

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 14.09.2022 16:32:35

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e4457d1e8811b5111089

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ

Методические указания для самостоятельной работы по курсу
«Органическая химия» для студентов направления подготовки
04.03.01 «Химия»

Курск 2020

УДК 547.112

Составитель: Л.М. Миронович

Рецензент:

доктор химических наук, профессор А.М.Иванов

Аминокислоты, пептиды и белки: методические указания для практических занятий и самостоятельной работы по курсу «Органическая химия» для студентов направления подготовки 04.03.01 «Химия» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.М. Миронович. Курск, 2020, 24 с. Библиогр.: 24 с.

Методические указания предназначены для студентов очной формы обучения, для самостоятельного изучения и закрепления темы аминокислоты, пептиды и белки, а также для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и инженеров кафедры фундаментальной химии и химической технологии.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по курсу химия для студентов направления подготовки 04.03.01 «Химия».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 21.02.20. Формат 60x84 1/16
Усл.печ.л. 1,61 Уч.-изд.л. 1,26 Тираж 50 экз. Заказ 104 Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Краткие теоретические сведения.....	4
3. Тестовые задания.	13
5. Литература.....	24

ВВЕДЕНИЕ

α -Аминокислоты, пептиды и белки являются составной частью курса «Органическая химия» и представляет собой одну из самых значительных областей органической химии. Важность изучения указанной темы обусловлены большим биологическим значением α -аминокислот, пептидов и белков в организме человека.

Для понимания биохимических процессов, протекающих в организме, каждому студенту необходимо четко представлять структуру α -аминокислот, которые входят в состав белков (ферментов, гемоглобина, белков мышечной ткани и др.). Студент должен четко представлять синтез пептидов и белка в организме. Большое внимание уделяется синтезу ферментов и белков, в том числе твердофазному синтезу. Необходимо для целенаправленного синтеза проводить защиту амино- и карбоксильных групп, что невозможно без знания химических реакций.

Основное внимание в методической разработке уделено наиболее распространенным химическим свойствам α -аминокислот, их идентификации, а также синтезу пептидов.

Для самостоятельного изучения темы, студент обязан прослушать лекционный материал. После изучения лекционного материала по теме, студент обязан познакомиться с литературой учебной и научной, которая рекомендована преподавателем. После углубленного изучения материала рекомендуется студентам ответить на вопросы по теме, которые могут быть в тестовой форме или в виде небольших вопросов, отображающих суть вопроса.

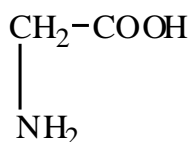
В данных методических указаниях приведены дополнительные сведения о α -аминокислотах, пептидах, белках, дана их краткая характеристика, что служит дополнением к лекционному материалу. Для закрепления знаний при изучении темы приведены тестовые задания, позволяющие проверить усвоение изложенного материала.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

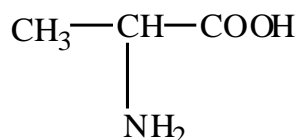
α -Аминокислоты – это соединения, в молекуле которых одновременно имеются карбоксильные группы и аминогруппы в α -положении относительно карбоксильной группы и которые входят в состав белковых молекул.

В состав белков входят 25 α-аминокислот, из которых 20 α-аминокислот имеются в каждой молекуле белка.

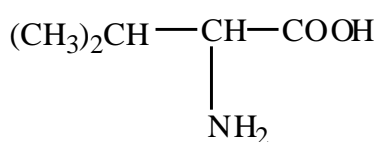
Общая формула R-CH(NH₂)-COOH. Все α-аминокислоты имеют тривиальные названия. Используют также сокращенные названия тривиальных названий, например, глицин – Гли, аланин – Ала и т.д. Ниже приведены формулы важнейших α-амимнокислот, их названия.



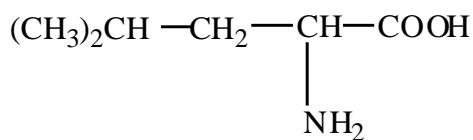
Глицин Гли (Gly)



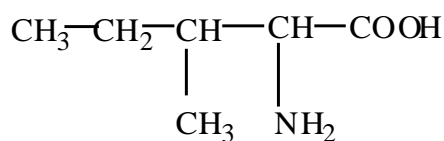
Аланин Ала (Ala)



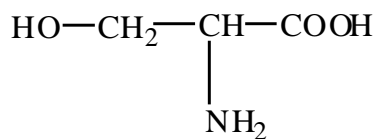
Валин Вал (Val)



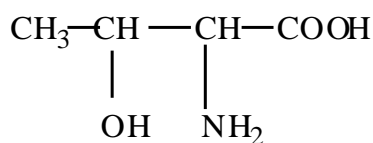
Лейцин Лей (Leu)



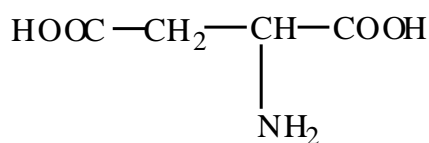
Изолейцин Иле (Ile)



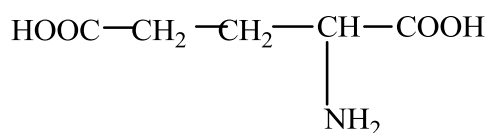
Серин Сер (Ser)



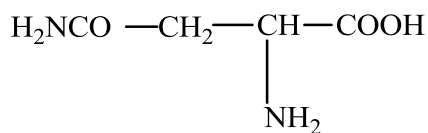
Треонин Тре (Thr)



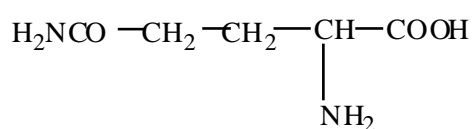
Аспарагиновая кислота Асп (Asp)



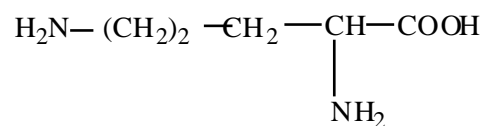
Глутаминовая кислота Глу (Glu)



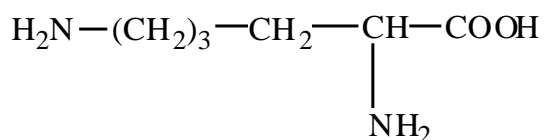
Аспарагин Асп (Asn)



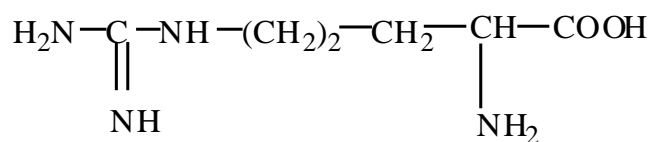
Глутамин Глн (Gln)



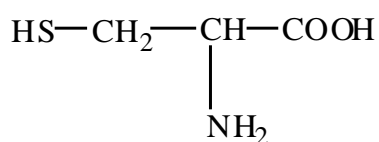
Орнитин Орн (Orn)



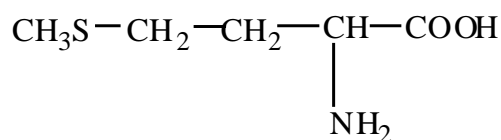
Лизин Лиз (Lys)



Аргинин Арг (Arg)

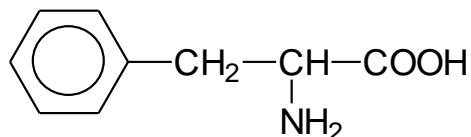


Цистеин Цис (Cys)

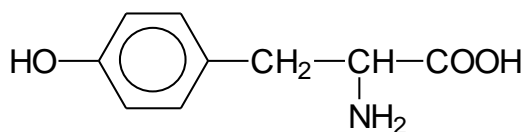


Метионин Мет (Met)

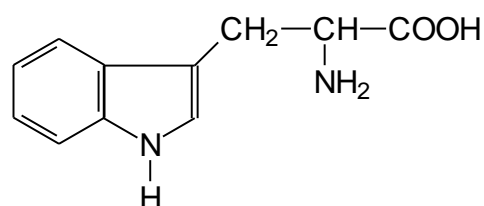
Цистин Цис-S-S-Цис
(Cys-S-S-Cys)



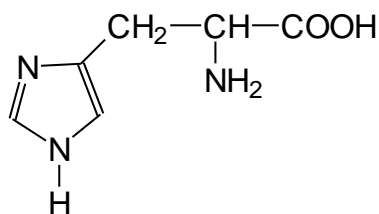
Фенилаланин Фен (Phe)



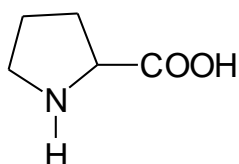
Тирозин Тир (Tyr)



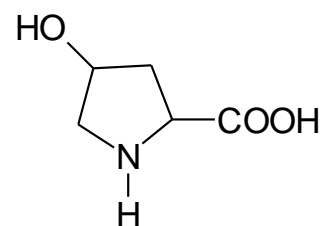
Триптофан Три (Trp)



Гистидин Гис (His)



Пролин Про (Pro)



Оксипролин Про-ОН (Pro-ОН)

Жирным шрифтом выделены незаменимые α-аминокислоты.

Нейтральные α-аминокислоты имеют одинаковое количество амино- и карбоксильных групп. Если в молекуле имеется дополнительная аминогруппа, то α-аминокислоты проявляют *основные* свойства, а если имеется дополнительная карбоксильная группа – *кислотные* свойства.

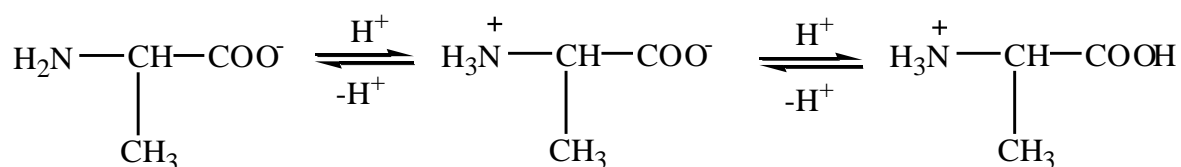
Исходя из строения α-аминокислот, видно, что они имеют хиральный α-углеродный атом и могут существовать в виде пары энантиомеров.

Исключение составляет глицин, который не имеет хирального атома углерода.

Буквы L и D означают принадлежность α-аминокислоты к L- или D-ряду.

α-Аминокислоты, которые входят в состав белков человека и животных, имеют L-конфигурацию и имеют знак вращения плоскополяризованного света (+).

α-Аминокислоты являются кристаллическими соединениями, которые плавятся и разлагаются при температурах выше 200°C за исключением орнитина (140°C), цистеина (178°C), глутамина (185°C). В водном растворе они существуют в виде равновесной системы.



Химические свойства α-аминокислот не отличаются от химических свойств аминокислот и могут быть представлены превращениями по амино- и карбоксильной группам.

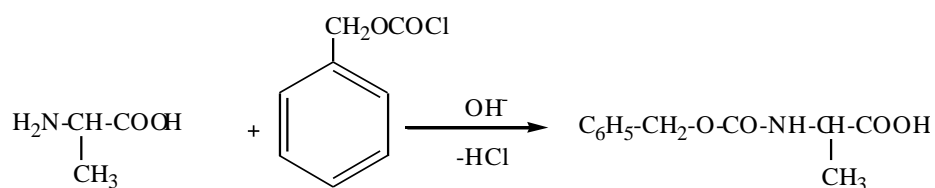
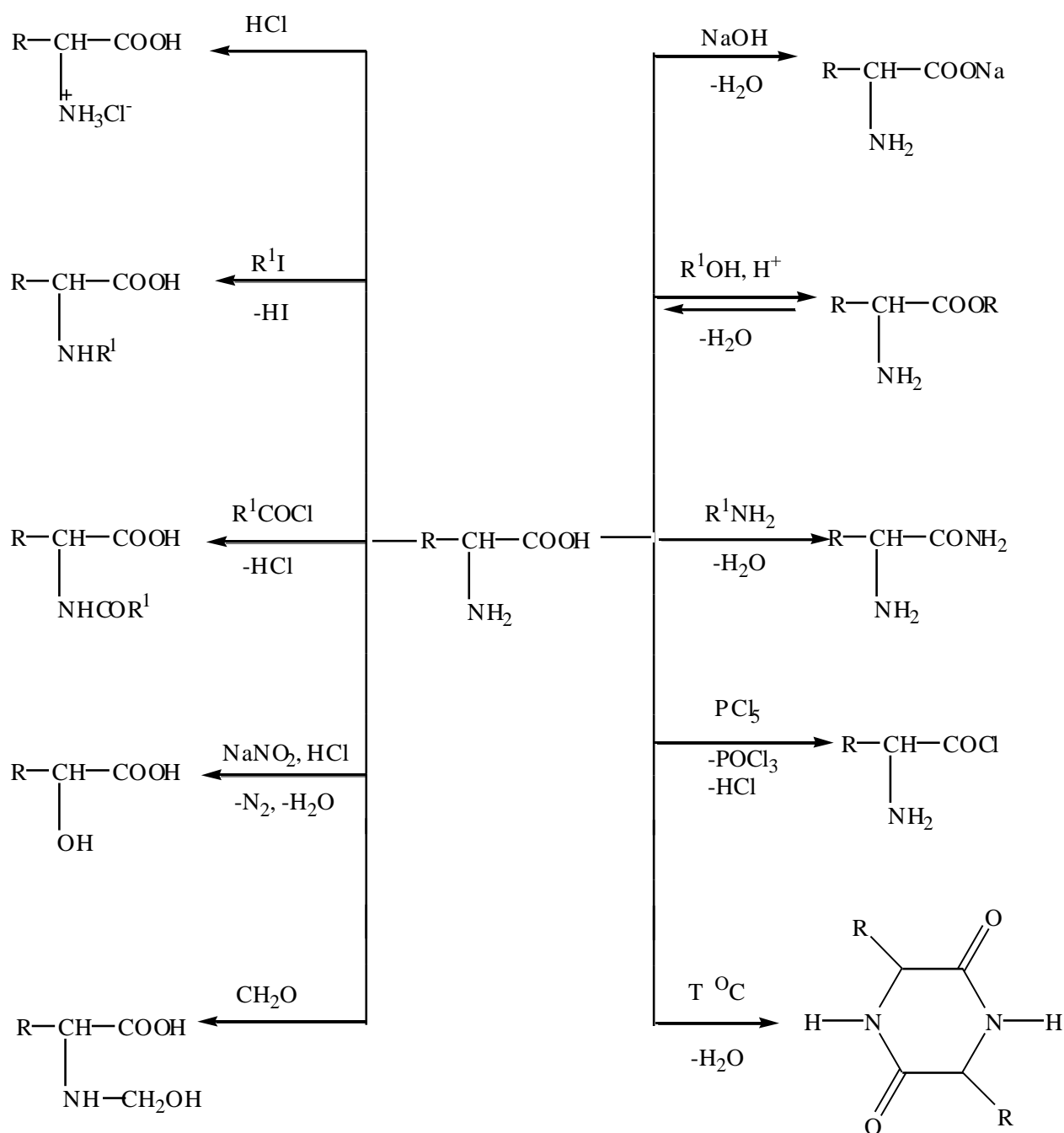
Образование N-ацильных производных используют в синтезе пептидов для защиты аминогруппы.

Дезаминирование α-аминокислот используют в аналитической химии для количественного определения α-аминокислот (метод Ван-Слайка).

Для количественного определения α-аминокислот используют взаимодействие формалина с α-аминокислотами в водном растворе с образованием N-гидроксиметильных производных (по Серенсу).

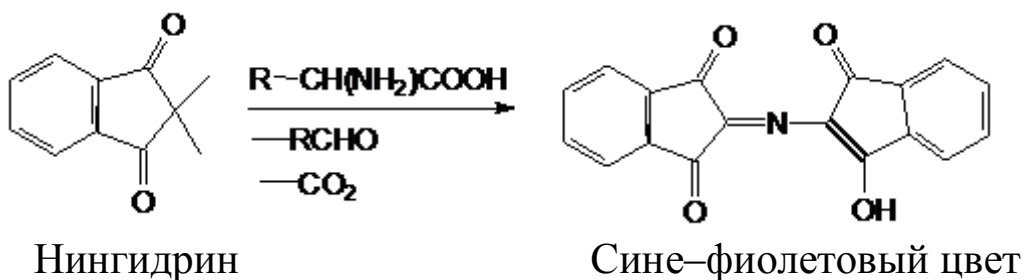
Для защиты карбоксильной группы при синтезе пептидов используют реакцию этерификации. Эту же реакцию используют для

разделения α -аминокислот путем перегонки сложных эфиров, которые в процессе перегонки не разлагаются.

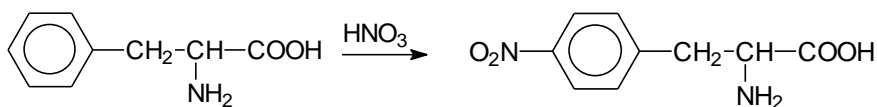


Идентификацию проводят:

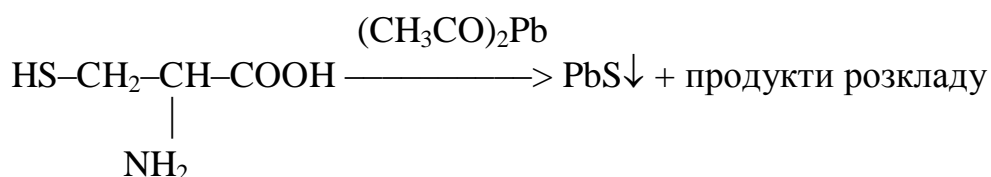
Нингидринная реакция



Ксантопротеиновая реакция



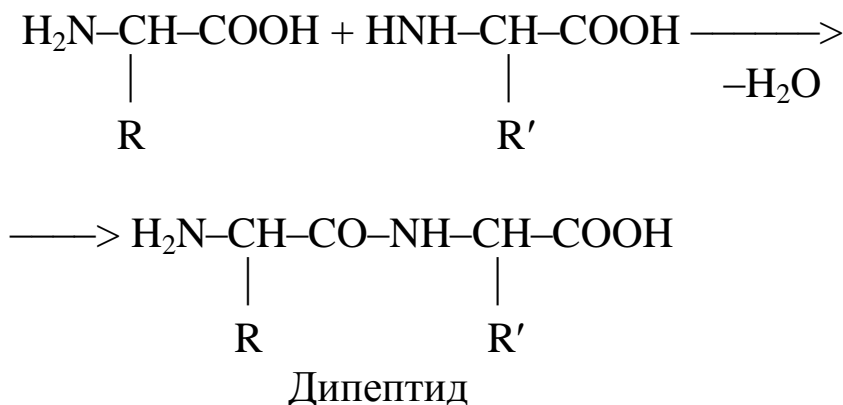
Серусодержащие α -аминокислоты образуют черный осадок при действии ацетата свинца.



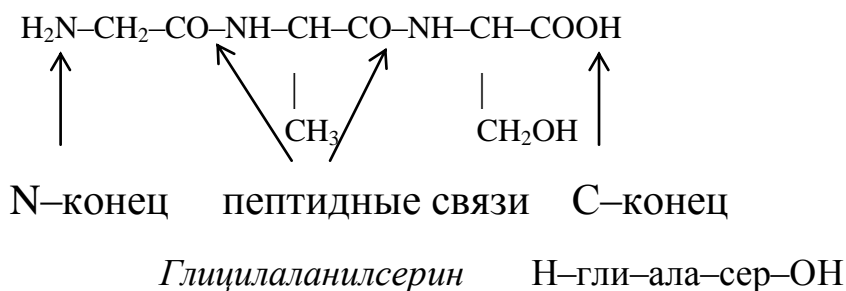
Цистеин

Черный осадок

Амидную связь $-\text{CO}-\text{NH}-$ между двумя α -аминокислотными фрагментами называют *пептидной связью*. Низкомолекулярные соединения, в которых α -аминокислоты соединены между собой пептидными связями, называют *пептидами*.

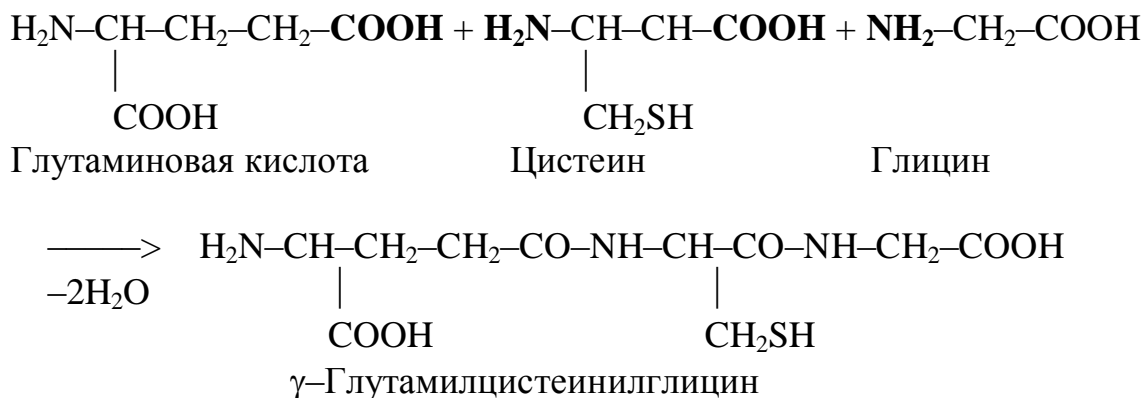


Название пептидов образуют из названий α -аминокислот, входящих в их состав. При этом все α -аминокислоты в полипептиде, за исключением последней α -аминокислоты, имеющую свободную карбоксильную группу, изменяют в окончании названия суффикс *-ин* на суффикс *-ил*. Конец цепи со свободной NH_2 - группой α -аминокислоты называют N-концом, а со свободной $-\text{COOH}$ -группой – C-концом. Полипептидные цепи принято записывать с N-конца.



Синтез пептидов сложен и трудоемок. Перспективный метод синтеза пептидов предложил в 1962 г. Б. Меррифилд, который назвали *твердофазным синтезом* пептидов.

Трипептиды представлены в организме человека *глутатионом* (γ -Глу-Цис-Гли).



Глутатион вступает в окислительно-восстановительные реакции.



Белки – это полипептиды с молекулярной массой более 1000 (10^4 – 10^7). Белки входят в состав всех живых организмов.

По составу белки делят на простые и сложные. При гидролизе простые белки образуют смесь α -аминокислот, а сложные белки, кроме смеси α -аминокислот, образуют дополнительно органическую или неорганическую часть (простетические группы).

По пространственной структуре белки делят на *глобулярные и фибриллярные*. Для глобулярных белков характерна α -спиральная структура, а цепи так изогнуты в пространстве, что макромолекула имеет форму сферы. Они растворяются в воде, соляных растворах с образованием коллоидных растворов: альбумин, глобин, миоглобин, ферменты.

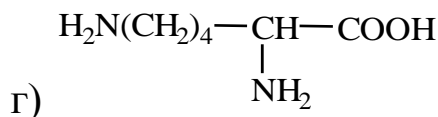
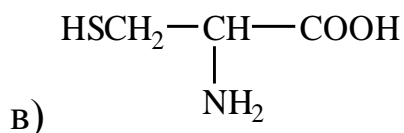
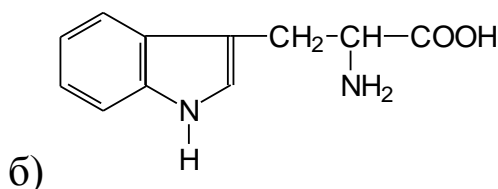
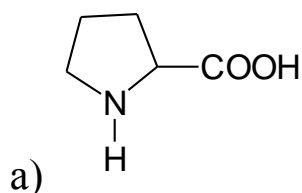
Для фибриллярных белков более характерна складчатая β -структура. Имеют волокнистое строение и не растворяются в воде: β -кератин (волосы, роговая ткань), β -фиброин шелка, коллаген (соединительная ткань).

Для белков, кроме первичной структуры, которая определяет последовательность соединения отдельных α -аминокислот в полипептидной цепи, характерны уровни организации, которые принято называть вторичной, третичной и четвертичной структурами.

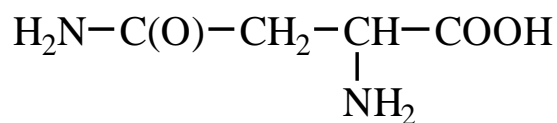
Вторичная структура описывается пространственной ориентацией основной полипептидной цепи. Она закрепляется с помощью водородных связей между пептидными группами: α -спираль та β -складчатая структура.

Тестовые задания

1 Выберите соответствие формулы из приведенных структур названию триптофан



2 Приведенная формула α -аминокислоты является

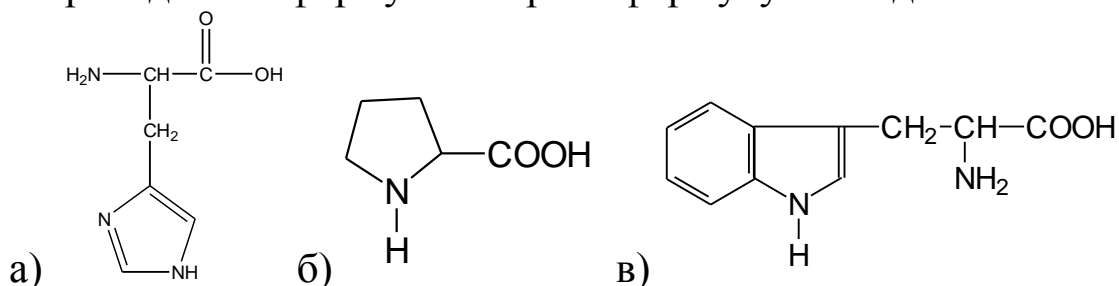


а) аспарагином; б) глутамином; в) аргинином; г) лизином

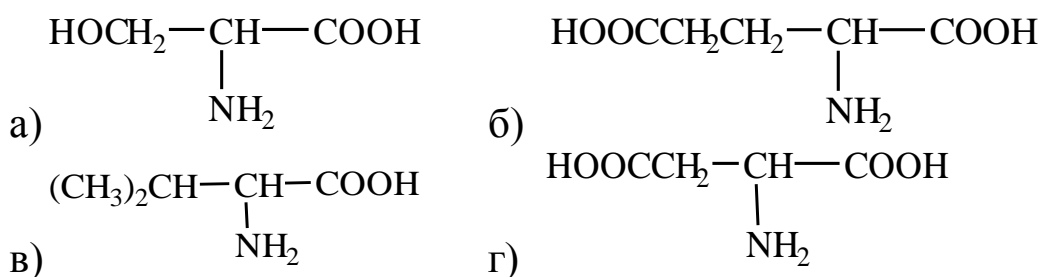
3 Выберите соответствие приведенных структур формуле серина



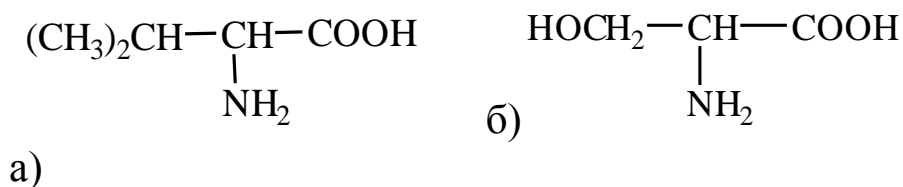
4 Из приведенных формул выберите формулу гистидина

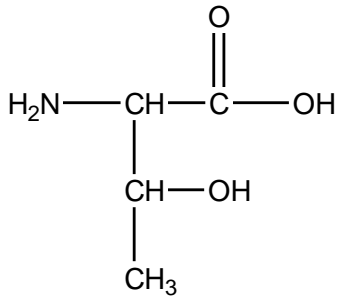


5 Выберите соответствие приведенных структур формуле аспарагиновой кислоты

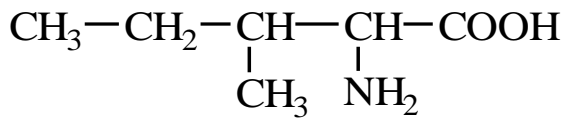


6 Из приведенных формул выберите формулу треонина





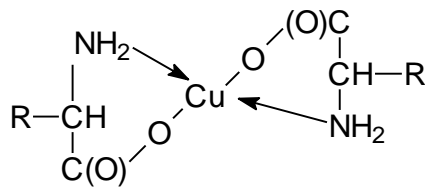
в)



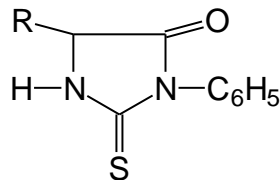
г)

7 При действии на ароматические и гетероциклические α -аминокислоты концентрированной азотной кислоты появляется окрашивание

8 Соединение приведенной формулы получают по реакции α -аминокислоты с



9 Соединение приведенной формулы получают по реакции α -аминокислоты с

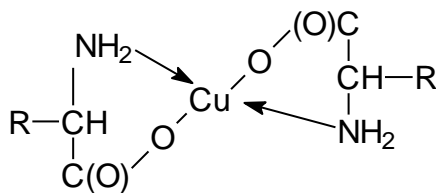


- а) нингидрином; б) 2,4-динитрофторбензолом;
в) фенилизотиоцианатом; г) реактивом Фелинга

10 Для определения цистеина в белках используют, при этом образуется осадок

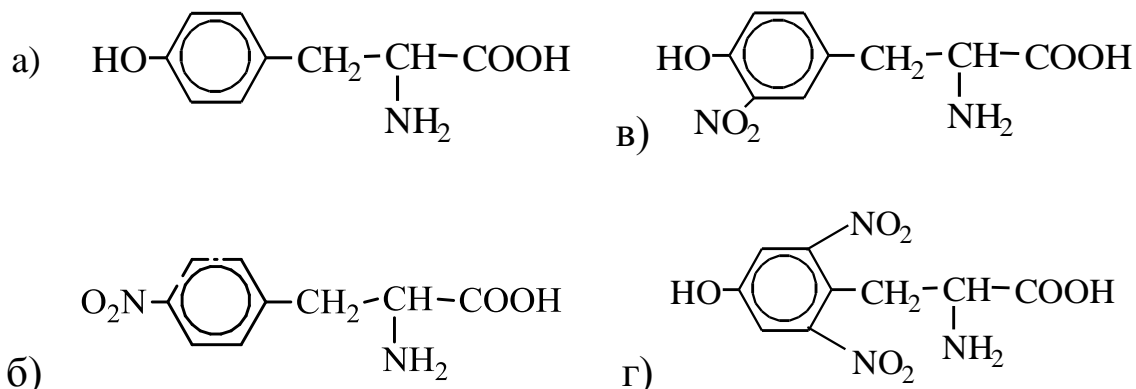
- а) черного цвета; б) красного цвета;
в) желтого цвета; г) серебряного цвета

11 Соединение приведенной формулы получают по реакции α -аминокислоты



- а) CuSO_4 ; б) NaOH ; в) CuCl_2 ; г) $\text{CuSO}_4 + \text{NaOH}$

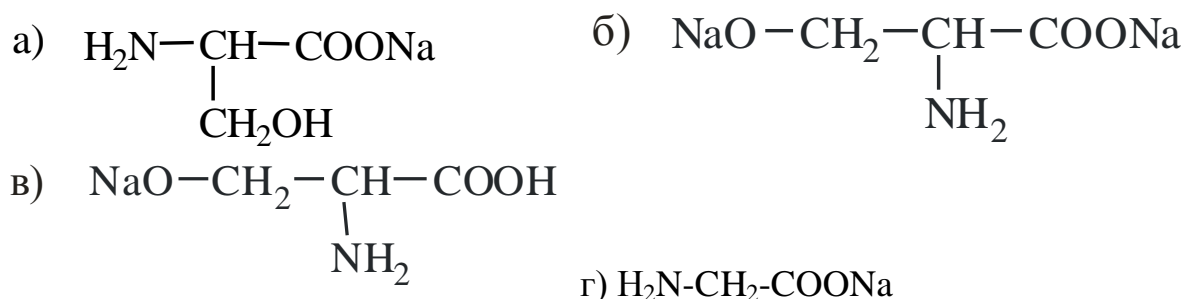
12 При действии концентрированной азотной кислоты на фенилаланин образуется



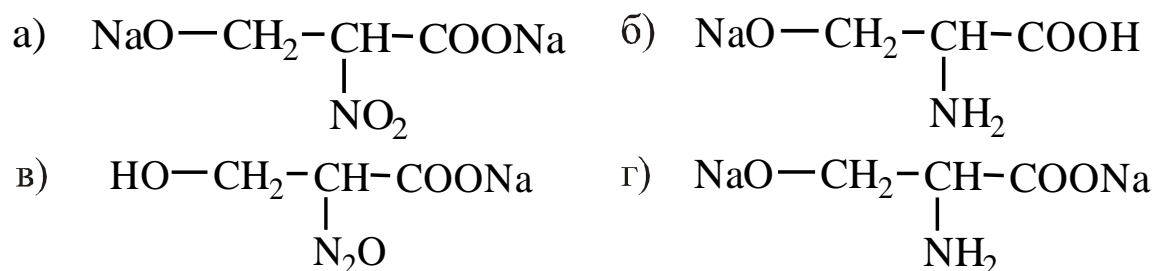
13 Образование дисульфидных связей в пептидах и белках происходит за счет

14 Для определения пептидных связей в пептидах и белках используют
 а) едкий натр; б) реакцию Серенсена;
 в) ксантопротеиновую реакцию; г) биуретовую реакцию

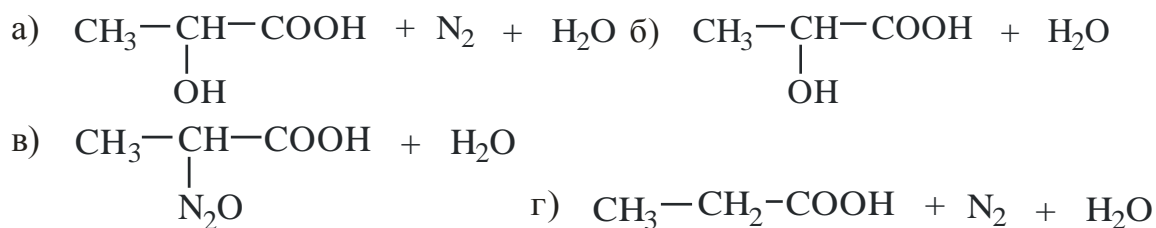
15 При действии щелочи (едкого натра) на глицин образуется



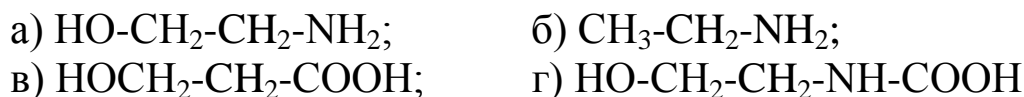
16 При действии натрия на серин образуется



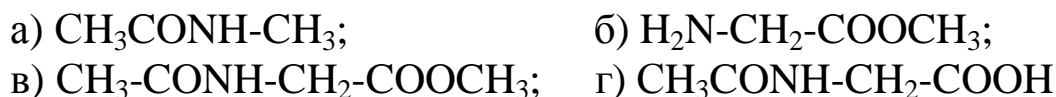
17 При действии азотистой кислоты на аланин образуется



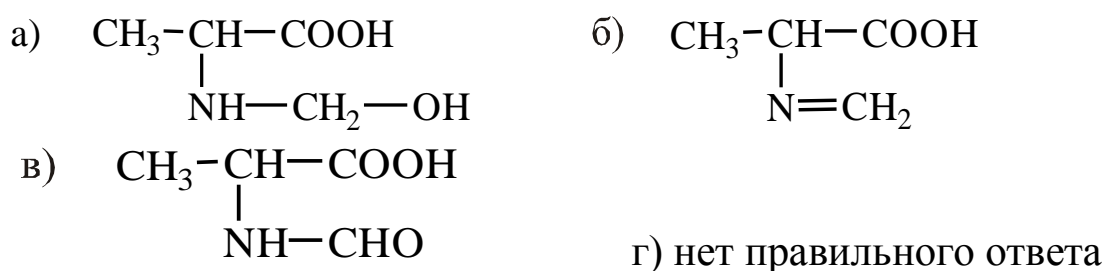
18 При декарбоксилировании серина образуется:



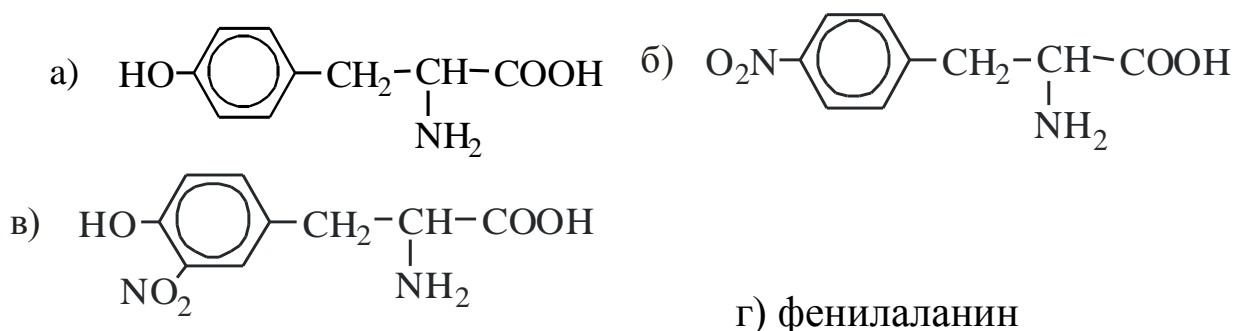
19 Ацилирование уксусным ангидридом глицина приводит к



20 Выберите соответствие приведенной формулы, которая образуется при действии формалина в щелочной среде на аланин:



21 При действии концентрированной азотной кислоты на тирозин образуется



22 При действии алкилгалогенида на α -аминокислоту образуется

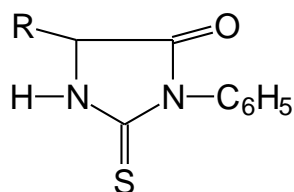
23 При действии алифатического спирта в присутствии минеральной кислоты на α -аминокислоту образуется

- а) амид б) хлорангидрид; в) сложный эфир; г) простой эфир

24 Отщепление воды от двух молекул α -аминокислоты при температуре приводит к

- а) дикетопиперазину; б) пиперазину; в) пиразину; г) пиридазину

25 Приведенная формула соединения получается при действии на α -аминокислоту



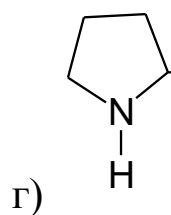
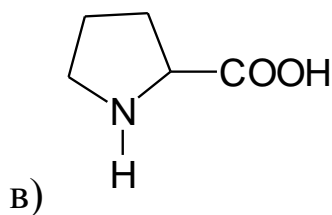
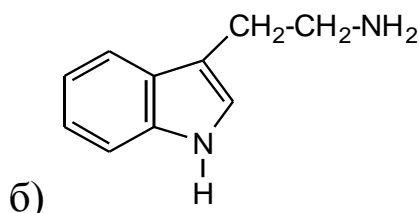
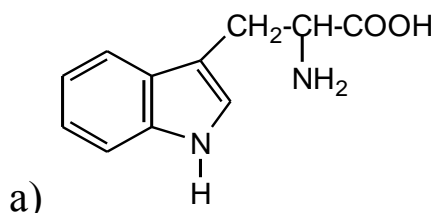
- а) едкого натрия; б) 2,4-динитрофторбензола;
в) нингидрина; г) фенилизотиоцианата

26 Окислительное дезаминирование глутаминовой кислоты под действием ферментов приводит к

- а) $\text{HOOC-C(O)-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$; б) $\text{HOOC-C(O)-CH}_2\text{-COOH}$;
в) $\text{HOOC-CH(NH}_2\text{)-CH}_2\text{-COOH}$; г) $\text{HOOC-C(O)-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$

27 Декарбоксилирование метионина при нагревании приводит к

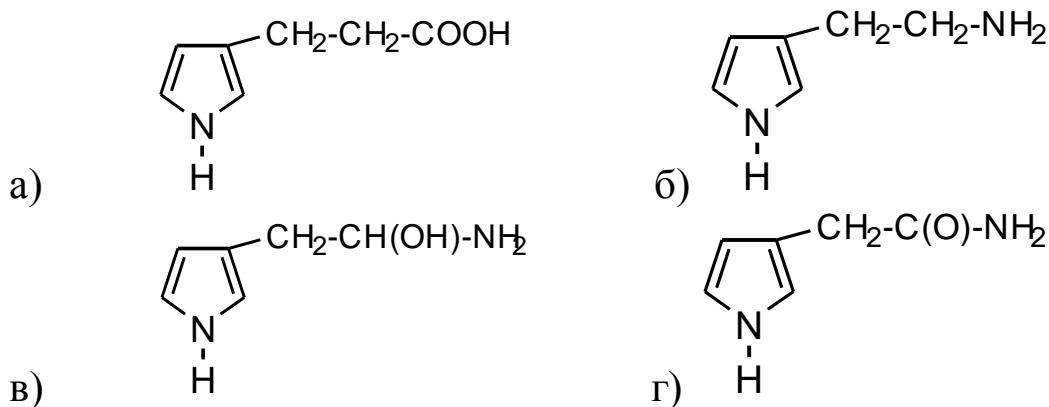
28 Декарбоксилирование триптофана при нагревании приводит к



29 Дезаминирование цистеина *in vivo* приводит к образованию

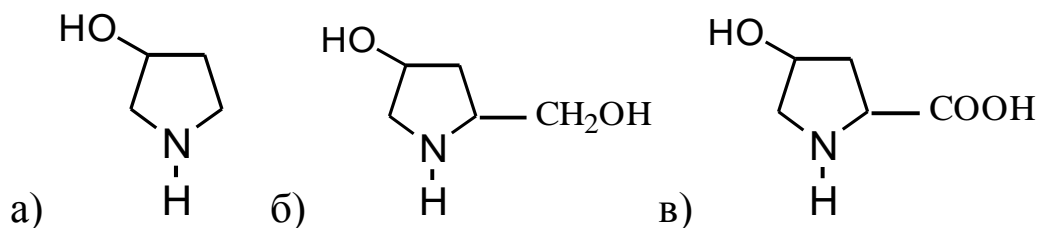
- а) пировиноградной кислоты; б) молочной кислоты;
щавелевоуксусной кислоты; в) оксоглутаровой кислоты

30 Выберите соответствие формулы утверждению, что при декарбоксилировании гистидина образуется

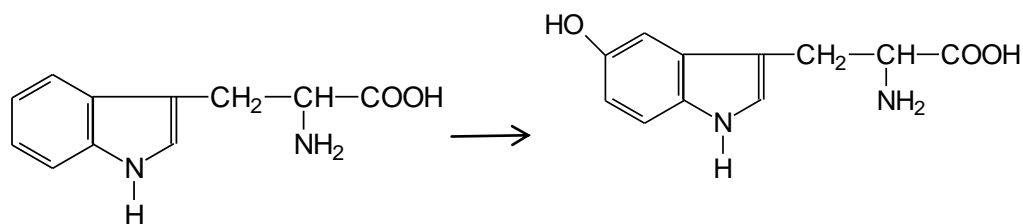


31 Нейтральные аминокислоты имеют количество amino- и карбоксильных групп

32 При гидроксировании пролина образуется



33 Реакция, которая проходит по приведенной схеме называется реакцией



- а) ацилирования; б) алкилирования;
в) этерификации; г) гидроксирования

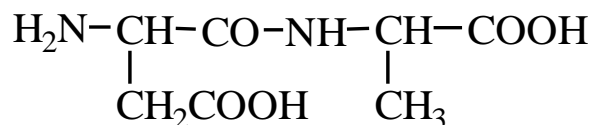
34 Выберите соответствие ответа утверждению, что к моноаминокарбоновым α-аминокислотам относят

- а) лизин, орнитин; б) аргинин, аланин;
в) орнитин, фенилаланин; г) аланин, фенилаланин

35 При действии йодистого метила на серин образуется

- а)
$$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ | \\ \text{CH}_2-\text{OCH}_3 \end{array}$$
 б)
$$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOCH}_3 \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$$
- в)
$$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{CHN}-\text{CH}-\text{COOH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$$
 г)
$$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{CHN}-\text{CH}-\text{COOCH}_3 \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$$

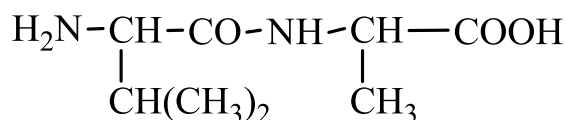
36 Предложенный дипептид имеет название



- а) аспарагиналанин; б) глутаминаланин;
в) аспарагинилаланин; г) глутамилаланил

37 Из серина и аланина при синтезе может образоваться дипептида

38 Предложенный дипептид имеет название



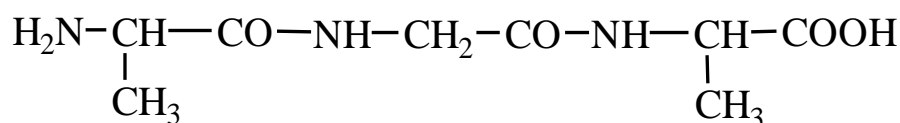
- а) аланилвалин; б) лейцилаланин;
в) валилаланин; г) лейцилаланил

39 При синтезе дипептида с защитой аминогруппы серина и защитой карбоксильной группы фенилаланина образуется

- а) фенилаланилсерин; б) фенилаланинсерин;

в) серинфенилаланин; г) серилфенилаланин

40 Предложенный трипептид имеет название

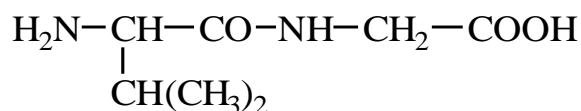


- а) аланинглициналанин; б) аланилглицилаланин;
в) аланилглициналанин; г) аланинглицилаланил

41 При синтезе дипептида с защитой аминогруппы триптофана и без защиты функциональных групп гистидина может образоваться следующее количество дипептидов

- а) один; б) два; в) три; г) четыре

42 Приведенная формула дипептида имеет название



43 Выберите формулу дипептида, которая отвечает названию Ала-Фен

- а) $\begin{array}{ccccccc} \text{NH}_2-\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ | & & & & & & | \\ \text{CH}_3 & & & & & & \text{CH}_3 \end{array}$
б) $\begin{array}{ccccccc} \text{NH}_2-\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ | & & & & & & | \\ \text{CH}_3 & & & & & & \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$
в) $\begin{array}{ccccccc} \text{NH}_2-\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ | & & & & & & | \\ \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5 & & & & & & \text{CH}_3 \end{array}$
г) нет правильного ответа

44 При синтезе дипептида твердофазным методом из глицина с защитой карбоксильной группы и тирозин с защищенной аминогруппой образуется

- а) глицилтирозин; б) глицинтирозин; в) тирозилглицин;
г) тирозинглицин

49 Полипептидные цепи принято записывать с

50 Защиту аминогруппы α -аминокислоты при синтезе пептидов проводят в результате реакции

- а) алкилирования; б) этерификации; в) ацилирования;
г) нитрования

51 Защиту N-конца проводят в результате реакции

- а) амидирования; б) ацилирования; в) каталитического гидролиза; г) алкилирования

52 Активацию карбоксильной группы α -аминокислоты при синтезе пептидов проводят в результате реакции

- а) алкилирования; б) гидролиза; в) ацилирования; г) этерификации

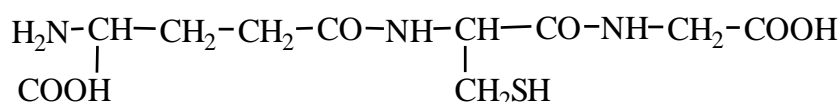
53 Твердофазный синтез пептидов предложи

- а) Б.Меррифилд; б) Сенгер; в) Ф.Крик; г) Эдман

54 γ -Глутатион *in vivo* вступает в

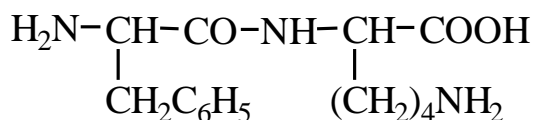
- а) реакции восстановления; б) реакции алкилирования;
в) окислительно-восстановительные реакции; г) реакции ацилирования

55 Приведенная формула трипептида имеет название



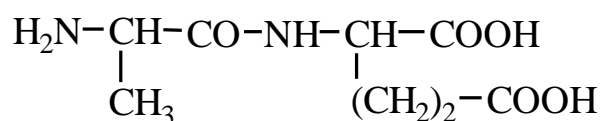
- а) Глу-Цис-Гли; б) γ -Гли-Цис-Глу; в) γ -Глу-Цис-Гли;
г) γ -Глу-Цис-Ала

56 Приведенная формула дипептида имеет название



- а) Фен-Орн; б) Фен-Лиз; в) Тир-Арг; г) Фен-Тре

57 Приведенная формула дипептида имеет название



- а) аланилглутамин; б) аланиласпаргиновая кислота;
в) аланинглутамин; г) аланилглутаминовая кислота

- 58 Качественной реакцией на полипептиды является
- 59 Для установления строения пептидов используют образование
а) ДНФ-производных; б) ацильных производных;
в) N-метилольных производных α -аминокислоты;
г) алкильных производных
- 60 Пространственное расположение атомов основной полипептидной цепи называют
- 61 Основными видами вторичной структуры белка являются
а) α -спираль; б) складчатая β -структура; в) складчатая α -структура;
г) α -спираль + складчатая β -структура
- 62 Разрушение макроструктуры белка имеет название
а) ренатурация; б) денатурация;
в) растворение; г) нет правильного ответа
- 63 Выберите соответствие ответа утверждению, что полипептидная цепь, имеющая любой тип вторичной структуры, способная определенным образом скручиваться в просторе, определяет
а) третичную структуру белка; б) вторичную структуру белка;
в) первичную структуру белка; г) четвертичную структуру белка
- 64 Водородные связи третичной структуры белка возникают
а) между ионогенными радикалами аминокислотных цепей;
б) между функциональными группами боковых радикалов;
в) между функциональными группами боковых радикалов и между ними и пептидными группами;
г) нет правильного ответа
- 65 Гидрофобное взаимодействие третичной структуры белка обусловлена
- 66 В формировании α -спиральной структуры основную роль исполняют
а) водородные связи, которые образуются между группами C=O и NH, разделенных четырьмя аминокислотными остатками;

- б) водородные связи, которые образуются между группами C=O и NH, разделенных тремя аминокислотными остатками;
- в) водородные связи, которые образуются между группами C=O и NH, разделенных пятью аминокислотными остатками;
- г) водородные связи, которые образуются между группами C=O и NH, разделенных двумя аминокислотными остатками

67 Для глобулярных белков характерна.....

- 68 Для определения пептидных связей в пептидах и белках используют
- а) нингидринную реакцию; б) биуретовую реакцию;
 - в) ксантопротеиновую реакцию; г) изонитрильную реакцию

69 Для количественного определения α -аминокислоты используют метод

- а) нет правильного ответа; б) Серенсена и Шиффа;
- в) Шиффа; г) Серенсена

70 Белки это полипептиды с молекулярной массой более

- а) 10, б) 10^2 ; в) 10^3 ; г) 10^{10}

71 Для фибриллярных белков характерна

- а) α -спиральная структура; б) α -спиральная структура + β -складчатая структура;
- в) β -складчатая структура; г) нет правильного ответа

72 В образовании α -спирали основную роль играют

- а) сульфидные связи; б) водородные связи;
- в) ионные взаимодействия; г) гидрофобные взаимодействия

73г Дисульфидная связь образуется между

- а) гидроксильными группами; б) карбоксильными группами;
- в) пептидными группами; г) цистеиновыми остатками

74 Четвертичная структура исполняет биологическую функцию, характерную для

75 Выберите правильную последовательность получения фенилаланилаланина:

- а) защита аминокруппы фенилаланина → защита аминокруппы аланина → синтез → снятие защиты;

б) защита аминогруппы аланина → защита карбоксильной группы фенилаланина → синтез → снятие защиты;

в) защита аминогруппы фенилаланина → защита карбоксильной группы аланина → синтез → снятие защиты

76 Выберите правильную последовательность получения аланилфенилаланина:

а) защита аминогруппы фенилаланина → защита аминогруппы аланина → синтез → снятие защиты;

б) защита аминогруппы аланина → защита карбоксильной группы фенилаланина → синтез → снятие защиты;

в) защита аминогруппы фенилаланина → защита карбоксильной группы аланина → синтез → снятие защиты

77 Предложите наиболее удобный способ получения дипептида аланилглицин, проходящий без образования других дипептидов в случае использования аланина и глицина.

78 С использованием различных α -аминокислот напишите реакцию получения трипептида γ -глутатиона и подтвердите химическими реакциями его биологическую роль в организме.

Литература

1. Травень В.Ф. Органическая химия [Текст]: учебное пособие для вузов Т.3. М.: Бинوم. Лаборатория знаний», 2013. – 388с.
2. Физико-химические свойства органических соединений [Текст]: справочник / под общ. ред. А. М. Богомольного. - М.: Химия: Колос, 2008. - 543 с.
3. Сильверстейн Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений [Текст]: Учебное издание / Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. - БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.- 560с.
4. Березин Б. Д. Курс современной органической химии [Текст]: Учебное пособие / Б. Д. Березин, Д. Б. Березин. - 2-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 2003. - 768 с.
5. Иванов В. Г. Органическая химия [Текст]: Учеб. пособие для студ. вуз. / Виталий Георгиевич Иванов; В. А. Горленко, О. Н. Гева. - М.: Мастерство, 2003. - 620 с.
6. Миронович Л. М. Биоорганическая химия. Базовый курс [Текст]: учебное пособие / Л. М. Миронович, С. М. Иванов – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2019. – 191 с.
7. Сулейманова Н. А. Органическая химия [Электронный ресурс]: избранные темы курса, лабораторные работы и задания для самостоятельной подготовки и освоению курса/ Н. А. Сулейманова. – Екатеринбург, 2017. – Режим доступа: <http://elar.uspu.ru/handle/uspu/6416>