

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА  
БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЇ БІОЛОГІЇ, БІОХІМІЇ ТА ГЕНЕТИКИ



## **БІОХІМІЯ**

### **Частина 3. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕВОДІВ ТА ЛІПІДІВ**

**ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
біологічного факультету  
зі спеціальності Біотехнології та біоінженерія

Одеса  
ОНУ імені І. І. Мечникова  
2026

**УДК 577.1  
Б638**

**Укладачі:**

**С. С. Чернадчук**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри молекулярної біології, біохімії та генетики;

**О. К. Будняк**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри молекулярної біології, біохімії та генетики;

**А. В. Сорокін**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри молекулярної біології, біохімії та генетики.

**Рецензенти:**

**І. Л. Рижко**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри фізіології, здоров'я і безпеки людини та природничої освіти ОНУ імені І. І. Мечникова;

**К. Й. Черничко**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології, гідробіології та загальної екології ОНУ імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою біологічного факультету  
ОНУ імені І. І. Мечникова.  
Протокол № 9 від 28 травня 2026 р.*

**Біохімія** [Електронний ресурс] : електрон. метод. вказівки до лаб. робіт для здобувачів першого (бакалавр.) рівня вищ. освіти біол. ф-ту зі спец. Біотехнології та біоінженерія / уклад.: С. С. Чернадчук, О. К. Будняк, А. В. Сорокін. Одеса : ОНУ імені І. І. Мечникова, 2026. Ч. 3 : Фізико-хімічні властивості вуглеводів та ліпідів. 84 с. 2,2 МБ.

*Методичні вказівки до лабораторних робіт, підготовлені відповідно до робочої програми дисципліни «Біохімія». Методичні вказівки призначені здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти очної форми навчання, які навчаються за спеціальністю Біотехнології та біоінженерія.*

**УДК 577.1**

## ЗМІСТ

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Розділ VII. ХІМІЯ ТА ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ</b> .....               | 4  |
| <b>Тема 1. Структура і властивості моносахаридів</b> .....       | 4  |
| <i>Лабораторна робота № 17</i>                                   |    |
| РОЗЧИННІСТЬ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ                        |    |
| ВУГЛЕВОДІВ .....                                                 | 10 |
| <i>Лабораторна робота № 18</i>                                   |    |
| РЕАКЦІЯ З $\alpha$ -НАФТОЛОМ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ МОНОСАХАРИДІВ         |    |
| (Реакція Подобедова-Моліша) .....                                | 11 |
| <i>Лабораторна робота № 19</i>                                   |    |
| РЕАКЦІЯ АЛЬДОПЕНТОЗ З $\beta$ -НАФТОЛОМ .....                    | 13 |
| <i>Лабораторна робота № 20</i>                                   |    |
| РЕАКЦІЇ НА ВИЯВЛЕННЯ ГЕКСОЗ .....                                | 14 |
| <b>Тема 2. Структура і властивості дисахаридів</b> .....         | 22 |
| <i>Лабораторна робота № 21</i>                                   |    |
| ВИЯВЛЕННЯ ДИСАХАРИДІВ .....                                      | 24 |
| <i>Лабораторна робота № 22</i>                                   |    |
| ВІДСУТНІСТЬ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ У САХАРОЗИ .....           | 28 |
| <b>Тема 3. Структура і властивості полісахаридів</b> .....       | 30 |
| <i>Лабораторна робота № 23</i>                                   |    |
| ВИЯВЛЕННЯ ПОЛІСАХАРИДІВ .....                                    | 34 |
| <b>Тема 4. Обмін вуглеводів</b> .....                            | 37 |
| <i>Лабораторна робота № 24</i>                                   |    |
| ФЕРМЕНТАТИВНИЙ МЕТОД КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ГЛЮКОЗИ              |    |
| В СИРОВАТЦІ АБО В ПЛАЗМІ КРОВІ .....                             | 42 |
| <i>Лабораторна робота № 25</i>                                   |    |
| ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СПИРТОВОГО БРОДІННЯ .....               | 44 |
| <i>Лабораторна робота № 26</i>                                   |    |
| АНАЕРОБНИЙ РОЗПАД ГЛІКОГЕНУ ДО МОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ .....            | 46 |
| <i>Лабораторна робота № 27</i>                                   |    |
| ВИЗНАЧЕННЯ ПІРОВОІНОГРАДНОЇ КИСЛОТИ                              |    |
| В СИРОВАТЦІ КРОВІ .....                                          | 49 |
| <b>Розділ VIII. ХІМІЯ ТА ОБМІН ЛІПІДІВ</b> .....                 | 52 |
| <b>Тема 1. Структура і властивості нейтральних ліпідів</b> ..... | 52 |
| <i>Лабораторна робота № 28</i>                                   |    |
| ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖИРІВ .....                                | 54 |
| <i>Лабораторна робота № 29</i>                                   |    |
| ЯКІСНІ РЕАКЦІЇ НА ХОЛЕСТЕРОЛ .....                               | 60 |
| <b>Тема 2. Обмін ліпідів</b> .....                               | 62 |
| <i>Лабораторна робота № 30</i>                                   |    |
| КІНЕТИКА ДІЇ ЛІПАЗИ .....                                        | 68 |
| ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ .....                                           | 73 |
| <b>Список використаної літератури</b> .....                      | 83 |

## РОЗДІЛ VII. ХІМІЯ ТА ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ

### ТЕМА 1. СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ МОНОСАХАРИДІВ

**Мета:** сформувати у студентів цілісне уявлення про хімічну будову, фізико-хімічні властивості та біологічну роль вуглеводів, а також про основні шляхи їх обміну в організмі людини; розкрити механізми перетворення вуглеводів, їх регуляцію та значення у забезпеченні енергетичних і пластичних потреб організму в нормі та за патологічних станів.

#### Питання для підготовки та обговорення:

1. Дати визначення вуглеводів.
2. Біологічні функції вуглеводів.
3. Сучасна класифікація вуглеводів.
4. Класифікація моносахаридів. Основні представники.
5. Стереοізомерія моносахаридів. D- та L-форми, явище мутаротації.
6. Циклічні форми моносахаридів.
7. Фізико-хімічні властивості моносахаридів: окислення, відновлення, утворення ефірів та глікозидів.

**Вуглеводи** – це найпоширеніші у природі органічні молекули, які входять до складу клітин всіх живих істот. Вміст вуглеводів в тканинах складає від 2 % у тварин до 80 % сухої маси у рослин. Вони утворюються фотосинтезуючими клітинами автотрофних організмів з неорганічних сполук диоксиду вуглецю і води за участю енергії сонячного світла.

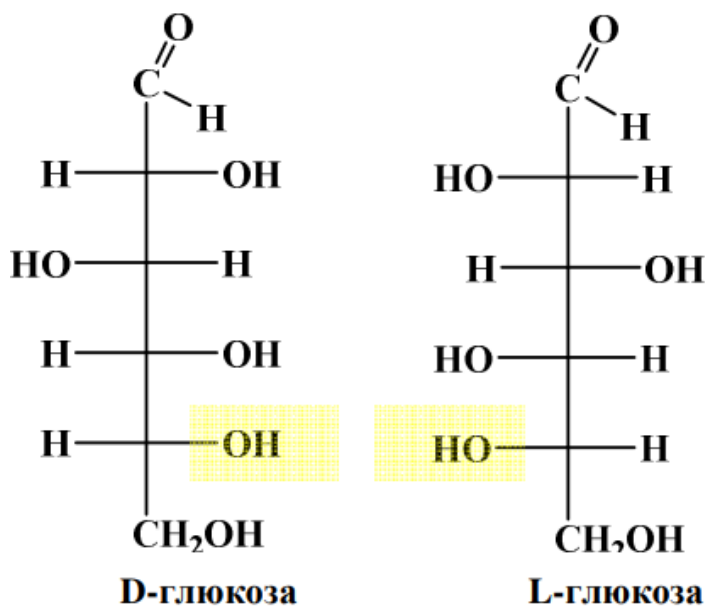
Вуглеводи виконують важливу роль *енергозабезпечення, структурні, механічні (опорні) та захисні* функції в клітинах і тканинах мікроорганізмів, грибів, рослин і тварин. Крім того, вони широко використовуються у харчовій, фармацевтичній, текстильній, хімічній промисловостях для виробництва харчових продуктів, ліків, косметики, штучних волокон, паперу, пластмас, органічних розчинників, лаків, плівок, вибухових речовин тощо. Відповідно до складу та властивостей вуглеводи поділяють на **моносахариди, олігосахариди й полісахариди**.

**К л а с и ф і к а ц і я м о н о с а х а р и д і в.** **Моносахариди** (монози) – це тверді кристалічні, гігроскопічні, добре розчинні у воді, солодкі на смак речовини. Розчини моносахаридів мають нейтральну реакцію, оптично активні, здатні до мутаротації. За кількістю атомів вуглецю в молекулі моносахариди поділяються на тріози, тетрози, пентози, гексози тощо. За хімічною природою монози є полігидроксиальдегідами або полігидроксикетонами з емпіричною

формулою  $C_nH_{2n}O_n$ . Залежно від форми оксогрупи в молекулі їх називають альдозами або кетозами:

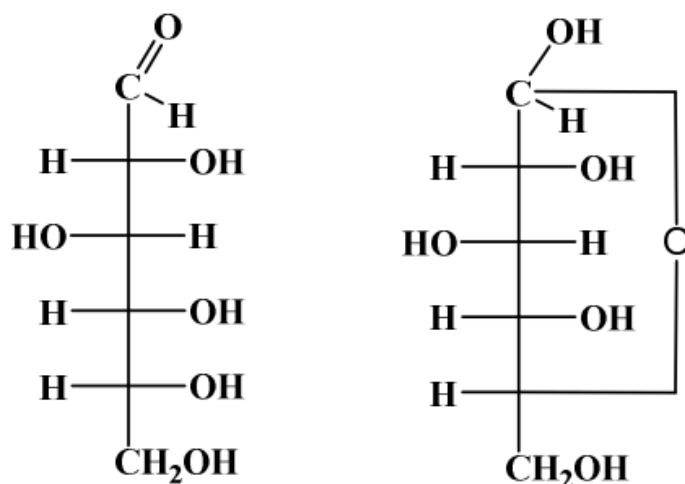


Оптична стереоізомерія, лінійна та циклічні форми моносахаридів. Для моносахаридів характерною є оптична стереоізомерія, яка обумовлена наявністю у молекулах асиметричних атомів вуглецю (хіральних центрів). Залежно від просторової конфігурації атомів біля останнього хірального центру в карбоновому ланцюзі моносахариди поділяються на D- і L-форми (рис. 8).



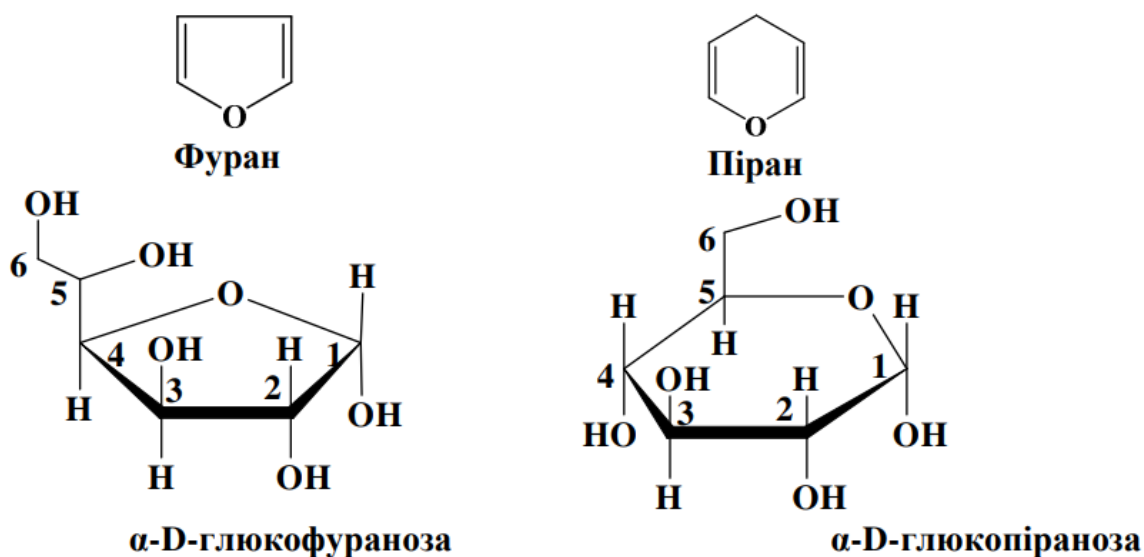
**Рис. 8. Лінійні формули D- і L-глюкози [Остапченко, 2019]**

Більшість природних моноз належать до D-стереоізомерів, і значно рідше зустрічаються в природі їх L-стереоаналоги. Моносахаридам властиво існування у двох молекулярних формах: лінійній (ациклічній) і циклічній (напівацетальній) (рис. 9)



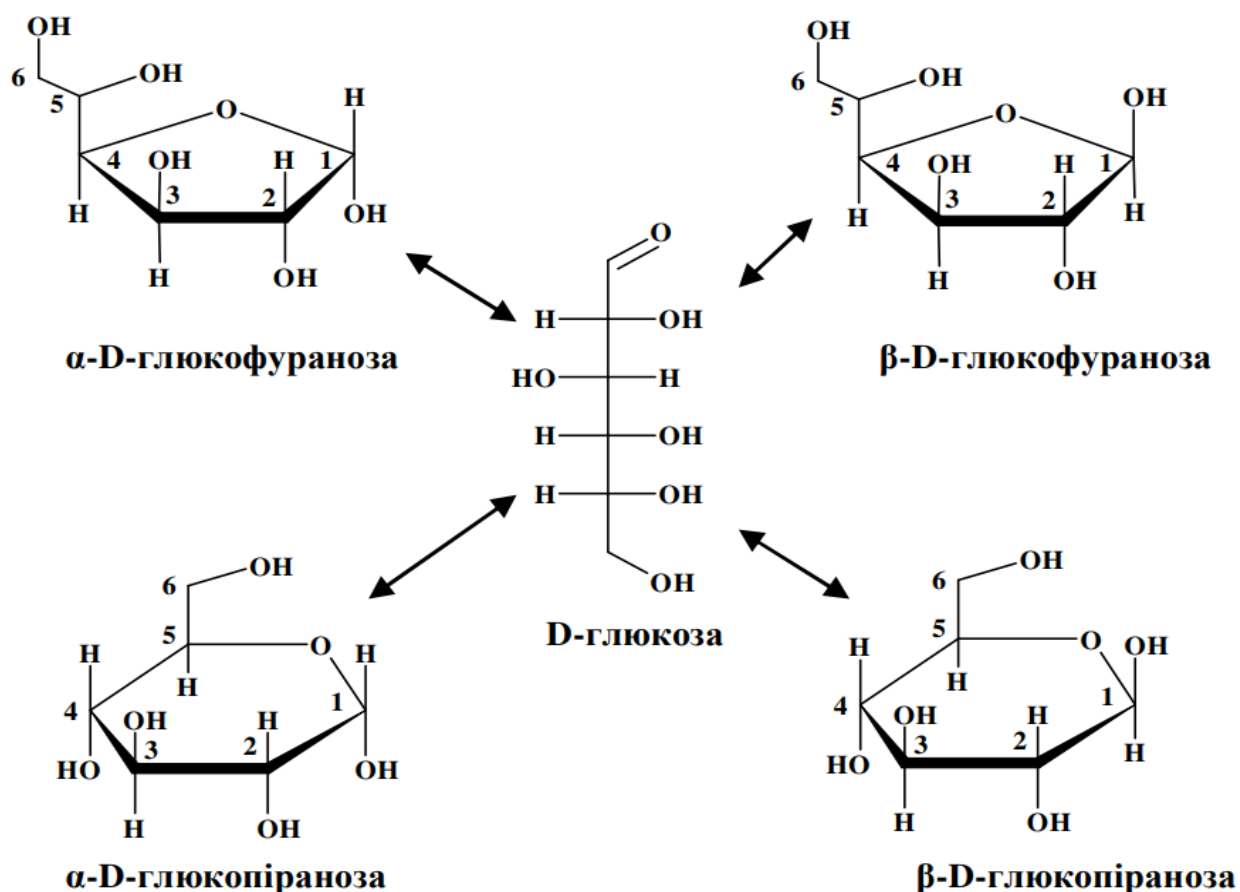
**Рис. 9. Лінійна і циклічна форми моносахаридів [Остапченко, 2019]**

Утворення циклічної форми відбувається внаслідок переміщення атому водню від гідроксильних груп біля четвертого або п'ятого атомів вуглецю до атома кисню оксогрупи. Тому циклічні форми моноз можуть мати п'яти- чи шестичленне кільце і, за відповідністю до будови фурану або пірану, називаються фуранозами або піранозами (рис. 10).



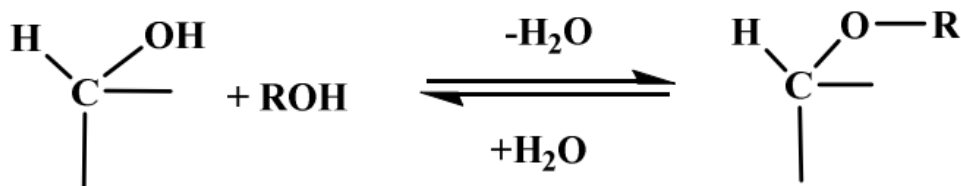
**Рис. 10. Структура фуранозних і піранозних циклів [Остапченко, 2019]**

За розміщенням гідроксилу відносно аномерного атома вуглецю C1, що з'являється при утворенні циклічних форм альдомоноз, визначають  $\alpha$ - і  $\beta$ -аномери. Перебування  $\alpha$ - і  $\beta$ -аномерів моноз одночасно у фуранозних та піранозних формах обумовлено явищем кільчасто-ланцюгової таутомерії (рис. 11). Таутомерні форми моноз перебувають у стані динамічної рівноваги і в залежності від умов мутаротують з однієї таутомерної форми в іншу.



**Рис. 11. Таутомерія моносахаридів [Остапченко, 2019]**

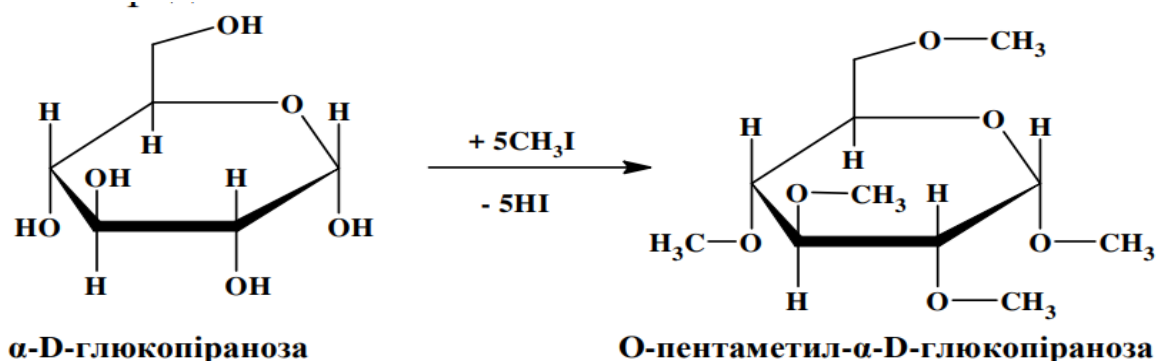
Гідроксил при аномерному атомі вуглецю більш реакційноздатний порівняно з іншими гідроксигрупами. Цей напівацетальний (глікозидний) гідроксил легко реагує зі спиртами з утворенням етерів (ацеталей), які називаються глікозидами:



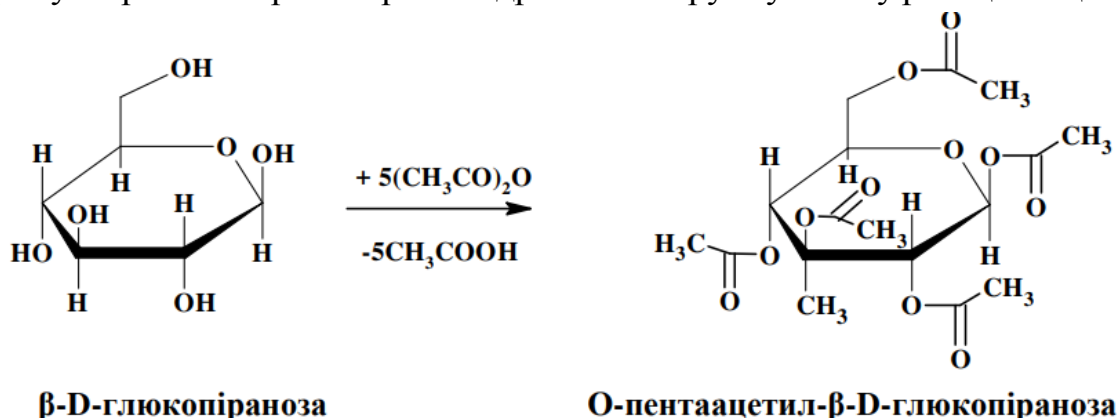
Відповідно до аномеру, який реагував зі спиртом, утворений глікозид називають  $\alpha$ - або  $\beta$ -глікозидом. В молекулах глікозидів – похідних моносахаридів, у яких атом гідрогену напівацетального гідроксилу заміщений алкільним або іншим радикалом, замісник називається агліконом. Залежно від того, який атом сполучає аглікон із залишком монози, глікозиди поділяються на O-, N- і S-глікозиди.

Хімічні властивості моносахаридів. Хімічні властивості моносахаридів зумовлені наявністю глікозидного, карбонільного та спиртових гідроксилів. Глікозидний гідроксил здатний взаємодіяти з гідроксигрупами інших моноз із утворенням глікозидного зв'язку, за участю якого створюються

молекули оліго- та полісахаридів. Метилуючі реагенти заміщують атоми водню в усіх гідроксилах моноз на метильні радикали:

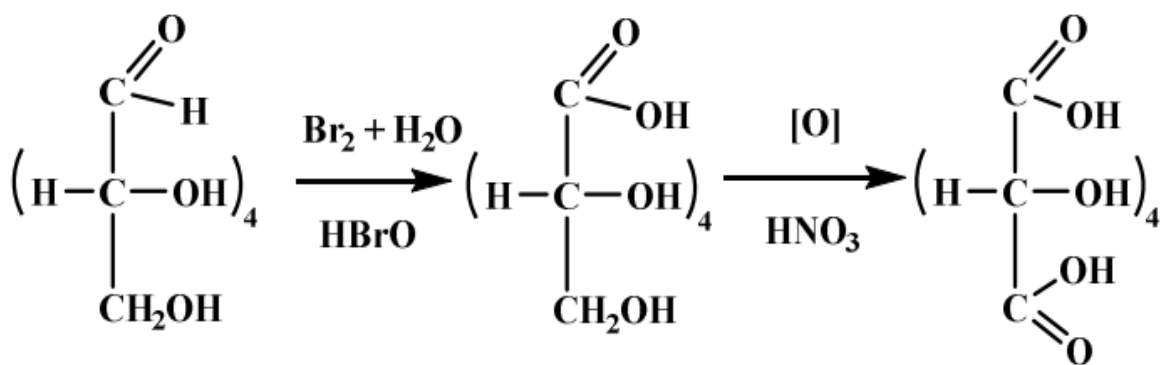


Крім утворення етерів спиртові гідроксили беруть участь у реакціях ацилювання:



Як напівацетальний гідроксил, так і первинний спиртовий гідроксил альдоз можуть легко окиснюватися до карбоксильних груп. При окисненні альдегідної групи слабкими окиснювачами (гіпохлорити, бромна вода) утворюються одноосновні альдонові кислоти. Сильніші окиснювачі (концентрована азотна кислота) окиснюють і альдегідну, і первинну спиртову групи з утворенням двоосновних гідроксикислот, які називаються глікаровими. За попереднього захисту альдегідної групи можливе окиснення тільки первинної спиртової групи з утворенням уронових кислот:

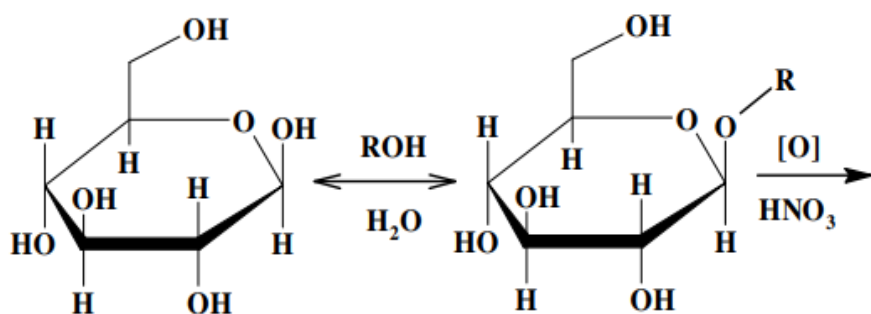




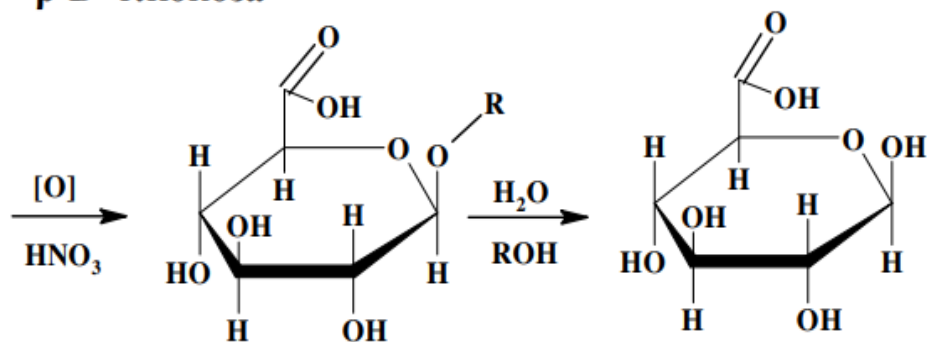
**D-глюкоза**

**D-глюконова кислота**

**D-глюкарова кислота**

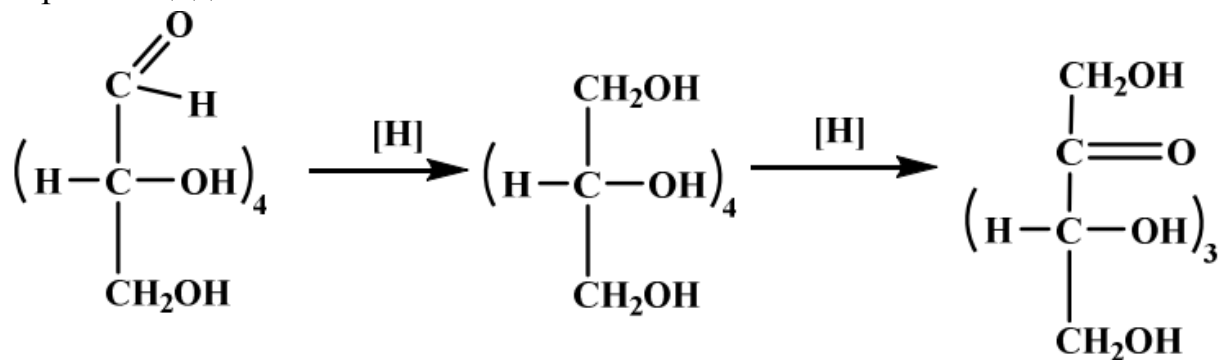


**β-D- глюкоза**



**D-глюкуронова  
кислота**

При відновленні альдегідної групи утворюються відповідні багатоатомні спирти-гліциди:



**D-глюкоза**

**D-сорбіт**

**D-фруктоза**

### Лабораторна робота № 17

#### РОЗЧИННІСТЬ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕВОДІВ

**Мета роботи:** визначити вплив будови молекули вуглеводів на їх розчинність та органолептичні властивості (смак, запах, консистенція). Дослідити зв'язок між молекулярною масою вуглеводів та їх розчинністю у воді.

#### *Матеріали та реактиви:*

Глюкоза (порошок)  
Мальтоза (порошок)  
Лактоза (порошок)  
Сахароза (порошок)  
Крохмаль (порошок)  
Н<sub>2</sub>О дист.

**Обладнання.** Пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок.

#### **Завдання роботи:**

- визначити вплив будови молекули вуглеводів на їх розчинність та органолептичні властивості (смак, запах, консистенція);
- порівняти розчинність та смакові властивості глюкози, мальтози, лактози, сахарози та крохмалю;
- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** У 5 пробірок ввести по 2 г вуглеводу (перелічені в таблиці), в кожену пробірку додати по 3 мл Н<sub>2</sub>О дист. Пробірки струсити, спостерігати за розчинністю вуглеводів.

#### **Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Реактиви              |                        |                       |                        |                        |                             | Розчинність |
|------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------|
|            | Глюкоза (порошок) (г) | Мальтоза (порошок) (г) | Лактоза (порошок) (г) | Сахароза (порошок) (г) | Крохмаль (порошок) (г) | Н <sub>2</sub> О дист. (мл) |             |
| 1          | 2                     | -                      | -                     | -                      | -                      | 3                           |             |
| 2          | -                     | 2                      | -                     | -                      | -                      | 3                           |             |
| 3          | -                     | -                      | 2                     | -                      | -                      | 3                           |             |
| 4          | -                     | -                      | -                     | 2                      | -                      | 3                           |             |
| 5          | -                     | -                      | -                     | -                      | 2                      | 3                           |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=f-vURJp7kM0&t=245s>

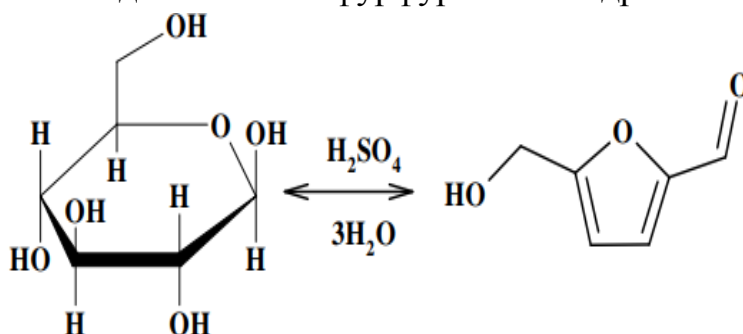
## Лабораторна робота № 18

### РЕАКЦІЯ З $\alpha$ -НАФТОЛОМ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ МОНОСАХАРИДІВ (Реакція Подобедова-Моліша)

Ідентифікація моноз базується на їх фізико-хімічних властивостях: оптичній активності та реакційній здатності карбонільної та гідроксильних груп.

**Мета роботи:** ознайомитися з методом якісного виявлення моносахаридів, вивчити хімічну основу реакції.

**Принцип методу.** Ця чутлива на вуглеводи реакція ґрунтується на тому, що під впливом концентрованої сірчаної кислоти із моносахаридів утворюються фурфурол або його похідні – 5-метилфурфурол та 5-гідроксиметилфурфурол:



Останні, конденсуючись з  $\alpha$ -нафтолом або з тимолом, утворюють забарвлені сполуки.

#### **Матеріали та реактиви:**

Концентрована сірчана кислота

1 %-й розчин моносахариду (напр., глюкози)

1 %-й розчин дисахариду (напр., сахарози)

1 %-й розчин полісахариду (напр., крохмалю, целюлози)

10 %-ві спиртові розчини  $\alpha$ -нафтолу або тимолу

**Обладнання.** Пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок.

#### **Завдання роботи:**

- ознайомитися з хімічними властивостями моносахаридів (альдоз і кетоз);
- засвоїти техніку проведення якісної реакції для виявлення вуглеводів у розчині;
- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** У пробірки налити по 2 мл 1 %-го розчину вуглеводу (перелічені в таблиці), додати в кожную пробірку по 3-4 краплі 10 %-го розчину  $\alpha$ -нафтолу і **обережно** у кожную пробірку (по стінці) додати по 2 мл концентрованої сірчаної

кислоти. Після осідання кислоти на дні пробірки з моносахаридом на межі двох шарів спостерігати появу кільця червоно-фіолетового кольору. Якщо замість  $\alpha$ -нафтолу використати розчин тимола, то виникає червоне кільце.

**Спостереження ввести до таблиці:**

| Варіанти дослідів | Реактиви (мл) |          |          |          |                              |                                | Забарвлення розчину |
|-------------------|---------------|----------|----------|----------|------------------------------|--------------------------------|---------------------|
|                   | Глюкоза       | Сахароза | Крохмаль | Целюлоза | $\alpha$ -нафтол (або тимол) | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                     |
| 1                 | 2             | -        | -        | -        | 3-4 краплі                   | 2                              |                     |
| 2                 | -             | 2        | -        | -        | 3-4 краплі                   | 2                              |                     |
| 3                 | -             | -        | 2        | -        | 3-4 краплі                   | 2                              |                     |
| 4                 | -             | -        | -        | 2        | 3-4 краплі                   | 2                              |                     |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---



---



---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення дослідів можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=jUZaImOQhro>

### Лабораторна робота № 19

## РЕАКЦІЯ АЛЬДОПЕНТОЗ З $\beta$ -НАФТОЛОМ

**Мета роботи:** навчитися відрізняти альдопентози від інших моносахаридів за допомогою специфічної кольорової реакції, вивчити механізм утворення кольорового комплексу, який свідчить про наявність альдопентоз у розчині.

### *Матеріали та реактиви:*

Рибоза, арабіноза або ксилоза, 0,3 %-ний розчини

$\beta$ -нафтол (0,3 %-й розчин у концентрованій сірчаній кислоті)

**Обладнання.** Пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок.

### **Завдання роботи:**

- ознайомитися з хімічною реакцією альдопентоз з  $\beta$ -нафтолом;
- засвоїти методику проведення якісного аналізу для виявлення пентоз;
- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок.

**Хід роботи.** В три пробірки ввести по 3-4 мл розчину  $\beta$ -нафтолу в сірчаній кислоті. В кожную пробірку **обережно** (по стінці пробірки) додати по 1 мл розчину альдопентози так, щоб шари не змішувалися. На межі розділу спостерігати появу темно-синього кільця. Гексози дають жовто-зелене або коричневе забарвлення.

### **Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Реактиви (мл)   |        |         |           | Забарвлення |
|------------|-----------------|--------|---------|-----------|-------------|
|            | $\beta$ -нафтол | Рибоза | Ксилоза | Арабіноза |             |
| 1          | 3-4             | 1      | -       | -         |             |
| 2          | 3-4             | -      | 1       | -         |             |
| 3          | 3-4             | -      | -       | 1         |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---

---

---

## *Лабораторна робота № 20*

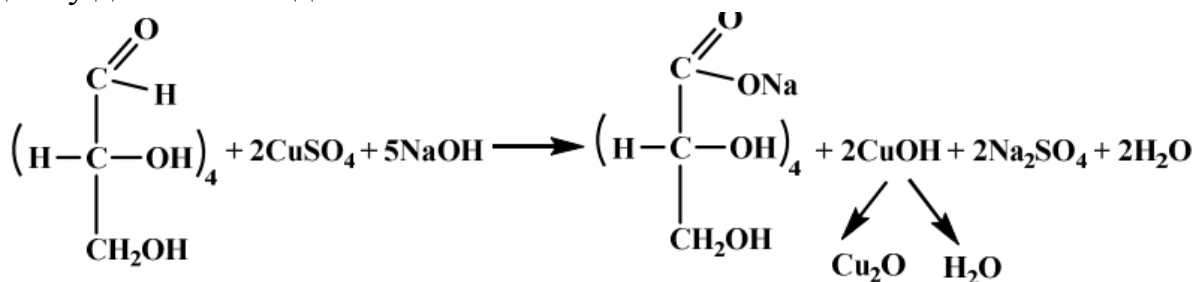
### РЕАКЦІЇ НА ВИЯВЛЕННЯ ГЕКСОЗ

**Мета роботи:** опанувати хімічні методи виявлення гексоз. Вивчити специфічні реакції гексоз. Навчитися відрізняти гексози від інших моносахаридів за характерними кольоровими змінами.

Більшість реакцій ідентифікації гексоз базується на їх характерній здатності, як і всіх вуглеводів із вільним глікозидним гідроксилом, до відновлення деяких слабких окисників. Реакції окиснення карбонільної групи моносахаридів легко йдуть у лужному середовищі і набагато повільніше – в нейтральному і, особливо, в кислому середовищі.

#### *Дослід 1. Реакція Троммера*

**Принцип методу.** Розчини моносахаридів у лужному середовищі відновлюють при нагріванні гідроксид міді(II) до геміоксиду міді. Гексози окиснюються при цьому до солей альдонових кислот:



#### *Матеріали та реактиви:*

Розчини глюкози, гідроксиду натрію, сульфату міді (всі 0,5 %-ві або 5 %-ві)

**Обладнання:** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, крапельниці, штатив для пробірок, пальник.

#### *Завдання досліду:*

- ознайомитися з хімічними властивостями гексоз та ідентифікувати їх у водних розчинах шляхом якісних реакцій;
- вивчити механізм реакції Троммера та визначити умови, за яких вона відбувається;
- зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** У пробірку ввести 3 мл розчину глюкози (або фруктози чи галактози), додати розчини гідроксиду натрію (1 мл) і сульфату міді (п'ять крапель). Випадає осад гідроксиду міді(II), який внаслідок перемішування чи струшування пробірки розчиняється, а розчин набуває блакитного забарвлення.

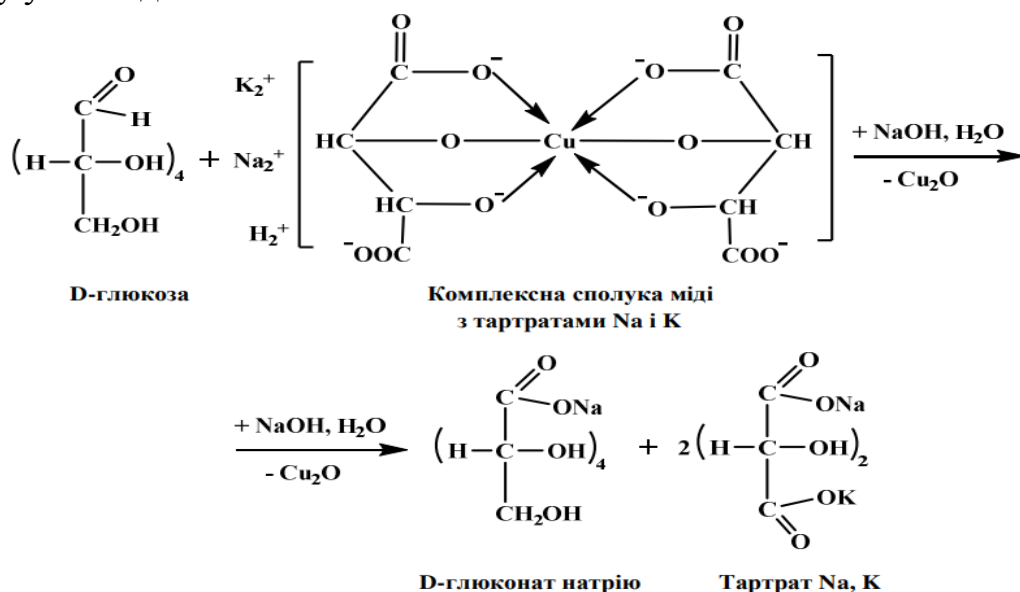
Пробірку обережно нагріти до кипіння на водяній бані до утворення жовтого осаду  $\text{CuOH}$ , який з часом внаслідок перетворення  $\text{CuOH}$  на  $\text{Cu}_2\text{O}$  змінює забарвлення на червоне, що вказує на позитивну реакцію Троммера.

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=yrudBcrpZKk>

## Дослід 2. Реакція з реактивом Фелінга

**Принцип методу.** За механізмом реакція моносахаридів з фелінговою рідиною подібна до реакції Троммера, але в реактиві Фелінга іон  $\text{Cu}^{2+}$  існує у вигляді комплексної сполуки з тартратами, тому при надлишку міді не осаджується з розчину у вигляді  $\text{CuO}$ :



### Матеріали та реактиви:

Розчин глюкози (2 %-й)

Розчин сахарози (2 %-й)

Розчин мальтози (2 %-й)

Розчин крохмалю (2 %-й)

Реактив Фелінга, який складається з двох розчинів (для виготовлення першого розчину 200 г сегнетової соді (тартрат  $\text{K}^+\text{-Na}^+$ ) та 150 г гідроксиду натрію розчиняють у дистильованій воді до об'єму 1 л. Для виготовлення другого розчину 40 г перекристалізованого сульфіді міді

розчиняють у дистильованій воді до об'єму 1 л. Рівні об'єми першого та другого розчинів змішують перед роботою. Інший спосіб виготовлення реактиву Фелінга – змішують рівні об'єми лужного розчину сегнетової солі (34,6 г  $C_4H_4O_6KNa \times 4H_2O$  і 14,0 г NaOH в 100 мл води) та розчину мідного купоросу (6,928 г  $CuSO_4 \times 5 H_2O$  в 100 мл води))

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок, пальник.

#### **Завдання досліду:**

- проаналізувати виразність і механізм реакції Фелінга та визначити умови, за яких вона відбувається;
- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** У чотири пробірки ввести по 2 мл 2 %-го розчину відповідного вуглеводу (надані в таблиці). В кожную пробірку додати по 2 мл фелінгової рідини. Вміст пробірок перемішати і нагріти у полум'ї пальника до кипіння. Спостерігати утворення червоного осаду геміоксиду міді ( $Cu_2O$ ), що вказує на позитивну реакцію з реактивом Фелінга.

#### **Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Варіанти дослідів | Реактиви        |     | Забарвлення |
|------------|-------------------|-----------------|-----|-------------|
|            |                   | Реактив Фелінга | t°C |             |
| 1          | Глюкоза           | 2 мл            |     |             |
| 2          | Мальтоза          | 2 мл            |     |             |
| 3          | Сахароза          | 2 мл            |     |             |
| 4          | Крохмаль          | 2 мл            |     |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину)

---



---



---

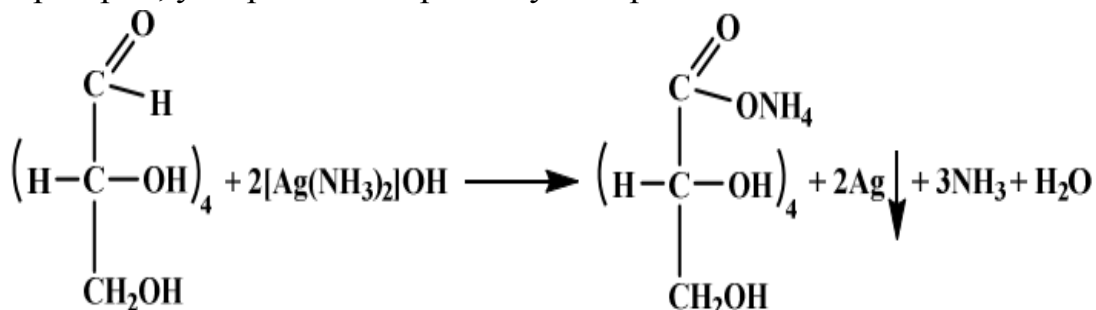
За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням:

[https://www.youtube.com/watch?v=uomcZy5AADg&list=PL3jLhUbIdcGeveA6Vb5QLn\\_BZcsiCZGxC&index=4](https://www.youtube.com/watch?v=uomcZy5AADg&list=PL3jLhUbIdcGeveA6Vb5QLn_BZcsiCZGxC&index=4)



### **Дослід 3. Реакція на відновлення аміачного розчину оксиду срібла (реакція срібного дзеркала)**

**Принцип методу.** Розчини відновлюючих цукрів відновлюють аміачний розчин оксиду срібла, який утворюється під час взаємодії нітрату срібла з гідроксидом натрію та водним розчином аміаку, до металічного срібла, яке осаджується на стінці пробірки, утворюючи дзеркальну поверхню:



#### **Матеріали та реактиви:**

- 5 %-й розчин нітрату срібла
- 5 %-й розчин гідроксиду натрію
- 10 %-й водний розчин аміаку
- 5 %-й розчин глюкози

**Обладнання:** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, крапельниці, штатив для пробірок, пальник.

#### **Завдання досліду:**

- вивчити механізм реакції срібного дзеркала та визначити умови, за яких вона відбувається;
- зробити висновки щодо будови молекул вуглеводів, які виявляють відновлювальні властивості.

**Хід роботи.** В пробірку додати 1 мл 5 %-го розчину  $\text{AgNO}_3$ , 1 мл розчину гідроксиду натрію й по краплях водний розчин аміаку до розчинення сірого осаду, що утворюється на початку реакції. Потім до свіжовиготовленого аміачного розчину гідроксиду срібла додати 3 мл 5 %-го розчину глюкози, перемішати і обережно нагріти у полум'ї пальника до появи бурого забарвлення. Далі реакція відбувається без нагрівання. Спостерігати випадіння металічного срібла у вигляді чорного осаду чи осадження металічного срібла на стінках пробірки.

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

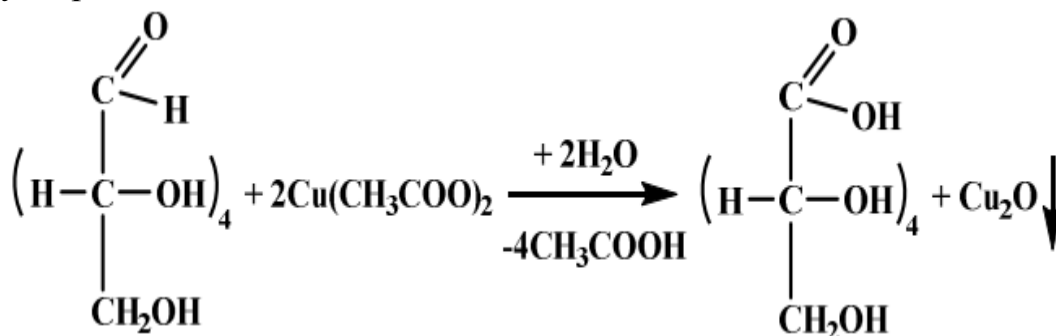
---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=qe-pUpPOXaY>  
<https://www.youtube.com/watch?v=7pScDq7nwR8>

#### **Дослід 4. Реакція Барфед**

Реакція з ацетатом міді відрізняється від всіх попередніх тим, що окиснення відновлюючих цукрів перебігає не в лужному, а в близькому до нейтрального середовищі, в якому редуруючі дисахариди, на відміну від моноз, практично не окиснюються.

**Принцип методу.** Глюкоза та інші гексози реагують з ацетатом міді з утворенням  $\text{Cu}_2\text{O}$ :



#### **Матеріали та реактиви:**

Розчин глюкози (5 %-й)

Розчин лактози або мальтози (5 %-й)

Розчин сахарози (5 %-й)

Реактив Барфед (13,3 г ацетату міді розчиняють у 200 мл гарячої води за температури 70 °С. Суміш фільтрують і до фільтрату додають 1,9 мл льодяної оцтової кислоти)

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок, пальник.

#### **Завдання досліду:**

- проаналізувати виразність і механізм реакції Барфед;
- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок.

**Хід роботи.** В 3 пробірки налити по 1 мл 5 %-го розчину відповідного вуглеводу (надані в таблиці), в кожену пробірку додати по 1 мл реактиву Барфед, перемішати і нагріти до кипіння у полум'ї пальника. В пробірці з глюкозою

спостерігати випадіння осаду геміоксиду міді ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) червоного кольору через 2-3 хв., тоді як в пробірках з дисахаридами реакція відновлення спостерігається після 15-20 хв. нагрівання до кипіння у полум'ї пальника.

**Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Варіанти досліду     | Реактиви       |                   | Забарвлення |
|------------|----------------------|----------------|-------------------|-------------|
|            |                      | Реактив Барфед | $t^\circ\text{C}$ |             |
| 1          | Глюкоза              | 1 мл           |                   |             |
| 2          | Лактоза (або маноза) | 1 мл           |                   |             |
| 3          | Сахароза             | 1 мл           |                   |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---



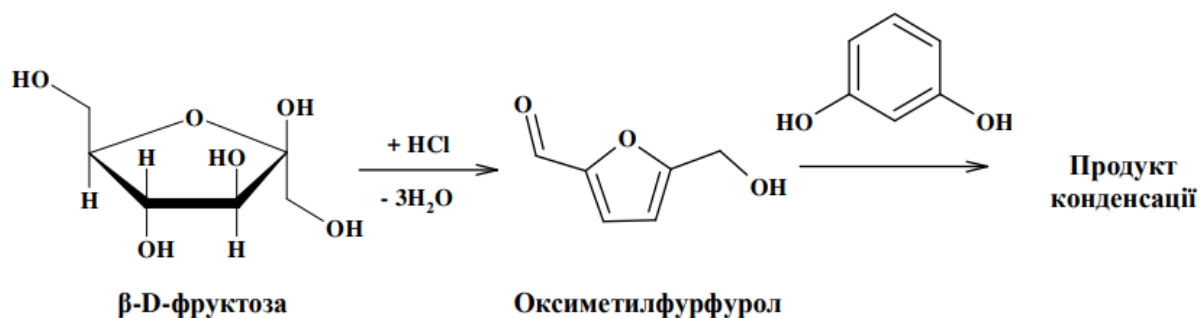
---



---

### Дослід 5. Реакція Селіванова на кетози

**Принцип методу.** Кетози при нагріванні з концентрованою соляною кислотою перетворюються на оксиметилфурфурол, який із резорцином утворює сполуку вишнево-червоного забарвлення:



#### Матеріали та реактиви:

Кристалічний резорцин

5 %-й розчин фруктози

5 %-й розчин глюкози

25 %-й розчин соляної кислоти

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок, баня водяна, термометр лабораторний, лопаточка або шпатель.

#### Завдання досліду:

- вивчити специфічність та механізм реакції Селіванова;

- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** В першу пробірку ввести 5 мл 5 %-го розчину фруктози, в другу пробірку – 5 мл 5 %-го розчину глюкози. В обидві пробірки додати по 1 мл 25 %-го розчину HCl та по декілька кристалів резорцину. Пробірки нагріти на водяній бані до 80 °C і витримати 8-10 хв до утворення вишнево-червоного забарвлення в пробірці з фруктозою. Альдози за цих умов дають цю ж реакцію, але вона відбувається повільніше. Реакція Селіванова дає можливість відрізнити кетози (фруктозу) від альдоз (глюкози).

**Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Варіанти дослідів | Реактиви |                    |      | Забарвлення |
|------------|-------------------|----------|--------------------|------|-------------|
|            |                   | HCl      | Резорцин           | t°C  |             |
| 1          | Глюкоза 5 мл      | 1 мл     | декілька кристалів | 80°C |             |
| 2          | Фруктоза 5 мл     | 1 мл     | декілька кристалів | 80°C |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення дослідів можна ознайомитись за посиланням:

[https://www.youtube.com/watch?v=8vxyoHLmL1k&list=PL3jLhUbIdcGeveA6Vb5QLn\\_BZcsiCZGxC&index=5](https://www.youtube.com/watch?v=8vxyoHLmL1k&list=PL3jLhUbIdcGeveA6Vb5QLn_BZcsiCZGxC&index=5)

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. У які хімічні реакції можуть вступати моносахариди?
2. Чим відрізняються за хімічною будовою альдози і кетози?
3. Наведіть лінійну і циклічну форму молекули  $\alpha$ -D-глюкози.
4. Положення напівацетальної (глікозидної групи) і формування фуранозних і піранозних циклів у моносахаридів.
5. Наведіть приклади якісних реакцій на альдози.
6. Наведіть приклади якісних реакцій на кетози.
7. Назвати реакцію, на якій базуються методи виявлення та кількісного визначення пентоз.
8. На яких властивостях гексоз ґрунтується більшість реакцій їх ідентифікації?
9. Охарактеризуйте подібність та відмінність якісних реакцій Троммера, Фелінга та Барфедта.
10. В чому полягає принцип реакції срібного дзеркала?

### **Рекомендована література**

1. Остапченко Л. І. та ін. Біоорганічна хімія : практикум. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2019. 400 с.
2. Зіменковський Б. С. та ін. Біологічна і біоорганічна хімія : підручник : у 2 книгах. 3-тє видання. Київ : ВСВ «Медицина», 2022. Книга 1. 272 с ; Книга 2. 544 с.
3. Губський Ю. І. Біоорганічна хімія : підручник. 3-тє видання, стереотипне. Вінниця : Нова Книга, 2019. 416 с.
4. Різак Г. В. Біоорганічна хімія : навчально-методичний посібник. Ужгород : ФОП Сабов А. М., 2024. 667 с.

## ТЕМА 2. СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ДИСАХАРИДІВ

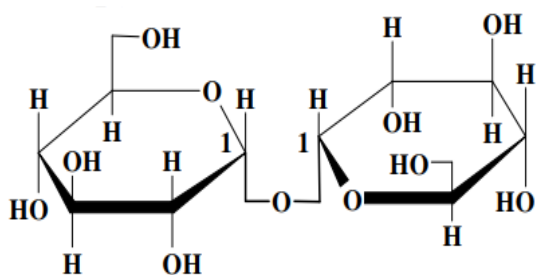
**Мета:** вивчити хімічну будову та фізико-хімічні властивості дисахаридів.

**Питання для підготовки та обговорення:**

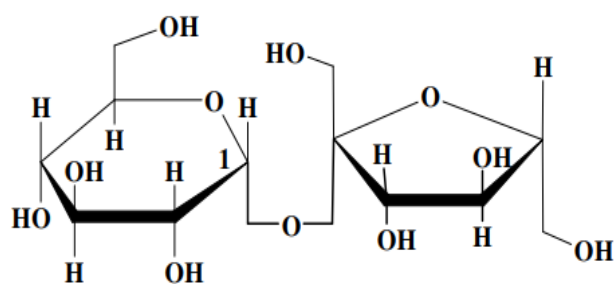
1. Що таке олігосахариди? Як вони класифікуються за кількістю мономерів?
2. Які зв'язки утворюють мономери в структурі олігосахаридів?
3. У чому полягає різниця між редукуючими та нередукуючими олігосахаридами?
4. Назвіть основні приклади олігосахаридів і вкажіть їх біологічні джерела.
5. Яка роль глікозидних зв'язків ( $\alpha$ - або  $\beta$ -) у визначенні властивостей олігосахаридів?
6. Чим відрізняються дисахариди, трисахариди та тетрасахариди за структурою та властивостями?
7. Як фізико-хімічні властивості олігосахаридів (наприклад, солодкість, розчинність у воді) пов'язані з їх структурою?
8. Які біологічні функції виконують олігосахариди в клітинах рослин, тварин і мікроорганізмів?
9. Як олігосахариди взаємодіють із білками (наприклад, у глікопротеїнах)?
11. Що таке глікозидна конденсація? Як цей процес відбувається в утворенні олігосахаридів?
12. Чим олігосахариди відрізняються від полісахаридів за функціями та властивостями?

**Ст р у к т у р а д и с а х а р и д і в.** Дисахариди – це кристалічні або аморфні, добре розчинні у воді, оптично активні, солодкі на смак речовини, які відносять до олігосахаридів, – полімерних вуглеводів, молекули яких складені з двох–десяти залишків моноз. Залишки моносахаридів у молекулах дисахаридів можуть бути з'єднані або їх напівацетальними гідроксилами – глікозидо-глікозидним зв'язком, або глікозидо-глюкозидним зв'язком між напівацетальним гідроксидом одного моносахариду і одним із спиртових гідроксидів другого. За типом зв'язку дисахариди поділяються на два типи: глікозидо-глікозиди і глікозидо-глюкозиди.

**В і д н о в л ю ю ч і й н е в і д н о в л ю ю ч і д и с а х а р и д и.** Дисахариди першого типу (трегалоза, сахароза), які не мають вільних глікозидних гідроксидів, існують тільки у циклічній формі і не вступають у реакції, характерні для альдегідної або кетогрупи.

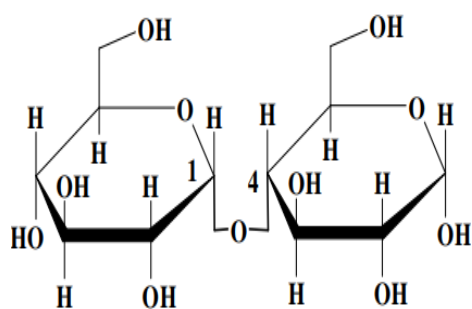


Трегалоза

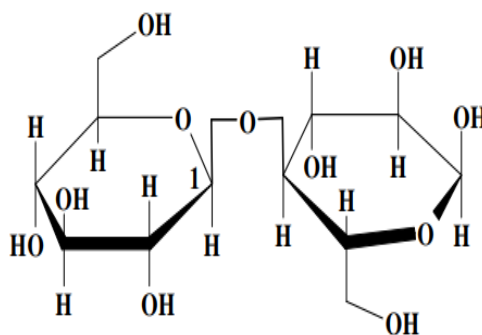


Сахароза

Вони не мутаротують і не відновлюють метали з їхніх оксидів, тому такі дисахариди називають невідновлюючими. Дисахариди другого типу (мальтоза, лактоза, целобіоза) за хімічними властивостями подібні до моносахаридів. Вони існують у двох таутомерних формах – циклічній і карбонільній, і для них характерні реакції за участю карбонільної і спиртової груп: вони окиснюються до альдонових кислот, відновлюються до багатоатомних спиртів, утворюють озазони, алкілюються і ацилюються. За відновними властивостями їх називають відновлюючими.



Мальтоза



Лактоза

## *Лабораторна робота № 21*

### **ВИЯВЛЕННЯ ДИСАХАРИДІВ**

**Мета роботи:** ознайомитися з хімічними методами виявлення дисахаридів. Вивчити відмінності між відновлюючими і невідновлюючими дисахаридами. Навчитися диференціювати дисахариди на основі їх хімічних властивостей та реакційної здатності.

#### ***Дослід 1. Реакції виявлення дисахаридів мальтози і лактози***

Завдяки наявності вільної альдегідної групи в молекулі лактози (в залишку глюкози) та мальтози (в другого залишку глюкози) ці дисахариди мають відновлюючі властивості й можуть брати участь у реакціях відновлення, зокрема, мальтоза та лактоза дають позитивну реакцію Троммера.

##### ***Матеріали та реактиви:***

Розчин лактози (0,5 %-вий)

Розчин мальтози (0,5 %-вий)

Розчин гідроксиду натрію (0,5 %-вий)

Розчин сульфату міді (0,5 %-вий)

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, крапельниці, штатив для пробірок, пальник.

##### ***Завдання дослід:***

- провести якісні реакції на олігосахариди;
- вивчити специфічність та механізм реакції виявлення дисахаридів;
- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок.

**Хід роботи.** В першу пробірку ввести 2 мл 0,5 %-го розчину мальтози, в другу пробірку – 2 мл 0,5 %-го розчину лактози. В кожную пробірку додати по 1 мл 0,5 %-го розчину гідроксиду натрію і по 5 крапель 0,5 %-го розчину сульфату міді. Пробірки обережно нагріти у полум'ї пальника і спостерігати утворення червоного осаду геміоксиду міді.

##### ***Спостереження ввести до таблиці:***

| № пробірки | Варіанти дослідів | Реактиви |                   |     | Забарвлення |
|------------|-------------------|----------|-------------------|-----|-------------|
|            |                   | NaOH     | CuSO <sub>4</sub> | t°C |             |
| 1          | Мальтоза 2 мл     | 1 мл     | 5 крапель         |     |             |
| 2          | Лактоза 2 мл      | 1 мл     | 5 крапель         |     |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення дослідів можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=YW0IM9RZzF4>



## **Дослід 2. Виявлення сахарози**

**Принцип методу.** Для виявлення дисахаридів, які не відновлюються, використовують методи, що базуються на гідролізі дисахаридів до моноз:



із наступним їх виявленням за реакціями Троммера, Селіванова, Фелінга тощо.

### **Матеріали та реактиви:**

Концентрована соляна кислота

25 %-й розчин соляної кислоти

5 %-й розчин сахарози

5 %, 0,5 % розчини гідроксиду натрію

0,5 % розчин сульфату міді

Кристалічний резорцин

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, крапельниці, штатив для пробірок, водяна баня, термометр, лабораторний годинник.

### **Завдання досліду:**

- ознайомитись з хімічними властивостями дисахаридів, провести якісні реакції на олігосахариди та продукти їх гідролізу;
- проаналізувати специфічність і механізм реакції виявлення дисахаридів;
- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** В дві пробірки налити по 6 мл 5 %-го розчину сахарози. В одну з пробірок додати 2 краплі концентрованої HCl і нагріти на киплячій водянній бані протягом 15 хв. Друга пробірка містить контрольний розчин сахарози. Після охолодження до кімнатної температури взяти ще дві пробірки і поділити обидва розчини навпіл (по 3 мл). Одну половину підкисленого розчину нейтралізувати додаванням 1 мл 5 %-го розчину NaOH, а до половини контрольного розчину додати 1 мл води. Надалі ці пробірки використати для проведення реакції Троммера. Для цього до вмісту обох пробірок додати по 1 мл розчину гідроксиду натрію та по 5 крапель розчину сульфату міді і надалі нагріти у полум'ї пальника до кипіння. Гідролізат сахарози дає позитивну реакцію Троммера (червоний осад геміоксиду міді), а контрольний розчин – негативну. З гідролізатом сахарози та контрольним розчином сахарози, які залишилися (по 3 мл) провести реакцію Селіванова на виявлення фруктози. Для цього в обидві пробірки додати по 1 мл розчину соляної кислоти та декілька кристалів резорцину, вміст пробірок нагріти на водянній бані протягом 5-10 хв за температури 80 °С. Спостерігати позитивну

реакцію в пробі з гідролізатом (поява вишнево-червоного забарвлення) і відсутність забарвлення в контрольній пробі.

**Спостереження записати у зошит, зробити висновок** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

### **Дослід 3. Реакція сахарози з солями кобальту**

**Принцип методу.** У лужному середовищі з солями кобальту розчини сахарози забарвлюються в фіолетовий колір.

#### **Матеріали та реактиви:**

5 %-й розчин сахарози

5 %-й розчин глюкози

5 %-й розчин NaOH

2 %-й розчин  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  або  $\text{CoCl}_2$

**Обладнання.** Штатив із пробірками, піпетки, крапельниці, скляні палички.

#### **Завдання досліду:**

- провести якісну реакцію на сахарозу;
- проаналізувати специфічність і механізм реакції;
- заповнити таблицю і зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** В 2 пробірки ввести по 2 мл 5 %-го розчину відповідного вуглеводу (глюкозу, сахарозу). В кожную пробірку додати по 1 мл 5 %-го розчину NaOH, декілька крапель 2 %-го розчину  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  і перемішати. Розчин з сахарозою набуває фіолетового забарвлення.

#### **Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Варіанти досліду | Реактиви |            | Забарвлення |
|------------|------------------|----------|------------|-------------|
|            |                  | NaOH     | Соли Co    |             |
| 1          | Сахароза         | 1 мл     | 1-2 краплі |             |
| 2          | Глюкоза          | 1 мл     | 1-2 краплі |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---

---

---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення дослідів можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=GWdjkdrY-l0>

## Лабораторна робота № 22

### ВІДСУТНІСТЬ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ У САХАРОЗИ

**Мета роботи:** дослідити хімічні властивості сахарози. Пояснити відсутність відновлювальних властивостей на основі молекулярної будови сахарози. Виявити особливості глікозидного зв'язку у сахарозі та його вплив на хімічну активність.

#### **Матеріали та реактиви:**

Розчини лактози, сахарози, гідроксиду натрію, сульфату міді (всі 0,5 %-ві або 5 %-ві).

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, крапельниці, штатив для пробірок, пальник.

#### **Завдання роботи:**

- дослідити взаємодію сахарози з окисниками та зробити висновки про її відновлювальні властивості;
- порівняти хімічну активність сахарози з іншими вуглеводами в однакових умовах.

**Хід роботи.** У дві пробірки ввести по 3 мл розчину відповідного вуглеводу (надані в таблиці). В кожную пробірку додати розчини гідроксиду натрію (по 1 мл) і сульфату міді (по п'ять крапель). Випадає осад гідроксиду міді(II), який внаслідок перемішування чи струшування пробірок розчиняється, а розчин набуває блакитного забарвлення. Пробірки обережно нагріти до кипіння на водяній бані.

#### **Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Варіанти дослідів | Реактиви |                   |     | Забарвлення |
|------------|-------------------|----------|-------------------|-----|-------------|
|            |                   | NaOH     | CuSO <sub>4</sub> | t°C |             |
| 1          | Лактоза 3мл       | 1 мл     | 5 крапель         |     |             |
| 2          | Сахароза 3 мл     | 1 мл     | 5 крапель         |     |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення дослідів можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=YW0IM9RZzF4&t=2s>  
<https://www.youtube.com/watch?v=pdmmyj4Y43A>

## **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Які зв'язки формуються між моносахаридними одиницями у складі дисахаридів?
2. Від чого залежить наявність у дисахаридів відновлювальних властивостей?
3. Які дисахариди належать до невідновлювальних?
4. Які методи застосовують для виявлення дисахаридів, що не мають відновлювальних властивостей?
5. Які речовини викликають гідроліз оліго- та полісахаридів?

## **Рекомендована література**

1. Губський Ю. І. Біоорганічна хімія : підручник. 3-тє видання, стереотипне. Вінниця : Нова Книга, 2019. 416 с.
2. Зіменковський Б. С. та ін. Біологічна і біоорганічна хімія : підручник : у 2 книгах. 3-тє видання. Київ : ВСВ «Медицина», 2022. Книга 1. 272 с ; Книга 2. 544 с.
3. Лендел В. Г. та ін. Біоорганічна хімія : навчальний посібник. 3-тє видання, перероблене та доповнене. Ужгород : Патент, 2014. 360 с.
4. Остапченко Л. І. та ін. Біоорганічна хімія : практикум. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2019. 400 с.

### ТЕМА 3. СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІСАХАРИДІВ

**Мета:** дослідити хімічну будову та фізико-хімічні властивості полісахаридів.

#### **Питання для підготовки та обговорення:**

1. Що таке полісахариди? Чим вони відрізняються від інших вуглеводів, таких як моносахариди та дисахариди?
2. Яка хімічна будова характерна для полісахаридів? З яких мономерів вони складаються?
3. Назвіть приклади основних полісахаридів і вкажіть їхні природні джерела.
4. Як зв'язки між мономерами (наприклад,  $\alpha$ -1,4-глікозидні або  $\beta$ -1,4-глікозидні зв'язки) впливають на властивості полісахаридів?
5. Які фізичні властивості (розчинність, кристалічність) притаманні полісахаридам? Чому вони часто нерозчинні у воді?
6. Чим відрізняються структури амілози та амілопектину, які входять до складу крохмалю?
7. Як структура целюлози забезпечує її високу механічну міцність?
8. Що таке гетерополісахариди? У чому їхня відмінність від гомополісахаридів?
9. Яке біологічне значення полісахаридів, таких як глікоген, хітин та целюлоза?
10. Як фізико-хімічні властивості полісахаридів впливають на їхнє застосування у харчовій, фармацевтичній або текстильній промисловості?

Структура та класифікація полісахаридів. **Полісахариди** або **поліози** є природними біополімерами, побудованими з великої кількості залишків моносахаридів та їх похідних. За моносахаридним складом полісахариди поділяють на гомополісахариди (або гомоглікани), які складаються з залишків моноз одного виду, і гетерополісахариди (або гетероглікани), молекули яких вміщують залишки різних моносахаридів. За характером поліглікозидного ланцюга поліози можуть бути лінійними і розгалуженими. Прикладами гомополісахаридів є рослинний полімер крохмаль і глікоген тваринного походження із загальною формулою  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Крохмаль є сумішшю лінійного (амілози, 0-30 %) та розгалуженого (амілопектину, 70-90 %) гомополісахаридів (рис. 12).



об'єднаних 1,4-глікозидними зв'язками. Прикладами рослинних гетерополісахаридів є геміцелюлози (полімери молекул D-ксилози, сполучених  $\beta(1\rightarrow4)$ -зв'язками, що можуть також містити залишки інших моносахаридів – арабінози, галактози, манози тощо) та камеді, які містять у своєму складі залишки моносахаридів (D-галактози, D-глюкози, L-арабінози, L-рамнози тощо) та уронових кислот і мають розгалужену будову. Найважливішими тваринними гетерополісахаридами є глікозаміноглікани, або мукополісахариди – нерозгалужені полімери, побудовані із дисахаридних одиниць, які повторюються. До складу дисахаридної одиниці входять два компоненти, один із яких є представником уронових кислот (глюкуронова або ідуоронова), а другий – N-ацетилпохідним гексозамінів (глюкозаміну чи галактозаміну) (табл. 3).

**Таблиця 3**

**Класи глікозаміногліканів та структура їх дисахаридних одиниць**

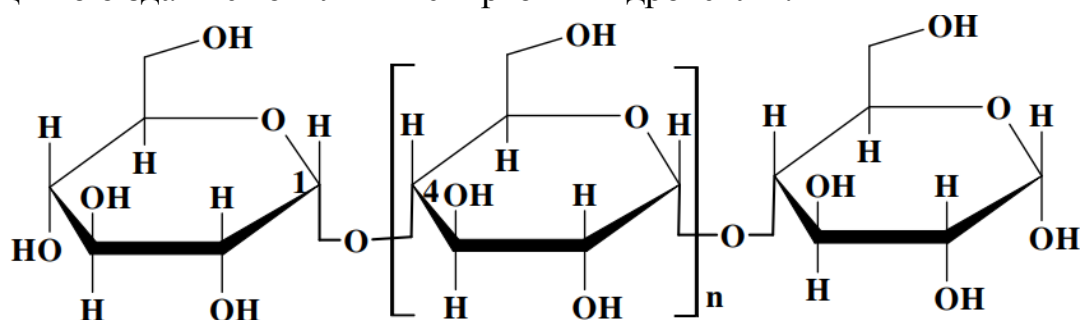
| <b>Глікозаміноглікани</b>  | <b>Склад дисахаридної одиниці</b>                         |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Гіалуронова кислота        | D-глюкуронат + N-ацетилглюкозамін                         |
| Хондроїтинсульфати         | D-глюкуронат + N-ацетилгалактозамінсульфат                |
| Дерматансульфати           | D-ідуронат + N-ацетилгалактозамінсульфат                  |
| Кератансульфати            | D-галактоза + N-ацетилглюкозамінсульфат                   |
| Гепарансульфати та гепарин | D-глюкуронат (або D-ідуронат) + N-ацетилглюкозамінсульфат |

Найбільш вивченими глікозаміногліканами є гіалуронова кислота, хондроїтинсульфати, дерматансульфати, кератансульфати, гепарансульфати, які входять до складу шкіри, сухожиль, хрящів, суглобів, забезпечуючи механічну міцність та пружність органів, еластичність їх сполучень. Глікозаміноглікан гепарин є природним антикоагулянтном. Ковалентні комплекси глікозаміногліканів сполучної тканини (гіалуронової кислоти, хондроїтинсульфатів тощо за виключенням гепарину) із білками отримали назву протеогліканів – на відміну від справжніх глікопротеїнів, у них вуглеводна частина переважає над білковою. Білкові компоненти різних протеогліканів (інша назва яких – корові білки) відрізняються між собою і поєднуються із глікозаміногліканами через залишки серину: наприклад, молекули хондроїтинсульфату приєднуються до «корового» білка зв'язком між серином та посередником – ксилозою, яка, не входячи до складу глікозаміноглікану, служить для його зв'язування із білком. Окремі протеоглікани, сполучаючись із гіалуроновою кислотою, формують протеогліканові агрегати.

**В л а с т и в о с т і п о л і с а х а р и д і в.** Глікозидні зв'язки, що сполучають залишки моноз в молекулах полісахаридів, утворюються переважно по



глікозидо-глікозидному типу, через що в молекулах поліоз практично немає вільних напівацетальних гідроксилів, і вони не мають відновлюючих властивостей. Тому хімічні властивості полісахаридів визначаються лише реакційною здатністю вільних спиртових гідроксилів.



## *Лабораторна робота № 23*

### **ВИЯВЛЕННЯ ПОЛІСАХАРИДІВ**

**Мета роботи:** ознайомитися з особливостями структури та реакційною здатністю полісахаридів. Опанувати проведення реакцій та пояснити характер їх прояву в залежності від структури вуглеводу.

#### ***Дослід 1. Реакції на виявлення глюкозів***

**Принцип методу.** Резервні полісахариди тканин рослин і тварин крохмаль та глікоген реагують з йодом з утворенням нестійких комплексних адсорбційних сполук синього (крохмаль) або червоно-бурого (глікоген) кольору, які знебарвлюються при нагріванні і знову забарвлюють розчини при охолодженні. Знебарвлення розчинів сполук глюкозів з йодом спостерігається також при додаванні луку. Зникнення забарвлення внаслідок нагрівання та додавання луку зумовлене тим, що в утворенні комплексів бере участь молекулярний йод, а не йодид-іони.

#### ***Матеріали та реактиви:***

Реактив Люголя (1 г йоду та 2 г йодиду калію розчиняють у 15 мл води й потім розводять водою до об'єму 300 мл)

1 %-вий розчин крохмалю

2 %-вий розчин сахарози

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, крапельниці, штатив для пробірок, водяна баня.

#### ***Завдання досліду:***

- ознайомитись з хімічними властивостями полісахаридів (крохмалю, глікогену та целюлози), провести якісні реакції на полісахариди та продукти їх гідролізу;
- пояснити результати спостереження за забарвленням вмісту пробірки;
- зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** В дві пробірки ввести по 2 мл розчину відповідного вуглеводу (крохмалю та сахарози). В кожну пробірку додати 1-2 краплі розчину Люголя, суміші в пробірках перемішати і спостерігати утворення синього забарвлення розчину крохмалю. При нагріванні на водяній бані забарвлена суміш крохмалю зникає і з'являється знову при охолодженні.

**Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Варіант досліду  | Реактиви      |             |        |             |        |             |
|------------|------------------|---------------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
|            |                  | Розчин Люголя | Забарвлення | t °C ↑ | Забарвлення | t °C ↓ | Забарвлення |
| 1          | Крохмаль<br>2 мл | 1-2 краплі    |             | +      |             | +      |             |
| 2          | Сахароза<br>2 мл | 1-2 краплі    |             | +      |             | +      |             |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---



---

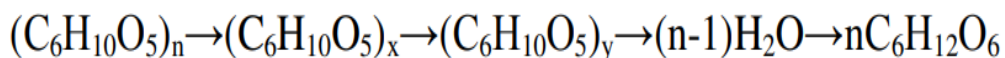


---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=OrS1T2MjNxQ&t=7s>

**Дослід 2. Гідроліз крохмалю**

**Принцип методу.** При нагріванні розчину крохмалю з мінеральними кислотами відбувається гідроліз крохмалю за схемою:



**Крохмаль      Декстрин      Олігосахариди      Глюкоза**

При повному гідролізі крохмалю утворюється D-глюкоза, яку можна виявити специфічними реакціями.

**Матеріали та реактиви:**

Концентрована соляна кислота

1 %- й розчин крохмалю

15 %-й розчин гідроксиду натрію

1 %-й розчин сульфату міді

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, крапельниці, штатив для пробірок, водяна баня, годинник.

**Завдання досліду:**

- пояснити результати спостереження за забарвленням вмісту пробірок;
- зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** В дві пробірки ввести по 5 мл 1 %-го розчину крохмалю. В одну з них додати 2-3 краплини концентрованої соляної кислоти і прокип'ятити на водяній бані протягом 15 хв. Інша пробірка – контрольна. Після охолодження в обох розчинах провести реакцію Троммера: у пробірки додати по 2 мл розчину гідроксиду натрію та по 5 крапель розчину сульфату міді і нагріти. У пробірці з гідролізованим крохмалем при нагріванні утворюється червоний осад геміоксиду міді (позитивна реакція Троммера), у другій (контрольній) пробірці реакція Троммера негативна.

**Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Реактиви |          |                  |     |                  | Утворення осаду |
|------------|----------|----------|------------------|-----|------------------|-----------------|
|            | Крохмаль | HCl      | H <sub>2</sub> O | t°C | Реакція Троммера |                 |
| 1          | 5 мл     | 3 краплі | -                | +   |                  |                 |
| 2          | 5 мл     | -        | 3 краплі         | +   |                  |                 |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---



---



---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=AKkcE2PPjUY>

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. За якими принципами класифікують полісахариди?
2. Чи мають полісахариди відновлювальні властивості?
3. На якому принципі базуються якісні реакції на глюкози?
4. Які сполуки можуть утворюватися при гідролізі крохмалю?
5. Які речовини називають інвертованим цукром?

## Рекомендована література

1. Губський Ю. І. Біоорганічна хімія : підручник. 3-тє видання, стереотипне. Вінниця : Нова Книга, 2019. 416 с.
2. Зіменковський Б. С. та ін. Біологічна і біоорганічна хімія : підручник : у 2 книгах. 3-тє видання. Київ : ВСВ «Медицина», 2022. Книга 1. 272 с ; Книга 2. 544 с.
3. Остапченко Л. І. та ін. Біоорганічна хімія : практикум. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2019. 400 с.

## ТЕМА 4. ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ

Метаболізм вуглеводів являє собою одну з найважливіших складових частин обміну речовин як єдиного цілого. Обмін вуглеводів у людини охоплює весь складний процес їх перетворення: від надходження до організму з їжею, перетравлювання і всмоктування в шлунково-кишковому тракті до утворення кінцевих продуктів –  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

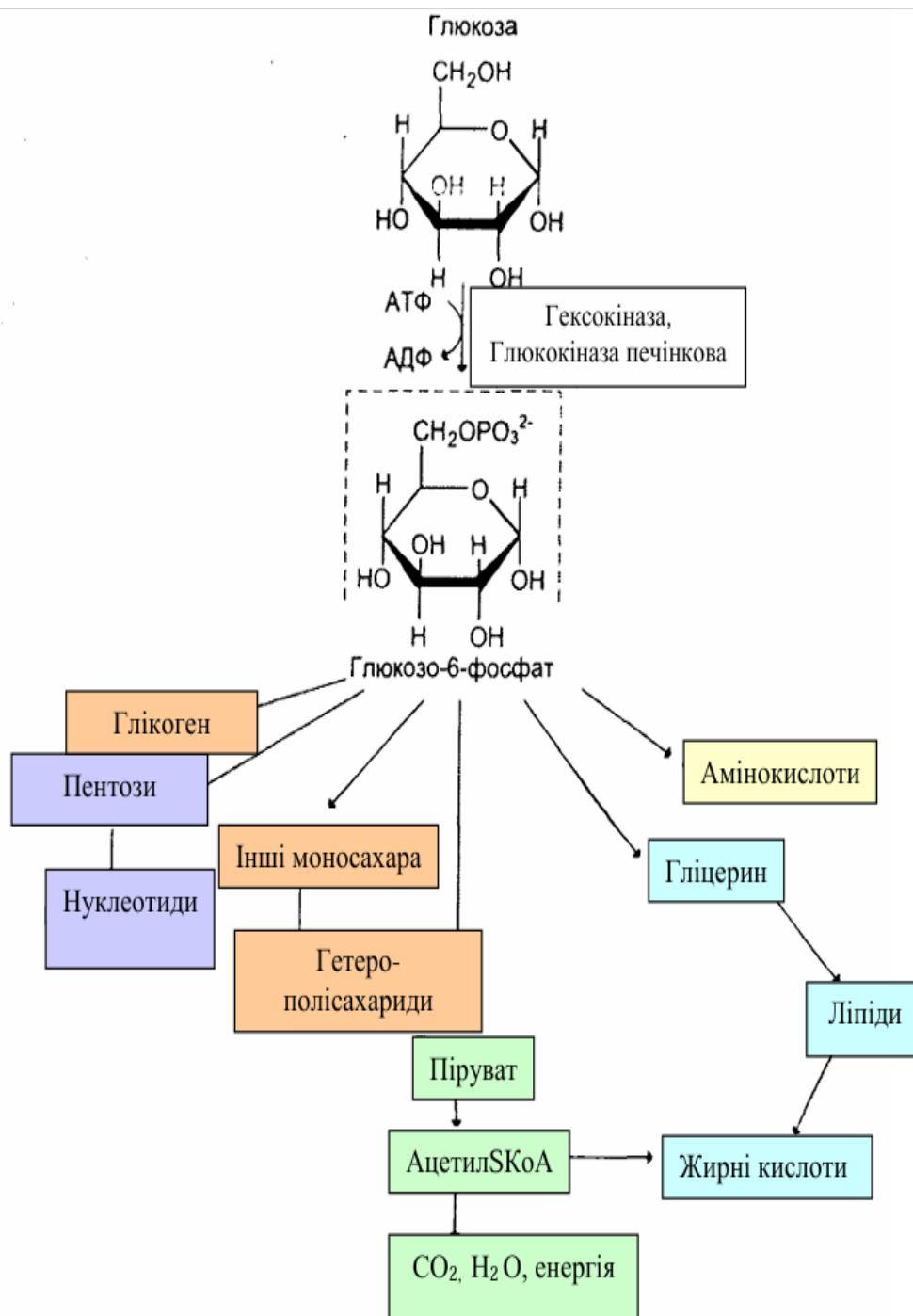
Вуглеводи є найбільш доступним джерелом енергії в організмі. В процесі перетравлення їжі вуглеводи розщеплюються до глюкози, яка з кров'ю постачається до клітин і засвоюється ними, приймаючи участь у будові клітинних мембран та в енергетичному обміні. Із надлишків глюкози в печінці синтезується глікоген, який накопичується в тканинах печінки та у м'язах як депо вуглеводів організму. Зайві вуглеводи можуть також накопичуватись у вигляді жирових відкладень організму. При недостатці вуглеводів у їжі вони шляхом катаболізму можуть утворюватись із жирових відкладень або із білків і жирів їжі.

**Глюкоза** є центральним моносахаридом, а фруктоза та галактоза завдяки наявності специфічних ензимів, зазвичай можуть перетворюватись та залучатись до її обміну.

Перша і універсальна реакція утилізації глюкози в клітині – реакція фосфорилування. Її каталізують гексокіназа, а в печінці – глюкокіназа. Ферменти мають різну субстратну специфічність і фізико-хімічні властивості. Константа Міхаеліса ( $K_m$ ) для гексокінази – 0,1 ммоль/л, а для глюкокінази печінки – 10 ммоль/л. Причому остання не інгібується продуктом реакції – глюкозо-6-фосфатом!

Утворення глюкозо-6-фосфату в клітинах – «пастка» для глюкози, оскільки мембрана непроникна для цієї активної форми глюкози. Основними напрямками подальших перетворень є: синтез глікогену, катаболізм до  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$  або лактату, синтез пентоз в пентозо-фосфатному циклі. Катаболізм глюкози – джерело енергії для організму. Він складається з її специфічного розпаду в реакціях гліколізу і, після утворення пірувату, відбувається в загальних шляхах катаболізму білків, жирів і вуглеводів.

В той же час, глюкозо-6-фосфат – не тільки субстрат для окиснення, але і матеріал для синтезу нових сполук (рис. 14).



**Рис. 14. Шляхи перетворення глюкози** (Зіменковський та ін., 2022)

ВУГЛЕВОДНИЙ ОБМІН – сукупність хімічних перетворень вуглеводів у процесі біосинтезу та проміжного обміну, з утворенням нових сполук із неуглеводних (гліконеогенез) та перетворенням простих вуглеводів у більш складні. У рослин і деяких бактерій прості вуглеводи (моносахариди) утворюються в процесі фотосинтезу з використанням  $\text{CO}_2$  та енергії світла. Людина і тварини отримують вуглеводи з їжею в готовому вигляді. Це переважно полісахариди (крохмаль, глікоген) та дисахариди (сахароза, лактоза). У травному тракті внаслідок дії ферментів гідролаз (амілаз та глікозидаз) складні

полі- й олігосахариди розщеплюються до моносахаридів (гексоз або пентоз), які всмоктуються у кров і переносяться до клітин різних органів, де відбувається їх внутрішньоклітинне перетворення. Полісахариди розщеплюються також ферментами фосфорилазами з утворенням глюкозо-1-фосфату. Деградація гексоз (переважно глюкози) у клітинах здійснюється кількома метаболічними шляхами. За анаеробних умов глюкоза зазнає гліколізу, який може завершуватися бродінням, тоді як за аеробних умов продукти гліколізу окиснюються через цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса, або цикл лимонної кислоти) та дихальний ланцюг до кінцевих продуктів —  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Крім того, частина глюкози може метаболізуватися пентозофосфатним шляхом, який забезпечує утворення НАДФН і пентоз, необхідних для біосинтетичних процесів. Проміжні продукти їх обміну використовуються у біосинтезі жирів, амінокислот, структурних компонентів клітин тощо. Розщеплення вуглеводів забезпечує утворення макроергічних сполук (зокрема аденозинтрифосфату), необхідних для процесів життєдіяльності організмів.

Бродіння і гліколіз – це анаеробні (без участі кисню) шляхи розщеплення моносахаридів. Кінцевими продуктами процесу бродіння є етанол, вищі спирти, масляна або пропіонова кислоти; а гліколізу та молочнокислого бродіння – молочна кислота. Перетворення моносахаридів починається з фосфорилування, що каталізується ферментом гексокіназою. На наступному етапі анаеробного процесу відбувається повторне фосфорилування з утворенням дифосфорного ефіру фруктози, який розщеплюється альдолазою на 2 фосфотріози. Потім внаслідок внутрішньо-молекулярних окисно-відновлюючих реакцій послідовно утворюються фосфогліцерінова і фосфоенолпіровиноградна кислоти. Ці реакції супроводжуються зв'язуванням фосфату. При перенесенні залишку фосфорної кислоти на аденозиндифосфат утворюється аденозинтрифосфат. Під час спиртового бродіння піровиноградна кислота (піруват) за участю піруватдекарбоксилази утворює  $\text{CO}_2$  та оцтовий альдегід, який відновлюється алкогольдегідрогеназою в етанол. У процесі гліколізу та молочнокислого бродіння піруват відновлюється в молочну кислоту (лактат) з участю ферменту лактатдегідрогенази. Кінцевим продуктом анаеробного перетворення глюкози (гліколіз) або глікогену (глікогеноліз) в тканинах тварин є лактат. В аеробних умовах піруват декарбоксилюється з використанням кисню (окисне декарбоксилювання) за участі піруватдекарбоксилазного комплексу, до складу якого входять 3 ферменти і 5 коферментів. Внаслідок цієї реакції утворюється ацетилкофермент А (ацетил-КоА). Ацетильний залишок розщеплюється до  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$  у циклі трикарбонових кислот, відіграє центральну роль в інтеграції катаболічних та анаболічних процесів у живій клітині.

До вторинних шляхів розщеплення глюкози, що призводять до утворення біологічно активних метаболітів, належить пентозофосфатний цикл. Для нього характерні синтез необхідних для інших реакцій метаболізму фосфорних ефірів моносахаридів (пентоз, тріоз тощо) та відновленої форми нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату (НАДФН), необхідного для багатьох синтетичних процесів, наприклад, для синтезу жирних кислот, стероїдів; перетворення глюкози на глюкуронову кислоту; перетворення глюкози на аскорбінову кислоту (крім людини, мавп, мурчаків та деяких інших хребетних).

В умовах нормального клітинного дихання аеробне окислення є домінантним для більшості тканин тварин організмів і найбільш ефективним з точки зору енергетичної цінності метаболізму глюкози.

Біосинтез вуглеводів відбувається з участю сполук неуглеводної природи (пірувату, лактату, деяких амінокислот, гліцерину, проміжних метаболітів циклу трикарбонових кислот) – процес гліконеогенезу, та з утворенням високомолекулярних полісахаридів. Реакції гліконеогенезу є оборотними реакціями гліколізу (окрім 3-х необоротних реакцій). Рослини та багато мікроорганізмів можуть синтезувати глюкозу із жирних кислот через ацетил-КоА завдяки гліоксилатному циклу. Гліконеогенез є важливим фізіологічним процесом, оскільки через відсутність у харчовому раціоні вуглеводів попередниками глюкози та глікогену можуть бути інші сполуки. Значна роль гліконеогенезу в адаптації до дії екстремальних факторів: зниження температури, фізичного, нервово-психологічного навантаження. Синтез оліго- і полісахаридів відбувається за участю різних глікозилтрансфераз шляхом переносу глікозильного залишку з нуклеозиддифосфату цукру на вільний моносахарид або на кінцевий залишок моносахариду у складі оліго- та полісахариду з метою його подовження.

В організмі людини і тварин значна роль в обміні вуглеводів належить печінці, де накопичується глікоген, що є резервною формою глюкози. У печінці постійно синтезується і розщеплюється глікоген, поставляючи глюкозу у кров. Вільна глюкоза надходить у кров і використовується в інших органах і тканинах. Усі біохімічні реакції утворення оліго- та полісахаридів потребують наявності активних форм моносахаридів, зокрема сполучених з цукрами нуклеотидів. Крім печінки, глікоген накопичується і в скелетних м'язах. Він забезпечує власні енергетичні потреби цих тканин та постійний рівень глюкози (печінка) в перервах між споживанням їжі. Моносахариди крові (в основному глюкоза) використовуються переважно для енергетичних потреб (70 %), а також для біосинтезу інших хімічних сполук (ліпідів, антитіл, мукополісахаридів тощо).

Шляхи регуляції вуглеводного обміну дуже різноманітні. Важливу регуляторну роль у підтриманні нормального рівня глюкози в крові відіграють



гормони підшлункової залози – інсулін та глюкагон, а також гормон мозкового шару надниркової залози – адреналін. Інсулін – гормон  $\beta$ -острівкової тканини підшлункової залози – є антагоністом адреналіну та глюкагону. Інсулін сприяє синтезу глікогену в печінці та м'язах, окисленню моносахаридів і перетворенню їх у жири. У разі нестачі інсуліну спостерігається підвищення глюкози в крові (гіперглікемія), надлишкове виведення глюкози із сечею (глюкозурія) та зниження кількості глікогену в печінці. Постійна гіперглікемія та глюкозурія є одним із симптомів цукрового діабету. У регуляції вуглеводного обміну також беруть участь гормони передньої частки гіпофізу (соматотропін), кори надниркової залози (кортикостерон, кортизол), щитоподібної залози (тироксин) тощо. Ці гормони сприяють підвищенню глюкози в крові і називаються діабетогенними. У деяких випадках спостерігається зменшення кількості глюкози в крові (гіпоглікемія), пов'язане з підвищенням синтезу інсуліну або голодуванням, а також зі збільшенням навантажень на м'язи. У людини і вищих тварин регуляція всіх стадій синтезу та розщеплення вуглеводів відбувається за участі нервової системи і гормонів.

## *Лабораторна робота № 24*

### **ФЕРМЕНТАТИВНИЙ МЕТОД КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ГЛЮКОЗИ В СИРОВАТЦІ АБО В ПЛАЗМІ КРОВІ**

Кількісне визначення глюкози в крові є одним з основних методів діагностики порушень вуглеводного обміну. Підвищення концентрації глюкози в сироватці крові (гіперглікемія) спостерігається найчастіше при недостатній секреції інсуліну, а також при гіперфункції щитоподібної залози і гіперсекреції гормонів, зокрема, при пухлинах коркового шару надниркових залоз і пухлинах гіпофізу.

Гіпоглікемія може спостерігатися при гіпофункції щитоподібної залози, гіпофізарної кахексії, Аддісоновій хворобі, аденомі підшлункової залози, а також може бути викликана голодуванням, тривалою фізичною роботою або передозуванням інсуліну.

**Мета роботи:** визначити вміст глюкози в досліджуваній сироватці крові ферментативним методом.

**Принцип методу:** глюкоза окислюється киснем повітря в присутності високоспецифічного ферменту – глюкозооксидази з утворенням пероксиду водню. Потім пероксид водню в присутності ферменту пероксидази реагує з 4-аміноантипірином і фенолом. В результаті утворюється забарвлена сполука, оптична щільність якої при 510 нм пропорційна концентрації глюкози в аналізованому зразку.

#### ***Матеріали та реактиви:***

Сироватка крові

Стандартний набір для визначення глюкози в сироватці або плазмі крові

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, крапельниці, штатив для пробірок, водяна баня.

#### **Завдання роботи:**

- ознайомитися з принципом ферментативного методу кількісного визначення глюкози в сироватці або плазмі крові;
- підготувати дослідні, контрольні та калібрувальні зразки біологічного матеріалу;
- провести ферментативну реакцію з використанням специфічних ферментів для окиснення глюкози;
- виміряти оптичну густину реакційної суміші спектрофотометричним методом;
- побудувати калібрувальний графік за стандартними розчинами глюкози;

- розрахувати концентрацію глюкози в досліджуваних зразках сироватки або плазми крові;
- оцінити правильність та відтворюваність отриманих результатів.

### Хід роботи.

| Реагенти                                                                           | Дослід | Стандарт | Контроль |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|----------|
| Глюкозний реактив*, мл                                                             | 3      | 3        | 3        |
| Сироватка крові, мл                                                                | 0,02   | —        | —        |
| Стандартний розчин глюкози (10 ммоль/л), мл                                        | —      | 0,02     | —        |
| H <sub>2</sub> O, мл                                                               |        |          | 0,02     |
| інкубація 15 хв при 37 °С                                                          |        |          |          |
| Фотометруємо проти H <sub>2</sub> O при $\lambda = 510$ нм, товщина кювети 0,5 см) |        |          |          |
| $D_d - D_k = \Delta D$                                                             |        |          |          |

\* 4-аміноантипірин, п-гідроксибензолсульфонат, пероксидаза і глюкозооксидаза, фосфатний буфер (рН 8,0).

Розрахунок вмісту глюкози в сироватці крові здійснюють за формулою:

$$C = \frac{(D_d - D_k) \times 10 (\text{ммоль / л})}{D_c - D_k}$$

Нормальний вміст глюкози в сироватці і плазми крові складає 3,9 – 6,1 ммоль / л, в цільній крові – 3,3 – 5,5 ммоль / л.

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---



---



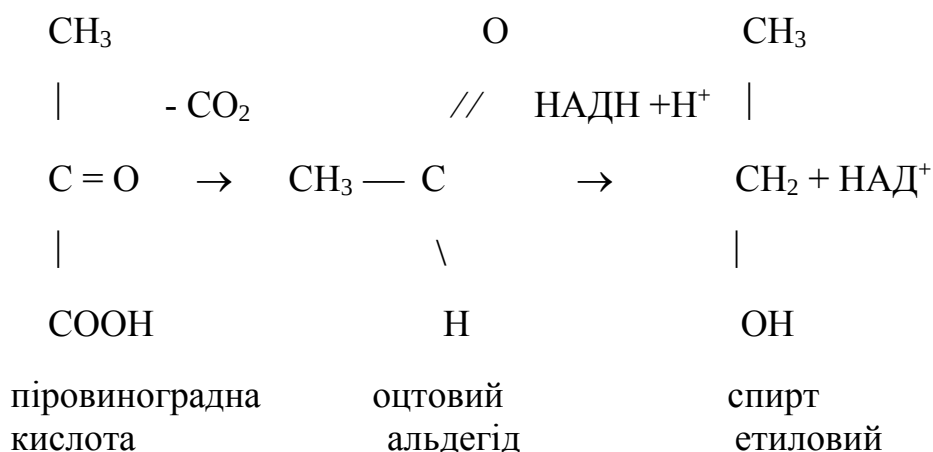
---

## Лабораторна робота № 25

### ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СПИРТОВОГО БРОДІННЯ

**Мета роботи:** дослідити процес спиртового бродіння та визначити його інтенсивність за кількістю утвореного вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) або за швидкістю зменшення концентрації субстрату (цукрів), а також оцінити вплив основних чинників (температури, концентрації цукру, активності дріжджів) на перебіг бродіння.

Спиртовим бродінням називається процес перетворення глюкози в спирт і  $\text{CO}_2$  в анаеробних умовах під впливом мікроорганізмів. За своїм механізмом цей процес дуже близький до гліколізу. До стадії утворення піровиноградної кислоти ці два процеси протікають зовсім аналогічно. У дріжджових клітинах піровиноградна кислота на початку піддається декарбоксилюванню, а потім синтезується оцтовий альдегід, який відновлюється в етиловий спирт за допомогою відновленого НАД.



Внаслідок фосфорилування при бродінні відбувається зв'язування неорганічного фосфату і концентрація останнього знижується.

#### **Матеріали та реактиви:**

Дріжджі

Сахароза

$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$

$\text{KH}_2\text{PO}_4$

3 %- й розчин ТХУ

1 %-й розчин фториду натрію

Молібденовокислий амоній

5 н  $\text{H}_2\text{SO}_4$

0,25 % розчин ейконогену або 0,5 % розчин аскорбінової кислоти

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок, водяна баня, фільтри.

**Завдання роботи:**

- ознайомитися з біохімічними основами спиртового бродіння та роллю дріжджів у цьому процесі;
- підготувати модельну систему для здійснення спиртового бродіння;
- визначити інтенсивність спиртового бродіння за обраним показником (об'єм/маса  $\text{CO}_2$ , зміна густини або концентрації цукру);
- дослідити залежність інтенсивності бродіння від часу інкубації;
- проаналізувати вплив температури та концентрації субстрату на швидкість бродіння;
- зробити висновки щодо оптимальних умов перебігу спиртового бродіння.

**Хід роботи.** 1 г дріжджів розтерти у ступі з 1 г сахарози і 5 мл води, додаючи 5 мл фосфорнокислих солей (розчин, котрий містить 60 г  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  і 20 г  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  у 1 л), ретельно перемішати. Відбирати 2 мл отриманої суспензії й осадити білки, додавши 3 мл 3 % розчину ТХУ (проба № 1). Іншу суспензію перенести в дві пробірки в однакових кількостях. Долити в одну пробірку 1 мл 1 % розчину фторида натрію, у другу 1 мл води. Помістити у водяну баню при 37 °С. Через 30 хв., а потім ще через 30 хвилин відміряти з кожної пробірки по 1 мл суспензії (проби № 2, 3 і № 4, 5) і осадити кожен пробу 3 мл ТХУ. Відфільтрувати кожен пробу через складчастий фільтр, відміряти у мірні колбочки по 1 мл фільтрату і долити з бюретки по 10 мл води. Додати по 1 мл розчину молібденовокислого амонію (2,5 % розчин 5 н  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), по 0,5 мл 0,25 % розчину ейконогену або 0,5 % розчину аскорбінової кислоти, довести водою до мітки (25 мл), перемішати і залишити на 15 хвилин. Розвивається синє забарвлення. Інтенсивність кольору тим слабкіше, чим пізніше узята проба, що вказує на зменшення концентрації неорганічного фосфату в ході розвитку процесу бродіння.

Концентрацію неорганічного фосфату визначити колориметрично.

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---

---

---

---

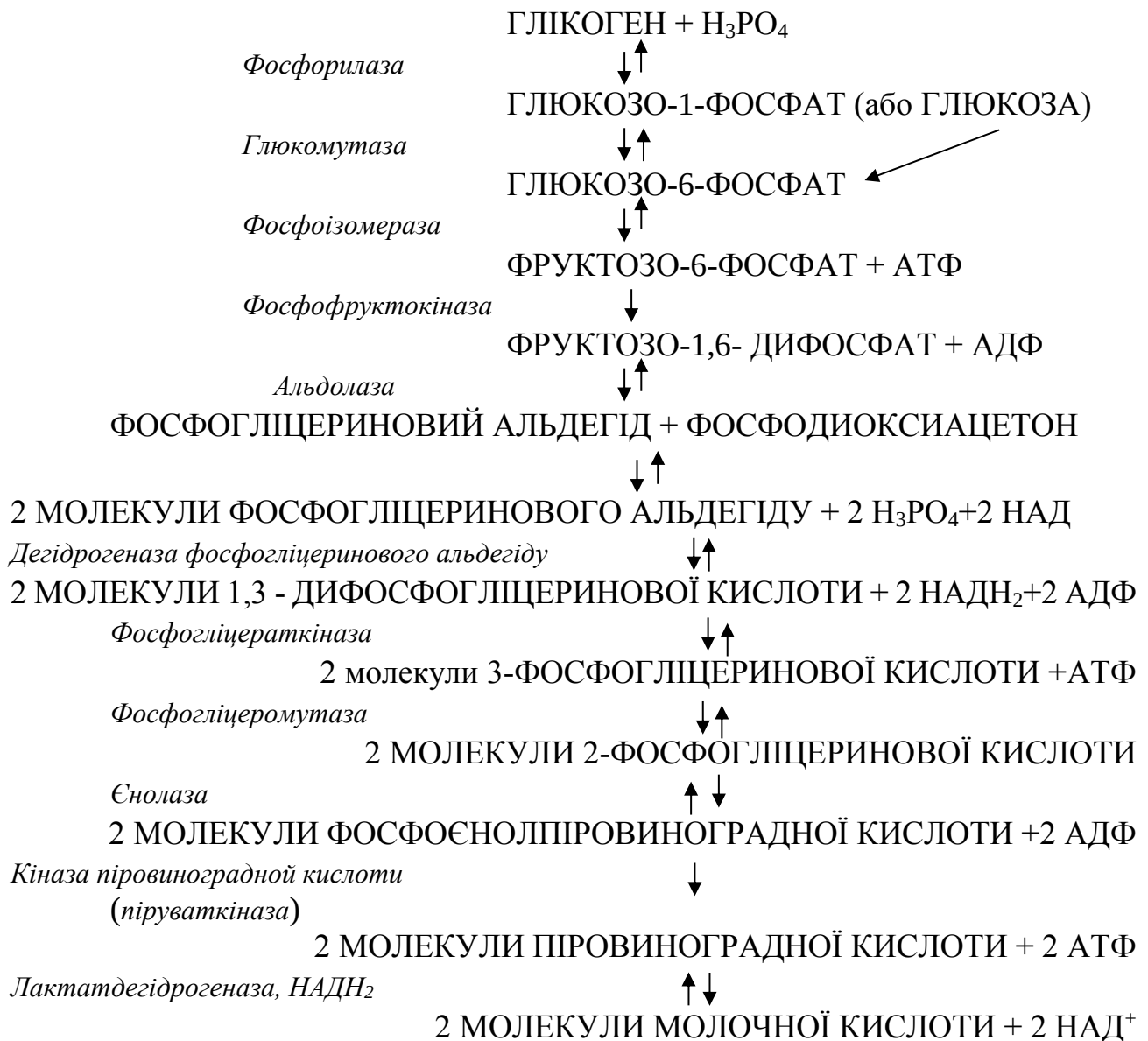
---

## Лабораторна робота № 26

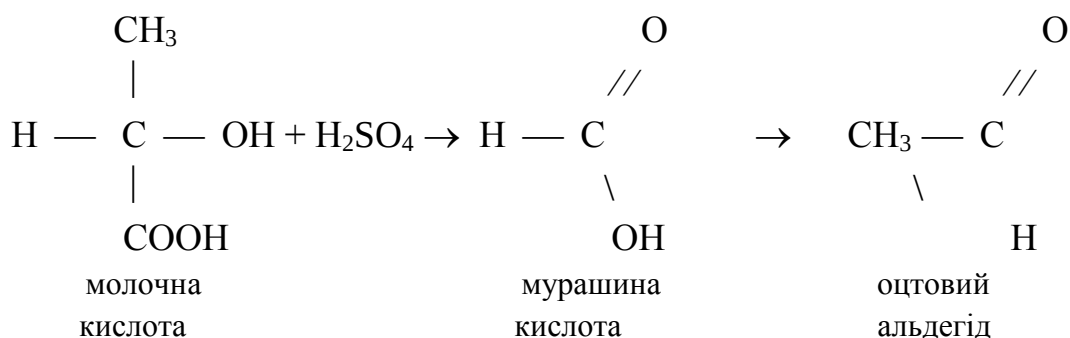
### АНАЕРОБНИЙ РОЗПАД ГЛІКОГЕНУ ДО МОЛОЧНОЇ КИСЛОТИ

**Мета роботи:** дослідити біохімічні особливості анаеробного розпаду глікогену до молочної кислоти (анаеробного глікогенолізу та гліколізу), а також експериментально підтвердити утворення молочної кислоти за умов дефіциту кисню. Якщо до м'язової кашки додати розчин глікогену чи крохмалю і створити сприятливі умови середовища, температури й анаеробіозу, то через якийсь час у суміші можна знайти молочну кислоту. Утворення молочної кислоти обумовлено наявністю в м'язовій кашці гліколітичних ферментів, каталізуючих розщеплення крохмалю через ряд проміжних етапів до молочної кислоти.

Схематичний процес анаеробного розщеплення вуглеводів у м'язах можна представити в такий спосіб.



Для виявлення молочної кислоти її переводять в оцтовий альдегід за допомогою концентрованої сірчаної кислоти:



Оцтовий альдегід відкривають кольоровою реакцією з вератролом (диметиловий ефір пірокатехіна). Можна використовувати розчин гваяколу (монометиловий ефір пірокатехіна).

### ***Матеріали та реактиви:***

М'язова тканина

Фосфатний буфер pH 8,0

5 % розчин метафосфорної кислоти

0,5 % розчин глікогену або крохмалю

Вазелінова олія

Гідроксид кальцію

Напівнасичений розчин сірчаної кислоти міді

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> конц.

0,2 % спиртовий розчин вератролу чи гваяколу

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок, водяна баня, фільтри.

### ***Завдання роботи:***

- ознайомитися з етапами анаеробного розпаду глікогену та роллю ключових ферментів процесу;
- підготувати біологічну або модельну систему для перебігу анаеробного гліколізу;
- створити анаеробні умови для проведення досліду;
- визначити утворення молочної кислоти як кінцевого продукту анаеробного розпаду глікогену;
- оцінити інтенсивність процесу за кількістю накопиченої молочної кислоти;
- зробити висновки щодо біологічного значення анаеробного розпаду глікогену.

**Хід роботи.** У дві пробірки (контрольну і дослідну) помістити по 0,5 г свіжоприготовленої м'язової кашки (зі свіжого м'яса) і 3 мл фосфатного буферу

pH 8,0. У першу (контрольну) пробірку додати 2 мл 5 % розчину метафосфорної кислоти для руйнування ферментів м'язової тканини і 1 мл дистильованої води. В другу пробірку (дослідну) додати 1 мл 0,5 % розчину глікогену чи крохмалю. В обидві пробірки налити по 10 крапель вазелінової олії для створення анаеробних умов. Пробірки помістити у термостат при температурі 37 °C на 1 годину. Через годину їх виймають і в другу (дослідну) пробірку додати 2 мл 5 % розчину метафосфорної кислоти для припинення дії ферментів. Вміст пробірок відфільтрувати через паперовий фільтр у дві чисті пронумеровані пробірки. До отриманого фільтрату додати 0,5 г гідроокису кальцію і 1 мл напівнасиченого розчину сірчаноокислої міді для осадження вуглеводів, що є присутніми у фільтрах. Пробірки треба часу від часу збовтувати. Через 15 хвилин осад вуглеводів, що випав, відфільтрувати і отримати два прозорих фільтрати: контрольний і дослідний.

З фільтратами провести реакцію на присутність молочної кислоти. Для цього в дві чисті пронумеровані пробірки відібрати: у першу – 10 крапель фільтрату контрольної проби, у другу – 10 крапель фільтрату дослідної проби. Пробірки помістити у крижану баню й обережно, по краплях, додати у кожен пробірку концентровану сірчану кислоту (приблизно 30-50 крапель). Сильне перегрівання може привести до обвуглювання молочної кислоти. Для прискорення процесу окислювання молочної кислоти обидві пробірки перенести у киплячу баню на 4-5 хвилин і потім швидко охолодити у крижаній воді. У кожен пробірку до охолоджених рідин додати по 3 краплі 0,2 % спиртового розчину вератролу чи гваяколу. Через якийсь час у дослідній пробі, де під впливом ферментів м'язової тканини відбувся гліколіз, з'являється червоне забарвлення, а в контрольній пробі, де ферменти зруйновані, – рожеве. Поява слабого забарвлення в контрольній пробі обумовлена присутністю у самій м'язовій кашці слідів молочної кислоти, що утворилася до початку дослідів.

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---

---

---



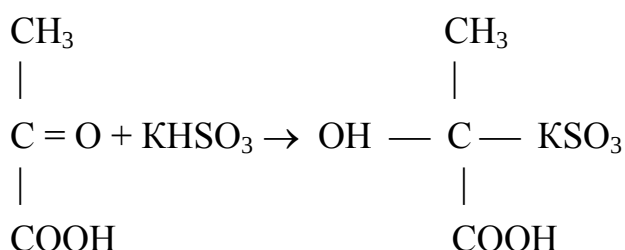
## Лабораторна робота № 27

### ВИЗНАЧЕННЯ ПІРОВИНОГРАДНОЇ КИСЛОТИ В СИРОВАТЦІ КРОВІ

**Мета роботи:** опанувати методику кількісного визначення піровиноградної кислоти в сироватці крові та оцінити її вміст як показника стану вуглеводного обміну і перебігу гліколізу.

Піровиноградна кислота – нормальна складова частина плазми крові (0,8-1,5 мг %). При нестачі вітаміну В<sub>1</sub> і викликаному внаслідок цього порушенні процесу декарбоксилювання кетокислот значно збільшується вміст піровиноградної кислоти в крові, мозку й інших тканинах.

Піровиноградна кислота в кислому середовищі утворює дисульфідну сполуку з кислими солями сірчистої кислоти (бісульфітом калію чи натрію):



Сіль сірчистої кислоти беруть у деякому надлишку, що потім зв'язується йодом.



Бісульфітна сполука піровиноградної кислоти руйнується в лужному середовищі, при цьому звільняється бісульфіт, кількість якого еквівалентно вмісту піровиноградної кислоти. Кількість бісульфіту, що звільнився, визначають титруванням йодом.

#### **Матеріали та реактиви:**

Сироватка крові

Розчин бісульфіту калію або натрію

0,01 н розчин йоду

0,1 н розчин тіосульфату натрію (гіпосульфиту)

Насичений розчин двовуглекислого натрію

**Обладнання.** Скляні палички, пробірки, піпетки градуйовані, штатив для пробірок.

#### **Завдання роботи:**

- ознайомитися з біохімічною роллю піровиноградної кислоти в обміні речовин;
- підготувати зразки сироватки крові для аналізу;

- провести реакцію визначення піровиноградної кислоти відповідно до методики;
- виміряти оптичну густину утвореного забарвленого комплексу;
- побудувати калібрувальний графік за стандартними розчинами піровиноградної кислоти;
- розрахувати концентрацію піровиноградної кислоти в сироватці крові;
- проаналізувати та оцінити отримані результати.

**Хід роботи.** У конічну колбу на 25 мл ввести піпеткою 1 мл сироватки крові, додати 10 крапель розчину бісульфіту калію чи натрію, суміш збовтати і колбу помістити у темне місце на 15 хвилин. Після закінчення зазначеного часу надлишок бісульфіту зв'язують 0,1 н розчином йоду, додаючи його краплями (у присутності крохмалю) до появи синього кольору. Для видалення надлишку йода додати по краплях 0,01 н розчин тіосульфату натрію (гіпосульфіту) до знебарвлення вмісту колби, після чого додати (також по краплях) 0,01 н розчин йоду (для зв'язування надлишку тіосульфату) до появи синього забарвлення від останньої краплі розчину. Потім додати 10 крапель насиченого розчину двовуглекислого натрію (синє фарбування зникає) і рідину колби титрувати (з мікробюретки) 0,01 н розчином йоду до відновлення синього кольору, що зберігається 20-30 секунд. Вміст піровиноградної кислоти в мг % розрахувати по формулі.

$$X = \frac{EA \times 0,01}{I} \times 100$$

- де Е – грам-еквівалент піровиноградної кислоти;  
 А – кількість 0,01 н розчину йоду, витрачена на титрування, мл;  
 0,01 – нормальність розчину йоду;  
 І – кількість сироватки крові, яка взята для дослідження, мл.

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---



---



---

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке обмін вуглеводів і яка його роль в організмі?
2. Які основні джерела вуглеводів у харчуванні?
3. Які основні форми вуглеводів містяться в крові?
4. Які основні етапи травлення вуглеводів у шлунково-кишковому тракті?

5. Які ферменти беруть участь у розщепленні вуглеводів (амілаза, мальтаза, лактаза, сахараза)?
6. Як відбувається всмоктування глюкози у кишечнику?
7. Які основні субстрати глюконеогенезу (лактат, гліцерол, амінокислоти)?
8. Які ключові ферменти глюконеогенезу відрізняються від гліколізу?
10. Що таке гліколіз і де він відбувається?
11. Які основні етапи гліколізу (активація, розщеплення, енергетичний етап)?
12. Які ключові ферменти гліколізу (гексокіназа, фосфофруктокіназа, піруваткіназа)?
13. Який кінцевий продукт гліколізу при аеробних умовах і при анаеробних?
14. Як піруват переходить у ацетил-КоА (піруватдегідрогеназний комплекс)?
15. Яка роль циклу Кребса в обміні вуглеводів?
16. Як глюкоза забезпечує утворення АТФ через окислення в мітохондріях?
17. Що таке глікоген і де він накопичується?
18. Які ферменти відповідають за синтез глікогену (глікогенсинтетаза)?
19. Які ферменти відповідають за розщеплення глікогену (глікогенфосфорилаза)?
20. Яка роль гормонів (інсулін, глюкагон, адреналін) у регуляції глікогену?
21. Що таке пентозофосфатний шлях (пентозофосфатний цикл)?
22. Яка його роль у синтезі нуклеотидів та NADPH?
23. Які ключові ферменти цього шляху?

### **Рекомендована література**

1. Белчгазі В. Й., Сікура А. О., Глюдзик М. Ю. Біологічна хімія : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів біологічного факультету денної та заочної форми навчання / упорядники. Ужгород, 2017. 55 с.
2. Боєчко Ф. Ф., Боєчко Л. О., Шмиголь І. В. Лабораторний практикум з біохімії : навчально-методичний посібник. Черкаси : Вид-во СНУ імені Богдана Хмельницького, 2012. 196 с.
3. Божко Н. В., Чорна І. В. Метаболізм вуглеводів : конспект лекцій. Суми : Сумський державний університет, 2022. 89 с.
4. Мельничук Д. О., Мельничук С. Д., Калачнюк Л. Г., Шевряков М. В., Калачнюк Г. І. Біохімія : практикум / за загальною редакцією акад. НАН України і НААН України Д. О. Мельничука. Київ : НУБіП України, 2012. 528 с.
5. Остапченко Л. І., Компанець І. В., Скопенко О. В. та ін. Біоорганічна хімія. Практикум : навчальний посібник. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2019. 400 с.

## РОЗДІЛ VIII. ХІМІЯ ТА ОБМІН ЛІПІДІВ

### ТЕМА 1. СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ НЕЙТРАЛЬНИХ ЛІПІДІВ

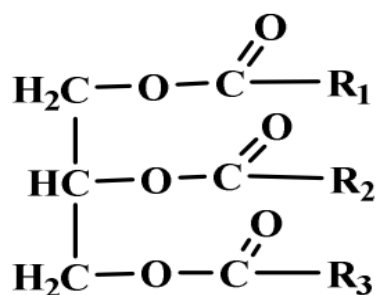
**Мета:** ознайомитися з хімічною будовою та фізико-хімічними властивостями ліпідів.

**Питання для підготовки та обговорення:**

1. Що таке нейтральні ліпіди, і які їхні основні структурні компоненти?
2. Чим триацилгліцериди відрізняються від восків за хімічною структурою?
3. Які зв'язки формуються між гліцерином та жирними кислотами у нейтральних ліпідах?
4. Які фактори впливають на температуру плавлення нейтральних ліпідів?
5. Як ступінь насиченості жирних кислот впливає на їхню фізичну форму (тверді чи рідкі)?
6. Чому нейтральні ліпіди гідрофобні та нерозчинні у воді?
7. Чому нейтральні ліпіди є основною формою запасу енергії у тваринних клітинах?
8. Які переваги накопичення енергії у вигляді нейтральних ліпідів порівняно з вуглеводами?
9. Які основні групи нейтральних ліпідів існують?
10. Які функції виконують воски в природі?
11. Які властивості нейтральних ліпідів використовуються у виробництві харчових продуктів, косметики чи фармацевтики?
12. Які джерела нейтральних ліпідів найбільш поширені у харчуванні?

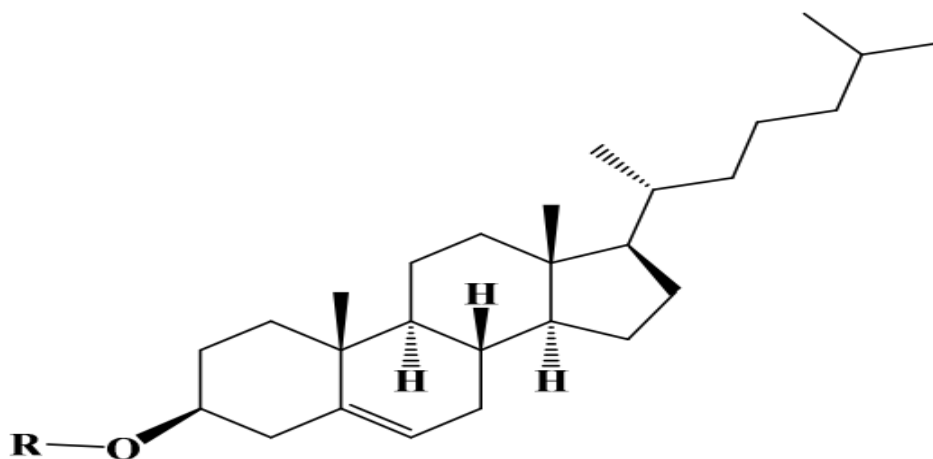
Загальні відомості про ліпіди. **Ліпіди** – це різноманітні за будовою природні органічні сполуки, яким притаманні гідрофобні властивості, зумовлені наявністю в їх молекулах залишків жирних кислот, спиртів і альдегідів. Ліпіди є головними структурними компонентами біомембран клітин мікроорганізмів, рослин і тварин, а також виконують в організмі інші важливі функції. За хімічною будовою та властивостями всі ліпіди поділяються на три групи: нейтральні ліпіди, фосфоліпіди, сфінголіпіди. За альтернативною класифікацією, яка також використовується, ліпіди поділяються на прості (нейтральні жири (ацилгліцерили), воски, ефіри холестеролу), складні (фосфоліпіди – гліцерофосфоліпіди й сфінгофосфоліпіди, та гліколіпіди – гліцерогліколіпіди й сфінгогліколіпіди) та похідні ліпідів (жирні кислоти, жовчні кислоти, стероїдні гормони, холекальциферол, ейкозаноїди).

**Структура і функції нейтральних ліпідів.** До нейтральних ліпідів, або жирів, відносять похідні гліцеролу та вищих жирних кислот, спиртів і альдегідів із загальною формулою:



Це триацилгліцероли, алкілацилгліцероли, нейтральні плазмалогени, діольні ліпіди, гліколіпіди та інші ліпіди, молекули яких не містять заряджених чи полярних функціональних груп. До цієї ж групи належать і етери холестеролу (рис. 15).

Нейтральні ліпіди виконують в організмах ряд функцій, головною з яких безумовно є резервна, або енергетична (триацилгліцероли). Завдяки гідрофобності жири, що синтезуються рослинами, зберігаються в цитоплазмі їхніх клітин у формі дрібнодисперсних емульгованих маслянистих крапельок.



**Рис. 15. Структурна формула холестеролу [Остапченко, 2019]**

В адипоцитах жирової тканини тварин синтезовані триацилгліцероли заповнюють більшу частину цитоплазми. В жировій тканині, на долю якої в організмі дорослої людини середньої ваги припадає майже 15% маси тіла, може акумулюватися до 9-10 кг триацилгліцеролів. У разі повного окиснення такої кількості жиру звільнилося би більше 350 000 кДж енергії. Крім енергетичної, нейтральні ліпіди виконують в організмі тварин ще ряд важливих функцій: захисну, утворюючи амортизаційний і теплоізолюючий шар під шкірою та навколо внутрішніх органів; регуляторну (похідні холестеролу, вищих жирних кислот); метаболічну, забезпечуючи організми в разі потреби ендогенною водою (при окисненні 1 г жиру утворюються 38,9 кДж енергії і 1 г H<sub>2</sub>O).

## *Лабораторна робота № 28*

### **ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖИРІВ**

**Мета роботи:** проаналізувати характерні реакції та пояснити розчинність нейтральних жирів в залежності від структури і умов проведення реакції. Пояснити механізм утворення емульсії в залежності від умов проведення реакції.

Більшість природних жирів – це складні суміші простих та змішаних триацилгліцеролів, що вміщують вищі жирні кислоти, спирти та альдегіди, які різняться між собою довжиною вуглеводневого ланцюга, ступенем ненасиченості, характером розміщення подвійних зв'язків, наявністю оксо- та гідроксигруп у молекулі. Жирні кислоти в природних жирах майже завжди мають парну кількість атомів карбону, найчастіше з 16 (пальмітинова кислота) та 18 атомами (стеаринова кислота). За наявністю або відсутністю подвійних (або потрійних) зв'язків у молекулі жирні кислоти поділяють на ненасичені та насичені. В залежності від кількості подвійних зв'язків у молекулах ненасичені жирні кислоти називають моно-, ди-, триєновими (полієновими). При температурі тіла ненасичені жирні кислоти є рідинами, насичені вищі жирні кислоти з числом атомів карбону від 12 до 24 перебувають у твердому воскоподібному стані. Хімічні властивості триацилгліцеролів обумовлені властивостями присутніх в їх молекулах вищих жирних кислот, альдегідів та спиртів.

#### *Дослід 1. Вивчення розчинності жирів*

**Принцип методу.** Всі жири нерозчинні у воді, але добре розчиняються в багатьох органічних розчинниках: диетиловому і петролейному етерах, ацетоні, бензолі, хлороформі тощо. При інтенсивному змішуванні жирів із водою утворюються емульсії (тонкодисперсний розподіл ліпідів у воді), стійкість яких обумовлена властивостями середовища. Присутність у воді емульгаторів – жовчних кислот, мила, карбонатів та ін. – підвищує стійкість емульсій. Це зумовлене тим, що поверхнево-активні частинки емульгаторів спрямовуються в поверхневий водяний шар, який оточує жирові краплинки, обволікають ці краплинки і перешкоджають їх злиттю.

#### ***Матеріали та реактиви:***

Олія

Спирт

Бензол

Хлороформ

Етилацетат

1 %-й розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

1 %-й розчин  $\text{NaHCO}_3$

Лецитин

Жовч

**Обладнання.** Штатив з пробірками, крапельниці, піпетки.

**Завдання дослідів:**

- вивчити будову жирів, їхню молекулярну полярність та інші характеристики, що впливають на розчинність;
- пояснити принцип «подібне розчиняє подібне» в контексті жирів і розчинників;
- фіксувати в таблиці результати дослідів, відзначаючи ступінь розчинності жирів у кожному розчиннику.

**Хід роботи**

1. В п'ять пробірок з притертими пробками налити по 0,5 мл рослинної олії і додати: у першу пробірку – 5 мл води, в другу – 5 мл етанолу, в третю – 5 мл бензолу, в четверту – 5 мл хлороформу, в п'яту – 5 мл етилацетату. Пробірки закрити пробками, інтенсивно струсити і спостерігати: у першій пробірці розподілення олії та води на два шари, у другій – утворення каламуті завдяки недостатній розчинності олії у спирті, в третій, четвертій п'ятій – прозорі розчини.

**Спостереження ввести до таблиці:**

| Варіант дослідів | № пробірки | Реактиви (мл)        |        |        |           |            | Ступінь розчинності |
|------------------|------------|----------------------|--------|--------|-----------|------------|---------------------|
|                  |            | $\text{H}_2\text{O}$ | Етанол | Бензол | Хлороформ | Етилацетат |                     |
| Олія (0,5 мл)    | 1          | 5                    | -      | -      | -         | -          |                     |
|                  | 2          | -                    | 5      | -      | -         | -          |                     |
|                  | 3          | -                    | -      | 5      | -         | -          |                     |
|                  | 4          | -                    | -      | -      | 5         | -          |                     |
|                  | 5          | -                    | -      | -      | -         | 5          |                     |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення дослідів можна ознайомитись за посиланнями:

[https://www.youtube.com/watch?v=ViQ4aXIQHKc&list=PL3jLhUbIdcGd-olqe6f0\\_QJrXN92Q7RGq&index=1](https://www.youtube.com/watch?v=ViQ4aXIQHKc&list=PL3jLhUbIdcGd-olqe6f0_QJrXN92Q7RGq&index=1)

<https://www.youtube.com/watch?v=sLHd9znDv8I>

[https://www.youtube.com/watch?v=Qeibm16KAnY&list=PL3jLhUbIdcGd-olqe6f0\\_QJrXN92Q7RGq&index=2](https://www.youtube.com/watch?v=Qeibm16KAnY&list=PL3jLhUbIdcGd-olqe6f0_QJrXN92Q7RGq&index=2)

<https://www.youtube.com/watch?v=Oxgu5qb2xul&t=36s>

2. В п'ять хімічних пробірок ввести по 5 мл води, в другу пробірку додати 2 мл 1 %-го розчину карбонату натрію, в третю пробірку – 2 мл 1 %-го розчину гідрокарбонату натрію, в четверту пробірку – на кінчику лопатки лецитин, в п'яту пробірку – жовч (декілька крапель). Всі пробірки енергійно струсити і додати по 4 краплі олії. Струсити, залишити на 5 хвилин і спостерігати утворення емульсій. Відмітити різницю стійкості емульсій у пробірках.

**Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Реактиви (мл) |                  |                                 |                    |                        |      | Характер емульсії |
|------------|---------------|------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------|------|-------------------|
|            | Олія          | H <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | NaHCO <sub>3</sub> | Лецитин                | Жовч |                   |
| 1          | 4 краплі      | 5                | -                               | -                  | -                      | -    |                   |
| 2          | 4 краплі      | 5                | 2                               | -                  | -                      | -    |                   |
| 3          | 4 краплі      | 5                | -                               | 2                  | -                      | -    |                   |
| 4          | 4 краплі      | 5                | -                               | -                  | + (на кінчику лопатки) | -    |                   |
| 5          | 4 краплі      | 5                | -                               | -                  | -                      | +    |                   |

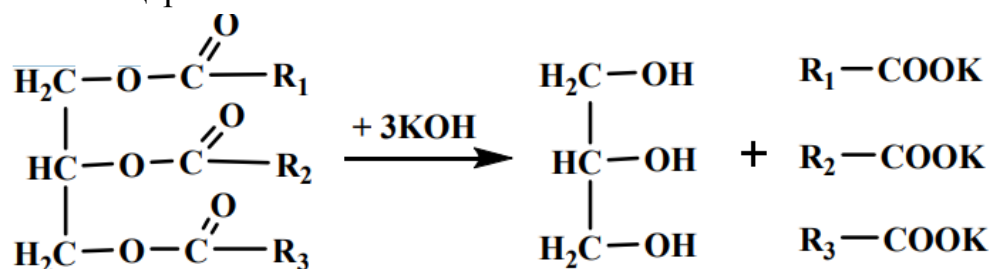
**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланнями:

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_lNgsZSjD9I&list=PL3jLhUbIdcGd-olqe6f0\\_QJrXN92Q7RGq&index=5](https://www.youtube.com/watch?v=_lNgsZSjD9I&list=PL3jLhUbIdcGd-olqe6f0_QJrXN92Q7RGq&index=5)  
<https://www.youtube.com/watch?v=Oxgu5qb2xuI&t=36s>

## Дослід 2. Утворення мила

**Принцип методу.** При нагріванні з розчином лугу жири гідролізуються, утворюючи гліцерол і мила:



**Матеріали та реактиви:**

Олія

50 %-й спиртовий розчин KOH (NaOH)

**Обладнання.** Колба об'ємом 50 мл, піпетки, газовий пальник



**Завдання досліду:**

- вивчити хімічну реакцію омилення (гідроліз жирів або олій у присутності розчину лугу);
- розглянути механізм реакції, визначити роль кожного реагенту;
- оцінити ефективність проведеної реакції, якість отриманого мила (наприклад, ступінь омилення, м'якість продукту).

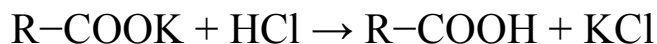
**Хід роботи.** В колбу ввести 1 мл рослинної олії, додати 20 мл 50 %-го спиртового розчину КОН, перемішати і прокип'ятити протягом години. Після закінчення омилення суміш перелити у мірний циліндр і довести водою до об'єму 20 мл.

**Отриманий розчин калієвого мила використати для наступних реакцій.**

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення дослідів можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=Oxgu5qb2xuI&t=36s>

**Дослід 3. Утворення вільних жирних кислот**

**Принцип методу:** З розчинами концентрованих мінеральних кислот, зокрема, соляної, мила утворюють вільні жирні кислоти:

**Матеріали та реактиви:**

Розчин калієвого мила (отриманий в досліді 2)

Концентрована HCl або H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**Обладнання.** Пробірки, піпетки.

**Завдання досліду:**

- вивчити механізм гідролізу жирів (омилення або кислотний гідроліз), внаслідок якого утворюються вільні жирні кислоти та гліцерин;
- зробити відповідний висновок.

**Хід роботи.** В пробірку ввести 5 мл розчину калієвого мила і додати 1 мл концентрованої соляної кислоти. Спостерігати за утворенням жирних кислот, які збираються у верхньому шарі суміші.

**Спостереження ввести до таблиці:**

| № пробірки | Реактиви (мл) |                                           | Виділення жирних кислот |
|------------|---------------|-------------------------------------------|-------------------------|
|            | Мило          | HCl (або H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) |                         |
| 1          | 5             | 1                                         |                         |

**Зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

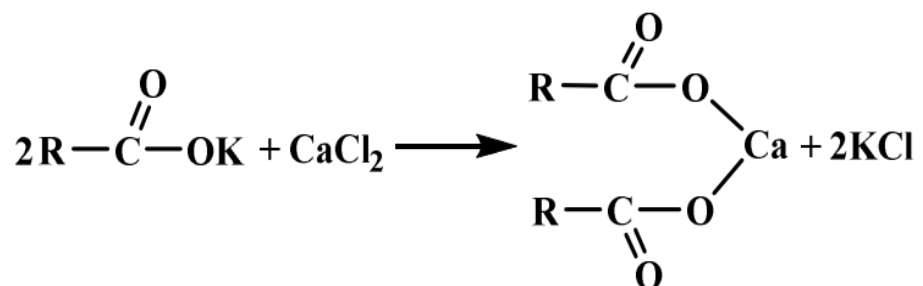
---

---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=hLdlV6ZoNSg>

#### **Дослід 4. Утворення нерозчинних кальцієвих мил**

**Принцип методу.** При взаємодії розчинів солей кальцію з розчинами мила утворюються нерозчинні кальцієві солі жирних кислот:



##### **Матеріали та реактиви:**

Розчин калієвого мила (отриманий в досліді 2),

5 %-й розчин  $\text{CaCl}_2$

**Обладнання.** Пробірки, піпетки.

##### **Завдання досліду:**

- вивчити механізм утворення кальцієвих солей жирних кислот (кальцієвих мил) та проаналізувати, чому вони є нерозчинними у воді;
- зробити відповідний висновок.

**Хід роботи.** У пробірку налити 2-3 мл розчину калієвого мила, додати 1 мл 5 %-го розчину хлориду кальцію і спостерігати за утворенням нерозчинного кальцієвого мила.

**Спостереження записати у зошит, зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

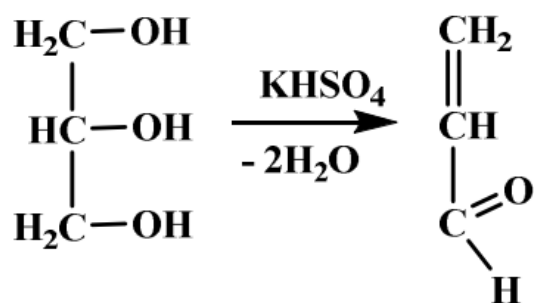
---

---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=Oxgu5qb2xuI&t=36s>

#### **Дослід 5. Виявлення гліцеролу в жирах**

**Принцип методу.** Акролеїнова проба на гліцерол заснована на утворенні при дегідратації гліцеролу внаслідок нагрівання гліцеролу з гідросульфатом калію акролеїну (ненасиченого альдегіду етилового ряду):



**Матеріали та реактиви:**

Кристалічний гідросульфат калію, олія

**Обладнання.** Пробірки, крапельниці, газовий пальник, піпетки.

**Завдання досліду:**

- засвоїти метод виявлення гліцеролу, на прикладі реакції дегідратації за дії концентрованої сульфатної кислоти з утворенням акролеїну;
- зробити відповідний висновок щодо отриманих результатів.

**Хід роботи.** В пробірку вносять кілька кристаликів KHSO<sub>4</sub>, додають 5 краплин олії, і нагрівають у полум'ї газового пальника. Під час нагрівання із пробірки виділяється біла пара акролеїну з характерним запахом горілого сала, до якої вносять стрічку фільтрувального паперу, змоченого аміачним розчином нітрату срібла. Спостерігають почорніння паперу, що свідчить про присутність акрилового альдегіду.

**Спостереження записують у зошит, роблять висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказується передбачувана причина розбіжностей):

---



---



---

## *Лабораторна робота 29*

### **ЯКІСНІ РЕАКЦІЇ НА ХОЛЕСТЕРОЛ**

**Мета роботи:** проаналізувати реакцію дегідратації молекули холестерину та визначення холестерилу у рослинній олії; дослідити реакцію утворення та визначення сульфокислоти холестерилу.

**Принцип методу.** Якісне виявлення холестеролу ґрунтується на реакціях його дегідратації і дегідрування в присутності сірчаної кислоти.

#### ***Матеріали та реактиви:***

Хлороформний розчин холестеролу (розчиняють холестерол (2-3 кристали) в 2-3 мл хлороформу)

Концентрована сірчана кислота

Оцтовий ангідрид

**Обладнання.** Штатив із пробірками, фарфорова чашка, піпетки, крапельниці.

#### **Завдання роботи:**

- вивчити молекулярну будову холестерину (стероїдний скелет, наявність гідроксильної групи) та його фізико-хімічні властивості;
- розглянути принцип дії якісних реакцій для виявлення холестерину.

#### **Хід роботи.**

**Реакція Сальковського:** в пробірку з 0,5 мл хлороформного екстракту додати 0,5 мл концентрованої  $H_2SO_4$ , струсити і після розшаровування фаз відмітити пурпурно-червоне забарвлення верхньої хлороформної фази, а також темно-червоне (з зеленою флуоресценцією) забарвлення нижнього шару сірчаної кислоти. **Спостереження записати у зошит, зробити висновок щодо отриманих результатів** (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---

---

---

За умов проведення навчання в on-line форматі, з методикою проведення досліду можна ознайомитись за посиланням: [https://www.youtube.com/watch?v=ab-Dc5cUk-A&list=PL3jLhUblDcGd-olqe6f0\\_QJrXN92Q7RGq&index=3](https://www.youtube.com/watch?v=ab-Dc5cUk-A&list=PL3jLhUblDcGd-olqe6f0_QJrXN92Q7RGq&index=3)

**Реакція Ліберман-Бурхарда:** в пробірку з 1 мл хлороформного екстракту додати 2 мл оцтового ангідриду і дві краплини концентрованої сірчаної кислоти, суміш старанно струсити і спостерігати зміну забарвлення вмісту пробірки від червоного через фіолетове і синє до зеленого. **Спостереження записати у**

**зошит, зробити висновок щодо отриманих результатів (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):**

---

---

---

## ТЕМА 2. ОБМІН ЛІПІДІВ

Жири, що потрапляють в організм з їжею, в процесі перетравлення в тонкій кишці розщеплюються на гліцерин та жирні кислоти, які переважно всмоктуються з кишок в лімфу і частково у кров. В організмі з цих речовин синтезується власний жир, який перш за все є багатим джерелом енергії (1 г жиру при катаболізмі виділяє 9,3 ккал енергії). Жир є обов'язковою складовою таких клітинних структур, як цитоплазма, ядро і мембрана, є основною складовою статевих гормонів. Крім енергетичної та пластичної функцій, жир, покриваючи внутрішні органи, захищає їх від механічних пошкоджень. Підшкірна жирова основа захищає організм від тепловтрат. З жирами в організм надходять жиророзчинні вітаміни (А, D, Е, К).

Не використані в організмі жири їжі накопичуються у вигляді жирових відкладень під шкірою, в області сальника кишок та у складі пухкої сполучної тканини навколо окремих органів. Жир частково може синтезуватись також із надлишків білків та вуглеводів їжі. При необхідності, жирові відкладення можуть бути постачальниками енергії (до 80 % всієї потрібної), у тому числі теплової. Загальна кількість запасів жиру в організмі дорослої людини в середньому коливається в межах 10-20 % маси тіла, а при патологічному ожирінні може доходити до 50 %. У немовлят та мешканців північних районів (наприклад, у ескімосів) вдовж великих судин грудної клітки та між лопатками знаходиться так званий "бурий жир", який при розщепленні виділяє підвищену кількість тепла. Це забезпечує додаткове зігрівання організму та запобігає його переохолодженню. Жири організму в більшості випадків представляють собою тригліцириди олеїнової, пальмітинової та стеаринової кислот. Важливо зазначити, що в клітинах жирової тканини (адипоцитах) жир перебуває у динамічному стані: постійно синтезується (процес ліпогенезу) і розщеплюється (процес ліполізу). Запасений в тканинах жир розпадається під дією ліпаз крові до гліцерину та жирних кислот, які далі окислюються до вуглекислоти і води з виділенням квантів енергії. Існує також шлях перетворення жиру (гліцерину) у вуглеводи (глікоген) в клітинах печінки.

Жири їжі, як і білки, поділяються на повноцінні і неповноцінні. Повноцінні жири містять чотири ненасичені жирні кислоти (олеїнову, лінолеву, ліноленову, арахідонову), які не синтезуються в організмі і надходять тільки з їжею (в основному з олією рослинного походження, з курячим та гусячим жиром). Якщо кількість ненасичених жирних кислот падає нижче 1 % від загальної кількості жиру в раціоні харчування за добу, то може знижуватись еластичність судин, підвищуватись вміст холестерину в крові та ін.

## *РОЗЩЕПЛЕННЯ ЛІПІДІВ У ТРАВНОМУ ТРАКТІ ЛЮДИНИ*

Триацилгліцеріди, тобто жири, надходять в організм з їжею тваринного і рослинного походження. У великій кількості вони містяться в салі, рослинній олії і вершковому маслі, м'ясі, курячих яйцях, печінці.

Розщеплення ліпідів у травному тракті людини має кілька стадій. Для цього процесу необхідні ліполітичні ферменти (і відповідні умови для їхньої діяльності) і емульгатори (детергенти). За сучасною класифікацією ліполітичні ферменти відносяться до групи гідролаз, які каталізують розщеплення різних ліпідів. У травному тракті людини субстратами гідролітичного розщеплення є триацилгліцероли, фосфоліпіди, ефіри холестеролу.

Оптимальна умова для дії ліполітичних ферментів – рН 7,8...8,2. Гідролітичному розщепленню в шлунку піддаються тільки емульговані жири. Такі ліпіди містяться в молоці і молочних продуктах, яєчному жовтку, майонезах. Всі інші жири їжі мають потребу в емульгаторах, що знижують поверхневий натяг і перешкоджають склеюванню жирових крапель.

Емульгатори мають гідрофільні і гідрофобні групи, вони оточують кожную краплю жиру таким чином, що гідрофільні групи звертаються до води, а гідрофобні – до жиру. Основними емульгаторами жирів у травному тракті людини є солі жовчних кислот.

У порожнині рота переварювання ліпідів не відбувається через відсутність ліпаз. У шлунку йде незначний гідроліз емульгованих жирів під дією малоактивної ліпази шлункового соку. Основна кількість харчових жирів гідролізується в тонкому кишечнику під дією ліпази, що утворюється в підшлунковій залозі.

Емульгування жирів відбувається в порожнині кишечника під впливом дрібних пухирців вуглекислого газу, що рясно виділяються при нейтралізації соляної кислоти харчової кашки бікарбонатами підшлункового і кишкового соків. У процесі перистальтики кишечника жири роздрібнюються на дуже дрібні краплі, що емульгуються при участі парних жовчних кислот і моноацилгліцеролів. Основну роль при цьому грають солі жовчних кислот (мила), що виділяються з жовчю в просвіт кишечника. Вони адсорбуються на поверхні крапель жиру, утворюють на них найтоншу плівку, що перешкоджає злиттю крапельок у більш великі краплі. Разом з тим жовчні кислоти різко зменшують натяг на поверхні двох фаз – води і жиру, що сприяє дробленню його крапель на більш дрібні. При цьому утвориться тонка емульсія (діаметр часток не перевищує 0,5 мкм), що полегшує ферментативний гідроліз жиру. Одночасно жовчні кислоти активують ліпазу.

Велика частина емульгованого жиру піддається гідролітичному розщепленню під дією ліпаз з утворенням гліцеролу і вищих жирних кислот.

Ліпази бувають двох типів: одна розщеплює ефірні зв'язки триацилгліцеролів у положеннях 1 і 3, інша – у положенні 2. У розщепленні моноацилгліцеролів бере участь також ліпаза, що міститься в кишковому соку.

Гідроліз є першою фазою обміну жирів. Жирні кислоти, що виділилися з розщеплених гліцеролів, погано розчиняються у воді і всмоктуються ворсинками кишечника лише після взаємодії з жовчними кислотами з утворенням парних розчинних комплексів. В епітеліальних клітинах ворсинок кишечника відбувається їхнє розщеплення на жовчні і жирні кислоти. Жовчні кислоти знову безпосередньо надходять у просвіт кишечника або проходять більш складний шлях: кров – печінка – жовчний міхур – жовч.

Постійна циркуляція жовчних кислот забезпечує велику кількість всмоктуваних жирів при порівняно обмеженому виробленні печінкою жовчних кислот (2,8...3,5 г у добу).

Переварювання ліпідів відбувається як у порожнині кишок (порожнинне травлення), так і на слизовій оболонці тонкої кишки (пристінкове або контактне травлення). Зокрема, на поверхні клітин адсорбується ліпаза соку підшлункової залози (панкреатична), яка каталізує гідроліз жирів.

Хіломікрони утворюються в клітинах слизової оболонки кишечника. Вони забезпечують транспорт ліпідів (триацилгліцеролів) з кишечника в лімфу. Хіломікрони через грудну лімфатичну протоку надходять у кровоток і транспортуються в "жирові депо" і печінку.

Холестерол попадає в шлунково-кишковий тракт людини переважно з яєчним жовтком, м'ясом, печінкою, мізками. З їжею людина одержує щодня 0,1...0,3 г холестеролу у вільному виді або у виді його ефірів. Останні при участі ферменту панкреатичного соку – холестеролестерази розщеплюються на холестерол, що може всмоктуватися у виді комплексу з жовчними кислотами, і жирні кислоти.

Фосфоліпіди, зокрема лецитини, під впливом відповідних гідролаз, розщеплюються на гліцерол, вищі жирні кислоти, холін і фосфорну кислоту. Компоненти фосфоліпідів усмоктуються кишковою стінкою і надходять у кров (фосфорна кислота в основному у виді натрієвих і калієвих солей).

З продуктів гідролізу харчових ліпідів у клітинах кишкового епітелію ресинтезуються ліпіди, специфічні для певного виду тварин.

Важлива роль в обміні жирів належить печінці. Її ферментативні системи каталізують переважну більшість реакцій метаболізму ліпідів. У печінці синтезуються триацилгліцероли, що або затримуються в ній, або у виді ліпопротеїнів надходять у кров.

Обмін ліпідів у тканинах є біологічно найбільш важливим етапом їхнього перетворення. На цій фазі відбувається асиміляція ліпідів у виді пластичного



матеріалу і розщеплення їх з вивільненням енергії. Головним ендogenousним джерелом ліпідів, що грають роль метаболічного палива, служить резервний жир, що міститься в протоплазмі клітин у виді крапельок. Для цієї мети використовуються також фосфоліпіди мембран.

У «жирових депо» при участі тканинних ліпаз відбувається гідроліз простих жирів на гліцерол і вільні жирні кислоти. Гліцерол фосфорилується за рахунок АТФ, через ряд проміжних реакцій перетворюється у фосфогліцероловий альдегід, що потім окисляється в процесі гліколізу до фосфогліцеролової і піровиноградної кислот. Остання, піддаючись окисному декарбоксилюванню, перетворюється в ацетил-КоА, що у циклі трикарбонових кислот окисляється до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

У виді комплексу з альбумінами вільні жирні кислоти зі струмом крові попадають в органи і тканини, де комплекс розпадається, а жирні кислоти або піддаються  $\beta$ -окислюванню, або використовуються в синтезі триацилгліцеролів, холестеролу, гліцерофосфоліпідів, сфінголіпідів і т. д.

$\beta$ -окислення вищих жирних кислот відбувається в мітохондріях клітин при участі мультиферментного комплексу.

Енергетичний ефект  $\beta$ -окислення. Число циклів окислення, яким піддається вища жирна кислота, залежить від кількості карбогенових атомів у її молекулі. При окисленні однієї молекули жирної кислоти утвориться  $n/2$  молекул ацетил-КоА, де  $n$  – кількість атомів Карбогену, а цикл повториться  $(n/2 - 1)$  раз, тому що молекула бутирил-КоА відразу розщеплюється на дві молекули ацетил-КоА. У кожному циклі з'являються молекула ФАДН<sub>2</sub> і молекула НАДН<sub>2</sub>. Молекула ФАДН<sub>2</sub> при окислюванні в дихальному ланцюзі і сполученого з ним фосфорилування дає дві молекули АТФ, а НАДН<sub>2</sub> – три молекули АТФ, тобто за один цикл  $\beta$ -окислювання утворюється п'ять молекул АТФ.

Кожна молекула ацетил-КоА включається в цикл трикарбонових кислот, поступово розщеплюється до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  з виділенням 12 молекул АТФ. Як приклад розглянемо  $\beta$ -окислення пальмітинової кислоти.

При окисленні пальмітинової кислоти відбувається сім циклів  $\beta$ -окислювання –  $(16/2 - 1)$ , що веде до утворення 35 молекул АТФ. У результаті  $\beta$ -окислення цієї кислоти утворюється вісім молекул ацетил-КоА ( $16/2$ ), кожна з яких, окисляючись в циклі трикарбонових кислот, дає 12 молекул АТФ, тобто утворює 96 молекул АТФ. Таким чином, сумарний вихід енергії при окисленні однієї молекули пальмітинової кислоти складе:  $35 + 96 = 131$  молекула АТФ. Оскільки одна молекула АТФ була витрачена на активізацію вищої жирної кислоти на початку процесу вихід енергії складе 130 молекул АТФ. Близько 45 % усієї потенційної енергії пальмітинової кислоти при її окисленні в організмі може бути використана для ресинтезу АТФ, інша утилізується у виді теплоти.

Окислення ненасичених жирних кислот відбувається так само, як і насичених, але має свої особливості, обумовлені положенням подвійних зв'язків. До початку  $\beta$ -окислення в молекулі жирної кислоти відбувається переміщення подвійного зв'язку з положення 3-4 у 2-3 і зміна конфігурації подвійного зв'язку з цис- у транс-положення.

Більшість природних ліпідів містить жирні кислоти з парним числом вуглецевих атомів. Однак у ліпідах рослин і деяких морських організмів виявляються жирні кислоти з непарним числом вуглецевих атомів. Вони також піддаються  $\beta$ -окисленню, у результаті якого з'являються ацетил-КоА і пропіоніл-КоА. Останній перетворюється в сукциніл-КоА – метаболіт циклу Кребса.

Процес  $\beta$ -окислення вищих жирних кислот за участю HS коензиму А активніше протікає в печінці, жировій тканині, серцевих і кістякових (скелетних) м'язах, слабкіше – у нирках, підшлунковій залозі та інших органах.

Ліпідний обмін в організмі регулюється центральною нервовою системою. Кора головного мозку впливає на жирову тканину через симпатичну і парасимпатичну нервову систему і ендокринні залози. Кількість жиру в «жирових депо» зменшується при тривалому негативному емоційному стресі, що супроводжується збільшенням викиду гормону надниркових залоз адреналіну в кровоносне русло, що призводить до зменшення маси тіла. Цей ефект пояснюється тим, що жирова тканина рясно іннервована волокнами симпатичної нервової системи, а норадреналін, що виділяється, як і адреналін, збільшує швидкість ліполізу в жировій тканині. Крім того, адреналін через систему відповідних ферментів сприяє утворенню активної форми ліпази. Дія глюкагону і тироксину подібна впливу адреналіну і норадреналіну (катехоламінів): вони стимулюють ліполіз.

У нормі вміст загальних ліпідів у крові складає 400...800 мг/л. Він змінюється в залежності від статі, віку, характеру і режиму харчування, рівня фізичної активності.

Порушення ліпідного обміну можуть наставати вже в процесі переварювання й усмоктування жирів унаслідок захворювань травного тракту. Крім того, вони можуть бути зв'язані з недостатнім надходженням у кишечник ліпази соку підшлункової залози або жовчі.

При спадковому захворюванні, обумовленому недостатньою активністю ліпопротеїнліпази крові, порушується перехід жирних кислот з хіломікронів плазми в «жирові депо». У плазмі збільшується вміст хіломікронів, внаслідок чого вона здобуває молочний колір. Підвищення рівня ліпідів у крові (гіперліпемія) може бути викликано фізіологічними причинами, наприклад, прийомом їжі (аліментарна гіперліпемія). Гіперліпемії виникають нерідко при

цукровому діабеті, захворюваннях підшлункової залози (панкреатити), печінки (гепатити), нирок (нефрози). У їхній основі лежать порушення енергетичного обміну, зв'язані з недостатнім використанням вуглеводів і посиленим окиснюванням жирів. При цьому активізуються процеси мобілізації жиру (триацилгліцеролів) з «жирових депо». Він надходить у кров (транспортна гіперліпемія) і доставляється до тих органів, що мають недолік в енергії.

## *Лабораторна робота № 30*

### **КІНЕТИКА ДІЇ ЛІПАЗИ**

Ліпаза – фермент підшлункової залози, що каталізує гідроліз складноєфірних зв'язків в молекулі триацилгліцеролів (ТАГ) в тонкому кишківнику. Найбільш активно панкреатична ліпаза каталізує гідроліз першого і третього складноєфірних зв'язків ТАГ з утворенням ди- і моноацилгліцеролів (ДАГ і МАГ), потім здійснюється гідроліз 2-моноацилгліцеролів. У кишківнику можуть всмоктуватися тільки продукти гідролізу ТАГ: гліцерин, вищі жирні кислоти, ДАГ і МАГ.

Істотно полегшують процес перетравлення і всмоктування ліпідів жовчні кислоти: холева і хенодезоксиколева, а також їх кон'югати з гліцином і таурином. Поєднання в хімічній структурі гідрофобної (стероїдна частина) і гідрофільної частин надає парним жовчним кислотам властивості поверхнево активних речовин (детергентів), які, утворюючи мікроемульсію, активують субстрат ліпази і дифузію продуктів ліполізу в епітеліальні клітини ворсинок кишківника. При цьому фермент і субстрат знаходяться в різних фазах (не змішуються рідини) і взаємодіють тільки на границі розділу фаз.

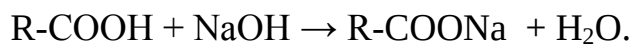
Величина поверхні контакту ферменту і субстрату визначає швидкість гетерогенного каталізу: чим більша поверхня, тим вища швидкість ферментативної реакції. Детергентна дія жовчних кислот призводить до зменшення сили поверхневого натягу на межі поділу фаз і велика крапля жиру розпадається на безліч дрібних крапель, доступних дії ферменту.

Дефіцит ліпази найчастіше пов'язаний із захворюваннями підшлункової залози і супроводжується панкреатичною стеатореєю (високий вміст ТАГ в калі без зміни його забарвлення). Втрата води і електролітів призводить до порушення всмоктування жиророзчинних вітамінів.

Порушення екскреторної функції підшлункової залози при перекритті її протоки (закупорка каменем, запальний процес), при панкреатитах або безпосередньому пошкодженні тканини залози (пухлина, атеросклероз судин, крововилив та ін.) істотно позначається на жировому обміні.

**Мета роботи.** Оцінити кінетику дії ліпази, визначити характер впливу жовчі на активність панкреатичної ліпази.

**Принцип методу.** Як джерело нейтрального жиру (ТАГ) використовують молоко. Дію ферменту оцінюють за швидкістю утворення кислих продуктів розщеплення (вільних ВЖК). Для цього від загального обсягу суміші жиру з ліпазою через певні проміжки часу відбирають для титрування рівні частини. Титрування кислих продуктів гідролізу здійснюють розчином гідроксиду натрію (індикатор – фенолфталеїн):



Результати виражають у мілілітрах розчину лугу, який був витрачений на титрування і представляють у вигляді графіка залежності змісту ВЖК в пробі від часу інкубації проби.

***Матеріали та реактиви:***

Молоко

Жовч

0,01 М розчин NaOH

Фенолфталеїн

***Обладнання.*** Штатив із пробірками, фарфорова чашка, піпетки, крапельниці.

***Завдання роботи:***

- ознайомитися з біохімічною роллю ліпази та механізмом її дії на ліпідні субстрати;
- визначити швидкість реакції ліпази за зміною концентрації продуктів гідролізу (вільних жирних кислот або зсуву pH);
- дослідити залежність швидкості дії ліпази від концентрації субстрату;
- оцінити вплив температури та pH середовища на активність ліпази;
- побудувати кінетичну криву ферментативної реакції;
- зробити висновки щодо оптимальних умов та закономірностей дії ліпази.

***Хід роботи.*** У два стаканчики налити по 10 мл розведеного водою (1:1) молока. В один із стаканчиків ввести 1 мл жовчі (проба 1), в інший – 1 мл H<sub>2</sub>O (проба 2).

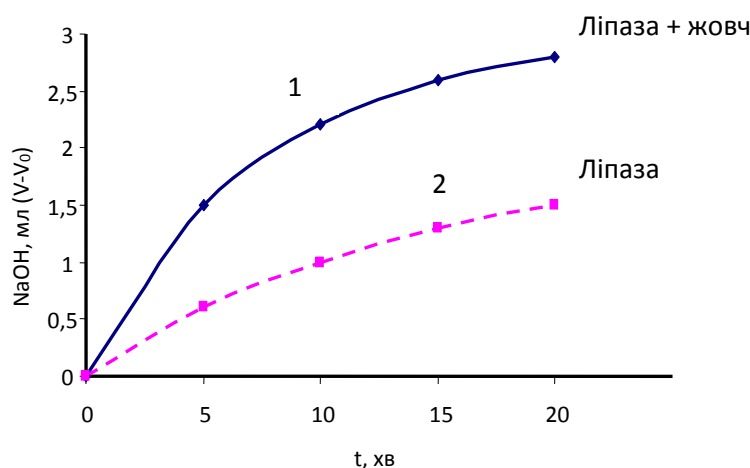
З кожної проби відібрати в колбу для титрування по 2 мл утвореної суміші і титрувати 0,01 М розчином NaOH в присутності фенолфталеїну до появи рожевого забарвлення.

Потім в кожну пробу додати по 1 мл розчину ліпази (витяжка з підшлункової залози), швидко перемішати струменем з піпетки і відзначити час початку реакції. Повторні титрування провести через кожні 5 хв.

Значення титрування без ліпази (час реакції «0») розрахувати із величини наступного титрування. В цьому випадку отримані криві пройдуть через початок координат, так як віднімається вихідна кількість органічних кислот, присутніх в молоці (вихідна кислотність молока).

Отримані результати оформити у вигляді кривої, що показує динаміку відщеплення вільних ВЖК в часі під дією ліпази в присутності і під час відсутності жовчі.

Нижче наведена типова крива динаміки відщеплення вільних ВЖК в часі під дією ліпази в присутності (крива 1) і під час відсутності (крива 2) жовчі.



### Схема визначення активності ліпази

| I. Приготування вихідної суміші                                                                                                                                                                                       |                        |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Реактиви та етапи                                                                                                                                                                                                     | Проба 1                | Проба 2                |
| 1. Молоко, розбавлене водою (1:1)                                                                                                                                                                                     | 10 мл                  | 10 мл                  |
| 2. Вода                                                                                                                                                                                                               | -                      | 1 мл                   |
| 3. Жовч                                                                                                                                                                                                               | 1 мл                   | -                      |
| II. Визначення вихідної кислотності молока                                                                                                                                                                            |                        |                        |
|                                                                                                                                                                                                                       | Колба для титрування 1 | Колба для титрування 2 |
| 1. Вихідна суміш (відбирають аліквоту з стаканчика в колбу для титрування).                                                                                                                                           | 2 мл                   | 2 мл                   |
| 2. Фенолфталеїн (додають в кожен колбу)<br>Титрують проби розчином NaOH (до рожевого кольору). Значення записують в таблицю результатів (V <sub>0</sub> і V <sub>0</sub> ')                                           | 1-2 краплі             | 1-2 краплі             |
| III. Відбір суміші і титрування в присутності ліпази                                                                                                                                                                  |                        |                        |
| До залишкової вихідної суміші в обидва стаканчики швидко додають по 1 мл ліпази і відзначають час. Через кожні 5 хв відбирають аліквоти в колби для титрування                                                        |                        |                        |
|                                                                                                                                                                                                                       | Колба для титрування 1 | Колба для титрування 2 |
| 1. Аліквота                                                                                                                                                                                                           | 2 мл                   | 2 мл                   |
| 2. Фенолфталеїн<br>Швидко титрують розчином NaOH (до рожевого кольору). Значення записують в таблицю результатів (V і V').<br>Повторні титрування проводять через кожні 5 хв і результати заносять в наступну таблицю | 1-2 краплі             | 1-2 краплі             |

## Оформлення результатів

| t, хв                                      | проба № 1 (з жовчю) |                                                  | проба № 2 (без жовчи) |                                                  |
|--------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
|                                            | V (NaOH), мл        | V-V <sub>0</sub>                                 | V (NaOH), мл          | V-V <sub>0</sub>                                 |
| 0 (визначення вихідної кислотності молока) | V <sub>0</sub> =    | 0                                                | V <sub>0</sub> =      | 0                                                |
| 5                                          | V =                 |                                                  | V =                   |                                                  |
| 10                                         |                     |                                                  |                       |                                                  |
| 15                                         |                     |                                                  |                       |                                                  |
| 20                                         |                     |                                                  |                       |                                                  |
|                                            |                     | за отриманими даними будують кінетичну криву № 1 |                       | за отриманими даними будують кінетичну криву № 2 |

Спостереження записати у зошит, зробити висновок щодо отриманих результатів (якщо виявлені відхилення від теоретичних закономірностей, вказати передбачувану причину розбіжностей):

---



---



---

## Контрольні питання

1. Які процеси включає травлення ліпідів у шлунку та кишечнику?
2. Яка роль жовчі в травленні ліпідів?
3. Які ферменти беруть участь у розщепленні тригліцеридів (ліпаза, фосфоліпаза, холестеринестераза)?
4. Як відбувається утворення міцел і їх роль у всмоктуванні?
5. Як ліпіди транспортуються у крові (хіломікрони, ліпопротеїни)?
6. Що таке ліпопротеїни і які їхні класи (ХМ, ЛПДНЩ, ЛПДНЩ, ЛПНЩ, ЛПВЩ)?
7. Яка роль апопротеїнів у транспорті ліпідів?
8. Як відбувається обмін ліпопротеїнів у крові?
9. Де відбувається β-окислення жирних кислот (мітохондрії/пероксисоми)?
10. Які етапи β-окислення жирних кислот?
11. Яка роль карнітину в транспорті жирних кислот у мітохондрії?
12. Які продукти β-окислення і яка їхня роль у енергетичному обміні?

### **Рекомендована література**

1. Козаков В. І. Біохімія : підручник. Київ : Вища школа, 2004. 832 с.
2. Лещенко О. О., Бараненко В. В. Біохімія : підручник. Київ : Здоров'я, 2017. 624 с.
3. Миронович Л. М., Манжос О. П. Біоорганічна хімія : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2015. 480 с.
4. Осип Ю. Л. Біологічна та біоорганічна хімія : методичні вказівки. Луцьк : Луцький національний технічний університет, 2023. 113 с.
5. Стефанишин В. П. Біохімія : підручник для медичних і фармацевтичних факультетів. Київ : Книга плюс, 2018. 912 с.



## ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

(Одна відповідь вірна)

### **ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ «ХІМІЯ ТА ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ»**

**1. Вуглеводи – це органічні сполуки, що складаються з:**

- a) C, H, N
- b) C, H, O
- c) C, H, S
- d) C, O, N

**2. За хімічною природою вуглеводи поділяють на:**

- a) насичені та ненасичені
- b) гідрофільні та гідрофобні
- c) моносахариди, олігосахариди, полісахариди
- d) структурні та запасні

**3. Моносахариди – це:**

- a) вуглеводи, що не гідролізуються
- b) вуглеводи, що гідролізуються
- c) складні вуглеводи
- d) похідні амінокислот

**4. До гексоз належить:**

- a) рибоза
- b) ксилоза
- c) глюкоза
- d) еритроза

**5. Фруктоза є:**

- a) альдозою
- b) кетозою
- c) пентозою
- d) полісахаридом

**6. Основним вуглеводом крові є:**

- a) фруктоза
- b) галактоза
- c) глюкоза
- d) лактоза

**7. Основна функція вуглеводів в організмі:**

- a) пластична
- b) енергетична
- c) регуляторна
- d) захисна

**8. Запасним вуглеводом у тварин є:**

- a) крохмаль
- b) целюлоза
- c) глікоген
- d) інουλін

**9. Основне місце запасання глікогену:**

- a) серце
- b) легені
- c) печінка і м'язи
- d) нирки

**10. Глікоген за будовою є:**

- a) лінійним полісахаридом
- b) розгалуженим полісахаридом
- c) дисахаридом
- d) олігосахаридом

**11. Крохмаль складається з:**

- a) амілози та амілопектину
- b) целюлози та геміцелюлози
- c) глюкози та фруктози
- d) глікогену та глюкози

**12. Целюлоза є:**

- a) запасним полісахаридом
- b) структурним полісахаридом
- c) розчинною у воді
- d) джерелом енергії для людини

**13. Глікозидний зв'язок у дисахаридах утворюється між:**

- a) двома карбоксильними групами
- b) двома аміногрупами
- c) гідроксильними групами моносахаридів
- d) фосфатними групами

**14. Мальтоза складається з:**

- a) глюкози і фруктози
- b) глюкози і галактози
- c) двох молекул глюкози
- d) двох молекул фруктози

**15. Лактоза складається з:**

- a) глюкози і фруктози
- b) глюкози і галактози
- c) галактози і фруктози
- d) двох молекул глюкози

**16. Сахароза складається з:**

- a) глюкози і галактози
- b) двох молекул глюкози
- c) глюкози і фруктози
- d) галактози і фруктози

**17. Травлення вуглеводів починається у:**

- a) шлунку
- b) ротовій порожнині
- c) кишечнику
- d) печінці

**18. Основним ферментом слини є:**

- a) пепсин
- b) ліпаза
- c) амілаза
- d) трипсин

**19. Всмоктування моносахаридів відбувається у:**

- a) шлунку
- b) товстому кишечнику
- c) тонкому кишечнику
- d) печінці

**20. Основний шлях окиснення глюкози в клітинах:**

- a) глікогенез
- b) глюконеогенез
- c) гліколіз
- d) пентозофосфатний шлях

**21. Гліколіз відбувається у:**

- a) мітохондріях
- b) лізосомах
- c) цитозолі
- d) ядрі

**22. Кінцевим продуктом анаеробного гліколізу є:**

- a) піруват
- b) ацетил-КоА
- c) лактат
- d) CO<sub>2</sub>

**23. Глікогенез – це процес:**

- a) розщеплення глікогену
- b) синтезу глікогену
- c) синтезу глюкози
- d) окиснення глюкози

**24. Глікогеноліз – це:**

- a) синтез глікогену
- b) синтез глюкози з неуглеводних сполук
- c) розщеплення глікогену
- d) окиснення пірувату

**25. Глюконеогенез відбувається переважно у:**

- a) м'язах
- b) жировій тканині
- c) печінці
- d) мозку

**26. Пентозофосфатний шлях забезпечує утворення:**

- a) АТФ
- b) НАДФ·Н
- c) ФАДН<sub>2</sub>
- d) ацетил-КоА

**27. Основним гормоном, що знижує рівень глюкози в крові, є:**

- a) глюкагон
- b) адреналін
- c) кортизол
- d) інсулін

**28. Підвищення рівня глюкози в крові спостерігається при дії:**

- a) інсуліну
- b) глюкагону
- c) соматостатину
- d) тироксину

**29. Гіперглікемія – це:**

- a) зниження рівня глюкози в крові
- b) підвищення рівня глюкози в крові
- c) відсутність глюкози
- d) порушення всмоктування глюкози

**30. Цукровий діабет характеризується:**

- a) дефіцитом тироксину
- b) порушенням секреції або дії інсуліну
- c) нестачею вітаміну D
- d) дефіцитом глікогену

**ВІДПОВІДІ**

|               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>1 - b</b>  | <b>11 - a</b> | <b>21 - c</b> |
| <b>2 - c</b>  | <b>12 - b</b> | <b>22 - c</b> |
| <b>3 - a</b>  | <b>13 - c</b> | <b>23 - b</b> |
| <b>4 - c</b>  | <b>14 - c</b> | <b>24 - c</b> |
| <b>5 - b</b>  | <b>15 - b</b> | <b>25 - c</b> |
| <b>6 - c</b>  | <b>16 - c</b> | <b>26 - b</b> |
| <b>7 - b</b>  | <b>17 - b</b> | <b>27 - d</b> |
| <b>8 - c</b>  | <b>18 - c</b> | <b>28 - b</b> |
| <b>9 - c</b>  | <b>19 - c</b> | <b>29 - b</b> |
| <b>10 - b</b> | <b>20 - c</b> | <b>30 - b</b> |

**ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ  
ДО РОЗДІЛУ «ХІМІЯ ТА ОБМІН ЛІПІДІВ»**

**1. Ліпіди – це органічні сполуки, що складаються переважно з:**

- a) C, H, O
- b) C, H, N
- c) C, O, N
- d) C, H, P

**2. Ліпіди в організмі виконують основну функцію:**

- a) каталізу реакцій
- b) енергетичну та пластичну
- c) транспортування кисню
- d) синтез білків

**3. До простих ліпідів належать:**

- a) фосфоліпіди
- b) гліцерофосфоліпіди
- c) тригліцериди
- d) стероїди

**4. До складних ліпідів належать:**

- a) жирні кислоти
- b) тригліцериди
- c) фосфоліпіди
- d) стерини

**5. Тригліцериди складаються з:**

- a) гліцеролу та 3 жирних кислот
- b) гліцеролу та 2 жирних кислот
- c) гліцеролу та 1 жирної кислоти
- d) 3 молекул глюкози

**6. Жирні кислоти – це:**

- a) полімери
- b) карбонові кислоти з довгим ланцюгом
- c) амінокислоти
- d) вуглеводи

**7. Ненасичені жирні кислоти мають:**

- a) лише одинарні зв'язки
- b) один або більше подвійних зв'язків
- c) лише трійні зв'язки
- d) лише циклічні зв'язки

**8. Поліненасичені жирні кислоти важливі, бо:**

- a) не впливають на здоров'я
- b) є джерелом вітаміну D
- c) входять до складу мембран і є прекурсорами гормонів
- d) не засвоюються організмом

**9. Фосфоліпіди – це:**

- a) ліпіди, що містять фосфатну групу
- b) ліпіди, що містять глюкозу
- c) ліпіди, що містять білок
- d) ліпіди, що містять холестерин

**10. Стероїди включають:**

- a) тригліцериди
- b) фосфоліпіди
- c) холестерин та його похідні
- d) вітаміни групи B

**11. Холестерин є:**

- a) простим ліпідом
- b) похідним жирної кислоти
- c) стероїдом
- d) вуглеводом

**12. Основне джерело холестерину в організмі:**

- a) синтез у печінці
- b) надходження з їжею
- c) синтез у м'язах
- d) синтез у нирках

**13. Ліпопротеїни – це:**

- a) комплекси ліпідів з білками
- b) комплекси вуглеводів з білками
- c) комплекси вітамінів з білками
- d) комплекси ферментів

**14. До ліпопротеїнів високої щільності (ЛПВЩ) належить:**

- a) «поганий» холестерин
- b) «хороший» холестерин
- c) тригліцериди
- d) фосфоліпіди

**15. Гідроліз тригліцеридів у кишечнику здійснюють:**

- a) пепсин
- b) ліпаза
- c) амілаза
- d) трипсин

**16. Основним місцем травлення ліпідів є:**

- a) шлунок
- b) тонкий кишечник
- c) товстий кишечник
- d) ротова порожнина

**17. Емульгація жиру в кишечнику відбувається під дією:**

- a) жовчі
- b) слини
- c) шлункового соку
- d) підшлункового соку

**18. Краплі жиру в кишечнику розпадаються на:**

- a) моносахариди
- b) амінокислоти
- c) жирні кислоти і моногліцериди
- d) гліцерол і глюкозу

**19. Всмоктування жирних кислот і моногліцеридів відбувається:**

- a) безпосередньо у кров
- b) через лімфатичну систему
- c) у шлунку
- d) у печінці

**20. Бета-окиснення жирних кислот відбувається у:**

- a) цитозолі
- b) мітохондріях
- c) ядрі
- d) рибосомах



**21. Продуктом бета-окиснення є:**

- a) глюкоза
- b) ацетил-КоА
- c) лактат
- d) піруват

**22. Ацетил-КоА входить у:**

- a) гліколіз
- b) цикл Кребса
- c) глюконеогенез
- d) синтез глікогену

**23. Кетонові тіла утворюються при:**

- a) надлишку глюкози
- b) дефіциті жирних кислот
- c) голодуванні або діабеті
- d) підвищеному споживанні білків

**24. Основне кетонове тіло – це:**

- a) ацетат
- b) ацетоацетат
- c) піруват
- d) лактат

**25. Ліпогенез – це процес:**

- a) розщеплення жирів
- b) синтезу жирних кислот
- c) синтезу білків
- d) окиснення глюкози

**26. Основний орган, де відбувається ліпогенез:**

- a) печінка
- b) мозок
- c) серце
- d) м'язи

**27. Ліпопротеїни низької щільності (ЛПНЩ) вважаються:**

- a) корисними
- b) нейтральними
- c) «поганим» холестерином
- d) вітамінними комплексами

**28. Ліпопротеїни дуже низької щільності (ЛПДНЩ) транспортують:**

- a) холестерин
- b) тригліцериди
- c) білки
- d) вітаміни

**29. Головний регуляторний гормон, що знижує рівень глюкози і стимулює синтез жирів:**

- a) глюкагон
- b) адреналін
- c) інсулін
- d) кортизол

**30. Гіперліпідемія – це:**

- a) зниження рівня ліпідів у крові
- b) підвищення рівня ліпідів у крові
- c) нормальний рівень ліпідів
- d) дефіцит жирних кислот

#### **ВІДПОВІДІ**

|               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>1 - a</b>  | <b>11 - c</b> | <b>21 - b</b> |
| <b>2 - b</b>  | <b>12 - a</b> | <b>22 - b</b> |
| <b>3 - c</b>  | <b>13 - a</b> | <b>23 - c</b> |
| <b>4 - c</b>  | <b>14 - b</b> | <b>24 - b</b> |
| <b>5 - a</b>  | <b>15 - b</b> | <b>25 - b</b> |
| <b>6 - b</b>  | <b>16 - b</b> | <b>26 - a</b> |
| <b>7 - b</b>  | <b>17 - a</b> | <b>27 - c</b> |
| <b>8 - c</b>  | <b>18 - c</b> | <b>28 - b</b> |
| <b>9 - a</b>  | <b>19 - b</b> | <b>29 - c</b> |
| <b>10 - c</b> | <b>20 - b</b> | <b>30 - b</b> |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Белчгазі В. Й., Сікура А. О., Глюдзик М. Ю. Біологічна хімія : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів біологічного факультету денної та заочної форми навчання / упорядники. Ужгород, 2017. 55 с.
2. Божко Н. В., Чорна І. В. Метаболізм вуглеводів : конспект лекцій. Суми : Сумський державний університет, 2022. 89 с.
3. Гонський Я. І., Максимчук Т. П. Біохімія людини : підручник. Тернопіль : Укрмедкнига, 2020. 736 с.
4. Губський Ю. І. Біоорганічна хімія : підручник. 3-тє видання, стереотипне. Вінниця : Нова Книга, 2019. 416 с.
5. Гребеник Л. І. та ін. Біологічна хімія : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2023. 380 с.
6. Зіменковський Б. С. та ін. Біологічна і біоорганічна хімія : підручник : у 2 книгах. Київ : ВСВ «Медицина», 2022. Книга 1. 272 с ; Книга 2. 544 с.
7. Лендел В. Г. та ін. Біоорганічна хімія : навчальний посібник. Ужгород : Патент, 2014. 360 с.
8. Мельничук Д. О. та ін. Біохімія : практикум. Київ : НУБіП України, 2012. 528 с.
9. Мехед О. Б., Яковенко Б. В., Третьак О. П. Біоорганічна хімія : навчальний посібник. Чернігів : ЧНПУ імені Т. Г. Шевченка, 2013. 208 с.
10. Миронович Л. М., Манжос О. П. Біоорганічна хімія (тестові завдання) : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2015. 191 с.
11. Остапченко Л. І. та ін. Біоорганічна хімія : практикум. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2019. 400 с.
12. Осип Ю. Л. Біологічна та біоорганічна хімія : методичні вказівки до лабораторного практикуму. Луцьк : Луцький національний технічний університет, 2023. 113 с.
13. Різак Г. В. Біоорганічна хімія : навчально-методичний посібник. Ужгород : ФОП Сабов А. М., 2024. 667 с.
14. Склярів О. Я., Фартушок Н. В., Бондарчук Т. І. Біологічна хімія : підручник. Тернопіль : ТДМУ, 2020. 706 с.

*Навчальне видання*

## **БІОХІМІЯ**

### **Частина 3. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕВОДІВ ТА ЛІПІДІВ**

#### **ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
біологічного факультету  
зі спеціальності Біотехнології та біоінженерія

#### **Електронне практичне видання**

#### ***Укладачі:***

**Чернадчук Сніжана Сергіївна**  
**Будняк Олександр Костянтинович**  
**Сорокін Андрій Вікторович**

*В авторській редакції*

Затв. авт. 26.08.2026. Шрифт Times New Roman.  
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним забезпеченням  
для читання файлів формату PDF.  
Обсяг 2,2 МБ. Зам. № 3225.

#### **Видавець:**

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
вул. Змієнка Всеволода, буд. 2, м. Одеса, 65001, Україна  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 8592 від 23.03.2026 р.  
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua