

## Лекція 5 $\alpha$ -АМІНОКИСЛОТИ. БІЛКИ.

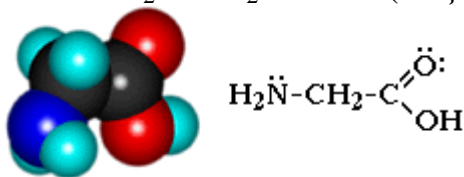
### План

1. Визначення, біологічна роль, класифікація амінокислот.
2. Ізомерія і номенклатура амінокислот.
3. Фізичні та хімічні властивості  $\alpha$ -амінокислот.
4. Загальна характеристика білків.

### 1. Визначення, біологічна роль, класифікація амінокислот

**Амінокислоти** – гетерофункціональні сполуки, які містять у молекулах одночасно аміно ( $-\text{NH}_2$ ) та карбоксильні ( $-\text{COOH}$ ) групи.

Найпростіший представник амінокислот — амінооцтова кислота  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$  (*гліцин*).



**Амінокислоти виконую різні біологічні функції:**

- є структурними елементами пептидів та білків. До складу білків входять **20 протеїногенних амінокислот**, які кодуються генетичним кодом й постійно знаходяться у білках.
- є структурними елементами інших природних сполук. Амінокислоти та їх похідні входять до складу *коферментів, жовчних кислот, антибіотиків.*

- є **переносниками сигналів**. Деякі з амінокислот є *нейромедіаторами* або *попередниками нейромедіаторів, медіаторів, гормонів*.

- є **метаболітами**. Амінокислоти — найважливіші, а деякі з них життєво необхідні *компоненти харчування*. Певні амінокислоти беруть участь в *обміні речовин*, наприклад, є донорами Нітрогену. Непротейногенні амінокислоти утворюються в якості проміжних продуктів при біосинтезі та деградації протейногенних амінокислот або в циклі сечовини.

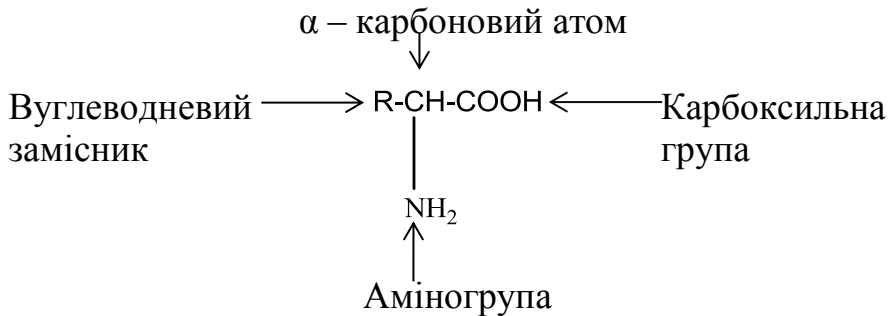
Амінокислоти розділяють на групи за різними ознаками, приклади їх класифікації наведено у **табл.1**.

**Табл. 1 - Класифікація амінокислот**

№	Ознака класифікації	Приклади
1	Залежно від кількості функціональних груп	<b>Моноаміномонокарбонові</b> (одна $-NH_2$ , одна $-COOH$ ) <i>нейтральні;</i>
		<b>Діаміномонокарбонові</b> (дві $-NH_2$ , одна $-COOH$ ) <i>основні;</i>
		<b>Моноамінодикарбонові</b> (одна $-NH_2$ , дві $-COOH$ ) <i>кислі;</i>
		<b>Діамінодикарбонові</b> (дві $-NH_2$ , дві $-COOH$ ) тощо.
2	Залежно від характеру	Аліфатичні
		Ароматичні

	вуглеводневого залишку	Гетероциклічні
<b>3</b>	Залежно від розміщення аміногрупи відносно карбоксильної в головному ланцюгу	$\alpha$ -амінокислоти
		$\beta$ -амінокислоти
		$\gamma$ -амінокислоти і т. д. до $\omega$ -амінокислот ( $-\text{NH}_2$ та $-\text{COOH}$ розміщені на протилежних кінцях карбонового ланцюга).
<b>4</b>	За наявністю інших функціональних груп	Гідроксивмісні ( $-\text{OH}$ ),
		сульфуровмісні ( $-\text{SH}$ ) тощо
<b>5</b>	За біологічним значенням	Замінні
		Незамінні

**Загальна формула  $\alpha$ -амінокислот** має такий вигляд:



## 2 Ізомерія і номенклатура амінокислот

Найбільше використовуються тривіальні назви амінокислот. Приклади 20 формул та тривіальних назв протеїногенних амінокислот наведемо в **табл. 2**. Також

звертаємо увагу, що формули цих амінокислот необхідно вивчити напам'ять.

**Табл. 2 - Формули, тривіальні назви і класифікація  $\alpha$ -амінокислот**

Формула	Тривіальна назва
1	2
<b>1. Аліфатичні</b>	
<b>1.1 Нейтральні</b>	
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Гліцин (глі.)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Аланін (ала.)
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \diagdown \\ \quad \quad \text{CH-CH-COOH} \\ \text{H}_3\text{C} \quad \diagup \quad   \\ \quad \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Валін (вал.)*
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \diagdown \\ \quad \quad \text{CH-CH}_2\text{-CH-COOH} \\ \text{H}_3\text{C} \quad \diagup \quad   \\ \quad \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Лейцин (лей.)*
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \text{ --- } \text{CH}_2 \quad \diagdown \\ \quad \quad \quad \quad \quad \text{CH-CH-COOH} \\ \quad \quad \quad \text{H}_3\text{C} \quad \diagup \quad   \\ \quad \quad \quad \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Ізолейцин (іле.)*

## 1.2 Кислі

$\begin{array}{c} \text{HOOC-CH}_2\text{-CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Аспарагінова кислота (асп.)
$\begin{array}{c} \text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH-COOH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Глутамінова кислота (глу.)

## 1.3 Основні

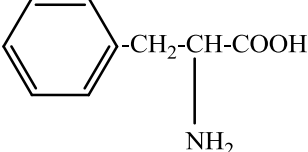
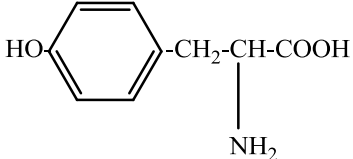
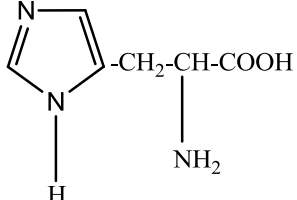
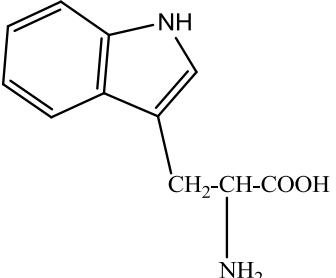
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_3\text{-CH-COOH} \\   \qquad \qquad   \\ \text{NH}_2 \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$	Лізін (ліз.)*
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N-C-NH-(CH}_2\text{)}_3\text{-CH-COOH} \\    \qquad \qquad   \\ \text{NH} \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$	Аргінін (арг.)

## Гідроксіамінокислоти

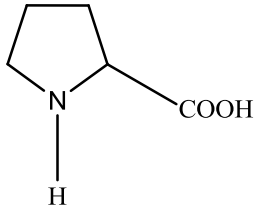
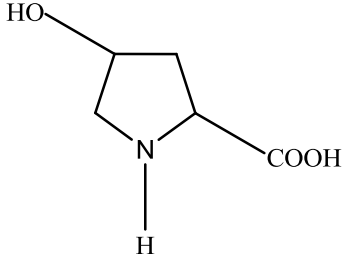
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-CH-COOH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Серин (сер.)
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C-CH-CH-COOH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Треонін (тре.)*

## Сульфуровмісні

$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-CH-COOH} \\   \quad   \\ \text{SH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	Цистеїн (цис.)
---	----------------

$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2 \\    \qquad \qquad   \\  \text{H}_2\text{N}-\text{CH} \quad \text{CH}-\text{NH}_2 \\    \qquad \qquad   \\  \text{HOOC} \qquad \text{COOH}  \end{array}  $	Цистин (цис.-S-S-цис.)
$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\    \qquad \qquad   \\  \text{S}-\text{CH}_3 \quad \text{NH}_2  \end{array}  $	Метіонін (мет.)*
<b>2. Ароматичні</b>	
	Фенілаланін (фен.)*
	Тирозин (тир.)
<b>3. Гетероциклічні</b>	
	Гістидин (гіс.)
	Триптофан (три.)*

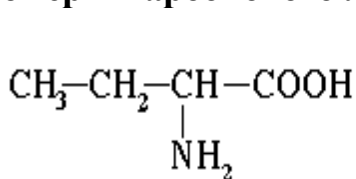
#### 4. Імінокислоти

	Пролін (про.)
	Гідроксипролін (про.-ОН)

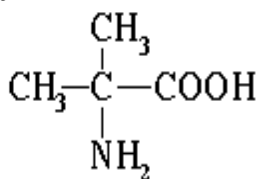
Зірочкою (\*) позначено незамінні амінокислоти (не синтезуються в організмі й повинні обов'язково потрапляти в нього з їжею).

Для амінокислот характерними є декілька видів ізомерії

##### 1. Ізомерія карбонового ланцюга

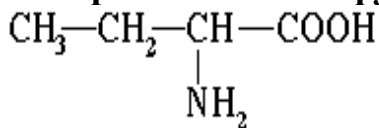


2-амінобутанова  
кислота

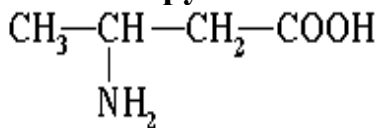


2-аміно-2-метилпропанова  
кислота

##### 2. Ізомерія положення функціональної групи



2-амінобутанова  
кислота

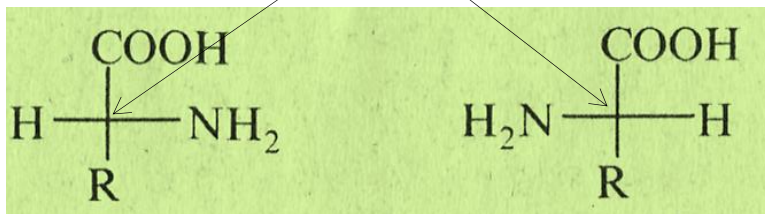


3-амінобутанова  
кислота

### 3. Оптична ізомерія

Всі  $\alpha$ -амінокислоти, крім гліцину  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ , мстять асиметричний (хіральний) атом Карбону ( $\alpha$ -атом) й можуть існувати у вигляді **оптичних ізомерів** (дзеркальних антиподів).

Хіральний центр (асиметричний атом)



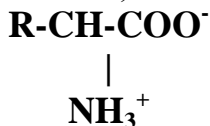
**D - амінокислота**

**L - амінокислота**

Оптична ізомерія природних  $\alpha$ -амінокислот відіграє важливу роль у процесах біосинтезу білка. До складу білків входять лише L- амінокислоти. **Білки людини містять залишки лише  $\alpha$ -амінокислот L-ряду.** D – амінокислоти є небілковими компонентами рослин, грибів, мікроорганізмів.

### 3 Фізичні та хімічні властивості $\alpha$ -амінокислот

Аміно- та карбоксильна групи беруть участь у внутрішньо молекулярній взаємодії з утворенням внутрішньої солі (біполярний йон)

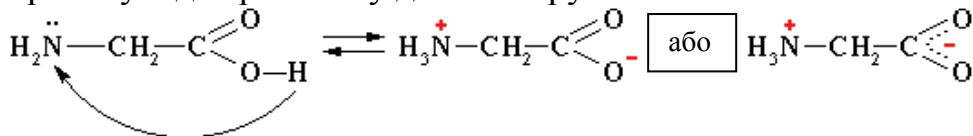


**Фізичні властивості**

Амінокислоти – тверді кристалічні речовини з високою температурою плавлення. Гарно розчинні у воді, їх



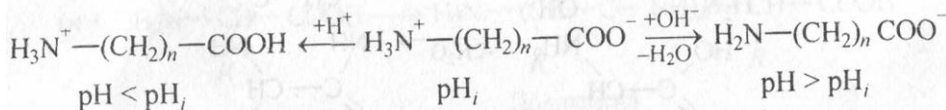
водні розчини – електrolіти. Ці властивості зумовлені тим тем, що молекули амінокислот існують у вигляді внутрішніх солей, які утворюються за рахунок переносу протону від карбоксилу до аміногрупи:



Амінокислоти з однією карбоксильною групою та однією аміногрупою мають нейтральну реакцію у водному розчині.

## Хімічні властивості

### 1 Амфотерні



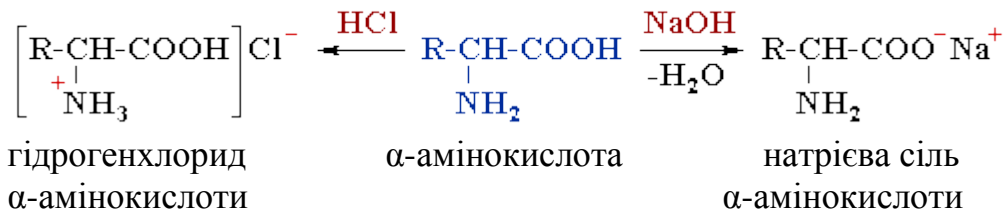
**катіон у кислому  
середовищі**

**ізоелектрична точка**

**аніон у лужному  
середовищі**

Інтервал значень  $\text{pH}_i$ , при якому амінокислота є електронейтральною и не мігрує під впливом електричного струму ні до аноду, ні до катоду, називається ізоелектричною точкою.

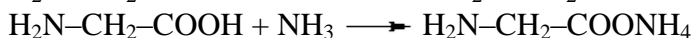
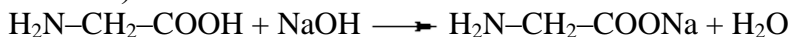
Амінокислоти як амфотерні сполуки утворюють солі як з кислотами (за групою  $\text{NH}_2$ ), так і з лугами (за групою  $\text{COOH}$ ):



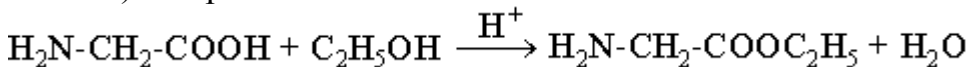
## 2. Реакції за карбоксильною групою (як карбонові кислоти):

Як карбонові кислоти  $\alpha$ -амінокислоти утворюють функціональні похідні, наприклад:

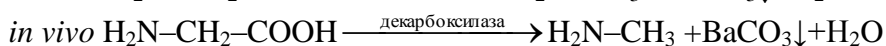
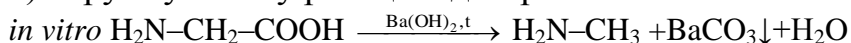
а) солі



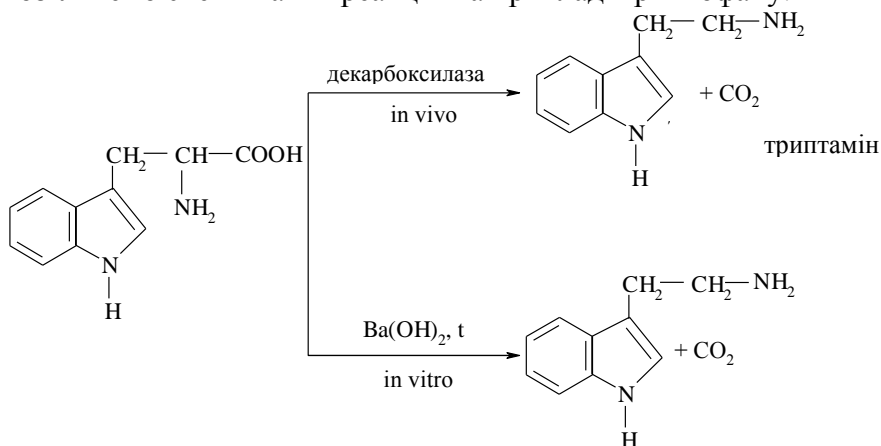
б) естери



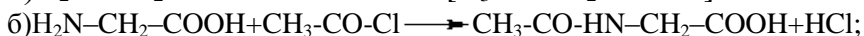
в) беруть участь у реакціях декарбоксилювання



Розглянемо схеми таких реакцій на прикладі триптофану:



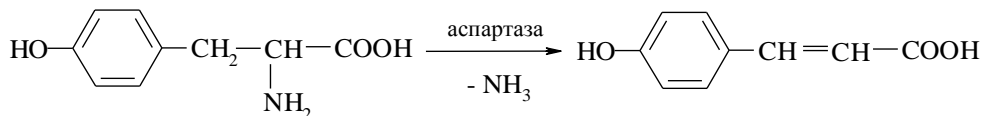
## 3. Реакції за аміногрупою:



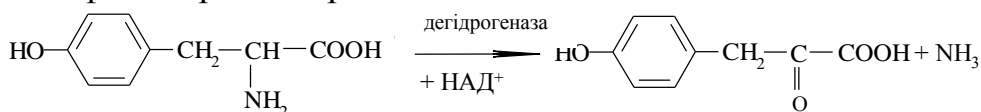
### 3.2 дезамінування

Внаслідок дезамінування знижується надлишок  $\alpha$ -амінокислот в організмі. Дезамінування *in vivo* може бути неокисним (бактерії, гриби) и окисним.

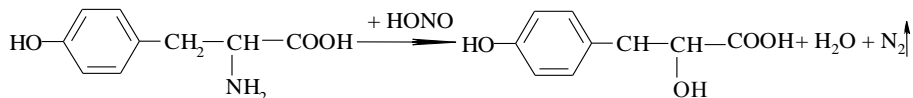
Під час **неокисного дезамінування** під дією ферментів утворюється  $\alpha$ -ненасичена кислота (п-оксифенілакрілової).



Під час **окисного дезамінування**, яке відбувається за участю ферментів оксидаз и кофермента НАД<sup>+</sup> з виділенням NH<sub>3</sub> та утворенням  $\alpha$ -кетокислоти (п-оксифенілпіровиноградної).



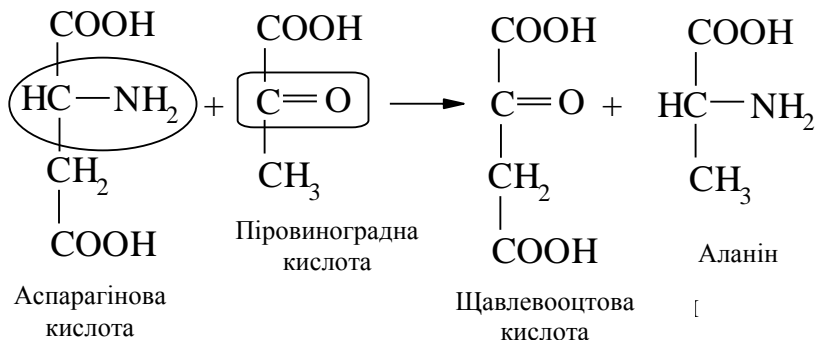
*in vitro* дезамінування здійснюється нітритною кислотою з утворенням відповідної гідроксикислоти та виділенням азоту:



Ця реакція використовується для кількісного визначення амінокислот (метод Ван-Слайка).

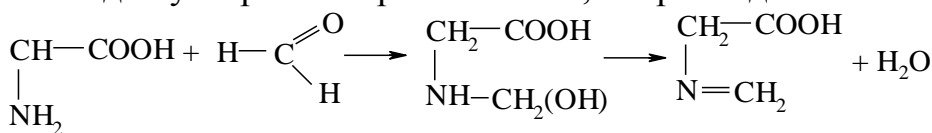
### 3.3 Трансамінування (переамінування)

В живих організмах під дією ферментів амінокислоти підлягають низці біохімічних перетворень. Трансамінування (переамінування) – основний шлях біосинтезу  $\alpha$ -амінокислот. Потрібна для організму амінокислота-II синтезується з  $\alpha$ -амінокислоти-I, що наявна в організмі у достатній кількості або в надлишку, шляхом переносу аміногрупи від однієї  $\alpha$ -амінокислоти-I до  $\alpha$ -кетокислоти.



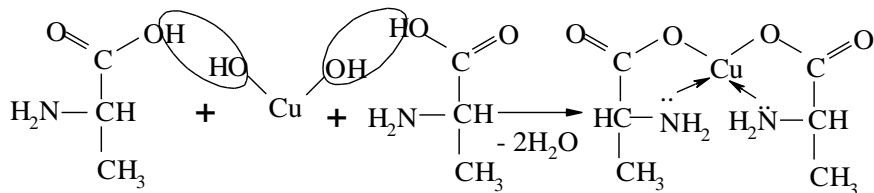
Реакція відбувається за участю ферментів трансаміназ та кофермента піридоксальфосфата.

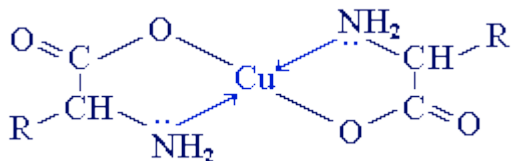
**3.4 При взаємодії  $\alpha$ -амінокислот з альдегідами утворюються заміщені іміни (основи Шиффа) через стадію утворення карбіноламінів, наприклад:**



За допомогою цієї реакції можна проводити кількісне визначення амінокислот методом титрування, так як в такому випадку аміногрупа буде сполученою (захищеною) (метод Серонсена).

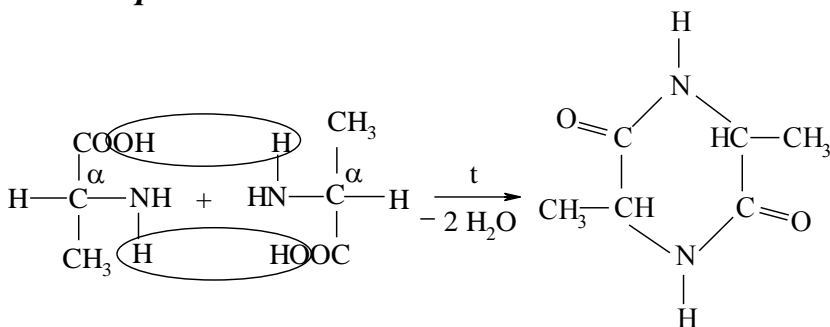
**4.** З йонами важких металів  $\alpha$ -амінокислоти утворюють внутрішньо комплексні солі. Комплекси купруму(II), які мають темно-синє забарвлення, використовуються для визначення  $\alpha$ -амінокислот.



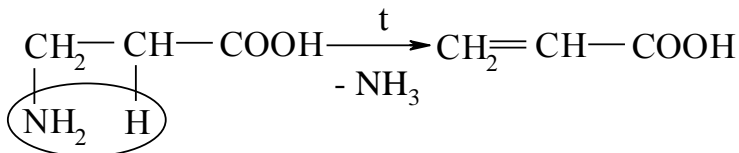


## 5. Амінокислоти підлягають при нагріванні дегідратації подібно гідроксикислотам:

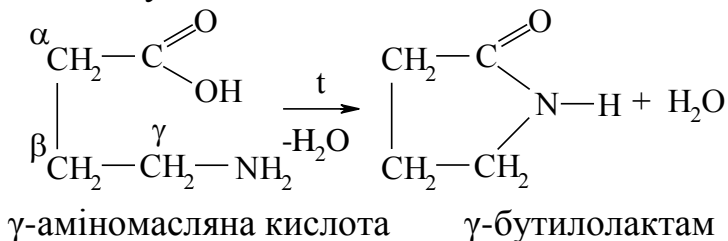
При виділенні двох молекул води з двох молекул  $\alpha$ -амінокислот утворюються циклічні сполуки – **дикетопіперазини**:



$\beta$ -амінокислоти відщеплюють не воду, а амоніак, перетворюючись на **ненасичені карбонові кислоти**:

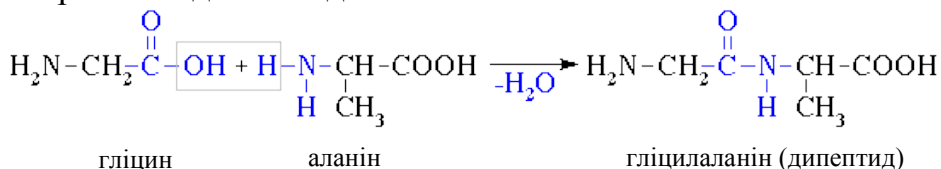


У  $\gamma$ -амінокислот відбувається взаємодія карбоксильної та аміногрупи однієї молекули. При цьому утворюються сполуки - **лактамами**:



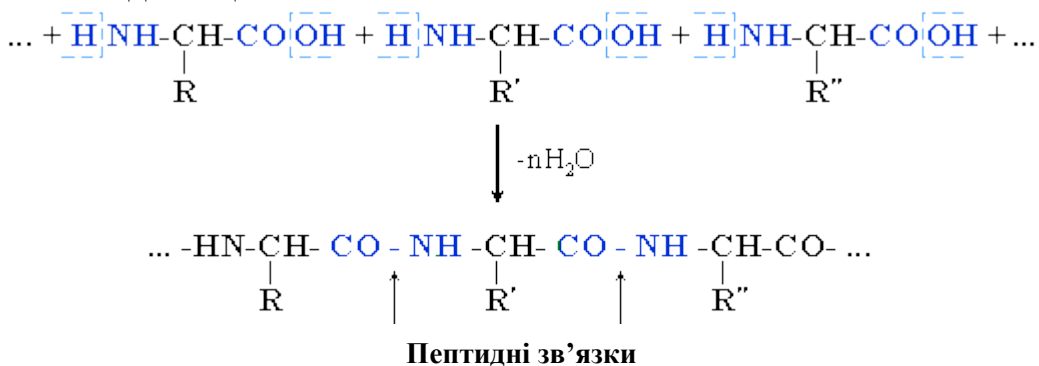
## 6. Утворення пептидів

Міжмолекулярна взаємодія  $\alpha$ -амінокислот приводить до утворення **пептидів**. При взаємодії двох  $\alpha$ -амінокислот утворюється **дипептид**.



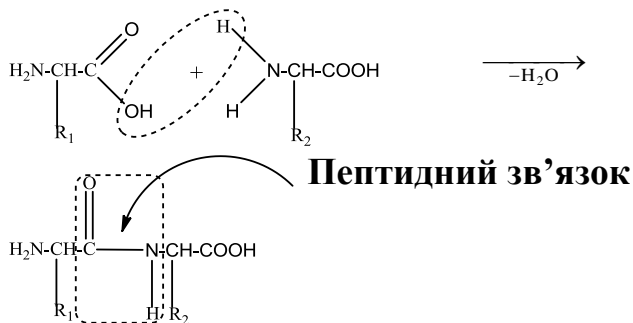
Також зауважимо, що в штучних умовах (поза організмом) 2 різних амінокислоти здатні утворити 4 ізомерних дипептида. Межмолекулярна реакція за участю трьох  $\alpha$ -амінокислот приводить до утворення **трипептиду** и т.д. Фрагменти молекул амінокислот, які утворюють пептидний ланцюг, називаються амінокислотними залишками, а зв'язок  $\text{CO}-\text{NH}$  - **пептидним зв'язком**.

Найважливіші природні полімери – **білки** (протеїни) – відносяться до поліпептидів, тобто є продуктом поліконденсації  $\alpha$ -амінокислот



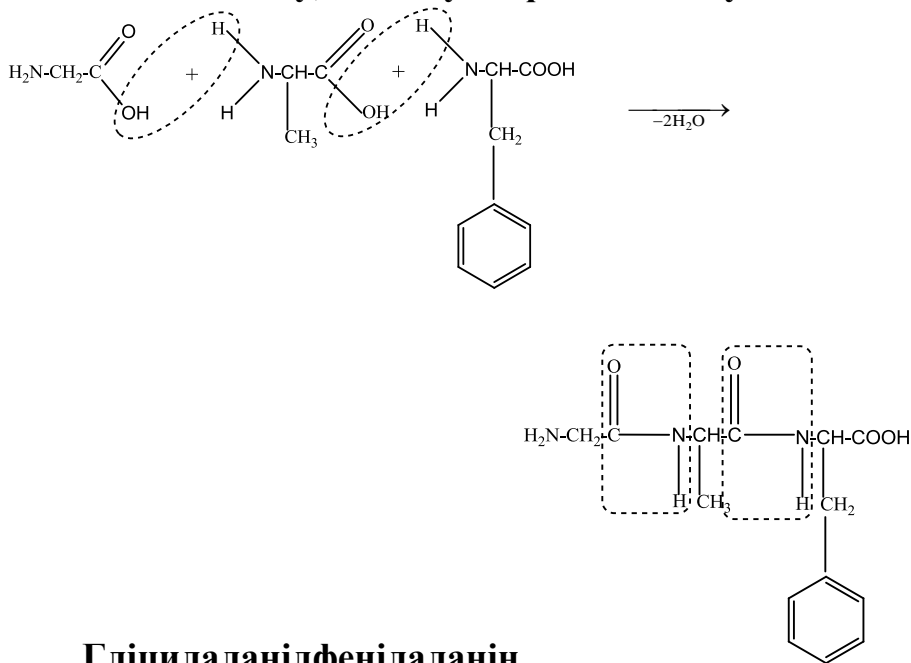
## Приклади утворення пептидів

дві  $\alpha$ -амінокислоти  $\rightarrow$  дипептид +  $\text{H}_2\text{O}$



три  $\alpha$ -амінокислоти  $\rightarrow$  трипептид +  $2\text{H}_2\text{O}$

Взаємодія гліцину, аланіну та фенілаланіну



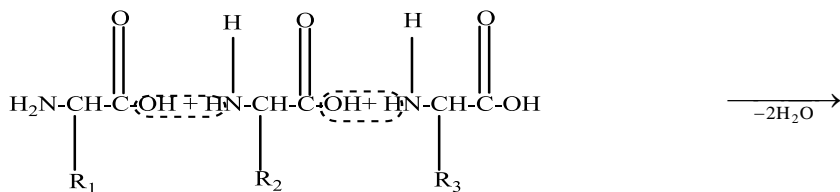
## 4 Загальна характеристика білків

**Білки (протеїни)** – біополімери, що складаються з залишків  $\alpha$ -амінокислот, сполучених пептидними зв'язками.

### Класифікація пептидів

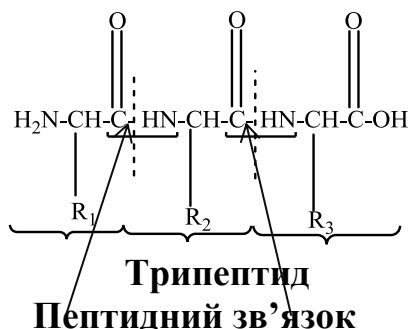
<b>Олігопептиди</b>	<b>Поліпептиди</b>	<b>Білки</b>
кількість амінокислотних залишків від 2 до 10	кількість амінокислотних залишків більше 10 але менше 100 ( <i>ця кількість відповідає молекулярній масі до 10000</i> )	кількість амінокислотних залишків перевищує 100 ( <i>молекулярна від 10000 до декількох мільйонів</i> )

**Пептидний зв'язок** утворюється за рахунок відщеплення гідроксильної (-OH) групи від карбоксильної (-COOH) однієї амінокислоти та атому Гідрогену (H) від аміногрупи (-NH<sub>2</sub>) амінокислоти, з виділенням молекули води





**N-кінцева  
амінокислота**



**C-кінцева  
амінокислота**

Білки можуть утворювати чотири структури, характеристику яких наведено у **табл. 3**.

**Табл. 3 – Структури білків**

<b>Назва структури</b>	<b>Характеристика зв'язків</b>	<b>Приклад білка</b>
<b>Первинна</b>	Послідовність розміщення $\alpha$ -амінокислот у молекулі, сполучених пептидними зв'язками	
<b>Вторинна</b>	Впорядковане розміщення у просторі основного поліпептидного ланцюга у вигляді $\alpha$ -спіралі або $\beta$ -структури, фіксування структур здійснюється за рахунок водневих зв'язків	$\beta$ -кератин (волосся, рогова тканина) $\beta$ -кератин шовку, міоінозин (м'язова тканина)
<b>Третинна</b>	Компактне тривимірне пакування білкового ланцюга у просторі, у	Міоглобін, лізоцим

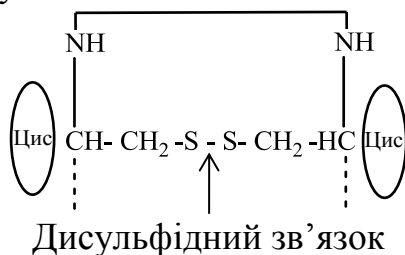
	взаємодії беруть участь бічні групи амінокислот	
<b>Четвертинна</b>	Просторове розміщення декількох поліпептидних субодиниць, сполучених за рахунок водневих та гідрофобних взаємодій	Гемоглобін

## Види зв'язків, що беруть участь у формуванні різних структур білків

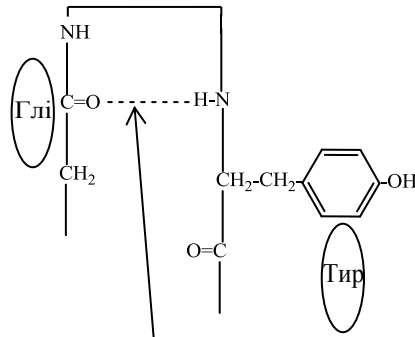
**Йонний зв'язок** (сольові містки) утворюється внаслідок просторового наближення лізину та аспарагінової або глутамінової кислот.



**Дисульфідний зв'язок** (дисульфідні містки) утворюється внаслідок просторового наближення двох залишків цистеїну.



**Водневий зв'язок** утворюється внаслідок просторового наближення атому Гідрогену та електронегативного атому (O-, N-).



Водневий зв'язок

**Гідрофобні взаємодії** відбуваються внаслідок просторового наближення неполярних вуглеводневих замісників (-CH<sub>3</sub>, -C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> та ін.).

### Класифікація білків

#### Прості

Альбуміни,  
глобуліни,  
протаміни, гістони

#### Складні

##### **Нуклеопротеїди**

(протеїн+нуклеїнова кислота)

##### **Глікопротеїни**

(протеїн+вуглеводний компонент)

##### **Ліпопротеїни**

(протеїн+ліпід)

##### **Фосфопротеїни**

(протеїн+ортофосфатна кислота)

##### **Металопротеїни**

(протеїн+метал)

**Табл. 4** - Якісні (кольорові) реакції на білки та амінокислоти

<b>Назва реакції</b>	<b>Реактиви, що використовуються</b>	<b>Характерна ознака</b>
<b>Біуретова</b> (на пептидний зв'язок)	Розчин лугу з додаванням декількох крапель розчину купрум(II) сульфату	Поява фіолетового забарвлення
<b>Нінгідрінова</b> (на $\alpha$ -амінокислоти)	Розчин нінгідрину	Поява синьо-фіолетового забарвлення
<b>Ксантопротеїнова</b> (на ароматичні амінокислоти)	Розчин концентрованої нітратної кислоти	Поява жовтого забарвлення при нагріванні
<b>Реакція Фоля</b> (на сульфуровмісні амінокислоти)	У лужному середовищі при додаванні розчину плюмбум(II) ацетату	Поява чорного забарвлення при нагріванні