

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра рослинництва та садово-паркового господарства

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН МОДУЛЬ 3 - 6

Методичні рекомендації

до виконання практичних робіт для здобувачів вищої
освіти ступеня «бакалавр» спеціальність 201 «Агрономія»
денної форми навчання

МИКОЛАЇВ
2020

УДК 581.1

Ф48

Друкується за рішення науково-методичної комісії факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету від « 21 » травня, протокол № 9

Укладачі:

М.І. Федорчук – д-р с-г. наук, професор кафедри рослинництва та садово-паркового господарства, Миколаївський національний аграрний університет;

М.О. Самойленко – д-р с-г. наук, професор кафедри виноградарства та плодовоовочівництва, Миколаївський національний аграрний університет;

О.Ф. Рожок – старший викладач кафедри рослинництва та садово-паркового господарства, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

О.М. Дробітько – канд.. с-г. наук, голова ФГ «Олена» Братського району Миколаївської області;

В.В. Гамаюнова – д-р с-г. наук, професор, завідувач кафедри землеробства, геодезії та землеустрою, Миколаївський національний аграрний університет.

©Миколаївський національний аграрний університет, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. Фотосинтез.....	6
1.1. Практичні роботи до модуля «Фотосинтез»	
Практична робота №1 «Будова пігментів листка».....	7
Практична робота №2 «Хімічні властивості пігментів листка».....	9
Практична робота №3 «Кількісне визначення пігментів листка».....	15
Практична робота №4 «Вивчення фотосенсибілізуючої дії хлорофілу»	18
Практична робота №5 «Визначення площі листків».....	20
1.2. Контрольні питання до модуля «Фотосинтез».....	23
1.3. Приклади тестових завдань до модуля «Фотосинтез».....	24
2. Дихання рослин.....	28
2.1. Практичні роботи до модуля «Дихання рослин».....	29
Практична робота №6 «Ферменти дихання».....	29
Практична робота №7 «Спостереження дії денітрофенолу на процес поглинання води тканинами бульби картоплі».....	34
Практична робота №8 «Визначення інтенсивності дихання насіння».....	37
Практична робота №9 «Визначення дихального коефіцієнту пророслого насіння».....	39
2.2. Контрольні питання до модуля «Дихання рослин».....	42
2.3. Приклади тестових завдань до модуля «Дихання рослин».....	43
3. Мінеральне живлення рослин.....	47
3.1. Практичні роботи до модуля «Мінеральне живлення рослин».....	49
Практична робота №10 «Вплив окремих елементів мінерального живлення на життєдіяльність рослин».....	49
Практична робота №11 «Виявлення нітратів у рослинах».....	52
Практична робота №12 «Фізіологічно кислі і лужні солі».....	55
Практична робота №13 «Вплив аерації на поглинання поживних речовин кореневою системою рослин».....	57
Практична робота №14 «Ріст рослин на розчинах чистих солей і на їх суміші (антагонізм йонів)».....	59
3.2. Контрольні питання до модуля «Мінеральне живлення рослин».....	61
3.3. Приклади тестових завдань до модуля «Мінеральне	

	4
живлення рослин».....	62
4. Ріст та розвиток рослин.....	67
4.1. Практичні роботи до модуля «Ріст та розвиток рослин».....	68
Практична робота №15 «Виявлення амілази в насінні, що проростає».....	68
Практична робота №16 «Спостереження явища геотропізму у рослин».....	69
Практична робота №17 «Визначення захисної дії цукрів на цитоплазму клітини при низьких температурах».....	71
Практична робота №18 «Визначення температурного порогу коагуляції цитоплазми».....	72
4.2. Контрольні питання до модуля «Ріст та розвиток рослин».....	74
4.3. Приклади тестових завдань до модуля «Ріст та розвиток рослин».....	75
Перелік навчально-методичної літератури.....	80

ВСТУП

Фізіологія рослин вивчає основні життєві функції рослинного організму на різних рівнях їх організації і тому дуже тісно пов'язана з практикою сільськогосподарського виробництва. Вивчаючи закономірності функцій, процеси росту й розвитку рослинних організмів, вона дає теоретичну основу для розробки раціональної технології вирощування урожаїв сільськогосподарських культур і поліпшення якості їхньої продукції.

Щоб максимально використати потенціальну продуктивність сільськогосподарських рослин і одержувати від них високоякісну продукцію, необхідно глибоко досліджувати водообмін, світлове і мінеральне живлення, умови росту й розвитку рослин. Поряд з цим застосування фізіологічно активних речовин, стимуляторів, інгібіторів тощо дає можливість активніше й ефективніше впливати на окремі процеси життєдіяльності рослин.

Матеріал методичних рекомендацій охоплює три модулі з дисципліни Фізіологія рослин вивчення яких передбачається на II курсі у IV семестрі. Практичні роботи є обов'язковою складовою вивчення дисципліни. Це дозволяє майбутнім фахівцям закріпити отримані теоретичні знання, набути певних навичок та засвоїти нові методики вивчення рослинного організму. Адже основним завданням фізіології рослин є узагальнення нових знань про фізіологічні процеси в рослинному організмі та можливості управління продукційним процесом рослинних угруповань з метою створення теоретичної бази раціонального використання й захисту рослинного світу.

Таким чином, здобувачі вищої освіти в ході практичних робіт отримують необхідний об'єм знань і навичок які зможуть потім використати у своїй майбутній роботі. Крім того виконання практичних робіт з фізіології рослин сприяє розвитку у здобувачів вищої освіти наукової форми мислення, здатності до самостійного вирішення певних питань.

1. ФОТОСИНТЕЗ

Фотосинтез – унікальний процес, який 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 CO_2 , який міститься в земній атмосфері. Фотосинтез і дихання (зворотний процес з виділенням CO_2) створюють гігантську буферну систему, що підтримує в земній атмосфері постійну концентрацію – 0,03% CO_2 (близько 600 млн. тонн). Підраховано, що щорічно під час фотосинтезу фіксується 150 млрд. тонн вуглекислого газу і утворюється 58 млрд. тонн органічної речовини. Приблизно половину його створюють рослини суші.

Основний процес фіксації вуглекислий 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 рослин він однаковий і існує в основному у формі хлорофілу "а" 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, що сприймає світло, перевищує площу листків у 15 разів.

Світлова реакція фотосинтезу починається поглинанням хлорофілом квантів світла з утворенням відновлюючого агенту ($\text{НАДФН} + \text{H}^+$) 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 фотофосфорилювання

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.

1.1. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ДО МОДУЛЯ «ФОТОСИНТЕЗ»

Практична робота №1

Будова пігментів листка

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

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

Теоретичне обґрунтування

У природі зустрічається 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 динофлагелят; хлорофіл "d" – у червоних водоростей; нарешті, є різні види бактеріохлорофілу – у 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 який пов'язаний з атомом магнію, а до одного з кілець приєднаний одноатомний ненасичений спирт фітол.

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

Більшість рослин, які виділяють кисень, містять два різних хлорофіли, одним з яких завжди є хлорофіл "а"; 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 спектру. Припускають також, що каротиноїди виконують захисну функцію, запобігають розпаду хлорофілу під дією молекулярного кисню.

Таким чином у клітинах рослин фотосинтезуючі пігменти поділяються основні та додаткові. В таблиці 1.1.1. наведені приклади рослинних організмів, що мають різний пігментний склад клітин.

Таблиця 1.1.1

Основні фотосинтетичні пігменти в царстві рослин

Організми	<i>Хлорофіли</i>					<i>Фікобіліни</i>		<i>Каротиноїди</i>	
	a	b	C ₁	c ₂	d	Фіко-еритрин	Фіко-ціанін	Кароти-ні	Ксанто-філи
Вищі рослини, папоротеподібні, мохоподібні	+	+	-	-	-	-	-	β,α-каротин	Лютеїн, віолоксантин, неоксантин
Водорості (зелені)	+	+	-	-	-	-	-	β-каротин	Віолоксантин, неоксантин
Водорості (евгленові)	+	+	-	-	-	-	-	β-каротин	Неоксантин, діаноксантин
Водорості (бурі)	+	-	+	+	-	-	-	β-каротин	Фукоскантин, віолоксантин
Водорості (золотисті)	+	-	+	+	-	-	-	β-каротин	Фукоскантин
Водорості (червоні)	+	-	-	-	+	+	+	β,α-каротин	Лютеїн, зеаксантин

Іноді в рослинах зустрічаються 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 відбуваються у фотосинтетичних структурах рослин.

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 CaCO_3 (на кінчику ланцета). При розтиранні використовують 10 мл етанолу, який додають до маси поступово.

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

Практична робота № 2

Хімічні властивості пігментів листка

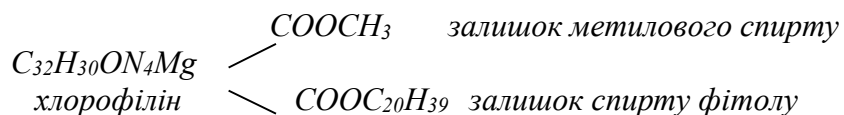
Мета: виділити пігменти з листка, розділити пігменти, визначати особливості хімічної будови.

Матеріали і обладнання: фарфорові ступки, свіжі листки різних рослин, скло, 96% розчин етанолу, фільтрувальний папір, пробірки, штативи, бензин, розчин хлоридної 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 іде 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 атому Mg, а в каротиноїдах – це карбоно-гідрогенний ланцюг із подвійними зв'язками.

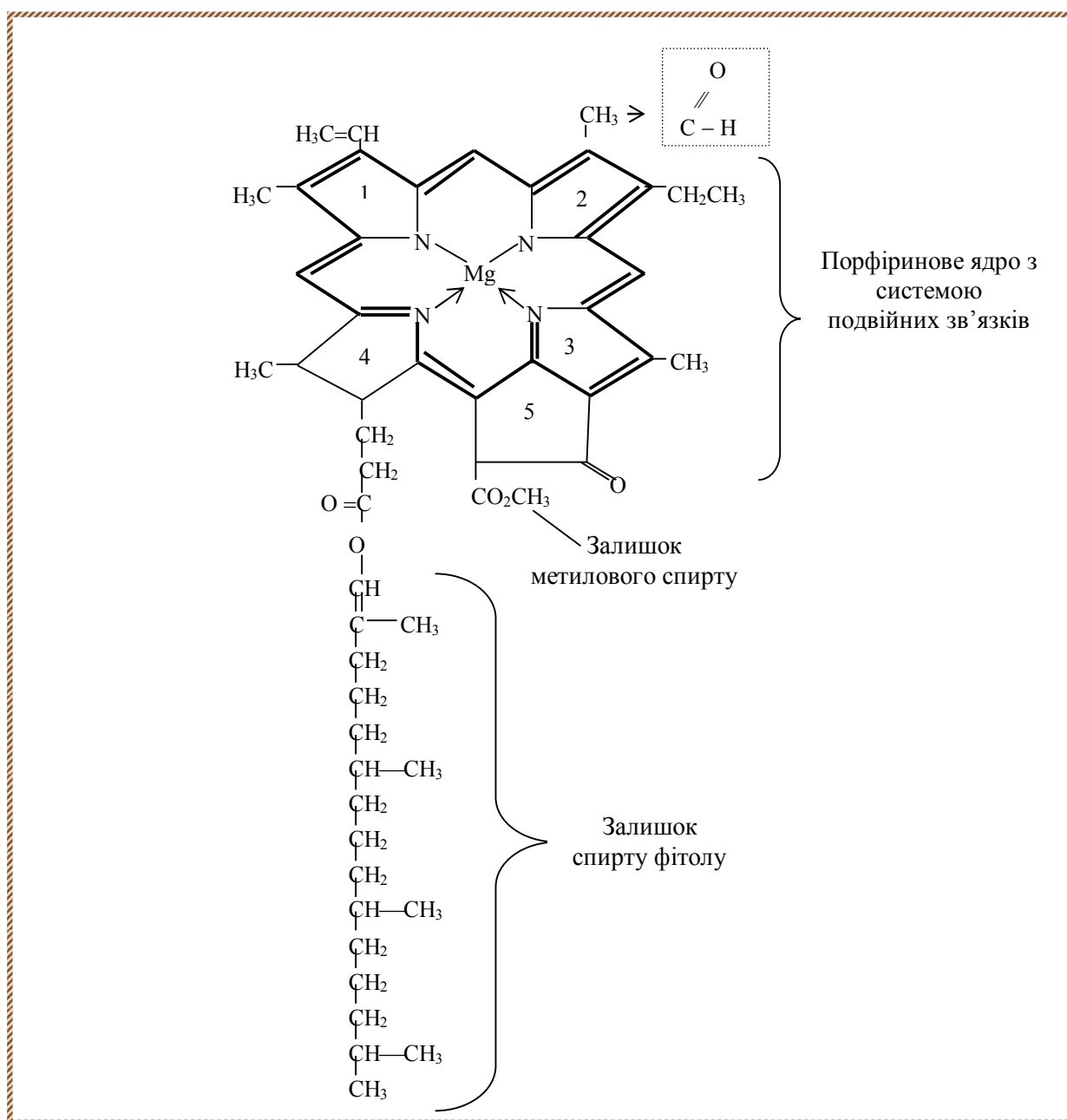


Рис. 1.1.1. Хімічна структура хлорофілу

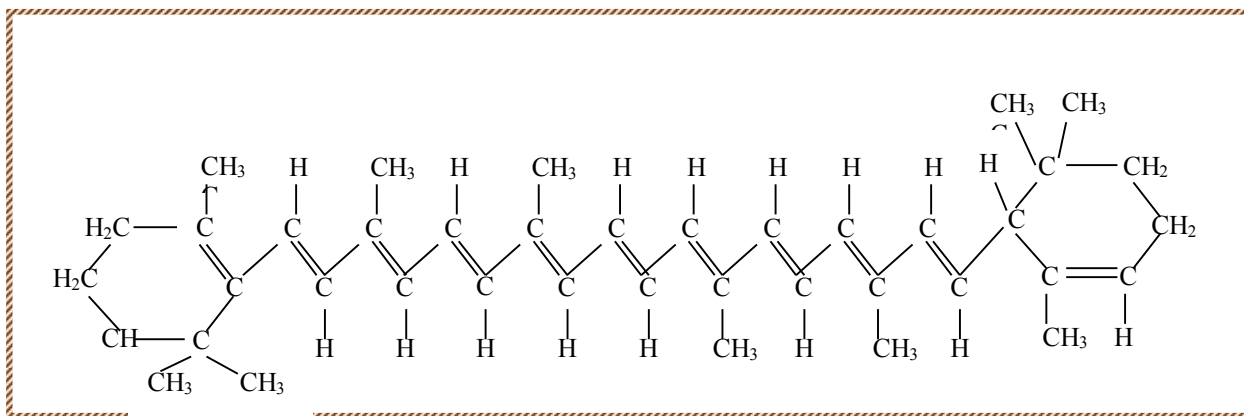


Рис. 1.1.2. Хімічна структура каротину

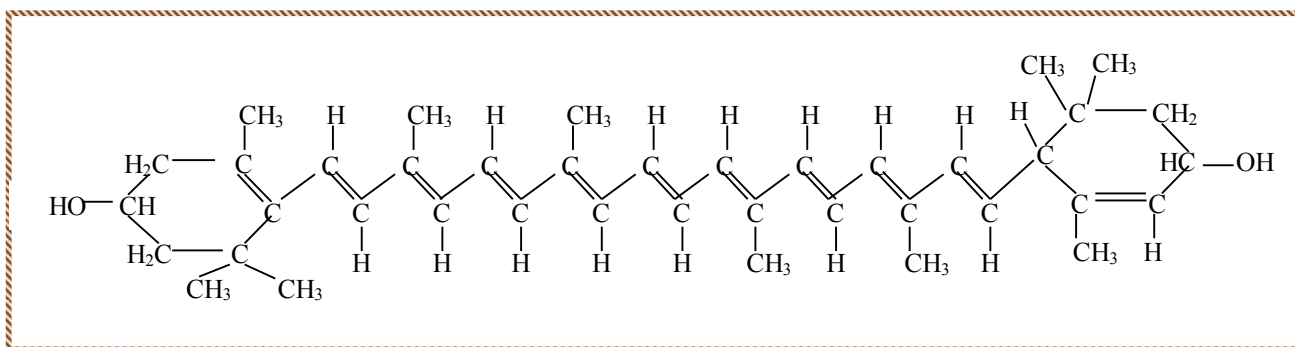


Рис. 1.1.3. Хімічна структура ксантофілу

Хлорофіли – сполуки, які вибірково поглинають світло у видимій частині сонячного спектру. Максимуми його поглинання знаходяться у синьо-фіолетовій і червоній частині спектру. 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" в червоній частині спектру перебувають у межах 660-663 нм, у синій – 428-430, хлорофілу "b" – відповідно 642-644 та 452-455 нм.

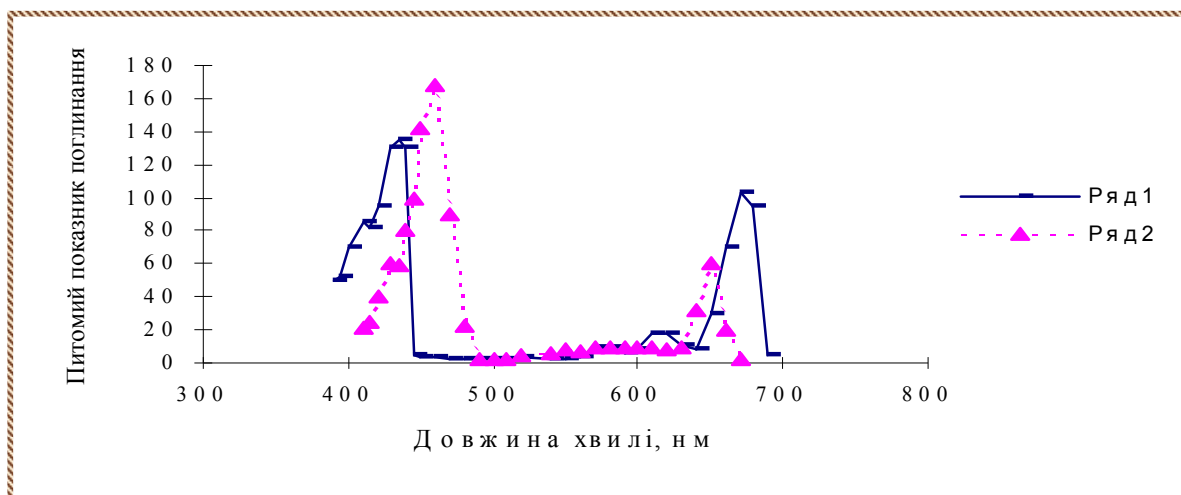


Рис. 1.1.4. Спектри поглинання хлорофілів

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

Довжина ланцюгів досягає 3 нм і часто закінчується шестичленними циклами. Безокиснені 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 β -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 спектру 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, що виділяється при фотосинтезі, беруть участь в окисно-відновних реакціях, а також відіграють важливу роль у генеративних процесах рослин.

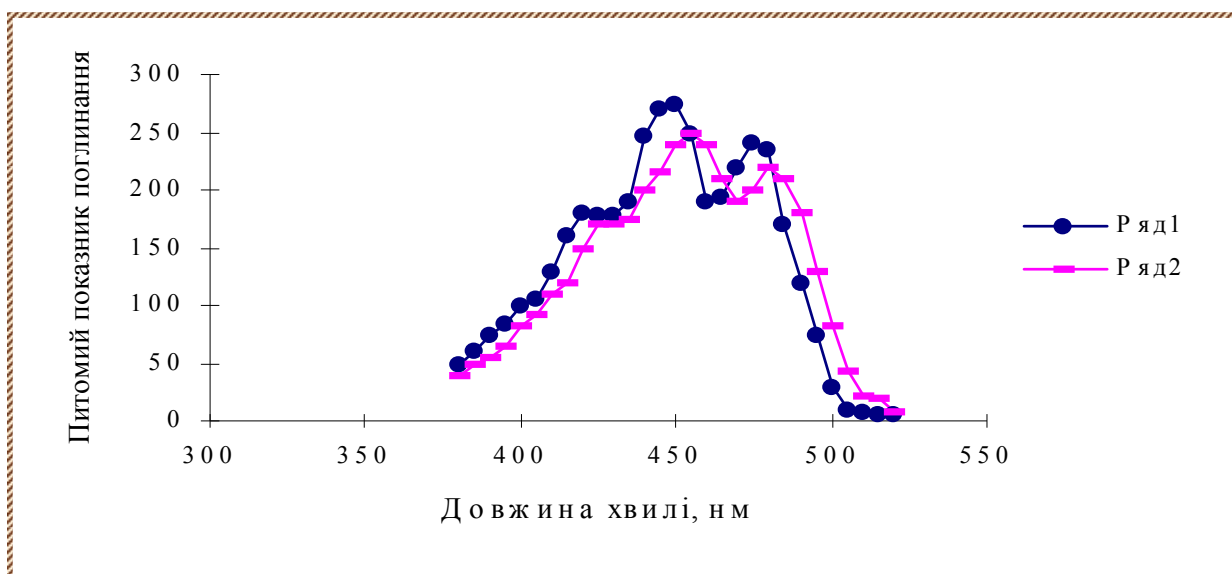


Рис. 1.1.5. Спектри поглинання каротиноїдів

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

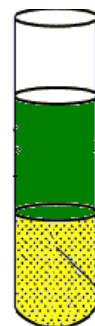
Свіжі листки нарізають ножицями, кладуть у ступку і

розтирають до однорідної маси. Для нейтралізації кислот клітинного соку додають CaCO_3 (на кінчику ланцета). Потім додають 10 мл етанолу 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 лійці. Отримують прозорий зелений розчин суміші пігментів.

Розподіл пігментів за методом Крауса

В основі методу лежать хімічні властивості пігментів по різному розчиняючись 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. У міру розшарування, верхній бензиновий шар набуває зеленого кольору завдяки кращій розчинності в ньому хлорофілів. У цьому шарі міститься каротин, але його забарвлення маскується хлорофілами 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.

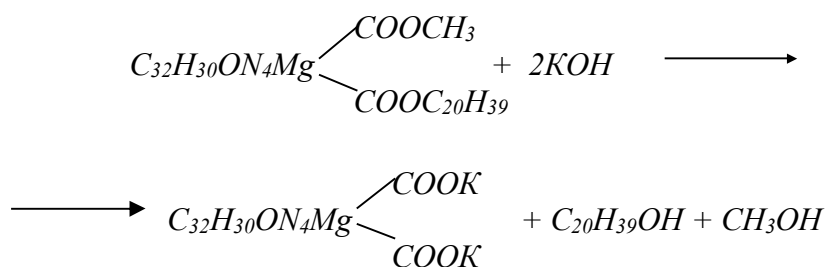
Омилення хлорофілу лугом

За хімічною будовою хлорофіли – складні ефіри дикарбонової органічної кислоти – хлорофілінової і двох залишків спиртів – фітолу і метилового. Хлорофілінова кислота це нітрогеновмісна металорганічна сполука, що належить до магнійпорфіринів.

У хлорофілі гідроген карбоксильних груп заміщений залишками двох спиртів – метилового CH_3OH і фітолу $\text{C}_{20}\text{H}_{39}\text{OH}$, тому хлорофіл є складним ефіром.

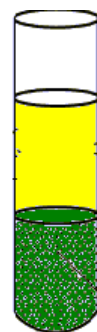
Наявність у молекулі хлорофілу активних хімічних груп зумовлює його реакційну здатність. Наприклад, при обробці

хлорофілу лугом, ефірні зв'язки омилюються, в результаті чого від його молекули відщеплюються спирти (фітол і метанол):



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

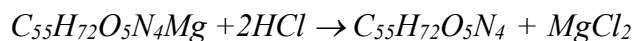
У пробірку наливають 2-3 мл спиртової витяжки пігментів, додають 1 мл 20% розчину КОН або NaOH. Екстракт ставлять у водяну баню, доводять до кипіння, виймають і охолоджують. До охолодженої суміші додають рівний об'єм бензину і 2-3 краплі води. Вміст пробірок різко перемішують і залишають для відстоювання.



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 у 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 в ядро входить подвійний метал, що викликає відновлення металоорганічного зв'язку 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-процентного розчину соляної кислоти та легко збовтують. Під дією кислоти зникає зелене забарвлення, і витяжка набуває оливково-бурого кольору, утворюється сполука, що дістала назву феофітин.

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

У ході роботи роблять рисунок пробірки з феофітином і металозаміщеним хлорофілом та висновки про залежність оптичних властивостей пігменту від наявності в молекулі магнію.

Практична 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 етанолу, пробірки, фільтрувальний папір, лійки, скляні колби місткістю 25 мл, 1% розчин $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 2% розчин $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 2Н розчин NH_4OH , фотоелектрокалориметр (ФЕК).

Теоретичне обґрунтування

Кількість хлорофілу й інших пігментів важливий показник, що впливає на фотосинтетичну активність рослин. Як правило кожен вид рослин має певний запас пігментів листка. У зв'язку з чим не спостерігається значних змін при збільшенні концентрації хлорофілу коли рослина знаходиться в нормальному стані. У більшості рослин концентрація хлорофілів у листках коливається в межах від 0,1 до 0,7% від сирової маси листка. Середній показник – 0,3%. Концентрація хлорофілу, ще визначається на одиницю поверхні листка, цей показник коливається в межах 0,7- 8 мг/дм²:

Вплив вмісту хлорофілу на ступінь використання світла в процесі фотосинтезу

Колір листка	Вміст хлорофілу (a+b), мг/дм ²	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
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

За різкого зменшення концентрації хлорофілу й інших пігментів (наприклад, під дією факторів зовнішнього середовища) інтенсивність фотосинтезу падає.

Хід роботи

Отримують спиртову витяжку пігментів згідно вказівок роботи 1 та 2, при цьому використовують точну наважку листка від 0,15 до 0,2г.

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

Для визначення концентрації хлорофілу в листках використовують спеціальний прилад – фотоелектрокалориметр (ФЕК). Прилад калібрують згідно 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 2н розчину NH_4OH , доводять об'єм до 100 мл шляхом додавання дистильованої води.

Отриманий розчин має колір подібний 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.

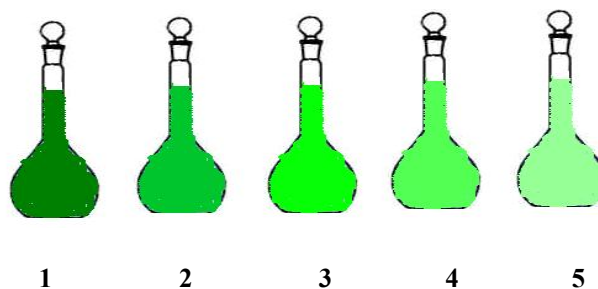


Рис. 1.1.6. Ряд розчинів для калібрування приладу

Примітка:

- 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).

Розчині Гьотрі різної концентрації наливають у кювети приладу і визначають оптичну щільність кожного розчину згідно інструкції використання ФЕК. Для визначення використовують червоний світлофільтр, так як один із максимумів поглинання хлорофілу знаходиться у червоній частині спектра. На основі отриманих даних будують графік залежності між оптичною щільністю та показниками приладу (згідно прикладу рис. 1.1.7).

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

Приклад розрахунків:

Для визначення концентрації хлорофілу використана наважка 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 рис.3.1.8 така оптична щільність відповідає концентрації хлорофілу 0,383 мг/25 мл. Таким чином, з наважки масою 180 мг отримано 0,383 мг хлорофілу, відповідно вміст хлорофілу в листках, що досліджувалися, складає 0,21% від сирової маси.

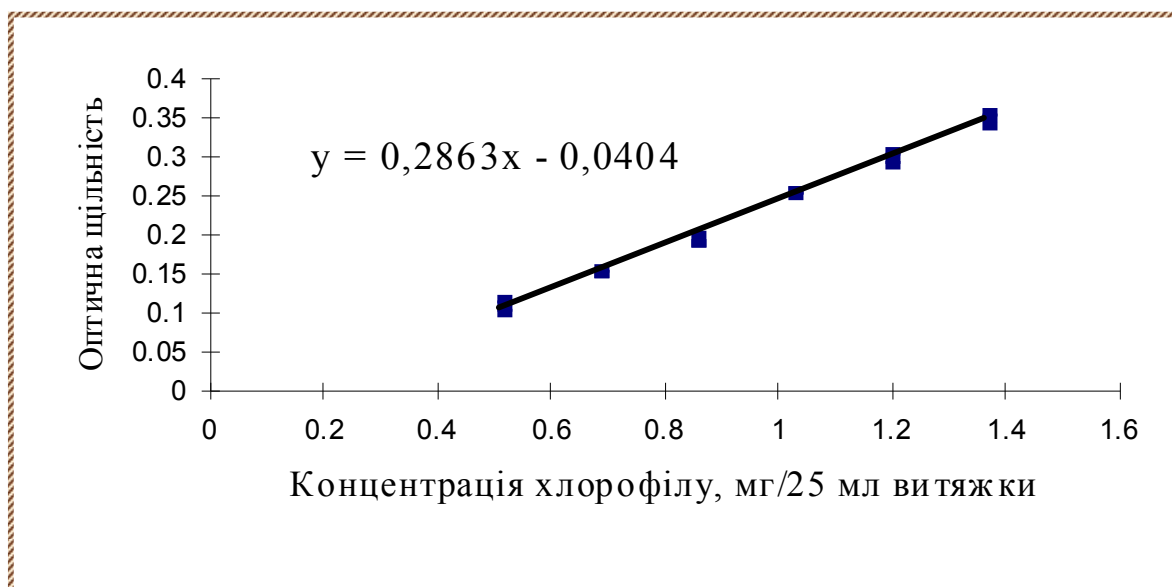


Рис. 1.1.7. Залежність оптичної щільності від концентрації хлорофілу (за розчином Гьотрі)

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

Практична робота № 4 Вивчення фотосенсибілізуючої дії хлорофілу

Мета: вивчити здатність хлорофілу до реакцій окиснення та відновлення на прикладі «реакції Красновського».

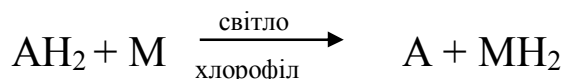
Матеріали і обладнання: фарфорові ступки, свіжі листки кімнатних рослин, 96% розчин етанолу, пробірки, фільтрувальний папір, лійки, 0,04% спиртовий розчин метилового червоного, піпетки, лампа (200-300 Вт), світлонепроникний папір.

Теоретичне обґрунтування

Особливістю будови молекули хлорофілу є його здатність до окисно-відновних реакцій. Така властивість пігменту дозволяє функціонувати електрон-транспортній системі в світловій фазі фотосинтезу, де хлорофіл постійно окиснюється за рахунок віддачі електронів у систему переносників і відновлюється за рахунок прийняття електронів у процесі фотолізу води.

Таким чином хлорофіл у процесі фотосинтезу виконує роль

фотосенсибілізатора окисно-відновної реакції переносу електрону від первинного донора до первинного акцептора. Цю реакцію можна спостерігати в модельних системах із використанням штучних донорів і акцепторів електронів. В якості донора електронів найчастіше використовується аскорбінова кислота, а в якості акцептора – який-небудь барвник, який у відновленому стані переходить у лейкоформу, наприклад, метиловий червоний:



де AH_2 – аскорбінова кислота; M – метиловий червоний; MH_2 – лейкоформа метилового червоного.

Особливістю барвника метилового червоного є те, що він при приєднанні електронів відновлюється та перетворюється в лейкоформу, що не має забарвлення.

Дана робота відтворює дослід, відомий як «реакція Красновського».

Хід роботи

Отримують спиртову витяжку пігментів згідно вказівок роботи 1 та 2. Беруть 4 пробірки. У 1-у, 2-у і 3-ю наливають по 5 мл спиртової витяжки пігментів, у 4-у – додають таку ж кількість чистого спирту. Потім до 1-ої, 2-ї і 4-ї додають кристалічну аскорбінову кислоту і всі пробірки струшують, щоб кислота розчинилася до насичення. Нерозчинна аскорбінова кислота осяде на дно. Після цього у всі пробірки додають відфільтрований спиртовий розчин метилового червоного у такій кількості, щоб зелене забарвлення перейшло в червоне. Суміш струшують і другу пробірку поміщають у темряву, а решту – на світло. Пробірки освітлюють електричною лампою потужністю 200-300 Вт, розташованою на відстані приблизно 15 см від пробірок. Для видалення теплових інфрачервоних променів між лампою і пробірками розміщують водний екран товщиною не менше 7-8 см. Через 15-20 хв спостерігають результати експерименту та заповнюють таблицю 1.1.3:

Спостереження фотосенсибілізуючої дії хлорофілу

Варіант досліджу	Реакційна суміш	Умови досліджу	Зміна кольору
1	Хлорофіл + аскорбінова кислота + метиловий червоний	Світло	
2	Хлорофіл + аскорбінова кислота + метиловий червоний	Темрява	
3	Хлорофіл + метиловий червоний	Світло	
4	Спирт + аскорбінова кислота + метиловий червоний	Світло	

На основі отриманих даних пояснюють причини зміни кольору в пробірках, роблять висновок про здатність хлорофілу до реакцій окиснення та відновлення і особливості будови пігменту, що обумовлюють подібні реакції.

Практична робота № 5 Визначення площі листків

Мета: визначати площу листкової 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 якого 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 у зелених клітинах, тоді як процес дихання йде 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, коефіцієнту ефективності (куди входить витрата на процес дихання), розміру листкової поверхні та суми днів вегетаційного періоду. Розмір листкової поверхні у посіві визначається величиною, що отримала назву листкового індексу. Листковий 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. м². Оптимальна загальна площа листків для різних рослин різна і залежить переважно від розташуванням листків у просторі. Чим більш вертикально розташовані листки, тим менше вони затінюють один одного і тим вище значення оптимальної площі листків. Так, для конюшини оптимальне значення листкового індексу 3-4, а для пшениці воно доходить до 7.

Інтенсифікація роботи листкового 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 необхідно добиватися швидкого розвитку листкової поверхні на початку вегетаційного періоду. Однак надмірний розвиток листків небажаний. У цьому випадку листки затінюють один одного, що знижує їх працездатність. Можуть бути навіть випадки, коли листки з органів, які постачають поживні речовини, стають споживачами. Разом з тим листок – це не тільки орган фотосинтезу, а й орган транспірації. Отже, чим більша площа листків, тим більше рослина втрачає води в процесі випаровування.

Хід роботи

Для визначення площі листкової поверхні розроблено багато методів.

Найбільш поширеними, які використовують як у польових так і в лабораторних дослідах, є нижченаведені.

1) *Метод відбитків.* Для цього з паперу вирізають квадрат площею 100 см² і його зважують. Потім на нього кладуть досліджуваний листок рослини і обводять контур. Контур

вирізають і також зважують. Складають пропорцію і знаходять площу за формулою:

$$S = 100 b/a,$$

де: a - маса квадрату; b - маса контуру.

Відбиток листка можливо отримати з допомогою світлочутливого паперу. Листок кладуть на папір, притискають скляною пластинкою і виставляють на світло (3-5 хвилин). Контур листка обводять олівцем і вирізають. З світлочутливого паперу отримують квадрат певної площі, зважують квадрат, 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 метод визначення площі листків, який особливо використовують у польових дослідженнях, при масовому визначенні площі листків. Беруть середню пробу рослинного матеріалу, відрізають листки і визначають їх масу. З листків свердлом певного діаметру вибивають 5-10 (залежно від розміру листкової пластинки) висічок. Всі висічки зважують. Визначають площу листків за формулою:

$$S = ac/b,$$

де: a – загальна маса сирих листків; c – загальна площа висічок; b – загальна маса висічок.

Площа однієї висічки визначається за формулою:

$$S = \pi r^2,$$

де: $\pi = 3,14$; r – радіус свердла.

3) *Метод визначення площі листка за його параметрами*. Метод базується на порівнянні листків з певною геометричною фігурою, при умові коли листок досить 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, який відображає середні відхилення дійсної конфігурації листка від простої геометричної фігури, для

сільськогосподарських культур в абсолютній більшості випадків відповідає 0,65-0,68, або в дробовому вираженні дорівнює $2/3$. При визначенні площі листка пшениці (або іншої культури з подібними листками) визначають площу листків за формулою:

$$S = 0,65ab,$$

де: a – довжина листка; b – ширина листка.

За викладеними методиками визначають площу листової поверхні кімнатної рослини. На основі отриманих даних заповнюють таблицю:

Таблиця 1.1.4

Порівняння різних методів визначення площі листків

1 метод (контроль, метод відбитків)	2 метод	3 метод	Відхилення від контролю, %

На основі отриманих даних роблять висновок про відхилення показників площі листків при використанні різних методів та необхідності врахування цієї обставини під час досліджень.

1.2. Контрольні питання до модуля «Фотосинтез»

1. Планетарна роль зелених рослин. Колообіг CO_2 і O_2 .
2. Особливості будови листка як органу фотосинтезу.
3. Хімічні і 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 фотосистеми I і II.
7. Фіксація CO_2 у C_3 – рослин (цикл Кальвіна).
8. Фотодихання, суть процесу, значення в накопиченні рослиною сухих речовин.
9. Особливості фіксації CO_2 у C_4 – рослин. Цикл Хетча-Слека.
10. Особливості поглинання CO_2 у сукулентів. Фотосинтез за типом товстянкових.
11. Залежність інтенсивності фотосинтезу від зовнішніх факторів середовища.

12. Основні показники, які характеризують фотосинтетичну активність посівів.
13. Взаємозв'язок між накопиченням рослиною сухої речовини і поглинанням CO_2 .
14. Інтенсивність фотосинтезу, значення в формуванні врожаю, методи вивчення.
15. Інтенсивність фотосинтезу і транспортування асимілятів у рослинах. Взаємозв'язок процесів.

1.3. Приклади тестових завдань до модуля «Фотосинтез»

1. Пігментна система хлоропластів вищих рослин представлена:
 - a) хлорофілами і каратиноїдами;
 - a) хлорофілами й антоціанами;
 - b) хлорофілами і фикобілінами;
 - c) тільки хлорофілами.

2. Вкажіть область спектру в якій 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. Продуктами світлової фази фотосинтезу у вищих рослин при нециклічному транспорті електронів є:
 - a) НАДФН і O_2 ;
 - b) НАДФН і АТФ;
 - c) НАДФН, АТФ, O_2 і H_2O ;
 - d) НАДФН, АТФ, O_2 .

4. Первинним акцептором CO_2 у С-3 рослин:
 - a) рибулозо-5-фосфат;
 - b) ксилітозо-5-фосфат;
 - c) рибулозо1,5- дифосфат;
 - d) фосфоенолпіруват.

5. Вкажіть 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 молекули хлорофілу обумовлює здатність пігменту до поглинання квантів світла:

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

7. При циклічному транспортуванні електронів у хлоропластах утворюються продукти:

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

8. Первинним акцептором CO_2 у C -4 рослин є:

- a) рибулозо-5-фосфат;
- b) ксилозо-5-фосфат;
- c) рибулозо1,5- дифосфат;
- d) фосфоенолпіруват.

9. Назвіть структурний компонент хлоропластів де локалізовані пігменти:

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

10. У світловій фазі фотосинтезу не відбувається:

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

11. До C -3 рослин відноситься група:

- a) пшениця, кукурудза, горох;
- b) кукурудза, просо, сорго;

- c) сорго, овес, картопля;
- d) томати, пшениця, горох.

12. Інтенсивність фотодихання залежить переважно від:

- a) концентрації вуглекислого газу;
- b) температури;
- c) інтенсивності світла;
- d) спектрального складу світла.

13. Вміст хлорофілу у вищих рослин (у % на сиру масу) коливається в межах:

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

14. Первинним продуктом карбоксилювання в циклі Кальвіна є:

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

15. Швидкому відтоку продуктів фотосинтезу з клітин мезофілу сприяє достатня концентрація:

- a) K;
- b) P;
- c) Mg;
- d) N.

16. В умовах компенсаційного пункту для рослин характерна:

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

17. У вічнозелених рослин помірного клімату фотосинтез в зимовий період відбувається за умови:

- a) м'якої зими;
- b) суворої зими;

- c) не залежить від температурного режиму;
- d) під час відлиг.

18. Коефіцієнт використання ФАР рослиною залежить від:

- a) розміру листової поверхні;
- b) орієнтування листків;
- c) забезпечення мінеральними речовинами;
- d) все перераховане.

19. Найкращі умови для процесу фотосинтезу створюються переважно при:

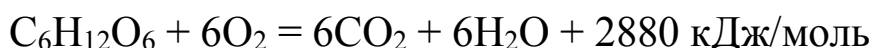
- a) горизонтальній орієнтації листків;
- b) вертикальній орієнтації листків;
- c) не залежить від орієнтації;
- d) все перераховане.

20. Для світлових листків характерні такі ознаки:

- a) добре розвинена стовчаста паренхіма, дрібні клітини, низький вміст хлорофілу;
- b) слабо розвинена стовчаста паренхіма, великі клітини, високий вміст хлорофілу;
- c) добре розвинена стовчаста паренхіма, великі клітини, високий вміст хлорофілу;
- d)) слабо розвинена стовчаста паренхіма, малі клітини, низький вміст хлорофілу.

2. ДИХАННЯ РОСЛИН

Дихання рослин – внутрішньоклітинний ферментативний багатоступінчастий процес окиснення органічних речовин (переважно вуглеводів), що синтезуються при фотосинтезі. Дихання супроводжується утворенням різноманітних високоактивних метаболітів, які 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 і 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 тріози 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 у 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 у відщепленні CO_2 від молекули глюкози і перетворення пентоз в 4 – 7 вуглеводні сполуки, що використовуються для різних синтезів (у тому числі нуклеїнових кислот). Найбільш активно таким шляхом розкладаються вуглеводи в клітинах меристеми. У рослинних клітинах також є структури (гліоксисоми) в яких окиснюються жири шляхом гліоксилатного циклу. Цей процес властивий переважно деяким вищим рослинам, що відкладають у насінні жири як запасуючі сполуки. У ході проростання насіння олійних

культур частина жирів використовується як субстрат дихання для утворення АТФ.

Завершальний етап дихання пов'язаний з транспортом електронів до молекулярного кисню. Це важливий механізм біологічного окиснення, який забезпечує процес окислювального фосфорилування та основний синтез АТФ у рослинних клітинах. Всі процеси розпаду органічних сполук регулюються каталітичною системою дихання, активність системи залежить як від ендогенних так і екзогенних факторів.

2.1. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ДО МОДУЛЯ «ДИХАННЯ РОСЛИН»

Практична робота №6 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, так як 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:

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.

В залежності від білкової частини та специфічності субстрату розрізняють більше ніж 150 ферментів цієї групи. До таких ферментів, наприклад, відносяться алкогольдегідрогеназа,

лактатдегідрогеназа, малатдегідрогеназа, 6-фосфоглюконат-дегідрогеназа.

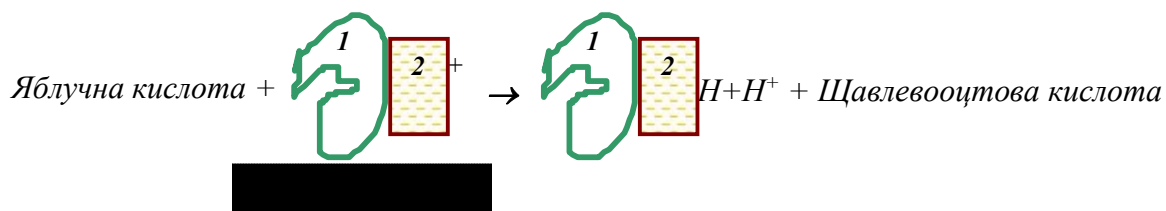


Рис.2.1.1. Схема реакції за участю анаеробної дегідрогенази

Примітка: 1- білкова частина ферменту з активним центром, який відповідає яблучній кислоті; 2- кофермент НАД⁺

Аеробні або флавінові дегідрогенази. Вони каталізують відщеплення двох протонів від субстратів і передають електрони від анаеробних дегідрогеназ різним акцепторам (хінони, цитохроми), в тому числі і кисню. Простетичною групою служать похідні вітаміну В₂ – флавінаденіндинуклеотид і флавінмононуклеотид.

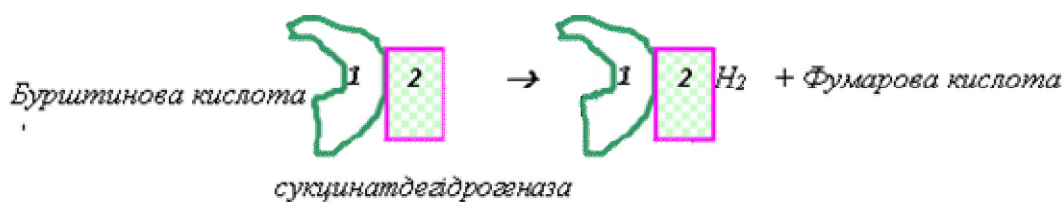
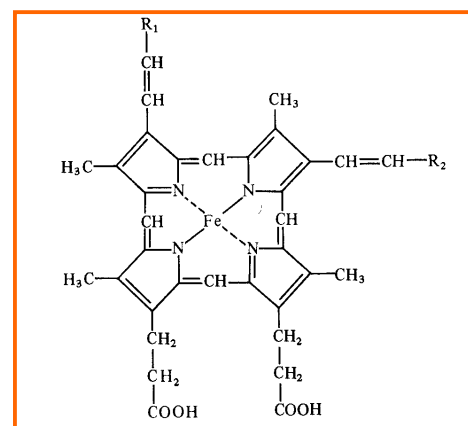


Рис. 2.1.2. Схема реакції за участю аеробної дегідрогенази

Примітка: 1- білкова частина ферменту з активним центром, який відповідає бурштиновій кислоті; 2- простетична група ФАД

Оксидази. Ферменти передають електрони від субстрату тільки на кисень. При цьому утворюється вода (переносяться на O₂ 4 електрони), пероксид гідрогену (H₂O₂) або супероксидний аніон оксигену(O⁻²). H₂O₂ і O⁻² дуже токсичні і 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.

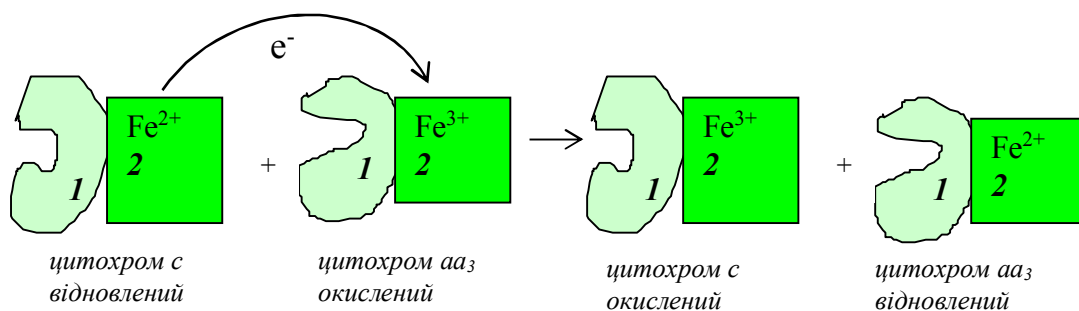


Рис. 2.1.3. Схема реакції перенесення електронів цитохромоксидазами

Примітка: 1- білкова група; 2- ферум-порфіринова група міцно зв'язана з білком через атоми сулфуру амінокислоти цистеїну.

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. *καταλύω* – 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 H_2O_2 низькомолекулярні спирти і нітрити. Відноситься до хромопротейдів, що мають в якості простетичної (небілкової) групи окиснений гем, що містить йон феруму. Специфічність каталази у ставленні до субстрату-відновника невелика, тому вона може каталізувати не лише розкладання H_2O_2 , але й окиснення нижчих спиртів. У клітинах фермент локалізується у 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 двохкомпонентних ферментів, простетична група має у складі ферум, який з'єднується із залишками чотирьох пірольних кілець.

Хід роботи

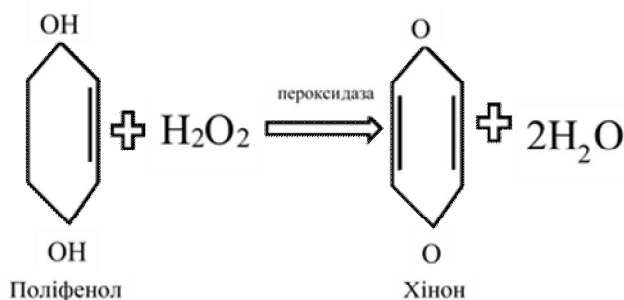
Визначення пероксидази

Натирають на тертушці очищену бульбу картоплі, із одержаної маси віджимають сік і збирають у колбу. У чотири пробірки вносять згідно схеми отриманий сік.

Схема досліджень:

- 1 пробірка вносять: 5 мл 1% розчину гідрохінону, 1 мл 3% розчину пероксиду гідрогену і 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 (1хв) і 1 мл пероксиду гідрогену.

При окисненні гідрохінону в хінон розчин буріє. Відбувається реакція:



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

Таблиця 2.1.1

Інтенсивність забарвлення розчину при різних умовах досліду

Варіант	Склад суміші в пробірці			Інтенсивність забарвлення розчину
	Картопляний сік	Пероксид гідрогену	Гідрохінон	
1	+	+	+	
2	-	+	+	
3	+	-	+	
4	+	+	+	

Практична робота № 7
**Спостереження дії денітрофенолу на процес поглинання
води тканинами бульби картоплі**

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

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

Теоретичне обґрунтування

Ферменти, що утворюються в процесі руйнування субстратів дихання, поступають на внутрішні мембрани мітохондрій, де локалізується електрон-транспортний ланцюг. Дихальний електрон-транспортний ланцюг складається з переносників електронів, які передають електрони від субстратів на кисень. Розташування переносників визначається величиною їх окислювально-відновного потенціалу. Ланцюг починається з НАДН, що має потенціал $-0,32$, 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 у міжмембранний простір. Ферумсульфурні білки, які знаходяться 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.

Транспорт електронів у дихальному електрон-транспортному ланцюгу супроводжується трансмембранним переносом протонів. Виникає різниця потенціалів по обидва боки внутрішньої мембрани мітохондрій, що використовується для синтезу АТФ (окисне фосфорилування).

За рахунок НАДН+Н і НАДФН+Н у процесі руху електронів і протонів до кисню іде синтез 3 мол АТФ, а за рахунок пересування електронів від ФАДН₂ синтезується 2 мол АТФ. Таким чином, енергія, що виділяється при руйнуванні субстратів дихання, на першому етапі використовується на синтез і відновлення коферментів і простетичних груп, а при окисненні цих сполук в електрон-транспортному ланцюзі іде синтез АТФ. Цей процес відбувається за допомогою оксидаз (рис. 2.1.5).

Процес синтезу АТФ можливий лише коли мембрани мітохондрій не пошкодженні. При пошкодженні мембран синтез АТФ не відбувається. Проте процес руху електронів від НАДН+Н і ФАДН₂ здійснюється і кінцеві продукти дихання CO₂ і H₂O утворюються.

Сполуки, що здатні пошкоджувати мембрани і таким чином впливати на процес дихання без синтезу АТФ, називають роз'єднувачами дихання. Наприклад, при дефіциті вологи дихання рослин не супроводжується синтезом АТФ. 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.

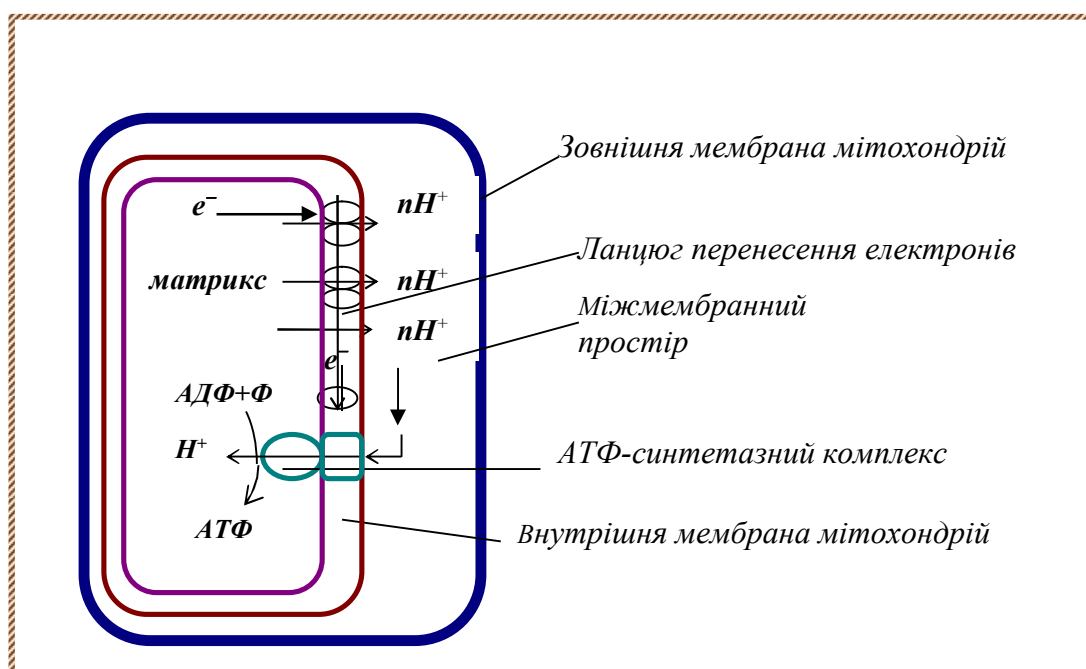


Рис. 2.1.4. Схема синтезу АТФ в електрон-транспортному ланцюзі

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 денітрофенолу (або подібної речовини) викликає уповільнення цього процесу.

Хід роботи

З бульби картоплі нарізають ножом 6 пластинок довжиною і шириною 2-3 см. Розділяють їх на дві групи, кожену групу зважують і поміщають у бюкси. Одну групу пластинок заливають 15 мл звичайної води, а другу – 15 мл насиченого розчину денітрофенолу (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 в таблицю:

Таблиця 2.1.2

Вплив денітрофенолу на зміну маси тканин картоплі

Умови дослідів	Маса пластинок, г		Прибавка в масі, г	
	до дослідів	після дослідів	у грамах	у % від вихідної маси
Вода				
Денітро-фенол				

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.

Практична робота № 8

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, 0,1Н розчин бариту, 0,1Н 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 в якості біопалива. У деяких рослин у процесі дихання температура підвищується на кілька градусів відносно температури навколишнього повітря. Тому необхідно постійно забезпечувати рослини свіжим повітрям, багатим киснем. Особливо це важливо при проростанні насіння, появі сходів, укоріненні живців, під час цвітіння рослин.

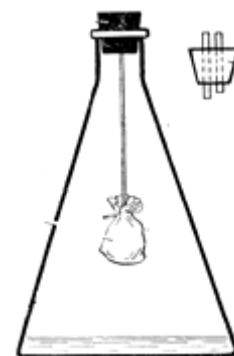
Інтенсивність дихання визначається:

- ✚ 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.

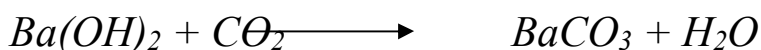
Інтенсивність дихання необхідно визначати в темряві, коли об'єкт дослідження здатний до фотосинтезу. Якщо об'єкт досліджень гетеротрофний організм, інтенсивність дихання не залежить від світла. При проростанні насіння інтенсивність дихання може зростати в сто разів у порівнянні з сухим насінням. Цей факт необхідно враховувати при зберіганні насіння, так як дихання веде 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. В кожну колбу обережно наливають по 10 мл 0,1Н розчину $\text{Ba}(\text{OH})_2$, колби щільно закривають пробками. У контрольну колбу наливають 10 мл бариту, але наважки насіння не поміщають. Усі колби витримують 1 годину при кімнатній температурі.

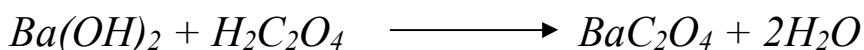


Насіння, що знаходиться у колбі, за рахунок процесу дихання виділяє вуглекислий газ. CO_2 взаємодіє з $\text{Ba}(\text{OH})_2$, і відбувається відповідна хімічна реакція:



Протягом досліду колби злегка струшують, руйнуючи на поверхні плівку з BaCO_3 . Потім мішечки з колб швидко виймають, додають у колби краплю фенолфталеїну, закривають пробками з бюретками і відтитровують залишок бариту 0,1н розчином щавлевої кислоти до зникнення рожевого забарвлення.

Реакція відбувається згідно рівняння:



Інтенсивність дихання визначають за формулою:

$$I = (a - b) K_{2,2} / n t,$$

де:

I – інтенсивність дихання насіння, мг CO_2 г/год;

a – кількість мл 0,1Н розчину щавлевої кислоти, затраченої на титрування в контрольному варіанті;

b – кількість мл 0,1Н розчину щавлевої кислоти, затраченої на титрування в дослідному варіанті;

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

n – наважка насіння;

t – тривалість досліду, год.

Результати досліду записують у таблицю.

Інтенсивність дихання насіння пшениці

Об'єкт	Варі- ант дослід	Маса проби, г	Тривалість дослід, год	Затрачено на титрування H ₂ C ₂ O ₄ , мл	Інтенсивність дихання, мг CO ₂ /г год

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

Практична робота № 9

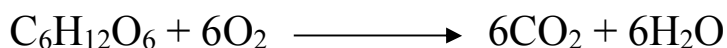
Визначення дихального коефіцієнту пророслого насіння

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

Матеріали і обладнання: проросле насіння пшениці та гороху, 20% розчин NaOH, прилад для визначення дихального коефіцієнту, пінцети, фільтрувальний папір, колби на 250 мл, скляні палички, піпетки, чашки, годинник.

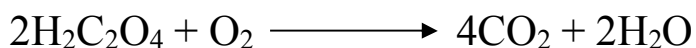
Теоретичне обґрунтування

Дихальним коефіцієнтом (ДК) називається співвідношення обсягів виділеного CO₂ при диханні до обсягу O₂, 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 (CO₂ : O₂ = 1), відповідно ДК дорівнює 1.

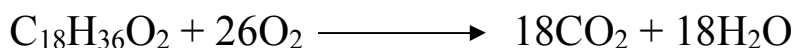
Якщо дихальним матеріалом є речовини більш окиснені, ніж вуглеводи (наприклад, щавлева кислота), то величина дихального коефіцієнту буде більша 1. Рівняння реакції матиме такий вигляд:



Так як співвідношення між вуглекислим газом, що виділяється, і киснем, що поглинається, дорівнює 4, відповідно $ДК = 4$.

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

Наприклад, розкладання стеаринової кислоти здійснюється згідно рівняння:



Співвідношення між вуглекислим газом і киснем складає: $18 CO_2 : 26 O_2$, відповідно $ДК = 0,69$.

Визначення дихальних коефіцієнтів різних тканин рослин показує, що у нормальних умовах він близький до одиниці. Це дає підставу вважати, що в першу чергу як дихальний матеріал рослини використовують вуглеводи.

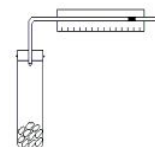
При нестачі вуглеводів можуть бути використані й інші субстрати. Особливо це проявляється на проростках, що розвиваються з насіння, в якому як запасуючі речовини відкладаються жири або білки. У цьому випадку дихальний коефіцієнт стає меншим за одиницю.

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, передує їх розщеплення до амінокислот.

Величина $ДК$ залежить також від постачання клітин киснем. У анаеробних умовах відбувається спиртове бродіння, яке супроводжується виділенням вуглекислого газу, відповідно $ДК$ зростає. На співвідношення між вуглекислим газом і киснем впливає розташування тканини, наприклад, меристеми, які розташовані в бруньках або під кореневим чохлаком, недостатньо забезпечуються киснем. В таких тканинах дихальний коефіцієнт наближається до 2.

Хід роботи

Для визначення дихального коефіцієнту 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 коефіцієнту менша або більша одиниці, то буде спостерігатися переміщення рідини в трубці відповідно 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, відмчають 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 хвилин (А), 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 (В).

Дихальний коефіцієнт обчислюється за формулою:

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

А – величина, яка відображає різницю між обсягами кисню, що поглинається насінням і вуглекислими газом, що виділяється, мм.

В – 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:

Визначення дихального коефіцієнту насіння різних культур

Умови дослідів	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 коефіцієнту від особливостей культури та характеру речовин, що окиснюються під час дихання.

2.2. Контрольні питання до модуля «Дихання рослин»

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 дихання.
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 електрон-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 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.

2.3. Приклади тестових завдань до модуля «Дихання рослин»

1. Гліколіз відбувається:
 - a) на ендоплазматичній сітці;
 - b) у мітохондріях;
 - c) у гіалоплазмі;
 - d) в апараті Гольджі.
2. Цикл Кребса відбувається:
 - a) на ендоплазматичній сітці;
 - b) у мітохондріях;
 - c) у гіалоплазмі;
 - d) в апараті Гольджі.
3. Складовою флавінових дегідрогеназ є:
 - a) тіамін;
 - b) амід нікотинової кислоти;
 - c) піридоксин;
 - d) рибофлавін.
4. Утворення аланіну з пірувату відбувається за реакції:
 - a) гідролізу;
 - b) амінування;
 - c) декарбоксилування;
 - d) окиснювання і відновлення.

5. Для активування молекули глюкози в гліколізі витрачається:
- a) 4 АТФ;
 - b) 5 АТФ;
 - c) 3 АТФ;
 - d) 2 АТФ.
6. В процесі дихання кисень повітря:
- a) руйнує субстрати дихання;
 - b) бере участь в утворенні вуглекислого газу;
 - c) є акцептором електронів і протонів окисненого органічного субстрату;
 - d) входить до складу ферментів.
7. При окисненні НАДН у дихальному ланцюзі утвориться така кількість молекул АТФ:
- a) 4;
 - b) 5;
 - c) 3;
 - d) 2.
8. Різке посилення дихання насіння злаків відбувається при перевищенні показника його вологості:
- a) 8-9%;
 - b) 10-12%;
 - c) 14-15%;
 - d) 17-20%.
9. 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.
10. Цикл Кребса функціонує:
- a) на зовнішній мембрані мітохондрій;
 - b) на внутрішній мембрані мітохондрій;
 - c) у матриксі мітохондрій;
 - d) у міжмембранному просторі.

11. Одним із кінцевих продуктів анаеробної фази дихання є:

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

12. Пентозофосфатний цикл функціонує:

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

13. Каталаза бере участь:

- a) у перенесенні електронів на кисень повітря;
- b) у руйнуванні пероксиду гідрогену;
- c) у розкладанні субстратів дихання;
- d) у циклі Кребса.

14. При повному окисненні однієї молекули $C_6H_{12}O_6$ виділяється:

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

15. Процес окиснення жирів у рослинних клітинах відображає:

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

16. Перенесення електронів в електрон-транспортному ланцюзі забезпечує:

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

17. При окисненні бурштинової кислоти в циклі Кребса утвориться:

- a) фумарова кислота;
- b) яблучна кислота;

- c) пірвиноградна кислота;
- d) щавлевооцтова кислота.

18. Оптимальною температурою дихання для рослин середніх широт є:

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

19. Опишіть вірну послідовність реакцій гліколізу:

- a) окислювання фосфогліцеринового альдегіду;
- b) утворення фосфогліцеринової кислоти;
- c) активування глюкози;
- d) утворення пірвиноградної кислоти.

20. Величина дихального коефіцієнту (ДК) дорівнює 1, якщо субстратом дихання є:

- a) білки;
- b) жири;
- c) вуглеводи;
- d) органічні кислоти.

21. Найбільша інтенсивність дихання характерна для клітин клітини:

- a) механічних тканин;
- b) покривних тканин ;
- c) меристематичних тканин;
- d) основних тканин.

22. Анаеробні процеси у клітинах кореневої системи посилюються за такого показника критичної концентрації O₂:

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

3. 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 в середньому 2 - 4% нітрогену (у білкових речовинах - 15-19%). За кількісним вмістом у тканинах нітроген займає четверте місце і разом з С, О і Н відносяться до органогенних елементів. Тому між засвоєнням 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 у золі. Зольними можуть бути всі хімічні елементи, що зустрічаються в літосфері. Життєво необхідними і незамінними є основні елементи мінерального живлення, які потрібні у великих кількостях (макроеlementи): фосфор, сульфур, калій, кальцій, магній, а також мікроеlementи - ферум, манган, цинк, купрум, молібден, бор і хлор. Крім того, існують елементи, які 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 нормального розвитку потрібно, щоб рослина отримувала поживні речовини, включаючи мікроеlementи, не тільки в достатніх кількостях, але і в належних співвідношеннях.

Елементи мінерального живлення знаходяться у ґрунті в розчиненому і зв'язаному вигляді. У ґрунтовій воді розчинена лише дуже незначна частина (менше 0,2%) всього запасу поживних речовин. Майже 98% біогенних елементів у ґрунті міститься в органічних залишках, гумусі і важкорозчинних неорганічних сполуках або входить до складу мінералів. Цей резерв поживних речовин дуже повільно мобілізується в результаті мінералізації 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 іони H^+ і HCO_3 (продукти дисоціації вуглекислоти, що утворюється під час дихання) корінь сприяє йонному обміну поверхні глинистих і гумусових частинок і отримує йони поживних солей. Рослини активно (завдяки розчинювальній здатності корневих виділень, що включають вугільну кислоту, органічні кислоти і амінокислоти) впливають на тверду фазу ґрунту, переводячи необхідні поживні речовини в доступну форму.

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

3.1. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ДО МОДУЛЯ «МІНЕРАЛЬНЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН»

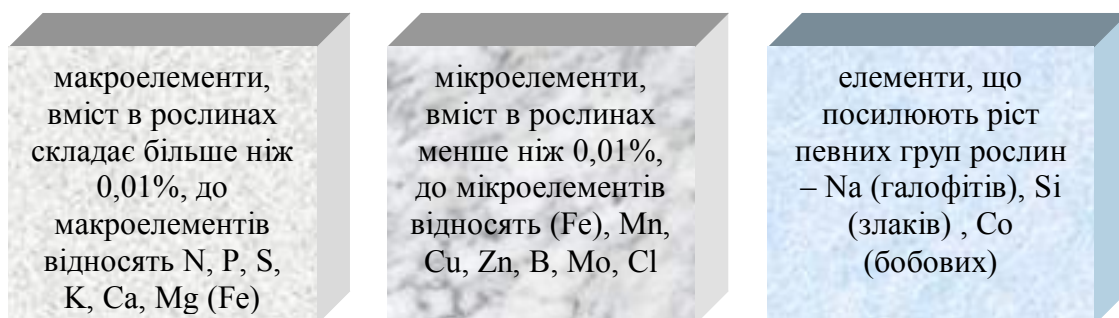
Практична робота №10 Вплив окремих елементів мінерального живлення на життєдіяльність рослин

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: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; KH_2PO_4 ; KCl ; MgSO_4 ; NaCl ; CaSO_4 ; NaH_2PO_4 ; H_3BO_3 ; MnSO_4 ; FeCl_3 , розчин H_2O_2 , слабкий розчин HCl та 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 золі після горіння, відносять до зольних. У залежності від концентрації в тканинах елементи мінерального живлення поділяються на:



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 купрум, цинк, плумбум, кадмій. 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 у таких формах:

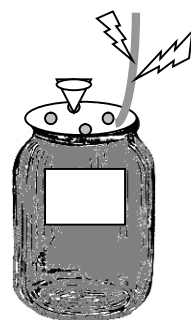
- ✚ неметали у вигляді аніонів: нітрат, сульфат, фосфат, хлорид, борат ;
- ✚ метали у вигляді катіонів: калій, кальцій, магній, ферум (II), ферум (III), купрум (I), купрум (II), цинк, манган (II), кобальт (II);
- ✚ метали у вигляді аніонів: молібдат;
- ✚ неметали у вигляді катіонів: амоній.

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 елементу мінерального живлення рослин можна лише при виключенні цього елементу з живлення рослини. У середині XIX сторіччя Кнопом і Саксом були запропоновані спеціальні методики досліджень, що отримали назву вегетаційного методу. Суть методу полягає в тому, що рослини вирощують у водних (піщаних) умовах, у розчин додають елементи мінерального живлення у вигляді різних солей. При вивченні впливу окремого елементу він виключається із суміші, протягом певного часу спостерігають за процесами розвитку рослини та порівнюють з контрольним варіантом, де присутні 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 3.1.1.

Закладання досліду. Заздалегідь складають схему досліду і після цього готують поживні суміші. Для спостережень за значенням окремого елементу 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 оптимальна рН середовища 6-7. Оптимізацію рН здійснюють шляхом додавання краплі HCl або NaOH.

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

Таблиця 3.1.1

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

Реактив, г/л	Варіант досліду			
	контроль	виключення нітрогену	виключення фосфору	виключення магнію
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2,5	-	2,5	2,5
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-	1,8	-	-
KH_2PO_4	0,6	0,6	-	0,6
K_2SO_4	-	-	0,4	0,4
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,5	0,5	0,5	-
Розчин FeCl_2 , 2%*	5	5	5	5

Примітка: * розчин FeCl_2 додають в мл.

Догляд за водними культурами. Регулярно (1 - 2 рази на тиждень) у банки доливають води та продувають розчин гумовою грушею протягом 3-5 хв. (замість продування можливе використання розчину H_2O_2 у вигляді 3-4 крапель). Раз на тиждень перевіряють рН середовища. Коректують середовище слабким

розчином HCl або NaOH. За дослідями проводять систематичні фенологічні спостереження. Результати спостережень заносять у таблицю, згідно прикладу таблиці 3.1.2.

Таблиця 3.1.2

Результати спостережень за ростом та розвитком рослини в залежності від складу поживного середовища

Варіант дослідів	Висота пагону	Кількість листків	Загальна площа листків	Довжина кореня	Маса пагону
Дата спостережень					
Контроль					
Відсутній N					
Відсутній P					
Відсутній Mg					

Під час спостережень відмічають загальний стан рослини, порівнюють зовнішній вигляд рослин контрольного варіанту з рослинами, які вирощують при нестачі певного елементу мінерального живлення. Відмічають ознаки, які виникають за нестачі елементу в поживній суміші. Дослід триває 4-5 тижнів. На основі отриманих результатів роблять висновок про значення окремих елементів мінерального живлення в життєдіяльності рослин та зовнішні ознаки, які виникають за нестачі певного елементу в поживному середовищі.

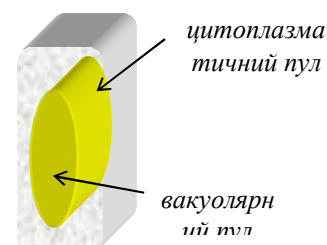
Практична робота №11 Виявлення нітратів у рослинах

Мета: у різних рослинних об'єктах визначити рівень накопичення нітратів з допомогою дифеніламіну.

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

Теоретичне обґрунтування

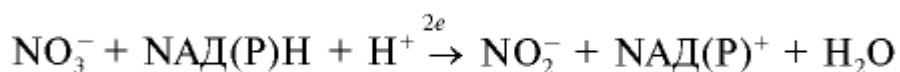
Нітроген складає близько 1,5% сухої маси рослин. Значення цього елементу визначається тим, що він входить до складу важливих органічних речовин, таких, як амінокислоти і



білки, нуклеотиди і нуклеїнові кислоти, фосфоліпіди, алкалоїди, вітаміни, фітогормони (ауксини і цитокиніни). Нітроген міститься в складі порфіринів, що є основою хлорофілу і цитохромів, численних коферментів, в тому числі НАД і НАДФ.

Форми нітрогену у навколишньому середовищі різноманітні: в атмосфері - газоподібний і пари амоніаку, в ґрунті - неорганічні форми нітрогену (нітроген аміаку, амонію, нітратів, нітритів) і органічні (нітроген амінокислот, амідів, білку, гумусу та ін). Основним джерелом нітрогенного живлення для рослин є нітрати та амоніак. Кореневі системи рослин добре засвоюють нітрати, що розподіляються в два компартменти клітини – цитоплазму і вакуолі. У 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. Вакуоль є компартментом, де накопичується надлишок нітратів, що не включаються в метаболізм.

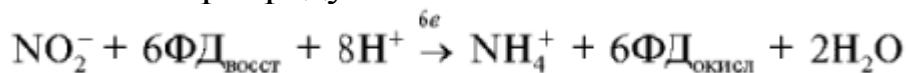
Відновлення нітратів до амоніаку йде через ряд етапів. На першому етапі нітрати відновлюються до нітритів за участю ферменту нітратредуктази:



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 цієї 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, так як 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 у процесі нециклічного фотофосфорилування (НАДН, АТФ). Світло впливає і на рівень активності ферменту нітратредуктази. Доведено, що за умови

низької 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 фередоксин, який утворюється при функціонуванні ФС I. Нітрити утворюються не тільки на проміжній стадії відновлення нітратів. Вони, як і нітрати, можуть надходити у рослину з ґрунту. При цьому нітрити також піддаються відновленню до амоніаку за участю нітритредуктази. При накопиченні у цитоплазмі нітрити мають отруйну дію. Пересування нітритів у хлоропласти стимулюється кальцієм. За нестачі Ca нітрити не відновлюються до амоніаку і накопичуються в клітинах. Встановлено, 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 широко поширену думку про виключно екзогенне походження нітратів у рослинах

При споживанні продуктів з високим вмістом нітратів, NO_3^- попадають в травну систему, відновлюються до NO_2^- і гальмують обмін кисню в клітинах. Добова норма нітратів, яка не викликає негативного впливу, знаходиться в межах 300 мг/добу. Накопичення нітратів залежить від віку, органу рослини. Як правило, зрілі рослини містять невелику кількість нітратів в 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 вивчати питання: як освітлення рослин впливає на вміст нітратів у різних органах

рослин, у яких органах рослин перетворюються нітрати.

Середні результати дослідів оцінюють за трьохбальною системою:

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

Результати записують за схемою, що надається у таблиці 3.1.3.

Таблиця 3.1.3.

Результати досліджень вмісту нітратів в різних рослинах

Об'єкт	Умови вирощування	Вміст нітратів			
		в листку	в стеблі	в корені	в плодах

На основі отриманих результатів роблять висновок про вміст нітратів в органах різних рослин та безпеку споживання рослин.

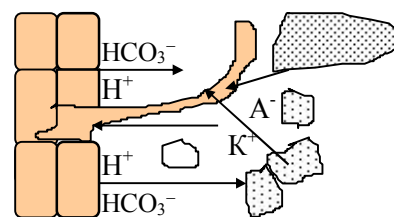
Практична робота №12 Фізіологічно кислі і лужні солі

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 NaNO_3 (0,2 г на 1л води), розчин NH_4Cl (0,2 г на 1л води).

Теоретичне обґрунтування

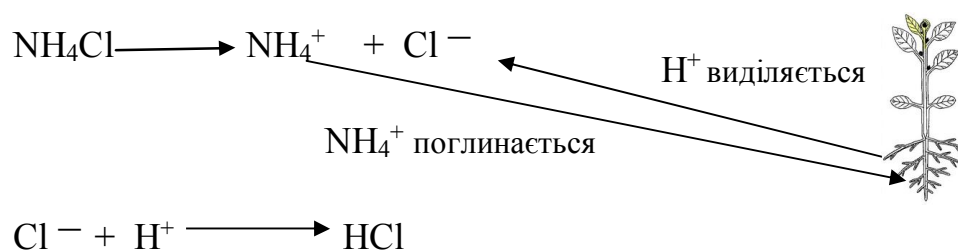
Корені поглинають речовини із ґрунтового розчину (водна фаза) та при контакті з частинками ґрунтового поглинаючого комплексу (тверда фаза ґрунту). Ґрунтово-поглинаючий комплекс – це дрібнодисперсна колоїдна частина ґрунту, суміш мінеральних (алюмосилікатних) і органічних (гумінових) сполук. Більшість колоїдів ґрунту мають негативний заряд, на їх поверхні в адсорбованому (поглиненому) стані знаходяться катіони. Деяка частина колоїдів ґрунту за певних умов може бути заряджена позитивно, тому на них у адсорбованому стані знаходяться аніони. Обмінні катіони й



аніони – одне з найважливіших джерел живлення рослин.

Катіони й аніони, що знаходяться у поглиненому стані на частинках ґрунтового поглинаючого комплексу, можуть обмінюватися на йони, які адсорбовані на поверхні клітин кореня. Так може відбуватися надходження катіонів K^+ , Ca^{2+} , Na^+ в обмін на протони, а також аніонів NO_3^- , PO_4^{3-} та інших в обмін на HCO_3^- або аніони органічних кислот. Особливо ефективно йде поглинання при контактному обміні, коли відбувається обмін йонами без переходу їх у розчин.

Поглинання катіонів та аніонів здійснюється незалежно та з різною швидкістю. За умови, коли з ґрунту або 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. У середовищі здійснюються реакції згідно прикладу:



За умови більш активного поглинання аніонів, за рахунок виділення HCO_3^- середовище набуває лужної реакції. Такі умови створюються при використанні, наприклад, солі $NaNO_3$. Так як аніон NO_3^- є постачальником макроеlementу нітрогену, він значно активніше поглинається рослиною, Na^+ , відповідно, залишається у середовищі і при взаємодії з HCO_3^- утворюється сіль $NaHCO_3$, яка має лужну реакцію.

Якщо катіони та аніони поглинаються з однаковою швидкістю то реакція зовнішнього середовища залишається постійною.

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

Хід роботи

Беруть три фарфорові стаканчики об'ємом 50 мл. В один із них наливають 50 мл розчину $NaNO_3$ (0,2г на 1л води), у другий 50 мл розчину NH_4Cl (0,2 г на 1л води), у третій (контрольний) – 50 мл водопровідної води.

Вплив різних солей на зміну рН розчину

Рослина	Розчин солі	рН		Висновки
		на початку досліджу	через 7 днів	
	NaNO ₃ (NH ₄)Cl H ₂ O			

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

Через тиждень знову визначають рН у кожному стаканчику і одержані результати заносять у таблицю.

На основі отриманих результатів роблять висновок про причини зміни рН у різних варіантах досліджу.

Практична робота №13

Вплив аерації на поглинання поживних речовин кореневою системою рослин

Мета: на прикладі проростків пшениці визначити вплив постачання кисню на процес поглинання та пересування елементів мінерального живлення рослиною.

Матеріали і обладнання: проростки пшениці, конічні колби на 50-100 мл, піпетки, розчин KNO₃ (2г на 100 мл води), фарфорові чашки, ножиці, скляні палички, електроплитка, вата, гумові пробки, гумова груша, фільтрувальний папір, розчин дифеніламіну в концентрованій сульфатній кислоті.

Теоретичне обґрунтування

Поглинання мінеральних речовин коренями рослин є активним фізіологічним процесом. Про це свідчить висока швидкість поглинання, надходження речовин проти градієнта концентрації, залежність діяльності коренів від умов навколишнього середовища та інші факти. Так як поглинання мінеральних елементів є активним процесом, він відбувається з витратою енергії, джерелом якої в живих організмах є процес дихання. Умови, що гальмують

дихання, негативно впливають на поглинальну діяльність коренів.

Залежність надходження солей від інтенсивності дихання є встановленим фактом. При заміні кисню азотом не тільки припиняється надходження, але й спостерігається виділення поживних йонів із кореня. Інгібітори процесу дихання різко гальмують надходження солей.

Процес дихання може впливати на надходження солей у декількох напрямках. Так, у процесі дихання виділяється CO_2 , у водному середовищі він створює йони H^+ і HCO_3^- . Адсорбуючись на поверхні кореня, ці йони є обмінним фондом для катіонів та аніонів, що поглинаються рослиною.

У процесі перенесення йонів через мембрану беруть участь специфічні білки-переносники, синтез яких залежить від інтенсивності дихального процесу.

Нарешті, енергія, що виділяється в процесі дихання, безпосередньо використовується для надходження солей (активне надходження). У зв'язку з цим особливо важливо враховувати, що речовини, які порушують накопичення енергії дихання в макроергічних фосфорних зв'язках (наприклад, динітрофенол), також гальмують надходження солей.

Хід роботи

У три конічні колби на 50-100 мл наливають розчин KNO_3 . Одну з них ставлять на електроплитку, розчин доводять до кипіння, щоб видалити з нього повітря. Коли розчин охолоне, в нього висаджують 2-3 проростки пшениці, вмонтованих за допомогою вати у виріз гумової пробки. Вату навколо пробки змащують вазеліном. Таким чином, у першій колбі створюються анаеробні умови для коріння рослин. У другу колбу також висаджують проростки пшениці, закріплюють їх у шийці колби за допомогою вати, а розчин протягом досліду продувають за допомогою гумової груші, що забезпечує хорошу аерацію в зоні коренів. У третю колбу висаджують проростки пшениці, протягом досліду колба залишається без змін.

Через 2 год дослід закінчують. Листки рослин усіх варіантів зрізають (стежать, щоб вони не були змочені розчином нітрату калію), поміщають у фарфорові чашки і злегка розтирають скляною паличкою, після чого обробляють розчином дифеніламіну в концентрованій сульфатній кислоті. Дифеніламін з нітратами утворює сполуку синього кольору. Результати заносять у таблицю.

Вплив аерації на показник вмісту нітратів у проростках пшениці

Об'єкт	Умови вирощування	Інтенсивність забарвлення
Проростки пшениці	Розчин після кип'ятіння	
Проростки пшениці	Розчин продувається	
Проростки пшениці	Розчин залишається незмінним	

За інтенсивністю синього забарвлення роблять висновок про кількість поглинених рослинами нітратів в умовах різної аерації, а отже, про залежність поглинальної діяльності коренів від інтенсивності дихання.

Практична робота №14

Ріст рослин на розчинах чистих солей і на їх суміші
(антагонізм йонів)

Мета: на прикладі проростків пшениці прослідкувати за явищем антагонізму аніонів.

Матеріали і обладнання: проростки пшениці, фарфорові чашки, розчин KCl (9 г на 1 л води), розчин CaCl₂ (6,7 г на 1 л води), фільтрувальний папір, піпетки, пінцет, лінійка.

Теоретичне обґрунтування

Антагонізмом називається така взаємодія речовин у розчині, коли дія одного з них послаблює дію іншого. При вирощуванні рослин у водній культурі було відмічено, що чисті розчини солей – отрута для рослин, тому що сильно пригнічують їх ріст або призводять до їх загибелі. Присутність іншої солі в розчині послаблює цю дію, тобто спостерігається явище антагонізму. Тому в поживному розчині повинне бути певне співвідношення солей. Такий розчин називається фізіологічно врівноваженим. До природних врівноважених розчинів відносять, наприклад, морську воду, плазму крові.

Найбільш вивчена взаємодія одновалентних і двовалентних катіонів. У ряді випадків спостерігається антагонізм і при взаємодії

аніонів. Двовалентні катіони мають більш сильну антагоністичну дією, ніж одновалентні. При вирощуванні проростків пшениці на чистому розчині KCl або CaCl₂ на коренях з'являлися здуття, а потім корені відмирили, у змішаних сольових розчинах, що містили два різних катіони, отруйна дія не спостерігалася. Антагонізм йонів проявляється як між різними йонами однієї валентності (наприклад, Na⁺ і K⁺), так і між йонами різної валентності (K⁺ і Ca²⁺). При цьому в останньому випадку антагоністичний вплив прослідковується більш різко. Так, для того щоб усунути отруйний вплив чистої солі KCl, слід додати NaCl 30%, а CaCl₂ всього 5%.

Антагонізм – це лише один із проявів взаємного впливу йонів. У цілому ряді випадків додавання одного йона пригнічує надходження іншого. Так, гальмування надходження феруму пов'язане з надлишком у середовищі йонів Mn²⁺. Конкурентні відносини в процесі надходження виявлені і для ряду інших катіонів та аніонів. Бор підсилює надходження катіонів і знижує надходження аніонів. Разом з тим є спостереження, коли дія одного йону посилює вплив іншого. Це явище отримало назву синергізму. Так, під впливом фосфору посилюється позитивний вплив молібдену. Одна з причин цього явища – їх вплив на колоїдно-хімічні властивості цитоплазми, зокрема на гідратацію білків, що входять до її складу. Відомо, що двовалентні катіони (Ca²⁺ і Mg²⁺) дегідратують колоїди сильніше, ніж одновалентні (Na⁺ і K⁺).

Разом з тим вважають, що антагонізм йонів пояснюється їх конкуренцією за активні центри ферментів. Так, активність деяких ферментів дихання інгібується Na⁺ і це знімається додаванням K⁺. Зміни інтенсивності надходження одного йона під впливом іншого можуть бути пов'язані з конкуренцією за місця зв'язування їх із переносниками через плазмалему у внутрішній простір клітини. Несприятливий вплив підвищеної концентрації одного катіону може виявлятися і в природних умовах (у ґрунті) і це слід враховувати при внесенні добрив. Таким чином, для нормального росту рослин необхідно певне поєднання солей одно- і двовалентних катіонів.

Хід роботи

У фарфорові чашки відбирають 30 однакових пророслих насінин пшениці. Ретельно промивають насіння дистильованою водою (3-4 рази). Готують три чашки Петрі: промивають

дистилятом, на дно кладуть фільтр який точно відповідає діаметру чашки. У кожну чашку Петрі пінцетом розкладають по 10 насінин пшениці.



Закладають дослід за схемою:

- 1 чашка - додають 15 мл розчину KCl
- 2 чашка - додають 15 мл розчину CaCl₂
- 3 чашки - додають 13 мл розчину KCl і 2 мл розчину CaCl₂

Чашки закривають кришками і залишають при кімнатній температурі на тиждень. Через кожні 2 дні відкривають кришки і провітрюють чашки кілька секунд. Через тиждень вимірюють довжину надземної частини і корінців. Визначають середні показники в кожному варіанті. Отримані результати заносять у таблицю.

Таблиця 3.1.6

Біометричні показники проростків пшениці

Варіант дослід	Середня довжина, мм	
	Надземна частина	Корінці
Розчин KCl		
Розчин CaCl ₂		
Розчин KCl + CaCl ₂		

На основі отриманих результатів дослідів роблять висновок про вплив солей калію та кальцію та їх суміші на ріст проростків пшениці. Відмічають, які органи рослини мають більшу чутливість до складу поживного розчину.

3.2. Контрольні питання до модуля «Мінеральне живлення рослин»

1. Макро і мікроелементи, їх фізіологічна роль.
2. Механізм поглинання елементів мінерального живлення рослинною клітиною.
3. Механізм активного транспорту речовин через мембрани.
4. Особливості кореневої системи як органа поглинання води і мінеральних речовин.

5. Поглинання і засвоєння мінеральних речовин кореневою системою рослин. Ґрунт як джерело поживних речовин для рослинного організму.
6. Поглинання і перетворення азотистих речовин у рослинах. Роль амідів.
7. Механізми транспорту речовин у рослинах. Потік по рослині поживних речовин.
8. Кругообіг елементів мінерального живлення (реутилізація).
9. Зовнішні ознаки недостатньої кількості елементів мінерального живлення рослин.
10. Вплив факторів середовища на поглинання та перетворення елементів мінерального живлення.

3.3. Приклади тестових завдань до модуля «Мінеральне живлення рослин»

1. До макроелементів відносяться наступні угруповання:
 - a) нітроген, фосфор, калій, манган, хлор;
 - b) нітроген, фосфор, сульфур, калій, магній, кальцій;
 - c) сульфур, калій, магній, кальцій, манган, хлор;
 - d) карбон, оксиген, калій, гідроген, цинк.
2. При високій концентрації іонів у середовищі основним механізмом поглинання є:
 - a) активний транспорт;
 - b) адсорбція;
 - c) піноцитоз;
 - d) дифузія.
3. Основним бар'єром у радіальному транспортуванні йонів у корені є:
 - a) епідерма;
 - b) ендодерма;
 - c) перицикл;
 - d) кора.
4. Визначите вірну послідовність радіального транспорту іонів
 - a) ендодерма;
 - b) епіблема;

- c) судини ксилеми;
- d) первинна кора.

5. Єдину систему протопластів клітин називають:

- a) ендодерма;
- b) епіблема;
- c) симпласт;
- d) апопласт;

6. Висхідний потік поживних речовин у рослині здійснюється переважно по:

- a) ксилемі;
- b) флоемі;
- c) клітинах супутниках;
- d) корневих волосках.

7. Йони проникають через мембрану клітин за рахунок механізмів:

- a) простої дифузії;
- b) полегшеної дифузії;
- c) роботи протонної помпи;
- d) усе перераховане вірно.

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

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

9. У кореневій системі рослин елементами мінерального живлення включаються у процеси:

- a) пересування до судин ксилеми по апопласту;
- b) пересування до судин ксилеми по симпласту;
- c) включення в органічні речовини;
- d) усе перераховане вірно.

10. Основною формою поглинання нітрогену рослинами головним чином є:

- a) амінокислоти;
- b) білки;

- c) сечовина;
- d) нітрати та йон амонію.

11. Сіль NaNO_3 для рослин є:

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

12. Сіль KNO_3 для рослин є:

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

13. Оптимальним для коренів культурних рослин є ґрунтовий розчин з осмотичним потенціалом:

- a) 1 – 2 бар;
- b) 3 – 4 бар;
- c) 4 – 5 бар;
- d) 5 – 6 бар.

14. Процес виділення води через листки у краплинорідинному стані називається:

- a) транспірація;
- b) гутація;
- c) конденсація;
- d) випаровування.

15. Визначите вірну послідовність включення нітрогену в органічні сполуки:

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

16. Пожовтіння і відмирання нижніх листків у рослин спостерігається за умови низького вмісту в ґрунті:

- a) N;
- b) K;

- c) Na;
- d) Ca.

17. Однією з умов, за якої відбувається відновлення нітратів у рослинах, є джерело мікроелементу:

- a) Cu;
- b) Zn;
- c) Mo;
- d) B.

18. Повторне використання елементів мінерального живлення рослиною називається:

- a) репродукція;
- b) реотропізм;
- c) реутилізація;
- d) утилізація.

19. Який з елементів мінерального живлення бере участь в утворенні рибосом:

- a) Fe;
- b) K;
- c) Ca;
- d) Mg.

20. Ослизнення коренів рослин може спостерігатися за умови нестачі:

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

21. Крайовий опік листків спостерігається за умови нестачі:

- a) Mn
- b) N
- c) Fe
- d) K

22. Явище, коли один йон підвищує поглинання і позитивну дію іншого йону в процесі мінерального живлення, називають:

- a) антагонізмом йонів;

- b) синергізмом йонів;
- c) адитивністю йонів;
- d) активністю йонів.

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

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

24. До гідропонних методів вирощування рослин відноситься:

- a) водна культура;
- b) субстратна культура;
- c) аеропонна культура;
- d) усе перераховане вірно.

4. РІСТ ТА РОЗВИТОК РОСЛИН

Ріст і розвиток – невід'ємні властивості будь-якого живого організму. 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, так як 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 служить перехід рослин до репродукції. Для квіткових рослин це закладка квіткових бруньок, цвітіння. Критерії темпів росту зазвичай визначають швидкістю наростання маси, об'єму, розмірів рослини.

Всі 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 й 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.

На процеси росту та розвитку рослин впливають багаточисельні 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 отримання високого врожаю.

4.1. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ДО МОДУЛЯ «РІСТ ТА РОЗВИТОК РОСЛИН»

Практична робота №15

Виявлення амілази в насінні, що проростає

Мета: на прикладі проростків пшениці чи ячменю виявити роль окремих ферментів у процесі росту та розвитку рослин.

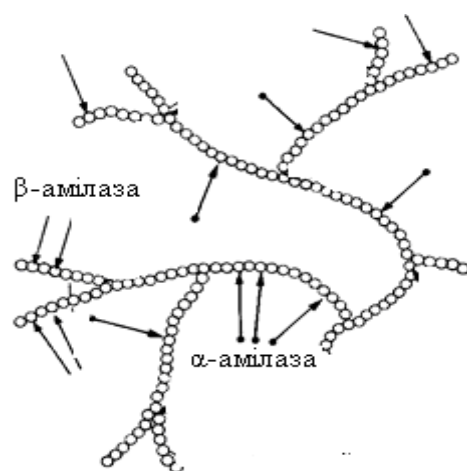
Матеріали і обладнання: сухе і проросле насіння пшениці чи ячменю, чашка Петрі з крохмальним агаром, ланцети, пінцети, розчин йоду в йодистому калії, склянка з водою.

Теоретичне обґрунтування

Важливим етапом індивідуального розвитку (онтогенезу насіннєвих рослин) є проростання насіння. Проростання насіння включає набухання за рахунок поглинання великої кількості води, прокльовування кінчика зародкового корінця, мобілізацію запасних речовин і гетеротрофний ріст проростка.

У сухому насінні ферменти знаходяться переважно у зв'язаному (неактивному) стані. У процесі набухання насіння активність гідролаз, необхідних для перетворення нерозчинних запасних речовин у розчинні, різко зростає. Досягається це як переходом ферментів у активний стан, так і їх новоутворенням. Ферменти можуть діяти не тільки в тій клітині, яка їх синтезує, а й поза нею, переміщуючись в інші клітини або в зовнішнє середовище.

У рослинах зустрічаються дві амілази α -амілаза, що викликає розпад молекули крохмалю на великі ланцюжки (декстрини), і β -амілаза, що відщеплює від крохмалю кінцеві залишки мальтози. У сухому насінні пшениці, жита, ячменю міститься тільки β -амілаза, причому майже вся вона пов'язана з білками. При проростанні β -амілаза переходить із зв'язаного стану у вільний. Крім того, відбувається синтез α -амілази.



Хід роботи.

Розрізають кілька непророслих зерен навпіл, злегка змочують водою і розкладають пінцетом на одній половині пластинки з крохмального агару зрізом вниз, не вдавляючи насіння. На іншу половину агарної пластинки поміщають кілька пророслих насінин тієї ж рослини, також розрізаних навпіл і змочених водою (бажано залишити на деяких пророслих насінинах корінці і прикласти їх до поверхні крохмального агару). Закривають кришкою, щоб не було підсихання. Через годину обережно знімають насіння і обливають всю пластинку слабким розчином йоду. Відзначають забарвлення пластинки.

Зарисовують насіння, роблять висновок про особливості забарвлення в різних варіантах досліду.

Практична робота №16

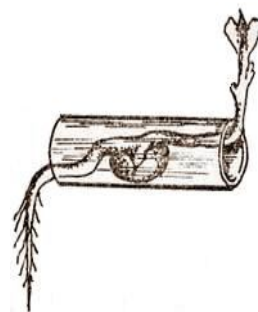
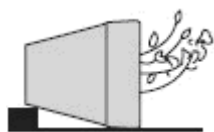
Спостереження явища геотропізму у рослин

Мета: на прикладі пророслого насіння льону, гірчиці, соняшнику чи гороху провести спостереження за явищем геотропізму.

Матеріали і обладнання: наклюнене насіння гірчиці або льону, скляна банка або прямокутна кювета, яка закрита шматком скла, квадратна скляна пластинка за розміром менша ніж банка, фільтрувальний папір, ножиці, пінцет, лезо бритви.

Теоретичне обґрунтування.

Геотропізм — вид тропізму, здатність рослин та грибів регулювати ріст або розвиток у відповідь на гравітацію. Чарльз Дарвін першим із європейців задокументував, що коріння проявляє «позитивний геотропізм», тобто росте у напрямку сили тяжіння, а стебла проявляють «негативний геотропізм», тобто ростуть у протилежному напрямку (вгору). Ця поведінка може бути легко продемонстрована із кімнатними рослинами. Якщо горщик із рослиною повернути набік, стебла, що ростуть, починають згинатися і рости вгору, а коріння — вниз. Трав'янисті стебла здатні до невеликого ступеню вигину, тоді як дерев'янисті стебла та корені проявляють



значно більший ступінь геотропізму. При позитивному геотропізмі кінчик головного кореня направлений чітко вниз у напрямку до центру Землі, що пов'язано не тільки з діяльністю гормонів, але й з особливими крохмальними зернами в кореновому чохлаку, що виконують роль статолітів. Негативний геотропізм зазвичай характерний для головного стебла.

Геотропізм – процес згинання ростучих частин рослини під впливом одnobічної дії сили земного тяжіння. Для отримання геотропічних вигинів коренів чи стебла у росли, що до цього росли строго вертикально, потрібно розмістити їх горизонтально і створити сприятливі умови для росту.

Хід роботи.

Обгортають квадратну скляну пластинку фільтрувальним папером, змочують папір водою і розкладають у верхній частині пластинки ледь проросле насіння льону або гірчиці на відстані близько 1 см одне від іншого корінцями (гострими носиками) вниз. Насіння завдяки оболонкам, які мають злізти, прилипає до паперу.

Поміщають пластинку з невеликим нахилом у посудину, на дно якої наливають трохи води. Закривають посудину склом і ставлять у темне місце.

Через кілька днів, коли корінці виростуть до 2-3 см, виймають пластинку, повертають її на 90° і знову ставляють у посудину так, щоб корінці знаходилися в горизонтальному положенні. Для виявлення ролі зони поділу в явищі геотропізму у частини проростків зрізають гострим лезом кінчики коренів (1-2 мм). Закривають посудину і знову поміщають її в темряву.

Більш проста постановка досліду полягає в тому, що 3-5-денні проростки соняшнику або гороху, вирощені в склянці з вологою тирсою, поміщають у горизонтальне положення (кладуть склянку на бік у кювету). Перед цим на стебло наносять позначки тушшю на рівних відстанях на тій стороні, яка буде знизу. Через добу проростки, розглядають і зарисовують.

У висновках відзначають місце сприйняття дії земного тяжіння, зону геотропічних вигинів і механізм геотропізму коренів і стебел.

Практична робота № 17

Визначення захисної дії цукрів на цитоплазму клітини при низьких температурах

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

Матеріали і обладнання: ланцети, термометр, пробірки, піпетки, фільтрувальний папір, лід, кухонна сіль, 1М 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, але й впливом конкретних умов навколишнього середовища. Основна згубна дія морозу на рослинний організм пов'язана з утворенням кришталіків льоду як у середині клітини так і в міжклітинниках. При швидкому зниженні температури лід утворюється в середині клітини. У цьому випадку руйнується цитоплазма і клітина гине. При поступовому зниженні температури кришталіки 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 кришталіків 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 довжиною 1,5-2 см, шириною і товщиною 0,5-0,7 см, ретельно миють їх водою і кладуть по одному в кожну з трьох пробірок. У першу пробірку наливають 5 мл дистильованої води, в другу – 5мл

0,5М розчину сахарози, в третю – 5мл 1М розчину сахарози. Пробірки підписують і ставлять в охолоджуючу суміш, яку готують змішуванням трьох частин льоду й однієї частини кухонної солі.

Суміш добре перемішують шпателем (температура суміші повинна бути близько -20°C). Після цього усі пробірки занурюють в охолоджуючу суміш і витримують 20хв.

По закінченню експозиції пробірки виймають і поміщають у скляні банки для поступового розморожування. Після цього вміст пробірок обережно перемішують і відмічають забарвлення рідини в них. Результати досліду записують за схемою (табл. 4.1.1).

Таблиця 4.1.1

Вплив цукрів на вихід речовин з клітин буряку

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

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

Практична робота № 18

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, 1М розчин сахарози, 0,02% розчин нейтрального червоного, хімічні склянки, пробірки, колби, електроплита, термометр, леза, 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. В основному це мезофітні наземні та водні рослини, що витримують температуру до $+40^{\circ}\text{C}$;
- ✚ жаровитривалі – рослини сухих, сонячних місць існування, вони іноді можуть витримувати короткочасне нагрівання до $+60^{\circ}\text{C}$;
- ✚ жаростійкі – головним чином нижчі рослини, наприклад термофільні бактерії.

Однак, навіть близькоспоріднені види нерідко дуже різні до цієї властивості. Жаростійкість досить широко корелює з фазою розвитку рослини, наприклад молоді, активно ростучі тканини менш стійкі, ніж старі та тканини, що знаходяться 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 перегріву належать такі: тонка листкова пластинка, що характеризується високою транспірацією; вертикальна орієнтація листків, коли промені не можуть падати на них перпендикулярно; білувате забарвлення поверхні, що екранує інсоляцію; опушення або лусочки, що захищають від перегріву тканини, які розташовані глибше; тонкі шари коркової тканини, що оберігають флоему і камбій; високий вміст вуглеводів і малий вміст води в цитоплазмі; ізолюваність тканини (наприклад камбію) шаром іншої тканини і т. д.

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

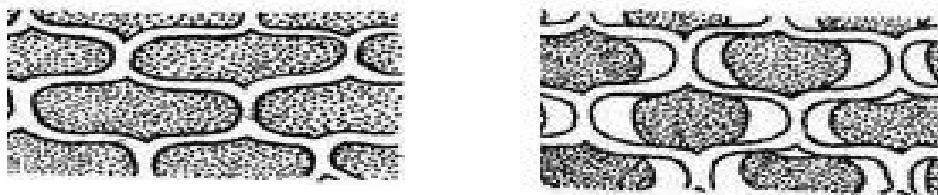
Хід роботи

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

У великій колбі нагрівають воду до $70-75^{\circ}\text{C}$. Змішуючи гарячу воду з холодною готують у хімічних стаканах водяні бані з

температурою 48, 50, 52, 54, 56, 58°C. Одночасно занурюють у водяні бані пробірки із зрізами. Підтримують встановлену температуру шляхом підливання гарячої води.

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



а

б

Рис. 4.1.1. Стан клітин при відсутності (а) та наявності плазмолізу (б)

Визначають наявність плазмолізу в клітинах зрізів (рис. 4.1.1). Результати заносять у таблицю 4.1.2, позначають знаком «+» наявність плазмолізу у більшості клітин, знаком «—» відсутність плазмолізу.

Таблиця 4.1.2

Результати спостереження плазмолізу в клітинах листків

Варіант дослідів	Плазмоліз при температурі, °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.

4.2. Контрольні питання до модуля «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 регулюючі фактори росту і розвитку 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.

4.3. Приклади тестових завдань до модуля «Ріст та розвиток рослин»

1. За хімічною природою ауксини відносяться до:
 - a) терпеноїдів;
 - b) вуглеводів;
 - c) похідних гіберелової кислоти;
 - d) похідних індолацетової кислоти;
2. Спектром дії ауксину і його похідних є:
 - a) посилення синтезу пектину;

- b) зниження в'язкості цитоплазми;
- c) розм'якшення клітинних оболонок;
- d) усе перераховане.

3. Дія абсцизинів у організмі рослин виявляється у:

- a) затримці росту;
- b) переході до стану спокою;
- c) опаданні листків і плодів;
- d) усе перераховане;

4. Основним біологічним ефектом етилену є:

- a) перехід рослин до стану спокою;
- b) затримка клітинних поділів;
- c) затримує дозрівання плодів;
- d) усе перераховане.

5. Підсушування надземної частини рослин спостерігається при обробці їх:

- a) гербіцидами;
- b) ретандартами;
- c) десикантами;
- d) дефоліантами.

6. Розташуйте у правильному порядку етапи онтогенезу рослин:

- a) старості;
- b) ювенільний;
- c) зрілості;
- d) ембріональний.

7. Уповільнюють процеси старіння рослин фактори:

- a) підвищення температури;
- b) штучне видалення квіток і плодів;
- c) недостатнє мінеральне живлення;
- d) накопичення абсцизової кислоти в клітинах

8. Фотоперіодизм – це реакція рослин:

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

9. Знижують врожай, але підвищують білковість зерна хлібних злаків:

- a) висока температура в сполученні з низькою вологістю повітря;
- b) низька температура в сполученні з високою вологістю;
- c) низька температура в період наливу зерна;
- d) висока вологість повітря в період наливу зерна.

10. До рослин короткоденного фотоперіоду відносяться:

- a) соя, сорго, бавовник, кукурудза;
- b) овес, кріп, люцерна, редька;
- c) боби, томати, картопля, соняшник;
- d) соя, редька, картопля, огірки.

11. Процес стратифікації насіння проводять з метою:

- a) утримання насіння в стані спокою;
- b) стимуляції насіння до проростання;
- c) гальмування процесів дихання насіння
- d) усе перераховане.

12. Пробудження сплячих бруньок активується в результаті видалення:

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

13. Яровизація рослин відбувається під дією:

- a) низьких негативних температур;
- b) низьких позитивних температур;
- c) проморожування;
- d) високих позитивних температур.

14. Вкажіть фактор, що не сприяє поляганню рослин:

- a) надлишок N;
- b) загущення посівів;
- c) недостаток H₂O;
- d) надлишок H₂O.

15. Відсутність сприятливих умов викликає у бруньок і насіння:

- a) глибокий спокій;

- b) вимушений 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 одnobічну дію фактора середовища;
- b) на зміну хімічного складу ґрунтового розчину;
- c) на зміну концентрації O_2 ;
- d) на дифузійну дію фактора.

18.Стрес-білки синтезуються в рослинах:

- a) у відповідь на дію високих температур;
- b) у відповідь на засолення ґрунтів;
- c) у відповідь на нестачу води;
- d) у відповідь на зміну різних факторів.

19.Гормон, що відіграє вирішальну роль в явищі фототропізму:

- a) ауксин;
- b) гіберелін;
- c) етилен;
- d) абсцизова кислота.

20. Формування кривобоких плодів може виникати:

- a) при розвитку в ньому повноцінного насіння;
- b) при загибелі частини насіння;
- c) при загибелі всього насіння;
- d) усе перераховане вірно.

21.Основною причиною загибелі рослин від морозу є:

- a) передавлювання протопласту клітини;
- b) утворення льоду в міжклітинниках;
- c) зневоднення цитоплазми;
- d) усе перераховане вірно.

22. При проростанні насіння олійних культур запасні жири використовуються:

- a) на синтез білків;
- b) перетворюються у вуглеводи;
- c) перетворюються у органічні кислоти;
- d) безпосередньо окиснюються у процесі дихання.

23. Холодостійкістю рослин 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 перераховане вірно.

24. Галофіти – це рослини, що здатні рости на:

- a) кислих ґрунтах;
- b) засолених ґрунтах;
- c) перезволожених ґрунтах;
- d) переущільнених ґрунтах.

ПЕРЕЛІК НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобошко О. П., Антоненко С. В. Методичні рекомендації та лабораторний практикум “Фізіологія рослин”. Київ, 2019. 57 с.
2. Власенко М. Ю. Фізіологія рослин з основами біотехнології : підручник. Біла Церква : БДАУ, 2006. 504 с.
3. Грин Н., Статут У., Тейлор Д. Биология : у 3 т. / под ред. Р. Сопера. Москва : Мир, 2006. Т. 2. 436 с.
4. Грин Н., Статут У., Тейлор Д. Биология : у 3 т. / под ред. Р. Сопера. Москва : Мир, 2006. Т.2. 451 с.
5. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів : підручник. Київ : ЗАТ “НІЧЛАВА”, 2003. 320 с.
6. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник для студ. вищ. навч. закл. Суми : ВТД “Університетська книга”, 2004. 464 с.
7. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник для студ. вищ. навч. закл. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 392 с.
8. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин. Київ : Либідь, 2005. 808 с.
9. Павлишак Я. Я., Стецик Р. Д. Фізіологія рослин : методичні вказівки до лабораторних робіт. Дрогобич, 2010. 89 с.
10. Петренко С.Д., Петренко О. В. Фізіологія рослин з основами мікробіології. Київ : Аграрна освіта, 2009. 301 с.
11. Скляр В. Г. Екологічна фізіологія рослин : підручник / за ред. Ю. А. Злобіна. Суми : Університетська книга, 2015. 271 с.
12. Фізіологія рослин : практикум / О. В. Войцехівська та ін. Луцьк : Терен, 2010. 420 с.
13. Фізіологія рослин : підручник / Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. И., Мельников М. М. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с.

Навчальне видання

Фізіологія рослин

Методичні рекомендації

Укладачі: **Федорчук** Михайло Іванович
Самойленко Микола Олександрович
Рожок Ольга Федосіївна

Формат 60×84 1/16 Ум. друк. арк. 2,9
Тираж 50. Зам. №__

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

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