

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет агротехнологій

Кафедра рослинництва  
та садово-паркового господарства

**Фізіологія рослин**

Робочий зошит щодо проведення лабораторних та самостійних робіт  
студентам денної форми навчання напрямку підготовки 6.090101  
«Агрономія»

Миколаїв  
2015

УДК 581.1(076.5)  
ББК 41.273  
Ф50

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету від 28.01 2015 р., протокол № 5 .

#### Укладачі:

Т. Г. Самойленко — канд. біол.наук, доцент, доцент кафедри рослинництва садово-паркового господарства Миколаївського національного аграрного університету

О. Ф. Рожок — ст. викладач кафедри рослинництва та садово-паркового господарства Миколаївського національного аграрного університету

#### Рецензенти:

А. В. Дробітько — канд. с.-г. наук, доцент, декан факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету

Л. О. Клименко — канд. пед. наук, доцент, завідувач кафедри природничо-математичної освіти та інформаційних технологій Миколаївського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти

© Миколаївський національний  
аграрний університет, 2015

## Зміст

Вступ.....	5
<b>3. ФОТОСИНТЕЗ.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. Лабораторний практикум до розділу «Фотосинтез».....</b>	<b>7</b>
Лабораторна робота № 1. Будова пігментів листка.....	7
Лабораторна робота № 2. Хімічні властивості пігментів листка.....	9
Лабораторна робота № 3. Кількісне визначення пігментів листка.....	14
Лабораторна робота № 4. Визначення площі листків.....	17
<b>3.2. Контрольні питання до розділу «Фотосинтез».....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. Тестові завдання до розділу «Фотосинтез».....</b>	<b>21</b>
<b>4. ДИХАННЯ РОСЛИН.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. Лабораторний практикум до розділу «Дихання     рослин».....</b>	<b>25</b>
Лабораторна робота № 5. Ферменти дихання.....	25
Лабораторна робота № 6. Спостереження дії денітрофенолу на процес поглинання води тканинами бульби картоплі.....	29
Лабораторна робота № 7. Визначення інтенсивності дихання насіння.....	32
Лабораторна робота № 8. Визначення дихального коефіцієнта пророслого насіння.....	33
<b>4.2. Контрольні питання до розділу «Дихання рослин».....</b>	<b>37</b>
<b>4.3. Тестові завдання до розділу «Дихання рослин».....</b>	<b>37</b>
<b>5. МІНЕРАЛЬНЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН.....</b>	<b>41</b>
<b>5.1. Лабораторний практикум до розділу «Мінеральне     живлення рослин».....</b>	<b>43</b>
Лабораторна робота № 9. Вплив окремих елементів мінерального живлення на життєдіяльність рослин.....	43
Лабораторна робота № 10. Виявлення нітратів у рослинах.....	46
Лабораторна робота № 11. Фізіологічно кислі та лужні солі.....	48
<b>5.2. Контрольні питання до розділу «Мінеральне живлення     рослин».....</b>	<b>50</b>
<b>5.3. Тестові завдання до розділу «Мінеральне живлення     рослин».....</b>	<b>50</b>
<b>6. РІСТ ТА РОЗВИТОК РОСЛИН.....</b>	<b>54</b>
<b>6.1. Лабораторний практикум до розділу «Ріст та розвиток     рослин».....</b>	<b>55</b>
Лабораторна робота № 12. Визначення захисної дії цукрів на цитоплазму клітини при низьких температурах.....	55
Лабораторна робота № 13. Визначення температурного порогу коагуляції цитоплазми.....	56

<b>6.2. Контрольні питання до розділу «Ріст та розвиток рослин».....</b>	<b>59</b>
<b>6.3. Тестові завдання до розділу «Ріст та розвиток рослин».....</b>	<b>59</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>63</b>

## Вступ

Дисципліна “Фізіологія рослин” вивчає процеси життєдіяльності рослинних організмів, відкриває можливість пізнання змін, які відбуваються в них під впливом природних і антропогенних факторів, є теоретичною основою інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур і забезпечує науково обґрунтований своєчасний контроль та управління ростом і розвитком рослин.

Мета навчання полягає у формуванні у студента міцних знань із структурно-функціональної організації рослинних систем різних рівнів, оснований закономірностей життєвих функцій рослин та їх механізмів, формуванні уміння управляти продукційними процесами на сільськогосподарському полі.

Як результат вивчення дисципліни “Фізіологія рослин” студент повинен знати:

- суть фізичних та хімічних явищ, на яких ґрунтуються життєві процеси рослинного організму;

- принципи структурно-функціональної організації внутрішньокліматичних процесів у рослин, дії первинних механізмів, на яких ґрунтуються фізіологічні процеси, їх координація і регуляція в зв’язку з навколишнім середовищем;

- основні фізіологічні показники, що характеризують стан рослин у конкретних умовах вирощування;

- шляхи управління процесами онтогенезу, стійкістю до несприятливих умов середовища, продуктивністю;

- біологічні та фотометричні показники посіву основних сільськогосподарських культур, динаміку Зміни оптимальних значень в процесі росту і розвитку рослин та методи контролю і управління продукційним процесом формування запрограмованої врожайності, створені на основі даних показників.

Студент повинен уміти:

- застосовувати знання з фізіології рослин у практиці;

- використовувати основні біохімічні та фотометричні показники посіву для створення структуризованої бази даних, що характеризує потоки і елементи системи “ґрунт-рослина-клімат-продуктивність”;

- здійснювати контроль, прогноз та управління продукційним процесом формування запрограмованої врожайності на основі моделей, створених за біохімічними та фотометричними показниками.

### МОДУЛЬ 3. ФОТОСИНТЕЗ

Фотосинтез – унікальний процес, що дає можливість існування всім живим організмам. У результаті цього складного фотохімічного процесу з простих неорганічних речовин, вуглекислого газу і води під дією сонячного світла утворюються органічні речовини, перш за все вуглеводи. Фотосинтез протікає дуже інтенсивно – кожні 250 років рослини «пропускають» через себе весь запас  $\text{CO}_2$ , якій міститься в земній атмосфері. Фотосинтез і дихання (зворотний процес з виділенням  $\text{CO}_2$ ) створюють гігантську буферну систему, яка підтримує в земній атмосфері постійну концентрацію – 0,03%  $\text{CO}_2$  (близько 600 млн. т). Підраховано, що щорічно під час фотосинтезу фіксується 150 млрд. т вуглекислого газу і утворюється 58 млрд. т органічної речовини. Приблизно половину його створюють рослини суші.

Основний процес фіксації вуглекислого газу протікає в особливих компартментах клітини – хлоропластах. Хімічний склад хлоропластів складний: білки – 30-45%, РНК – 0,5-3%, ДНК – 0,5%, ліпіди – 20-40%, хлорофіл – 9%, каротиноїди – 4,5% (в перерахунку на суху масу). У хлоропластах зосереджені майже всі мінеральні елементи. Крім того в хлоропластах є численні ферменти, вітаміни. Доведено існування системи, що синтезує білок.

Поглинання квантів світла здійснюють фотосинтезуючі пігменти і головний серед них – хлорофіл. Аналіз і виділення в чистому вигляді хлорофілу дозволили встановити, що у всіх вищих рослин він однаковий і існує в основному у формі хлорофілу *a* і хлорофілу *b*. Крім хлорофілу, в мембранах гран є жовті і червоні пігменти (каротиноїди). Молекули хлорофілу зібрані в групи, причому до кожної групи приєднані молекули каротиноїдів. Мабуть, цим пояснюється швидка передача енергії збудження від однієї молекули пігменту до іншої, що має важливе значення в природі. Завдяки особливій будові хлоропластів у середньому поверхня, яка сприймає світло, перевищує площу листків у 15 разів.

У 30-тих рр. ХХ ст. було встановлено, що фотосинтез являє собою власне фотохімічну, або світлову реакцію, і асиміляцію карбону – хімічну, або темнову реакцію.

Світлова реакція починається поглинанням хлорофілом квантів світла з утворенням відновлюючого агента ( $\text{НАДФН} + \text{H}^+$ ) і молекули АТФ. Світлова реакція також включає в себе розкладання води (фотоліз). З води виділяється кисень. При цьому утворюється відновлений переносник електронів і гідрогену – НАДФН. У результаті складного процесу фотофосфорилування накопичується енергія у вигляді молекул АТФ.

Темнова фаза фотосинтезу відбувається в стромі хлоропластів. За рахунок складних ферментних реакцій із використанням продуктів світлової фази синтезуються первинні органічні речовини, головним чином молекули цукру.

На інтенсивність фотосинтезу впливають численні екзогенні та ендогенні фактори, здатні прискорити або послабити процес синтезу органічних речовин.

### 3.1. Лабораторний практикум до розділу «Фотосинтез»

#### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

##### Будова пігментів листка

*Мета:* вивчити будову різних пігментів вищих рослин, виділити пігменти з листка.

*Матеріали і обладнання:* фарфорові ступки, етиловий спирт, фільтрувальний папір, пробірки, лійки, штатив, зелені листки різних рослин.

##### Теоретичне обґрунтування

У природі трапляються п'ять різних типів хлорофілу, які незначно відрізняються за своєю молекулярною структурою. Хлорофіл *a* присутній у всіх водоростей і вищих рослин; хлорофіл *b* – у зелених, харових, евгленових водоростей і у вищих рослин; хлорофіл *c* – у бурих водоростей, золотистих, діатомей і дінофлагелят; хлорофіл *d* – у червоних водоростей; нарешті, є різні види бактеріохлорофілу – в фотосинтезуючих бактерій. Для синьо-зелених і червоних водоростей характерна наявність біліпротеїнів: фікоціаніну та фікоеритрину. Найкраще вивчений хлорофіл *a*. Його молекула складається з чотирьох пірольних кілець, з нітрогеном яких пов'язаний атом магнію, а до одного з кілець приєднаний одноатомний ненасичений спирт фітол.

Пігменти рослин забезпечують поглинання квантів світла, тому що вони фотоактивні речовини. Фотоактивність пігментів забезпечується особливостями їх будови. Здатність до процесів поглинання світла пояснюється наявністю в молекулі хлорофілу подвійних зв'язків із рухливими  $\pi$ -електронами та атомів нітрогену з неподіленими електронами.

Більшість рослин, що виділяють кисень, містять два різних хлорофіли, одним з яких завжди є хлорофіл *a*; іншим – у різних рослин є різні хлорофіли (*b*, *c*, *d*); у деяких випадках замість другого хлорофілу в клітині містяться біліпротеїни. Додатковими рецепторами світлової енергії, що також входять до складу фотосинтетичних мембран, є жовті та червоні пігменти – каротиноїди. Вони відрізняються від хлорофілу за положенням максимумів поглинання видимої частини спектра. Припускають також, що каротиноїди виконують захисну функцію, запобігають розпаду хлорофілу під дією молекулярного кисню.

Таким чином у клітинах рослин фотосинтезуючі пігменти поділяються:

- ✚ а) основні: хлорофіли *a*, *b*, *c*<sub>1</sub>, *c*<sub>2</sub>, *d*;
- ✚ б) додаткові: каротиноїди, фікобіліни.

Іноді в рослинах трапляються також каротиноїдні кислоти (сполуки, що виникають при руйнуванні каротиноїдів). Разом з іншими пігментами вони забезпечують поглинання енергії квантів світла за рахунок складних фізичних процесів, що здійснюються в фотосинтетичних структурах рослин.

## Основні фотосинтетичні пігменти в царстві рослин

Організми	Хлорофіли					Фікобіліни		Каротиноїди	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C<sub>1</sub></i>	<i>c<sub>2</sub></i>	<i>d</i>	фікое- ритрин	фікоці- анін	каротини	ксанто- філи
Вищі рослини, папоротеподібні, мохоподібні	+	+	—	—	—	—	—	$\alpha$ - каротин, $\beta$ - каротин	лютеїн, віоло- ксантин, неоксан- тин
Водорості (зелені)	+	+	—	—	—	—	—	$\beta$ - каротин	віоло- ксантин, неоксан- тин
Водорості (евгленові)	+	+	—	—	—	—	—	$\beta$ - каротин	неоксан- тин, діано- ксантин
Водорості (бурі)	+	—	+	+	—	—	—	$\beta$ - каротин	фукос- кантин, віоло- ксантин
Водорості (золотисті)	+	—	+	+	—	—	—	$\beta$ - каротин	фукос- кантин
Водорості (жовто-зелені)	+	—	—	—	—	—	—	$\beta$ - каротин	неок- сантин, діадино- ксантин
Водорості (діатомові)	+	—	+	+	—	—	—	$\beta$ - каротин	неоксан- тин, діадино- ксантин
Водорості (криптофітові)	+	—	—	+	—	+	+	$\alpha$ - каротин, $\beta$ - каротин	фуко- ксантин, ало- ксантин
Водорості (червоні)	+	—	—	—	+	+	+	$\alpha$ - каротин, $\beta$ - каротин	лютеїн, зеа- ксантин
Водорості (синьо-зелені)	+	—	—	—	—	+	+	$\beta$ - каротин	ехіненон мікоксан- тофіл



## Хід роботи

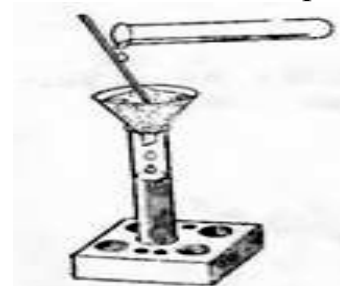
Фотосинтезуючі пігменти міцно вбудовуються в мембрану хлоропластів. У зв'язку з чим для виділення пігментів використовують методи, що дозволяють зруйнувати як клітину в цілому, так і окремі клітинні органели.

Для руйнування тканин листка, а також для руйнування хлоропластів, де містяться пігменти, наважку листків (0,2 г) розтирають у ступці з битим склом до утворення однорідної зеленої маси. Для нейтралізації кислот клітинного соку додають  $\text{CaCO}_3$  (на кінчику ланцета). При розтиранні використовують 10 мл етилового спирту, який додавають до маси поступово.

Після цього за допомогою фільтрувального паперу, лійки та скляної палички масу фільтрують у пробірку. Витяжка пігментів повинна мати яскраво-зелений колір та не містити осаду.

В другій ступці розтирають листки з водою. Для руйнування тканин також додають невелику кількість битого скла. Однорідну масу фільтрують у пробірку. Отримані витяжки поміщають на світло та уважно розглядають.

Роблять висновок про здатність пігментів до розчинення в різних розчинниках та утворення справжніх і колоїдних розчинів.



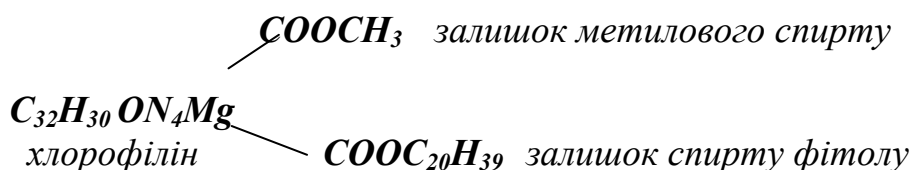
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 Хімічні властивості пігментів листка

*Мета:* виділити пігменти з листка, розділити пігменти, визначати особливості хімічної будови.

*Матеріали і обладнання:* фарфорові ступки, свіжі листки різних рослин, скло, 96% розчин етилового спирту, фільтрувальний папір, пробірки, штативи, бензин, розчин соляної кислоти, ацетат міді.

### Теоретичне обґрунтування.

Хлорофіли – це складні ефіри дикарбонової кислоти хлорофіліну, в якій одна карбоксильна група етерифікована залишком метилового спирту, а друга – залишком спирту фітолу, за рахунок якого виникає взаємодія хлорофілу з мембранами хлоропластів.



Основні оптичні властивості пігментам надають структури, в яких є подвійні зв'язки. В хлорофілі – це порфіринове ядро, що складається з чотирьох пірольних кілець і атома Mg, а в каротиноїдах – це карбоно-гідрогенний ланцюг із подвійними зв'язками.

Хлорофіли – сполуки, що вибірково поглинають світло у видимій частині сонячного спектра. Максимуми його поглинання знаходяться у синьо-фіолетовій і червоній частині спектра. В розчині хлорофілу положення максимумів поглинання залежить від розчинника, а в листку – від взаємодії молекул хлорофілу між собою, з іншими пігментами, білками та ліпідами. У етиловому спирті максимуми поглинання хлорофілів *a* у червоній частині спектра перебувають у межах 660-663 нм, у синій – 428-430, хлорофілу *b* – відповідно 642-644 та 452-455 нм.

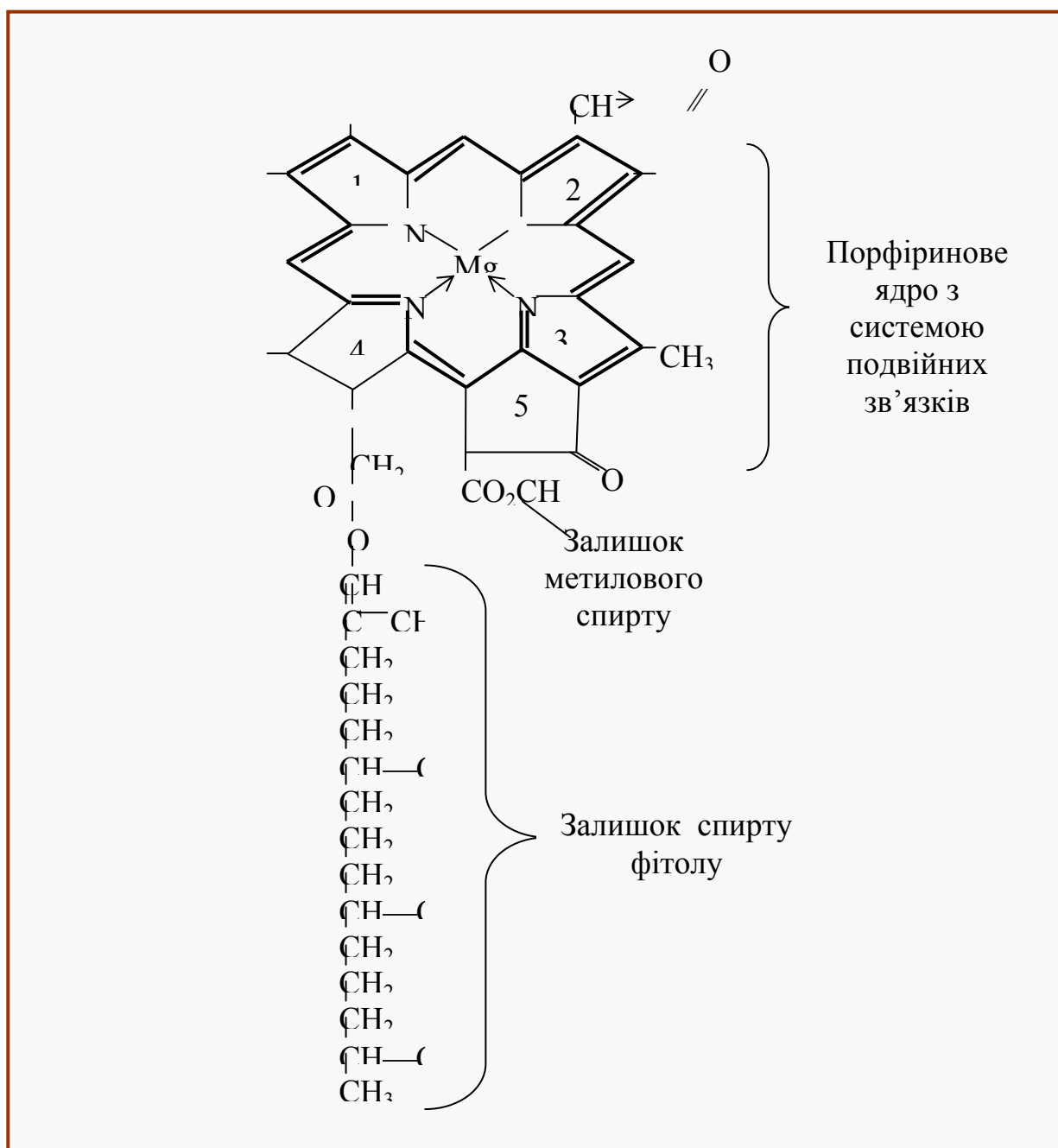


Рис. 3.1.1. Хімічна структура хлорофілу

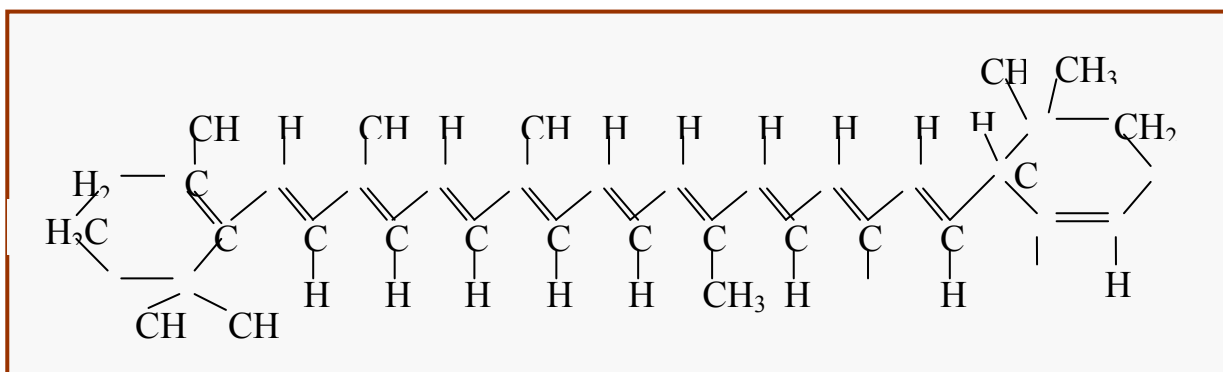


Рис. 3.1.2. Хімічна структура каротину

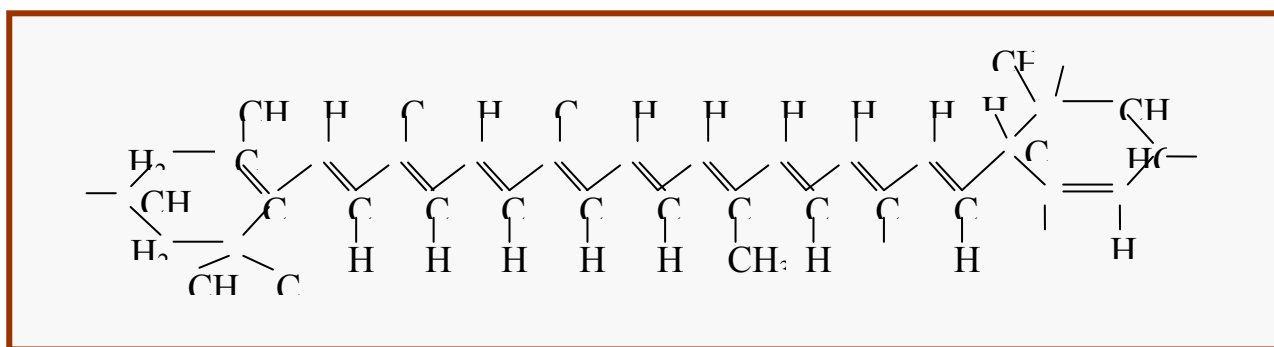


Рис. 3.1.3. Хімічна структура ксантофілу

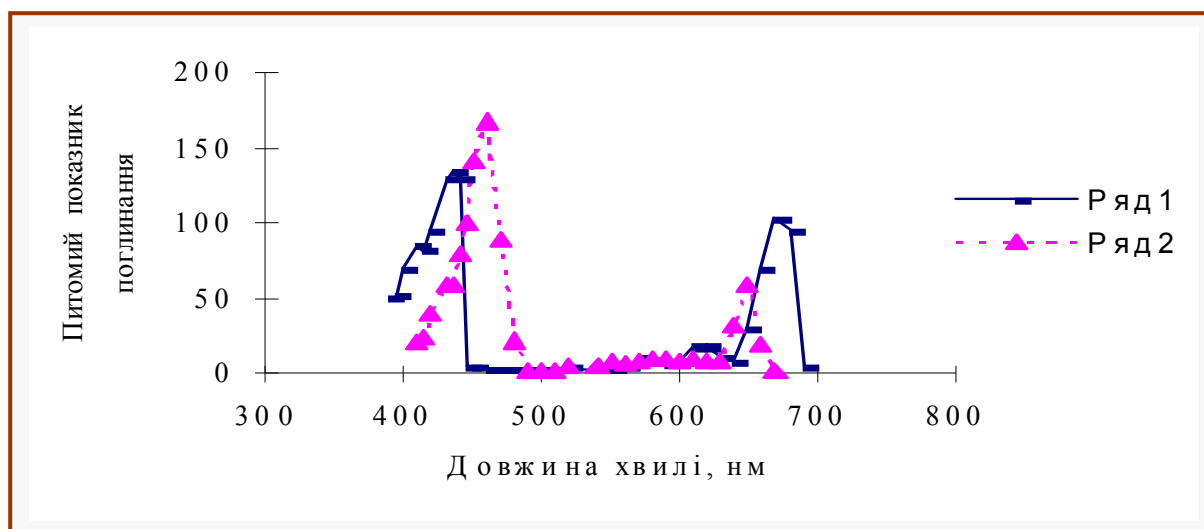
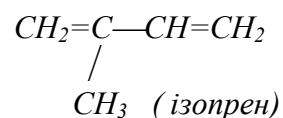


Рис. 3.1.4 Спектри поглинання хлорофілів

Важливою властивістю хлорофілів є їх здатність до взаємодії, тому в хлоропластах можуть зустрічатися хлорофіли як в мономерній, так і в агрегованій формі. В мембранах пластид хлорофіл перебуває у вигляді пігмент-ліпопротеїдних комплексів.

В основу структури каротиноїдів входять довгі поліізопренові ланцюги або їхні похідні. За хімічною природою всі вони є полімерами ізопрену.

Довжина ланцюгів досягає 3 нм і часто закінчується шестичленними циклами. Безоксигенні каротиноїди – *каротини* мають хімічну формулу  $C_{40}H_{56}$ . Вони містяться в усіх зелених частинах рослини, а також у коренеплодах моркви, брукви та різних плодах. Усі хребетні тварини здатні розщеплювати в процесі травлення  $\beta$ -каротин із утворенням двох молекул вітаміну А.



Окислені каротиноїди – *ксантофіли*, постійні супутники і похідні каротинів, мають хімічні формули  $C_{40}H_{56}O_2$  (лютеїн, зеаксантин),  $C_{40}H_{56}O$  (криптоксантин),  $C_{40}H_{60}O_6$  (фукоксантин).

Каротиноїди поглинають світло у синьо-фіолетовій частині спектра від 400 до 500 нм і передають енергію на хлорофіл, тобто у процесі фотосинтезу їх роль допоміжна. Вони захищають хлорофіл, клітини і тканини від шкідливого впливу надлишку світла окислення киснем, який виділяється при фотосинтезі, беруть участь в окисно-відновних реакціях, а також відіграють важливу роль у генеративних процесах рослин.

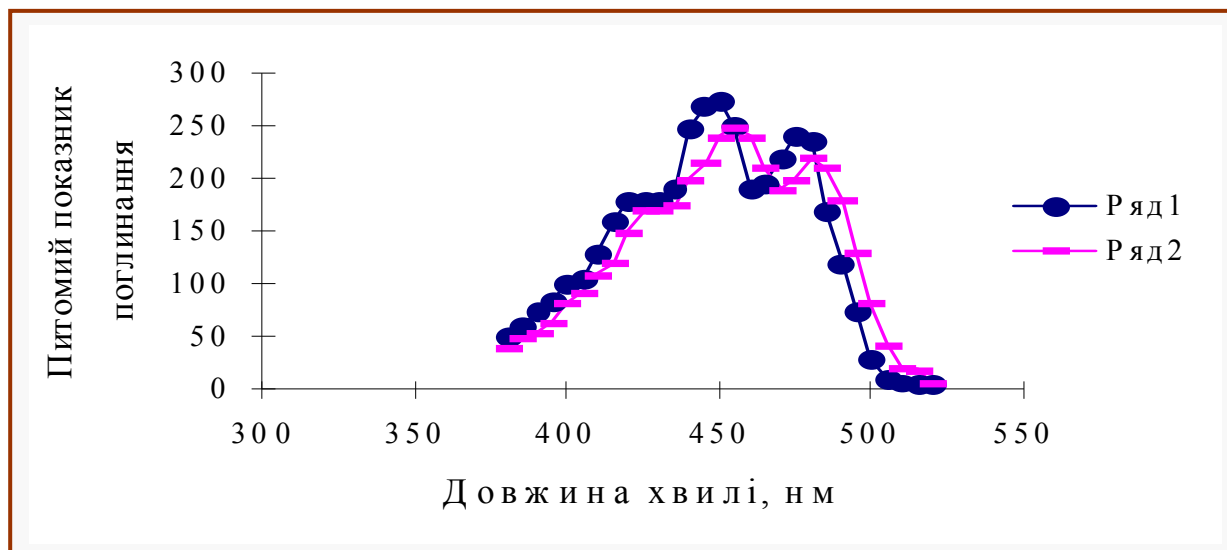


Рис. 3.1.5. Спектри поглинання каротиноїдів

Для виділення пігментів використовують органічні розчинники, в першу чергу це спирт і ацетон. Як розчинник може бути використаний бензин. У ньому найкраще розчиняються хлорофіли.

#### Хід роботи

Свіжі листки нарізають ножицями, кладуть у ступку і розтирають до однорідної маси. Для нейтралізації кислот клітинного соку додають  $CaCO_3$  (на кінчику ланцета). Потім додають 10 мл етилового спирту і суміш старанно розтирають до забарвлення спирту в інтенсивний колір. Після цього розтерту масу фільтрують, зливаючи її по скляній паличці на паперовий фільтр, розташований на пробірці. Отримують прозорий зелений розчин суміші пігментів.



### Розподіл пігментів за методом Крауса

В основі методу лежать хімічні властивості пігментів по-різному розчинятись у спирті і бензині. Вказані розчинники при зливанні не змішуються і утворюють дві фази верхню – бензинову і нижню – спиртову. Завдяки цьому відбувається розподіл компонентів суміші.

У пробірку наливають 2-3 мл спиртової витяжки, додають рівний об'єм бензину і 2-3 краплі води. Потім вміст пробірок різко перемішують і залишають для відстоювання. Ставлять пробірку в штатив і спостерігають за розшаруванням емульсії. В міру розшарування, верхній бензиновий шар забарвлюється в зелений колір завдяки кращій розчинності в ньому хлорофілу. В цьому шарі міститься каротин, але його забарвлення маскується хлорофілом так само як і в зеленому листку. У нижньому спиртовому шарі залишається ксантофіл, а тому цей шар матиме золотисто-жовте забарвлення. Якщо нижній шар помутніє (від надлишку води), то необхідно додати кілька крапель спирту, знову інтенсивно перемішати і залишити до розшарування емульсії.



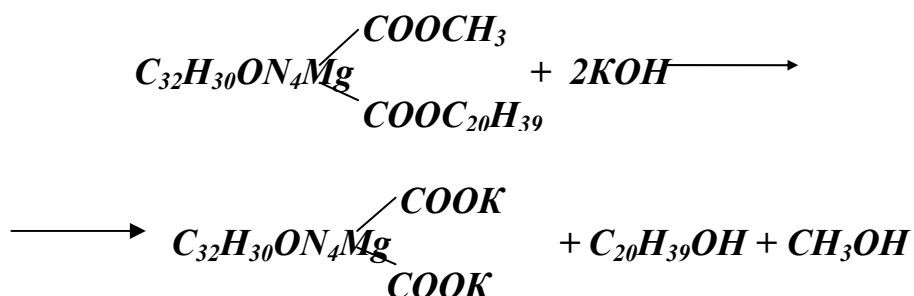
Роблять рисунок розподілу пігментів і висновки про здатність до розчину пігментів у різних органічних розчинниках.

### Омилення хлорофілу лугом

За хімічною будовою хлорофіли – складні ефіри дикарбонової органічної кислоти – хлорофілінова і двох залишків спиртів – фітолу і метилового. Хлорофілінова кислота являє собою нітрогенвмісну металорганічну сполуку, що належить до магнійпорфіринів.

У хлорофілі гідроген карбоксильних груп заміщений залишками двох спиртів – метилового  $\text{CH}_3\text{OH}$  і фітолу  $\text{C}_{20}\text{H}_{39}\text{OH}$ , тому хлорофіл є складним ефіром.

Наявність у молекулі хлорофілу активних хімічних груп зумовлює його реакційну здатність. Наприклад, при обробці хлорофілу лугом, ефірні зв'язки омилюються, в результаті чого від його молекули відщеплюються спирти (фітол і метанол):



Другий продукт, що утворюється під час реакції – лужна сіль хлорофілінової кислоти, яка зберігає зелене забарвлення і оптичні властивості хлорофілу.

У пробірку наливають 2-3 мл спиртової витяжки пігментів, додають 1 мл 20% розчину KOH або NaOH. Екстракт ставлять у водяну баню, доводять до

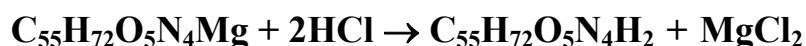
кипіння, виймають і охолоджують. До охолодженої суміші додають рівний об'єм бензину і 2-3 краплі води. Вміст пробірок різко перемішують і залишають для відстоювання.

У бензиновий шар переходять каротин і ксантофіл, а в спиртовий – натрієва сіль хлорофілінової кислоти. На основі отриманих результатів роблять рисунок, пояснюють розподіл пігментів.



#### *Добування феофітину і зворотна заміна гідрогену атомом металу*

Атом магнію порівняно слабо утримується в порфіриновому ядрі і при обережній дії сильних кислот легко заміщується двома протонами, при цьому утворюється сполука бурого кольору – феофітин.



Така реакція має місце при утворенні бурих плям на листках під дією високих температур у жаронестійких рослин і може бути використана для лабораторного визначення жаростійкості рослин.

Якщо на феофітин подіяти солями міді або цинку, то замість двох протонів у ядро входить подвійний метал, зворотньо відновлюється металоорганічний зв'язок і з'являється знову зелене забарвлення. Отже, забарвлення хлорофілу залежить від наявності металоорганічного зв'язку в його молекулі.



У дві пробірки наливають 2-3 мл спиртової витяжки пігментів і додають 2-3 краплі 10% розчину соляної кислоти та легко збовтують. Під дією кислоти зникає зелене забарвлення, і витяжка набуває оливково-бурого кольору, утворюється сполука, що дістала назву феофітину.

Далі одну пробірку залишають як контрольну, а в другу вносять невелику кількість ацетату міді й нагрівають на водяній бані. При цьому оливково-буре забарвлення зникає і знову з'являється зелене в результаті відновлення металоорганічного зв'язку і утворення металазаміщеного хлорофілу.

Під час роботи роблять рисунок пробірки з феофітином і металазаміщеним хлорофілом та висновки про залежність оптичних властивостей пігменту від наявності в молекулі магнію.



### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### ***Кількісне визначення пігментів листка***

*Мета:* визначити кількість пігментів у листках кімнатних рослин

*Матеріали і обладнання:* фарфорові ступки, свіжі листки кімнатних рослин, 96% розчин етилового спирту, пробірки, фільтрувальний папір, лійки, скляні колби місткістю 25 мл, 1% розчин  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 2% розчин  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 2 н розчин  $\text{NH}_4\text{OH}$ , фотоелектрокалориметр (ФЕК).

### Теоретичне обґрунтування

Кількість хлорофілу й інших пігментів важливий показник, що впливає на фотосинтетичну активність рослин (табл.3.1.2).

Таблиця 3.1.2

Вплив вмісту хлорофілу на ступінь використання світла в процесі фотосинтезу

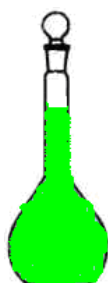
Колір листка	Вміст хлорофілу ( $a + b$ ), мг/дм <sup>2</sup>	Використання світла, %
Жовто-зелений	0,5	4,0
Жовто-зелений	1,0	6,0
Жовто-зелений	1,5	7,5
Блідо-зелений	1,8	10,0
Блідо-зелений	2,5	10,0
Блідо-зелений	4,2	12,0
Блідо-зелений	5,0	14,0
Темно-зелений	6,0	14,0
Темно-зелений	7,0	14,0
Темно-зелений	8,8	14,2
Темно-зелений	9,0	14,0

Як правило, кожен вид рослин має певний запас пігментів листка. В зв'язку з чим не спостерігається значних змін при збільшенні концентрації хлорофілу, коли рослина перебуває в нормальному стані. У більшості рослин концентрація хлорофілів у листках коливається в межах 0,1-0,7% від сирової маси листка. Середній показник вмісту – 0,3%. Концентрація хлорофілу ще визначається на одиницю поверхні листка, цей показник коливається в межах 0,7-8 мг/дм<sup>2</sup>:

При різкому зменшенні концентрації хлорофілу й інших пігментів (наприклад, під дією факторів зовнішнього середовища) інтенсивність фотосинтезу падає.

### Хід роботи

Отримують спиртову витяжку пігментів згідно з вказівками лабораторної роботи 14 та 15, при цьому використовують точну наважку листка від 0,15 до 0,2 г.



Спиртову витяжку пігментів переносять у колбу місткістю 25 мл і доводять об'єм витяжки (поступово додаючи спирт) до цієї відмітки. Розчин у колбі повинен бути прозорим. У разі, коли це не спостерігається, необхідне зворотне фільтрування. Колба повинна бути захищена від впливу прямого сонячного світла, тому що пігменти під його дією швидко розкладаються.

Для визначення концентрації хлорофілу в листках використовують спеціальний прилад – фотоелектрокалориметр (ФЕК). Прилад калібрують



згідно з розчину Гьотрі.

Розчин Гьотрі готують таким чином:

у колбі на 100 мл змішують – 28,5 мл 1% розчину  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  + 50 мл 2% розчину  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  + 10 мл 2 н розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$ , доводять об'єм до 100 мл шляхом додавання дистильованої води.

. Отриманий розчин має колір подібний до хлорофілу, за оптичною щільністю 1 мл розчину Гьотрі відповідає 0,085 мг хлорофілу. Для калібрування приладу в колбах місткістю 25 мл готують ряд розчинів, шляхом розбавлення водою отриманого розчину Гьотрі (рис.3.1.6)

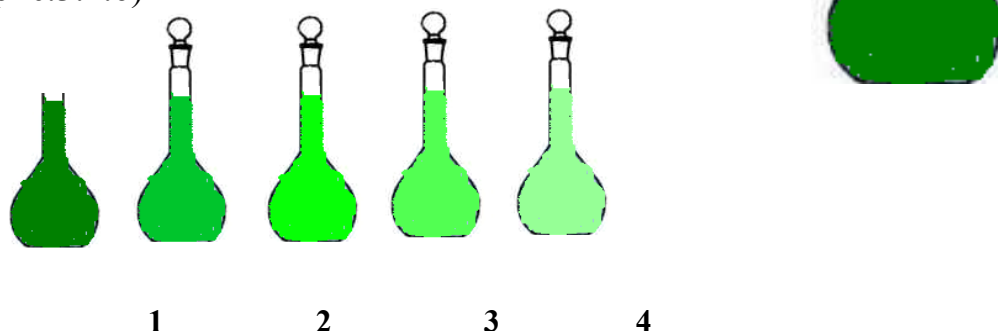


Рис. 3.1.6. Ряд розчинів для калібрування приладу

- ✚ 1 – колба містить 15 мл розчину Гьотрі (1,275 мг хлорофілу);
- ✚ 2 – колба містить 12 мл розчину Гьотрі (1,020 мг хлорофілу);
- ✚ 3 – колба містить 9 мл розчину Гьотрі (0,765 мг хлорофілу);
- ✚ 4 – колба містить 6 мл розчину Гьотрі (0,510 мг хлорофілу);
- ✚ 5 – колба містить 3 мл розчину Гьотрі (0,255 мг хлорофілу).

Розчини Гьотрі різної концентрації наливають у кювети приладу (рис. 3.1.7) і визначають оптичну щільність кожного розчину згідно інструкцією використання ФЕК. Для визначення використовують червоний світлофільтр, тому що один із максимумів поглинання хлорофілу знаходиться у червоній частині спектра. На основі отриманих даних будують графік залежності між оптичною щільністю та показниками приладу (за прикладом, поданим на рис. 3.1.8).

Графік залежності між оптичною щільністю та показником приладу використовують для розрахунків концентрації хлорофілу в листках. За допомогою приладу визначають оптичну щільність отриманої спиртової витяжки на червоному світлофільтрі та розраховують вміст хлорофілу в дослідних листках.

Приклад розрахунків:

Для визначення концентрації хлорофілу використано наважку листка масою 0,180 г, вона була повністю розтерта з етиловим спиртом, отриманий розчин перенесли в колбу місткістю 25 мл. Прилад показав, що оптична щільність даного розчину дорівнювала 0,15. Згідно з рисунка 3.1.8 така оптична щільність відповідає концентрації хлорофілу 0,664 мг/25 мл. Таким



чином, з наважки масою 180 мг отримано 0,664 мг хлорофілу, відповідно вміст хлорофілу в листках, що досліджувалися, становить 0,37% від сирової маси.

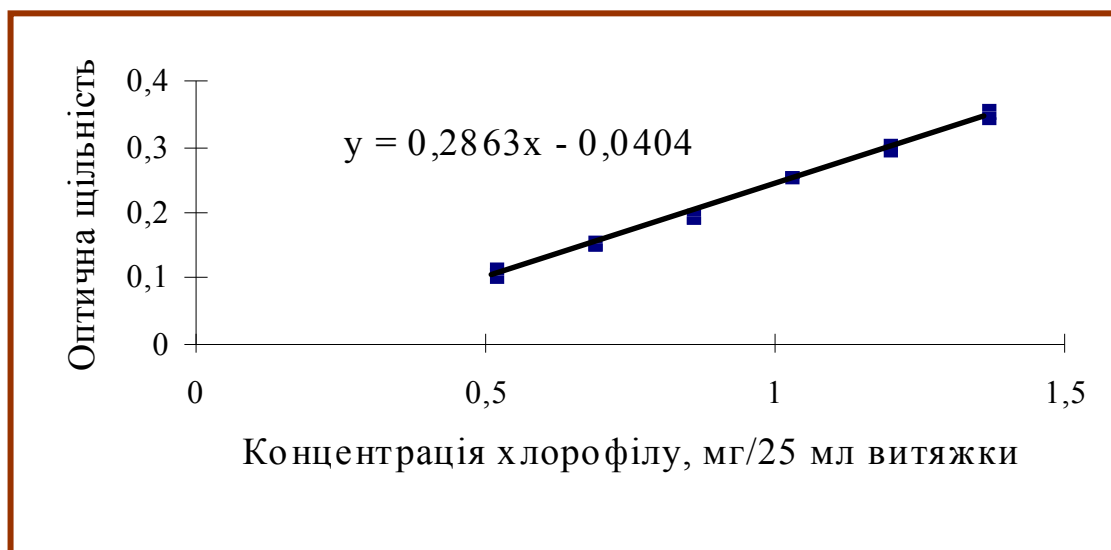


Рис. 3.1.8. Залежність оптичної щільності від концентрації хлорофілу (за розчином Гьотрі)

На основі отриманих показників роблять висновок про вміст хлорофілу в листках дослідної рослини.

#### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 *Визначення площі листків*

*Мета:* визначати площу листової поверхні рослин різними методами. Порівняти точність різних методів.

*Матеріали і обладнання:* ваги, ножиці, міліметровий папір, олівці, свердло для отримання висічок.

##### *Теоретичне обґрунтування*

Фотосинтез є основним процесом за якому утворюється суха речовина рослин. Однак, залежність між фотосинтезом і загальною продуктивністю рослинного організму, а тим більше урожаєм, далеко не проста. Слід враховувати при цьому, що фотосинтез відбувається лише в зелених клітинах, тоді як процес дихання проходить у всіх клітинах, без винятку.

Час, протягом якого здійснюється фотосинтез, також менший часу дихання. У зв'язку з цим, для того, щоб відбувалося накопичення сухої речовини, інтенсивність фотосинтезу повинна



приблизно в 10 разів перевищувати інтенсивність дихання. Загальне накопичення сухої маси рослини залежить від інтенсивності фотосинтезу, коефіцієнта ефективності (куди входить витрата на процес дихання), розміру листової поверхні та суми днів вегетаційного періоду.



Розмір листової поверхні у посіві визначається величиною, що дістала назву листовий індекс. Листовий індекс – це відношення сумарної поверхні листків до площі посіву. Якщо листовий індекс дорівнює 3, це означає, що над гектаром посіву площа листків дорівнює 30 тис. м<sup>2</sup>. Оптимальна загальна площа листків для різних рослин різна і залежить переважно від розташування листків у просторі. Чим вертикальніше розташовані листки, тим менше вони



затінюють один одного і тим вище значення їхньої оптимальної площі листків. Так, для конюшини оптимальне значення листового індексу 3-4, а для пшениці воно доходить до 7.

Інтенсифікація роботи листового апарату, зокрема, може бути досягнута шляхом посилення навантаження на одиницю фотосинтетичного апарату споживаючих органів. Необхідно врахувати, що в агрономічній практиці важливий не стільки біологічний, скільки господарський урожай.

Господарський урожай (Угосп.) – це частка корисного продукту, заради якого вирощують рослину (зерно, коренеплоди, волокно і т. п.). Значною мірою біологічний, а отже і господарський урожай залежать від площі листків. При цьому слід добиватися швидкого розвитку листової поверхні на початку вегетаційного періоду. Однак надмірний розвиток листків небажаний. У цьому разі вони затінюють один одного, і їхня працездатність зменшується.

Можуть бути навіть випадки, коли листки з органів, які постачають поживні речовини, стають споживачами. Разом з тим листок – це не лише орган фотосинтезу, а й орган транспірації. Отже, чим більша площа листків, тим більше рослина втрачає води в процесі випаровування.

### *Хід роботи*

Для визначення площі листової поверхні розроблено багато методів. Найбільш поширеними, які використовують як у польових, так і в лабораторних дослідах, є нижченаведені.

1) *Метод відбитків.* З паперу вирізають квадрат площею 100 см<sup>2</sup> і його зважують. Потім на нього кладуть досліджуваний листок рослини і обводять контур. Контур вирізують і також зважують. Складають пропорцію і знаходять площу за формулою:

$$S = 100 B/A, \quad \text{де:}$$

*A* – маса квадрата; *B* – маса контуру.

Відбиток листка можливо отримати з допомогою світлочутливого паперу. Листок кладуть на папір, притискають скляною пластинкою і виставляють на світло (3-5 хв). Контур листка обводять олівцем і вирізують. З світлочутливого паперу отримують квадрат певної площі, зважують його, та з допомогою пропорції розраховують площу листка рослини. Метод використовують для визначення площі досить нескладних листків, він практично не використовується для досліджень роздільних, розсічених, перистих та інших подібних листків.

2) *Метод висічок*. Найбільш поширений для масового визначення площі листків у польових дослідженнях.

Беруть середню пробу рослинного матеріалу, відрізають листки і визначають їх масу. З листків свердлом певного діаметру вибивають 5-10 (залежно від розміру листової пластинки) висічок. Усі висічки зважують. Визначають площу листків за формулою:

$$S = a \cdot c/b, \quad \text{де:}$$

*a* – загальна маса сирих листків; *c* – загальна площа висічок;

*b* – загальна маса висічок.

Площа висічки визначається за формулою:

$$S = \pi \cdot r^2, \quad \text{де:}$$

$\pi = 3,14$ ; *r* – радіус свердла.

3) *Метод визначення площі листка за його параметрами*. Метод оснований на порівнянні листків з певною геометричною фігурою, за умови, коли листок достатньою мірою схожий з даною фігурою. Так, наприклад, листки злакових культур нагадують витягнутий прямокутник. Для більш точного визначення площі таких листків використовують поправний коефіцієнт.

Коефіцієнт визначають порівнянням показників площі листків, отриманих, наприклад, методом відбитків та за параметрами листка. Поправний коефіцієнт, що відображає середні відхилення дійсної конфігурації листка від простої геометричної фігури, для сільськогосподарських культур здебільшого випадків відповідає 0,65-0,68, або в дробовому вираженні дорівнює 2/3.

При визначенні площі листка пшениці, кукурудзи (або іншої культури з подібними листками) визначають їх площу за формулою:



$S = 0,65 \cdot a \cdot b$ , де:

$a$  – довжина листка;  $b$  – ширина листка.

За викладеними методиками визначають площу листкової поверхні кімнатної рослини. На основі даних, що дістали, заповнюють таблицю.

Таблиця 3.1.4

Порівняння різних методів визначення площі листків

Метод			Відхилення, %	
Контроль	2-й	3-й	2-й/К	3-й/К

Примітка. К – контроль, метод відбитків;

2-й – метод висічок;

3-й – визначення площі листка за його параметрами.

На основі отриманих даних роблять висновок про відхилення показників площі листків за використання різних методів та необхідності врахування цієї обставини при проведенні досліджень.

### 3.2. Контрольні питання до розділу «Фотосинтез»

1. Планетарна роль зелених рослин. Колообіг  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$ .
2. Особливості будови листка як органу фотосинтезу.
3. Хімічні й оптичні властивості пігментів листка.
4. Будова і функції хлоропластів у рослинній клітині.
5. Первинні процеси фотосинтезу. Структура і функції реакційного центру.
6. Світлова фаза фотосинтезу, механізм функціонування першої та другої фотосистеми.
7. Фіксація  $\text{CO}_2$  у  $\text{C}_3$ -рослин (цикл Кальвіна).
8. Фотодихання, суть процесу, значення в накопиченні рослиною сухих речовин.
9. Особливості фіксації  $\text{CO}_2$  у  $\text{C}_4$ -рослин. Цикл Хетча-Слейка.
10. Особливості поглинання  $\text{CO}_2$  у сукулентів. Фотосинтез за типом товстянкових.
11. Залежність інтенсивності фотосинтезу від зовнішніх факторів середовища.
12. Основні показники, що характеризують фотосинтетичну активність посівів.
13. Взаємозв'язок між накопиченням рослиною сухої речовини і поглинанням  $\text{CO}_2$ .
14. Інтенсивність фотосинтезу, значення в формуванні врожаю, методи вивчення.
15. Інтенсивність фотосинтезу і транспортування асимілятів у рослинах. Взаємозв'язок процесів.

### 3.3. Тестові завдання до розділу «Фотосинтез»

1. Якими пігментами представлена пігментна система хлоропластів вищих рослин:
  - a) хлорофілами і каратиноїдами;
  - b) хлорофілами й антоціанами;
  - c) хлорофілами і фікобілінами;
  - d) тільки хлорофілами.
2. У якій області спектра лежить максимум поглинання хлорофілів у вищих рослин:
  - a) 400-500 нм;
  - b) 400-500 нм і 600-720 нм;
  - c) 380-400 нм і 500-700 нм;
  - d) 400-500 нм і 720-730 нм.
3. Які продукти світлової фази утворюються у вищих рослин за нециклічною транспортуванні електронів:
  - a) НАДФН і  $\text{O}_2$ ;
  - b) НАДФН і АТФ;
  - c) НАДФН, АТФ,  $\text{O}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ ;

d) НАДФН, АТФ,  $O_2$ .

4. Яка сполука є первинним акцептором  $CO_2$  у  $C_3$ -рослин:

- a) рибулозо-5-фосфат;
- b) ксилозо-5-фосфат;
- c) рибулозо-1,5-дифосфат;
- d) фосфоенолпіруват.

5. Яке звичайне співвідношення між хлорофілом *a* і *b* у вищих рослин:

- a) 6:1;
- b) 3:1;
- c) 2:1;
- d) 4:1.

6. Яка частина хлорофілу обумовлює здатність пігменту до поглинання квантів світла:

- a) залишок спирту фітолу;
- b) залишок метанолу;
- c) порфіринове ядро;
- d) атоми карбону.

7. Які продукти утворюються в хлоропластах за циклічною транспортування електронів:

- a) НАДФН і  $O_2$ ;
- b) НАДФН і АТФ;
- c) АТФ;
- d) НАДФН, АТФ,  $O_2$ .

8. Яка сполука є первинним акцептором  $CO_2$  у  $C_4$ -рослин:

- a) рибулозо-5-фосфат;
- b) ксилозо-5-фосфат;
- c) рибулозо-1,5-дифосфат;
- d) фосфоенолпіруват.

9. У яких структурних компонентах хлоропласта локалізовані пігменти:

- a) у зовнішній мембрані хлоропласта;
- b) у внутрішній мембрані хлоропласта;
- c) у стромі хлоропласта;
- d) у зовнішній і внутрішній мембрані хлоропласта.

10. Який із процесів не відбувається у світловій фазі фотосинтезу:

- a) поглинання квантів світла;
- b) міграція енергії;
- c) переміщення електронів по електронно-транспортному ланцюгу;
- d) утворення глюкози.



11. Яка група рослин відноситься до  $C_3$ -рослин:

- a) пшениця, кукурудза, томати, яблуна;
- b) кукурудза, просо, сорго;
- c) сорго, овес, картопля;
- d) яблуна, пшениця, горох.

12. Який із факторів зовнішнього середовища головним чином впливає на інтенсивність фотодихання:

- a) концентрація вуглекислого газу;
- b) температура;
- c) інтенсивність світла;
- d) спектральний склад світла.

13. У яких межах коливається вміст хлорофілу у вищих рослин (на сиру масу, %):

- a) 2% і вище;
- b) 0,1-0,7%;
- c) 0,7-1,5%;
- d) 1-2%.

14. Яка сполука є первинним продуктом карбоксилювання в циклі Кальвіна:

- a) 3-фосфогліцерінова кислота (ФГК);
- b) фосфогліцеріновий альдегід (ФГА);
- c) фруктозо-1,6-дифосфат;
- d) яблучна кислота.

15. В умовах компенсаційного пункту для рослин характерна:

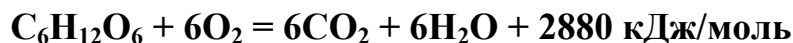
- a) відсутність процесу фотосинтезу;
- b) відсутність процесу дихання;
- c) синтез органічних речовин і їхній розклад відбуваються з однаковою інтенсивністю;
- d) оптимальна інтенсивність усіх метаболічних процесів.

16. Які фактори зовнішнього середовища не впливають на інтенсивність фотосинтезу:

- a) температура;
- b) інтенсивність світла;
- c) довжина дня і ночі;
- d) вологість ґрунта.

## МОДУЛЬ 4. ДИХАННЯ РОСЛИН

Дихання рослин – внутрішньоклітинний ферментативний багатоступінчастий процес окислення органічних речовин (переважно вуглеводів), що синтезуються при фотосинтезі. Дихання супроводжується утворенням різноманітних високоактивних метаболітів, що використовуються для синтезу біомаси. Під час розкладу органічних сполук звільняється енергія, яка необхідна для росту, розвитку та здійснення всіх процесів життєдіяльності рослин. Енергія зберігається в живих клітинах у формі високоенергетичних хімічних сполук, головним чином у формі аденозинтрифосфату (АТФ). Дихання у рослин протікає безперервно, воно властиво всім органам, тканинам і клітинам. Процес супроводжується поглинанням  $O_2$ , виділенням  $CO_2$  і зменшенням сухої маси. Основним субстратом дихання найчастіше є глюкоза. Сумарне рівняння процесу має такий вигляд:



Рівняння включає лише початкові і кінцеві продукти. Розщеплення глюкози може здійснюватися різними шляхами. Одним із найбільш поширених є гліколітичний шлях, що веде на першому етапі до розщеплення молекули глюкози на дві молекули триози з подальшим окисненням їх до піровиноградної кислоти. Розщеплення глюкози закінчується повним окисненням піровиноградної кислоти до  $CO_2$  і  $H_2O$  в циклі трикарбонових кислот (аеробне дихання). Однак, за нестачі кисню можливий процес бродіння і перетворення пірувату в спирт і деякі органічні кислоти. У добре вентильованих органах аеробне дихання відбувається гліколітичним або пентозофосфатним шляхом. Під час аеробного дихання звільняється 65% енергії повного окиснення глюкози, а анаеробного – лише незначна її частина.

Пентозофосфатний шлях полягає в відщепленні  $CO_2$  від молекули глюкози і перетворення пентоз у 4-7-карбонові сполуки, що використовуються для різних синтезів (у тому числі нуклеїнових кислот). Найбільш активно таким шляхом розкладаються вуглеводи в клітинах меристеми. В рослинних клітинах також є структури (гліоксисоми) в яких окислюються жири шляхом гліоксилатного циклу. Цей процес властивий переважно деяким вищим рослинам, що відкладають у насінні жири як запасуючі сполуки. Під час проростання насіння олійних культур частина жирів використовується як субстрат дихання для утворення АТФ.

Завершальний етап дихання пов'язаний з транспортуванням електронів до молекулярного кисню. Це важливий механізм біологічного окиснення, що забезпечує процес окисного фосфорилування та основний синтез АТФ у рослинних клітинах. Усі процеси розкладу органічних сполук регулюються каталітичною системою дихання. Активність системи залежить як від ендогенних, так і екзогенних факторів.



#### 4.1. Лабораторний практикум до розділу «Дихання рослин»

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

#### Ферменти дихання

**Мета:** вивчити окремі групи ферментів дихання на прикладі пероксидази та дегідрогенази, дослідити особливості їх дії за різних умов.

**Матеріали і обладнання:** бульби картоплі, тертушка, марля, 1% розчин гідрохінону, 3% розчин пероксиду гідрогену, пробірки, піпетки.

#### Теоретичне обґрунтування

Окиснення дихальних субстратів відбувається за участю ферментів. Вони називаються оксидоредуктазами, тому що окиснення однієї речовини (донора електронів і протонів) пов'язане з відновленням іншої речовини (акцептора). Розрізняють дві основні групи ферментів, що беруть участь у процесі розкладання органічних сполук під час дихання:

- а) дегідрогенази;
- б) оксидази.

**Анаеробні або піридинові дегідрогенази.** Це двокомпонентні ферменти, коферментом яких є НАД або НАДФ. Вони передають електрони різним акцепторам, але не кисню, і віднімають два протони від субстрату. Один протон приєднується до коферменту, а інший виділяється в середовище. Таким чином іде відновлення коферментів і руйнування субстратів дихання.

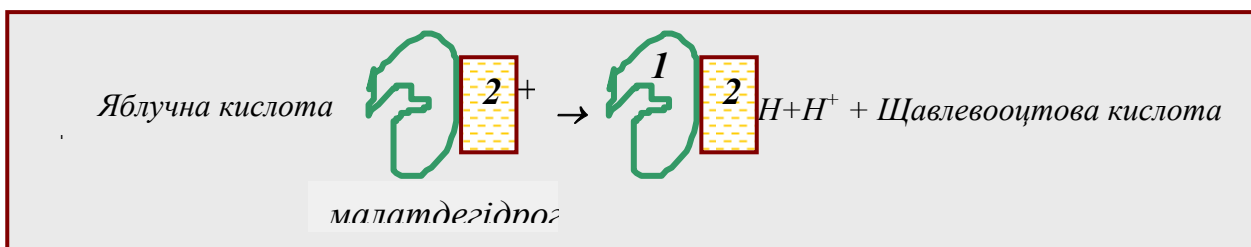
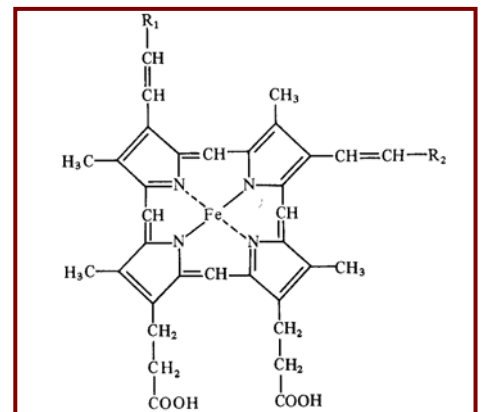


Рис.4.1.1. Схема реакції за участю анаеробної дегідрогенази

Примітка.1 – білкова частина ферменту з активним центром, що відповідає яблучній кислоті; 2 – кофермент НАД<sup>+</sup>

Залежно від білкової частини та специфічності субстрату розрізняють більше ніж 150 ферментів цієї групи. До таких ферментів, наприклад, відносяться алкоголдегідрогеназа, лактатдегідрогеназа, малатдегідрогеназа, 6-фосфоглюконатдегідрогеназа.

**Аеробні або флавінові дегідрогенази.** Вони каталізують відщеплення двох протонів від субстратів і передають електрони від анаеробних дегідрогеназ різним акцепторам (хінони,



цитохроми), в тому числі й кисню. Простетичною групою є похідні вітаміну B<sub>2</sub> – флавінаденіндинуклеотид флавінмононуклеотид.

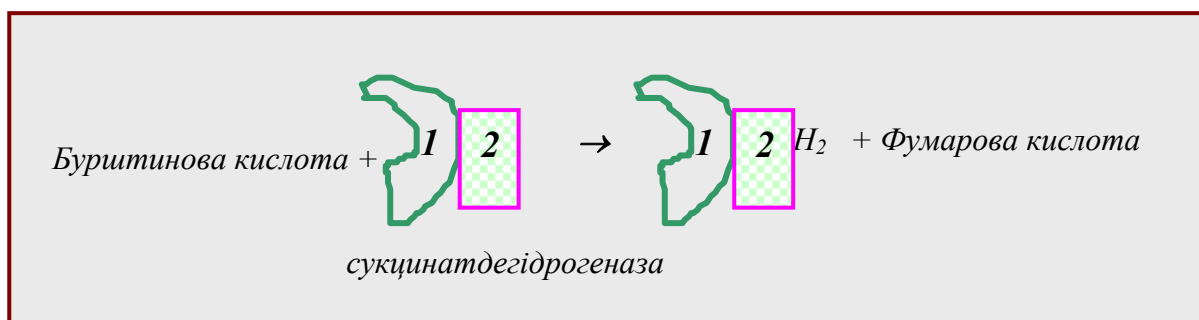


Рис. 4.1.2. Схема реакції за участю аеробної дегідрогенази

Примітка. 1 – білкова частина ферменту з активним центром, що відповідає бурштиновій кислоті; 2 – простетична група ФАД

**Оксидази.** Ферменти передають електрони від субстрату лише на кисень.

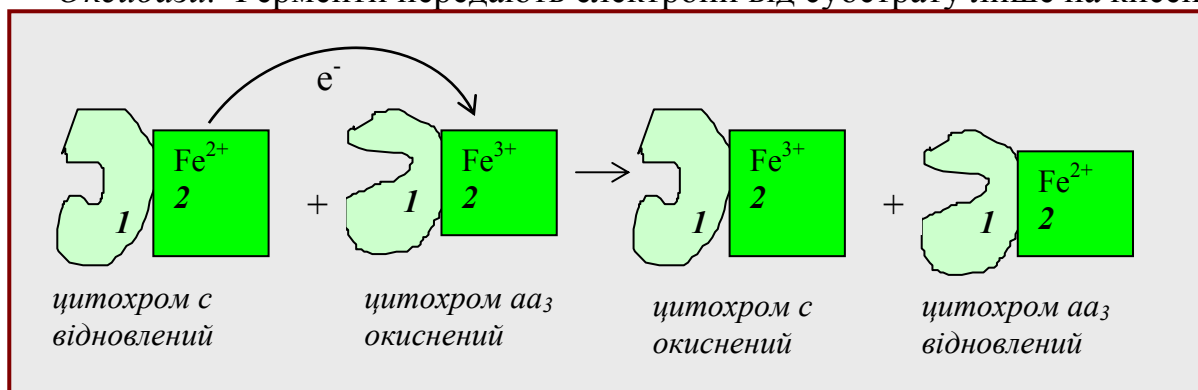


Рис. 4.1.3. Схема реакції перенесення електронів цитохромоксидазами

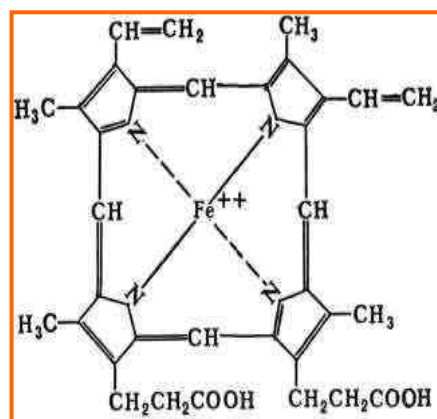
Примітка. 1 – білкова група; 2 – ферум-порфіринова група міцно пов'язана з білком через атоми сульфуру амінокислоти цистеїну

При цьому утворюється вода (переносяться на O<sub>2</sub> 4 електрони), пероксид гідрогену (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) або супероксидний аніон оксигену(O<sup>2-</sup>).

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> і O<sup>2-</sup> дуже токсичні, тому швидко перетворюються на воду і кисень під дією каталази та супероксиддисмутази. Група ферментів активаторів кисню досить чисельна. Однак основну роль у цій групі відіграють ферменти, до складу яких входять атоми феруму. Це двокомпонентні системи простетичними групами яких є ферум-порфірини.

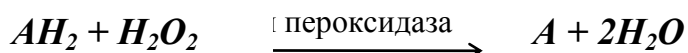
Особливу функцію в процесі дихання виконують ферменти, які розкладають пероксид гідрогену, що утворюється під час дихання як результат дії деяких оксидаз. Найбільш важливими ферментами цієї групи є каталаза та пероксидаза.

Каталаза (від грец. χαταλύω – руйную) – фермент, який розкладає пероксид гідрогену, що утворюється в процесі біологічного окиснення на воду та



молекулярний кисень ( $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ), а також окиснює в присутності  $\text{H}_2\text{O}_2$  низькомолекулярні спирти і нітроти. Відноситься до хромопротеїдів, які мають як простетичну (небілкову) групу окиснений гем, що містить іон феруму. Специфічність каталази у ставленні до субстрату-відновника невелика, тому вона може каталізувати не тільки розкладання  $\text{H}_2\text{O}_2$ , а й окиснення нижчих спиртів. У клітинах фермент локалізується в спеціальних органелах – пероксисомах.

Пероксидаза – найпоширеніший фермент рослинних тканин. Фермент входить до складу антиоксидантної системи рослин, здатний каталізувати реакції оксидазного, пероксидазного і оксигеназного окиснення. Каталізує окиснення різних поліфенолів, амінів, жирних кислот та інших сполук за допомогою пероксиду гідрогену або органічних пероксидів:



Пероксидаза, як і каталаза, відноситься до двокомпонентних ферментів, простетична група має у складі ферум, що з'єднується із залишками чотирьох пірольних кілець.

### *Хід роботи*

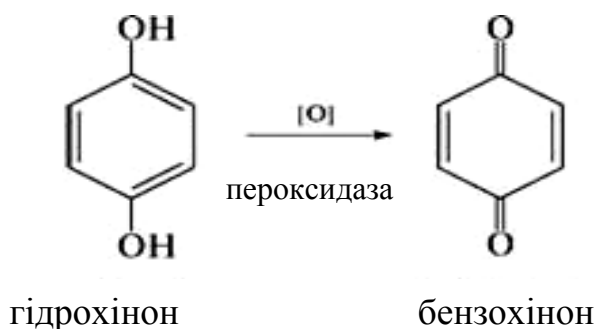
#### *Визначення пероксидази.*

Натирають на тертушці очищену бульбу картоплі, із одержаної маси віджимають сік і збирають у колбу. В чотири пробірки вносять за схемою отриманий сік.

#### *Схема досліджень:*

- ✚ 1 пробірка – вносять: 5 мл 1% розчину гідрохінону, 1 мл 3% розчину пероксиду гідрогену, 1 мл картопляного соку;
- ✚ 2 пробірка – вносять: 5 мл 1% розчину гідрохінону, 1 мл 3% розчину пероксиду гідрогену;
- ✚ 3 пробірка – вносять: 5 мл 1% розчину гідрохінону, 1 мл картопляного соку;
- ✚ 4 пробірка – вносять: 5 мл 1% розчину гідрохінону, 1 мл попередньо прокип'яченого картопляного соку (1 хв) і 1 мл пероксиду гідрогену.

При окисненні гідрохінону в бензохінон розчин буріє. Відбувається реакція:



Спостерігається деяке побуріння самого картопляного соку без додавання гідрохінону і пероксиду гідрогену, що пов'язано з дією поліфенолоксидази, яка окиснює поліфеноли тканин картоплі за участю молекулярного кисню.

Таблиця 4.1.1

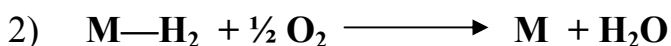
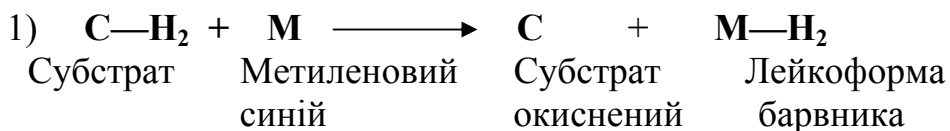
Інтенсивність забарвлення розчину при різних умовах досліду

Варіант	Склад суміші в пробірці			Інтенсивність забарвлення розчину
	картопляний сік	Пероксид гідрогену	гідрохінон	
1	+	+	+	
2	—	+	+	
3	+	—	+	
4	+	+	+	

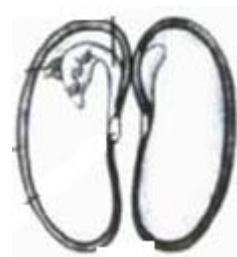
Беруть до уваги забарвлення в пробірках, на основі отриманих результатів роблять висновки, відмічають, які умови необхідні для оптимізації роботи ферментів.

#### Визначення дегідрогенази

Для визначення активності дегідрогенази використовують метиленовий синій. Цей барвник може бути акцептором гідрогену. При відновленні барвник переходить у безбарвну лейкоформу. При взаємодії з молекулярним киснем лейкоформа метиленового синього самовільно окиснюється і знову набуває забарвлення. Схему реакцій подано нижче:



Дослід з вивчення особливостей дії дегідрогеназ проводять із насінинами гороху або квасолі. Злегка проросле насіння (10-12 шт.) очищують від шкірки та розділяють на сім'ядолі. Половину матеріалу поміщують у колбу з водою і кип'ятять протягом 3 хвилин. Потім обидві порції поміщають у пробірки і заливають розчином метиленового синього. Через 5-10 хв розчин зливають, сім'ядолі ретельно промивають водою. Після цього пробірки заповнюють дистильованою водою і закривають пробками. Пробірки поміщують у водяну баню або термостат за температури 25-30°C. Через 5-10 хв. помічають забарвлення сім'ядолей у пробірках. Витрушують насіння в фарфорові чашки, залишають на повітрі й спостерігають за зміною забарвлення.



За отриманими даними роблять висновок про причини різної здатності до забарвлення в варіантах досліду і функцію дегідрогеназ у даному експерименті.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### *Спостереження дії динітрофенолу на процес поглинання води тканинами бульби картоплі*

*Мета:* вивчити вплив динітрофенолу на процес поглинання води тканинами бульб картоплі.

*Матеріали і обладнання:* бульби картоплі, ножі, ваги, бюкси, розчин динітрофенолу.

#### *Теоретичне обґрунтування*

Ферменти, що утворюються в процесі руйнування субстратів дихання, поступають на внутрішні мембрани мітохондрій, де локалізується електронно-транспортний ланцюг. Дихальний електронно-транспортний ланцюг складається з переносників електронів, що передають електрони від субстратів на кисень. Розташування переносників визначається величиною їхнього окислювально-відновного потенціалу. Ланцюг починається з НАДН, що має потенціал  $-0,32$  В, і закінчується киснем з потенціалом  $+0,82$  В. Переносники розташовані по обидва боки внутрішньої мембрани мітохондрій і перетинають її. На внутрішній стороні мембрани два протони і два електрони від НАДН переходять на ФМН і ферумсульфурні білки.

Флавінмононуклеотид, отримавши протони, відновлюється і переносить їх на зовнішню сторону мембрани, де віддає протони в міжмембранний простір. Ферумсульфурні білки, що розташовані всередині мембрани, передають електрони від НАДН окисненому убіхінону Q. Він, приєднавши ще два протони, дифундує в мембрані до цитохромів. Цитохром  $b_{560}$  віддає два електрони убіхінону, який, приєднавши ще два протони з матриксу, передає два електрони цитохрому  $b_{556}$  і два електрони – цитохрому  $c_1$ , а протони виходять у міжмембранний простір. На зовнішній стороні мембрани цитохром c, отримавши два електрони від цитохрому  $c_1$ , передає їх цитохрому a, який переносить їх через мембрану на цитохром  $a_3$ . Цитохром  $a_3$ , активує кисень, віддає йому електрони. Кисень приєднує два протони з утворенням води (рис. 4.1.4).

Транспорт електронів у дихальному електронно-транспортному ланцюгу супроводжується трансмембранним перенесенням протонів. Різниця потенціалів, що виникла по обидва боки внутрішньої мембрани мітохондрій, використовується для синтезу АТФ (окисне фосфорилування).

За рахунок  $\text{НАДН} + \text{H}^+$  і  $\text{НАДФН} + \text{H}^+$  у процесі руху електронів і протонів до кисню синтезуються 3 молекул АТФ, а за рахунок пересування електронів від  $\text{ФАДН}_2$  синтезуються 2 молекули АТФ. Таким чином, енергія, що виділяється при руйнуванні субстратів дихання, на першому етапі використовується на синтез і відновлення коферментів і простетичних груп, при окисненні цих сполук в електронно-транспортному ланцюзі йде синтез АТФ. Цей процес відбувається за допомогою оксидаз (рис. 4.1.5).

Процес синтезу АТФ можливий лише в разі мембрани мітохондрій не пошкоджені. При пошкодженні мембран синтез АТФ не відбувається. При

цьому процес руху електронів від НАДН+Н і ФАДН<sub>2</sub> здійснюється і кінцеві продукти дихання CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O утворюються.

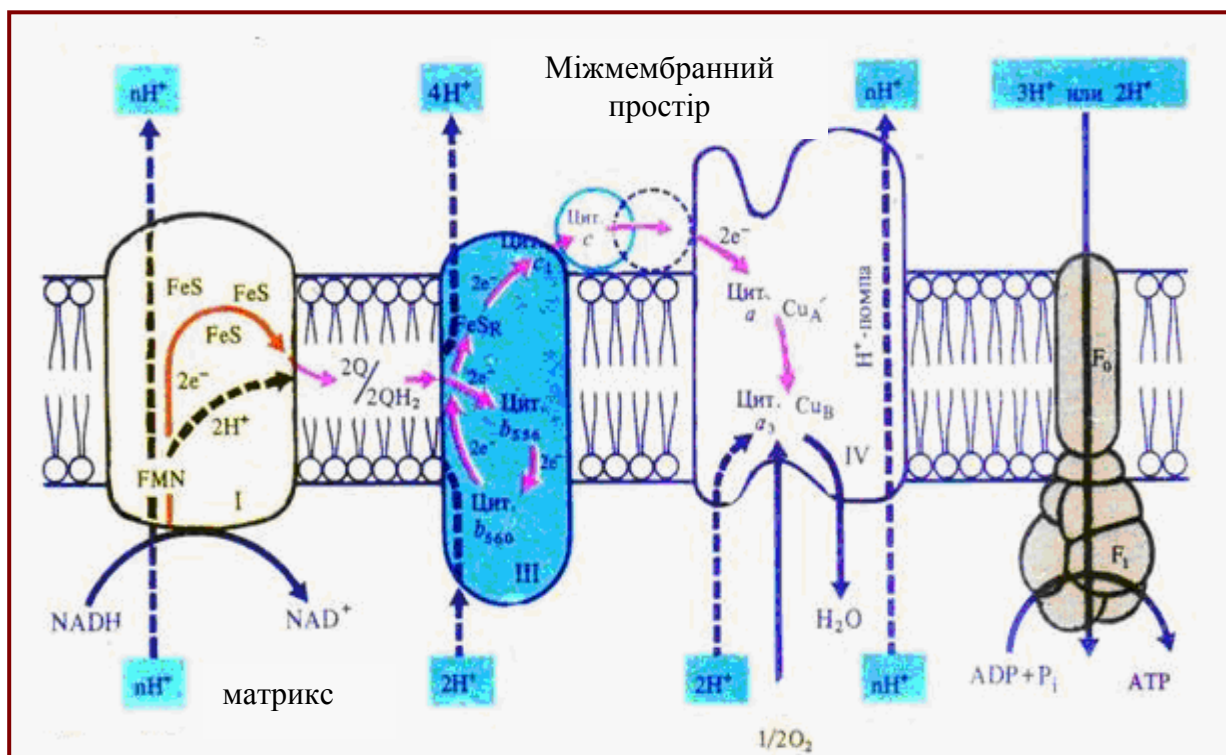
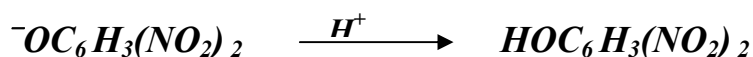


Рис. 4.1.4. Електронно-транспортний ланцюг у мітохондріях рослин (за В.В.Польовим)

Фактори, що здатні пошкоджувати мембрани і таким чином впливати на процес дихання, називають роз'єднувачами дихання. Дихання рослин не супроводжується синтезом АТФ при дефіциті вологи, органічні сполуки руйнуються, а рослина відчуває нестачу АТФ. Є специфічні органічні речовини, що також викликають дихання без синтезу АТФ. До таких речовин, наприклад, відноситься денітрофенол. Аналогічно діють на клітину певні групи антибіотиків та деякі лікарські препарати. Динітрофенол здатний вступати в реакцію з H<sup>+</sup> (при високій концентрації протонів у середовищі) за такою схемою:



Динітрофенол (як нейтральна, так і негативно заряджена форма) здатний легко проходити через ліпідний бішар мембрани без участі транспортних білків, при внесенні динітрофенолу до клітин припиняється синтез АТФ у мітохондріях, клітини продовжують при цьому поглинати кисень, динітрофенол вважається досить сильною отрутою.

Як відомо, процес поглинання води клітиною є енергозалежним, тому дія на клітину динітрофенолу (або подібної речовини) викликає уповільнення цього процесу.



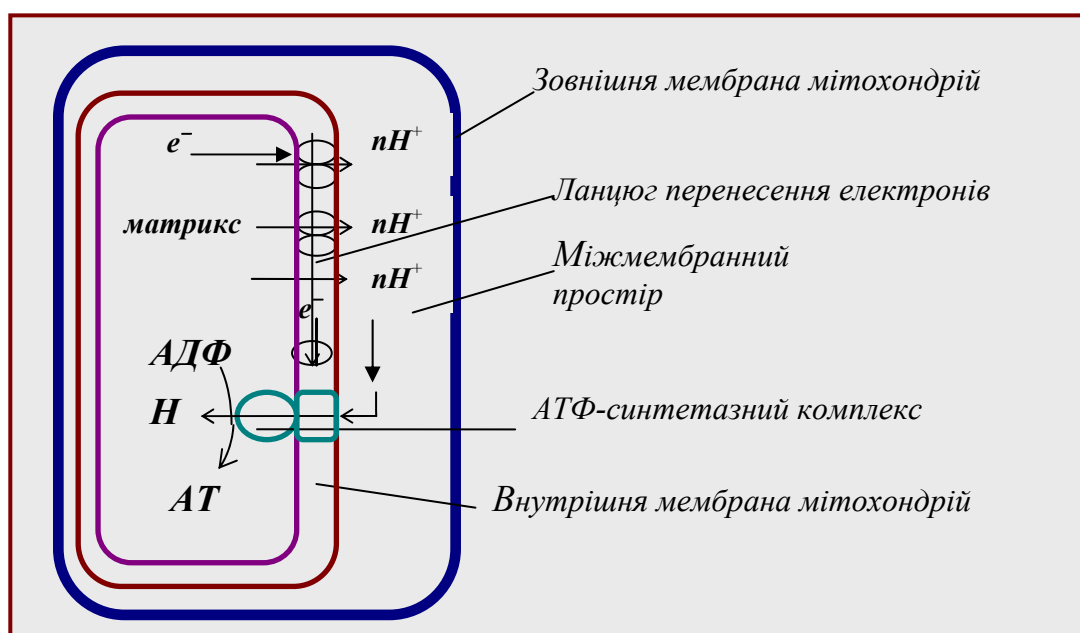


Рис. 4.1.5. Схема синтезу АТФ в електронно-транспортному ланцюзі

#### Хід роботи

З бульби картоплі нарізають ножом 6 пластинок завдовжки і завширшки 2-3 см. Розділяють їх на дві групи, кожену групу зважують і поміщують у бюкси. Одну групу пластинок заливають 15 мл звичайної води, а другу – 15 мл насиченого розчину динітрофенолу (або додають іншу речовину, яка блокує синтез АТФ). Залишають у відкритих бюксах на 1,5-2 год при кімнатній температурі. Потім пластинки виймають, просушують фільтрувальним папером і знову зважують. Результати заносять до таблиці (табл. 4.1.2).

Таблиця 4.1.2

#### Вплив динітрофенолу на зміну маси тканин картоплі

Умови дослідів	Маса пластинок, г		Прибавка від вихідної маси,	
	до дослідів	після дослідів	г	%
Вода				
Динітрофенол				

На основі отриманих даних роблять висновок про вплив препарату на зміну маси тканин картоплі під час дослідів, пояснюють отримані результати, використовуючи гіпотезу Мітчела про синтез АТФ та роль АТФ у процесах життєдіяльності рослини.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### *Визначення інтенсивності дихання насіння*

*Мета:* визначити інтенсивність дихання пророслого та непророслого насіння пшениці.

*Матеріали і обладнання:* ваги, конічні колби місткістю 0,5 л, гумові пробки з гачками, марля, 0,1 н розчин бариту, 0,1 н розчин щавлевої кислоти, фенолфталеїн, проросле і сухе насіння.

#### *Теоретичне обґрунтування*

Інтенсивність дихання рослин у різні періоди їх розвитку неоднакова. Особливо енергійно дихає проростаюче насіння. З прискоренням процесів росту та розвитку зростає інтенсивність дихання, тому молоді рослини дихають активніше, ніж дорослі. Взимку у рослин цей процес знижується до мінімального рівня.

Іноді складаються несприятливі умови для дихання рослин, у результаті наступає кисневе голодування, що викликає ослаблення, захворювання і загибель рослин.

Дихання супроводжується значним виділенням тепла. Особливо енергійно виділяється тепло при диханні грибів і бактерій. На цій властивості ґрунтується використання гною в парниках як біопалива. У деяких рослин у процесі дихання температура підвищується на кілька градусів відносно температури навколишнього повітря. Тому необхідно постійно забезпечувати рослини свіжим повітрям, багатим на кисень. Особливо це важливо при проростанні насіння, появі сходів, укоріненні живців, під час цвітіння рослин.

Інтенсивність дихання визначається:

- ✚ за кількістю  $O_2$ , що поглинається в процесі дихання;
- ✚ за кількістю органічної речовини, що витрачається в процесі дихання;
- ✚ за кількістю  $CO_2$ , що утворюється в процесі дихання.

Інтенсивність дихання необхідно визначати в темряві, коли об'єкт дослідження здатний до фотосинтезу. Якщо об'єкт досліджень гетеротрофний організм, інтенсивність дихання не залежить від світла. При проростанні насіння інтенсивність дихання може зростати в сто разів порівняно з сухим насінням. Цей факт слід враховувати при зберіганні насіння, тому що дихання приводить до втрати органічної речовини і погіршення якості насіння.

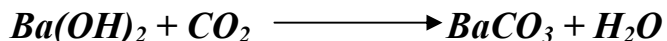
#### *Хід роботи*

Дві наважки пророслого і сухого насіння по 4 г висипають у марлеві мішечки і закріплюють на гачках гумових пробок. У кожен колбу обережно наливають по 10 мл 0,1 н розчину  $Ba(OH)_2$ , колби щільно закривають пробками (у пробку закріплюють трубку з натронним вапном). У контрольну колбу наливають 10 мл бариту, але наважки насіння не поміщають. Усі колби витримують 1 годину за кімнатної температури.

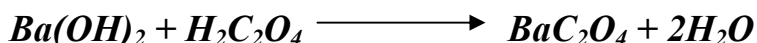




Насіння, що є у колбі, за рахунок процесу дихання виділяє вуглекислий газ.  $\text{CO}_2$  вступає у взаємодію з  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , і відбувається відповідна хімічна реакція:



Протягом дослідів колби злегка струшують, руйнуючи на поверхні плівку з  $\text{BaCO}_3$ . Потім мішечки з колб швидко виймають, додають у колби краплю фенолфталеїну, закривають пробками з бюретками і відтитровують залишок бариту 0,1 н розчином щавлевої кислоти до зникнення рожевого забарвлення. Реакція відбувається згідно з рівнянням:



Інтенсивність дихання визначають за формулою:

$$I = (a - v) \cdot K \cdot 2,2/n \cdot t,$$

де:  $I$  – інтенсивність дихання насіння, мг  $\text{CO}_2$  г/год;

$a$  – кількість мл 0,1 н розчину щавлевої кислоти, витраченої на титрування в контрольному варіанті;

$v$  – кількість мл 0,1 н розчину щавлевої кислоти, витраченої на титрування в дослідному варіанті;

$K$  – поправка до титру розчину  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ;

$n$  – наважка насіння;

$t$  – тривалість дослідів, год;

2,2 – кількість мг  $\text{CO}_2$ , що еквівалентна 1 мл 0,1н розчину щавлевої кислоти.

Результати дослідів записують у таблицю (табл. 4.1.3).

Таблиця 4.1.3

Інтенсивність дихання насіння пшениці

Об'єкт	Варіант дослідів	Маса проби, г	Тривалість дослідів, год	Витрачено на титрування $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , мл	Інтенсивність дихання, мг $\text{CO}_2$ /г • год

На основі отриманих даних роблять висновок про інтенсивність дихання сухого насіння та під час проростання.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

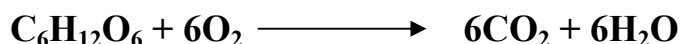
### Визначення дихального коефіцієнта пророслого насіння

**Мета:** ознайомитися з методикою визначення дихального коефіцієнта пророслого насіння пшениці та гороху.

**Матеріали і обладнання:** проросле насіння пшениці та гороху, 20% розчин  $\text{NaOH}$ , прилад для визначення дихального коефіцієнта, пінцети, фільтрувальний папір, колби на 250 мл, скляні палички, піпетки, чашки,

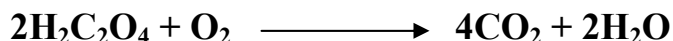
### *Теоретичне обґрунтування*

Дихальним коефіцієнтом (ДК) називається співвідношення обсягів виділеного при диханні вуглекислого газу до обсягу кисню, що поглинається протягом цього періоду. Величина його залежить, перш за все, від того, які речовини використовуються при диханні. При окисненні вуглеводів реакція дихання виражається рівнянням:



Об'єм вуглекислого газу, що виділяється під час розкладання цукрів дорівнює об'єму кисню, що поглинається ( $\text{CO}_2 : \text{O}_2 = 1$ ), відповідно ДК дорівнює 1.

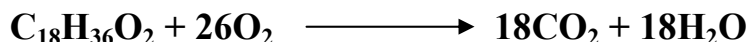
Якщо дихальним матеріалом є речовини більш окиснені ніж вуглеводи (наприклад, щавлева кислота), то величина дихального коефіцієнта буде більше 1. Рівняння реакції у даному випадку має такий вигляд:



Тому, що співвідношення між вуглекислим газом, що виділяється, і киснем, що поглинається, дорівнює 4, відповідно  $\text{ДК} = 4$ .

За умов, коли під час дихання використовуються сполуки менш окиснені ніж вуглеводи (жири, білки), дихальний коефіцієнт буде меншим за 1.

Наприклад, розкладання стеаринової кислоти здійснюється за рівнянням:



Співвідношення між вуглекислим газом і киснем буде:  $18\text{CO}_2 : 26\text{O}_2$ , відповідно  $\text{ДК} = 0,69$ .

Визначення дихальних коефіцієнтів різних тканин рослин показує, що в звичайних умовах вони близькі до одиниці. Це дає підставу вважати, що в першу чергу як дихальний матеріал рослини використовують вуглеводи.

При нестачі вуглеводів можуть бути використані й інші субстрати. Особливо це проявляється на проростках, що розвиваються з насіння, в якому як запасуючі речовини відкладаються жири або білки. У цьому разі дихальний коефіцієнт стає меншим за одиницю.

Якщо дихальним матеріалом є жири, то вони розщеплюються до гліцеролу і жирних кислот. Жирні кислоти можуть бути перетворені на вуглеводи через гліюксилатний цикл. Використанню білків, як субстрату дихання, передують їх розщеплення до амінокислот.

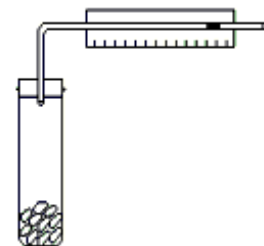
Величина ДК залежить також від постачання клітин киснем. В анаеробних умовах відбувається спиртове бродіння, що супроводжується виділенням вуглекислого газу, відповідно ДК зростає. На співвідношення між вуглекислим газом і киснем впливає розташування тканини, наприклад, меристеми, що

розташовані в бруньках або під кореневим чохликом, недостатньо забезпечуються киснем. У таких тканинах дихальний коефіцієнт наближається до 2.

### *Хід роботи*

Для визначення дихального коефіцієнта досліджуваний матеріал поміщають у пробірку, з'єднану з градуйованою трубкою, в яку введена крапля забарвленої рідини. Якщо обсяги газів, що виділяються та поглинаються під час дихання, рівні, то крапля в трубці не буде пересуватися. Якщо ж величина дихального коефіцієнта менша або більша одиниці, то буде спостерігатися переміщення рідини в трубці відповідно до різниці між обсягами поглинання  $O_2$  і виділення  $CO_2$ . Потім з тим же матеріалом проводять другий дослід, вводючи в пробірку розчин лугу для поглинання  $CO_2$ , що виділяється при диханні. Відстань, на яку відбувається пересування краплі в трубці, відповідає обсягу кисню, що поглинається матеріалом.

Насипають у пробірку проросле насіння пшениці, гороху або соняшнику (до половини пробірки). Збирають установку для спостереження за газообміном, ставлять її у склянку з ватою (для підтримки постійної температури) і вводять у трубку краплю підфарбованої води. Коли крапля відірветься від краю трубки, позначають положення внутрішнього меніска краплі, перевертають пісочний годинник і після 5 хв експозиції вимірюють відстань, яку проходить крапля за цей час. Дослід повторюють не менше трьох разів.



Обчислюють середню відстань, пройдену краплею за 5 хв ( $A$ ), показник відповідає різниці між обсягами кисню, що поглинається насінням, і вуглекислими газом, що виділяється.

Виймають пробку із пробірки з насінням, провітрюють пробірку і вкладають пінцетом у верхню частину пробірки згорнуту в кільце смужку фільтрувального паперу або вату, змочену 20% розчином лугу (смужку змочують помірно). Закривають пробірку пробкою і знову вводять у трубку краплю підфарбованої води.

Позначають положення меніска краплі, визначають відстань пересування краплі за три п'ятихвилинних інтервали і обчислюють середню величину ( $B$ ).

Дихальний коефіцієнт обчислюється за формулою:

$$\frac{CO_2}{O_2} = \frac{B - A}{B},$$

де:  $A$  – величина, яка відображає різницю між обсягами кисню, що поглинається насінням і вуглекислими газом, що виділяється, мм.

$B$  – величина, яка відображає обсяг кисню, що поглинається під час дослід, мм.

Дослід проводять окремо з різними об'єктами (насіння пшениці, гороху, соняшнику). Отримані результати заносять у таблицю (табл. 4.1.4).

Таблиця 4.1.4

Визначення дихального коефіцієнту насіння  
польових культур

Умови дослідку	Відстань, мм (за 5 хвилин)				Дихальний коефіцієнт (ДК)
	1	2	3	середнє	
Пшениця					
А (луг відсутній)					
В (луг присутній)					
Горох					
А (луг відсутній)					
В (луг присутній)					
Соняшник					
А (луг відсутній)					
В (луг присутній)					

На основі отриманих результатів роблять висновок про залежність величини дихального коефіцієнта від особливостей культури та характеру речовин, що окисляються під час дихання.

## **4.2. Контрольні питання до розділу «Дихання»**

1. Основні закономірності обміну речовин у рослинах.
2. Роль процесу дихання в життєдіяльності рослин.
3. Структура, хімічний склад і функції АТФ у рослинній клітині.
4. Хімічна природа і функції дегідрогеназ у процесі росту і розвитку рослин.
5. Хімічна природа і функції оксидаз у процесі дихання.
6. Анаеробна фаза дихання. Суть процесу гліколізу, його основні етапи.
7. Аеробна фаза дихання. Цикл Кребса, його біологічна суть.
8. Енергетика дихання. Локалізація і механізм функціонування електронно-транспортних ланцюгів.
9. Окисне фосфорилування, механізм і локалізація процесу в органоїдах клітини.
10. Основні закономірності розпаду речовин у пентозофосфатному і гліюксилатному циклах. Значення процесів.
11. Дихання, енергетичний баланс. Взаємозв'язок з іншими процесами.
12. Обмін вуглеводів і жирів у рослинах, основні закономірності.
13. Обмін амінокислот і білків у рослинах.
14. Особливості обміну речовин у проростаючому насінні.
15. Залежність інтенсивності дихання від зовнішніх факторів середовища.
16. Дихальний коефіцієнт, засоби вивчення, біологічна суть.
17. Взаємозв'язок дихання і фотосинтезу. Роль у накопиченні рослиною сухих речовин.

## **4.3. Тестові завдання до розділу «Дихання»**

1. Аеробна фаза дихання відбувається:
  - a) на ендоплазматичній сітці;
  - b) у мітохондріях;
  - c) у гіалоплазмі;
  - d) в апараті Гольджі.
2. До складу простетичної групи флавінових дегідрогеназ входить:
  - a) амід нікотинової кислоти;
  - b) тіамін;
  - c) піридоксин;
  - d) рибофлавін.
3. З піровиноградної кислоти утвориться аланін у ході реакції:
  - a) декарбоксилювання;
  - b) амінування;
  - c) гідролізу;
  - d) окиснювання і відновлення.
4. Кисень повітря необхідний для процесу дихання, тому що він:

- a) є акцептором електронів і протонів окисненого органічного субстрату;
- b) бере участь в утворенні вуглекислого газу;
- c) руйнує субстрати дихання;
- d) входить до складу ферментів.

5. При окиснюванні НАДН у дихальному ланцюзі утвориться така кількість молекул АТФ:

- a) 4;
- b) 5;
- c) 3;
- d) 2.

6. Критична вологість насіння злаків, вище якої починається різке посилення дихання, становить:

- a) 8-9%;
- b) 17-20%;
- c) 10-12%;
- d) 14-15%.

7. Кофермент Q у дихальному ланцюзі виконує функцію:

- a) перенесення електронів на кисень;
- b) перенесення гідрогену на кисень;
- c) проміжне перенесення електронів;
- d) проміжне перенесення протонів.

8. Цикл Кребса функціонує:

- a) у стромі хлоропластів;
- b) у матриксі мітохондрій;
- c) у гіалоплазмі;
- d) на мембрані мітохондрій.

9. Кінцевим продуктом анаеробної фази дихання є:

- a) 2-фосфогліцерінова кислота;
- b) молочна кислота;
- c) піровиноградна кислота;
- d) фосфоенолпіровиноградна кислота.

10. Пентозофосфатний цикл функціонує:

- a) у мітохондріях;
- b) у хлоропластах;
- c) у цитоплазмі;
- d) у гліюксисомах.

11. Каталаза бере участь:

- a) у перенесенні електронів на кисень повітря;

- b) у руйнуванні пероксиду гідрогену;
- c) у розкладанні субстратів дихання;
- d) у циклі Кребса.

12. При повному розкладі однієї молекули глюкози утвориться молекул АТФ:

- a) 40;
- b) 38;
- c) 30;
- d) 2.

13. При окиснюванні жирів у клітинах рослин активно функціонує:

- a) гліюксилатний цикл;
- b) пентозофосфатний цикл;
- c) гліколіз;
- d) цикл Кальвіна.

14. Перенесення електронів в електронно-транспортному ланцюзі забезпечують:

- a) НАДН;
- b) цитохроми;
- c) пероксидаза;
- d) каталаза.

15. При окисненні бурштинової кислоти в циклі Кребса утвориться:

- a) фумарова кислота;
- b) яблучна кислота;
- c) піровиноградна кислота;
- d) щавлевооцтова кислота.

16. Оптимальною температурою дихання для рослин середніх широт є:

- a) 45-55 °С;
- b) 30-40 °С;
- c) 20-30 °С;
- d) 10-20 °С.

17. Опишіть правильну послідовність реакцій гліколізу:

- a) окиснювання фосфогліцеринового альдегіду;
- b) утворення фосфогліцеринової кислоти;
- c) активування глюкози;
- d) утворення піровиноградної кислоти.

18. Величина дихального коефіцієнта (ДК) при використанні вуглеводів (як субстрату дихання) дорівнює:

- a) 1;

- b) 6;
- c) 2;
- d) 0,5.

19. Процес загибелі рослин за надлишку в ґрунті води обумовлений накопиченням у кореневій системі:

- a) піровиноградної кислоти;
- b) вуглекислого газу;
- c) спирту або молочної кислоти;
- d) яблучної або оцтової кислоти.

20. Критичною концентрацією кисню для розвитку анаеробних процесів у кореневій системі є:

- a) 5-10%;
- b) 10-15%;
- c) 2-5%;
- d) 0,5-1%.

21. Спільними ознаками роботи дихального ланцюга мітохондрій та фотосинтезу в хлоропластах є:

- a) відбуваються у одномембранних органелах;
- b) на певному етапі відбувається накопичення йонів  $H^+$ ;
- c) потребують сонячного світла;
- d) в процесі виділяється кисень.

22. Компоненти дихального ланцюга можуть бути локалізовані у:

- a) мембрані ядра;
- b) стромі мітохондрій;
- c) зовнішній мембрані мітохондрій;
- d) внутрішній мембрані мітохондрій.



## 5. МІНЕРАЛЬНЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Основними хімічними елементами рослин є карбон, кисень і водень, які клітина отримує, головним чином, за рахунок процесів фотосинтезу, дихання і водообміну. Поряд з цими елементами рослинна маса містить у середньому 2-4% нітрогену (у білкових речовинах – 15-19%). За кількісним вмістом у тканинах нітроген посідає четверте місце і разом з карбоном (C), киснем (O) і воднем (H) відносяться до органогенних елементів. Тому між засвоєнням нітрогену (N) і продуктивністю рослини існує тісна кореляційна залежність. Це відноситься як до окремої рослини, так і до всього рослинного покриву Землі.

Рослини мають потребу в багатьох інших елементах, які або надходять з мінералів, або стають доступними в результаті мінералізації органічних речовин під час колообігу сполук. Усі хімічні елементи поглинаються у вигляді йонів і включаються в рослинну масу у формі органічних або неорганічних сполук, накопичуються в клітинному соку.

Після спалювання сухого органічного матеріалу мінеральні речовини залишаються в золі. Зольними можуть бути всі хімічні елементи, що трапляються в літосфері. Життєво необхідними і незамінними є основні елементи мінерального живлення, які потрібні у великих кількостях (макроелементи): фосфор, сульфур, калій, кальцій, магній, а також мікроелементи – ферум, манган, цинк, купрум, молібден, бор і хлор. Крім того, існують елементи, що потрібні лише для деяких груп рослин: натрій – для лободових, кобальт – для бобових, алюміній – для папоротей, силіцій – для діатомових водоростей.

Для оптимального обміну речовин, високої продуктивності і безперешкодного розвитку потрібно, щоб рослина отримувала поживні речовини, включаючи мікроелементи, не лише в достатніх кількостях, а й в належних співвідношеннях.

Елементи мінерального живлення перебувають у ґрунті в розчиненому і зв'язаному вигляді. У ґрунтовій воді розчинена лише дуже незначна частина (менше 0,2%) усього запасу поживних речовин. Майже 98% біогенних елементів у ґрунті міститься в органічних залишках, гумусі і важкорозчинних неорганічних сполуках або входять до складу мінералів. Цей резерв поживних речовин дуже повільно мобілізується в результаті мінералізації, розкладу гумусу і процесів вивітрювання. Інші 2% адсорбовані на ґрунтових колоїдах.

Основним органом, що забезпечує поглинання елементів мінерального живлення, є корінь рослини. Коренева система здатна всмоктувати з ґрунту поживні речовини різними способами. Можливе поглинання йонів з ґрунтового розчину. Йони цієї частини ґрунту легко доступні, але концентрація ґрунтового розчину дуже низька. Ґрунтовий розчин поповнює свій мінеральний фонд у результаті переходу йонів з твердої ґрунтової фази.

Головним механізмом, що забезпечує потреби рослини, є обмінне поглинання сорбованих йонів. Виділяючи йони  $H^+$  і  $HCO_3^-$  (продукти дисоціації вуглекислоти, що утворюється при диханні), корінь забезпечує йонний обмін і отримує з поверхні глинистих і гумусових частинок йони поживних солей.

Рослини активно (завдяки розчинювальній здатності корневих виділень, що включають вугільну кислоту, органічні кислоти й амінокислоти) впливають на тверду фазу ґрунту, переводячи необхідні поживні речовини в доступну форму.

Таким чином, поглинання поживних речовин рослинами є активним фізіологічним процесом, що нерозривно пов'язаний з життєдіяльністю коренів і надземних органів рослин, з процесами фотосинтезу, дихання і обміну речовин і обов'язково потребує витрати енергії.

## 5.1. Лабораторний практикум до розділу «Мінеральне живлення рослин»

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

#### *Вплив окремих елементів мінерального живлення на життєдіяльність рослин*

*Мета:* протягом чотирьох (п'яти) тижнів прослідкувати за впливом певних елементів мінерального живлення на життєдіяльність рослин.

*Матеріали і обладнання:* ваги, скляні банки місткістю 1л, ножиці, папір для обгортання банок, пагони рослин, хімічно чисті солі:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ;  $\text{KCl}$ ;  $\text{MgSO}_4$ ;  $\text{NaCl}$ ;  $\text{CaSO}_4$ ;  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ;  $\text{MnSO}_4$ ;  $\text{FeCl}_3$ , розчин  $\text{H}_2\text{O}_2$ , слабкий розчин  $\text{HCl}$  та  $\text{NaOH}$ , універсальний індикатор, хімічний посуд.

#### *Теоретичне обґрунтування*

Виходячи з багатьох досліджень встановлено, що для забезпечення росту та розвитку рослин необхідно дев'ятнадцять основних елементів. Три з них – С, Н, О включаються в метаболізм головним чином під час процесів водообміну, дихання та фотосинтезу, інші – за рахунок мінерального живлення рослини.

Елементарний аналіз складу рослинних тканин свідчить, що чотири хімічних елементи: карбон, гідроген, оксиген та нітроген будують тканини рослини, їх вміст становить до 98% від загальної маси, вони називаються органогенними елементами. При горінні ці елементи перетворюються в різні оксиди. Елементи, що залишаються в попелі після горіння, відносять до зольних. У залежності від концентрації в тканинах елементи мінерального живлення поділяються на:

- ✚ макроелементи, вміст у рослинах складає більше ніж 0,01%, до макроелементів відносять N, P, S, K, Ca, Mg (Fe);
- ✚ мікроелементи, вміст у рослинах менше ніж 0,01%, до мікроелементів відносять (Fe), Mn, Cu, Zn, B, Mo, Cl;
- ✚ елементи, що посилюють ріст певних груп рослин – Na (галофітів), Si (злаків), Co (бобових).

Слід відмітити, що така класифікація досить умовна, наприклад, ферум у багатьох рослинах відрізняється невисокою концентрацією, однак цей елемент виконує найважливіші функції в клітинах, у зв'язку з чим вважається макроелементом. Існують рослини (металофіти), які акумулюють у значних кількостях йони купруму, цинку, плумбуму, кадмію. В останні роки виділяють особливу групу елементів, яку називають – *корисна*. До цієї групи відносять елементи (Na, Si, Co, Se, Al), що необхідні в певних умовах, для певних видів рослин.

З ґрунту головні елементи мінерального живлення поглинаються рослиною в таких формах:

- ✚ неметали у вигляді аніонів: нітрат, сульфат, фосфат, хлорид, борат;
- ✚ метали у вигляді катіонів: калій, кальцій, магній, ферум (II), ферум

- (III), купрум (I), купрум (II), цинк, манган (II), кобальт (II);
- метали у вигляді аніонів: молібдат;
- неметали у вигляді катіонів: амоній.

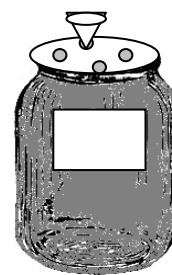
Мінеральні елементи в рослинах можуть виконувати як специфічні, так і неспецифічні функції. Багато з них є незамінною частиною біологічних молекул або компонентами ферментних систем.

Визначити роль кожного окремого елемента мінерального живлення рослин можна лише при виключенні цього елемента з живлення рослини. В середині XIX сторіччя Кнопом і Саксом були запропоновані спеціальні методики досліджень, що дістали назву вегетаційного методу.

Суть методу полягає в тому, що рослини вирощують у водних (піщаних) умовах, в розчин додають елементи мінерального живлення у вигляді різних солей. За вивчення впливу окремого елемента його вилучають із суміші, протягом певного часу спостерігають за процесами розвитку рослини та порівнюють з контрольним варіантом, де наявні всі необхідні елементи.

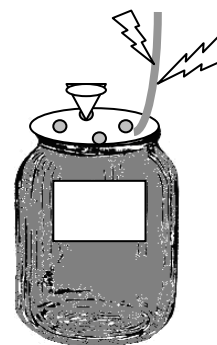
### *Хід роботи*

*Монтування посуду.* Для дослідів з водними культурами використовують скляний посуд, в якому можна добре спостерігати за ростом і розвитком рослин. Найчастіше використовують банки місткістю 1л. Шийки банок закривають кришками, в яких роблять по три-чотири отвори.



Оскільки скляний посуд пропускає світло, його обов'язково обгортають темним папером. Щоб живильний розчин не перегрівався, зверху чорної обгортки роблять ще одну – з білого паперу. Обгортки повинні добре прилягати до банки (щоб не проникало світло). На банку прикріплюють етикетку, де позначають варіант досліду. Приклади варіантів досліду наведені в таблиці 5.1.1.

*Закладання досліду.* Заздалегідь складають схему досліду і після цього готують живильні суміші. Для спостережень за значенням окремого елемента готують розчин солей, з якого виключають дослідний елемент. Після закінчення підрахунків потрібну кількість солей відважують, розчиняють у дистильованій воді, розливають у підготовлений посуд.



Універсальним індикатором визначають рН розчинів. Для більшості культур оптимальне значення рН середовища 6-7. Оптимізацію рН здійснюють шляхом додавання краплі HCl або NaOH.

У змонтовані, заповнені живильними розчинами банки поміщають дослідні рослини, що не повинні відрізнятися між собою розмірами та забарвленням. Посудину ставлять на постійне місце, систематично доглядають і спостерігають за рослинами.

Таблиця 5.1.1.

Варіанти досліду для спостереження впливу окремих елементів мінерального живлення на ріст та розвиток рослин

Реактив, г/л	Варіант досліду			
	контроль	вилучений		
		нітроген	фосфор	Магній
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2,5	-	2,5	2,5
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-	1,8	-	-
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0,6	0,6	-	0,6
$\text{K}_2\text{SO}_4$	-	-	0,4	0,4
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,5	0,5	0,5	-
Розчин $\text{FeCl}_2$ *	5	5	5	5

Примітка. \* розчин  $\text{FeCl}_2$  (2,0 %) додають в мл.

*Догляд за водними культурами.* Регулярно (1-2 рази на тиждень) в банки доливають води та продувають розчин гумовою грушею протягом 3-5 хв (замість продування можливо використання розчину  $\text{H}_2\text{O}_2$  у вигляді 3-4 крапель). Раз на тиждень перевіряють рН середовища. Коректують середовище слабким розчином  $\text{HCl}$  або  $\text{NaOH}$ . За дослідними рослинами проводять систематичні фенологічні спостереження. Результати заносять до таблиці, за прикладом таблиці 5.1.2.

Таблиця 5.1.2

Результати спостережень за ростом та розвитком рослини залежно від складу живильного середовища (дата спостережень)

Варіант досліду	Висота пагона, см	Кількість листків, шт.	Загальна площа листків, $\text{cm}^2$	Довжина кореня, см	Маса пагона, г
Контроль					
Відсутній N					
Відсутній P					
Відсутній Mg					

Під час досліджень визначають загальний стан рослини, порівнюють зовнішній вигляд рослин контрольного варіанту з рослинами, які вирощують при нестачі певного елемента мінерального живлення. Також визначають ознаки, що виникають при нестачі елемента в живильній суміші.

Дослід триває 4-5 тижнів. На основі отриманих результатів роблять висновок про значення окремих елементів мінерального живлення в життєдіяльності рослин, про зовнішні ознаки, що виникають при нестачі певного елемента в живильному середовищі.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

### Виявлення нітратів у рослинах

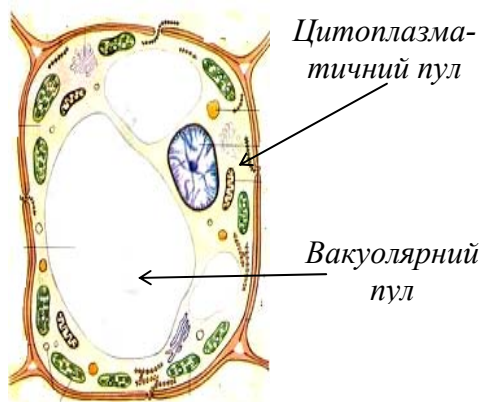
**Мета:** в різних рослинних об'єктах визначити рівень накопичення нітратів за допомогою дифеніламіну.

**Матеріали і обладнання:** фарфорові чашки, ножиці, склянки, скляні палички, фільтрувальний папір, розчин дифеніламіну в концентрованій сульфатній кислоті, дослідні рослини

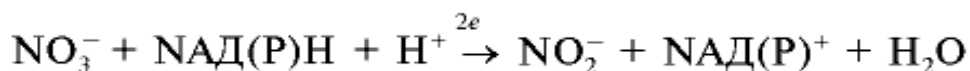
#### Теоретичне обґрунтування

Нітроген становить близько 1,5% сухої маси рослин. Значення цього елемента визначається тим, що він входить до складу важливих органічних речовин таких, як амінокислоти і білки, нуклеотиди і нуклеїнові кислоти, фосфоліпіди, алкалоїди, вітаміни, фітогормони (ауксини і цитокиніни). Нітроген міститься в складі порфіринів, що лежать в основі хлорофілу і цитохромів, численних коферментів, в тому числі НАД і НАДФ.

Форми нітрогену в навколишньому середовищі різноманітні: в атмосфері – газоподібний азот і пари амоніаку, в ґрунті – неорганічні форми нітрогену (амоніак, амоній – катіон, нітрат-аніон, нітрит-аніон) і органічні (нітроген амінокислот, амідів, білка, гумусу та ін). Основним джерелом нітрогенного живлення для рослин є нітрат-аніон та амоній-катіон. Кореневі системи рослин добре засвоюють нітрати, що розподіляються в два компартменти клітини – цитоплазму і вакуолі. В цитоплазмі нітрати піддаються ферментативному відновленню до нітритів і далі до амоніаку. Цей процес відбувається, головним чином, у коренях, проте цією здатністю володіють і клітини листків. Вакуоля є компартментом, де накопичується надлишок нітратів, що не включаються в метаболізм.



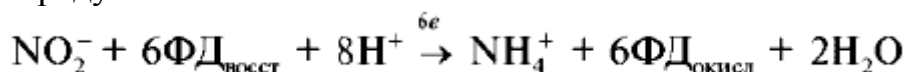
Відновлення нітратів до амоніаку проходить через ряд етапів. На першому етапі нітрати відновлюються до нітритів за участю ферменту нітратредуктази:



Нітратредуктаза – це фермент з молекулярною масою 200-270 **кДа**, що містить у своєму складі ФАД, гем і молібден. Фермент локалізований у цитозолі, де і протікає процес відновлення нітратів до нітритів. Донором електронів у цій реакції у грибів є НАДФН, а у рослин НАДН. У свою чергу, постачальником цих сполук є процес дихання і світлові реакції фотосинтезу. Саме тому відновлення нітратів тісно пов'язане з дихальним газообміном. Разом з тим для нормального протікання процесу дихання рослина повинна бути достатньо забезпечена вуглеводами. При штучному зниженні вмісту

вуглеводів (витримування рослин у темряві) нітрати не відновлюються, а накопичуються у всіх органах рослини. На відновлення нітратів великий вплив має світло. Тому що у процесі фотосинтезу утворюються вуглеводи, необхідні для відновлення, а також для подальшого перетворення нітратів. Разом з тим для відновлення нітратів можуть бути безпосередньо використані продукти, що утворюються в процесі нециклічного фотофосфорилювання (НАДФН, АТФ). Світло впливає і на рівень активності ферменту нітратредуктази. При низькій освітленості, дефіциті Fe і Mo активність ферменту знижується, і нітрати накопичуються в клітині.

Другий етап – відновлення нітратів до амоніаку каталізується ферментом нітритредуктаза:



Нітритредуктаза – це фермент з молекулярною масою 60-70 кДа, містить як простетичну групу гем. Активність цього ферменту значно вища, ніж нітратредуктази. Нітритредуктаза локалізована в хлоропластах листків або пропластидах коренів. Донором електронів у листках є відновлений ферредоксин, що утворюється при функціонуванні ФС I.

Нітрити утворюються не лише на проміжній стадії відновлення нітратів. Вони, як і нітрати, можуть надходити в рослину з ґрунту. При цьому нітрити також піддаються відновленню до амоніаку за участю нітритредуктази. При накопиченні в цитоплазмі нітрити мають отруйну дію. Пересування нітритів у хлоропласти стимулюється кальцієм. За нестачі кальцію нітрити не відновлюються до амоніаку і накопичуються в клітинах.

Установлено, що у вищих рослинах, так само як у прокаріотів і грибів, поряд з відновленням нітратів до амоніаку здійснюється і зворотний процес - окиснення амонійної форми нітрогену в нітратну, що спростовує поширену думку про виключно екзогенне походження нітратів у рослинах.




При споживанні продуктів з високим вмістом нітратів,  $\text{NO}_3^-$  аніони потрапляють у травну систему, відновлюються до  $\text{NO}_2^-$  аніонів і гальмують обмін кисню в клітинах. Добова норма нітратів, що не викликає негативного впливу, є в межах 300 мг/добу. Накопичення нітратів залежить від віку, органу рослини. Як правило, зрілі рослини містять невелику кількість нітратів у генеративних органах.

### *Хід роботи*

У білі фарфорові чашки окремо кладуть шматочки листової пластинки (плодів, стебла, корені різних видів рослин), розтирають їх скляною паличкою. Потім рослинну масу обливають розчином дифеніламіну в концентрованій сульфатній кислоті. Поява синього забарвлення свідчить про наявність нітратів в органах досліджуваних рослин.

Під час виконання цієї роботи доцільно визначити: вплив освітлення та інших факторів середовища на вміст нітратів в різних органах рослин, вплив сортових особливостей на вміст нітратів.

Середні результати дослідів оцінюють за трибальною системою:

-  1 – відсутність забарвлення – нітратів немає;
-  2 – блакитне забарвлення – нітратів достатня кількість;
-  3 – синє забарвлення – нітратів надмір.

Результати записують за схемою, поданою у таблиці 5.1.3.

Таблиця 5.1.3.

Результати досліджень вмісту нітратів у різних рослинах

Об'єкт	Умови вирощування	Вміст нітратів			
		листок	стебло	Корінь	Плід

На основі отриманих результатів роблять висновок про вміст нітрат-аніонів у органах різних рослин та безпеку споживання рослин.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11 *Фізіологічно кислі та лужні солі*

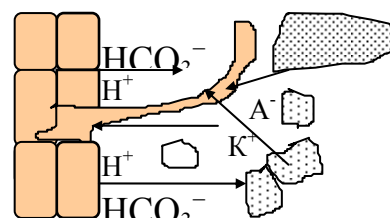
**Мета:** на прикладі пагонів традесканції визначити вплив різного складу солей на процес поглинання катіонів та аніонів із зовнішнього середовища.

**Матеріали і обладнання:** пагони рослин традесканції, фарфорові стаканчики об'ємом 50 мл, універсальний індикатор, піпетки, розчин  $\text{NaNO}_3$  (0,2 г на 1 л води), розчин  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (0,2 г на 1 л води).

#### *Теоретичне обґрунтування*

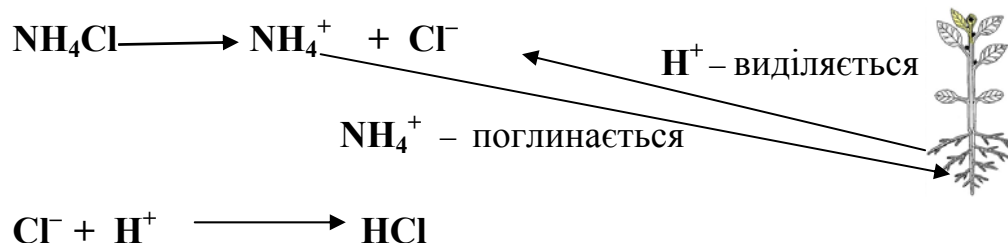
Корені поглинають речовини з ґрунтового розчину (водна фаза) і при контакті з частинками ґрунтового поглинаючого комплексу (тверда фаза ґрунту). Ґрунтово-поглинаючий комплекс – це дрібнодисперсна колоїдна частина ґрунту, суміш мінеральних (алюмосилікатних) і органічних (гумінових) сполук. Більша частина колоїдів ґрунту заряджена негативно, на їх поверхні в адсорбованому (поглиненому) стані знаходяться катіони. Деяка частина колоїдів ґрунту в певних умовах може бути заряджена позитивно, тому на них у поглиненому адсорбованому стані знаходяться аніони. Обмінні катіони і аніони — один із найважливіших джерел живлення для рослин.

Катіони й аніони, що є в поглиненому стані на частинках ґрунтового поглинаючого комплексу, можуть обмінюватися на йони, що адсорбовані на поверхні клітин кореня. Так може здійснюватися надходження катіонів  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  в обмін на протони, а також аніонів  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  та інших в обмін на  $\text{HCO}_3^-$  або аніони органічних кислот. Особливо ефективно проходить поглинання при контактному обміні, за якого відбувається обмін іонами без переходу їх у розчин.





Поглинання катіонів та аніонів здійснюється незалежно та з різною швидкістю. При умовах, коли з ґрунту або з розчину солей більш активно поглинаються катіони, зовнішнє середовище підкислюється за рахунок протонів, що виділяються з клітин в обмін на катіони. Такі солі називають фізіологічно кислими. В середовищі здійснюються реакції показані на прикладі:



При умовах більш активного поглинання з солі аніону, за рахунок виділення  $\text{HCO}_3^-$  середовище набуває лужної реакції. Такі умови створюються за використання, наприклад, солі  $\text{NaNO}_3$ . Тому, що аніон  $\text{NO}_3^-$  є постачальником макроелементу нітрогену, він значно активніше поглинається рослиною,  $\text{Na}^+$ , відповідно, залишається в середовищі, при взаємодії з  $\text{HCO}_3^-$  утворюється сіль  $\text{NaHCO}_3$ , що має лужну реакцію.

При однаковій швидкості поглинання катіону та аніону реакція зовнішнього середовища залишається незмінною.

Таким чином, залежно від складу катіонів та аніонів і їх потреби для рослини розрізняють солі фізіологічно кислі, лужні та нейтральні.

#### *Хід роботи*

Беруть три фарфорові стаканчики об'ємом 50 мл. В один із них наливають 50 мл розчину  $\text{NaNO}_3$  (0,2 г солі на 1 л води), в другий – 50 мл розчину  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (0,2 г солі на 1 л води), в третій (контрольний) – 50 мл водопровідної води.

Таблиця 5.1.4

Вплив різних солей на зміну рН розчину при вирощуванні традесканції

Рослина	Розчин солі	рН		Висновки
		на початку досліду	через 7 діб	
Традесканція	$\text{NaNO}_3$			
Традесканція	$(\text{NH}_4)\text{Cl}$			
Традесканція	$\text{H}_2\text{O}$			

У кожному стаканчику визначають рН розчину за допомогою універсального індикатора. В стаканчик висаджують по одному пагону традесканції і залишають у добре освітленому місці. Стаканчики підписують.

Через тиждень знову визначають значення рН у кожному стаканчику і одержані результати заносять у таблицю (табл. 5.1.4).

На основі отриманих результатів роблять висновок про причини зміни рН в різних варіантах досліду.

## **5.2. Контрольні питання до розділу «Мінеральне живлення рослин»**

1. Макро і мікроелементи, їх фізіологічна роль.
2. Механізм поглинання елементів мінерального живлення рослинною клітиною.
3. Механізм активного транспортування речовин через мембрани.
4. Особливості кореневої системи як органа поглинання води і мінеральних речовин.
5. Поглинання і засвоєння мінеральних речовин кореневою системою рослин. Грунт як джерело поживних речовин для рослинного організму.
6. Поглинання і перетворення нітрогенвмісних речовин у рослинах. Роль амідів
7. Механізми транспорту речовин в рослинах. Потік по рослині поживних речовин.
8. Колообіг елементів мінерального живлення в рослинах (реутилізація).
9. Зовнішні ознаки недостатньої кількості елементів мінерального живлення рослин.
10. Вплив факторів середовища на поглинання та перетворення елементів мінерального живлення.

## **5.3. Тестові завдання до розділу «Мінеральне живлення рослин»**

1. До макроелементів відносяться такі угруповання:
  - a) нітроген, фосфор, калій, манган, хлор;
  - b) нітроген, фосфор, сульфур, калій, магній, кальцій;
  - c) сульфур, калій, магній, кальцій, манган, хлор;
  - d) карбон, кисень, калій, гідроген, цинк.
2. При високій концентрації йонів у середовищі основним механізмом поглинання є:
  - a) активний транспорт;
  - b) адсорбція;
  - c) піноцитоз;
  - d) дифузія.
3. Найбільший бар'єр у радіальному транспортуванні йонів у корені є:
  - a) ендодерма;
  - b) перицикл;
  - c) кора;
  - d) епідерма.
4. Нітроген поглинається рослинами з ґрунту головним чином у формі:
  - a) амінокислот;
  - b) білків;
  - c) сечовини;

d) нітратів і йона амонію.

5. Сіль  $\text{NaNO}_3$  для рослин є:

- a) фізіологічно кислою;
- b) фізіологічно нейтральною;
- c) фізіологічно лужною;
- d) не поглинається рослиною.

6. Сіль  $\text{KNO}_3$  для рослин є:

- a) фізіологічно кислою;
- b) фізіологічно нейтральною;
- c) фізіологічно лужною;
- d) не поглинається рослиною.

7. Сіль  $\text{KCl}$  для рослин є:

- a) фізіологічно кислою;
- b) фізіологічно нейтральною;
- c) фізіологічно лужною;
- d) не поглинається рослиною.

8. Єдина система протопластів клітин називається:

- a) симпласт;
- b) апопласт;
- c) ендодерма;
- d) епідерма.

9. Визначите правильну послідовність включення нітрогену в органічні сполуки:

- a) відновлення нітритів;
- b) утворення аспарагіну;
- c) відновлення нітратів;
- d) утворення аспарагінової кислоти.

10. Визначите правильну послідовність радіального транспорту йонів:

- a) перицикл;
- b) ризодерма;
- c) судини ксилеми;
- d) кора.

11. Викликає пожовтіння і відмирання нижніх листків нестача елемента:

- a) N;
- b) Ca;
- c) B;
- d) Fe.

12. Який з мікроелементів необхідний рослинам для відновлення нітратів:
- a) Cu;
  - b) Zn;
  - c) Mo;
  - d) B.
13. Повторне використання елементів мінерального живлення рослиною називається:
- a) амоніфікація;
  - b) нітрифікація;
  - c) реутилізація;
  - d) утилізація.
14. Який з елементів мінерального живлення бере участь в утворенні рибосом:
- a) Fe;
  - b) K;
  - c) Ca;
  - d) Mg.
15. Нестача якого з елементів мінерального живлення викликає ослизнення коренів:
- a) Mn;
  - b) N;
  - c) Fe;
  - d) Ca.
16. Крайовий опік листків спостерігається за нестачі:
- a) Mn;
  - b) N;
  - c) Fe;
  - d) K.
17. Який з елементів мінерального живлення збільшує в'язкість цитоплазми:
- a) Mn;
  - b) N;
  - c) Fe;
  - d) Ca.
18. Ближнім транспортуванням називається:
- a) пересування речовин усередині однієї клітини;
  - b) пересування речовин між клітинами і тканинами усередині органу;
  - c) пересування речовин між органами рослини;
  - d) пересування речовин по апопласту.

19. Які процеси відбуваються з елементами мінерального живлення в кореневій системі рослин:

- a) пересуваються до судин ксилеми по апопласту;
- b) пересуваються до судин ксилеми по симпласту;
- c) включаються в органічні речовини;
- d) усе названо правильно.

20. Катіони й аніони надходять у клітинні стінки ризодерми за рахунок процесів:

- a) обмінної адсорбції;
- b) активного транспортування;
- c) роботи протонної помпи;
- d) роботи Na/K насосу.

21. Іони проникають через мембрану клітин за рахунок механізмів:

- a) проста дифузія;
- b) роботи протонної помпи;
- c) полегшеної дифузії;
- d) усе названо правильно.

22. Дихальні отрути і низькі температури блокують надходження елементів мінерального живлення:

- a) у вільний простір кореня;
- b) у протоплазму клітин;
- c) в апопласт;
- d) в симпласт;

23. Висхідний потік поживних речовин здійснюється:

- a) по флоемі;
- b) по ксилемі;
- c) по клітинах супутниках;
- d) по покривних тканинах.

24. До гідропонних методів вирощування рослин відносяться:

- a) водна культура;
- b) субстратна культура;
- c) аеропонна культура;
- d) усе названо правильно.

## 6. РІСТ ТА РОЗВИТОК РОСЛИН

Ріст і розвиток – невід'ємні властивості будь-якого живого організму. Це інтегральні процеси. Рослинний організм поглинає воду і поживні речовини, акумулює енергію, здійснює численні реакції обміну речовин, у результаті чого він росте і розвивається. Процеси росту і розвитку тісно взаємопов'язані, адже зазвичай організм і росте, і розвивається. Проте темпи росту і розвитку можуть бути різними. Швидкий ріст може супроводжуватися повільним розвитком або швидкий розвиток повільним ростом. Критерієм темпів розвитку є перехід рослин до репродукції. Для квіткових рослин це закладення квіткових бруньок, цвітіння. Критерії темпів росту зазвичай визначають швидкістю наростання маси, об'єму, розмірів рослини.

Усі вегетативні органи рослин закладаються у вигляді зачатків у зародку насіння. При проростанні першим з'являється зародковий корінець, який направляється вертикально в глиб ґрунту, а потім проросток рослини, що виходить на поверхню ґрунту. Деякий час проросток використовує поживні речовини насіння, а після вкорінення і появи сходів молоді рослини переходять на власне кореневе живлення, формують листки і за рахунок фотосинтезу утворюють органічні речовини, необхідні для їх росту і розвитку.

Ріст і розвиток – явища, тісно пов'язані між собою, але не тотожні. Під ростом розуміють збільшення маси і розмірів тих чи інших органів рослин, під розвитком – якісні зміни, що відбуваються в їх конусах наростання, які ведуть до утворення статевих органів, цвітіння і плодоношення.

У рослин існують фази розвитку або фази формування вегетативних та генеративних органів. Наприклад, у тонконогових (пшениця, жито, ячмінь, овес, просо) відзначають такі фази: сходи; поява 3-го листка; кущіння або розвиток бічних пагонів з підземних вузлів стебла; вихід у трубку або початок росту стебла; колосіння (у рослин, що мають суцвіття колос – пшениці, жита, ячменю) або викидання (у рослин з суцвіттям волоть – проса, вівса, сорго, рису); цвітіння, молочна стиглість, воскова стиглість і повна стиглість зерна. У кукурудзи, крім того, зазначають фазу утворення качанів.

В інших культур, наприклад, у бобових і гречки розрізняють такі фази: сходи (вихід на поверхню сім'ядоль); утворення першої пари справжніх листків; розгалуження стебла; поява бутонів; цвітіння; утворення плодів (зелена стиглість); наливання насіння і дозрівання насіння (повна стиглість).

На процеси росту та розвитку рослин впливають численні як зовнішні так і внутрішні фактори. Спостереження за розвитком рослин необхідні для того, щоб краще вивчити їхні вимоги до умов життя і в зв'язку з цим застосовувати прийоми агротехніки, за допомогою яких можна створювати найбільш сприятливі умови для одержання високого врожаю.

## 6.1. Лабораторний практикум до розділу «Ріст та розвиток рослин»

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

#### *Визначення захисної дії цукрів на цитоплазму клітини при низьких температурах*

*Мета:* на прикладі клітин буряку визначити вплив цукрів на стійкість рослин до несприятливих умов.

*Матеріали і обладнання:* ланцети, термометр, пробірки, піпетки, фільтрувальний папір, лід, кухонна сіль, 1 М розчин сахарози, столовий буряк, кристалізатори.

#### *Теоретичне обґрунтування*

Здатність рослин переносити вплив низьких температур закладена в спадковій основі організму. Проте морозостійкість визначається не лише спадковою природою рослин, а й впливом конкретних умов навколишнього середовища. Основна згубна дія морозу на рослинний організм пов'язана з утворенням кристаликів льоду як у середині клітини так і в міжклітинниках.



При швидкому зниженні температури лід утворюється всередині клітини. У цьому разі руйнується цитоплазма і клітина гине. При поступовому зниженні температури кристалики льоду спочатку утворюються в міжклітинниках. Вони відтягують воду з клітин і одночасно виявляють механічний тиск на цитоплазму.

Різке підвищення морозостійкості рослин відбувається в результаті проходження ними процесів загартування. Особливе значення в стійкості рослин до морозу має накопичення сахарози та інших олігосахаридів під час проходження рослиною першої фази загартування.



Внаслідок підвищення вмісту цукрів у клітині підвищується осмотичний тиск, знижується точка замерзання розчинів, збільшується кількість зв'язаної води, і цим зменшується кількість утворених кристаликів льоду. Накопичення цукрів стабілізує клітинні структури, особливо біологічні мембрани і макромолекули білків і нуклеїнових кислот. Отже, розчин цукрів відіграє важливу роль проти згубної дії морозів на цитоплазму клітини.

#### *Хід роботи*

Очищений коренеплід столового буряка ріжуть на шматочки, що мають довжину 1,5-2 см, ширину і товщину 0,5-0,7 см, ретельно миють їх водою і

кладуть по одному в кожен з трьох пробірок. У першу пробірку наливають 5 мл дистильованої води, в другу – 5 мл 0,5 М розчину сахарози, в третю – 5 мл 1 М розчину сахарози.

Пробірки підписують і ставлять в охолоджуючу суміш, яку виготовляють змішуванням трьох частин льоду і однієї частини кухонної солі.

Суміш добре перемішують шпателем (температура суміші повинна бути близько  $-20^{\circ}\text{C}$ ). Після цього всі пробірки занурюють в охолоджуючу суміш і витримують 20 хв.

По закінченню експозиції пробірки виймають і поміщують у скляні банки для поступового розморожування. Після цього вміст пробірок обережно перемішують і визначають забарвлення рідини в них. Результати досліду записують за схемою (табл. 6.1.2).

Таблиця 6.1.1

Вплив цукрів на вихід речовин з клітин буряка

Об'єкт	Варіанти досліду	Забарвлення розчину
	Вода (контроль)	
	Сахароза 0,5 М	
	Сахароза 1 М	

На основі отриманих результатів роблять висновок про вплив цукрів на стійкість рослин до низьких температур.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

### *Визначення температурного порогу коагуляції цитоплазми*

*Мета:* на прикладі листків різних видів рослин визначити жаростійкість рослин за показником температурного порогу коагуляції цитоплазми.

*Матеріали і обладнання:* свіже листя різних рослин, 1 М розчин сахарози, 0,02% розчин нейтрального червоного, хімічні склянки, пробірки, колби, електроплита, термометр, леза бритви, мікроскоп, фільтрувальний папір.

### *Теоретичне обґрунтування*

Жаростійкість – це здатність рослин витримувати дію високих температур. Жаростійкість рослин багато в чому залежить від тривалості дії високих температур – короткочасний їх вплив може бути таким же згубним, як і тривалий вплив менш високих температур.

За показником жаростійкості розрізняють три групи рослин:

✚ нежаростійкі – здатні знижувати свою температуру за рахунок транспірації; сюди в основному відносяться мезофітні наземні рослини та водні рослини, що витримують температуру до  $40^{\circ}\text{C}$ ;

✚ жаровитривалі – рослини сухих, сонячних місць існування, вони іноді можуть витримувати короткочасний нагрівання до  $60^{\circ}\text{C}$ ;



✚ жаростійкі – головним чином деякі нижчі рослини, термофільні бактерії і синьо-зелені водорості.

Однак, навіть близькоспоріднені види нерідко дуже різні за цієї властивості. Жаростійкість досить широко корелює з фазою розвитку рослини, наприклад, молоді, активно ростучі тканини менш стійкі, ніж старі та тканини, що перебувають у стані спокою.

Крім того, жаростійкість, так само як і морозостійкість, чітко корелює з негативним водним потенціалом рослини: чим він більший (тобто чим менше обводнена рослина), тим вища і жаростійкість

До основних пристосувань, що захищають рослину від теплових пошкоджень та перегрівання належать такі: тонка листова пластинка, що характеризується високою транспірацією; вертикальна орієнтація листків, коли промені не можуть падати на них перпендикулярно; білувате забарвлення поверхні, що екранізує інсоляцію; опушення або лусочки, що захищають від перегрівання тканини, які розташовані глибше; тонкі шари пробкової тканини, що оберігають флоему і камбій; високий вміст вуглеводів і малий вміст води в цитоплазмі; ізольованість тканини (наприклад, камбію) шаром іншої тканини та інше.

Клітини різних рослин мають неоднакову жаростійкість. Температура, за якої протягом 10 хв повністю коагулюють білки цитоплазми, вважається умовною межею жаростійкості рослин. Коагуляція білків викликає руйнування окремих клітинних структур, у тому числі плазмалеми та тонопласту, що регулюють пересування речовин. Загибель клітин установлюється за втратою здатності до плазмолізу.

#### *Хід роботи*

Готують 12 зрізів епідермісу листка досліджуваної рослини. Розміщують по два зрізи в пробірки, в які налито невелику кількість водопровідної води.

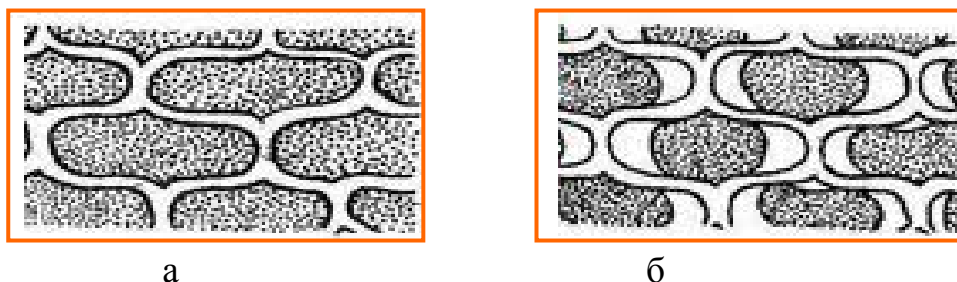


Рис. 6.1.2. Стан клітин за відсутності (а) та наявності плазмолізу (б)

У великій колбі нагрівають воду до 70-75 °С. Змішуючи гарячу воду з холодною, готують у хімічних стаканах водяні бані з температурою, °С: 48, 50, 52, 54, 56, 58. Одночасно занурюють у водяні бані пробірки зі зрізами. Підтримують встановлену температуру шляхом підливання гарячої води.

Через 10 хв зрізи витягують з пробірок, переносять на предметні скельця, зафарбовують нейтральним червоним протягом 10 хв. Барвник промокають фільтрувальним папером і наносять на зрізи краплю 1 М розчину сахарози, накривають накривним склом і через 10-15 хв розглядають під мікроскопом

Визначають наявність плазмолізу в клітинах зрізів (рис. 6.1.2). Результати заносять у таблицю 5.1.3, позначають знаком «+» наявність плазмолізу в більшості клітин, знаком «-» – відсутність плазмолізу.

Таблиця 6.1.2

Результати спостереження плазмолізу в клітинах листків

Варіант дослідження	Плазмоліз за температури, °C					
	48	50	52	54	56	58

Досліди проводять із зрізами листків різних видів рослин.

На основі отриманих даних роблять висновок про жаростійкість дослідних видів.

## **6.2. Контрольні питання до розділу «Ріст та розвиток рослин»**

1. Тотипотентність клітин. Суттєвість і фізіологічна роль диференціальної активації генів у процесі росту і розвитку рослин.
2. Дія ауксину на ріст і розвиток рослин.
3. Гібереліни і цитокініни як фактори, що регулюють ріст і розвиток рослин.
4. Вплив етилену і абсцизової кислоти на ріст і розвиток рослин.
5. Фізіологічні основи використання хімічних регуляторів росту рослин.
6. Світло як фактор, регулюючий ріст і розвиток рослин. Фітохромна система.
7. Вплив температури і вологості на ріст і розвиток рослин.
8. Фотоперіодизм, його значення в генеративному розвитку рослин.
9. Життєвий цикл вищих рослин.
10. Основні закономірності росту та онтогенезу рослинних клітин.
11. Типи росту. Кореляція росту. Значення в життєдіяльності рослин. Використання в практичній діяльності.
12. Явище полярності у рослин.
13. Періодичність росту. Ритміка фізіологічних процесів.
14. Фізіологічні основи спокою рослинного організму.
15. Фізіологічні процеси при формуванні плодів і насіння.
16. Тропізми, настії, фізіологічні механізми руху рослин.
17. Фізіологія стійкості та адаптації рослин до несприятливих умов.
18. Фізіологічна природа посухостійкості рослин. Стійкість рослин до високих температур.
19. Фізіологічна природа холодостійкості рослин. Засоби підвищення стійкості рослин до низьких температур.
20. Основні типи пошкодження рослин при перезимівлі. Фізіологічні основи зимостійкості рослин.
21. Фізіологічні причини полягання рослин. Способи боротьби з ним.

## **6.3. Тестові завдання до розділу «Ріст та розвиток рослин»**

1. За хімічною природою ауксини відносяться до речовин:
  - a) терпеноїдів;
  - b) вуглеводів;
  - c) неорганічних сполук;
  - d) похідних індолацетової кислоти;
2. При обробці рослин абсцизинами спостерігається реакція:
  - a) формуються великі безнасінні плоди;
  - b) стимулюється цвітіння рослин довгого дня;
  - c) закриваються продихи, зменшується втрата води;
  - d) стимулюється проростання свіжозібраних бульб картоплі.

3. Цитокініни синтезуються:

- a) у клітинах листків;
- b) у клітинах стебла;
- c) у верхівках стебла;
- d) у кореневій системі.

4. Прискорює дозрівання і опадання плодів:

- a) етилен;
- b) ауксин;
- c) цитокініни;
- d) гібереліни.

5. Розчинний у воді хромопротейд, локалізований у мембранах рослин, здатний змінювати свою форму під дією світла, називають:

- a) хлорофілом;
- b) каротином;
- c) фітохромом
- d) ксантофілом.

6. Фотоперіодизм – це реакція рослин:

- a) на тривалість дня і ночі;
- b) на інтенсивність світла;
- c) на якість світла;
- d) на час доби.

7. Знижують урожай, але підвищують білковість зерна злаків:

- a) висока температура в сполученні з низькою вологістю повітря;
- b) нестача мінерального живлення;
- c) низька температура в період наливання зерна;
- d) висока вологість повітря в період наливання зерна.

8. Фотоморфогенетичний вплив червоного світла на рослину здійснюється:

- a) за допомогою посилення інтенсивності фотосинтезу;
- b) за допомогою трансформації фітохромної системи;
- c) за допомогою зміни інтенсивності дихання;
- d) усе назване правильно.

9. Сигмоїдна крива росту характеризує:

- a) зміни реакції рослин на тривалість дня і ночі;
- b) зміни лінійних розмірів органів рослини;
- c) реакцію рослин на водний режим;
- d) реакцію рослин на умови мінерального живлення.

10. Які явища найбільш характерні для ембріональної фази росту клітин:

- a) збільшення розміру клітини;
- b) утворення єдиної великої вакуолі;
- c) збільшення маси цитоплазми та поділ клітини;
- d) потовщення клітинної оболонки.

11. Ростові кореляції відображають залежність:

- a) між інтенсивністю фотосинтезу і диханням;
- b) між мінеральним живленням і водообміном;
- c) між ростом і розвитком одних органів рослин від інших;
- d) між інтенсивністю фотосинтезу і поглинанням води.

12. Видалення яких органів викликає пробудження сплячих бруньок:

- a) верхівки пагону;
- b) старих листків;
- c) квіток;
- d) плодів.

13. Яровизація відображає явище:

- a) фотоперіодизму рослин;
- b) термоперіодизму рослин;
- c) руху рослин;
- d) кореляції.

14. Який фактор зовнішнього середовища сприяє пристосуванню рослин до несприятливих сезонних змін:

- a) температура;
- b) довжина дня;
- c) вологість повітря;
- d) вологість ґрунту.

15. Відсутність сприятливих умов викликає у бруньок і насіння:

- a) глибокий спокій;
- b) змушений спокій;
- c) тимчасовий спокій;
- d) фізіологічний спокій.

16. Листкова мозаїка рослин обумовлена явищем:

- a) фототропізмом;
- b) хемотропізмом;
- c) настіями;
- d) геотропізмом.

17. Настії – це рух, що виникає у рослин у відповідь :

- a) на однобічну дію фактора середовища;
- b) на зміну градієнта концентрації поживного розчину;

- c) на дифузійну дію фактора;
- d) на зміну концентрації вуглекислого газу.

18. Стрес-білки синтезуються в рослинах:

- a) під впливом високих температур;
- b) при засоленні ґрунтів;
- c) при нестачі води;
- d) у відповідь на зміну різних факторів.

19. Рослини, що здатні до росту і розвитку в умовах достатнього зволоження відносяться до:

- a) ксерофітів;
- b) мезофітів;
- c) гігрофітів;
- d) гідрофітів.

20. Морозостійкість рослин це:

- a) здатність до перенесення невеликих позитивних температур;
- b) здатність до перенесення невеликих негативних температур;
- c) здатність до перенесення низьких негативних температур;
- d) здатність до перенесення температури нижче 25 °C.

21. Основною причиною загибелі рослин від морозу є:

- a) промерзання кореневої системи;
- b) утворення льоду в міжклітинниках;
- c) коагуляція білків;
- d) відтік поживних речовин.

22. Здатність рослин сприймати і реагувати на земне тяжіння називається:

- a) термоперіодизм;
- b) фототропізм;
- c) хемотропізм;
- d) геотропізм.

23. Холодостійкістю називають:

- a) витримування температури дещо вище 0 °C;
- b) витримування температури нижче 0 °C;
- c) витримування температури дещо вище 0 °C та нижче 0 °C;
- d) усе назване правильно.

24. Рослини, що здатні до розвитку в умовах високої концентрації солей:

- a) мезофіти;
- b) гігрофіти;
- c) галофіти;
- d) ксерофіти.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Беликов П. С. Физиология растений / П. С. Беликов, Г. А. Дмитриева. – М. : Российский университет дружбы народов, 1992. – 248 с.
2. Голованова Т. И. Физиология растений : [учеб. пособ.] / Т. И. Голованова, Н. П. Белоног, Т. Б. Горбанева. – Красноярск : Красноярский гос. ун-т, 2003. – 327 с.
3. Грицаєнко З. М. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів / З. М. Грицаєнко, А. О. Грицаєнко, В. П. Карпенко. – К. : НІЧЛАВА, 2003. – 320 с.
4. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Ю. А. Злобін. – Суми : Університетська книга, 2004. – 464 с.
5. Кузнецов В. В. Физиология растений / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Высшая школа, 2006. – 742 с.
6. Малый практикум по физиологии растений / под ред. А. Т. Мокроносова. – [9-е изд.]. – М. : МГУ, 2002. – 202 с.
7. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Мусієнко. – К. : Фітосоціоцентр, 2001. – 392 с.
8. Мусієнко М. М. Фотосинтез / М. М. Мусієнко. – К. : Вища школа, 1995. – 247 с.
9. Практикум по физиологии растений / [ Н. Н. Третьяков, Т. В. Карнаухова, Л. А. Паничкин и др.] / под ред. проф. Н. Н. Третьякова. – М. : Агропромиздат, 1990. – 271 с.
10. Физиология растений / [Н. Д. Алехина , Ю. В. Балнокин , В. Ф. Гавриленко и др.] / под ред. И. П. Ермакова. – М. : Academia, 2005. – 640 с.
11. Фізіологія рослин / М. М. Макрушин, Є. М. Макрушина, Н. В. Петерсон, М. М. Мельников. – Вінниця : Нова Книга, 2006. – 416 с.
12. Фізіологія рослин: практикум / [ О. В. Войцехівська, А. В. Капустян, О. І. Косик та ін.]; за заг. ред. Т. В. Паршикової. – Луцьк : Терен, 2010. – 420 с.
13. Фізіологія рослин: практикум / [О. В.Брайон, В. Г.Чикаленко, П. С. Славний та ін.] – К. : Вища школа, 1995. – 191 с.
14. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення / за ред. Д. Мельничука, Дж. Хофман, М. Городнього. – К. : Арістей, 2004. – 488 с.

Навчальне видання

## **ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН**

Робочий зошит

Укладачі:

**Самойленко Тетяна Галєївна**

**Рожок Ольга Федосіївна**

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 4,0

Тираж 50 прим. Зам. №\_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі  
Миколаївського національного аграрного університету  
54020, м. Миколаїв, вул. Паризької Комуни, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.