в синтезе адреналина и холина:

- глицин
- глутамин
- +метионин
- триптофан
- аргинин

?17

Какие аминокислоты участвуют в синтезе кетоновых тел:

- пролин
- +лейцин
- гистидин
- аланин
- +изолейцин

?18

Какие аминокислоты участвуют в нейтрализации аммиака:

- +аспарагин
- лизин
- +аспарагиновая кислота
- +глутамин
- +глутаминовая кислота

?19

Какая аминокислота является промежуточным продуктом биосинтеза мочевины:

- серин
- гистидин
- +аргинин
- триптофан
- метионин

?20

Из какой аминокислоты образуется тирозин:

- треонин
- пролин
- лейцин
- +фенилаланин
- цистеин

?21

Какая аминокислота участвует в образовании гормонов щитовидной железы и коркового слоя надпочечников:

- глицин
- триптофан
- +тирозин
- изолейцин
- глутамин

?22

Какая аминокислота участвует в образовании пигмента меланина и нейромедиатора дофамина:

- +тирозин
- лизин
- валин
- глутаминовая кислота
- метионин

?23

Какая аминокислота участвует в образовании кофермента НАД (никотинамидадениндинуклеотид) и серотонина:

- треонин
- глицин
- +триптофан
- пролин
- аланин

?24

При взаимодействии аминокислот с азотистой кислотой выделяется следующий газ:

- CO₂
- +N₂
- NO
- CH₄
- CO

?25

Какие аминокислоты участвуют в образовании белков:

- +Л
- Д
- рацемат
- +альфа
- бетта

?26

Критическими незаменимыми аминокислотами являются:

- аргинин
- +лизин
- +триптофан
- треонин
- +метионин

?27

Изоэлектрическая точка у валина соответствует следующему значению pH:

- 1,00
- 10,07
- 7,55
- +5,97
- 4,57

?28

При взаимодействии аланина с альфа-кетоглутаровой кислотой образуются:

- ЩУК и аспартат
- ЩУК и глутамат
- +глутамат и пируват
- пируват и аспартат
- аспарагин и глутамин

?29

Окислительное дезаминирование глутаминовой кислоты приводит к образованию:

- CO₂
- +H₂
- +NH₃
- пируват
- +альфа-кетоглутарат

?30

Декарбоксилирование глутаминовой кислоты приводит к образованию:

- гистамина
- альфа-кетоглутаровой кислоты
- щавелево-уксусной кислоты
- пировиноградной кислоты
- +гамма-аминомасляной кислоты

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ТЕМЕ: «АМИНОКИСЛОТЫ»

Цель работы:

1. Ознакомиться с реакционной способностью и основными химическими свойствами аминокислот.
2. Формирование навыков научно-исследовательской работы.

Оборудование: вытяжной шкаф, штативы, пипетки, пробирки, спиртовки.

Реактивы: глицин (1 % раствор), лизин (1 % раствор), аспарагиновая кислота (1 % раствор), тирозин (5 % раствор), цистеин (10 % раствор), фенолфталеин (1 % спиртовой раствор), метилоранж (1 % раствор), формальдегид (10 % водный раствор), нитрит натрия (5 % раствор), азотная кислота (концентрированная и 10 % раствор), ацетат свинца (насыщенный раствор), гидроксид натрия (20 % раствор).

Опыт 1. Реакция среды водных растворов аминокислот.

а) В 2 пробирки внести по 5 капель раствора глицина. В одну из них добавить 1-2 капли раствора фенолфталеина, а во вторую - 1-2 капли раствора метилоранжа. Изменилась ли окраска индикаторов? Сделайте выводы и напишите уравнение реакции диссоциации глицина в нейтральной среде.

б) К 5 каплям раствора лизина прибавить 1-2 капли раствора фенолфталеина. Что наблюдается? Какова реакция среды в растворе? Напишите уравнение реакции диссоциации лизина в нейтральной среде.

в) К 5 каплям раствора аспарагиновой кислоты добавить 2 капли раствора метилоранжа. Что наблюдается? Какова реакция среды в растворе? Напишите уравнение реакции диссоциации аспарагиновой кислоты в нейтральной среде.

Опыт 2. Реакция аминокислот с формальдегидом.

К 5 каплям раствора глицина прибавить 10 капель 10 % раствора формальдегида и 1 каплю раствора метилоранжа. Что наблюдается? Сделайте соответствующие выводы и напишите уравнение реакции взаимодействия глицина с формальдегидом и диссоциацию продукта реакции.

Опыт 3. Реакции аминокислот с азотистой кислотой.

К 5 каплям раствора глицина прибавить 5 капель 5 % раствора NaNO_2 и 3 капли 10 % раствора HNO_3 . Что наблюдается? Напишите уравнения протекающих в опыте химических реакций.

Опыт 4. Качественная реакция на ароматические аминокислоты.

К 5 каплям раствора тирозина прибавить 3 капли концентрированной азотной кислоты и нагреть. Что наблюдается? Напишите уравнения протекающих в опыте химических реакций.

Опыт 5. Реакция на серосодержащие аминокислоты.

К 5 каплям раствора цистеина прибавить 5 капель 20 % раствора NaOH и прокипятить. После охлаждения к раствору прибавить 5 капель насыщенного раствора ацетата свинца. Что наблюдается? Напишите уравнения протекающих в опыте химических реакций.

СЛОВАРЬ ХИМИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

Ацетилсалицилаты – соли и производные ацетилсалициловой кислоты.

Ассиметричный (хиральный) атом углерода – атом углерода, связанный с 4-мя различными заместителями.

Биогенные амины – соединения, образующиеся при декарбоксилировании аминокислот в организме животных и человека.

Гидратация – реакция присоединения воды.

Гидроксibuтираты – соли и производные гидроксимасляной кислоты.

Глицераты – соли и производные глицериновой кислоты.

Дегидратация – отщепление воды.

Дезаминирование – отщепление от соединения аминогруппы в виде аммиака.

Декарбоксилирование – отщепление от соединения углекислого газа.

Изоцитраты – соли и производные изолимонной кислоты.

Изоэлектрическая точка (pI) – реакция среды (pH), при которой заряд аминокислоты равен нулю.

Лактаты – соли и производные молочной кислоты.

Малаты – соли и производные яблочной кислоты.

Оксалоацетаты – соли и производные щавелево-уксусной кислоты.

Пируваты – соли и производные пировиноградной кислоты.

Протеиногенные аминокислоты – аминокислоты, входящие в состав белков.

Тартраты – соли и производные винной кислоты.

Цитраты – соли и производные лимонной кислоты.

Энантиомеры (зеркальные изомеры, оптические антиподы) – соединения, соотносящиеся между собой как предмет и несовместимое с ним зеркальное отображение.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- | | |
|--|--|
| α-аланин 32, 39 | Лактамы 38,39 |
| β-аланин 38 | Лактиды 13,14 |
| Аминоэтанол (коламин) 22 | Лактоны 14 |
| Амфотерные свойства аминокислот 37 | Лейцин 33 |
| γ-аминомасляная кислота (ГАМК) 31, 39, 40 | Лизин 33 |
| Аргинин 35 | Лимонная кислота (цитрат) 7, 9 |
| Аспарагин 34 | |
| Аспарагиновая кислота (аспартат) 34, 39, 40 | Метилсалицилат 20 |
| Ассиметричный атом углерода 10, 31 | Метионин 32 |
| Ацетилсалициловая кислота (аспирин) 21 | Молочная кислота (лактат) 8,10,12-14,15, 17 |
| Ацетилхолин 22 | |
| Ацетон 18 | Пептидная связь 38 |
| Ацетоуксусная кислота (ацетоацетат) 13, 15, 18 | Пировиноградная кислота (пируват) 13, 15, 17, 18, 39 |
| Валин 31, 33 | Пролин 36 |
| Винная кислота (тарtrat) 9 | |
| Галловая кислота 19 | Салициловая кислота 19-21 |
| β-гидроксимасляная кислота (β-гидроксibuтират) 8, 13, 14, 18 | Серин 32 |
| Гистамин 40 | Сфингозин 22 |
| Гистидин 36, 40 | |
| Гликолевая кислота 7, 8, 13 | Рацемат 11 |
| Глиоксалева (глиоксиловая) кислота 13, 15 | Тирозин 35 |
| Глицериновая кислота (глицерат) 8 | Трансаминирование 39, 40 |
| Глицериновый альдегид 10 | Треонин 33 |
| Глицин 32, 38 | Триптофан 36 |
| Глутамин 34 | Фенилаланин 35 |
| Глутаминовая кислота (глутамат) 34, 39, 40 | Фенилсалицилат (салол) 20 |
| Глутатион 38 | |
| Дезаминирование аминокислот 39 | Холин 22 |
| Декарбоксилирование аминокислот 40 | Цистеин 32, 38, 40 |
| Изолимонная кислота (изоцитрат) 9, 10 | Щавелево-уксусная кислота (оксалоацетат) 16, 18, 40 |
| Изолейцин 33 | |
| Изомерия: структурная 10, 16, 31 | Энантиомеры (оптические антиподы) 10, 11 |
| оптическая 10, 11, 31 | |
| кетo-енольная 16 | Яблочная кислота (малат) 7, 8, 9, 13, 18, 39 |
| Изоэлектрическая точка аминокислот 37 | |
| α-кетоглутаровая кислота 16, 39, 40 | |
| Кетoновые тела 8, 15 | |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березов, Т.Т. Биологическая химия: учебник / Т.Т.Березов, Б.Ф.Коровкин. – М.: Медицина, 1998. – 702 с.
2. Биохимия животных: учебник / А.В.Чечеткин [и др.]; под ред. А.В.Чечеткина. - М.: Колос, 1982. – 511 с.
3. Грандберг, И.И. Органическая химия: учебник / И.И.Грандберг. – М.: Высшая школа, 1987. – 480 с.
4. Жеребцов, Н.А. Биохимия: учебник / Н.А.Жеребцов, Т.Н.Попова, В.Г.Артюхов. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002. – 696 с.
5. Кононский, А.И. Биохимия животных: учеб. пособие для вузов / А.И.Кононский. – Киев: Вища школа, 1980. – 432 с.
6. Николаев, А.Я. Биологическая химия: учебник / А.Я.Николаев. – М.: Медицинское информационное агентство. – 2004. – 566 с.
7. Овчинников, Ю.А. Биоорганическая химия / Ю.А.Овчинников. – М.: Просвещение, 1987. – 815 с.
8. Степаненко, Б.Н. Курс органической химии: учебник / Б.Н.Степаненко. – М.: Высшая школа, 1979. – 432 с.
9. Строев, Е.А. Биологическая химия: учебник / Е.А.Строев. – М.: Высшая школа, 1986. – 479 с.
10. Органическая химия: учебник / А.П.Лузин [и др.]; под ред. Н.А.Тюкавкиной. - М.: Медицина, 1998. – 496 с.
11. Хазипов, Н.З. Биохимия животных: учебник / Н.З.Хазипов, А.Н.Аскарова. – Казань: КГАВМ, 2003. – 312 с.

Учебное издание

Котович Игорь Викторович
Елисейкин Дмитрий Владимирович

Химия и биология гетерофункциональных соединений

Учебно-методическое пособие для преподавателей,
студентов факультета ветеринарной медицины,
зооинженерного факультета и факультета заочного обучения

Ответственный за выпуск В.М.Холод

Оригинал сверстан и отпечатан в УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная
академия ветеринарной медицины»

Подписано в печать 14.06.06 Формат 60×90 1/16 Бумага писчая
Усл. п.л. 3,0 Тираж 420 экз. Заказ № 186

210026 г. Витебск, ул 1-ая Доватора 7/11
Отпечатано на ризографе УО ВГАВМ
Лицензия № 02330/0133019 от 30.04.2004 г.