

ЛАБОРАТОРНИЙ ЗОШИТ
З ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ
«ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН З ОСНОВАМИ БІОХІМІЇ»

для підготовки здобувачів
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Галузь знань	Н Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина
Спеціальність	Н1 Агрономія
Предметна спеціальність	-
Спеціалізація	-
Освітня програма	«Тепличне господарство»
Факультет	Природничий

Укладачі: кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Людмила Перепелиця;
старший викладач кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Ніна Корево.

Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття

Протокол від «17» листопада 2025 р. № 10

Завідувач кафедри _____ Людмила КОНСТАНТИНЕНКО

Житомир 2025

УДК 581.1:577(076)

*Рекомендовано до друку вченою радою Житомирського державного університету імені Івана Франка
(протокол № 22 від 28.11.2025 року)*

Рецензенти:

Житова Олена – доктор біологічних наук, професор кафедри екології Поліського національного університету

Кратюк Олександр – доктор біологічних наук, професор кафедри лісового та садово-паркового господарства Поліського національного університету

Астахова Лариса – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка

Лабораторний зошит з освітньої компоненти «Фізіологія рослин з основами біохімії» / Уклад.: Перепелиця Л. О., Корево Н.І. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2025. 81 с.

Лабораторний зошит з курсу «Фізіологія рослин з основами біохімії» розроблений як нормативно-методичний документ, що забезпечує узгодження між цілями навчання, змістом, методами викладання й оцінювання, а також гарантує відтворюваність і якість навчальних експериментів. Оформлення уніфікованого зошита формує у здобувачів освіти спеціальності Н1 Агрономія навички планування дослідів, контролю над змінними (освітлення, температура, вологість, рН, живлення), фіксації первинних даних, проведення статистичного аналізу, інтерпретації результатів та суворого дотримання техніки безпеки. Цей зошит виступає інструментом, що розвиває доказове мислення, і одночасно слугує джерелом первинних даних для об'єктивного оцінювання.

УДК 581.1:577(076)

© Перепелиця Л.О., уклад., 2025
© Корево Н.І., уклад., 2025
© Житомирський державний
університет імені Івана Франка,
уклад., 2025

Вступ

Лабораторний зошит з освітньої компоненти «Фізіологія рослин з основами біохімії» для здобувачів спеціальності 201 «Агрономія» поєднує фундаментальні знання з чіткими практичними інструкціями і навчає працювати за науковим методом: формулювати мету, будувати гіпотезу, планувати спостереження, проводити вимірювання, аналізувати дані, робити обґрунтовані висновки. Науково-методичне значення зошита полягає в системному зв'язку лабораторних спостережень із реальними агротехнологічними рішеннями – від живлення і водного режиму до керування стійкістю рослин і якістю врожаю. Матеріал подано простою, стандартизованою мовою, що полегшує засвоєння студентами та уніфікує роботу викладачів.

Структурування матеріалу забезпечує поступовий перехід від загального до конкретного, від клітинного рівня – до рівня організму і агроценозу. Видання відкривається «Вступом» і «Інструкцією з техніки безпеки в лабораторії фізіології рослин», що закладає культуру безпечної праці, відповідальність за обладнання і чіткість дій у випадку позаштатних ситуацій. Далі послідовність лабораторних занять (1-22) охоплює всі ключові блоки курсу. Модульна контрольна робота №1 (Заняття 11), яка забезпечує проміжний контроль засвоєння матеріалу. Завершує курс Модульна контрольна робота №2 (Заняття 22), що інтегрує знання та навички з усього циклу занять.

Кожне лабораторне заняття містить чітко сформульовану мету, короткий теоретичний вступ, перелік обладнання і реактивів, покрокові інструкції, форми для фіксації спостережень, місце для розрахунків і висновків, а також питання для самоконтролю. Така структура забезпечує прозорість вимог, уніфікує підходи викладання, сприяє академічній доброчесності та навчає відповідального ведення лабораторного записника. Завдяки поєднанню фундаментальних знань і практичної спрямованості зошит виступає робочим інструментом, який підтримує професійне становлення майбутніх агрономів і підвищує ефективність їх підготовки до реальних виробничих завдань.

Оцінювання здійснюється модульно: поточний контроль (виконання лабораторного практикуму, точність вимірювань, коректність розрахунків і висновків), результати самостійних робіт (якість аналізу даних і логіка аргументації), тести та підсумкові модульні роботи. Така система дає прозорий зворотний зв'язок, підтримує індивідуальні траєкторії навчання і формує компетентності, необхідні молодому фахівцеві: експериментальну грамотність, критичне мислення, відповідальне прийняття технологічних рішень.

Таким чином, Лабораторний зошит є робочим інструментом, який поєднує навчальну та методичну функції, забезпечує безперервність аудиторної та самостійної роботи та виробничої практики і допомагає студентам упевнено переходити від спостереження до пояснення і від пояснення – до практики.

	Зміст	
	Вступ	3
	Інструкція з техніки безпеки в лабораторії фізіології рослин	5
Лабораторне заняття 1	Завдання фізіології рослин на сучасному етапі та її місце в системі природничих наук	7
Лабораторне заняття 2	Особливості метаболізму рослинної клітини	11
Лабораторне заняття 3	Будова рослинної клітини та її функції	15
Лабораторне заняття 4	Рослинна клітина як осмотична система	18
Лабораторне заняття 5	Транспорт води та розчинних речовин у клітину	22
Лабораторне заняття 6	Водообмін рослинного організму	24
Лабораторне заняття 7	Транспірація і її роль в житті рослин. Види транспірації	24
Лабораторне заняття 8	Пластидні пігменти	30
Лабораторне заняття 9	Хімічні властивості хлорофілу	34
Лабораторне заняття 10	Хімізм темної фази фотосинтезу	39
Лабораторне заняття 11	<i>Модульна контрольна робота №1</i>	44
Лабораторне заняття 12	Дихання та бродіння – енергетичні процеси клітини. Каталаза в рослинних об'єктах	44
Лабораторне заняття 13	Хімізм та енергетика дихання	48
Лабораторне заняття 14	Хімізм та енергетика пентозофосфатного шляху	51
Лабораторне заняття 15	Функції макро- та мікроелементів у рослині	55
Лабораторне заняття 16	Значення ґрунтових мікроорганізмів в процесі живлення рослин азотом	59
Лабораторне заняття 17	Добрива - джерело поживних елементів для рослин	62
Лабораторне заняття 18	Ріст і розвиток рослин	66
Лабораторне заняття 19	Вивчення впливу стимуляторів та інгібіторів на ріст рослин	69
Лабораторне заняття 20	Прийомне значення тропізмів, настій та нутацій	72
Лабораторне заняття 21	Стійкість рослин	76
Лабораторне заняття 22	<i>Модульна контрольна робота №2</i>	79

ІНСТРУКЦІЯ

з техніки безпеки в лабораторії фізіології рослин

1. Загальні положення

- 1.1. Лабораторія фізіології рослин є спеціалізованим навчально-науковим підрозділом, у якому здійснюється експериментальна діяльність з вивчення фізіологічних процесів рослинного організму.
- 1.2. До роботи допускаються лише студенти, які пройшли первинний інструктаж з охорони праці та пожежної безпеки.
- 1.3. Кожен студент зобов'язаний знати й дотримуватись принципів біобезпеки, правил поводження з реактивами та лабораторним обладнанням.

2. Вимоги до індивідуального захисту

- 2.1. Виконання лабораторних робіт здійснюється у спеціальному лабораторному одязі (бавовняний халат), та за потреби в захисних окулярах та рукавичках.
- 2.2. Волосся повинно бути зібране, прикраси зняті.
- 2.3. Дотримання правил особистої гігієни включає заборону прийому їжі, напоїв та використання особистих речей на робочому місці.

3. Правила безпеки під час роботи

- 3.1. Усі експериментальні маніпуляції з хімічними речовинами (кислоти, луги, органічні розчинники) виконуються відповідно до стандартів хімічної безпеки. Дозування здійснюється виключно за допомогою мірного лабораторного посуду (піпетки, бюретки, мірні колби). Використання піпетування ротом категорично заборонено; застосовуються гумові груші або автоматичні дозатори.
- 3.2. Приготування розчинів проводиться за правилом: концентровані кислоти та луги доливаються у воду, що мінімізує ризик екзотермічної реакції та розбризкування реагенту. Усі операції з концентрованими речовинами виконуються у витяжній шафі з використанням рукавичок.
- 3.3. Робота з відкритим полум'ям (спиртівки, газові пальники) або електричними нагрівальними приладами здійснюється на жаростійких поверхнях. Забороняється залишати джерела тепла без нагляду. Наявність горючих матеріалів поблизу робочого місця недопустима.
- 3.4. Біологічні об'єкти (насіння, листки, черенки, тканини) повинні оброблятися стерильними інструментами з дотриманням правил асептики та антисептики. Використані інструменти підлягають дезінфекції у спеціальних розчинах або стерилізації.
- 3.5. Органолептичні методи (оцінка на смак, запах чи дотик) категорично заборонені, оскільки несуть ризик інтоксикації або інфікування. Оцінка результатів експерименту повинна здійснюватися лише за допомогою приладів і візуальних методів.
- 3.6. При роботі з мікроскопами, спектрофотометрами, центрифугами та іншими електротехнічними приладами забороняється торкатись вологими руками до вимикачів чи кабелів. Необхідно дотримуватись вимог електробезпеки.
- 3.7. У випадку розливу реактивів або біологічного матеріалу необхідно негайно зупинити роботу, локалізувати небезпечну речовину адсорбентами (пісок, серветки, нейтралізатори), провести дезінфекцію поверхні, а також повідомити викладача.
- 3.8. Робоче місце має залишатися впорядкованим: заборонено одночасне проведення кількох несумісних процедур (наприклад, робота з відкритим полум'ям і леткими розчинниками). Усі реактиви повинні мати маркування відповідно до хімічної номенклатури й зберігатися у визначених контейнерах.
- 3.9. При роботі з ріжучими інструментами (скальпелі, ножиці, бритви, леза) необхідно застосовувати спеціальні підкладки для розрізання рослинного матеріалу, уникати надмірного зусилля та різких рухів. Передача інструментів здійснюється лише ручкою вперед, ріжуча частина повинна бути захищена. Забороняється залишати леза відкритими на робочій поверхні.
- 3.10. Скляний лабораторний посуд (колби, пробірки, піпетки, предметні й покривні скельця) використовується тільки після перевірки на відсутність тріщин і сколів. Заборонено нагрівати чи охолоджувати скляний посуд із залишками рідин, що може призвести до розтріскування. У разі пошкодження скла осколки збираються спеціальними щипцями або щіткою з совком, після чого

утилізуються у контейнер для скляних відходів.

4. Вимоги при роботі з кислотами та лугами

4.1. *Загальні вимоги.* Усі аварійні ситуації (розлив реактивів, займання, травмування, ураження електричним струмом, контакт небезпечних речовин зі шкірою або слизовими оболонками) підлягають негайній ліквідації з обов'язковим інформуванням викладача та внесенням у журнал інцидентів.

4.2. *Контакт з органічними речовинами.* При попаданні органічних розчинників (етанол, ацетон, фенол та ін.) на шкіру необхідно швидко змити залишки великою кількістю проточної води протягом 10–15 хвилин. У разі ураження фенолом додатково застосовується 10% розчин поліетиленгліколю або 40% етилового спирту для нейтралізації.

4.3. *Попадання кислот на шкіру.* У разі контакту зі шкірою концентрованих неорганічних кислот (HCl , H_2SO_4 , HNO_3) необхідно негайно промити уражену ділянку великою кількістю проточної води не менше 15 хвилин. Після промивання уражене місце обробляється 2% розчином гідрокарбонату натрію (NaHCO_3).

4.4. *Попадання лугів на шкіру.* При ураженні концентрованими розчинами NaOH , KOH чи NH_4OH слід негайно промити шкіру проточною водою протягом 15–20 хвилин. Після промивання рекомендується обробити ділянку слабким розчином борної кислоти (1–2%).

4.5. *Попадання кислот в очі.* Необхідно негайно промити око великою кількістю проточної води протягом не менше 20 хвилин, уникаючи потрапляння промивної рідини в інше око. Після промивання закапати 2% розчин гідрокарбонату натрію та негайно звернутися до офтальмолога.

4.6. *Попадання лугів в очі.* Слід негайно промивати очі проточною водою протягом не менше 20 хвилин, після чого закапати 2% розчин борної кислоти й терміново звернутися за медичною допомогою. Ураження лугами є особливо небезпечним, тому навіть при незначних симптомах потрібна госпіталізація.

4.7. *Попадання органічних кислот на шкіру чи в очі.* При контакті з оцтовою, мурашиною чи іншими органічними кислотами діють аналогічно: промивання проточною водою протягом 15–20 хвилин, обробка слабким лужним розчином (2% NaHCO_3 для шкіри, офтальмологічні розчини для очей) та медичне обстеження.

4.8. *Ураження електричним струмом.* При виникненні електротравми негайно знеструмити обладнання, забезпечити потерпілому доступ до свіжого повітря, перевірити пульс і дихання, у разі їх відсутності – розпочати серцево-легеневу реанімацію та викликати швидку допомогу.

4.9. *Подальші дії.* Усі потерпілі після контакту з кислотами, лугами чи органічними речовинами підлягають обов'язковому медичному огляду, навіть якщо симптоми ураження здаються незначними.

5. Правила завершення роботи

5.1. Вимити й висушити лабораторний посуд, відходи утилізувати у спеціально відведені контейнери: органічні рештки, скляні відходи, хімічні реагенти.

5.2. Вимкнути прилади від електромережі, перекрити водопостачання та газ.

5.3. Здати робоче місце викладачеві для перевірки, після чого вимити руки з милом і за потреби обробити антисептиком.

6. Вимоги пожежної безпеки

6.1. Студенти повинні знати місце розташування первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники, пожежні крани, ящики з піском).

6.2. У разі займання слід відключити електроживлення, застосувати вогнегасник відповідного класу та повідомити викладача.

6.3. Евакуація проводиться за планом, розміщеним у лабораторії.

Лабораторне заняття № 1

Розділ «Фізіологія рослин як наука»

Тема: Завдання фізіології рослин на сучасному етапі та її місце в системі природничих наук”

Мета: Ознайомити студентів із завданнями фізіології рослин на сучасному етапі розвитку науки, показати її місце в системі природничих наук, розкрити міждисциплінарні зв'язки та прикладне значення для аграрної практики.

Професійна спрямованість: Засвоєння теми формує у майбутніх фахівців-агрономів та біологів розуміння ролі фізіології рослин у вирішенні практичних завдань: підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, оптимізація технологій вирощування, раціональне використання ресурсів, прогнозування стану агроecosистем, застосування інноваційних біотехнологій.

Теоретичні питання:

1. Предмет і об'єкт вивчення фізіології рослин.
2. Основні завдання фізіології рослин на сучасному етапі розвитку науки.
3. Роль фізіології рослин у формуванні продуктивності сільськогосподарських культур.
4. Зв'язки фізіології рослин з біохімією, біофізикою, екологією, генетикою, мікробіологією.
5. Фундаментальні та прикладні напрями розвитку фізіології рослин.
6. Міждисциплінарний характер фізіології рослин.
7. Значення фізіології рослин у системі аграрної освіти та науки.
8. Сучасні методи дослідження у фізіології рослин.
9. Внесок українських та зарубіжних учених у розвиток фізіології рослин.
10. Значення фізіології рослин для охорони довкілля та сталого розвитку.

Практичне завдання:

1. *Ознайомлення з будовою світлового мікроскопа – оптичного приладу для вивчення клітинного рівня організації живої матерії.*

Обладнання: мікроскопи МБР–1 або “Біолам”, предметні і покривні скельця, леза.

Хід роботи: Біологічний мікроскоп – це оптичний прилад, при допомозі якого можна отримати збільшене обернене зображення об'єкта, що вивчається і розглянути дрібні деталі його будови, розміри яких знаходяться далеко за межами роздільної здатності ока.

У мікроскопі виділяють дві системи: оптичну і механічну. До оптичної системи відносять об'єктиви, окуляри й освітлювальний пристрій.

Об'єктив – одна з найважливіших частин мікроскопа. За його допомогою отримують збільшене дійсне, але обернене зображення об'єкта і виявляють тонкі деталі його структури.

Об'єктив складається із металічного циліндра і вмонтованих у нього лінз. Ступінь збільшення знаходиться в прямій залежності від числа лінз. Першу лінзу, направлену до препарату, називають *фронтальною*. У верхній частині об'єктива є гвинтова нарізка при допомозі якої його вгвинчують у гніздо револьвера. Збільшення об'єктива позначено на ньому цифрами. Мікроскоп МБР–1 має три об'єктиви : x8, x40, x90. Якість об'єктива визначає його *роздільну здатність*.

Окуляр – дає пряме, збільшене зображення досліджуваного об'єкта, побудоване об'єктивом. Він не виявляє нових деталей будови, і в цьому відношенні його збільшення непотрібне. Він складається із двох–трьох лінз, вмонтованих у металічний циліндр. Збільшення окулярів позначено на них цифрами: x7, x10, x15.

Освітлювальний пристрій – складається із дзеркала і конденсора з ірисовою діафрагмою, розміщених під предметним столиком. Він призначений для освітлювання об'єкта пучком світла. *Дзеркало* служить для спрямування світла через конденсор і отвір предметного столика на об'єкт. *Конденсор*

складається з двох–трьох лінз, які вставлені в металічний циліндр. При підніманні або опусканні його за допомогою спеціального гвинта відповідно конденсується або розсіюється світло, яке падає від дзеркала на об'єкт.

Ірисова діафрагма розміщена між дзеркалом і конденсором. Вона служить для зміни діаметра світлового потоку, який спрямовується дзеркалом через конденсор на об'єкт у відповідності з діаметром фронтальної лінзи об'єктива, і складається із тонких металічних платівок.

Механічна система мікроскопа складається із підставки, коробки з мікрометричним механізмом і мікрометричним гвинтом, тубусотримача, гвинта грубого наведення, кронштейна конденсора, гвинта переміщення конденсора, револьвера і предметного столика.

Підставка – підковоподібна основа мікроскопа. *Коробка з мікрометричним механізмом* прикріплена до підставки нерухомо. Мікрометричний гвинт служить для незначного переміщення тубусотримача.

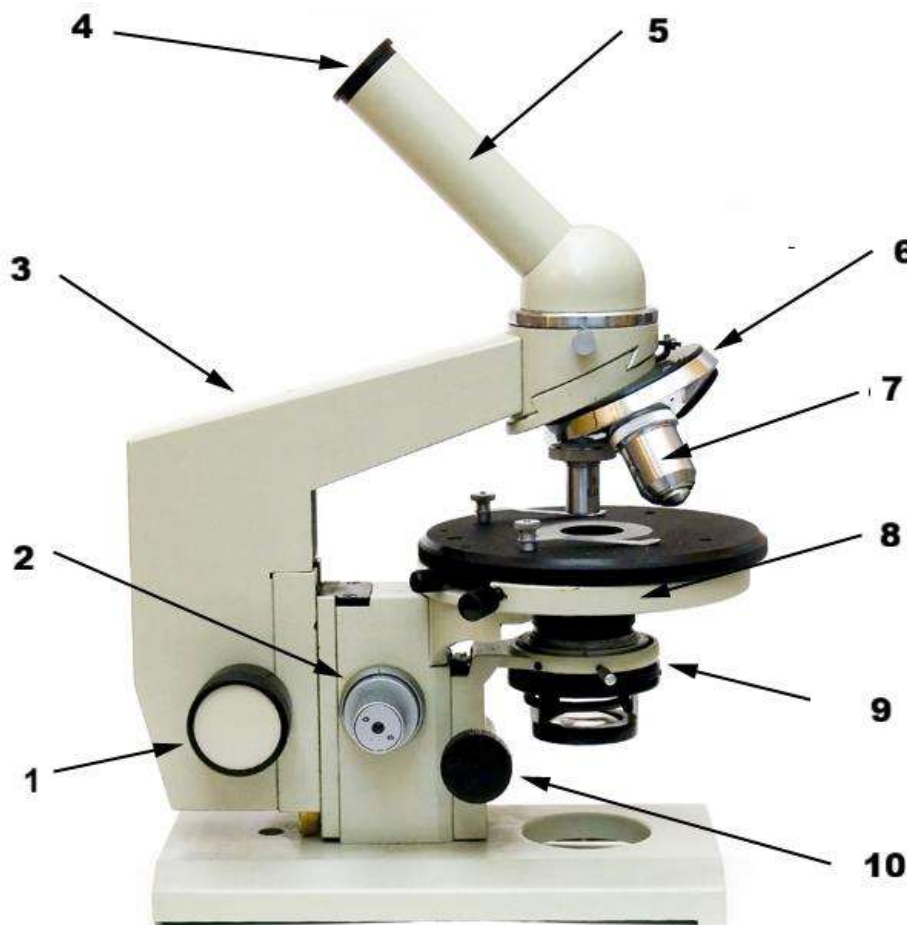
Тубус, або *труба*, – циліндр, у якому зверху вставляють окуляри. Він рухомо з'єднаний з головкою тубусотримача.

Револьвер призначений для швидкої зміни об'єктивів, вгвинчених у його гнізда. Центроване положення об'єктива забезпечує заскочка, розміщена всередині револьвера.

Тубусотримач несе тубус і револьвер. Тубусотримач рухомо з'єднаний з коробкою мікрометричного механізму.

Гвинт грубого наведення використовується для значного переміщення тубусотримача.

Предметний столик призначений для розміщення на ньому препарата. Посередині столика є круглий отвір, у який входить фронтальна лінза конденсора.



Таблиця завдань

№	Завдання	Відповідь студента
1	Розпізнайте та підпишіть усі деталі мікроскопа, позначені цифрами на фото.	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 –
3	Визначте, які частини відносяться до механічної системи, а які – до оптичної.	Складові механічної системи: Складові оптичної системи:
5	Покажіть на фото ті елементи, які використовують для регулювання різкості зображення.	
6	Поясніть, які деталі необхідно відрегулювати, щоб отримати якісне зображення зрізу рослинної тканини.	
7	Визначте, які складові мікроскопа найчастіше використовуються при вивченні клітинних структур листка, кореня чи стебла.	
8	Опишіть послідовність дій при підготовці мікроскопа до роботи, використовуючи номери деталей із фото.	
9	Вкажіть деталі мікроскопа, неправильне використання яких може пошкодити препарат або прилад.	

Висновок: Сформулюйте значення використання світлового мікроскопа у професійній діяльності агронома

Поточні контрольні запитання

1. Які об'єкти вивчає фізіологія рослин на рівнях клітини, тканини, органа та організму?
2. Які конкретні сучасні завдання фізіології рослин пов'язані з продовольчою безпекою?
3. У чому відмінність фундаментальних досліджень у фізіології рослин від прикладних?
4. Які напрями фізіологічних досліджень найбільш тісно пов'язані з генетикою?
5. Які методи біохімії використовуються для вивчення фізіологічних процесів у рослин?
6. Як результати фізіологічних досліджень впливають на створення нових агротехнологій?
7. Яке значення мають міждисциплінарні підходи у фізіології рослин для сучасної науки?
8. Чому фізіологія рослин вважається ключовою дисципліною в системі аграрної освіти?
9. Які внески зробили українські вчені у розвиток фізіології рослин у XX–XXI ст.?
10. Яке значення мають фізіолого-екологічні дослідження для охорони природи та сталого розвитку?

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Базова література

1. Злобін Ю.А. Курс фізіології і біохімії рослин. Суми : ВТД «Університетська книга», 2004. 464 с.(С. 1-20; 100-120.)
2. Кустовська А. В., Білявський С. М. Фізіологія рослин. Лабораторний практикум для студентів біологічних спеціальностей ЗВО. Київ : УДУ імені Михайла Драгоманова, 2023. 110 с. (С. 5-10).
3. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с. (С. 9–12, 142–149)
4. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. (С. 1-20; 20-40.)
5. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Дрозд П. Ю. Фізіологія рослин : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2023. 224 с. (С. 1-12; 13-44.)

Допоміжна література

1. Брайон О. В. Фізіологія рослин : практикум : навч. посіб. Київ : Вища школа, 1995. 191 с.
2. Векірчик К. М. Практикум з фізіології рослин : навч. посіб. Київ : Вища школа, 1984. 240 с.
3. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології. Біла Церква : БДАУ, 2006. 504 с.
4. Войцехівська О. В. та ін.; за заг. ред. Паршикової Т. В. Фізіологія рослин : практикум : навч. посіб. Луцьк : Терен, 2010. 416 с.
5. Григорюк І. П., Бойко О. А., Прилуцька С. В. Фізіологія рослин з основами біохімії : практикум. Київ : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2014. 144 с.
6. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2004. 464 с.

Інтернет-джерела

1. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/1.1_0.pdf
2. <https://enpuir.udu.edu.ua/bitstreams/08b254e9-d0c6-4205-86de-b1037c81bdf/download>
3. <http://www.frg.org.ua/>
4. <http://nasplib.isoftware.kiev.ua/handle/123456789/240>

Лабораторне заняття № 2

Розділ «Фізіологія рослинної клітини»

Тема: Особливості метаболізму рослинної клітини

Мета: Розкрити сутність і особливості метаболічних процесів у рослинній клітині, показати їхній взаємозв'язок і регуляцію, пояснити значення обміну речовин для росту, розвитку й адаптації рослин до умов довкілля.

Професійна спрямованість: Формування у майбутніх агрономів знань про метаболічні процеси як основу продуктивності культурних рослин, засвоєння умінь аналізувати вплив зовнішніх факторів на обмін речовин, використання цих знань для підвищення врожайності, оптимізації живлення, діагностики фізіологічного стану рослин і впровадження біотехнологічних підходів у рослинництві.

Теоретичні питання:

1. Поняття обміну речовин і перетворення енергії в рослинній клітині.
2. Біосинтез і розпад вуглеводів у клітині.
3. Метаболізм білків і амінокислот.
4. Біосинтез білка в клітині: локалізація, етапи біосинтезу, транспорт та запасання.
5. Регуляція метаболізму: ферментативні системи, гормональна регуляція, сигнальні шляхи.
6. Ферменти, їх основні властивості.
7. Локалізація та розподіл ферментативних систем у рослинній клітині.
8. Зміна складу та активності ферментів при проростанні насіння залежно від умов існування та етапів онтогенезу (на прикладі α - та β -амілази).
9. Особливості енергетичного обміну в рослинній клітині.
10. Особливості будови АТФ-синтетази. Ротаційний механізм дії фермента.
11. Запасання енергії у формі АТФ.
12. Взаємозв'язок метаболічних шляхів у клітині та їхня інтеграція.
13. Вплив факторів довкілля на метаболізм рослинної клітини (світло, температура, вода, мінеральне живлення).
14. Прикладне значення знань про метаболізм у агрономічній практиці

Практичні завдання:

1. Визначення осмотичного тиску клітинного соку методом плазмолізу.
2. Визначення сисної сили клітин методом струминок /за В.С. Шардаковим/.
3. Визначення проникності протоплазми при пошкодження клітин.

Обладнання: мікроскопи, предметні і покривні скельця, леза, пінцети, препарувальні голки, 1М розчин кухонної солі, дистильована вода, бюкси для розчинів з кришечками (7 шт.), чашка Петрі, смужки фільтрувального паперу, цибуля.

Методика виконання практичного завдання:

1. Визначення осмотичного тиску клітинного соку методом плазмолізу (за де-Фрізом)

Плазмолітичний метод визначення осмотичного тиску полягає в тому, що зрізи тканини, що досліджується, занурюють в ряд розчинів відомої концентрації, а потім розглядають в мікроскоп. Виходячи з того, що плазмоліз здатні викликати тільки гіпертонічні розчини, знаходять такий, який викликає початковий (ввігнутий) плазмоліз не менше, ніж в 50% клітин в досліджуваної тканини.

Ізотонічний розчин знаходиться між цим розчином і більш слабким, який не викликає плазмолізу. Звідси випливає, що концентрація ізотонічного розчину дорівнює середньому арифметичному між концентраціями вказаних сусідніх розчинів. Встановивши концентрацію ізотонічного розчину, вираховують осмотичний тиск за рівнянням Вант-Гоффа :

$P = iCRT$, де P – осмотичний тиск; C – концентрація розчину; i – ізотонічний коефіцієнт, який показує відношення числа частинок (молекул і іонів) в розчині до вихідної кількості молекул розчиненої речовини; R – газова стала, T – абсолютна температура ($T = t + 273^{\circ}C$).

Концентрація	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Ізотонічний коефіцієнт	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,73	1,75	1,78	1,83

а) Приготувати по 10 мл розчину кухонної солі з концентрацією від 0,1 до 0,7М, наливаючи з бюреток в бюкси з відповідними надписами, дистильовану воду і 1М розчин кухонної солі по такій схемі розведення, яка наведена в таблиці:

Концентрація потрібних для дослідів розчинів, М	На 10 мл розчину потрібно	
	1М розчину, мл	води, мл
0.1	1	9
0.2	2	8
0.3	3	7
0.4	4	6
0.5	5	5
0.6	6	4
0.7	7	3

б) Ретельно перемішати і закрити кришками.

в) Приготувати 14 зрізів епідермісу цибулі і вмістити їх в дистильовану воду на часове скло.

г) Через кілька хвилин вийняти ці зрізи, промокнути фільтрувальним папером і по 2 зрізи вмістити в кожен розчин. Добре занурити їх за допомогою препарувальної голки.

д) Через 20–30 хвилин розглянути зрізи під мікроскопом в краплі відповідного розчину, починаючи з 0,7 М.

Результати дослідів записати в таблицю:

Кон. роз-у	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
Ступінь плазмолізу							
Малюнок клітини							

е) Знайти ізотонічну концентрацію і обчислити осмотичний тиск за формулою Вант-Гоффа:

$$P = iCRT$$

Висновок:

2. Визначення сисної сили клітин методом струминок /за В.С. Шардаковим/

Обладнання: свіжі листки будь-якої рослини або бульби картоплі, 1М розчин NaCl, свердла коркові, леза, пінцети, препарувальні голки, смужки фільтрувального паперу, 7 шт пробірок великих і 7 шт пробірок малих, корки, градуйовані піпетки на 1 – 2 мл, скляні палички, олівці по склу, бюретки з лійками, дистильована вода, метиленова синька в кристалах.

Методика виконання практичного завдання:

Робота виконується з використанням **сухих пробірок**, бо кожна крапля води може мати негативний вплив на точність результатів досліджу.

Змішуючи відповідну кількість 1М розчину кухонної солі і дистильованої води, приготуйте по 10 мл розчинів таких концентрацій: **0.7; 0.6; 0.5; 0.4; 0.3; 0.2; 0.1** моля. Для приготування розчинів використовуйте 7 великих пробірок. Пронумеруйте їх.

Ретельно перемішайте ці розчини і відлийте піпеткою в 7 малих, відповідних за нумерацією, пробірок, по 1.0 мл кожного розчину. Закрийте пробірки корком.

Виріжте корковим свердлом диски з листків рослини, або диски з бульб картоплі товщиною 2 мм.

У кожен пробірку вмістіть по 2 диски однакового розміру і закрийте пробірки пробками. Витримайте диски 30 хв, періодично збовтуючи пробірки.

Вийміть диски препарувальною голкою, додайте кінчиком цієї ж голки 1–2 кристали метиленової сині в кожен маленьку пробірку.

Визначте зміну концентрації розчинів після перебування в них дисків тканин. Для цього розчин, в якому знаходилася тканина, вносять маленькою піпеткою в велику пробірку з розчином вихідної концентрації і поступово випускають на середині стовпчика розчину у великій пробірці (випускають голубий у безбарвний!).

Якщо струминка піде вниз, це свідчитиме про збільшення концентрації розчину.

Якщо вона підійматиметься вгору, то це вказує, що концентрація розчину зменшилась. Якщо струминка зависає на місці, то щільність розчину не змінилась, а значить сисна сила клітин дорівнює сисній силі цього розчину.

Зробити висновки та визначити сисну силу клітини за формулою:

$$S = P_{\text{розчину}} = iCRT$$

Висновок:

3. Проникність протоплазми при пошкодженні клітин.

Обладнання: леза, пінцети, спиртівки, препарувальні голки, столові буряки, коркові свердла, пробірки, 30% розчин оцтової кислоти, 50% розчин етилового спирту, хлороформ, 1М розчин азотнокислого калію, дистильована вода, мірні циліндри чи пробірки на 10 мл, піпетки.

Методика виконання практичного завдання:

Налити в перші дві пробірки по 10 мл води, у третю – 10 мл 30% розчину оцтової кислоти, у четверту – 50% розчин етилового спирту, а у п'яту – 10 мл води і 5–6 крапель хлороформу. З коренеплоду столового буряка за допомогою коркового свердла вирізати однакові шматочки тканини циліндричної форми і порізати їх на диски товщиною 0,5 см. Промити їх водою і по 3 шт. вмістити у кожен з пробірок, попередньо позначивши пробірки.

Перша пробірka є контролем, а другу прокип'ятити кілька хвилин. Після цього всі пробірки залишають на 30 хвилин.

Пробірки струшують (збовтують) і за інтенсивністю забарвлення визначають ступінь пошкодження тканини під дією того чи іншого фактора. Результати дослідів внесіть в таблицю:

№ Пробірок	Варіанти дослідів	Ступінь забарвлення розчину
1	Вода (контроль)	
2	Вода кип'ячена	
3	30% розчин оцтової кислоти	
4	50% розчин етилового спирту	
5	Вода + хлороформ	

Зробіть відповідні висновки. Дайте пояснення.

Висновок:

Поточні контрольні запитання

1. Що таке обмін речовин у рослинній клітині, і які його головні функції?
2. Чим відрізняються процеси асиміляції та дисиміляції?
3. Які основні шляхи біосинтезу вуглеводів у клітині?
4. Які ферменти беруть участь у гідролізі крохмалю?
5. Як здійснюється транспорт сахарози в рослинному організмі?
6. Які особливості обміну білків відрізняють рослини від тварин?
7. Як відбувається синтез амінокислот у рослинній клітині?
8. У яких органелах локалізується біосинтез білка?
9. Які етапи включає біосинтез білка?
10. Які системи забезпечують транспорт та депонування білків у клітині?
11. Що таке ферментативна регуляція метаболізму?
12. Які гормони впливають на метаболізм у рослин?
13. Що таке сигнальні шляхи та як вони беруть участь у регуляції метаболізму?
14. Які основні властивості ферментів забезпечують їхню каталітичну дію?
15. Як розподілені ферментативні системи у різних органелах клітини?
16. Які зміни активності α - та β -амілази спостерігаються при проростанні насіння?
17. Яким чином умови зовнішнього середовища впливають на ферментативну активність у клітині?
18. Які особливості енергетичного обміну властиві рослинам?
19. Як побудована АТФ-синтетаза і в чому суть її ротаційного механізму?
20. Які основні шляхи утворення АТФ у клітині?
21. Яке прикладне значення має знання про метаболізм рослин у сільському господарстві?

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу

(виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Рекомендована базова література

1. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології : підручник. Біла Церква : Білоцерківський державний аграрний університет, 2006. 504 с.
2. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2004. 464 с.
3. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с.
4. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник (для студентів вищих навчальних закладів). Київ : Либідь, 2005. 808 с.
5. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Дрозд П. Ю. Фізіологія рослин. Частина I : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2023. 224 с.
6. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Бойко О. А., Дашенко А. В. Фізіологія рослин. Частина II : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2024. 215 с.

Допоміжна література

1. Авксентьєва О. О., Жмурко В. В., Юхно Ю. Ю., Щоголев А. С. Фізіологія та біохімія рослин : комплекс навчально-методичних матеріалів. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2018. 151 с.
2. Войцехівська О. В., Капустян А. В., Косик О. І. та ін.; за заг. ред. Паршикової Т. В. Фізіологія рослин : практикум : навчальний посібник. Луцьк : Терен, 2010. 420 с.
3. Григорюк І. П., Бойко О. А., Прилуцька С. В. Фізіологія рослин з основами біохімії : практикум. Київ : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2014. 144 с.
4. Пида С. В., Дідушицька Б. С. Фізіологія рослин : лабораторний практикум : навчальний посібник. Тернопіль, 2023. 96 с.
5. Приседський Ю. Г. Великий практикум з фізіології та біохімії рослин (біохімічні методи досліджень) : навчальний посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2022. 418 с.
6. Самойленко Т. Г., Самойленко М. О., Рожок О. Ф. Практикум з фізіології рослин : навчальний посібник. Миколаїв : МНАУ, 2013. 431 с.

Інформаційні ресурси

1. <https://www.sciencedirect.com/journal/plant-physiology-and-biochemistry>
2. <https://academic.oup.com/jxb>
3. <https://www.annualreviews.org/journal/arplant>
4. <http://nbuv.gov.ua>
5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>
6. <https://link.springer.com>
7. <https://onlinelibrary.wiley.com>
8. <https://www.fao.org>

Лабораторне заняття № 3

Тема: Будова рослинної клітини та її функції

Мета: Засвоїти знання про структурні компоненти рослинної клітини, їхню будову та фізіологічні функції; сформувати уявлення про клітину як елементарну одиницю життя, що забезпечує ріст, розвиток і адаптацію рослин; розвинути вміння пов'язувати морфологічні особливості клітин з процесами метаболізму й життєдіяльності рослинного організму.

Професійна спрямованість: Формування у майбутніх агрономів, біологів та екологів фундаментальної бази знань про клітинні структури, необхідних для розуміння механізмів росту та розвитку рослин, прогнозування їх продуктивності, вибору агротехнологій, біотехнологічних підходів і засобів захисту; забезпечення здатності застосовувати знання про клітинні функції для практичних завдань у сільському господарстві, селекції та охороні довкілля.

Теоретичні питання:

1. Клітина основна структурна і функціональна одиниця живого організму.
2. Клітинна теорія. Симбіогенетична гіпотеза.
3. Будова та функції клітинної стінки.
4. Будова та функції ядра /в інтерфазі/.
5. Будова та функції пластид.
6. Будова та функції мітохондрій.
7. Будова та функції апарату Гольджі.
8. Будова та функції ендоплазматичної сітки.
9. Будова та функції диктіосом, пероксисом та гліоксисом.
10. Будова та функції утворень, які не належать до органел: рибосом, мікротрубочок та їх похідних /сферосом/.
11. Будова та функції похідних протопласта /вакуолей, плазматичних включень/.
12. Роль знання про будову та функціонування рослинної клітини у підвищенні врожайності та стійкості сільськогосподарських культур.

Практичне завдання:

1. Будова клітини

Обладнання: мікроскопи, предметні і покривні скельця, леза, пінцети, препарувальні голки, смужки фільтрувального паперу, цибуля, піпетки, дистильована вода.

Приготувати тимчасовий мікропрепарат епідерми з опуклої сторони соковитої луски цибулі в розчині йоду в йодному калії. Розглянути при малому і великому збільшенні мікроскопа і замалювати.

Послідовність роботи. Основні компоненти клітини (оболонка, цитоплазма, ядро, вакуоля) будуть видні найчіткіше при фарбуванні мікропрепарату слабким розчином йоду в йодному калії. Компоненти клітини, що містять багато білка, забарвляться: цитоплазма в жовтий колір, а ядро в бурий. Небілкові сполуки залишаться безбарвними. При малому збільшенні знайти і розглянути ділянку з одного шару клітин без пошкоджень. Найвиразніше видно оболонки клітин, вони утворюють як би сіточку. Оболонка кожної клітини з боків стикається з оболонками сусідніх клітин. Замалювати декілька клітин епідерми. При великому збільшенні мікроскопа ознайомитися з будовою клітини. В клітині добре помітне ядро. Воно зазвичай притиснуте до оболонки і дещо сплюснуте. Якщо ядро притиснуте до верхньої або нижньої стінки клітини, то воно видно як округле тільце, з одним, декількома ядерцями. Якщо ж воно притиснуте до бічної стінки, то видно збоку і помітно, що воно занурено в тонкий шар цитоплазми. Цитоплазма безперервним шаром прилягає до оболонки. В центральній частині клітини розташована вакуоля з клітинним соком, займаючи великий об'єм. Замалювати типову клітину епідерми, позначивши основні компоненти: оболонку, ядро і ядерце, цитоплазму, вакуоль (рис. 4, В).

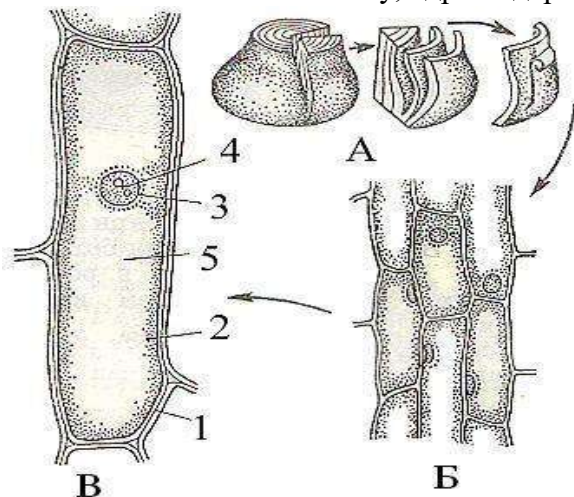


Рис. 4. Клітини епідерми соковитої луски ріпчастої цибулі:

- А –
- Б –
- В –
- 1 –
- 2 –
- 3 –
- 4 –
- 5 –

Висновок:

Поточні контрольні запитання

1. Які основні положення клітинної теорії?
2. Які відмінності між клітиною рослин та тварин?
3. Які функції клітинної стінки у рослин?
4. Що таке плазмалема і яку роль вона виконує?
5. Яке значення має цитоплазма як середовище для обміну речовин?
6. Які функції виконують мітохондрії у клітині?
7. Чим відрізняються пластиди: хлоропласти, хромопласти та лейкопласти?
8. Яке значення має ядро для регуляції життєдіяльності клітини?
9. Що таке ендоплазматична сітка і яку функцію вона виконує?
10. Яка роль апарату Гольджі в метаболізмі клітини?
11. Які функції виконують рибосоми?
12. Чим відрізняються вакуолі молодих і старих клітин?
13. Яке значення клітинного соку?
14. Які органели належать до напівавтономних? Чому?
15. Яке значення клітинного рівня організації для цілісного організму?

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Рекомендована базова література

1. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин. Вінниця Нова книга 2006. 416 с. (С. 13–41).
2. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. (С. 45-57).
3. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Дрозд П. Ю. Фізіологія рослин. Частина І. Київ НУБіП України 2023. 224 с. (С. 43–66).
4. Григорюк І. П., Бойко О. А., Прилуцька С. В. Фізіологія рослин з основами біохімії. Практикум. Київ ТОВ «Аграр Медіа Груп» 2014. 144 с. (С. 11–13).
5. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології. Біла Церква БДАУ 2006. 504 с. (С. 32-45)
6. Бессонова В. П., Яковлева-Носарь С. О. Фізіологія рослин. Дніпро Свідлер А. Л. 2014. 596 с. (С.25-32).

Допоміжна література

1. Грицайчук В. В., Никитюк Л. В. Фізіологія рослин. Методичні рекомендації до лабораторних робіт. Харків 2017. 67 с.
2. Крупа Н. М. Фізіологія рослин. Методичні вказівки. Біла Церква БНАУ 2021. 30 с.

3. Держинський М. Е., Скрипник Н. В., Гарматіна С. М. Загальна цитологія та гістологія. Частина I: Загальна цитологія. Навчальний посібник. Київ ВПЦ «Київський університет» 2006. 275 с. (С. 49–69; С. 73–84; С. 85–104; С. 105–140; С. 155–172; С. 181; С. 186–203; С. 204–226; С. 234–254)

Інформаційні ресурси

1. <https://www.sciencedirect.com/journal/plant-physiology-and-biochemistry>
2. <https://academic.oup.com/jxb>
3. <https://www.annualreviews.org/journal/arplant>
4. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>
5. <https://link.springer.com>
6. <https://onlinelibrary.wiley.com>
7. <https://www.researchgate.net>
8. <https://www.sciencedirect.com>
9. <http://nbuv.gov.ua>
10. <https://www.fao.org>

Лабораторне заняття № 4

Тема: Рослинна клітина як осмотична система

Мета: Засвоїти знання про осмотичні властивості рослинної клітини, механізми руху води через плазмалему та тонопласт, формування тургору і плазмолізу; навчитися пояснювати роль осмосу в життєдіяльності клітини та цілого рослинного організму. Сформувати практичні навички спостереження й аналізу явищ осмосу на прикладі клітин різних тканин.

Професійна спрямованість: Сформувати у майбутніх агрономів, біологів та екологів здатність застосовувати знання про осмотичні процеси для пояснення стійкості рослин до посухи, засолення та інших стресових факторів; забезпечити розуміння ролі осмотичних властивостей клітин у регуляції водного балансу, ростових процесів і продуктивності сільськогосподарських культур.

Теоретичні питання:

1. Історія вивчення осмотичних явищ.
2. Осмос, осмотичний тиск. Методи визначення осмотичного тиску.
3. Тургор, тургорний тиск, циторіз, тиск набування, всмоктувальна (сисна) сила.
4. Плазмоліз і його форми. Деплазмоліз. Гіпотонічні, гіпертонічні і ізотонічні розчини.
5. Зміни співвідношення між тургором, осмотичним тиском і всмоктувальною силою залежно від насичення клітин водою.
6. Залежність величини осмотичного та тургорного тисків від генетичних особливостей і умов життя рослин.
7. Клітина як осмотична система.
8. Закон Вант-Гоффа і його зв'язок з газовими законами.
9. Хімічний склад клітини.
10. Агрономічне обґрунтування водного режиму рослин на основі осмотичних параметрів клітини.

Практичні завдання:

1. Явища плазмолізу і деплазмолізу.
2. Ковпачковий плазмоліз.

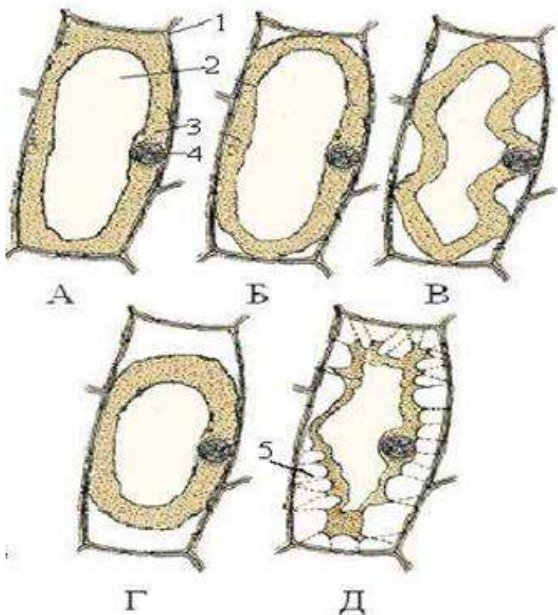
Обладнання: мікроскопи, предметні і покривні скельця, леза, пінцети, препарувальні

голки, смужки фільтрувального паперу, цибуля, 1М р-н кухонної солі, 1М р-н азотнокислого калію, піпетки, дистильована. вода

Методика виконання практичного завдання:

1. Явище плазмолізу і деплазмолізу. Форми плазмолізу.

- а) Виготовити тонкий зріз шкірочки цибулі.
- б) Вмістити його в краплину води на предметному склі і накрити покривним скельцем. Розглянути препарат на малому збільшенні і потім перевести на велике (об. х 40)
- в) Смужкою фільтрувального паперу відсмоктати воду з одного боку скельця, а з протилежного боку капнути кілька крапель плазмолітика. Провести спостереження препарату під мікроскопом. Замалювати плазмоліз в динаміці (від ввігнутого до опуклого).
- г) Відсмоктати смужкою фільтрувального паперу плазмолітик, а з протилежного боку нанести кілька крапель води. Прослідкувати за тим, як відбувається деплазмоліз. Замалювати і зробити висновки.

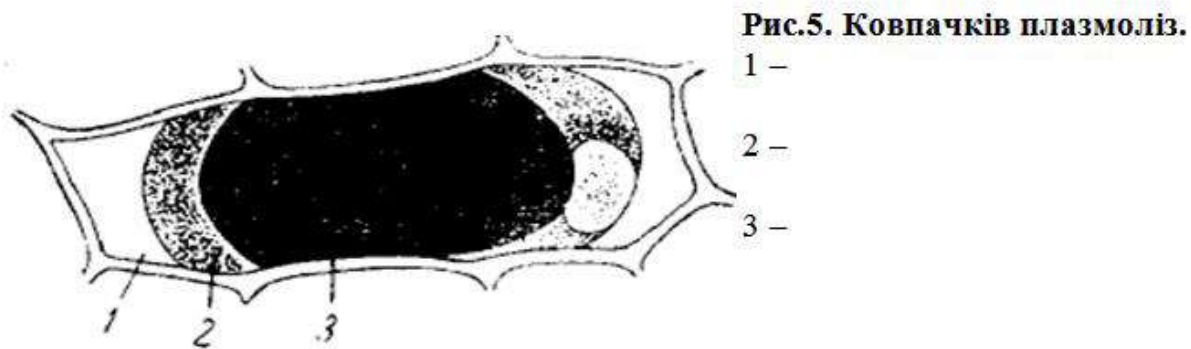


Мал. 4. Плазмоліз рослинної клітини:
А - клітина в стані тургору; б - кутовий; В - увігнутий; Г - опуклий; Д - судомий.
1 - оболонка, 2 - вакуоля, 3 - цитоплазма, 4 - ядро, 5 - нитки Гехта.

Висновок:

2. Ковпачковий плазмоліз.

- а) Зрізи з шкірочки цибулі вмістити в краплю 1М р-н азотнокислого калію.
- б) Слідкуйте за ходом плазмолізу. Знайдіть клітини з ковпачковим плазмолізом. Він характеризується тим, що протоплазма відстає від вужчих стінок клітини і утворює ковпачки. Їх утворення є наслідком набрякання колоїдів цитоплазми під дією іонів K^+ , які проникають через плазматичну мембрану. Проникність тонопласту для K^+ є набагато нижчою. Накопичуючись в мезоплазмі, ці катіони спричиняють її набрякання, що і проявляється в утворенні ковпачків на кінцях плазмолізованої протоплазми. Замалювати і зробити відповідні висновки.



Висновок:

Поточні контрольні запитання

1. Дайте визначення осмосу та осмотичного тиску.
2. Як формулюється рівняння Вант-Гоффа для розчинів? Розшифруйте всі символи.
3. Чим відрізняються осмотичний тиск (P), тургорний тиск (T) і сисна сила (S)? Запишіть зв'язок між ними для ненасиченої та насиченої водою клітини.
4. Що таке гіпотонічний, гіпертонічний та ізотонічний розчини відносно клітинного соку?
5. Поясніть явища плазмолізу (ввігнутий, випуклий, ковпачковий) і деплазмолізу.
6. Чому плазмоліз – надійна ознака життєздатності клітини?
7. Які фактори (генетичні та екологічні) підвищують осмотичний тиск клітин різних життєвих форм (ксерофіти, галофіти, гігрофіти)?
8. Чому тургор є критично важливим для росту, відкривання продихів і механічної стійкості тканин?
9. Чому клітини листка зазвичай мають вищий осмотичний тиск, ніж клітини кореня? Який у цього фізіологічний сенс?
10. Поясніть різницю між напівпроникною та вибірково проникною мембранами в контексті осмосу.
11. Що таке тиск набування? Чим він відрізняється від тургорного?
12. Чому в розчинах електролітів осмотичний тиск вищий, ніж у неелектролітів тієї ж молярності? Роль ізотонічного коефіцієнта і.

13. Як температура впливає на осмотичний тиск за законом Вант-Гоффа?
14. Яке практичне значення має визначення ізотонічної концентрації методом де-Фріза?
15. Чому мертві клітини не плазмолізуються?
16. Як ушкодження мембран впливає на проникність і осмотичні явища (на прикладі пігментів буряка)?
17. Чому вода дифундує з 10% сахарози до 10% глюкози, розділених напівпроникною мембраною?
18. В якому напрямку піде вода між 0,5 М KCl і 0,5 М CaCl₂? Поясніть через і.
19. Як змінюються Р, Т і S протягом сонячного дня у клітинах листка? Коли S найбільша?
20. Артефакти і похибки: які типові помилки призводять до хибної оцінки «початкового плазмолізу»?
21. Як поняття водного потенціалу узгоджується з тріадою Р–Т–S у рослинній клітині?

**Контроль рівня засвоєння пройденного матеріалу
(виконання в зошиті для самостійних завдань):**

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Основна література

1. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2004. 463 с. (С. 95–128)
2. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин : підручник. Вінниця : Нова книга, 2006. 416 с. (С. 65–104).
3. Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Бацманова Л. М. Фізіологія рослин : підручник. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 392 с. (С. 139–176).
4. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д. Фізіологія рослин : навч. посіб. Біла Церква : УДАУ, 2009. 304 с. (С. 71–101).
5. Бессонова В. П., Яковлева-Носарь С. О. Фізіологія рослин : навч. посіб. Дніпро : Свідлер А. Л., 2014. 596 с. (С. 111–158, 159–170).

Додаткова література

1. Должицька А. Г., Панчук І. І. Фізіологія рослин : навч. посіб. Чернівці : ЧНУ, 2010. 168 с. (С. 54–80).
2. Молчанець О. В., Гурська О. С. Фізіологія рослин: лабораторний практикум : навч. посіб. Житомир : ЖНАЕУ, 2016. 212 с. С. 21–39; 40–47).
3. Прилуцька С. В., Бабицький А. І. та ін. Фізіологія рослин : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2023. 224 с. (С. 25–52).
4. Самойленко Т. Н., Самойленко М. О. Практикум з фізіології рослин : навч. посіб. Миколаїв : МНАУ, 2013. 413 с. (С. 41–58; 59–67).
5. Kramer P. J. Water Relations of Plants. New York : Academic Press, 1983. 489 p. P. 33–88.
6. Taiz L., Zeiger E. Plant Physiology. 5th ed. Sunderland, MA : Sinauer, 2010. 782 p. P. 67–116.

Інтернет-джерела

1. <https://global.oup.com/academic/product/plant-physiology-and-development-9781605357454>.
2. https://archive.org/details/waterrelationsof0000kram_v7q0.
3. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/1.1_0.pdf.
4. <https://www.khanacademy.org/science/biology/membranes-and-transport/osmosis/a/osmosis>.
5. <https://www.britannica.com/science/osmosis>.

Лабораторне заняття № 5

Тема: Транспорт води та розчинних речовин у клітину

Мета: Сформувати цілісне розуміння механізмів транспорту води й розчинених речовин у рослинну клітину: від водного потенціалу й осмосу до каналів, переносників і помп. Навчитися пов'язувати мембранні процеси з реальними функціями рослини – тургор, живлення, стійкість до солей/посухи, ріст.

Професійна спрямованість: Уміти пояснити, як добрива (N, P, K, мікроелементи) реально потрапляють у клітини кореня та як регулювати умови, щоб це справді працювало. Розуміти причини «солонного стресу», хлорозів, в'янення та ін. на рівні мембран і вчасно коригувати полив/живлення. Інтерпретувати лабораторні/польові дані (плазмоліз, зміни тургору, рН апопласту, провідність прорихів) через призму транспорту.

Теоретичні питання:

1. Пасивне надходження речовин у клітину: дифузія та полегшена дифузія.
2. Механізм транспорту йонів через мембрану /уніпорт, симпорт, апопорт/.
3. Активний транспорт: K^+ - Na^+ насос, Ca^{2+} -насос, протонна помпа. Їх значення для функціонування клітини.
4. Поняття про вибіркове нагромадження клітиною поживних елементів.
5. Мембранний електрохімічний потенціал.
6. Транспортні АТФ-ази.
7. Піноцитоз. Екзоцитоз. Ендоцитоз.
8. Аграрне значення мембранного транспорту: зв'язок параметрів водного потенціалу ґрунту, протон-мотивна сила та активність транспортерів (H^+ -АТФаза, NRT, AMT, HKT, PIP/TIP) з ефективністю кореневого й позакореневого живлення, вибором форм добрив (нітрат/амоній, хелати), режимом зрошення та толерантністю культур до засолення.

Практичне завдання

1. Визначення температурного порогу коагуляції (за Генкелем).

Обладнання: свіжі листки традесканції та цибуля, 1–М розчин сахарози чи кухонної солі в крапельницях, 0.02% розчин нейтрального червоного, великі та малі фарфорові товстостінні склянки (6 шт), склографи, пробірки, колби, електроплитка або водяна баня, термометри, леза, препарувальні голки, мікроскопи, предметні і покривні скельця, скляні палички, смужки фільтрувального паперу.

Методика виконання практичного завдання:

Приготувати в шести великих, бажано в фарфорових і товстостінних склянках водяні бані з температурами 48, 50, 52, 54, 56, 58⁰ С, змішуючи попередньо нагріту воду з холодною. На стаканах зробити надписи.

Занурити одночасно в водяні бані пробірки з водою такої ж температури (по 56 мл), підтримуючи встановлену відповідну температуру постійним доливанням окропу.

Швидко приготувати по 12 зрізів епідермісу цибулі для однієї бригади 1 по 12 зрізів епідермісу традесканції для другої бригади. Помістити по два зрізи в пробірки, які вже знаходяться в відповідних водяних банях.

Через 10 хв зрізи виїняти з пробірок за допомогою пензлика чи препарувальної голки. Виймати їх потрібно в тій же послідовності, в якій вносились. Потім перенести на позначені предметні скельця.

Якщо клітини не пігментовані, то їх потрібно зафарбувати, витримавши в розчині

нейтрального червоного протягом 10–15 хв.

Відсмоктати розчин барвника фільтрувальним папером, нанести на зрізи по краплі 1М розчину сахарози або кухонної солі (тобто плазмолітика), накрити зрізи покривними скельцями і залишити на 15–20 хв.

Зрізи по черзі розглянути в мікроскоп. Записати результати в таблицю:

РОСЛИНА	ТЕМПЕРАТУРА, °C					
	48	50	52	54	56	58

Позначаючи знаком "+" плазмоліз і знаком "–" його відсутність.

Зробити висновки, співставляючи температурний поріг коагуляції білків цитоплазми в різних рослинах.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу

(виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Що таке водний потенціал (ψ_w) і з яких компонентів він складається?
2. Чим відрізняються осмотичний потенціал (ψ_s) і тисковий/тургорний потенціал (ψ_p)?
3. Визначення осмосу та різниця між осмосом і простою дифузією.
4. Полегшена дифузія: що це, які білки забезпечують (канали vs переносники), у чому насичуваність процесу?
5. Приклади уніпорту, симпорту та антипорту у рослинних мембранах.
6. Що таке протонна помпа плазмалеми, її роль у створенні електрохімічного градієнта?
7. Чим відрізняються Р-, V- та F-типи АТФаз за локалізацією та функцією?
8. Чому у вищих рослин немає Na^+/K^+ -АТФази тваринного типу, і як рослини виводять Na^+ ?
9. Поясніть поняття «вибіркове нагромадження» йонів у клітині; роль тонопласту і вакуолі.
10. Мембранний потенціал ($\Delta\psi$): від чого залежить, базові уявлення про рівняння Нернста.
11. Протонний рушійний потенціал (Δp): складові ($\Delta\psi$ і $\Delta p\text{H}$) та його значення для вторинного активного транспорту.
12. Аквапорини: типи (PIP/TIP), регуляція та вплив на гідравлічну провідність тканин.
13. Як зміниться тургор клітини при перенесенні з гіпотонічного в ізотонічний і гіпертонічний розчини?
14. Приклади транспортерів для NO_3^- , H_2PO_4^- та K^+ і що є «рушійною силою» їх роботи.
15. Що таке Доннан-рівновага і як вона сприяє нагромадженню йонів?
16. Роль аніонних і калієвих каналів у регуляції проривів.

17. Чому екзоцитоз важливий для росту клітинної стінки та «кислотного росту»?
18. Клатрин-опосередкований ендоцитоз: що внутрішньо «перевантажує» клітина і для чого це потрібно?
19. Як абіотичні стреси змінюють осморегуляцію і роботу транспортерів?
20. Які інгібітори використовують для ідентифікації ролі АТФаз і котранспорту?
21. Які методи вимірювання/оцінки транспорту в навчальній лабораторії доступні без складного обладнання?

Рекомендована базова література

1. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник (2-ге, доп. і перероб.) Київ : Либідь, 2005. 806–808 с. (С. 28–97, 98–134, 258–351).
2. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Дрозд П. Ю. Фізіологія рослин : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2023. 224 с. (С. 43–75, 127–146).
3. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2004. 463–464 с. (С. 51–86, 320–360).
4. Скляр В. Г. Екологічна фізіологія рослин : підручник / за заг. ред. Ю. А. Злобіна. Суми : Університетська книга, 2018. 271 с. (С. 71–110, 111–145).
5. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології : підручник. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 360–504 с. (С. 85–122).

Допоміжна література

1. Григорчук І. Д. Фізіологія рослин : курс лекцій. Кам'янець-Подільський : К-ПНУ ім. І. Огієнка, 2021. 180–194 с. (С. 55–92, 120–148).
2. Заболотний О. І. Фізіологія рослин : опорний конспект лекцій. Умань : Уманський НУС, 2016. 116 с. (С. 39–49, 74–88).
3. Славний П. С., Таран Н. Ю., Мусієнко М. М. Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть : монографія. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 224 с. (Розд. 2–3).
4. Лось С. А. Фізіологія рослин : конспект лекцій. Дніпро : ДДАЕУ, 2019. 120 с. (С. 28–54, 70–92).
5. Екологічна фізіологія рослин : підручник / ред. Ю. А. Злобін. Суми : Університетська книга, 2015. 271 с. (С. 55–104, 105–140).

Інформаційні ресурси (онлайн)

1. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/1.1_0.pdf . НУБіП України
2. <https://biology.udau.edu.ua/assets/files/fizros-lektion.pdf>
3. biology.udau.edu.ua
4. https://irbis-nbuv.gov.ua/.../UBJ_2006_63_4_19.pdf
5. <https://repo.snau.edu.ua/handle/123456789/6265>
6. <https://enpuir.udu.edu.ua/.../download>
7. <https://plantphysiol-bio.univer.kharkov.ua/...materials...pdf> plantphysiol-bio.univer.kharkov.ua
8. <https://agro.snau.edu.ua/.../agro.snau.edu.ua>
9. https://pidru4niki.com/86599/ekologiya/vodniy_rezhim

Лабораторне заняття № 6-7

Розділ: «Водообмін рослинного організму»

Тема: Водообмін рослинного організму. Транспірація і її роль в житті рослин

Мета: Сформувати цілісне розуміння водообміну рослин: від ролі води та шляхів її надходження в корінь до механіки підняття по ксилемі й регуляції продихів. Засвоїти понятійний апарат (інтенсивність транспірації, відносна транспірації, продуктивність транспірації, транспіраційний коефіцієнт), механізми транспірації (продихова, кутикулярна, лентикулярна), рушійні сили

висхідного потоку (градієнти водного потенціалу, когезія/адгезія, капілярні сили), явища «плачу» й гутації та їхній діагностичний зміст. Навчитися пов'язувати екологічні фактори з водним статусом рослин і продуктивністю.

Професійна спрямованість: Діагностика водного стресу: читання ознак в'янення, інтерпретація ψ_w (водного потенціалу), розуміння «коефіцієнта в'янення» ґрунту; вибір строків поливу та норм зрошення. Керування транспірацією: добір агроприйомів (мульчування, густота, формування листкового апарату), антидесиканти, живлення Са/К для керування продихами. Живлення і водний режим: розуміння складу пасоки «плачу» та гуті й наслідків для мінерального живлення та діагностики дефіцитів/надлишків. Оцінка водовитрат і продуктивності: розрахунок транспіраційного коефіцієнта ($\text{г H}_2\text{O} / \text{г сухої речовини}$) та продуктивності транспірації ($\text{г сухої речовини} / \text{кг H}_2\text{O}$), порівняння сортів і технологій.

Теоретичні питання:

1. Фактори життя зелених рослин і їх незамінність.
2. Значення води в житті рослини.
3. Розвиток вчення про водообмін у рослин.
4. Поглинання води коренем. Механізми поглинання, симпластний та апопластний шляхи транспорту води.
5. "Плач" та гутація у рослин. Склад пасоки "плачу" та гуті.
6. Листок як орган транспірації.
7. Види транспірації: продихова, кутикулярна та лентикулярна, їх співвідношення в онтогенезі листка.
8. Механізми регулювання відкривання та закривання продихів.
9. Характеристика основних параметрів: інтенсивність транспірації, відносна транспірація, продуктивність транспірації, транспіраційний коефіцієнт.
10. Вплив екологічних факторів на процес транспірації.
11. Шляхи, рушійні сили та механізм висхідного шляху води по ксилемі.
12. Теорія зчеплення /когезія/. Праці С.П.Вотчала і Е.Діксона.
13. Механізми пасивного підняття води в ксилемі за рахунок капілярних сил.
14. Коефіцієнт в'янення.

Практичні завдання:

1. Порівняння транскрипції верхньої і нижньої частини листка хлор кобальтовим методом.
2. Вивчення водообміну гілки сосни.
3. Визначення інтенсивності транспірації методом швидкого зважування (метод Іванова).
4. Визначення стану продихів за допомогою відбитків (за Молотковським).

Обладнання: будь-яка кімнатна рослина, смужки хлоркобальтового паперу, предметні скельця (або скріпки та шматочки плівки), нитки, пінцети, стакани з водою, склянки чи циліндри, гілочки сосни, скальпеля, пластилін, водопровідна вода, ваги, склогограф, скляний посуд з підібраними корками, які мають отвори для гілки.

Методика виконання практичного завдання:

1. Порівняння транспірації верхньої і нижньої частини листка хлоркобальтовим методом.

Висушений хлор кобальтовий папір має блакитний колір. При поглинанні парів води він стає рожевим. За швидкістю зміни блакитного кольору на рожевий судять про інтенсивність транспірації.

Не торкаючись пальцями хлор кобальтового паперу, наріжте смужки шириною 8–10 см. Візьміть дві блакитні смужки пінцетом, прикладіть до верхнього і нижнього боку листка. На смужку прикладіть предметні скельця і затисніть їх нитками (або візьміть затисніть смужку хлоркобальтового паперу шматочком плівки та надіньте на згин скріпку).

Спостерігайте за зміною хлоркобальтового паперу, зробіть висновки і запишіть результати.

Висновок:

2. Вивчення водообміну гілки сосни.

Налийте в посудину води (на $\frac{3}{4}$ об'єму). Низ гілки сосни очистіть від хвої, зробіть косий зріз стебла і закріпіть гілку в отворі пробки. Щілини між гілкою і отвором щільно закрийте пластиліном.

Змонтуйте установку (гілку опустіть в посудину з водою і щільно закрийте пробкою).

Зважте установку (посудину з гілкою). Відмітьте час. Через 30 хв. проведіть повторне зважування.

Визначте кількість води, що випарувалася за цей час.

Обірвіть хвою і зважте її.

Знайдіть поверхню випаровування, виходячи з того, що 1 г сирої хвої відповідає поверхні 33 см^2 . Обчисліть інтенсивність транспірації ($\text{г/м}^2 \cdot \text{год.}$).

Варіант	Вага банки з водою, г		Вага установки, г		Кількість води, г		Вага хвої, г	Поверхня хвої, см^2	Інтенсивність транспірації, $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$
	Вихідний	Через 45 хв	Вихідний	Через 45 хв	Поглинена	Випарена			
Гілка									

Висновок:

3 Визначення інтенсивності транспірації методом швидкого зважування (метод Іванова).

Обладнання: кімнатні рослини, торсійні ваги, технічні ваги з гирями, ножиці, скальпель, чашки Петрі, нитки, міліметровий папір, олівець, фільтрувальний папір, водопровідна вода в склянках.

Налити води в чашку Петрі майже до країв, зважити її на вагах з точністю 0,01 г.

Встановити торсійні ваги і перевірити нульову точку. Закрити аретир і зняти з гачка чашечку.

Зрізати листок з невеликим відрізком черешка, підвісити його до гачка торсійних ваг за допомогою нитки з петлею на кінці. Швидко зважити і записати час першого зважування.

Об'єкт	Час		Тривалість дослід, хв	Вага, г		Зменшення ваги, г	Площа, см ²
Пагін							
Посудина з водою							

Через 5 хв. зробити друге зважування і відмітити час. Закрити аретир і зняти листок з гачка.

Для визначення поверхні листка провести послідовно таку роботу: на міліметровому папері обвести олівцем листок, вирізати і зважити фігуру листка з міліметрового паперу.

Вирізати квадрат 4x4 см з такого ж міліметрового паперу і зважити. Площу листка обчислити за пропорцією $A/B = C/S$, де А – маса квадрату; В – маса фігури; С – площа квадрату; S – площа листка.

Через 30 хв. провести друге зважування чашки Петрі з водою. Визначити поверхню випаровування з чашки (площу), вимірявши внутрішній її діаметр.

Інтенсивність транспірації ІТ (г/м² * год) вирахувати за формулою:

$$IT = \frac{n * 10000 * 60}{S * t}$$

де **n** – кількість води, що випарувалась, г; **S** – площа, см²; **t** – експозиція (тобто час), хв.; **10000** – коефіцієнт перетворення см² в м²; **60** – коефіцієнт перетворення хвилин в години.

Вирахувати:

- інтенсивність вільного випаровування (ІЕ) за тією ж формулою.
- відносну транспірацію ІТ /ІЕ.

Зробити висновок про регуляцію листком процесу транспірації (ІТ/ІЕ менше 0,5) вважається низькою.

Висновок:

4. Визначення стану продихів за допомогою відбитків (за Молотковським)

Обладнання: кімнатні рослини, тонкі скляні палички, пінцети, мікроскопи, предметні та покривні скельця, водопровідна вода в крапельницях, свіжі листки традесканції або іншої рослини, скальпелі, леза, 1–М розчин сахарози чи кухонної солі в крапельницях, 5% розчин гліцерину в крапельницях, препарувальні голки, смужки фільтрувального паперу.

Метод Молотковського застосовується в лабораторіях і в польових умовах. Він дає змогу одержати відбитки епідермісу з продихів. Розглядаючи їх в мікроскоп, можна визначити кількість і розміри продихів, а також виміряти ширину продихових щілин (якщо є об'єкт – мікрометр та окуляр-мікрометр. Нанести тоненький мазок прозорого лаку на листки затемнених та освітлених будь-яких кімнатних рослин. Після повного висихання, через 1–3 хв. обережно зняти плівку пінцетом, покласти її на предметне скло (скло по краях плівки змочити водою, щоб вона тимчасово приклеїлась) і розглянути при великому і малому збільшенні без покривного скельця

Співставити розміри продихових щілин на затемнених і освітлених листках.

Дослідити таким чином листки різних ярусів однієї і тієї ж рослини. Поясніть і зробіть відповідні висновки. Замалювати.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Які фактори життя зелених рослин є незамінними та як проявляється їх лімітуюча дія для водообміну?
2. Чому вода – універсальний розчинник і терморегулятор у рослині? Назвіть 3 ключові функції води.
3. Стисло охарактеризуйте етапи розвитку вчення про водообмін (поняття водного потенціалу, транспірації, кавітації).
4. Поясніть апопластний і симпластний шляхи надходження води в корені та роль смужок Каспарі.
5. Що таке «плач» (виділення ксилемного соку) і гутація? Чим відрізняються канали виведення (рани/ксилема vs гідатоди) і склад рідини?
6. Які анатомічні особливості листка забезпечують транспірацію (епідерма, кутикула, продихи, мезофіл, межовий шар повітря)?
7. Продихова, кутикулярна і лентикулярна транспірація: визначення, відносний внесок і зміни в онтогенезі листка.
8. Молекулярно-фізіологічний механізм відкривання/закривання продихів (H^+ -АТФаза, K^+ -канали, аніонні канали, АВА, світло/ CO_2).
9. Дайте означення та одиниці виміру: інтенсивність транспірації (Е), відносна транспірація, продуктивність транспірації (ПТ), транспіраційний коефіцієнт (ТК).

10. Що таке VPD (дефіцит насичення пари) і як він впливає на E та stomatal conductance (g_s)?
11. Які екологічні фактори (світло, температура, вітер, вологість повітря/грунту, солоність) найсильніше змінюють транспірацію й чому?
12. Опишіть шлях і рушійні сили руху води по ксилемі від кореня до листка; що таке градієнт водного потенціалу (ψ_w)?
13. Теорія когезії-тензії (Вотчал, Діксон): суть, експериментальні підтвердження та обмеження.
14. Яку роль відіграють капілярні сили в ксилемі й чому їх недостатньо без випаровування з листка?
15. Що таке кавітація/емболія та які є механізми її запобігання/ремонту в рослин?
16. Як аквапорини кореня і листка впливають на гідрравлічну провідність та добовий профіль транспірації?
17. Як виміряти водний статус листка: RWC, прес-камера, психрометр?
18. Що визначає товщину межового шару повітря над листком і як це впливає на E ?
19. Як будують добові криві E та g_s і що з них можна сказати про ізогідричну/анізогідричну поведінку видів?
20. Як розрахувати ТК і ПТ за польовими даними про врожай і витрати води? Наведіть приклад.
21. Коефіцієнт в'янення ґрунту: визначення, польовий сенс і зв'язок із плануванням зрошення.

Рекомендована базова література

1. Бессонова В. П., Яковлева-Носарь С. О. Фізіологія рослин : навч. посіб. Дніпро : Свідлер А. Л., 2014. 500 с. (С. 83–130, 305–330).
2. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології : підручник. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 360 с. (С. 85–122).
3. Заболотний О. І. Фізіологія рослин : опорний конспект лекцій. Умань : Уманський НУС, 2016. 116 с. (С. 40–49, 50–61).
4. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник. Суми : Універсальна книга, 2004. 464 с. (С. 51–90, 310–340).
5. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с. (С. 57–104, 215–244).
6. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник (2-ге, доп. і перероб.). Київ : Либідь, 2005. 808 с. (С. 98–134, 258–320).
7. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Дрозд П. Ю. Фізіологія рослин : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2023. 224 с. (С. 66–75).
8. Скляр В. Г. Екологічна фізіологія рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2015. 272 с. (С. 71–110, 111–145).
9. Славний П. С. (уклад.) Фізіологія рослин : практикум. Луцьк : Тернограф, 2009. 420 с. (С. 45–78, 201–235).

Допоміжна література

1. Білявська Л. О., Колупаєва Т. В. Фізіологія рослин : навч.-метод. матеріали. Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2024. 52 с. (Розд. «Водний обмін: водний потенціал, активність води, транспірація»).
2. Григорчук І. Д. Фізіологія рослин : курс лекцій. Кам'янець-Подільський : К-ПНУ, 2021. 180 с. (С. 55–92, 120–148).
3. Лось С. А. Фізіологія рослин : конспект лекцій. Дніпро : ДДАЕУ, 2019. 120 с. (Розділи «Водний режим», «Транспірація»).
4. Мусієнко М. М. (ред.) Фізіологія рослин : практикум. Київ : Вища школа, 1995. 191 с. (С. 21–44, 145–170).
5. Скляр В. Г., Тихонова О. М. Екологічна фізіологія рослин : метод. вказівки до лаб. робіт. Суми : СНАУ, 2016. 44 с.

Інформаційні ресурси

1. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/1.1_0.pdf
2. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/fiziologiya_roslin.ch2_2_0.pdf
3. <https://biology.udau.edu.ua/assets/files/fizros-lektion.pdf>
4. <https://dSPACE.hnpu.edu.ua/bitstreams/6c637464-afb7-4a01-bae6-8a89b749b38c/download>
5. https://biology.univ.kiev.ua/images/stories/Upload/Kafedry/FER/programy/fyzyologiya_roslyn_slavny_zaoch.pdf
6. <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/14881>
7. https://biomed.knu.ua/images/stories/Napryamy_pidgotovky/Landscape_design/Navchalni_discypliny/2021/2021_Fiziologiya_Roslyn_denna_compressed.pdf
8. <https://core.ac.uk/download/pdf/186337696.pdf>

Лабораторне заняття № 8 **Розділ: « Фотосинтез»**

Тема: Пластидні пігменти

Мета: Сформуванати цілісне уявлення про пластидні пігменти (хлорофіли, каротиноїди, ксантофіли), їх локалізацію у тилакоїдних мембранах, спектральні властивості та роль в енергетичних і захисних процесах фотосинтезу. Навчитися пов'язувати пігментний склад із будовою й онтогенезом хлоропластів (про пластиди як напівавтономні структури), дифузією CO₂ до місць карбоксилювання, типами асиміляції (C₃/C₄/CAM) і рухом/перерозподілом хлоропластів у клітині. Засвоїти базові експрес-методи якісного та кількісного аналізу пігментів і вміти інтерпретувати їх у фізіолого-екологічному контексті.

Професійна спрямованість: Уміти за пігментними індексами (співвідношення хлорофілів а/б, вміст каротиноїдів) і візуальними ознаками робити висновки про азотне/магнієве живлення, фотострес, старіння листка. Пояснювати, як спектр і інтенсивність світла змінюють пігментний профіль та архітектуру листка (доцільність затінення, підсвітки, добору сортів «сонце/тінь»). Інтерпретувати показники продуктивності фотосинтезу (включно з роллю пігментів у нефотохімічному гасінні – NPQ) при стресах тепла, посухи, високого світла. **Якість продукції.** Розуміти вплив пігментів на колір і антиоксидантні властивості зелених культур, плодів; добирати технологічні прийоми для збереження/підвищення вмісту корисних пігментів.

Теоретичні питання:

1. Історія відкриття та вивчення фотосинтезу.
2. Значення фотосинтезу у природі, його космічна роль.
3. Типи асиміляції вуглекислоти як адаптивні пристосування у рослин до умов існування.
4. Фоторедукція. Фотоавтотрофи – фоторедуктори.
5. Поняття про хемосинтез. Праці С.М.Виноградського.
6. Листок – основний орган фотосинтезу.
7. Дифузія CO₂ в листок до місць карбоксилювання.
8. Хлоропласти – мікроструктури, що здатні до самостійного фотосинтезу.
9. Субмікроскопічна будова хлоропластів.
10. Хімічний склад хлоропластів.
11. Походження і онтогенез хлоропластів.
12. Напівавтономність хлоропластів.
13. Хлоропласти – "депо ферментів".
14. Рух хлоропластів.

Практичні завдання:

- 1.Добування спиртової витяжки суміші пігментів зеленого листка.
- 2.Добування бензинової витяжки каротиноїдів з коренеплоду моркви.
- 3.Розділення пігментів методом Крауса.
- 4.Розглянути спиртову витяжку пігментів зеленого листа в наскрізному і відбитому світлі.
Флуоресценція хлорофілу.
- 5.Визначення спектрів поглинання зелених і жовтих пігментів.

Обладнання: свіже листя китайської рози або аспедистри (можна замінити 2 – тижневими проростками жита), морква, тертка, шпателі, фарфорові ступки, ножиці, круглі паперові фільтри, пробірки в штативах, мірні піпетки, склянки, лійки, скляні палички, товчене скло, етиловий спирт 96 °, терта крейда, колби з підібраними корками, шпателі, авіаційний бензин, марлевий фільтр, вода в крапельницях, мірні циліндри.

Методика виконання практичного завдання:

1. Добування спиртової витяжки пігментів зеленого листка.

Свіжі листки зелених рослин (кімнатні рослини) подрібнюють ножицями, нарізаючи у фаянсові ступки. На кінчик ланцета беруть CaCO_3 і на повне лезо ланцета беруть товчене скло, висипають все це в ступку, добре розтирають. Порціями добавляють етиловий спирт.

Дають можливість рідині настоятись (5 хв).

Далі фільтрують через паперовий фільтр на лійці, що в скляній посудині.

Потім фільтрат розливають в пробірки для проведення дослідів.

Добута спиртова витяжка пігментів має яскравий зелений колір.

Висновок:

2. Добування бензинової витяжки каротиноїдів.

Коренеплід моркви миють, чистять, труть на тертку. Переносять за допомогою шпателя в колбу, що герметично закривається. Доливають авіаційного бензину. Через 12–24 години фільтрують на марлевий фільтр і одержують яскраво–оранжеву бензинову витяжку каротиноїдів. Тримують в герметичній посудині.

Висновок:

3. Розділення пігментів методом Крауса

У пробірку наливають 2–3 мл спиртової витяжки пігментів, 3–4 мл бензину авіаційного і 2–3 краплі води. Закривають пробірку великим пальцем і на протязі 0,5 хв добре струшують. Ставлять пробірку в штатив, спостерігають і роблять відповідні висновки.

Верхній бензиновий шар забарвлюється у зелений колір завдяки кращій розчинності в ньому хлорофілу. У цьому шарі міститься і каротин, але його забарвлення маскується хлорофілом так само, як і в зеленому листку. У нижньому спиртовому шарі залишається ксантофіл, а тому цей шар матиме золотисто-жовтий колір. Якщо нижній шар мутніє, додають декілька крапель спирту. Дослід замальовують.

Висновок:

4. Флуоресценція хлорофілу

Обладнання: електрична лампа, пробірки різної величини, спиртова витяжка пігментів зеленого листка, чорний папір, штативи, спектроскопи, спирт 96⁰, бензин, бензинова витяжка з коренеплоду моркви.

Одержати концентровану спиртову витяжку хлорофілу, налити повну пробірку. Пробірку розмістити над чорним екраном, в якому є невеликий отвір. Вимкнути світло в аудиторії і ввімкнути електролампку, розміщену під екраном. Розглянути витяжку в наскрізному світлі, яке концентрованим пучком світить з отвору в екрані. Який колір мала витяжка пігментів при звичайному освітленні? Який колір мала витяжка пігментів в наскрізному світлі? Чому? Що це за явище? Як ви його розумієте? Зробіть відповідні висновки.

Висновок:

5. Спектри вбирання пігментів

Направити спектроскоп на джерело світла. Відрегулювати його так, щоб отримати чіткий спектр з семи кольорів. Налити досліджуваний розчин в пробірку, помістити її перед щілиною спектроскопа. Вивчити спектри поглинання розчинів хлорофілу різної концентрації, розбавляючи витяжку спиртом у відношеннях: 1:1; 1:5; 1:10. Для порівняння розглянути спектр поглинання бензинової витяжки каротину. Заповнити таблицю.

РОЗЧИН	РОЗВЕДЕННЯ ВИТЯЖКИ	Ф	С	Г	З	Ж	О	К
Хлорофіл	1:10							
	1:5							
	1:1							
	Нерозведений розчин							
Каротин	Нерозведений розчин							

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Ключові віхи історії фотосинтезу: від Дж. Ван-Гельмонта та Я. Ингенгауза до Рубена й Калвіна – що саме довів кожен?
2. Охарактеризувати поняття «Космічна роль» фотосинтезу: як процес змінив атмосферу, кругообіг С/О та біосферну енергетику.
3. Типи асиміляції CO₂: C₃, C₄, САМ – де, чому й які пігментні/анатомічні адаптації?
4. Фоторедукція: що саме відновлюється світлом у хлоропласті; фотосистеми I/II та донори/акцептори електронів.
5. Хемосинтез: внесок С. М. Виноградського; чим він відрізняється від фотосинтезу за джерелом енергії та пігментами.
6. Листок як орган фотосинтезу: анатомічні передумови ефективного уловлювання світла та постачання CO₂.
7. Дифузійний шлях CO₂: повітря → продох → міжклітинники → стінка → плазмалема → строма; де найбільші опори?
8. Хлоропласт як «самостійна фотофабрика»: які функції повністю в ньому, а що потребує взаємодії з ядром/мітохондрією.
9. Субмікроскопічна будова: тилакоїди, грани, стромальні ламели – хто за що відповідає у світловій фазі.
10. Хімічний склад хлоропластів: пігменти (хлорофіли а/б, каротиноїди), ліпіди, білки (LHC, Рубіско), ДНК/РНК.
11. Походження та онтогенез: від пропластидів/етіопластів до функціональних хлоропластів; роль світла і POR (прото хлорофілідредуктази).
12. Напівавтономність: срДНК, власні рибосоми, але ядерний контроль більшості білків – приклади двоспрямованого імпорту/експорту.
13. «Депо ферментів»: які ключові ферменти строми й тилакоїдної мембрани локалізовані в хлоропласті (Рубіско, ФНАД-редуктаза, АТФ-синтаза, ферменти циклу Кальвіна).
14. Рух хлоропластів: синє світло, фототропіни, мікротрубочки/актин.
15. Пігментно-білкові комплекси LHC: роль хлорофілу а/б і ксантофілів у зборі енергії та фотозахисті.
16. Спектри поглинання/флуоресценції: які довжини хвиль характерні для Chl a, Chl b, каротиноїдів; чим корисні ці піки.
17. Ксантофільний цикл: механізм нефотохімічного гасіння (NPQ) та його значення при надлишку світла.
18. «Стани» фотосистем: перерозподіл збудження між PSI/PSII; роль LHCIІ-фосфорилування.
19. Співвідношення Chl a/б: що воно показує (листок «сонце/тінь», онтогенез, стрес) і типові діапазони.

20. Фотопошкодження PSII (фотопригнічення): що відбувається з білком D1 і як рослина відновлює ФСII.
21. Методи аналізу пігментів і стану ФС: екстракція + спектрофотометрія, ТШХ/ВЕРХ, флуоресценція.

Рекомендована базова література

1. Заболотний О. І. Фізіологія рослин: опорний конспект лекцій. Умань: УНУС, 2016. 116 с. (С. 50–58).
2. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник. Київ: Либідь, 2005. 808 с.
3. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Дрозд П. Ю. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2023. 224 с. (С. 66–75).
4. Фізіологія рослин: курс лекцій (уклад. І. Д. Григорчук). Кам'янець-Подільський: КПНУ, 2019. 170 с.
5. Фізіологія рослин: практичні заняття. Ред. Г. В. Грицаєнко. Київ: НУБіП, 2014. 87 с. (С. 48–52).

Допоміжна література

1. Адамкович Н. В. Визначення вмісту каротиноїдів та хлорофілів у рослинній сировині: метод. розділ бакалаврської роботи. Чернівці: ЧНУ, 2024. 83 с. (С. 60–68).
2. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: Нічлава, 2003. 316–320 с.
3. Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин: навч. посібник. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 200 с. (С. 97–99).

Інформаційні ресурси

1. http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4827/1/Samoilenko_T.Fiz_rosl_Lab.pdf
2. http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7067/1/Fizioloohia%20roslyn_Modul_3.pdf
3. http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/navchalna_praktyka_fiziologiya_roslyn_0.pdf
4. <http://man.te.ua/wp-content/uploads/2024/01/fiziologiya-roslyn.pdf>
5. http://chtyvo.org.ua/authors/Perfilieva_Maiia/Botanika_Laboratorni_roboty.pdf
6. <http://biology.udau.edu.ua/assets/files/fizros-lektion.pdf>
7. http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/elcat/new/detail.php3?doc_id=770909
8. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/4/26.pdf>
9. <http://ubphj.nuph.edu.ua/article/view/225296/227908>

Лабораторне заняття № 9

Розділ: «Фотосинтез»

Тема: Хімічні властивості хлорофілу

Мета: ознайомитися з хімічними властивостями хлорофілу як основного пігменту фотосинтезу, дослідити його стійкість до фізичних та хімічних факторів, визначити роль молекули хлорофілу у фотохімічних реакціях. Засвоїти значення хлорофілу для поглинання світлової енергії та її перетворення у хімічну енергію.

Професійна спрямованість: знання про будову та хімічні властивості хлорофілу формують у майбутніх агрономів розуміння механізмів фотосинтезу та його залежності від факторів середовища. Це дозволяє оцінювати вплив агротехнічних прийомів (живлення, освітлення, регулятори росту, стресові фактори) на продуктивність фотосинтетичного апарату рослин і приймати практичні рішення для підвищення врожайності та якості сільськогосподарських культур.

Теоретичні питання:

1. Пластидні пігменти: хлорофіли, каротиноїди, фікобіліни, їх фізичні, хімічні та оптичні властивості.
2. Біосинтез хлорофілів, каротиноїдів, фікобілінів, залежність біосинтезу від зовнішніх і внутрішніх факторів.
3. Поняття про непластидні пігменти – антоціани, флавори і флавоноли.
4. Роль пігментів у пристосуванні рослин до умов освітлення.
5. Енергетика і хімізм фотосинтезу.
6. Фотосинтез, як процес поєднання світлових і темнових реакцій.
7. Поняття про фотосистеми, реакційні центри і фотосинтетичні одиниці.
8. Фотофізичний етап світлової стадії фотосинтезу. Механізм участі хлорофілу у фотосинтезі. Рівні збудження хлорофілу молекули та їх значення для фотосинтезу.
9. Квантові витрати та квантовий вихід у процесі фотосинтезу.
10. Ефект Емерсона та його значення.
11. Фотохімічний етап світлової стадії фотосинтезу. Циклічний транспорт електронів. Фотосинтетичне фосфорилування, механізм утворення АТФ.
12. Локалізація, будова і функціонування другої фотосистеми.
13. Нециклічний транспорт електронів. Фотоліз води, утворення відновника НАДФ·Н₂ і виділення кисню.
14. Продукти світлової стадії фотосинтезу та шляхи їх використання.

Практичні завдання:

1. Омилення хлорофілу лугом.
2. Одержання феофітину і відновлення металорганічного зв'язку.
3. Трифазний спосіб розділення пігментів листка.

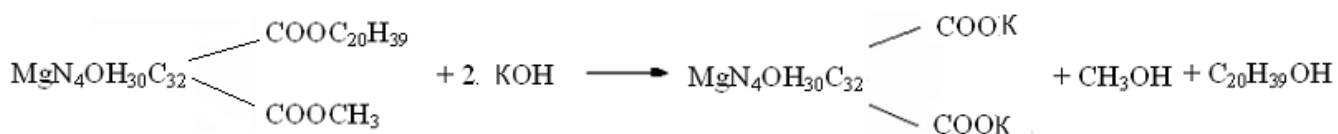
Обладнання: етиловий спирт 96%, спиртова витяжка пігментів, пробірки в штативах, мірні піпетки, 20% розчин КОН або NaOH в колбах, вода в крапельницях, бензин авіаційний, 10% розчин HCl, ланцети, ацетат цинку, спиртівки, сухий спирт, сірники, пробіркотримачі, терта крейда, мірні циліндри, 30–35% розчин КОН або NaOH.

Методика виконання практичного завдання:

1. Омилення хлорофілу лугом.

У пробірку наливають 2–3 мл спиртової витяжки пігментів зеленого листа, додають 1 мл 20% розчину КОН або NaOH і 2–3 краплі води. Доливають у пробірку однаковий об'єм бензину, закривають пробірку сильно збовтують 1–2 хв. Після збовтування спостерігають, як суміш розподіляється на два шари: верхній (бензиновий) – жовтого кольору і нижній (спиртовий) – зеленого кольору. У верхньому жовтому шарі міститься каротин, а в нижньому зеленому – лужна сіль хлорофілінової кислоти і ксантофіл. Нижній шар буде зеленим від продуктів омилення хлорофілу. Замалювати і зробити відповідні висновки.

При додаванні луку до розчину хлорофілу відбувається реакція омилення хлорофілу: відщеплюються спирти фітол і метанол, а двоосновна кислота хлорофілу утворює сіль:



Висновок:

2. Одержання феофітину і зворотнє відновлення металоорганічного зв'язку.

Хлорофіли – магнієві солі піролу.

В основі молекули хлорофілу міститься порфіринове ядро, що складається з магнію і чотирьох пірольних кілець,

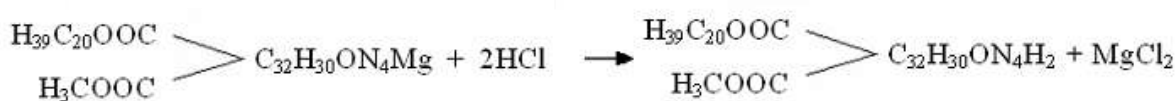
Хлорофіл добре взаємодіє з різними речовинами. Якщо за допомогою кислоти з молекули хлорофілу витіснити магній – утвориться продукт, що має *буре* забарвлення – *феофітин*.

Цей процес можна спостерігати в природних умовах: після осіннього приморозку змінюють колір листки та пелюстки квітів жоржин; після суворі зими озимина має бурий колір.

1. 2–3 мл спиртового екстракту пластидних пігментів з листків дослідних рослин помістити у дві пробірки (одна з яких – контрольна). В першу пробірку додати 2–3 краплини 20% розчину соляної кислоти. Зелене забарвлення змінюється на буре в результаті утворення феофітину.

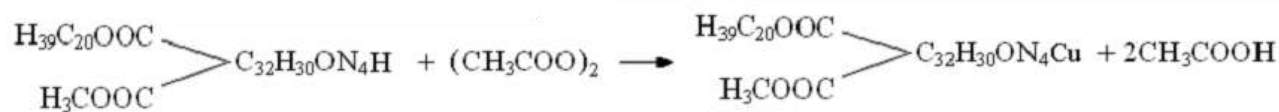
2. В контрольну пробірку додати 2–3 краплини води. Забарвлення залишається без змін. Висновки записати у таблицю.

3. В першу пробірку, де утворився феофітин (буре забарвлення), на кінчику скальпеля внести декілька кристалів ацетату міді (ацетату цинку). *Обережно (I)* нагріти на водяній бані. У випадку, якщо забарвлення не зміниться, додати більше реактиву



Замальовують пробірки з феофітином і цинк–похідним хлорофілом. Роблять висновок, про те, що зелене забарвлення хлорофілу зумовлене наявністю в його молекулі металоорганічного зв'язку.

Зелений колір відновлюється, буре забарвлення зникає. Висновки записати



Висновок:

3. Трьохфазний спосіб розділення пігментів

У пробірку наливають 2 мл спиртової витяжки пігментів. Додають 8 мл очищеного бензину і 5 мл лугу (NaOH чи KOH) 30–35 % концентрації. Співвідношення об'ємів відповідно: (1:4:2,5) сильно збовтують суміш і спостерігають трьохфазне розділення пігментів, яке відбувається на протязі 30–40 секунд. Верхній бензиновий шар – жовто-оранжевого кольору (містить каротини); середній спиртовий шар – зелений (містить хлорофіли); нижній водний шар – жовтуватий (містить ксантофіли та водорозчинні домішки). Замалювати схему пробірки з розподілом шарів та їх забарвленням. Зробити підпис: які пігменти у якій фазі розташовані.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Чим обумовлені різниці у спектрах поглинання $X_{\lambda a}$ та $X_{\lambda b}$ і як це пов'язано з положенням максимумів поглинання $\lambda_{\max}$ (довжина хвилі максимального поглинання)?
2. Як структура тетрапірольного (порфіринового) кільця хлорофілу та наявність центрального йона Mg^{2+} визначають фотохімічні властивості пігменту?
3. Порівняйте каротини і ксантофіли за будовою (наявність оксигеновмісних груп) та поясніть, як це впливає на їх функції як квенчерів АФК (активні форми кисню).
4. Які відмінності у біосинтезі хлорофілів і каротиноїдів у пластиді та як на нього діють світло ФАР (фотосинтетично активна радіація) і дефіцит N та Fe?
5. Поясніть роль фікобілінів у фікобілісомах (ФБС – білково-пігментні комплекси) ціанобактерій і водоростей та їх енергетичну взаємодію з РЦ (реакційні центри).
6. Як зміни рН у стромі та тилакоїдному просвіті впливають на стан пігментів і ефективність фотосинтетичного фосфорилування з утворенням АТФ?
7. Розкрийте поняття фотосистеми I (ФСІ) і фотосистеми II (ФСІІ), їх РЦ (P700 і P680) та роль у нециклічному транспорті електронів (ЕТЛ – електронтранспортний ланцюг).
8. У чому суть ефекту Емерсона (підсилення продуктивності при сумісному опроміненні червоним і дальньочервоним світлом) та що він довів щодо кооперації ФСІ і ФСІІ?

9. Поясніть різницю між циклічним транспортом електронів (через ФСІ) та нециклічним (через ФСІІ→ФСІ) і їх внесок у синтез АТФ та НАДФН (відновлена форма нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату).
10. Що таке фотоліз води в ВОК (водоокислюючий комплекс; або ще назва ОЕС oxygen-evolving complex – кисневиділяючий комплекс) ФСІІ, які проміжні стани Mn-кластера (марганцевий кластер) та як утворюється O_2 ?
11. Визначте квантовий вихід (кількість молекул продукту на один поглинутий квант світла) і квантові витрати (мінімальна кількість квантів на одну молекулу O_2 або відновника НАДФН); як їх експериментально оцінюють?
12. Як білки ЛНС (антенні комплекси) оптимізують поглинання ФАР і передавання енергії до РЦ, та яку роль відіграє нелінійна нефотохімічна гасіння флуоресценції NPQ (нефотохімічне гасіння)?
13. Поясніть природу зумовлених світлом змін флуоресценції хлорофілу (ChlF) та інформативність параметрів F_0 (мінімальна флуоресценція), F_m (максимальна) і F_v/F_m (квантовий вихід ФСІІ).
14. Які реакції складають фотофізичний етап (поглинання кванта, внутрішньомолекулярна конверсія, передача енергії Ферстера) і фотохімічний етап (зарядовідділення у РЦ) світлової стадії?
15. Окресліть шляхи утворення АТФ у хлоропласті: хеміосмотична модель ($\Delta\mu$ – протонний рушійний потенціал, що складається з $\Delta\psi$ – мембранний потенціал і ΔpH – градієнт pH) і роль CF_0CF_1 -АТФ-синтази (мембранний фермент синтезу АТФ).
16. Яка роль переносників QA і QB (первинний і вторинний пластохінонові акцептори у ФСІІ), пластохінонового пулу PQ (пластохінон) та цитохромного комплексу b_6f у ЕТЛ?
17. Як фотозахисні механізми (NPQ – нефотохімічне гасіння; хантиновий цикл VAZ – віолаксантин–антероксантин–зеаксантин) попереджають переокиснення та утворення АФК (активні форми кисню)?
18. Поясніть, як світлова та темнова стадії з'єднані метаболічно: роль НАДФН (NADPH) та АТФ у відновленні 3-фосфогліцерату в циклі Кальвіна–Бенсона ($RuBP$ – рибулозо-1,5-бісфосфат; $RuBisCO$ – рибулозо-1,5-бісфосфаткарбоксілаза/оксигеназа).
19. Як зовнішні фактори – інтенсивність ФАР, спектральний склад, температура (t), забезпечення N та Mg^{2+} – змінюють вміст і співвідношення Хл а/б та каротиноїдів?
20. У чому полягає хімізм перетворень хлорофілу при кислотному деметалюванні до феофітину (втрата Mg^{2+}) та лужному омиленні (утворення солей хлорофілінової кислоти); як це відбивається на спектрах поглинання?
21. Яка термодинамічна ціна фіксації CO_2 : оцініть $\Delta G^{\circ'}$ (стандартна зміна вільної енергії Гіббса) та стехіометрію споживання АТФ і НАДФН на молекулу триозофосфату в циклі Кальвіна–Бенсона?

Рекомендована базова література

1. Бессонова В. П., Яковлєва-Носарь С. О. Фізіологія рослин : навчальний посібник. Дніпро : Свідлер А. Л., 2014. 500 с. (С. 235–272).
2. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології : підручник. Біла Церква : БДАУ, 2006. 504 с. (С. 210–252).
3. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2004. 464 с. (С. 185–236).
4. Кобилецька М. С., Терек О. І. Біохімія рослин : навчальний посібник. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2017. 270 с. (С. 156–175).
5. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с. (С. 100–116).
6. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник. Київ : Либідь, 2005. 808 с. (за потреби: С. 145–157).

- Панчук І. І., Должицька А. Г. Фізіологія та біохімія рослин : конспекти лекцій, тестові запитання та завдання : навчальний посібник. Чернівці : ЧНУ : Рута, 2020. 167 с. (С. 62–83).
- Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Бойко О. А., Дашченко А. В. Фізіологія рослин : навчальний посібник. Ч. II. Київ : НУБіП України, 2024. 215 с. (С. 87–112).
- Скляр В. Г.; за заг. ред. Ю. А. Злобіна. Екологічна фізіологія рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2015. 271 с. (С. 95–118).

Допоміжна література

- Брайон О. В., Чикаленко В. Г., Славний П. С. Фізіологія рослин : практикум. Київ : Вища школа, 1995. 191 с. (С. 30–38).
- Векірчик К. М. Практикум з фізіології рослин. Київ : Вища школа, 1984. 95 с. (С. 45–56).
- Волчовська-Козак О. Є. Малий практикум із фізіології рослин : навчально-методичний посібник. Івано-Франківськ : ПП Супрун, 2006. 76 с. (С. 27–34).
- Калініченко Н. А., та ін. Практикум з фізіології рослин : навчальний посібник. Кропивницький : ЦДПУ, 2023. 160 с. (С. 51–62).
- Негода О. В. Лабораторний практикум з дисципліни «Фізіологія рослин» : навчальний посібник для студентів аграрних університетів. Київ : Фітосоціоцентр, 2003. 112 с. (С. 39–46). (позиція згадується у навчальних програмах; прямий ПДФ рідкісний).
- Фізіологія рослин з основами біохімії. Практикум : навчально-методичне забезпечення. Київ : НУБіП, 2014. 64 с. (С. 49–52).
- Природничо-аграрні науки (МНАУ). Фізіологія рослин. Модулі 1–2 : методичні матеріали. Миколаїв : МНАУ, 2021. 71 с. (С. 6–11).
- Уманський НУС. Методичні вказівки з курсу «Фізіологія рослин». Умань : УНУС, 2015. 52 с. (С. 18–25).

Інформаційні ресурси

- http://files.znu.edu.ua/files/Site/biologyysnu/posibniki/Melnikov_Fiziologia.pdf
- http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/1.2_0.pdf
- <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9447/1/fiziologiya-roslin-modul-1-2.pdf>
- <http://man.te.ua/wp-content/uploads/2024/01/fiziologiya-roslyn.pdf>
- <http://biology.udau.edu.ua/assets/files/fiz-roslin-met.-karpenko-pritulyak.pdf>
- http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/fiziologiya_roslin.ch2_2_0.pdf

Лабораторне заняття №10

Розділ: «Фотосинтез»

Тема: Хімізм темної фази фотосинтезу

Мета: Зрозуміти хімізм темної стадії фотосинтезу: цикл Кальвіна–Бенсона, стехіометрію енерговитрат, порівняти С3/С4/С4М-шляхи, пояснити фотодихання, продукти (тріозофосфати, крохмаль, сахароза) та їх транспорт, регуляцію й зв'язок із продуктивністю.

Професійна спрямованість: Діагностувати обмеження фотосинтезу; коригувати живлення (азот, магній, фосфор), світло і вуглекислий газ; керувати співвідношенням джерело–стік, транспортом асимілянтів і запасанням; підвищувати продуктивність та якість врожаю у полі й теплиці.

Теоретичні питання:

- Темнова стадія фотосинтезу, історія її вивчення.
- С3– шлях фотосинтезу /цикл М.Кальвіна/.
- С4 – шлях фотосинтезу. Особливості первинного карбоксилювання в клітинах мезофілу та вторинного – в клітинах обкладки.

4. Переваги і недоліки С₄–фотосинтезу порівняно з С₃–шляхом засвоєння CO₂.
5. САМ –фотосинтез, його особливості та значення.
6. Інші шляхи перетворення вуглекислого газу при фотосинтезі.
7. Фотодихання, його особливості та фізіологічне значення.
8. Добовий хід фотосинтезу.
9. Регуляція фотосинтезу на різних рівнях організації.
10. Продукти фотосинтезу: первинні, проміжні, кінцеві. Напрямки засвоєння вуглекислоти.
11. Фотосинтетичне утворення вуглеводів, білків, жирів та органічних кислот. Транспорт та розподіл асимілятів в рослині.
12. Симпластний та апопластний шляхи паренхімного /близького/ пересування асимілянтів в листку. Флоемний /далекий/ транспорт асимілянтів.
13. Відкладання асимілянтів в запас.
14. Фотосинтез і врожай. Характеристика основних показників, від яких залежить розмір і якість врожаю.
15. Врожай біологічний та господарський. Роль різних органів у формуванні врожаю.
16. Шляхи підвищення інтенсивності фотосинтезу та продуктивності рослини. Світлокультура. Рослинництво закритого ґрунту.

Практичні завдання:

1. Розглянути вплив температури на інтенсивність фотосинтезу.
2. Вплив освітленості на фотосинтез.
3. Спостереження залежності фотосинтезу водних рослин від спектрального складу світла.

Обладнання: гілочка елодеї з верхівкою, вода в колбах, пробірки великі і малі, сода харчова, ланцети, пінцети, леза, ножиці, вода з холодильника, вода 35°C, термометри, вода кімнатної температури, настільна лампа, великі і малі циліндри, скляні палички, нитки, 1% розчин K₂Cr₂O₇, 4% розчин CuSO₄ насичений аміаком.

Методика виконання практичного завдання:

1. Вплив температури на фотосинтез

Гілочку елодеї з непошкодженою верхівкою поміщають зрізом вгору в пробірку з водою кімнатної температури, в яку добавили невелику кількість соди. Зачекати, коли кількість пухирців стане рівномірною і потім підрахувати їх протягом 5 хв.

Цю ж саму пробірку з водою і гілочкою елодеї помістити в посудину з охолодженою водою. Зачекати 3 хв., підрахувати протягом 5 хв.

Потім помістимо в посудину з підігрітою до 30 градусів водою, почекаємо 3 хв, підрахувати на протязі 5 хв. Увага! В усіх трьох випадках віддаляти від джерела світла не змінювати. Зробити відповідні висновки, а результати записати в зошит.

Висновок:

2. Вплив освітленості на фотосинтез

Цю ж саму пробірку з водою і гілочкою елодеї при однаковій і сталій температурі

розміщують від джерела світла на відстані 10 см. Підраховують кількість пухирців на протязі 3 хв, записують.

Пробірку розміщують на відстані 20 см від настінної лампи. Підраховують кількість пухирців на протязі 3 хв і записують.

Потім пробірку з гілочкою розміщують на відстані 30 см від настільної лампи. Підраховують кількість пухирців на протязі 3 хв і записують. Порівнюючи кількість пухирців виділеного кисню в залежності від відстані до джерела світла, роблять висновки про вплив освітленості на фотосинтез.

Висновок:

3 Спостереження залежності фотосинтезу водних рослин від спектрального складу світла

Примітка: дослід проводять у всіх трьох випадках при однаковій температурі і однаковій освітленості.

1. В зовнішній посудині знаходиться вода. Біле світло.
2. В зовнішній посудині знаходиться синій розчин (екран).
3. В зовнішній посудині знаходиться оранжевий розчин (екран).

Інтенсивність фотосинтезу визначають в усіх трьох випадках шляхом підрахування пухирців кисню на протязі 5 хв. Порівнюють, роблять висновки, записують одержані результати.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Що таке темнова стадія і чому вона залежить від продуктів світлових реакцій (АТФ; НАДФН)?
2. Які ключові результати дослідів з міченим вуглецем (^{14}C – радіоізоотоп вуглецю-14) дозволили встановити цикл Кальвіна–Бенсона?
3. Яка стехіометрія циклу на 3 CO_2 : чому потрібно 9 АТФ і 6 НАДФН?
4. Назвіть три фази С3-шляху: карбоксилювання RuBP (рибулозо-1,5-бісфосфат), відновлення до тріозофосфатів і регенерація RuBP; роль ферменту RuBisCO.
5. Як світло активує темнові ферменти через систему Fd–Trx (Fd – ферредоксин; Trx – тіоредоксин) та луження строми?
6. Чому зміни рН і концентрації Mg^{2+} у стромі впливають на швидкість темнових реакцій?
7. Що визначає продуктивність С3-шляху у різних t і CO_2 та чому зростає фотодихання за високої t?
8. У чому суть С4-шляху: первинне карбоксилювання PEP (фосфоенолпіруват) ферментом PEPCase (фосфоенолпіруваткарбоксилаза) в мезофілі та вторинне – у клітинах обкладки?
9. У чому специфіка САМ-фотосинтезу: нічне накопичення яблучної кислоти у вакуолях; показник WUE (ефективність використання води)?
10. Чому RuBisCO має оксигеназну активність і як CO_2/O_2 співвідношення задає фотодихання?
11. Опишіть С2-шлях (фотодихання): старт із 2-ФГК (2-фосфогліколат), роль пероксисоми і мітохондрії, енергетична ціна (АТФ).
12. Що таке добовий хід фотосинтезу і як на нього впливають g_s (провідність продохів) та освітлення ФАР (фотосинтетично активна радіація)?
13. Як індекс площі листя LAI і архітектоніка крони впливають на інтегральну фіксацію CO_2 ?
14. Які первинні/проміжні/кінцеві продукти: ТП (тріозофосфати: ГАП – гліцеральдегід-3-фосфат; ДГАП – дигідроксиацетонфосфат) і їхня доля?
15. Як працює переносник ТРТ (переносник тріозофосфат–фосфат) і чому баланс Рі (неорганічний фосфат) критичний?
16. Як утворюється крохмаль: ADP-Glc (аденозиндифосфоглюкоза) через AGPase (АДФ-глюкозопірофосфорилаза) у стромі?
17. Як синтезується сахароза в цитозолі: SPS (сахарозофосфатсинтаза) і SPP (сахарозофосфатфосфатаза) – регуляція?
18. Чим відрізняються симпластний і апопластний транспорт у листку та як K^+ впливає на флоемний потік?
19. Як і де відкладаються запаси: амілопласти (крохмаль), олійні тіла (ліпіди), органічні кислоти – регуляція сигналами?
20. Які показники «фотосинтез → урожай»: Рп (чиста асиміляція), НІ (частка врожаю) і їх обмеження?
21. Які технології підвищують інтенсивність: збагачення вуглекислим газом, світлодіодне освітлення, керування джерело–стік?

Рекомендована базова література

1. Бессонова В. П., Яковлева-Носарь С. О. Фізіологія рослин : навч. посіб. Дніпро : Свідлер А. Л., 2014. 596 с. (С. 250–296; 297–318).
2. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології : підручник. Біла Церква : БДАУ, 2006. 504 с. (С. 210–252; 253–270; 271–286).
3. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2004. 464 с. (С. 185–236).
4. Кобилецька М. С., Терек О. І. Біохімія рослин : навч. посіб. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2017. 269 с. (С. 176–214).
5. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с. (С. 116–149; 150–161).

6. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ : Либідь, 2005. 808 с. (С. 340–418; 419–442).
7. Панчук І. І., Должицька А. Г. Фізіологія та біохімія рослин : навч. посіб. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2020. 167 с. (С. 62–90; 91–104).
8. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г. та ін. Фізіологія рослин : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2024. 215 с. (С. 112–150; 151–170).
9. Скляр В. Г.; за заг. ред. Ю. А. Злобіна. Екологічна фізіологія рослин : підручник. Суми : Університетська книга, 2015. 271 с. (С. 118–145; 146–162).
10. Терек О. І., Пацула О. І. Ріст і розвиток рослин : навч. посіб. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 328 с. (С. 214–236; 237–250).

Допоміжна література

1. Брайон О. В., Чикаленко В. Г., Славний П. С. Фізіологія рослин : практикум. Київ : Вища школа, 1995. 191 с. (С. 60–85).
2. Векірчик К. М. Практикум з фізіології рослин : навч. посіб. Київ : Вища школа, 1984. 95 с. (С. 45–70).
3. Волчовська-Козак О. Є. Малий практикум із фізіології рослин : навч.-метод. посіб. Івано-Франківськ : ПП «Супрун», 2006. 76 с. (С. 27–40).
4. Калініченко Н. А., Крутова І. М., Прокопенко В. В. Практикум з фізіології рослин : навч. посіб. Кропивницький : ЦДПУ, 2023. 160 с. (С. 60–88).
5. Негода О. В. Лабораторний практикум з дисципліни «Фізіологія рослин» : навч. посіб. Київ : Фітосоціоцентр, 2003. 112 с. (С. 39–58; 59–64).
6. НУБіП України. Фізіологія рослин з основами біохімії. Практикум : навч.-метод. забезпечення. Київ : НУБіП, 2014. 64 с. (С. 35–44).
7. Самойленко Т. Г., Самойленко М. О., Рожок О. Ф. Фізіологія рослин : робочий зошит для проведення лабораторних робіт. Миколаїв : МНАУ, 2015. 64 с. (С. 18–33).
8. УНУС Методичні вказівки з курсу «Фізіологія рослин». Умань : УНУС, 2015. 52 с. (С. 18–30).
9. Факультет аграрних технологій МНАУ. Фізіологія рослин. Модулі 1–2 : метод. матеріали. Миколаїв : МНАУ, 2021. 71 с. (С. 20–36).
10. Войцехівська О. В., Капустян А. В., Косик О. І. та ін.; за ред. Т. В. Паршикової. Фізіологія рослин : практикум. Луцьк : Терен, 2010. 420 с. (С. 90–125).

Інформаційні ресурси

1. http://files.znu.edu.ua/files/Site/biologyysnu/posibniki/Melnikov_Fiziologia.pdf
2. http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4827/1/Samoilenko_T.Fiz_rosl_Lab.pdf
3. http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/1.2_0.pdf
4. <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9447/1/fiziologiya-roslin-modul-1-2.pdf>
5. <http://biology.udau.edu.ua/assets/files/fiz-roslin-met.-karpenko-pritulyak.pdf>
6. <http://man.te.ua/wp-content/uploads/2024/01/fiziologiya-roslyn.pdf>
7. <http://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/10162>
8. http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/31775/Biohimia_roslyn.pdf
9. http://eprints.zu.edu.ua/33620/1/Photosynthesis_notes.pdf

Лабораторне заняття №11

ПМКР №1

Тема: «Фізіологія та водообмін рослинної клітини. Фотосинтез»

Лабораторне заняття №12

Розділ: «Дихання рослин»

Тема: Дихання та бродіння – енергетичні процеси клітини. Каталаза в рослинних об'єктах

Мета: Розкрити будову та функції мітохондрій як центру клітинного дихання; порівняти аеробне дихання й типи бродіння; експериментально виявити активність ферменту каталази у рослинних тканинах; навчитися обчислювати ДК (дихальний коефіцієнт) і інтерпретувати ЕП (енергетичний прибуток у вигляді АТФ).

Професійна спрямованість: Зв'язок інтенсивності дихання з витратами сухих речовин під час зберігання зерна та плодів; керування газовим середовищем (знижений O_2 /підвищений CO_2) у сховищах; роль бродіння за гіпоксії в ґрунті; діагностика стресу за активністю каталази (реактивні форми кисню – РФК); вибір сортів і умов пророщування з урахуванням дихального режиму насіння.

Теоретичні питання:

1. Історія розвитку вчення про дихання.
2. Дихання як основна складова частина обміну речовин.
3. Субмікроскопічна будова та функції мітохондрій. Роль мітохондрій в процесі дихання.
4. Локалізація процесів дихання, особливості, інтенсивність, значення.
5. Теорії О.М.Баха та О.І.Паладіна.
6. Субстрати дихання. Дихальний коефіцієнт.
7. Шляхи окислення дихальних субстратів та залежність інтенсивності їх функціонування від умов існування та онтогенезу рослини.
8. Типи бродіння:
 - 8.1. Спиртове бродіння.
 - 8.2. Молочнокисле бродіння.
 - 8.3. Пропіоновокисле бродіння.
 - 8.4. Маслянокисле бродіння.
 - 8.5. Оцтовокисле бродіння.
9. Зв'язок дихання з бродінням за С.П.Костичевим.
10. Ефект Пастера.

Практичні завдання:

1. Визначити наявність каталази в листках елодеї та інших рослинних об'єктах.
 2. Виявити активність каталази в різних рослинних об'єктах.
- Обладнання: гілочки елодеї, мікроскопи, предметні і покривні скельця, леза, 3%-й розчин пероксиду водню, пробірки в штативах, вода в колбах, сірники, сухий спирт, спиртівки, каталазники (3 шт.), фарфорові ступки, товчене скло, ланцет, ваги з рівновагами, подрібнена крейда, мірні циліндри.

Методика виконання практичного завдання:

1. Визначення наявності каталази в листках елодеї та інших рослинних об'єктах

Каталаза – двокомпонентний фермент, який належить до класу оксидоредуктаз. Вона розщеплює пероксид водню на воду і молекулярний кисень. Завдяки цьому ферменту з рослинного організму виводиться дуже отруйна сполука – пероксид водню, який накопичується в несприятливих умовах життя для рослин.

На сухе і чисте предметне скло кладуть перерізаний поперек листочок елодеї і наносять на нього краплину 3% – розчину пероксиду водню. Препарат швидко накривають покривним скельцем і розглядають під мікроскопом. Пероксид водню швидко проникає в клітини листка і там розщеплюється каталазою на воду і молекулярний кисень, який виділяється з листка у вигляді бульбашок. Найкраще кисень виділяється в тій ділянці листка, якою він був прикріплений до стебельця. В місці перерізу листка елодеї кисень виділяється також, але трохи повільніше. Старі листочки елодеї виділяють бульбашки кисню набагато повільніше, ніж молоді.

При відсутності елодеї, можна скористатися іншими рослинами. Так, наприклад, можна проростити озиму пшеницю на чашках Петрі з фільтром і використовувати її листочки. Методика виконання роботи така ж сама. Можна використати молоді листки кімнатних рослин. Старі листочки елодеї чи пшениці виділяють бульбашки кисню повільніше, ніж молоді.

Фермент каталаза руйнується при кип'ятінні. Для підтвердження цього необхідно в пробірку налити приблизно 10 мл води, покласти туди шматочок елодеї, пшениці і прокип'ятити 2–3 хв. Охолоджують і по тій же методиці перевіряють наявність каталази. Пересвідчуються, що кисень не виділяється при дії пероксиду водню. Каталаза відсутня. Замальовують і роблять відповідні висновки.

Висновок:

2. Виявлення активності каталази в різних рослинних об'єктах

Прилад для визначення активності каталази готує лаборант. Його слід перевірити на герметичність і встановити на нуль.

В фарфоровій ступці розтирають з кварцовим піском (товчене скло) 2 г рослинного матеріалу, додають на кінчику ланцета подрібненої крейди, щоб утворилася лужна реакція, тому що $pH=7.7$ – оптимальне для даного ферменту.

Під час розтирання з циліндра вливають невеликими порціями воду загальним об'ємом 20 мл. Одержану суміш вносять в колбу і додають 5 мл 3%-ного пероксиду водню. Швидко і герметично закривають!

На протязі 3–х хв злегка збовтують, слідкуючи при цьому за переміщенням рівня води в бюретці.

В роботі визначають активність каталази у трьох–чотирьох рослинних об'єктах. Це необхідно для порівняльної характеристики та відповідних висновків про наявність та активність каталази.

Заповнюють таблицю:

Рослина	Об'єм виділеного кисню за 3 хв. в см ³

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденного матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Дайте визначення клітинного дихання та назвіть його основні етапи.
2. Де локалізовані стадії гліколізу, циклу Кребса і окисного фосфорилування у рослинній клітині?
3. Опишіть будову мітохондрії та поясніть функціональне значення крист.
4. Що таке дихальний коефіцієнт (ДК, RQ) і які типові значення для вуглеводів, ліпідів та органічних кислот?
5. Поясніть хемоосмотичний механізм синтезу АТФ.
6. Яка роль НАДН і ФАДН₂ у транспорті електронів і утворенні АТФ?
7. Чим відрізняється субстратне фосфорилування від окисного фосфорилування?
8. Сформулюйте внесок О. М. Баха і О. І. Паладіна в учення про дихання.
9. Що таке альтернативна оксидаза (АОХ) у рослин і яке її фізіологічне значення?
10. Як температура впливає на інтенсивність дихання (коефіцієнт Q₁₀) і чому це важливо для зберігання врожаю?
11. Наведіть приклади субстратів дихання для насіння, листків і плодів.
12. Поясніть ефект Пастера: як наявність O₂ змінює швидкість бродіння у дріжджів?

13. Перелічіть основні типи бродіння та їхні продукти (спиртове, молочнокисле, пропіоновокисле, маслянокисле, оцтовокисле).
14. У чому полягає зв'язок дихання й бродіння за С. П. Костичевим?
15. Чим оцтовокисле бродіння відрізняється від “класичного” анаеробного бродіння за потребою в O₂?
16. Які фактори визначають перехід тканин до бродіння в умовах гіпоксії/аноксії?
17. Сформулюйте принцип манометричного визначення інтенсивності дихання та роль KOH/NaOH у респірометрі.
18. Опишіть реакцію каталази: субстрат, продукти та клітинна локалізація ферменту.
19. Чим каталаза відрізняється від пероксидази за механізмом дії та фізіологічною роллю?
20. Як у навчальному досліді кількісно (або напівкількісно) оцінити активність каталази і що впливає на її рівень?
21. Які агрономічні наслідки високої інтенсивності дихання під час дозрівання/зберігання продукції та проростання насіння?

Рекомендована базова література

1. Бобошко О. П., Антоненко С. В. Фізіологія рослин: методичні рекомендації та лабораторний практикум. – Київ: НЦ «Мала академія наук України», 2019. 56 с. (С. 16–22).
2. Должицька А. Г., Панчук І. І. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Чернівці: ЧНУ, 2010. 168 с. (С. 85–104).
3. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с. (С. 205–252; С. 246–248).
4. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. (С. 360–430).
5. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 392 с. (С. 170–220).
6. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Бойко О. А., Дашенко А. В. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2024. 215 с. (С. 40–89; С. 84–89).
7. Скляр В. Г., Злобін Ю. А. Екологічна фізіологія рослин: підручник. Суми: Університетська книга, 2015. 271 с. (С. 120–142).
8. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології: підручник. Біла Церква, 2006. 504 с. (С. 230–275).
9. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин: підручник. Суми: Університетська книга, 2004. 464 с. (С. 185–240; С. 241–255).
10. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Частина 2 / за ред. С. В. Прилуцької. Київ: НУБіП України, 2023. 224 с. (С. 40–88).

Допоміжна література

1. Авксентьєва О. О. та ін. Фізіологія та біохімія рослин: малий практикум. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. 151 с. (С. 72–86).
2. Брайон О. В. та ін. Фізіологія рослин: практикум. Київ: Вища школа, 1995. 191 с. (С. 95–104).
3. Войцехівська О. В., Капустян А. В., Косик О. І. та ін.; за ред. Т. В. Паршикової. Фізіологія рослин: практикум. Луцьк: Терен, 2010. 420 с. (С. 210–232).
4. Карпенко Н. В., Притуляк Р. М. Фізіологія рослин: метод. вказівки. Умань: УНУС, 2015. 64 с. (С. 30–38).
5. Корольова О. В., Миколайчук В. Г., Мазур І. О. Фізіологія рослин: метод. рек. до лаб. робіт. 2015. 96 с. (С. 58–76).
6. Самойленко Т. Г., Самойленко М. О., Рожок О. Ф. Практикум з фізіології рослин: навч. посібник. Миколаїв: МНАУ, 2013. 431 с. (С. 250–286).

7. Шарга Б. М. та ін. Фізіологія рослин: навч.-метод. посібник. Ужгород: УжНУ «Говерла», 2024. 120 с. (С. 52–67).

Інформаційні ресурси

1. http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/fiziologiya_roslin.ch2_2_0.pdf
2. <http://api.man.gov.ua/api/assets/man/9e57862a-5649-440a-836f-eb141ee734f7/>
3. <http://dspace.uzhnu.edu.ua/bitstreams/10a916ed-b0d0-430b-98fa-a26b8f6597f7/download>
4. <http://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/Fizioloiiia-ta-biokhimiia>

Лабораторне заняття №13

Розділ «Дихання рослин»

Тема: Хімізм та енергетика дихання

Мета: Розкрити хімізм і послідовність реакцій анаеробної та аеробної фаз дихання; 2) пояснити будову й роботу електронно-транспортного ланцюга (комплекси I–IV, АТФ-синтаза, альтернативна оксидаза) та їхній внесок в окисне фосфорилування; 3) навчитися кількісно оцінювати енергетичний вихід (субстратне й окисне фосфорилування, баланс АТФ, співвідношення АДФ/АТФ, роль НАДН і ФАДН₂); 4) встановити зв'язок між вибором субстратів і дихальним коефіцієнтом; 5) інтегрувати знання у “загальну картину” дихання – від гліколізу до кінцевого відновлення кисню.

Професійна спрямованість: керування інтенсивністю дихання плодів/зерна (температура, вологість, контрольоване атмосферне середовище) для мінімізації втрат сухих речовин, попередження анаеробіозу та накопичення етанолу. інтерпретація енергетичного статусу зародка (баланс НАДН/АТФ, перехід ліпідів у цукри через гліоксилатний цикл), прогноз схожості та енергії проростання; оцінка ризиків гіпоксії коренів, переходу на бродіння та пов'язаних втрат продуктивності; прийоми аерації та дренажу.

Теоретичні питання:

1. Анаеробна фаза дихання /гліколіз/. Етапи гліколізу. Субстратне фосфорилування.
2. Аеробна фаза дихання. Цикл ди- і трикарбонових кислот /цикл Кребса/. Хімізм, енергетика, значення.
3. Будова електронно-транспортного ланцюга та особливості його функціонування.
4. Загальна картина хімізму та енергетики дихання.
5. Аграрне значення дихання: як співвідношення підтримувального й ростового дихання, дихальний коефіцієнт та ефективність використання вуглецю/енергії визначають густоту стояння, режими зрошення й азотного живлення, а також параметри післязбирального охолодження та зберігання врожаю.

Практичне завдання:

1. Визначення інтенсивності дихання проростаючого насіння злаків.

Обладнання: пророслі і непророслі зернівки пшениці, 0,1н розчин Ва(ОН)₂ в закритих колбах, бюретки, лійки, фенолфталеїн в крапельницях, ваги з рівноважками, однакові конічні скляні колби на 200–300мл., гумові корки, металеві гачечки, марлеві серветки, стакани з водою.

Методика виконання практичного завдання:

1.Визначення інтенсивності дихання проростаючого насіння злаків

Для визначення інтенсивності дихання по кількості виділеної вуглекислоти зважують 5 г

пророслої пшениці і вміщують її в марлевий мішечок. Прикріплюють мішечок до гумового корку за допомогою гачка. Мішечок з пшеницею повинен вільно проходити через горло невеликої колби і опускатися не дуже низько.

В даній колбі використовують дві однакові за розміром колби: дослідну колбу для визначення інтенсивності дихання і контрольну колбу, в яку не вміщують марлевий мішечок з пшеницею.

В обидві колби з бюретки вливають по 10 мл баритової води (0,1Н розчин $\text{Ba}(\text{OH})_2 + 2$ краплі фенолфталеїну) і герметично закривають корком. Час від часу колби необхідно обережно рухати, не допускаючи попадання жодної краплі розчину на марлевий мішечок з пшеницею. Контрольну колбу титрують через 20хв. після внесення баритової води.

Через 50хв. виймають рослинний матеріал і проводять титрування розчину 0,1Н соляною кислотою, яка знаходиться в іншій бюретці. Титрують обережно, по краплі, до повного зникнення рожевого забарвлення. Результати записують до таблиці:

Рослинний матеріал	Вага в (г)	Налито $\text{Ba}(\text{OH})_2$ мл	Тривалість дослідів в год.	Пішло HCl		Поправка до титру	Інтенсивність дихання мг/г год
				конт- роль	дослід		
озима пшениця	5г	10 мл	50хв. (0,83)год			1	

$$x = \frac{(a - v)K * 2,2}{pt}$$

Інтенсивність дихання розраховують за формулою, де: а – результат титрування в контрольній колбі; в – результат титрування в дослідній колбі; К–поправка до титру соляної кислоти; 2,2– кількість мг вуглекислого газу, еквівалентне 1мл 0,1Н HCl ; р– вага в грамах; t – тривалість дослідів в годинах.

Після визначення інтенсивності дихання роблять відповідні висновки.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Дайте означення гліколізу та назвіть його клітинну локалізацію.
2. Розташуйте етапи гліколізу у правильній послідовності: активація глюкози, розщеплення шести-вуглецевого проміжного, окиснення і субстратне фосфорилування.
3. Що таке субстратне фосфорилування і на яких стадіях гліколізу воно відбувається?

4. Яка роль фосфофруктокінази у регуляції швидкості гліколізу і які метаболіти її активують чи гальмують?
5. Поясніть долю піровиноградної кислоти в анаеробних і аеробних умовах у рослинних тканинах.
6. Назвіть місце локалізації та загальне рівняння перетворення піровиноградної кислоти на ацетилкоензим А.
7. Наведіть основні реакції циклу трикарбонових кислот та їх енергетичний результат (кількість відновлених переносників і молекул аденозинтрифосфату).
8. Яке значення мають проміжні продукти циклу трикарбонових кислот для амфіболічної природи метаболізму (поєднання розщеплення і синтезу)?
9. Поясніть різницю між енергетичними внесками відновленої форми нікотинамідаденіндинуклеотиду (НАДН) і відновленої форми флавінаденіндинуклеотиду (ФАДН₂) у синтез аденозинтрифосфату.
10. Опишіть будову електронно-транспортного ланцюга мітохондрій: комплекси I–IV, переносники електронів та їх розташування.
11. Як формується протонний електрохімічний градієнт на внутрішній мембрані мітохондрій і яку функцію він виконує?
12. Поясніть механізм роботи аденозинтрифосфат-синтази та принцип хемоосмотичного синтезу аденозинтрифосфату.
13. Яку роль відіграє альтернативна оксидаза в електронно-транспортному ланцюзі рослин і як вона впливає на вихід аденозинтрифосфату?
14. Назвіть інгібітори електронно-транспортного ланцюга (наприклад, ціаніди, ротенон) і поясніть їх дію на потік електронів та синтез аденозинтрифосфату.
15. Порівняйте субстратне та окисне фосфорилування: джерело енергії, локалізація, кількісний внесок у загальний баланс.
16. Розкрийте поняття «дихальний коефіцієнт» і поясніть, як вибір субстрату (вуглеводи, ліпіди, органічні кислоти) відбивається на його значенні.
17. Як температура (температурний коефіцієнт) і доступність кисню впливають на швидкість дихання та енергетичний вихід?
18. Складіть зведену схему перетворення глюкози від гліколізу до відновлення кисню у воді, зазначивши ключові точки регуляції.
19. Розрахуйте орієнтовний вихід аденозинтрифосфату на одну молекулу глюкози за умов повного аеробного окиснення та назвіть фактори, що зменшують реальний вихід.
20. Поясніть, як перехід на бродіння за дефіциту кисню допомагає підтримувати відновно-окисний баланс (регенерацію нікотинамідаденіндинуклеотиду окисненого).
21. Обґрунтуйте агрономічні наслідки зміни інтенсивності дихання: зберігання плодів і зерна, проростання насіння, стійкість до перезволоження ґрунту.

Рекомендована базова література

1. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології: підручник. Біла Церква, 2006. 504 с. (С. 230–275).
2. Должицька А. Г., Панчук І. І. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Чернівці: ЧНУ, 2010. 168 с. (С. 85–104).
3. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин: підручник. Суми: Університетська книга, 2004. 464 с. (С. 185–240; 241–255).
4. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с. (С. 205–252).
5. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. (С. 360–430).
6. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 392 с. (С. 170–220).

7. Прилуцька С. В. (ред.) Фізіологія рослин: навчальний посібник. Частина 2. Київ: НУБіП України, 2023. 224 с. (С. 40–88).
8. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Бойко О. А., Дашченко А. В. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2024. 215 с. (С. 40–89).
9. Скляр В. Г., Злобін Ю. А. Екологічна фізіологія рослин: підручник. Суми: Університетська книга, 2015. 271 с. (С. 120–142).
10. Шарга Б. М., Потіш Л. А. Фізіологія рослин: навчально-методичний посібник. Ужгород: УжНУ, 2024. 120 с. (С. 52–67).

Допоміжна література

1. Авксентьева О. О., Жмурко В. В., Юхно Ю. Ю., Щоголев А. С. Фізіологія та біохімія рослин: малий практикум. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. 151 с. (С. 72–86).
2. Бобошко О. П., Антоненко С. В. Фізіологія рослин: методичні рекомендації та лабораторний практикум. Київ: НЦ «Мала академія наук України», 2019. 56 с. (С. 16–22).
3. Войцехівська О. В., Капустян А. В., Косик О. І. та ін.; за ред. Т. В. Паршикової. Фізіологія рослин: практикум. Луцьк: Терен, 2010. 420–416 с. (С. 210–232).
4. Карпенко В. П., Притуляк Р. М. Фізіологія рослин: методичні вказівки. Умань: ВПЦ «Візаві», 2014. 15 с. (С. 30–38).
5. Корольова О. В., Миколайчук В. Г., Мазур І. О. Фізіологія рослин: методичні рекомендації до лабораторних робіт. 2015. 96 с.
6. Самойленко Т. Г., Самойленко М. О., Рожок О. Ф. Практикум з фізіології рослин: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ, 2013. 431–432 с. (С. 250–286).

Інформаційні ресурси

1. http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/fiziologiya_roslin.ch2_2_0.pdf
2. <http://api.man.gov.ua/api/assets/man/9e57862a-5649-440a-836f-eb141ee734f7/>
3. <http://dspace.uzhnu.edu.ua/bitstreams/10a916ed-b0d0-430b-98fa-a26b8f6597f7/download>
4. <http://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/Fiziolohiia-ta-biokhimiia-roslyn.pdf>
5. <http://biology.udau.edu.ua/assets/files/bakalavri/s-r-2024-fiziologiya-roslin.pdf>
6. <http://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/Fiziolohiia-roslyn.pdf>

Лабораторне заняття №14

Розділ «Дихання рослин»

Тема: Хімізм та енергетика пентозофосфатного шляху

Мета: Розкрити хімізм окисного та неокисного етапів пентозофосфатного шляху (ПФШ) і його енергетичний баланс (АТФ, НАДФН). Пояснити взаємозв'язки ПФШ із гліколізом, циклом трикарбонових кислот (ЦТК) і глюконеогенезом. Проаналізувати гліколатно-гліоксилатний шлях дихання (фотореспірація) та його локалізацію в пероксисомах, хлоропластах і мітохондріях. Оцінити зміну інтенсивності та шляхи дихання як механізм адаптації в онтогенезі під впливом температури, вологості, світла, концентрацій CO_2 і O_2 , забезпечення мінеральним живленням. Сформувані вміння пов'язувати метаболічні потоки з фізіологічними функціями органів та стадіями розвитку рослин.

Професійна спрямованість: діагностувати метаболічні «вузькі місця» антиоксидантного захисту та біосинтезу вторинних метаболітів через аналіз ПФШ (джерело НАДФН, рибулозо-5-фосфат); прогнозувати реакції посівів на стреси, коригуючи живлення (N, P, S, мікроелементи), освітлення й зрошення з урахуванням зсувів між ПФШ, гліколізом і гліколатним шляхом;

обґрунтовувати застосування біостимуляторів і антиоксидантів для підвищення продуктивності та якості продукції.

Теоретичні питання:

1. Пентозофосфатний шлях дихання, хімізм, особливості, значення.
2. Гліколатно-гліоксилатний шлях дихання. Локалізація, хімізм, значення.
3. Відносна самостійність шляхів дихання, зв'язок між ними та з іншими шляхами вуглеводного обміну.
4. Зміна інтенсивності та шляхів дихання як адаптаційне пристосування до умов існування в онтогенезі рослин.
5. Залежність дихання від умов середовища: температури, вологості, світла, концентрацій CO_2 та O_2 , мінерального живлення.
6. Залежність дихання від внутрішніх факторів: стадії онтогенезу клітини/органу, вмісту води, спеціалізації тканин.
7. Аграрне значення пентозофосфатного шляху: як утворення NADPH і рибозо-5-фосфату в ПФШ впливає на антиоксидантну стійкість, відновну асиміляцію нітратів, ефективність обробок насіння/листка (антиоксиданти, регулятори росту) та продуктивність культур за абіотичних стресів

Практичне завдання:

1. Шкільний дослід по виявленню дихання проростаючого насіння

Обладнання: пророслі і непророслі зернівки пшениці, 0,1н розчин $\text{Ba}(\text{OH})_2$ в закритих колбах, бюретки, лійки, фенолфталеїн в крапельницях, ваги з рівноважками, однакові конічні скляні колби на 200–300мл., резинові корки, металеві гачечки, марлеві серветки, стакани з водою.

Методика виконання практичного завдання:

Шкільний дослід по виявленню дихання проростаючого насіння

Дослідну колбу місткістю 1 л заповнюють свіжим пророслим насінням злаків на третину об'єму. Герметично закривають корком. Корок має два отвори, які з'єднані з гумовими трубками. Обидві трубки пережимають затискачами. В одну з гумових трубок вставляють скляну трубочку, в іншу лійку. Впевнившись у герметичності залишають дослідну колбу на 6–12 год. Потім скляну трубку занурюють в стакан з баритовою водою і відкривають обидва затискачі в лійку швидко наливають воду. Вода буде витіснати з колби виділений в процесі дихання вуглекислий газ. Вуглекислий газ через скляну трубку проникає в стакан з баритовою водою і реагує. Зробити відповідні висновки, пояснити результати дослідів. Замалювати.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Покажіть схематично, як зміниться розподіл потоку вуглецю між окисним і неокисним етапами ПФШ за дефіциту фосфату; які метаболіти стануть «вузькими місцями» і чому?
2. Поясніть механізм тонкої регуляції глюкозо-6-фосфатдегідрогенази ПФШ через редокс-систему тіоредоксину за світла/темряви в листку.
3. Розрахуйте, скільки молекул НАДФН генерується ПФШ при повному окисненні трьох молекул глюкозо-6-фосфату до рибулозо-5-фосфату, та яку частку цього НАДФН реально споживає нітратредукція за високого N?
4. Обґрунтуйте, чому в олійних культурах меристематичні зони і насінневі зародки демонструють підвищену активність ПФШ порівняно з вегетативними тканинами, посиляючись на потреби ліпогенезу.
5. Наведіть доказову стратегію (мітки ^{13}C) для відокремлення вкладу неокисного ПФШ від «бічних гілок» гліколізу в темних умовах.
6. Поясніть, як зміна співвідношення НАДФН/НАДФ $^{+}$ вплине на активність аскорбат-глутатіонового циклу і швидкість знешкодження пероксиду водню в пероксисомах.
7. Проаналізуйте, як перерозподіл пентоз у неокисному ПФШ підтримує регенерацію рибулозо-1,5-біфосфату в циклі Кальвіна при різкому падінні доступного CO_2 .
8. Порівняйте цитозольний і пластидний ПФШ у нетипових тканинах (корінь, плоди): які відмінності у транспорті фосфатів і коферментів визначають їх роль?
9. Розберіть енергетичну «вартість» фотореспірації: скільки АТФ/НАД(Ф)Н витрачається на перетворення двох молекул гліцерату назад у цикл Кальвіна, і де саме відбуваються ці витрати.
10. Вкажіть ферментні «вузли» пероксисоми (каталаза, гліколатоксидаза) і поясніть, як їх насичуваність O_2 впливає на швидкість усього фотореспіраторного конвеєра.
11. Поясніть роль мітохондріального комплексу гліциндекарбоксилази в балансі одно-вуглецевих груп і як це відбивається на біосинтезі серину/метіоніну.
12. Запропонуйте експеримент з інгібітором ПФШ (наприклад, 6-аміноксінікотинамід) для верифікації внеску ПФШ у нітратредукцію; які первинні фенотипи очікуєте побачити?
13. Змодельуйте, як зміна температури на $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ вплине на співвідношення активностей RuBisCO-карбоксилази/оксигенази та частку фотореспірації у C_3 -листку.
14. Поясніть, чому за тривалої посухи ПФШ може підтримувати синтез осмоліту проліну, і які проміжні метаболіти тут ключові.
15. Порівняйте частку фотореспірації у C_3 , C_4 і САМ-рослинах з погляду мікроконцентрування CO_2 і добових коливань відкриття продихів.
16. Обґрунтуйте, як надлишок бору чи цинку опосередковано впливає на потік через ПФШ та фенілпропаноїдний шлях (структурні полімери, лігнін).
17. Розберіть причини підвищеної активності транскетолази в запасуючих органах у темряві: які переваги це дає для перетікання вуглецю до крохмалю/сахарози?
18. Поясніть, чому за гіпоксії коренів пріоритет отримує гліколіз, а не ПФШ, з урахуванням перерозподілу акцепторів відновних еквівалентів і регенерації НАД $^{+}$.
19. Сформулюйте механізм, як ПФШ підтримує швидкий ріст проростка через забезпечення рибозо-5-фосфатом для синтезу РНК/ДНК і мембранних ліпідів.
20. Проаналізуйте, як зміни освітлення (висока частка синього світла) через сигнали фоторецепторів впливають на експресію генів ПФШ і біосинтез флавоноїдів.
21. Складіть алгоритм агротехнологічних рішень, що зменшують «втрати вуглецю» на фотореспірацію, не підриваючи антиоксидантного захисту (світловий режим, температура листка, живлення N–P–S–Mg, густина стояння).

Рекомендована базова література

1. Бессонова В. П., Яковлева-Носарь С. О. Фізіологія рослин: навч. посіб. – Дніпро: СВДЛЕР А.Л., 2014. – 500 с. – С. 285–318.

2. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д. Фізіологія рослин: навч. посіб. – Біла Церква: УНАУ, 2009. – 304 с. – С. 171–198.
3. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин: підручник. – Суми: Університетська книга, 2004. – 463 с. – С. 223–258.
4. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин: підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2006. – 416 с. – С. 139–168.
5. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. – Київ: Либідь, 2005. – 808 с. – С. 360–420.
6. Самойленко Т. Г. Фізіологія рослин: підручник. – Миколаїв: МНАУ, 2012. – 312 с. – С. 145–176.
7. Твердохліб О. В. Фізіологія рослин: навч.-метод. посіб. – Харків: ХНПУ, 2022. – 240 с. – С. 101–132.
8. Фізіологія рослин: підручник / за ред. колективу авторів (укр. вид.). – Львів: ЛНУ, 2019. – 520 с. – С. 207–248.
9. Чорна Л. М., Мельничук О. М. Фізіологія рослин: навч. посіб. – Київ: НУБіП, 2018. – 288 с. – С. 129–156.
10. Шевченко В. В., Бабенко А. В. Фізіологія рослин: навч. посіб. – Полтава: ПНПУ, 2015. – 352 с. – С. 190–224.

Допоміжна література

1. Бурбан А. М., Лавриненко Ю. О. Практикум з фізіології рослин. – Київ: Аграрна освіта, 2011. – 256 с. – С. 97–112.
2. Григорчук І. Д. Фізіологія рослин: курс лекцій. – Запоріжжя: ЗНУ, 2020. – 180 с. – Тема С. 73–88.
3. Дубровін О. В., Сапегін А. І. Довідник з фізіології рослин для студентів-агрономів. – Київ: Кондор, 2013. – 224 с. – С. 55–66.
4. Карась Н. М., Нестеренко І. О. Практикум з біохімії рослин. – Київ: ЛНТУ, 2016. – 300 с. – С. 141–154.
5. Кучер О. П., Кучер Н. П. Довідник з фізіології та біохімії рослин. – Харків: ХНАУ, 2017. – 268 с. – С. 121–136.
6. Самойленко Т. Г., Самойленко М. О., Рожок О. Ф. Практикум з фізіології рослин: навч. посіб. – Миколаїв: МНАУ, 2013. – 413 с. – С. 199–228.
7. Ситник К. М., Мусієнко М. М. Довідник з фізіології рослин. – Київ: Наукова думка, 2001. – 304 с. – С. 156–184.
8. Собко О. А., Колісник О. М. Методичні вказівки до лаб. занять з фізіології рослин. – Чернігів: ЧНТУ, 2015. – 120 с. – С. 49–62.
9. Федорчук О. В. Фізіолого-біохімічні основи обміну речовин у рослин: навч. посіб. – Умань: УНУС, 2018. – 210 с. – С. 87–104.
10. Юрченко Т. П. Фізіологія рослин: лабораторний практикум. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – 180 с. – С. 71–86.

Інформаційні ресурси

1. <http://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3244903/>
2. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22303256/>
3. <http://www.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/photorespiration--c3-c4-cam-plants/a/c3-c4-cam-plants>
4. <http://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/10162>
5. <http://enpuir.udu.edu.ua/bitstreams/08b254e9-d0c6-4205-86de-b1037c81bdff/download>
6. <http://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/Fizioloogia-roslyn.pdf>
7. <http://man.te.ua/wp-content/uploads/2024/01/fiziologiya-roslyn.pdf>
8. <http://core.ac.uk/download/pdf/186337696.pdf> .

Лабораторне заняття № 15
Розділ «Кореневе живлення рослин»

Тема: Функції макро– та мікроелементів у рослині

Мета. Розкрити функції макро- й мікроелементів у рослині, механізми їх поглинання коренем і транспорту, взаємодії та мобільність; навчити діагностувати дефіцити/токсичності і підбирати стратегії живлення.

Професійна спрямованість: діагностувати дефіцити та токсичності елементів за симптомами, аналітикою ґрунту/листка і швидкими тестами; підбирати добрива та схеми внесення (ґрунтові й листові) під культуру, фазу розвитку, водний режим і рН; проектувати системи удобрення з урахуванням форми і співвідношень елементів (N:P:K; мезо- та мікроелементи), сумісності бакових сумішей і ризиків хелатів; обґрунтовувати прийоми, що покращують роботу коренів: аерація, вологість, структура ґрунту, мікробіологічні інокуланти.

Теоретичні питання:

1. Історія розвитку вчення про мінеральне живлення.
2. Механізм поглинання йонів /катіонів і аніонів/ коренем і їх транспорт через біологічні мембрани.
3. Пасивне та активне поглинання йонів кореневою системою. Роль дифузії, адсорбції та дихання у цьому процесі.
4. Шляхи та рушійні сили транспорту мінеральних елементів в радіальному та висхідному напрямках.
5. Низхідний транспорт мінеральних елементів, їх кругообіг в рослині.
6. Функції кореневої системи.
7. Корінь як орган перетворення поживних речовин та синтезу специфічних речовин.
8. Фізіологічна роль макроелементів.
9. Мікроелементи, їх фізіологічна роль.
10. Ультрамикроелементи.
11. Позакореневе поглинання мінеральних елементів.
11. Метод радіоактивних ізотопів.
12. Метод стерильних культур.
13. Як знання про функції макро– та мікроелементів трансформується в агрономічні рішення: вибір форм і норм добрив, строків та способів внесення (ґрунтового, фертигація, позакореневе), корекцію рН/карбонатності, застосування хелатів; які діагностичні інструменти (критична концентрація, аналіз ґрунтового розчину, флуоресценція хлорофілу) забезпечують оперативну корекцію живлення

Практичне завдання:

I. Мікрохімічний аналіз золи рослин

Обладнання: мікроскопи, предметні покривні скельця, сухий спирт, сірники, спиртівки, пробірки в штативах, лійки, скляні палички, фільтрувальний папір, зола з листків, склянки, капілярні скляні трубки, 10%–HCl, 10%–H₂SO₄, ланцет, 1%–й розчин молібдату амонію в 1%–му розчині HNO₃, 10%–й розчин аміаку, 1%–й розчин Na₂HPO₄, 1%–й розчин Sr(NO₃)₂, 1%–й розчин K₄Fe(CN)₆.

Методика виконання практичного завдання:

1. Мікрохімічний аналіз золи рослин.

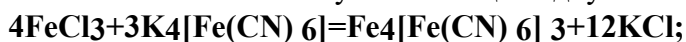
Для вивчення хімічного складу золи рослин у навчальних лабораторіях і біологічних кабінетах шкіл широкого застосування набув мікрохімічний метод виявлення зольних елементів. Цим методом можна виявити цілий ряд хімічних елементів.

Наявність хімічних елементів у золі рослин визначають якісними реакціями, в результаті яких утворюються характерні кристали або певне забарвлення розчину.

З цією метою беруть золу з листків та інших органів рослини і насипають її в невелику склянку. Золю обережно заливають 10%-м розчином соляної кислоти в кількості 40–50 мл. Скляною паличкою обережно перемішують, настоюють 5–7 хв. і фільтрують крізь паперовий фільтр в іншу суху і чисту склянку.

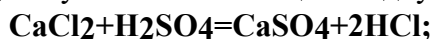
Усі реакції проводять на предметному склі, крім реакції на залізо. Реакція на залізо проводиться в пробірці або в фарфоровій чашці.

Виявлення заліза: Беруть в пробірку 2 мл. витяжки золи і додають стільки ж 1%-ного розчину жовтої кров'яної солі. Злегка збовтують. Реакція відбувається за рівнянням:



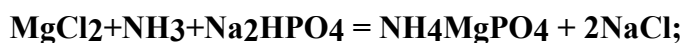
Наявність заліза визначають за утворенням синього забарвлення в пробірці /берлінської лазури/. Замальовують.

Виявлення кальцію: На предметне скло наносять краплину солянокислої витяжки золи і краплину 1%-ного розчину сірчаної кислоти. Краплини обережно і акуратно з'єднують при допомозі скляної палички з відтягнутим тонким кінцем. Відбувається реакція:



На місці з'єднання двох краплин /перешийок/ розглядають під мікроскопом кристали гіпсу, які утворилися в результаті реакції. Вони мають голкоподібну форму. Замальовують.

Виявлення магнію: На предметне скло наносять краплину витяжки золи, в цю ж краплину додають краплину 10%-ного розчину аміаку. Потім поряд наносять 1%-ний розчин фосфату натрію /1 краплю/. Краплі з'єднують зовсім іншою і чистою скляною паличкою. Відбувається реакція:



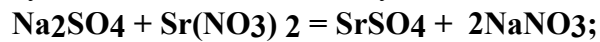
В даному випадку кристалізація йде повільно і потрібно чекати 5–7 хв. щоб утворились кристали фосфорно-аміачно-магнієвої солі. Розглядають під мікроскопом. Замальовують.

Виявлення фосфору: На предметне скло наносять краплину 1%–ного розчину молібдату амонію у 1%–ній азотній кислоті. Так само, як і в попередніх випадках, краплини з'єднують. Реакція відбувається за таким рівнянням:



Кристали фосфоромолібдату амонію розглядають під мікроскопом. Вони мають форму кульок, ромбиків, ящиків. Замальовують.

Виявлення сірки: На предметне скло наносять краплину солянокислої витяжки золи і краплину 1%–ного розчину нітрату стронцію. Краплини з'єднують за допомогою скляної палички з тонким і відтягнутим кінцем. Реакція відбувається за таким рівнянням:



При цьому під мікроскопом спостерігають випадання осаду дуже дрібних, злегка жовтуватих кристалів сульфату стронцію. Замальовують.

Під час роботи необхідно дотримуватись таких правил:

- а). Кожну наступну реакцію проводити на окремому предметному склі.
- б). З'єднувати краплини щоразу іншою скляною паличкою.

В робочих зошитах зробити висновки про кількість і вміст елементів у золі досліджуваних органів рослин.

Висновок:

**Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу
(виконання в зошиті для самостійних завдань):**

- 1. Основні поняття та терміни з даної теми.
- 2. Питання для розвитку мислення.
- 3. Ситуаційні задачі.
- 4. Тести

Поточні контрольні запитання

- 1. Як протонна помпа плазматичної мембрани (H^+ -АТФаза) формує електрохімічний градієнт і які енергетичні «ціни» поглинання катіонів та аніонів з нього впливають?
- 2. За яких умов доцільно переводити частку живлення з ґрунтового на позакореневе, щоб обійти обмеження рН і температури ґрунту?
- 3. Поясніть кінетику транспортерів нітрату (високо- та низькоафінні системи): як змінюється V_{max} і K_m у відповідь на дефіцит/надлишок азоту?

4. Чим зумовлений антагонізм Кальцію, Калію та Магнію на мембранах і колоїдах ґрунту, і як це враховувати при складанні бакових сумішей?
5. Чому Фосфор малорухомий у ґрунті: роль деплеційної зони, дифузії та корневих волосків; як мікориза змінює картину?
6. Порівняйте мобільність елементів у флоемі: чому дефіцити Кальцію і Бору проявляються на молодих тканинах, а Магнію й Азоту – на старих?
7. Опишіть механізм закислення ризосфери коренем та його вплив на доступність Феруму, Мангану і Фосфору в карбонатних ґрунтах.
8. Як форма азоту (нітрат vs амоній) впливає на рН ризосфери, споживання Кальцію/Магнію та ризик токсичності Амонію?
9. Коли застосування хелатів (EDTA, DTPA, EDDHA) виправдане, а коли – ризиковане з погляду переміщення у рослині та сумісності у баку?
10. Які «сигнали попиту» (гормони, цукри) регулюють низхідний транспорт мікроелементів у флоемі до «стік»-органів?
11. Як водний дефіцит змінює співвідношення апопластного/симпластного радіального потоку іонів та енергетичні витрати на активний транспорт?
12. Запропонуйте алгоритм польової діагностики між залізодефіцитним та «функціональним» (холодовим) хлорозом з різними рішеннями.
13. Чому Молібден критичний для культур із високою нітратредукцією та як оцінити його ефективність за листовими тестами?
14. Які параметри краплі (рН, ПАР, швидкість висихання) визначають успішність позакореневого внесення Цинку та Мангану?
15. Як зміни спектра світла (більше синього) опосередковано впливають на попит у мікроелементах, дотичних до антиоксидантних ферментів?
16. Поясніть, як коренева мікробіота мобілізує Фосфор і Ферум (органічні кислоти, сидерофори) та як це відслідковують ізотопними трейсерними схемами.
17. Чому Кальцій часто не доходить до плодів попри достаток у ґрунті; яку роль відіграють транспірація і конкуренція з Калієм?
18. Складіть план корекції живлення при високому рН поливної води: підкислювачі, форми добрив, черговість і контроль бікарбонатів.
19. Як ультрамікроелементи (Нікель, Селен, Кремній) модулюють ферментні системи та стійкість, і коли їх доцільно вводити?
20. Які похибки інтерпретації найчастіші у дослідях зі стерильними культурами щодо реальної доступності елементів у полі?
21. Розробіть схему «джерело–стік» для макро- й мікроелементів у фазі наливу зерна: як забезпечити пріоритет флоемного забезпечення колоса без дефіциту листка.

Рекомендована базова література

1. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології: підручник. Біла Церква, 2006. 504 с. (С. 230–275).
2. Должицька А. Г., Панчук І. І. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Чернівці: ЧНУ, 2010. 168 с. (С. 85–104).
3. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин: підручник. Суми: Університетська книга, 2004. 464 с. (С. 185–240; 241–255).
4. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с. (С. 205–252).
5. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. (С. 360–430).
6. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 392 с. (С. 170–220).

7. Прилуцька С. В. (ред.) Фізіологія рослин: навчальний посібник. Частина 2. Київ: НУБіП України, 2023. 224 с. (С. 40–88).
8. Прилуцька С. В., Бабицький А. І., Нестерова Н. Г., Ткаченко Т. А., Бойко О. А., Дашенко А. В. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2024. 215 с. (С. 40–89).
9. Скляр В. Г., Злобін Ю. А. Екологічна фізіологія рослин: підручник. Суми: Університетська книга, 2015. 271 с. (С. 120–142).
10. Шарга Б. М., Потіш Л. А. Фізіологія рослин: навчально-методичний посібник. Ужгород: УжНУ, 2024. 120 с. (С. 52–67).

Допоміжна література

1. Авксентьєва О. О., Жмурко В. В., Юхно Ю. Ю., Щоголев А. С. Фізіологія та біохімія рослин: малий практикум. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. 151 с. (С. 72–86).
2. Бобешко О. П., Антоненко С. В. Фізіологія рослин: методичні рекомендації та лабораторний практикум. Київ: НЦ «Мала академія наук України», 2019. 56 с. (С. 16–22).
3. Войцехівська О. В., Капустян А. В., Косик О. І. та ін.; за ред. Т. В. Паршикової. Фізіологія рослин: практикум. Луцьк: Терен, 2010. 420–416 с. (С. 210–232).
4. Карпенко В. П., Притуляк Р. М. Фізіологія рослин: методичні вказівки. Умань: ВПЦ «Візаві», 2014. 15 с. (С. 30–38 у Вашому зразку не верифікуються, видання 15 с).
5. Самойленко Т. Г., Самойленко М. О., Рожок О. Ф. Практикум з фізіології рослин: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ, 2013. 431–432 с. (С. 250–286).

Інформаційні ресурси

1. <http://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4280619/>
2. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
3. http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u291/1.1_0.pdf .
4. <http://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/Fiziologia-roslyn.pdf>
5. <http://man.te.ua/wp-content/uploads/2024/01/fiziologiya-roslyn.pdf>
6. <http://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/10162>
7. <http://agrobiology.dp.ua> .
8. <http://khanacademy.org/science/biology/chemistry-of-life>

Лабораторне заняття №16

Розділ: Кореневе живлення рослин

Тема: Значення ґрунтових мікроорганізмів в процесі живлення рослин азотом

Мета: Пояснити значення азоту для росту і продуктивності рослин; розкрити кругообіг азоту та роль ґрунтових мікроорганізмів; охарактеризувати біологічну фіксацію азоту, відновлення нітратів, амінування й переамінування; навчити виявляти причини нагромадження нітратів і методи їх визначення; показати особливості азотного живлення бобових, напівпаразитних, паразитних і комахоїдних рослин; ознайомити з внеском Д. М. Прянішнікова у вивчення азотного обміну.

Професійна спрямованість: Фахівець уміє діагностувати стан азотного живлення за симптомами та аналізами, обґрунтовувати застосування інокулянтів і біопрепаратів, балансувати мінеральні форми азоту з урахуванням рН і вологості, мінімізувати нагромадження нітратів у продукції; проектує системи удобрення з урахуванням активності мікробіоти, культури та фази розвитку, інтегрує методи контролю нітратів і практики відновлення родючості ґрунтів.

Теоретичні питання:

1. Роль азоту в житті рослини.
2. Кругообіг азоту в біосфері.
3. Фіксація атмосферного азоту вільноживучими і симбіотичними азотфіксаторами. Хімізм процесу.
4. Особливості азотного живлення бобових рослин.

5. Відновлення нітратів і нітритів в рослинах.
6. Причини нагромадження та методи визначення нітратів в рослинах.
7. Процеси амінування, дезамінування та переамінування в рослині.
8. Праці Д.М.Прянишникова в галузі дослідження азотного обміну в рослинах.
9. Особливості азотного живлення напівпаразитних, паразитних та комахоїдних рослин.

Практичні завдання:

1. Приготувати розчин для повної поживної суміші Кнопа.
2. Закласти дослід на повній поживній суміші Кнопа.

Обладнання: терези з рівноважками, скляні банки – 0,5л ; 1л., ножиці, нитки, чорний і білий папір, рослини з кореневою системою(бегонія), солі: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , KCl , MgSO_4 , H_3BO_3 , MnSO_4 , FeCl_3 .

Методика виконання практичного завдання:

1. Приготування розчину для повної поживної суміші Кнопа

Для вирощування рослин у водних піщаних і гравійних культурах використовують суміші солей, які містять усі необхідні макро– і мікроелементи.

Вперше метод таких культур запропонували німецькі дослідники І. Кноп і Ю. Сакс. Для цього методу готують спеціальні живильні суміші. Кількість і склад солей для такої суміші Кноп підбирав так, щоб розчин солей за складом наближався до розчину золи. Крім того в розчин додавали азот. В живильні суміші включають також і солі мікроелементів.

До складу повної живильної суміші Кнопа входять такі солі:

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ –1г; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.25г; KH_2PO_4 – 0.25г; KCl – 0.125г; FeCl_3 –1% р.
(5 гр./л).

При багатократному приготуванні поживних розчинів зручніше всього користуватись концентрованими розчинами солей. Концентрованим розчином є такий розчин певної солі у п'яти мл. якого міститься така кількість солі, яка необхідна для приготування 1 л. живильної суміші. Розрахунки проводять на 100 мл. концентрованого розчину, тобто кожна підгрупа повинна приготувати по 100 мл. концентрованого розчину всіх потрібних солей. Необхідно взяти 1 г. на 1 л. поживної суміші. Якою повинна бути концентрація розчину, 5 мл. якого містили б 1 г. речовини?

1 г. речовини – в 5 мл. х г.

речовини – 100

$$x = \frac{1 \cdot 100}{5} = 20 \text{ г.}$$

Таким чином, необхідно взяти 20 г. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ на 100 мл. концентрованого розчину, 5мл. якого будуть містити 1 г. речовини.

Проведення подальших розрахунків покаже, що для приготування 100 мл. концентрованих розчинів речовин, що входять до складу поживної суміші, необхідно взяти: 5 г.

5 г. – KH_2PO_4 ;

5 г. – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;

2,5 г. – KCl ;

0,25 г. – FeCl_3 .

До живильної суміші Кнопа необхідно додавати солі мікроелементів:

H_3BO_3 – 0.5 мг на 1л; MnSO_4 –0,4мг на 1л.

На повній поживній суміші Кнопа, при додаванні до неї мікроелементів, добре росте багато рослин. По мірі необхідності весь час підливають свіжо виготовлену суміш, аналізують результати і роблять відповідні висновки.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Які енергетичні витрати і джерела відновної еквівалентності має нітрогеназа в різних групах азотфіксаторів, і як рослина опосередковано «платить» за фіксацію азоту?
2. Які механізми захисту ферменту нітрогенази від кисню реалізуються у вільноживучих бактерій порівняно з симбіозом (лейгемоглобін, мікроокисні зони)?
3. Як сигнали «N-статусу» рослини (вуглецеві метаболіти, амоній, нітрат) регулюють утворення бульбочок і експресію піф-генів партнерів?
4. Яку роль відіграють кореневі ексудати (органічні кислоти, флавоноїди) у відборі та «вербуванні» азотфіксуючих мікроорганізмів у ризосфері?
5. Чим відрізняються екологічні ніші і внесок у доступність азоту асоціативних азотфіксаторів трав від бобово-ризобіальних симбіозів?
6. Які параметри інокуляції (штам, носій, доза, строк) найбільше визначають успішність бульбочкоутворення в полі?
7. Як водний режим і реакція середовища ґрунту впливають на баланс процесів фіксації, нітрифікації та денітрифікації?
8. Які біохімічні «втрати азоту» (нітритна токсичність, оксид азоту, газоподібний азот) супроводжують нітрифікацію/денітрифікацію і як їх зменшити агроприйомами?
9. Коли застосування інгібіторів нітрифікації є економічно доцільним і екологічно виправданим у конкретній культурі?
10. Як співвідношення вуглецю до азоту в ґрунті та внесення органічних добрив змінюють конкуренцію між мікробами і коренями за мінеральні форми азоту?
11. Чому форми азоту (амоній проти нітрату) по-різному змінюють водневий показник ризосфери і доступність фосфору та мікроелементів?
12. Які ризики «накопичення нітратів» у продукції пов'язані саме з дисбалансом мікробних процесів у ґрунті, а не лише з дозою добрив?
13. Як добова динаміка освітлення й транспірації впливає на швидкість відновлення нітрату в листках і тимчасове накопичення нітратів?
14. Які сучасні польові методи контролю азоту (експрес-тести листка, сенсори нітрату, спектральні індекси) варто поєднувати з аналізом активності мікробіоти?
15. Яким чином мікоризні гриби опосередковано підсилюють азотне живлення, незважаючи на їхню «спеціалізацію» на фосфорі?
16. Як сольовий стрес і важкі метали впливають на активність азотфіксаторів і стабільність бульбочок, та які існують біоремедіаційні підходи?

17. Чим відрізняються потреби в мікроелементах (зокрема молібден, залізо, кобальт) для активності нітрогенази і нітратредуктази, і як це врахувати в живленні?
18. Які ізотопні підходи з використанням стабільного ізотопу азоту п'ятнадцять-ен дозволяють кількісно оцінити внесок біологічної фіксації в урожай?
19. Як зміна структури посівів (сумішки з бобовими, покривні культури, сидерати) впливає на азотний бюджет поля протягом двох-трьох сезонів?
20. Які є маркери «успішного симбіозу» на ранніх етапах (колір і кількість бульбочок, активність лейгемоглобіну, тести на ацетиленредукцію)?
21. Які етичні та екологічні ризики й переваги мають біоінженерні підходи до перенесення здатності до фіксації азоту в небобові культури?

Рекомендована базова література

1. Бессонова В. П., Яковлева-Носарь С. О. Фізіологія рослин: навч. посіб. Дніпро: Свідлер А. Л., 2014. 500–596 с. С. 231–268.
2. Власенко М. Ю., Вельямінова-Зернова Л. Д. Фізіологія рослин: навч. посіб. Біла Церква: УДАУ, 2009. 304 с. С. 119–156.
3. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин: підручник. Суми: Університетська книга, 2004. 463–464 с. С. 207–246.
4. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с. С. 141–186.
5. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. С. 145–157.
6. Самойленко Т. Г. Фізіологія рослин: підручник. Миколаїв: МНАУ, 2012. 312 с. С. 157–196.

Допоміжна література

1. Григорчук І. Д. Фізіологія рослин: курс лекцій. Кам'янець-Подільський: Рута, 2021. 194 с. С. 93–128.
2. Дубровін О. В., Сапегін А. І. Довідник з фізіології рослин для студентів-агрономів. Київ: Кондор, 2013. 224 с. С. 79–118.
3. Ситник К. М., Мусієнко М. М. Довідник з фізіології рослин. Київ: Наукова думка, 2001. 304 с. С. 181–224.

Інформаційні ресурси

1. <http://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4263492/>
2. <http://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4280619/>
3. <http://dspace.nubip.edu.ua/handle/123456789/>
4. <http://ir.znau.edu.ua/>
5. <http://core.ac.uk/download/pdf/186337696.pdf>
6. <http://agrobiology.dp.ua>
7. <http://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/Fizioloiiia-roslyn.pdf>
8. <http://man.te.ua/wp-content/uploads/2024/01/fiziologiya-roslyn.pdf>
9. <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/7893.pdf>
10. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> .

Лабораторне заняття № 17

Розділ «Кореневе живлення рослин»

Тема: Добрива – джерело поживних елементів для рослин

Мета. Ознайомити студентів із фізіологічними основами живлення рослин, класифікацією добрив, механізмами їх дії та роллю у формуванні продуктивності культур; навчити оцінювати ефективність використання поживних елементів залежно від типу ґрунту, рН і біологічних особливостей рослин.

Професійна спрямованість. Майбутній агроном повинен уміти визначати потреби рослин у поживних елементах, підбирати оптимальні види і форми добрив, обґрунтовувати строки, способи та дози внесення, оцінювати екологічні наслідки застосування мінеральних, органічних і бактеріальних добрив, а також впроваджувати елементи органічного землеробства для підвищення сталості агроєкосистем.

Теоретичні питання:

1. Ґрунт – джерело поживних речовин для рослин.
2. Значення обмінних процесів у живленні рослин.
3. Роль корневих виділень для засвоєння поживних елементів із важкорозчинних сполук.
4. Вплив рН ґрунту на засвоєння поживних речовин.
5. Мікориза, мікрофлора ґрунту та їх роль в живленні рослин.
6. Органічне землеробство.
7. Внесення добрив як важливий фактор керування продуктивністю рослин і якістю врожаю.
8. Фізіологічно кислі і лужні добрива.
9. Вегетаційний і польовий досліди.
10. Фізіологічні основи застосування добрив.
11. Органічні і мінеральні добрива /прості, складні/.
12. Фізіологічно–кислі і фізіологічно–лужні добрива.
13. Мінеральні добрива – одне з основних джерел забруднення навколишнього середовища.
14. Мікродобрива.
15. Бактеріальні добрива.
16. Строки, норми та способи внесення добрив.

Практичне завдання:

1. Провести розрахунки по внесенню добрив на пришкільній навчально– дослідній ділянці.

Обладнання: мінеральні добрива, таблиці, схеми.

Методика виконання практичного завдання:

1. Тема досліджу: “ Вивчення зростаючих доз мінеральних добрив на врожай столового буряка”. Провести розрахунки внесення добрив для проведення досліджу за такою схемою:

1. Контроль (без добрив)
2. N45P45K45
3. N60P60K60
4. N90P90K90
5. N120P120K120
6. N150P150K150

Площа ділянки кожного варіанту 200 м²; повторність трьохразова; добрива аміачна селіт– ра (34%); суперфосфат (19,5%); калійна сіль (40 %).

Мінеральні добрива :

Азотні :

1. Аміачна селітра 33,95% NH₄NO₃
2. Сульфат амонію (коксохімічний) 20,5%(NH₄)₂SO₄
3. Сечовина (карбамід) 46%CO(NH₂)₂

4. Натрієва селітра 16% NaNO_3
5. Ціанамід кальцію 20% $\text{Ca}(\text{CN})_2$
6. Хлористий амоній 25% NH_4Cl

Фосфорні :

1. Суперфосфат простий порошковидний (із апатитового концентрату) 19,5% $\text{Ca}_3(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
2. Суперфосфат простий гранульований (із фосфоритів Кара–Тау) 14%
3. Суперфосфат простий гранульований (із апатитового концентрату) 19,5%
4. Суперфосфат амонізований 14% і 2,3%
5. Суперфосфат подвійний 46%
6. Фосфоритне борошно 25% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
7. Фосфатшлак 14%

Калійні :

1. Хлористий калій 57% KCl
2. Калійні солі 40% KCl
3. Сульфат калію 50% K_2SO_4
4. Сильвініт 14% K_2O 14–18%, Na_2O 34–38%, Cl *52–55%
5. Каїніт 12% K_2O , NaCl 47%
6. Каліймагнезія 26%

Комбіновані добрива :

1. Амофос 12–50–0%
2. Нітрофоска 12–12–12%
3. Калійна селітра 12–44–0 %
4. Діамонітрофоска 18,5–18,5–18,5%
5. Діамофос 21–53–0%

Мікродобрива :

1. Шлам марганцевий 14%
2. Молібдат амонію – натрію 36%
3. Борнодатолітове добриво 13%
4. Колчеданні огарки 0,3%

Вапняні добрива :

1. Молотий вапняк 85%
2. Сланцева зола 50–70%
3. Доломітове борошно 95–100%

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Як швидкість мінералізації органічних решток впливає на динаміку доступних форм азоту в ґрунті?
2. Які механізми контролює рослина при виборі між амонійною та нітратною формою азоту?
3. Чим відрізняється фізіологічна дія сульфатної форми добрив від хлоридної на рівень фотосинтезу?
4. Як зміна співвідношення кальцію і магнію у ґрунті впливає на поглинання фосфору коренем?
5. Які біохімічні реакції у ризосфері активуються органічними кислотами корневих ексудатів?
6. Як мікоризні гриби впливають на доступність цинку, міді та заліза для рослин у ґрунтах із високим рН?

7. Чому надлишок азотних добрив може знижувати стійкість рослин до хвороб і шкідників?
8. Як взаємодіють процеси нітрифікації та денітрифікації після внесення добрив у перезволожений ґрунт?
9. Яким чином вміст гумусу та катіонно-обмінна ємність визначають ефективність внесення мінеральних добрив?
10. Як глибина і спосіб внесення добрив впливають на напрямок росту кореневої системи?
11. Які особливості мають гранульовані й рідкі комплексні добрива у засвоєнні поживних елементів?
12. Які механізми лежать в основі пролонгованої дії інкапсульованих (уповільнено-розчинних) добрив?
13. Як рослина реагує на надлишок солей у прикореневій зоні після багаторазового внесення добрив?
14. Чим визначається сумісність мікроелементів при використанні їх у бакових сумішах для позакореневих підживлень?
15. Як бактеріальні препарати типу азотфіксаторів і фосфатмобілізаторів взаємодіють з мінеральними добривами в ґрунті?
16. Чому органічні добрива вважають важливим компонентом системи вуглецевого балансу ґрунту?
17. Як змінюється ефективність добрив у різних фазах онтогенезу рослини?
18. Які екологічні ризики пов'язані з міграцією нітратів і фосфатів у поверхневі та підземні води?
19. Яким чином точне (прецизійне) землеробство дозволяє оптимізувати використання добрив?
20. Як агроекологічна сертифікація у системі органічного землеробства регламентує джерела живлення рослин?
21. Які сучасні тенденції у виробництві біодобрив спрямовані на зменшення залежності сільського господарства від мінеральних ресурсів?

Рекомендована базова література

1. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 560 с. (С. 185–268).
2. Городній М. М., Середюк А. Г., Копілевич В. А. та ін.; за ред. М. М. Городнього. Агрохімія: підручник. Київ: Вища школа, 1995. 256 с. (С. 97–164).
3. Карасюк І. М., Геркіял О. М., Господаренко Г. М. та ін.; за ред. І. М. Карасюка. Агрохімія: підручник. Київ: Вища школа, 1995. 471 с. (С. 211–304).
4. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин: навчальний посібник. Київ: Логос, 2009. 182 с. (С. 79–146).
5. Лихочвор В. В. Мінеральні добрива та їх застосування. 2-ге вид., допов. і випр. Львів: НВФ «Українські технології», 2012. 324 с. (С. 9–50; 115–168).
6. Марчук І. У., Бикіна Н. М., Бордюжа Н. П. Діагностика живлення рослин: підручник. Київ: НУБіП України, 2018. 268 с. (С. 121–182).
7. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. (С. 145–157).
8. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів: підручник. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2010. 312 с. (С. 219–276).
9. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І.; за ред. М. Й. Шевчука. Агрохімія: підручник. Частина 2. Добрива та їх вплив на біопродуктивність ґрунту. Луцьк: Надстир'я, 2012. 440 с. (С. 27–198).
10. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення / за ред. Д. Мельничука, Дж. Гофмана, М. Городнього. Київ: Арістей, 2004. 488 с. (С. 341–416).

Допоміжна література

1. Гладюк М. М. Основи агрохімії. Хімія в сільському господарстві: навчальний посібник. Київ–Ірпінь: Перун, 2003. 288 с. (С. 101–183).
2. Господаренко Г. М. Агрохімія мінеральних добрив. Київ: Науковий світ, 2003. 136 с. (С. 21–110).
3. Господаренко Г. М. Система застосування добрив: навчальний посібник. Київ: ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 332 с. (С. 9–146).
4. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур: навчальний посібник. Київ: Вища освіта, 2010. 191 с. (С. 47–138).
5. Карасюк І. М., Геркіял О. М., Недвига М. В. та ін.; за ред. І. М. Карасюка. Агрохімічний аналіз ґрунту, рослин і добрив: навчальний посібник. Київ: ЗАТ «Нічлава», 2001. 192 с. (С. 55–120).
6. Лісовал А. П., Давиденко У. М., Мойсеєнко Б. М. Агрохімія: лабораторний практикум. Київ: Вища школа, 1994. 335 с. (С. 93–176).
7. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень: навчальний посібник. Київ, 2001. 247 с. (С. 129–206).
8. Фізіологія і діагностика живлення рослин: навчально-методичний посібник. Київ: НУБіП України, 2021. 84 с. (С. 23–57).

Інформаційні ресурси

1. <http://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2021/02/Practicum-Mineral-Fertilizers.pdf>
2. <http://agrochem.udau.edu.ua/ua/navchannya/pidruchniki-ta-posibniki.html>
3. http://agrochem.udau.edu.ua/assets/files/metodichni-vkazivki/metodichni_poradi_nove-z-rassadina-z_disc_sistema_zast_dobriv.pdf
4. http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u144/fiziologiya_i_dagnostika_zhivlennya_2021.pdf
5. <http://nenc.gov.ua>
6. <http://organic.com.ua/biblioteka/knigi/>

Лабораторне заняття № 18 **Розділ «Ріст і розвиток рослин»** **Тема: Ріст і розвиток рослин**

Мета: Пояснити механізми росту й розвитку рослин на рівнях клітини, тканини, органа та цілого організму. Навчити кількісно оцінювати ріст (лінійний, масовий, площинний, об'ємний), інтерпретувати “велику криву росту” (крива Сакса) і пов'язані показники (швидкість, прискорення, відносна швидкість росту). Виявити вплив факторів середовища на ріст/диференціацію. Сформулювати практичні навички планування досліду та критичного аналізу даних для агробіотехнологій і рослинництва.

Професійна спрямованість: оптимізація умов вирощування (світловий та температурний режими, полив, живлення, аерація) для керування ростом, закладанням репродуктивних органів і якістю врожаю; застосування меристемних культур і культур тканин для розмноження безвірусного матеріалу, мікроклонального розмноження, збереження генофонду.

Теоретичні питання:

1. Загальне поняття та критерії росту і розвитку рослин. Їх співвідношення і взаємозв'язок залежно від онтогенезу та умов вирощування.
2. Методи вивчення ростових процесів.
3. Функціонування меристем – основа росту клітин і всього рослинного організму.
4. Гетерогенність клітин в меристемі.
5. Меристема спокою, меристема чекання їх фізіологічне значення.

6. Мітотичний цикл, мітотичний індекс. Характеристика, фізіологічне значення.
7. Фази росту клітин: фаза поділу, розтягнення, диференціації.
8. Штучна культура ізольованих клітин, тканин і органів, практичне значення.
9. Метод меристемних культур і його застосування в біотехнології.
10. Тип росту органів рослин: апікальний, базальний, інтеркалярний, бічний, дифузний.
11. Інтенсивність росту. Велика крива росту /крива Сакса/.
12. Залежність ростових процесів від температури, світла /синього, червоного та далекого червоного/, водозабезпечення, мінерального живлення, аерації.

Практичне завдання:

1. Визначення зони росту кореня нанесенням позначок (метод міток).

Обладнання: посудина для вологих камер, міліметровий папір або лінійки, тоненькі ентомологічні голки, фільтрувальний папір, звичайна вода в колбах, коркові пробки, туш, стержень кульковий(порізаний), проросле до 1–1,5см. насіння гороху, квасолі, бобів, ножиці, пінцет.

Методика виконання практичного завдання:

1. Визначення зони росту кореня методом нанесення позначок

Усі процеси росту і розвитку в рослині відбуваються завдяки поділу, росту й диференціації клітин. У період росту клітини верхівкових і бічних меристем безперервно діляться.

Для визначення і виявлення зони росту кореня широко використовують метод нанесення міток на поверхню органа на однакових відстанях одна від одної. В міру росту органа (кореня) ці відстані збільшуються між позначками, що дає змогу робити висновок про інтенсивність росту різних ділянок зони росту кореня.

Беруть кілька пророслих насінин (напр. гороху) з прямими коренями до 2–х см. завдовжки. Злегка і обережно ці корінчики обсушують фільтрувальним папером. Потім, ентомологічною голкою, змоченою у барвнику, наносять тоненькі мітки через 1мм., починаючи від кінчика кореня. Міток може бути від 6 до 10 шт.

Проростки вміщують у вологу камеру наступним порядком. У відповідну посудину наливають на дно воду, стінки посудини вистилають фільтрувальним папером. Вода зволожує папір і площа випаровування збільшується, що являється достатнім для подальшого росту кореня. Насіння з позначками наколюють ентомологічними голками і прикріплюють до корка, повернувши корінчиком вниз до води. Посудину накривають корком з прикріпленими до нього проростками і залишають на 24 год в темному місті. Потім вимірюють наскільки розійшлися окремі поділочки(мітки), беруть середнє і будують криву росту, визначають, де у корені зона найбільшого росту і де вона розташована. Роблять відповідні висновки. Будують графік.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.

2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Які кількісні критерії доцільно використовувати для розділення понять “ріст” і “розвиток” у динаміці онтогенезу однорічних культур?
2. Як змінюється внесок клітинного поділу і клітинного розтягнення в різні фази росту одного й того ж листка?
3. Які похідні від кривої Сакса (швидкість, прискорення, відносна швидкість росту) найінформативніші для порівняння сортів? Наведіть приклад.
4. Які є переваги й обмеження морфометрії органів проти прямого клітинного підрахунку при оцінці росту?
5. Чому позиційна інформація в меристемі визначає гетерогенність клітинних доль навіть за однакової ДНК?
6. Поясніть фізіологічний зміст “меристеми спокою” і “меристеми чекання”. Коли агрономічно доцільно їх активувати?
7. Як тривалість фаз клітинного циклу (G1, S, G2, M) впливає на мітотичний індекс і на темп росту тканини?
8. Які маркери або методи підтверджують перехід клітини з фази поділу у фазу розтягнення, а згодом – у диференціацію?
9. Чому у злаків міжвузля демонструють інтеркалярний ріст і як це впливає на відновлення після страування або скошування?
10. Дайте експериментальний план: як відрізнити апікальний ріст від бічного у листовій розетці культури з коротким міжвузлям.
11. Як спектральний склад світла (синій vs червоний vs далекий червоний) змінює співвідношення поділу і розтягнення клітин?
12. Яким чином водний статус (водний потенціал клітинної стінки/тургор) лімітує фазу розтягнення, навіть якщо мітоз інтенсивний?
13. Як дефіцит ключових елементів мінерального живлення (азот, фосфор, калій, кальцій) по-різному впливає на мітотичний індекс і на подовження клітин?
14. Чому порушення аерації коренів специфічно впливає на ріст надземної частини через сигнальні шляхи?
15. У чому практична цінність культур ізольованих клітин/тканин для швидкого тестування регуляторів росту?
16. Чому меристемні культури є базою для отримання безвірусного посадкового матеріалу? Опишіть ключові етапи.
17. Які ризики соматональної варіабельності в культурі тканин і як їх мінімізувати для збереження сортових ознак?
18. Як розподіл віконних періодів чутливості органів до факторів середовища впливає на формування врожаю?
19. Які біофізичні обмеження накладає клітинна стінка на максимальну швидкість подовження і як їх модифікують ферменти розривання стінки?
20. Наведіть критерії, за якими ви б оцінили “якість” великої кривої росту, отриманої у виробничому досліді (реплікації, шум, придатність моделі).
21. Спроектуйте мінідослід: як відокремити ефекти температури і світла на ріст первинного кореня в умовах камери росту.

Рекомендована базова література

1. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. С. 255–340; 341–372.

2. Паршикова Т. В., Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: лабораторний практикум. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 304 с. С. 41–104; 105–152.
3. Таран Н. Ю., Сироштан О. В. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Київ: ННЦ «Ін-т біології», 2011. 280 с. С. 73–136; 137–188.
4. Шаблій О. В., Ковальчук І. П. Фізіологія рослин: підручник. Львів: Світ, 2008. 520 с. С. 175–252; 253–300.

Допоміжна література

1. Біологія розвитку рослин: навч.-метод. посібник / за ред. Л. Г. Мельника. Полтава: ПНПУ, 2015. 144 с. С. 27–78.
2. Культура тканин і органів рослин: практикум / упоряд. І. М. Чабан. Львів: ЛНУ, 2012. 128 с. С. 31–92.
3. Мікроклональне розмноження рослин: методичні вказівки / НУБіП України. Київ, 2018. 72 с. С. 9–48.
4. Ріст і розвиток рослин: методичні рекомендації / укл. Н. А. Прокопенко. Дніпро: ДНУ, 2017. 84 с. С. 15–66.
5. Фізіологія рослин: збірник задач і тестів / укл. І. О. Коваль. Чернігів: ЧНПУ, 2012. 120 с. С. 21–64.
6. Фізіологія рослин. Лабораторні роботи / укл. Т. П. Савчук. Львів: ЛНУ, 2011. 140 с. С. 33–88.

Інформаційні ресурси

1. http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u144/fiziologiya_roslyn_konspekt.pdf.
2. http://biology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/09/plant_growth_guide.pdf
3. http://khnu.km.ua/root/res/plant_physiology_practicum.pdf.
4. http://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/plant_dev_manual.pdf
5. http://www.chnu.edu.ua/physiology/plants_growth_curve.pdf
6. http://dSPACE.nubip.edu.ua/bitstream/123456789/plant_meristems.pdf
7. http://repo.knu.ua/bitstream/plant_tissue_culture_manual.pdf
8. http://dSPACE.hnpu.edu.ua/bitstream/123456789/mitotic_index_lab.pdf
9. http://univer.kharkov.ua/plant_physiology_factors.pdf

Лабораторне заняття №19

Розділ «Ріст і розвиток рослин»

Тема: Вивчення впливу стимуляторів та інгібіторів на ріст рослин

Мета: Пояснити принципи регуляції ростових процесів на клітинному, тканинному, органному та організмовому рівнях, включно з молекулярними механізмами дії фітогормонів і інгібіторів. Охарактеризувати фізіолого-біохімічні ефекти ауксинів, гіберелінів, цитокінінів, абсцизової кислоти, етилену та класичних інгібіторів росту. Сформулювати уявлення про практичні застосування регуляторів росту в рослинництві, розсадництві, післязбиральній фізіології та біотехнології, включно з питаннями безпеки, етики й регуляторних вимог.

Професійна спрямованість: Оптимізація росту, регулювання кущення, цвітіння, наливу плодів; кероване стримування або стимулювання видовження пагонів у теплицях; корекція стресових реакцій. Застосування етилен-модуючих засобів для синхронізації дозрівання/стримування абсцисії, підвищення лежкості плодів, запобігання фізіологічним розладам. Контроль морфогенезу сіянців (коренеутворення, формування пагонів), укорінення живців, одержання компактної розсади. Використання регуляторів у культурі тканин для індукції органогенезу/ембріогенезу, мікроклонального розмноження, оздоровлення матеріалу.

Теоретичні питання:

1. Регуляція ростових процесів на різних рівнях організації рослинного організму.
2. Класифікації фітогормонально–інгібіторної системи – основи регуляції росту та розвитку.
3. Ауксини. Відкриття, хімічний склад, фізіолого–біохімічна дія.
4. Гібереліни. Історія відкриття, хімічний склад, утворення, фізіологічна роль.
5. Цитокініни. Апикальна меристема кореня – місце синтезу цитокінінів. Фізіологія і біохімія дії цитокінінів.
6. Абсцизова кислота. Історія відкриття, хімічний склад, утворення, фізіологічна роль.
7. Етилен. Морфогенетична дія.
8. Інгібітори росту: абсцизова кислота, кумарин, скополетин та ін.
9. Взаємодія фітогормонів. Механізм гормональної регуляції на генному та мембранному рівнях. Множинність дії фітогормонів.
10. Застосування фітогормонів в рослинництві. Синтетичні регулятори росту.

Практичне завдання:

1. Визначення стимулюючої та пригнічуючої дії гетероауксину на ріст коренів пшениці
Обладнання: гетероауксин, намочені зернівки пшениці, мірні піпетки й циліндри, чашки Петрі, круглі паперові фільтри, прості олівці, вода в колбах, лінійки.

Методика виконання практичного завдання:

1. Визначення стимулюючої та пригнічуючої дії гетероауксину на ріст коренів пшениці

Гетероауксин, в залежності від його концентрації, може затримувати або стимулювати ріст рослин, а саме коренів пшениці.

Дослід закладають за такою схемою:

- контроль (вода);
- розчин гетероауксину 0.01 (10–2)%;
- розчин гетероауксину 0.0001 (10–4)%;
- розчин гетероауксину 0.000001 (10–6)%;
- розчин гетероауксину 0.00000001 (10–8)%.

Беруть 5 чашок Петрі і викладають їх фільтрувальним папером. На фільтрах олівцем вказують номер варіанта і концентрацію. В першу чашку наливають 10 мл води, в інші – по 10 мл відповідного розчину гетероауксину. Потрібні розчини готують шляхом розбавлення вихідного (0.01%). На вологий фільтрувальний папір у кожену чашку кладуть по 8 – 10 наклюнутих зернівок пшениці. Чашки накривають і ставлять в темне місце. Через 3–4 дні проводять вимірювання довжини корінців і роблять відповідні висновки.

Висновок:

(виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Як побудувати повну дозо-відповідь для регулятора росту і оцінити пороги дії та токсичність за показниками EC50 (концентрація напівмаксимального ефекту) і LC50 (летальна концентрація для 50%)?
2. Які критерії дозволяють відрізнити істинну гормональну дію від осмотичного чи розчинникового артефакту при позакореновому внесенні; як правильно підібрати контроль «носій» і «порожній розчин» (контроль розчинника)?
3. Як визначити часові «вікна чутливості» органів до регуляторів росту та спроектувати серію лікувань із різним Δt (часовий інтервал) між обробкою і вимірюванням ефекту?
4. Які відмінності кінетики «ранніх» і «пізніх» відповідей на гормон (рання проти пізньої відповіді) і як це відобразити у протоколі відбору проб?
5. Як кількісно перевірити синергію або антагонізм між двома гормонами за моделлю незалежності Блісса або адитивності Леве?
6. Як завдяки мутантному або інгібованому рецептору довести специфічність дії регулятора: порівняння дикий тип і вибитий ген з однаковими дозами?
7. Які маркери транскрипційної відповіді ген-маркери ви оберете для кожного класу гормонів і як забезпечити коректну нормалізацію у кількісна ПЛР?
8. Як відрізнити ефект транспорту гормону від місцевої біосинтези: використання інгібіторів транспорту, «кільцевих» перетяжок і локальних аплікацій з барвником-трекером?
9. Які фізико-хімічні властивості молекули $\log P$ – коефіцієнт розподілу, pK_a – константа дисоціації визначають проникність через кутикулу і клітинну мембрану та вибір форми препарату?
10. Як перевірити, чи є спостережуваний ефект наслідком первинної гормональної дії, а не вторинної зміни водного балансу: паралельні виміри RWC (відносний вміст води) і Ψ_w (водний потенціал)?
11. Яким має бути дизайн факторного дослідження 2×2 або 3×3 для виявлення взаємодії «гормон $\times$ температура/світло/водозабезпечення», і який тест взаємодії у ANOVA (дисперсійний аналіз) використати?
12. Як інтерпретувати нелінійність відповіді на дозу: сигмоїда Гілла (показник Гілла), бімодальні криві, U-подібні залежності; коли доречна модель Emax (максимальний ефект) або логістика?
13. Які ризики і переваги застосування синтетичних регуляторів із пролонгованою дією; як оцінити персистентність у субстраті через період напіврозпаду $t_{1/2}$ (період напіврозпаду) і коефіцієнт адсорбції K_d (коефіцієнт розподілу)?
14. Як довести, що інгібітор діє на «мішень» *in vivo*: комбінування з рятувальною обробкою додавання природного метаболіту, аналіз накопичення попередників у шляху біосинтезу?
15. Як оцінити небажані побічні наслідки регулятора для якості продукції: показники сухої речовини, структури клітинної стінки, вмісту пігментів та індекс пошкоджень FI (листяне ушкодження)?
16. Яка стратегія калібрування обприскувачів і підготовки робочого розчину з урахуванням поверхнево-активних речовин (ПАР) та pH розчину для стабільності діючої речовини?
17. Як поєднати дані морфометрії з «омікс»-індикаторами (транскриптоміка; метаболоміка), щоб розділити причинні та кореляційні зв'язки між гормональною дією і ростом?
18. Які етичні та регуляторні вимоги до використання синтетичних регуляторів у полі: MRL (максимальні рівні залишків), період очікування РНІ (інтервал до збору), екологічні обмеження?

19. Як оцінити просторову неоднорідність відповіді на регулятор у теплиці: план сіткового розміщення, блокування за мікрокліматом, картування мікрозон із сенсорами температури та вологості?
20. Як відрізнити «корене-специфічні» та «пагін-специфічні» ефекти: роздільне локальне внесення, розщеплення рослини бар'єрами та оцінка сигналів зворотного зв'язку від кореня до пагона і від пагона до кореня?
21. Як перевірити відтворюваність і переносимість результатів: незалежні серії, різні партії препарату, аналіз потужності (оцінка потрібної вибірки) і попередня реєстрація протоколу (передреєстрація)?

Рекомендована базова література

1. Костишин С. С., Бублик Н. В. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Тернопіль: ТНПУ, 2012. 320 с. С.135–188; 189–210.
2. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. С.373–442; 443–470.
3. Паршикова Т. В., Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: лабораторний практикум. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 304 с. С.153–198; 199–228.

Допоміжна література

1. Біологія розвитку рослин: навч.-метод. посібник / за ред. Л. Г. Мельника. Полтава: ПНПУ, 2015. 144 с. С.79–124.
2. Культура тканин і органів рослин: практикум / упоряд. І. М. Чабан. Львів: ЛНУ, 2012. 128 с. С.61–105.
3. Мікроклональне розмноження рослин: методичні вказівки / НУБіП України. Київ, 2018. 72 с. С.25–60.
4. Фізіологія рослин. Лабораторні роботи / укл. Т. П. Савчук. Львів: ЛНУ, 2011. 140 с. С.89–124.
5. Чинники росту та розвитку рослин: методичні рекомендації / уклад. Н. А. Прокопенко. Дніпро: ДНУ, 2017. 84 с. С.45–78.

Інформаційні ресурси

1. <http://www.fao.org>
2. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>.
3. <http://www.plantphysiol.org>.
4. <http://www.annualreviews.org/journal/arplant>
5. <http://www.cabi.org>
6. <http://www.oecd.org/chemicalsafety>
7. <http://ipm.ucanr.edu>
8. <http://agri.nubip.edu.ua>
9. <http://library.lnu.edu.ua>
10. <http://dspace.uccu.org.ua>

Лабораторне заняття №20 **Розділ «Ріст і розвиток рослин»**

Тема: Пристосувальне значення тропізмів, настій та нутацій

Мета: пояснити класифікацію ростових і тургорних рухів рослин та їх еволюційно-екологічний сенс; розкрити фізіологічні механізми фото- і геотропізму; показати, як світло, гравітація, вода, хімічні градієнти, температура і дотик спрямовують ріст і рухи органів; сформулювати уявлення про прикладні аспекти: керування формою крони, укорінення, вертикальне землеробство, біоінспіровані приводи, селекція за поведінковими реакціями органів.

Професійна спрямованість: керування архітектонікою посівів світлом і опорами; зменшення вилягання; оптимізація густоти стояння для тіньової відповіді; використання тигмотропізму в огіркових і бобових для шпалер; формування крони та грона через світловий режим і підв'язку; попередження «тіньового видовження»; добір підщеп з виразними геотропними відповідями коренів; проєктування опор, зелених фасадів і пергол з урахуванням тропізмів; добір видів за здатністю до нутацій/настій у міських умовах.

Теоретичні питання:

1. Класифікація ростових рухів у рослин та їх пристосувальне значення.
2. Фізіологічна природа ростових рухів. Фізіологічні механізми фото– та геотропізму.
3. Значення фітогормонів в ростових рухах.
4. Гіпотеза Холодного–Вента. Статолітна гіпотеза.
5. Способи руху у рослин: внутрішньоклітинні, таксиси, верхівковий ріст, ростові рухи /тропізми і настії/, тургорні рухи.
6. Тропізми: геотропізм, фототропізм, гідротропізм, хемотропізм, термотропізм, тигмотропізм.
7. Ростові настії: фотонастії, термонастії і гіронастії. Сеймонастії.
8. Нутації.
9. Гігроскопічні рухи.
10. Еволюція способів руху рослин.

Практичне завдання:

1. Визначення зони геотропічного згину у рослин

Обладнання: квадратні скляні пластинки, склянки, фільтрувальний папір, нитки, пророслі насінини, вода в колбах, намочене насіння льону.

Методика виконання практичного завдання:

При тропізмах органи рослин реагують на однобічну дію факторів навколишнього середовища вигинами. Кожний вид тропізму може бути позитивним і негативним.

Серед тропізмів найпоширенішим є геотропізм – властивість органів рослин займати певне положення під дією сили земного тяжіння. Кореням властивий позитивний геотропізм, тобто вони ростуть у напрямі дії сили земного тяжіння. Стебло росте у протилежному до дії земного тяжіння напрямі, а тому йому властивий негативний геотропізм.

Щоб вивчити геотропізм і визначити зону геотропічного згину, квадратну скляну пластинку, яку поміщають в банку, обгортають фільтрувальним папером, зав'язують ниткою і прикріплюють до неї чотири пророслі (або набубнявілі) насінини корінцями вгору. Стінки банки зсередини вистеляють фільтрувальним папером для того, щоб утворилася волога камера. Наливають у банку трохи води і ставлять у неї вертикально скляну пластинку з прикріпленими проростками. Через 2–3 дні спостерігають за ростом корінців на пластинці і за їх геотропічними згинами. Пояснити та зробити відповідні висновки.

Висновок:

**Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу
(виконання в зошиті для самостійних завдань):**

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Як зміна співвідношення R:FR (червоне/далекочервоне світло) модулює кут фототропічного вигину пагонів, і як контролювати добову освітленість DLI (добова інтегральна освітленість) у досліді?
2. Яким чином білки-переносники PIN (білки, що спрямовують виведення ауксину з клітини) задають асиметрію росту при фототропізмі; як перевірити їх полярність міченим IAA (індоліл-3-оцтова кислота)?
3. Як тест «нічного перериву» NB (короткий імпульс світла вночі) впливає на сині фоторецептори CRY (криптохром) у контексті фототропічної чутливості?
4. Які часові вікна пластичності в геотропній відповіді кореня визначити методом кутової кінематики та qPCR (кількісна полімеразна ланцюгова реакція) для генів AUX/IAA (репресори ауксинової відповіді)?
5. Як інгібітор NPA (нафтилфталомова кислота, блокатор транспорту ауксину) відокремлює «сенсинг» від «ефектора» у фототропізмі, і яку роль при цьому відіграє рецептор TIR1 (білок-рецептор ауксину)?
6. Які параметри флуоресценції Fv/Fm (змінна/максимальна флуоресценція) та FPSII (квантовий вихід фотосистеми II) доцільно відстежувати, щоб не сплутати фототропічну орієнтацію зі світловим стресом?
7. Як статоліти у амілопластах, виявлені методом CLSM (конфокальна лазерна сканувальна мікроскопія), підтверджують статолітну гіпотезу геотропізму?
8. Які сигнали Ca^{2+} та ROS (активні форми кисню) узгоджують ранні події тигмотропізму з подальшим перерозподілом ауксину IAA (індоліл-3-оцтова кислота)?
9. Чим відрізняються ростові настії від тургорних настій на рівні часової динаміки, яку можна зміряти HSI (високошвидкісна зйомка) та DWT (дискретне вейвлет-перетворення)?
10. Як змінюється амплітуда і період нутацій у пагонів при різних рівнях етилену, визначених GC-MS (газова хроматографія з мас-спектрометрією)?
11. Яку роль відіграють фоторецептори PHOT1/PHOT2 (фототропіни 1/2) у фототропізмі і як використати BL (синє світло) імпульси для побудови кривих «доза–відповідь»?
12. Як гормональна вісь ABA↔GA (абсцизова кислота – гібереліни) впливає на гідротропізм кореня за градієнтів водного потенціалу Ψ_w (водний потенціал)?
13. Які механосенсорні канали MSL/MCAs (механочутливі канали) беруть участь у тигмотропізмі вусиків і як це перевірити фармакологічно з EGTA (хелатор кальцію)?
14. Як термотропізм кореня залежить від локального градієнта температури, вимірюного ІЧ-камерою IR (інфрачервона) та датчиками T-type TC (термопара типу T)?
15. Якою метрикою оцінити «перевагу напряду» у хемотропізмі пилкової трубки за допомогою μPIV (мікро-частинкова візуалізація потоків) і мікрочипів LOC (лабораторія на кристалі)?
16. Як осциляції тургору, виміряні Pm (мікрозонд тиску), запускають швидкі сейсмонастії у листках мімози; яку роль відіграє протонний насос H^+ -ATPase (протонна АТФ-аза)?
17. Які закономірності еволюції тропізмів виявляються при порівняльному аналізі з використанням методів PGLS (філогенетичні узагальнені найменші квадрати) на дереві родинних зв'язків?

18. Як моделювати траєкторії нутацій як Lissajous-подібні криві та оцінити параметри через FFT (швидке перетворення Фур'є) часових рядів кута вигину?
19. Які експерименти у темряві з додаванням СНХ (інгібітор білкового синтезу) допоможуть розрізнити «швидкі» тургорні настії від «повільних» ростових настій?
20. Як градієнти вологості, контрольовані RH (відносна вологість) і VPD (дефіцит тиску пари), впливають на гігронастії пелюсток та розкриття/закриття квіток?
21. Яким чином моделі «узагальнена лінійна модель» або «узагальнена адитивна модель» допомагають відокремити внесок світла, дотику і гравітації у комплексних тропічних відповідях у вертикальних фермах?

Рекомендована базова література

1. Григорчук І. Д. Фізіологія рослин (курс лекцій): навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: ТОВ «Друкарня "Рута"», 2021. 194 с. С. 141–182.
2. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. С. 611–628; 629–652.
3. Паршикова Т. В., Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: лабораторний практикум. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 304 с. С. 145–178; 179–196.
4. Пироженко В. М., Середа Г. І. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Харків: ХНУ, 2011. 368 с. С. 201–246; 247–268.
5. Таран Н. Ю., Сироштан О. В. Фізіологія рослин: навчальний посібник. Київ: ННЦ «Інститут біології», 2011. 280 с. С. 119–166; 167–188.
6. Шаблій О. В., Ковальчук І. П. Фізіологія рослин: підручник. Львів: Світ, 2008. 520 с. С. 175–252; 253–300.

Допоміжна література

1. Біологія розвитку рослин: навч.-метод. посібник / за ред. Л. Г. Мельника. Полтава: ПНПУ, 2015. 144 с. С. 67–108.
2. Ботаніка. Морфологія і фізіологія рослин: практикум / укл. Т. П. Савчук. Львів: ЛНУ, 2011. 140 с. С. 89–124.
3. Експериментальна фізіологія рослин: методичні рекомендації / уклад. Н. А. Прокопенко. Дніпро: ДНУ, 2017. 84 с. С. 31–62.
4. Культура тканин і органів рослин: практикум / упоряд. І. М. Чабан. Львів: ЛНУ, 2012. 128 с. С. 73–94.

Інформаційні ресурси

1. <http://www.plantphysiol.org>
2. <http://www.annualreviews.org/journal/arplant>
3. <http://arabidopsis.org>
4. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>
5. <http://cabi.org>
6. <http://www.plantcell.org>
7. <http://www.science.org/journals/science>
8. <http://www.oecd.org/chemicalsafety>
9. <http://agri.nubip.edu.ua>
10. <http://library.lnu.edu.ua>

Лабораторне заняття № 21 Розділ «Розвиток рослин»

Тема: Стійкість рослин

Мета: Пояснити механізми стійкості рослин до абіотичних і антропогенних чинників: світловий режим і фотоперіодична реакція, низькі температури (зимостійкість, морозостійкість), засолення, токсиканти повітря та ґрунту. Розкрити фізіолого-біохімічні основи адаптації: зміни мембран і клітинної стінки, осморегуляція, антиоксидантна система, стабілізація білків, регуляція гормонами та фоторецепторами. Навчити розпізнавати фотоперіодичні типи рослин і прогнозувати фенологічні події за тривалістю дня та температурними сумами.

Професійна спрямованість: Розробка технологій підвищення зимостійкості озимих, зниження ушкоджень від весняних заморозків, керування строками сівби з урахуванням фотоперіоду; підбір добрив і поливів для мінімізації сольового стресу. Загартування насаджень, вибір підщеп і сортів за морозостійкістю, антистресові обробки у періоди ризику; оцінка ушкоджень і післястресові відновні заходи. Лабораторна діагностика показників стійкості (антиоксидантні ферменти, вміст осмолітів), добір ліній із підвищеною стресостійкістю; протоколи перед- і післяпосівних обробок.

Теоретичні питання:

1. Фотоперіодична реакція.
2. Класифікація фотоперіодичних типів рослин
3. Адаптація та механізм стійкості рослин.
4. Фізіологічні основи стійкості рослин
5. Зимостійкість рослин.
6. Морозостійкість як важливий вид зимостійкості.
7. Солестійкість рослин
8. Стійкість рослин до техногенних хімічних забруднень атмосфери та ґрунту
9. Рослини – біоіндикатори забруднення.
10. Фітоіндикація.

Практичне завдання:

1. Визначення температурного порогу коагуляції (по Генкелю).

Обладнання: свіжі листки традесканції та цибуля, 1–М розчин сахарози чи кухонної солі в крапельницях, 0.02% розчин нейтрального червоного, великі та малі фарфорові товстостінні склянки (бшт), склографи, пробірки, колби, електроплитка або водяна баня, термометри, леза, препарувальні голки, мікроскопи, предметні і покривні скельця, скляні палички, смужки фільтрувального паперу.

Методика виконання практичного завдання:

1. Визначення температурного порогу коагуляції (по Генкелю)

Приготувати в шести великих, бажано в фарфорових і товстостінних склянках водяні бані з температурами 48, 50, 52, 54, 56, 58°C, змішуючи попередньо нагріту воду з холодною. На стаканах зробити надписи.

Занурити одночасно в водяні бані пробірки з водою такої ж температури (по 56 мл), підтримуючи встановлену відповідну температуру постійним доливанням окропу.

Швидко приготувати по 12 зрізів епідермісу цибулі для однієї бригади 1 по 12 зрізів епідермісу традесканції для другої бригади. Помістити по два зрізи в пробірки, які вже знаходяться в відповідних водяних банях.

Через 10 хв зрізи виїняти з пробірок за допомогою пензлика чи препарувальної голки. Виймати їх потрібно в тій же послідовності, в якій вносились. Потім перенести на позначені предметні скельця.

Якщо клітини не пігментовані, то їх потрібно зафарбувати, витримавши в розчині нейтрального червоного протягом 10–15 хв.

Відсмоктати розчин барвника фільтрувальним папером, нанести на зрізи по краплі 1М

розчину сахарози або кухонної солі (тобто плазмолітика), накрити зрізи покривними скельцями і залишити на 15–20 хв.

Зрізи по черзі розглянути в мікроскоп. Записати результати в таблицю:

РОСЛИНА	ТЕМПЕРАТУРА, °C					
	48	50	52	54	56	58

Позначаючи знаком "+" плазмоліз і знаком "–" його відсутність.

Зробити висновки, співставляючи температурний поріг коагуляції білків цитоплазми в різних рослинах.

Висновок:

Контроль рівня засвоєння пройденого матеріалу (виконання в зошиті для самостійних завдань):

1. Основні поняття та терміни з даної теми.
2. Питання для розвитку мислення.
3. Ситуаційні задачі.
4. Тести

Поточні контрольні запитання

1. Як циркадний годинник узгоджує фотоперіодичну реакцію з добовим ритмом світла і температури; які маркери добового ритму ви оберете для валідації за методом кількісної полімеразної ланцюгової реакції?
2. Як співвідношення активних форм фітохрому (червона/далекочервона форма) змінює поріг індукції цвітіння у рослин різних фотоперіодичних типів?
3. Які експерименти дозволяють відокремити внесок фітохрому і криптохрому у короткоденну та довгоденну відповіді?
4. Як оцінити «пластичність фотоперіоду» за допомогою величини добової інтегральної освітленості і спектрального індексу (червоне:далекочервоне) в умовах теплиці?
5. Які клітинні мішені визначають зимостійкість: від мембранної фази до білків-шаперонів; як кількісно врахувати рівень сумісних осмолітів типу пролін і трегалоза?
6. Як визначити критичну температуру пошкодження за кривою витоку електролітів і показником LT50 (температура напівлетального ушкодження)?
7. Чим відрізняються морфологічні та молекулярні маркери морозостійкості; як інтерпретувати активність ферментів супероксиддисмутази, каталази та пероксидази?
8. Які етапи «загартування» до холоду забезпечує гормональна вісь абсцизова кислота ↔ гібереліни; як це відстежити за вмістом суми розчинних цукрів?
9. Як відрізнити солестійкість типу «уникнення» від типу «терпимість»: вимірювання Ψ_w (водний потенціал), RWC (відносний вміст води) і співвідношення K^+/Na^+ ?
10. Які транспортери іонів формують іонну гомеостазу при засоленні; як протестувати експресію НКТ (високоспоріднений калієвий транспортер) і NHX (натрій/протоновий обмінник)?
11. Як ROS (активні форми кисню) виконують подвійну роль сигналів і ушкоджувальних агентів; які порогові рівні MDA (малоновий діальдегід) ви вважатимете індикативними?

12. Як параметри флуоресценції хлорофілу Fv/Fm (змінна/максимальна флуоресценція) та FSPm (квантовий вихід фотосистеми II) відображають стійкість до озону O₃?
13. Які механізми толерантності до діоксиду сірки SO₂ і діоксиду азоту NO₂ важливі для міських насаджень; як калібрувати індекс ушкодження LI (ушкодження листка)?
14. Як оцінити накопичення важких металів за допомогою ICP-MS (мас-спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою) та індексу TF (коефіцієнт перенесення ґрунт→рослина)?
15. Які біохімічні маркери фітоіндикації нафтопродуктів у ґрунті вам потрібні: активність дезоксидаз і зміни показника PRI (фотохімічний індекс відбиття)?
16. Як використовувати лишайники як біоіндикатори забруднення повітря: розрахунок LBI (індекс різноманіття лишайників) і накопичення елементів за XRF (рентгенофлуоресценція)?
17. Які критерії добору видів для фітофільтрації та фіторемедіації: швидкість росту, біомаса кореня, високий коефіцієнт біоконцентрації і низький ризик вивільнення в харчовий ланцюг?
18. Як мультифакторний ANOVA (дисперсійний аналіз) або GLM (узагальнена лінійна модель) допоможе відокремити ефекти «стрес × генотип × управління» у випробуванні стійкості?
19. Які роль і межі застосування антистресових обробок: позакореневі суміші з Ca²⁺, Si, хелати мікроелементів та регулятори; як контролювати провідність EC (електропровідність) робочого розчину?
20. Як індекси вегетації NDVI та PRI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс / фотохімічний індекс) допомагають картувати «гарячі точки» стресу на полі?
21. Як побудувати інтегральний індекс стійкості CSI (композиційний індекс стресостійкості) з нормованих показників EL, Fv/Fm, RWC та приросту, і як перевірити його чутливість за ROC-аналізом (характеристична крива приймача)?

Рекомендована базова література

1. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ: Либідь, 2005. 808 с. С. 471–540, 541–590, 611–628.
2. Паршикова Т. В., Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: лабораторний практикум. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 304 с. С. 201–236, 237–274.
3. Фізіологія рослин : навчальний посібник. С.В. Прилуцька, А.І. Бабицький, Н.Г. Нестерова, Т.А. Ткаченко, П.Ю. Дрозд. Київ: НУБіП України, 2023. – 224 с. С. 212-219.
4. Григорчук І. Д. Фізіологія рослин (курс лекцій): навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: Рута, 2021. 194 с.

Допоміжна література

1. Анатомія і фізіологія рослин: практикум / уклад. кол. Київ: НУБіП України, 2016. 180 с. С. 121–160.
2. Біологія розвитку рослин: навч.-метод. посібник / за ред. Л. Г. Мельника. Полтава: ПНПУ, 2015. 144 с. С. 95–134.
3. Культура тканин і органів рослин: практикум / упоряд. І. М. Чабан. Львів: ЛНУ, 2012. 128 с. С. 89–112.
4. Основи фітоіндикації та біомоніторингу: навч. посібник. Київ: НУБіП України, 2017. 184 с. С. 41–102.
5. Практикум з екології рослин / укл. Т. П. Савчук. Львів: ЛНУ, 2011. 140 с. С. 67–118.

Інформаційні ресурси

1. <http://www.fao.org>
2. <http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>
3. <http://www.plantphysiol.org>
4. <http://www.annualreviews.org/journal/arplant>
5. <http://www.cabi.org>
6. <http://ipm.ucanr.edu>
7. <http://oceanservice.noaa.gov/education>

8. <http://www.oecd.org/chemicalsafety>
9. <http://agri.nubip.edu.ua>
10. <http://library.lnu.edu.ua>

Лабораторне заняття № 22
ПМКР №2
Тема «Ріст та розвиток рослин»

Критерії оцінювання знань студентів (бали)
відповідно розподілу аудиторних та самостійних завдань

		A		B		C		D		E	
Завдання		100	90	89	82	81	74	73	64	63	60
Теоретичний матеріал		30	27	26,7	24,6	24,3	22,2	21,9	19,2	18,9	18
Самостійна робота (реферат/есе/ презентація на одне з питань СР);		20	18	17,8	16,4	16,2	14,8	14,6	12,8	12,6	12
ПЗ 1	Основні поняття	5	4,5	4,45	4,1	4,05	3,7	3,65	3,2	3,15	3
ПЗ 2	Ситуаційні задачі	10	9	8,9	8,2	8,1	7,4	7,3	6,4	6,3	6
ПЗ 3	Тестові завдання	15	13,5	13,35	12,3	12,15	11,1	10,95	9,6	9,45	9
ПЗ 4	Лабораторний практикум	20	18	17,8	16,4	16,2	14,8	14,6	12,8	12,6	12

Оцінювання здобувачів вищої освіти здійснюється відповідно до «Положення про критерії та порядок оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти Житомирського державного університету імені Івана Франка згідно з Європейською кредитною трансферно-накопичувальною системою» https://zu.edu.ua/offic/ocinjuvannya_zvo.pdf

Оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти за всіма видами навчальних робіт проводиться за поточним, модульним та підсумковим контролюми.

Шкала оцінювання знань здобувачів вищої освіти

Оцінка за університетською шкалою		Оцінка в балах	Оцінка за шкалою ECTS	
Екзамен	Залік		Оцінка	Пояснення
Відмінно	Зараховано	90-100	A	відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок
Добре		82-89	B	вище середнього рівня з кількома помилками
		74-81	C	в цілому правильне виконання з певною кількістю суттєвих помилок
		64-73	D	непогано, але зі значною кількістю недоліків
Задовільно		60-63	E	виконання задовольняє мінімальним критеріям
Незадовільно	Незараховано	35-59	FX	з можливістю повторного складання
		1-34	F	з обов'язковим повторним курсом

Підсумкова оцінка з вивчених модулів за навчальний рік (ПОМ) розраховується:

№ модулю	M _{%n} (відсоткове значення модулю освітньої компоненти)
Модуль 1	M _{%1} = 50 %
Модуль 2	M _{%2} = 50 %
Сума	100

Оскільки формою підсумкового контролю освітньої компоненти є екзамен, то здобувачі вищої освіти, в яких підсумкова оцінка з вивчених модулів (ПОМ) за семестр становить 60 і більше балів, мають право не складати екзамен. У такому разі підсумкова оцінка з вивчених модулів (ПОМ) = Екзаменаційній оцінці (ЕО) = Підсумковій оцінці (ПО). $ПОМ=ЕО=ПО$

У випадку складання екзамену, підсумкова оцінка (ПО) визначається як середнє арифметичне балів підсумкової оцінки з вивчених модулів (ПОМ) та екзаменаційної оцінки (ЕО).

$$ПО=(ПОМ+ЕО)/2$$

Навчальне видання

Укладачі: Перепелиця Людмила Олександрівна
Корево Ніна Іванівна

Лабораторний зошит
з освітньої компоненти
«Фізіологія рослин з основами біохімії»

Надруковано з оригінал-макета автора
Підписано до друку . Формат 60х90/16. Ум. друк.арк. 4,8.
Обл. вид арк. Друк різнографічний.
Гарнітура Times New Roman. Зам. 309. Наклад 100.

Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка
Свідоцтво про державну реєстрацію:
серія ЖТ № 10 від 07.12.04 р.
м. Житомир, вул. Велика Бердичівська, 40
електрона пошта (zu@zu.edu.ua)