

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ»  
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ І ЗАГАЛЬНОБІОЛОГІЧНИХ ДИСЦИПЛІН**

# **Фізіологія**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних занять для здобувачів першого  
(бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальностей  
Н1 Агрономія, Н3 Садово-паркове господарство для  
(денної і заочної (дистанційної) форми навчання

**м. Кам'янець-Подільський**

**2026**

УДК: 581.1 (076.5)

**Укладач:**

**Уляна НЕДІЛЬСЬКА**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою  
Закладу вищої освіти «Подільський державний університет  
(протокол №2 від 25 лютого 2026 р.)*

**Рецензенти:**

**Василь ГРИГОР'ЄВ**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри землеробства, ґрунтознавства і захисту рослин Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

**Іван СЕНИК**, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри агробіотехнологій Західноукраїнського національного університету

Методичні вказівки для лабораторних занять з дисципліни «Фізіологія» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальностей: Н1 «Агрономія», Н3 «Садово-паркове господарство» (денної і заочної (дистанційної) форми навчання. У.І. Недільська Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2026. 120 с.

Пропоновані методичні вказівки «Фізіологія» містять сучасні наукові дані про фізіологічні процеси життєдіяльності і продуктивності організмів.

Розглянуто основні функції від клітинного рівня до цілісного організму. Дано теоретичне обґрунтування фізіології, як бази для оптимізації продукційного процесу в організмів і одержання екологічно чистої продукції високої якості. Значну частину приділено лабораторним аспектам розділів курсу використання наукових знань про життєдіяльність організмів у практичному господарстві. До кожної теми подається ґрунтовне теоретичне обґрунтування, детально описується принцип і хід роботи.

Рекомендований для використання в своїй діяльності здобувачам вищої освіти та науково-педагогічним працівникам закладів вищої освіти, практичним працівникам агропромислового комплексу.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b>		6
<b>Організація безпеки праці під час роботи в лабораторії</b>		8
<b>Розділ I</b>	<b>ХІМІЧНИЙ СКЛАД, СТРУКТУРА І ФУНКЦІЇ ОРГАНІЗМУ</b>	
<b>Тема 1</b>	<b>Клітина - функціональна одиниця, її структурна організація</b>	11
<i>Робота 1.1</i>	Спостереження ознак пошкодження клітини	13
<b>Тема 2</b>	<b>Структура і властивості мембран</b>	15
<i>Робота 2.1</i>	Проникність і накопичення речовин у клітині	17
<i>Робота 2.1</i>	Проникність живої і мертвої протоплазми для клітинного соку	18
<b>Тема 3</b>	<b>Клітина як осмотична система</b>	19
<i>Робота 3.1</i>	Визначення потенційного осмотичного тиску клітинного соку методом плазмолізу	21
<b>Тема 4</b>	<b>Ферменти як біологічні каталізатори</b>	26
<i>Робота 4.1</i>	Виявлення дегідрогенази в пророслому насінні	27
<b>Тема 5</b>	<b>Властивості вуглеводів</b>	28
<i>Робота 5.1</i>	Виявлення гексоз в рослинах	30
<b>Тема 6</b>	<b>Властивості білків</b>	33
<i>Робота 6.1</i>	Отримання білка з насіння	35
<b>Тема 7</b>	<b>Властивості ліпідів</b>	40
<i>Робота 7.1</i>	Гідролітичне розщеплення жирів при проростанні насіння олійних культур	42
<b>Тема 8</b>	<b>Речовини вторинного походження</b>	44
<i>Робота 8.1</i>	Виявлення алкалоїдів і дубильних речовин у рослинах	46
<b>Розділ II</b>	<b>ВОДООБМІН, ФОТОСИНТЕЗ ТА ДИХАННЯ ЇХ ФІЗІОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ</b>	
<b>Тема 9</b>	<b>Процеси водообміну</b>	45
<i>Робота 9.1</i>	Вплив зовнішніх умов на явища гутації	48
<i>Робота 9.2</i>	Визначення стану продихів методом інфільтрації	50
<b>Тема 10</b>	<b>Показники транспірації</b>	52
<i>Робота 10.1</i>	Визначення інтенсивності транспірації ваговим методом	54
<b>Тема 11</b>	<b>Фізико-хімічні і оптичні властивості пігментів</b>	56
<i>Робота 11.1</i>	Виділення суміші пігментів листка	59
<i>Робота 11.2</i>	Розподіл пігментів за методом Крауса	60
<i>Робота 11.3</i>	Омилення хлорофілу	61
<i>Робота 11.4</i>	Одержання феофітину та зворотне заміщення атомом металу	62
<b>Тема 12</b>	<b>Біохімія фотосинтезу</b>	64
<i>Робота 12.1</i>	Фотосенсибілізуюча дія хлорофілу (світлова фаза фотосинтезу)	67
<b>Тема 13</b>	<b>Екологія фотосинтезу</b>	69
<i>Робота 13.1</i>	Визначення інтенсивності фотосинтезу газометричним методом (за Л.О. Івановим)	71

<b>Тема 14</b>	<b>Продуктивність фотосинтезу</b>	74
<i>Робота 14.1</i>	Визначення чистої продуктивності фотосинтезу	76
<b>Тема 15</b>	<b>Дихання, ферменти дихального циклу</b>	78
<i>Робота 15.1</i>	Виявлення дегідрогенази	79
<i>Робота 15.2</i>	Виявлення в насінні каталази	81
<b>Тема 16</b>	<b>Онтогенетичні і екологічні аспекти дихання</b>	82
<i>Робота 16.1</i>	Визначення інтенсивності дихання за кількістю виділеної вуглекислоти	83
<i>Робота 16.2</i>	Визначення дихального коефіцієнту	85
<b>Розділ III</b>	<b>КОРЕНЕВЕ ЖИВЛЕННЯ, ФІЗІОЛОГІЯ РОСТУ РОЗВИТКУ ТА ПРИСТОСУВАННЯ ОРГАНІЗМІВ</b>	
<b>Тема 17</b>	<b>Явище антагонізму</b>	86
<i>Робота 17.1</i>	Антагонізм іонів водню і калію	89
<i>Робота 17.2</i>	Антагонізм іонів калію і кальцію	90
<b>Тема 18</b>	<b>Діагностика мінерального живлення</b>	92
<i>Робота 18.1</i>	Визначення потреби рослин в азоті	94
<b>Тема 19</b>	<b>Визначення росту і розвитку рослин</b>	96
<i>Робота 19.1</i>	Періодичність росту пагонів дерев	99
<i>Робота 19.2</i>	Явище алелопатії	100
<i>Робота 19.3</i>	Явище фототропізму	102
<b>Тема 20</b>	<b>Регулятори росту</b>	104
<i>Робота 20.1</i>	Вплив гетероауксину на ріст коренів	107
<b>Тема 21</b>	<b>Стійкість до низьких і високих температур</b>	108
<i>Робота 21.1</i>	Визначення посухостійкості рослин	110
<i>Робота 21.2</i>	Визначення жаростійкості рослин	111
<b>Тема 22</b>	<b>Солестійкість і шляхи її підвищення</b>	114
<i>Робота 22.1</i>	Вплив концентрації розчину солей на проростання насіння	116
<b>Тема 23</b>	<b>Закономірності життєдіяльності рослинного організму в онтогенезі</b>	117
	<b>Список використаної літератури</b>	119

## ПЕРЕДМОВА

Практикум з дисципліни «Фізіологія» розроблено для забезпечення лабораторних занять здобувачів вищої освіти спеціальності «Агрономія» та «Садово-паркове господарство» є важливою складовою фахової підготовки майбутніх спеціалістів аграрної галузі. Його зміст відповідає освітньо-професійній програмі підготовки бакалаврів з агрономії та спрямований на формування системного уявлення про фізіологічні процеси, що відбуваються в рослинному організмі.

Фізіологія як фундаментальна біологічна наука вивчає закономірності перебігу життєво важливих процесів - фотосинтезу, дихання, транспірації, мінерального живлення, росту і розвитку, гормональної регуляції, а також механізми адаптації та стійкості рослин до біотичних і абіотичних чинників середовища. Знання цих процесів є науковою основою сучасного землеробства, селекції, рослинництва та агроєкології, а також необхідними для прогнозування врожайності та якості продукції рослинництва.

Лабораторні заняття з фізіології відіграють ключову роль у формуванні практичних умінь і навичок здобувачів вищої освіти, оскільки дають змогу безпосередньо спостерігати прояв фізіологічних процесів, опановувати методи експериментального дослідження та працювати з лабораторним обладнанням. Виконання лабораторних робіт сприяє розвитку аналітичного мислення, вмінню планувати експеримент, коректно фіксувати результати досліджень, здійснювати їх статистичну обробку та робити аргументовані висновки.

Методичні вказівки містить комплекс лабораторних робіт, які охоплюють основні розділи курсу фізіології і логічно пов'язані з лекційним матеріалом. Кожна лабораторна робота включає мету, короткі теоретичні відомості, перелік обладнання та матеріалів, детальний опис методики виконання, контрольні запитання та завдання для самостійної роботи. Така структура

забезпечує поетапне засвоєння матеріалу та сприяє формуванню навичок самостійної навчально-дослідної діяльності.

Особлива увага в матеріалах приділена питанням прикладного характеру, зокрема впливу факторів зовнішнього середовища на фізіологічний стан рослин, ролі мінерального живлення та водного режиму в формуванні врожаю, фізіологічним основам дії добрив, регуляторів росту та інших агротехнічних заходів. Це дозволяє здобувачам вищої освіти усвідомити практичну значущість фізіології у професійній діяльності.

Окремим розділом у практикумі розглянуто вимоги щодо організації лабораторних робіт, дотримання правил техніки безпеки та академічної доброчесності. Наголошується на необхідності відповідального ставлення здобувачів вищої освіти до проведення експериментів, коректного оформлення лабораторних звітів і самостійного виконання завдань.

Методичні вказівки можуть бути використані під час аудиторних лабораторних занять, у процесі підготовки до підсумкового контролю, а також для самостійної роботи здобувачів вищої освіти. Видання адресоване здобувачам вищої освіти спеціальності «Агрономія», «Садово-паркове господарство» викладачам закладів вищої освіти згаданого профілю та може бути корисним усім, хто цікавиться питаннями фізіології і їх практичним застосуванням у сільському господарстві.

## **ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ**

### **1. Загальні положення щодо безпеки праці в лабораторії**

Безпека праці в лабораторії є важливою складовою організації навчального та науково-дослідного процесу. Лабораторні роботи пов'язані з використанням хімічних реактивів, біологічних об'єктів, фізичних приладів, електрообладнання, а також з можливістю впливу шкідливих і небезпечних факторів на організм людини. Тому дотримання вимог охорони праці є обов'язковою умовою забезпечення збереження життя і здоров'я науково-педагогічних працівників та здобувачів освіти.

Організація безпеки праці в лабораторії ґрунтується на вимогах чинного законодавства України, нормативно-правових актів з охорони праці, санітарних норм і правил, а також внутрішніх інструкцій Закладу вищої освіти. Усі особи, які працюють у лабораторії, повинні пройти відповідний інструктаж з охорони праці та пожежної безпеки.

Основними небезпечними та шкідливими факторами під час роботи в лабораторії є:

- дія хімічно небезпечних речовин (токсичних, корозійних, вибухонебезпечних);
- можливість опіків, порізів, ураження електричним струмом;
- вплив шкідливих випарів, газів, пилу;
- біологічні ризики під час роботи з мікроорганізмами;
- підвищене психоемоційне та зорове навантаження.

З метою запобігання нещасним випадкам у лабораторії встановлюються чіткі правила організації робочого процесу, раціонального розміщення обладнання та використання засобів індивідуального захисту.

### **2. Вимоги до організації робочого місця в лабораторії**

Робоче місце в лабораторії повинно бути організоване відповідно до санітарно-гігієнічних норм і вимог охорони праці. Приміщення лабораторії має бути достатньо освітленим, добре провітрюваним, обладнаним системою вентиляції та, за необхідності, витяжними шафами.

Лабораторні столи повинні бути стійкими, виготовленими з матеріалів, стійких до дії хімічних речовин і високих температур. Обладнання, прилади та реактиви слід розміщувати так, щоб уникнути безпорядку робочої поверхні та забезпечити вільний доступ до аварійних виходів, засобів пожежогасіння і аптечки першої допомоги.

Особлива увага приділяється електробезпеці. Усі електроприлади повинні бути справними, мати заземлення та використовуватися лише за призначенням. Забороняється працювати з обладнанням із пошкодженими кабелями, відкритими струмопровідними частинами або у вологому середовищі.

Хімічні реактиви необхідно зберігати у спеціально відведених шафах з відповідним маркуванням. Легкозаймисті, токсичні та вибухонебезпечні

речовини зберігаються окремо, з дотриманням правил сумісності. Забороняється зберігати у лабораторії сторонні предмети, їжу та напої.

### **3. Правила безпеки під час виконання лабораторних робіт**

Перед початком роботи кожен здобувач вищої освіти зобов'язаний:

- ознайомитися з інструкцією з охорони праці;
- перевірити справність обладнання та приладів;
- одягнути засоби індивідуального захисту (лабораторний халат, рукавички, захисні окуляри за потреби);
- переконатися у наявності необхідних матеріалів та реактивів.

Під час виконання лабораторних робіт необхідно суворо дотримуватися встановленої методики експерименту, не перевищувати допустимі концентрації речовин та не змінювати умови досліду без дозволу науково педагогічного працівника. Забороняється працювати наодинці з небезпечними речовинами або обладнанням підвищеної небезпеки.

Під час роботи з хімічними речовинами не допускається:

- пробувати реактиви на смак або вдихати їхні пари безпосередньо;
- змішувати невідомі або несумісні речовини;
- використовувати пошкоджений лабораторний посуд.

У разі виникнення аварійної ситуації (розлив хімічної речовини, загоряння, травмування) необхідно негайно припинити роботу, повідомити відповідальну особу та діяти відповідно до плану ліквідації аварій. Постраждалому слід надати першу домедичну допомогу та за потреби викликати медичних працівників.

Після завершення роботи потрібно:

- вимкнути електроприлади та перекрити подачу газу;
- утилізувати відходи згідно з установленими правилами;
- привести робоче місце до належного стану;
- ретельно вимити руки з мийними засобами.

### **4. Засоби індивідуального та колективного захисту**

Для забезпечення безпеки праці в лабораторії використовуються засоби індивідуального та колективного захисту. До засобів індивідуального захисту належать лабораторний одяг, захисні рукавички, окуляри, маски або респіратори. Вибір конкретних засобів залежить від характеру виконуваних робіт та рівня небезпеки.

Засоби колективного захисту включають витяжні шафи, вентиляційні системи, захисні екрани, системи сигналізації та пожежогасіння. Їх справність і ефективність повинні регулярно перевірятися.

Організація безпеки праці під час роботи в лабораторії є комплексним процесом, що поєднує нормативні вимоги, технічні заходи та дисципліну групи. Дотримання правил охорони праці, правильна організація робочого місця та використання засобів захисту значно знижують ризик нещасних випадків і професійних захворювань. Формування відповідального ставлення до безпеки є необхідною умовою ефективної та безпечної лабораторної діяльності.

## КЛІТИНА ФУНКЦІОНАЛЬНА ОДИНИЦЯ, ЇЇ СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ

### Теоретична частина

Клітина є базовою структурно-функціональною одиницею рослинного організму, здатною до самовідтворення та автономного існування. Її організація має низку характерних рис, що принципово відрізняють рослинні клітини від тваринних, зокрема наявність добре сформованої целюлозної клітинної оболонки, пластидного апарату, розвиненої вакуолярної системи та специфічного типу росту, зумовленого розтягненням клітин.

Функціональна фізіологія клітини реалізується через систему спеціалізованих внутрішньоклітинних структур - органел, кожна з яких виконує чітко визначену роль у підтриманні життєдіяльності. Однією з ключових ознак рослинної клітини є вакуоля - мембранний компартмент, відмежований від цитоплазми тонопластом. Вакуоля містить водний розчин мінеральних солей, цукрів, органічних кислот, амінокислот та інших низькомолекулярних сполук.

Саме концентрація цих речовин, а відповідно й осмотичний потенціал вакуолярного соку, визначає здатність клітини поглинати воду з навколишнього середовища. Напівпроникний характер мембрани зумовлює пасивний осмотичний рух води в клітину. Водночас вакуоля відіграє важливу механічну роль, притискаючи цитоплазму з локалізованими в ній пластидами до клітинної стінки, що створює оптимальні умови для перебігу фотосинтетичних процесів.

Важливим фізіологічним наслідком вакуолярного наповнення є формування тургору - стану, за якого клітинний вміст, насичений водою, чинить тиск на клітинну стінку. За умов повного водонасичення осмотичний тиск врівноважується тургорним, і надходження води припиняється. Максимальна ж сисна сила клітини спостерігається за повної відсутності тургору, коли водопоглинальна здатність визначається виключно осмотичним потенціалом.

Рушійною силою надходження води в клітину є різниця хімічних потенціалів води всередині клітини та в зовнішньому середовищі. Оскільки хімічний потенціал чистої води є вищим, ніж у водних розчинах, підвищення концентрації розчинених речовин у клітині зумовлює інтенсивніше проникнення води.

На відміну від води, мінеральні елементи в більшості випадків транспортуються через клітинні мембрани проти електрохімічного градієнта, що здійснюється активно за участю специфічних білків-переносників і з використанням енергії АТФ. Завдяки розвиненій системі мембран у клітині підтримується стабільний йонний склад цитоплазми та вакуолярного вмісту, що визначає клітину як складну колоїдно-осмотичну систему.

Мембранний принцип організації протопласта проявляється у різноманітних осмотичних властивостях живих клітин. Саме на цьому ґрунтуються методи вивчення плазмолізу та деплазмолізу, визначення осмотичного тиску клітинного соку, а також оцінка проникності інтактних і ушкоджених мембран. Зазначені показники мають важливе діагностичне та прикладне значення, зокрема для первинної оцінки фізіологічного стану рослин у відкритому й закритому ґрунті.

У процесі еволюції в клітинах живих організмів сформувався універсальний механізм неспецифічної реакції на ушкоджувальну дію, що проявляється типовими структурно-функціональними змінами: зниженням дисперсності колоїдів цитоплазми, підвищенням спорідненості до барвників, зміною проникності мембран, зростанням кислотності середовища та порушенням гранулоутворення. Відповідно до денатураційної теорії, ці процеси зумовлені зворотною або незворотною денатурацією білків - ключових компонентів протоплазми.

Сучасні досягнення клітинної біології дозволили суттєво уточнити положення цієї теорії. Доведено, що неспецифічна відповідь клітин на ушкодження зумовлена особливостями їх структурно-функціональної організації. Важливу роль відіграє компартменталізація - нерівномірний просторовий розподіл низькомолекулярних органічних сполук у клітині, а також неспецифічне інгібування активності макромолекул цими сполуками. Порушення балансу між активним транспортом і дифузією призводить до декомпартменталізації субстратів та гальмування метаболічних процесів, що лежить в основі неспецифічної клітинної реакції.

### ***Робота 1. Спостереження ознак пошкодження клітини***

**Мета:** на прикладі тканин цибулі вивчити ознаки пошкодження клітин.

**Матеріали та обладнання:** цибулина з білими лусками, розчин нейтрального червоного, 1 М розчин  $\text{KNO}_3$ , 10% розчин  $\text{NH}_4\text{OH}$ , хімічні стакани, мікроскопи, предметні й накривні скельця, пінцети, скляні палички.

Білки – це органічні речовини, що забезпечують фізичні та хімічні особливості рослин. У живій клітині білки мають певну структуру, яка і визначає їх властивості, характерні для живої клітини.

При зміні факторів середовища структура білків може змінюватись. У білковій молекулі вторинна, третинна і четвертинна структури утримуються за рахунок дуже слабких зв'язків, що легко руйнуються. Це, в свою чергу, дозволяє клітині змінювати властивості й пристосовуватися до факторів зовнішнього середовища. Коли фактор перевищує порогову величину, виникає незворотна денатурація білка – коагуляція.

Коагуляція викликає руйнування клітинних органел і клітини в цілому. Тому цей процес є в основі незворотних руйнувань рослинної клітини. Незалежно від природи агента при пошкодженні в клітині виникає комплекс неспецифічних відповідних реакцій:

- зменшення ступеня дисперсності цитоплазми (помутніння);

- підвищення в'язкості;
- збільшення проникності мембран (вихід речовин із клітини);
- підвищення спорідненості до барвників у ядра і цитоплазми;
- зміщення рН середовища в кислу сторону;
- зменшення мембранного потенціалу.

### **Хід роботи**

Шматочок епідермісу луски непігментованої цибулі витримують у слабкому розчині нейтрального червоного протягом 20 хв. Після забарвлення епідерміс поміщають на предметне скло в краплю води і розглядають під мікроскопом. У живих клітинах цитоплазма і ядро залишаються безбарвними, а вакуоля набуває малинового кольору. При дії на клітину  $KNO_3$  в ній спостерігається плазмоліз. Це означає, що клітина жива.

Для того, щоб дослідити зміни в клітині при її пошкодженні, використовують отруту – амоніак. При нанесенні його на зріз забарвлення зрізу стає жовтим, цитоплазма і ядро набувають видиму в мікроскоп структуру і забарвлюються в жовто-бурий колір.

Зобразити на трьох рисунках живі клітини цибулі, що накопичили в вакуолях нейтральний червоний; клітини плазмольовані в 1 М розчині  $KNO_3$ ; клітини цибулі з оструктуреним і забарвленим ядром і цитоплазмою під дією амоніаку.

Після дослідження отриманих результатів роблять висновок про ознаки пошкодження клітини під дією отрути.

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

### **Підсумковий контроль:**

1. Яка структура рослинної клітини та її основні складові?
2. Які функції виконують різні органели клітини?
3. Які існують основні типи руху цитоплазми?
4. В яких клітинних об'єктах ротаційний рух цитоплазми проявляється найбільш виразно?
5. Які фізичні властивості характеризують цитоплазму?

## СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ МЕМБРАН

### Теоретична частина

Цитоплазматичні мембрани є високоорганізованими структурами товщиною близько 5–10 нм, які локалізуються на поверхні клітини та її внутрішніх структур. За хімічним складом вони сформовані переважно білками (приблизно 60 %) і фосфоліпідами (близько 40 %), з незначною домішкою вуглеводів. Мембрани виконують ключову роль у відокремленні внутрішнього вмісту клітини від навколишнього середовища, регуляції обміну речовин, а також у формуванні внутрішньоклітинних компартментів, у межах яких перебігають спеціалізовані метаболічні процеси.

Протопласт клітини обмежений мембранними структурами як із зовнішнього, так і з внутрішнього боку. Плазматична мембрана (плазмалема) відокремлює його від клітинної оболонки, тоді як тонопласт відмежовує протопласт від вакуолі. Крім того, у клітині наявні мембрани ядра, мітохондрій, пластид, апарату Гольджі та внутрішні мембранні системи цитоплазми - ендоплазматичний ретикулум, внутрішні мембрани мітохондрій і хлоропластів. Незважаючи на різноманітність функцій, усі мембрани мають спільну рису - наявність ліпідів і білків, співвідношення яких визначається функціональним призначенням конкретної мембрани.

Біологічні мембрани виконують функцію вибіркового бар'єра, у складі якого функціонують специфічні транспортні системи - молекулярні насоси та канали. Саме вони забезпечують контроль за іонним і молекулярним складом внутрішньоклітинного середовища. В еукаріотичних клітинах внутрішні мембрани ізолюють органели, такі як мітохондрії та хлоропласти, створюючи умови для просторової організації метаболізму. Найважливіші біохімічні процеси - світлові реакції фотосинтезу та окислювальне фосфорилування під час клітинного дихання - відбуваються безпосередньо на мембранних структурах.

Мембрани містять 25–30 % води, яка зв'язана не лише з білковими компонентами, а й з полярними групами ліпідів. Вода відіграє важливу структуроутворюючу роль, забезпечуючи стабільність і функціональну гнучкість мембран.

Однією з визначальних властивостей мембран є вибіркова проникність - здатність активно регулювати надходження та виведення речовин. Одні молекули та іони проходять крізь мембрану швидко, інші - повільно, а деякі взагалі не проникають. Ця властивість зумовлена особливостями будови мембрани та її хімічним складом.

Згідно з гіпотезою Робертсона, біологічні мембрани мають тришарову будову, у якій ліпідний бішар розміщується між двома шарами білкових молекул. Подальший розвиток уявлень про мембранну організацію призвів до створення рідинно-мозаїчної моделі, запропонованої Сінгером і Ніколсоном у 1972 році. Відповідно до цієї моделі, білкові молекули перебувають у

динамічному стані, «плаваючи» в рідкому ліпідному бішарі, змінюючи своє положення та орієнтацію. Ліпідний компонент мембран представлений фосфоліпідами, гліколіпідами та стеролами, що формують структурну основу мембранного матриксу.

Білки клітинних мембран є функціонально та структурно різноманітними. Частина з них виконує транспортну функцію, забезпечуючи перенесення іонів і молекул, інші - ферментативну, беручи участь у реакціях метаболізму та перетворенні енергії. Особливе значення мають глікопротеїди, олігосахаридні ланцюги яких виконують роль рецепторів і беруть участь у розпізнаванні клітинних сигналів, міжклітинній взаємодії, формуванні тканин і реалізації імунної відповіді.

Біологічні мембрани поділяють цитоплазму на функціональні відсіки, забезпечуючи просторову організацію біохімічних процесів. Їхня лабільна структура дозволяє виконувати широкий спектр функцій: бар'єрну, осмотичну, транспортну, електричну, структурну, енергетичну, біосинтетичну, секреторну та рецепторно-регуляторну. Вважається, що трансмембранні білки формують гідрофільні канали, через які проходять полярні молекули, недоступні для ліпідного шару.

### **Робота 1. Проникність і накопичення речовин у рослинній клітині**

**Мета:** пояснити властивість вибіркової проникності мембран цитоплазми.

**Матеріали та обладнання:** стакани на 100 мл, скляні трубки, поліетилен, нитка, 2% розчин крохмалю, розчин Люголя.

Розуміння життєдіяльності рослинної клітини ґрунтується на визначенні високовпорядкованої мембранної будови цитоплазми та більшості органоїдів. Через мембрани здійснюється обмін іонів та продуктів обміну між клітиною і середовищем, вони забезпечують вибірково проникність.

#### **Хід роботи**

До кінця трубки діаметром 1-2 см прив'язують у вигляді мішечка поліетилет або колодій. В мішечок наливають 2% - ний крохмальний клейстер і опускають в стакан з розчином йоду (слабкий розчин Люголя). Верхній кінець трубки прикріплюють до стінки стакана з допомогою тоненької проволочки. Важливо, щоб рівень оточуючого розчину не перевищував перетяжку целофану.

Іони проходять всередину мішечка і утворюють стійку колоїдну сполуку. В результаті цього вміст мішечка буде зафарбовуватися в синій колір. Колоїдна речовина (крохмаль) не проникає із мішечка у зовнішній розчин, і тому останній не зафарбовується. Зовнішній розчин поступово знебарвлюється, тому що іде одностороннє проникнення іонів йоду в мішечок.

Мішечок із поліетилену, або колодію є моделлю протоплазми. Так як і протоплазма, що має мембранну структуру, він непроникний для колоїдних речовин.

Дослід замалювати.

Висновок:

---

---

---

---

---

---

---

**Робота 2. Проникність живої і мертвої протоплазми для клітинного соку**

**Мета:** дослідити, як впливає висока температура та отруйні речовини на вибірккову проникність мембран цитоплазми.

**Матеріали та обладнання:** коренеплід червоного буряка, свердло, ніж або скальпель, пробірки, спиртівка, піпетки на 5 мл., препаративні голки, 30% оцтова кислота, 50% етиловий спирт.

**Хід роботи**

З коренеплоду червоного буряка вирізають стовпчики висотою 1см. добре промивають під проточною водою і розкладають у пробірки з розчинами за такою схемою:

- 1-ша пробірка – 5 мл проточної води;
- 2-га пробірка – 5 мл проточної води;
- 3-тя пробірка – 5 мл 30% оцтової кислоти;
- 4-та пробірка – 5 мл 50% етилового спирту.

Другу пробірку із буряком, зануреним у воду, кип'ятять на спиртівці протягом 1 хвилини. Через 30-60 хвилин оглядають усі пробірки і відмічають забарвлення рідини та тканин у кожній із них. Роблять висновки відносно дії високої температури і різних речовин (оцтова кислота, етиловий спирт) на проникність протоплазми для клітинного соку.

Робота демонструє властивості напівпроникної живої протоплазми, яка легко пропускає воду і не пропускає клітинний сік. Під дією високої температури і отруйних речовин напівпроникність протоплазми порушується, про що свідчить забарвлення оточуючої рідини в пробірках.

Дослід замалювати.

Висновок:

---



---



---



---



---



---

### **Підсумковий контроль:**

1. Що таке біологічні мембрани і який їх біохімічний склад?
2. На які види поділяються біологічні мембрани за будовою?
3. Які функції виконують мембрани у живих клітинах?
4. Які чинники можуть впливати на проникність мембран і як саме?
5. Чим супроводжується функціональна активність мембран?

**Робота №3**

## **КЛІТИНА ЯК ОСМОТИЧНА СИСТЕМА**

### **Теоретична частина**

Рослинна клітина функціонує як цілісна осмотична система. Роль напівпроникних бар'єрів у ній виконують граничні мембрани цитоплазми - плазмалема та тонопласт, тоді як осмотично активним середовищем є клітинний сік вакуолі. Відповідно до положень молекулярно-кінетичної теорії, молекули всіх речовин перебувають у безперервному хаотичному русі, інтенсивність якого визначається запасом їхньої енергії.

Переміщення води через напівпроникну мембрану з менш концентрованого середовища в більш концентрований розчин зумовлює виникнення гідростатичного тиску в тій частині системи, куди спрямований потік води. Надлишковий тиск, що виникає з боку розчину і перешкоджає подальшій дифузії води, називають осмотичним тиском. Отже, осмотичний тиск відповідає величині протитиску, який урівноважує рух води через напівпроникну мембрану. Його природа пов'язана зі зниженням хімічного потенціалу води в присутності розчинених речовин.

У клітинах рослин осмотичний тиск може змінюватися в широких межах і певною мірою регулюється самою рослиною. Для забезпечення нормальної життєдіяльності необхідно, щоб осмотичний тиск у клітині перевищував відповідний показник у навколишньому середовищі. Ця закономірність наочно проявляється при порівнянні різних екологічних груп рослин: у прісноводних видів осмотичний тиск становить 1–2 атм, у морських - 25–30 атм, у мезофітів - 3–7 атм, тоді як у галофітів він може досягати 100–200 атм.

Одним із найвиразніших проявів осмотичних властивостей і життєздатності рослинних клітин є явища плазмолізу та деплазмолізу. Плазмоліз виникає в разі занурення клітин у гіпертонічний розчин, концентрація якого перевищує концентрацію клітинного соку. За таких умов

вода виходить із вакуолі, її об'єм зменшується, і цитоплазма відшаровується від клітинної оболонки.

Найзручніше спостерігати плазмоліз у клітинах із забарвленим клітинним соком, оскільки цитоплазма є прозорою. Тому в лабораторних роботах часто використовують епідерміс лусок цибулі, червоної капусти або клітини традесканції.

Поглинання води рослинними клітинами зумовлене як осмотичними властивостями клітини, так і тиском набухання колоїдів. Завдяки напівпроникності цитоплазматичних мембран і наявності у вакуолі концентрованого клітинного соку рослинна клітина є типовою осмотичною системою. У разі занурення клітини в розбавлений розчин вода надходить у вакуолу, тоді як у висококонцентрованому середовищі вона виходить із клітини, спричиняючи плазмоліз.

Метод визначення осмотичного тиску базується на підборі такої концентрації зовнішнього розчину, яка є ізотонічною до клітинного соку і викликає початкову, кутову стадію плазмолізу. Осмотичний тиск обчислюють за формулою:

$$P = iCRT,$$

де  $P$  - осмотичний тиск;

### **Робота 1. Визначення потенційного осмотичного тиску клітинного соку методом плазмолізу**

**Мета:** Навчитись визначати величину потенційного осмотичного тиску клітинного соку методом плазмолізу.

**Матеріали і обладнання:** цибуля, молярний розчин або сахарози, бюкси, піпетки, мікроскоп. препарувальне приладдя, предметні і накривні скельця.

#### **Хід роботи**

Готують розчини NaCl спадаючої концентрації від 1 до 0,1 моль/л. Готові розчини наливають у пробірки (фарфорові чашки) і в кожен розчин, починаючи з найвищої концентрації, через кожні 2 хв. занурюють відрізки епідермісу цибулі, або традесканції. Кожен зріз витримують у відповідному розчині 20 хв., потім у краплині цього ж розчину розглядають під малим збільшенням мікроскопа і замальовують в таблицю. Проглядають усі зрізи в тій самій послідовності, в якій їх занурювали в розчин. Знаходять, при якій концентрації спостерігається початкова кутова стадія плазмолізу. Ізотонічна концентрація  $C$  визначається, як середня між тією концентрацією, де спостерігалась початкова кутова стадія плазмолізу і тією, де плазмоліз вперше не спостерігався. Ізотонічну концентрацію підставляють у наведену формулу і вираховують осмотичний тиск клітинного соку.

Таблиця 1

Концентрація розчину, М	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Об'єм 1М NaCl (цукрози), мл	7	6	5	4	3	2
Об'єм H <sub>2</sub> O, мл	3	4	5	6	7	8

У кожену пробірку іншого концентраційного ряду занурюють по відрізьку внутрішнього епідермісу луски цибулі за таким же принципом. Розглядають усі відрізьки в тій самій послідовності, в якій їх занурювали у розчин. Визначають ступінь плазмолізу клітин і встановлюють, у якому із розчинів проявляється початкова стадію плазмолізу. Результати спостережень фіксують у таблиці:

Таблиця 2

## Визначення потенційного осмотичного тиску клітинного соку

(назва тканини, рослини)			
Концентрація розчину, моль/л	Ступінь плазмолізу	Назва розчину (гіпертонічний, ізотонічний чи гіпотонічний)	Малюнок
1,0			
0,5			
0,3			
0,1			

Знаходять ізотонічну концентрацію. Її визначають як середнє між тією концентрацією, при якій плазмоліз тільки починається, і концентрацією, при якій плазмолізу ще немає.

1. Розраховують величину осмотичного тиску клітини за формулою:

$$P = i C R T,$$

де  $P$  – осмотичний тиск, атм (1 атм = 1,013 бар = 0,1 МПа);

$R$  – універсальна газова стала (0,0821 л•атм/К•моль);

$T$  – абсолютна температура, К;

$C$  – ізотонічна концентрація, моль/л;

$i$  – ізотонічний коефіцієнт (див. табл.3).

Таблиця 3

Значення ізотонічного коефіцієнта ( $i$ ) для розчинів NaCl різних концентрацій

Концентрація, моль/л	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,01
Ізотонічний коефіцієнт	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,73	1,75	1,78	1,83	1,93

2. У висновках порівняти величину осмотичного тиску у клітинах зовнішнього і внутрішнього епідермісу луски цибулі.

2. Розрахувати величину осмотичного тиску клітинного соку в клітинах епідермісу м'ясистої луски цибулі. Зробити висновки:

---



---



---



році. Відповідно до цієї класифікації всі відомі ферменти поділяються на шість основних класів залежно від типу реакцій, які вони каталізують.

До оксидоредуктаз належать ферменти, що беруть участь в окисно-відновних процесах, каталізуючи перенесення атомів водню або електронів між субстратами. Серед них вирізняють анаеробні (піридинові) дегідрогенази, які передають водень на коферменти НАД або НАДФ (похідні вітаміну РР), а також аеробні дегідрогенази, що передають водень безпосередньо на кисень за участю флавінових коферментів - ФАД і ФМН, похідних рибофлавіну (вітаміну В<sub>2</sub>). Оксидази каталізують перенесення електронів безпосередньо на кисень і часто містять у своєму складі залізо або мідь. Оксигенази забезпечують включення атомів кисню безпосередньо до молекули субстрату, виконуючи важливу роль у реакціях окислення.

Трансферази каталізують реакції перенесення різних функціональних груп, радикалів або цілих молекул між сполуками. До цієї групи належать, зокрема, метил-, фосфо- та амінотрансферази. Гідролази забезпечують розщеплення складних органічних речовин за участю води, сприяючи гідролізу білків, жирів і вуглеводів. Ліази каталізують реакції відщеплення або приєднання груп без участі води, часто за місцем подвійного зв'язку. Ізомерази здійснюють взаємні перетворення ізомерів, а лігази (синтетази) забезпечують синтез складних органічних сполук із простіших за участю енергетичних носіїв, зокрема АТФ.

Кожен фермент має індивідуальний шифр, що складається з чотирьох чисел, які відображають його клас, підклас, підпідклас і порядковий номер у класифікації.

Властивості ферментів поділяють на загальні та специфічні. До загальних належать здатність не витрачатися у процесі каталізу, прискорення лише термодинамічно можливих реакцій, відсутність впливу на положення хімічної рівноваги та прискорення досягнення цієї рівноваги. Специфічними властивостями ферментів є їх білкова природа, надзвичайно висока каталітична ефективність, сувора субстратна вибірковість і здатність до регуляції, що забезпечує узгодженість усіх метаболічних процесів клітини й організму в цілому.

Завдяки білковій природі ферменти утворюють колоїдні розчини, що сприяє їх локалізації в окремих клітинних структурах - ядрі, мітохондріях, пластидах, рибосомах. Подібно до неорганічних каталізаторів, ферменти однаково прискорюють як прямі, так і зворотні реакції, а напрям перебігу процесу визначається концентрацією реагентів.

Ферменти є чутливими до температурних змін: підвищення температури на 10 °С зазвичай подвоює швидкість реакції до оптимуму (35–40 °С), тоді як подальше нагрівання призводить до зниження активності та повної інактивації внаслідок денатурації білка.

За будовою ферменти поділяють на однокомпонентні та двокомпонентні. Останні складаються з білкової частини - апоферменту - та небілкової активної групи - коферменту або простетичної групи. Лише за умови поєднання цих



## ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕВОДІВ

### Теоретична частина

Вуглеводи становлять одну з найважливіших груп органічних сполук рослинного організму. На їхню частку припадає до 90 % сухої речовини клітин, що свідчить про визначальну роль цих сполук у структурній організації та функціонуванні живих систем. Вуглеводи є ключовими проміжними продуктами біохімічних циклів обміну речовин і водночас основним джерелом енергії, яка утворюється в процесі метаболічних перетворень у рослинних клітинах.

За своєю хімічною природою вуглеводи є альдегідами або кетонами багатоатомних спиртів, а також продуктами їхньої конденсації. Залежно від розмірів молекул і фізико-хімічних властивостей їх поділяють на прості (моносахариди) та складні (оліго- і полісахариди).

Як основні поживні та структурні компоненти клітин і тканин рослин, вуглеводи забезпечують організм не лише енергією, а й необхідними проміжними метаболітами, що беруть участь у підтриманні життєдіяльності та біосинтезі складних органічних сполук. Саме вуглеводи виконують роль попередників більшості органічних речовин рослинного походження. Вони складаються переважно з атомів вуглецю, водню та кисню, і на їхню частку припадає близько 75–80 % сухої маси рослин.

Моносахариди, або прості цукри, є найпростішими представниками вуглеводів і містять від трьох до семи атомів вуглецю, гідроксильні (–ОН) та альдегідні (–СОН) або кетонні (>СО) групи. До цієї групи належать біози, тріози, тетрози, пентози, гексози та гептози. Моносахариди з п'ятьма і більше атомами вуглецю зазвичай мають циклічну будову. Збереження окиснювальної здатності карбонільної групи зумовлює їхню властивість виступати відновлювальними цукрами. Завдяки добрій розчинності у воді та структурній різноманітності моносахариди активно залучаються до процесів регуляції росту і розвитку рослин. Особливе значення в метаболізмі мають фосфорильовані похідні моносахаридів, які виконують роль ключових проміжних продуктів вуглеводного обміну.

Олігосахариди є відносно короткими ланцюгами, утвореними з двох-десяти моносахаридних залишків. Вони не утворюють окремого класу вуглеводів, а зазвичай виступають проміжними сполуками у процесах синтезу або розпаду полісахаридів. Залежно від кількості субодиниць розрізняють ди-, три-, тетра- та інші сахариди. До найпоширеніших олігосахаридів належать сахароза, мальтоза, лактоза, рафіноза та стахіоза.

Сахароза, або тростинний цукор, широко розповсюджена в рослинних органах - листках, стеблах, бульбах і плодах. Її вміст у цукрових буряках може сягати 27 %, а в цукровій тростині - до 25 %. У водних розчинах сахароза легко гідролізується з утворенням глюкози та фруктози. Суміш цих двох

моносахаридів називають інвертним цукром, що характеризується зміною напрямку оптичного обертання площини поляризації.

Мальтоза при гідролізі розщеплюється на дві молекули глюкози. Подібну будову має й целобіоза, яка утворюється внаслідок ферментативного гідролізу целюлози та трапляється у вільному стані в соках деяких рослин. Рафіноза є трисахаридом, що міститься в насінні бавовнику, цукрового буряка та інших культур, і при гідролізі розпадається на галактозу, глюкозу та фруктозу.

Полісахариди формуються шляхом конденсації великої кількості моносахаридів; кількість їхніх структурних ланок може досягати кількох тисяч. До найважливіших представників цієї групи належать крохмаль і целюлоза з узагальненою формулою  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Полісахариди не мають солодкого смаку, не кристалізуються та проявляють різні фізичні властивості: від повної нерозчинності у воді до здатності утворювати гелі або гідрофільні комплекси. Вони можуть вступати у взаємодію з білками та ліпідами, формуючи глікопротеїди й гліколіпіди, які виконують сигнальні та рецепторні функції в клітині.

За функціональним призначенням полісахариди поділяють на структурні (целюлоза), резервні (крохмаль, інουλін, ламінарин), захисні (слизи та камеді) та специфічні. Целюлоза є найпоширенішим полісахаридом у природі й основним компонентом клітинних стінок рослин, тоді як крохмаль слугує головним резервним джерелом енергії. Його молекула складається з амілози та амілопектину, що відрізняються будовою, розчинністю та реакцією з йодом.

Таким чином, вуглеводи відіграють ключову роль у метаболізмі, структурній організації та енергетичному забезпеченні рослинного організму, визначаючи його ріст, розвиток і адаптаційні можливості.

### **Робота. Виявлення гексоз в рослинах**

**Мета:** ознайомитися з основними якісними реакціями на вуглеводи і методами виділення моно-, ди-, і полісахаридів.

**Матеріали та обладнання:** свіжий рослинний матеріал - морква, цибуля, яблука, картопля, скальпель, штатив з пробірками, спиртівка, предметні скельця, стакан хімічний, циліндр мірний, 10%-ний розчин NaOH, 4%-ний розчин  $CuSO_4$ , 17,5%-ний розчин HCl, кристали резорцину, реактив Фелінга.

#### **Хід роботи**

Моносахарид глюкозу можна одержати з коренеплоду моркви. Для цього чистять, миють і труть на терці. Беруть 5-10 г м'язги, поміщають у пробірку, обливають 10-15 мл води, кип'ятять і фільтрують. У фільтраті міститься глюкоза. З одержаною витяжкою роблять такі реакції: пробу Троммера, реакцію Селіванова і з фелінговою рідиною.

1. Корінь моркви або цибулину мілко нарізати, помістити в пробірку і прокип'ятити з 3-5 мл води. Злити в іншу пробірку і проробити реакцію Троммера. Для цього до одержаної витяжки долити 1 мл 10%-ного їдкого натрію і небагато 4%-ного мідного купоросу. Утворений при реакції гідрат окису міді  $Cu(OH)_2$  зафарбовує рідину в синій колір. При нагріванні до



## ВЛАСТИВОСТІ БІЛКІВ

### Теоретична частина

Білки є універсальними компонентами будь-якої живої системи та визначають її структурно-функціональну організацію. У рослинному організмі вони представлені як запасними формами, так і складними білками - протеїнами, які входять до складу цитоплазми та відіграють ключову роль у формуванні й підтриманні клітинних структур.

Елементарний склад білкових речовин характеризується переважанням вуглецю (55–65 %), азоту (15–18 %), кисню (20–25 %) і водню (6,5–7,5 %), а також наявністю сірки (0,3–2,5 %). Визначальну роль азоту в білковому обміні влучно підкреслено, зазначивши, що без азоту неможливе утворення білка, без білка — протоплазми, а без протоплазми - життя.

Білки істотно різняться між собою за амінокислотним складом і просторовою організацією молекул. За формою молекули всі білки поділяють на фібрилярні, що мають ниткоподібну будову, та глобулярні, для яких характерна компактна шароподібна конфігурація.

За хімічною природою білки об'єднують у дві великі групи. Протеїни - це прості білки, молекули яких складаються виключно з амінокислотних залишків. Протеїди належать до складних білків і, крім амінокислот, містять небілкову простетичну групу.

Протеїни відрізняються між собою за розчинністю у воді та водних розчинах. Альбуміни добре розчиняються у воді; до них належать овальбумін яєць, лейкозини зародків пшениці, легумелін насіння гороху. Особливо багато альбумінів міститься в зелених органах рослин. Глобуліни розчиняються у слабких сольових розчинах; типовими представниками є фазеолін квасолі, естедин конопель, гліцинін сої. Проламіни розчинні у 60–80 % водному розчині етилового спирту; до цієї групи належать гліадин пшениці, гордеїн ячменю, зеїн кукурудзи, авенін вівса, кафірін сорго. Глютеліни переважно містяться в насінні злакових і зелених частинах рослин та розчиняються у слабких лужних розчинах.

До групи протеїдів належать ліпопротеїди, у складі яких білок поєднаний з ліпідами; вони формують основу мембранних структур клітини. Хромопротеїди містять пігментну простетичну групу; типовим прикладом є гемоглобін, де білок глобін зв'язаний з гемом, що містить залізо. У рослин такі білки відіграють важливу роль у світлосприйнятті та фотоморфогенезі (фітохроми). Глікопротеїди включають вуглеводні компоненти, ковалентно зв'язані з амінокислотними залишками, і представлені низкою ферментів та запасними білками, зокрема віциліном квасолі. Нуклеопротеїди складаються з білків і нуклеїнових кислот та локалізуються в ядрі й цитоплазмі клітин. Металопротеїди містять у своїй структурі атоми металів і здебільшого проявляють ферментативну активність.

Білки виконують у живих організмах широкий спектр функцій. Структурна функція полягає в участі білків у формуванні органів, тканин і клітинних органел, зокрема мембран, мітохондрій і рибосом. Каталітична функція реалізується через ферменти - білкові біологічні каталізатори, які забезпечують перебіг численних хімічних реакцій з високою швидкістю за фізіологічних умов. Гормональна функція зумовлена участю білкових гормонів у регуляції обміну речовин, активності ферментів і процесів транскрипції та трансляції.

Захисна роль білків проявляється насамперед через імунні механізми, пов'язані з  $\gamma$ -глобулінами та антитілами, які нейтралізують токсини й патогенні мікроорганізми. Транспортна функція забезпечує перенесення ліпідів і жиророзчинних вітамінів за участю ліпопротеїдів. Механічна функція реалізується через скорочення та розслаблення і діяльність органів за участю актину, міозину та інших білків. Крім того, білки є джерелом енергії, забезпечуючи до 10–15 % енергетичних потреб організму людини.

Функціональні властивості білків визначаються їхньою структурною організацією. Розрізняють чотири рівні структури білкової молекули: первинний, вторинний, третинний і четвертинний. Первинна структура зумовлена послідовністю амінокислотних залишків, з'єднаних пептидними зв'язками, і є генетично детермінованою. Вторинна структура формується завдяки водневим зв'язкам між пептидними групами і надає молекулі певної просторової конфігурації. Третинна структура характерна для глобулярних білків і підтримується взаємодією бічних радикалів амінокислот. Четвертинна структура виникає при об'єднанні кількох поліпептидних ланцюгів у єдиний функціональний комплекс.

Порушення просторової організації білка, відоме як денатурація, призводить до втрати його біологічної активності. Денатурацію можуть спричинити висока температура, випромінювання, тиск, зміна рН, органічні розчинники та іони. Унаслідок цього руйнуються зв'язки, що стабілізують вторинну, третинну й четвертинну структури, зменшується розчинність білків і за екстремальних умов відбувається їх коагуляція.

### **Робота 1. Отримання білка із насіння гороху**

**Мета:** оволодіти методами вивчення білків за допомогою якісних реакцій.

**Матеріали та обладнання:** мука пшенична і горохова, насіння квасолі, соняшника, бобів, ін., штатив з пробірками, колба на 100 мл, лійка, фільтр, предметні скельця, спиртівка, скальпелі або бритви, вага, циліндр мірний, вода дистильована, 10%-ний розчин  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , кристалічний NaCl, 40%-ний розчин NaOH, 0,2%-ний розчин NaOH, 4%-ний розчин  $\text{CuSO}_4$ , реактив Міллона, концентрована  $\text{HNO}_3$ , водний розчин аміаку, розчин Люголя, 70%-ний етиловий спирт, 10%-ний розчин оцтовокислого свинцю.

### Хід роботи

Одержання білка із насіння гороху: 3-5 г горохової муки заливають в колбі 20-30 мл 10%-ного сірчанокислового амонію, струшують і залишають на 30 хвилин. Глобулін, що перейшов у розчин, відфільтровують через змочений розчином сірчанокислового амонію складчастий фільтр. Одержаний розчин має колоїдний характер, а тому повільно відфільтровується. З ним проводять такі реакції:

1. До 1 мл розчину в пробірці доливають надлишок води. Нерозчинний у воді і в розбавлених сольових розчинах глобулін випадає у вигляді муті. При додаванні розчину сірчанокислового амонію муть зникає завдяки розчиненню випавшого осаду.

2. До 2-3 мл розчину білка додають трішки кристалічного хлористого натрію. Глобулін випадає в осад, розчин мутніє. Ця реакція називається висолюванням білків. При додаванні води випавший в осад білок знову переходить в розчин. Отже, висолювання носить зворотний характер.

3. 2-3 мл розчину білка нагрівають на полум'ї спиртівки. Ще до кипіння з'являється муть, яка не розчиняється додаванням розчину сірчанокислового амонію. Проходить денатурація білка. Незворотньо осаджують білки також спирт, солі важких металів (наприклад, ртуть в реакції Міллона), міцні мінеральні кислоти (наприклад, азотна кислота в ксантопротеїновій реакції) і ін.

4. Кольорові якісні реакції на білок:

а) Біуретова реакція. До розчину глобуліну додають 2-3 краплі 4%-ного розчину мідного купоросу, а потім 1-2 мл 40%-ного розчину їдкового натрію. Осад, що утворився під впливом солі міді, розчиняється і зафарбовується в фіолетовий колір.

Біуретова реакція обумовлюється наявністю в молекулі білка пептидних зв'язків – CO – NH –. Реакцію дають всі білки, а також пептони і поліпептиди. Пептони замість фіолетового дають рожеве забарвлення;

б) Ксантопротеїнова реакція. До 1-2 мл розчину білка додають по краплинах концентровану азотну кислоту. При цьому з'являється жовте забарвлення, яке при нагріванні стає більш інтенсивним.

Додавання (після охолодження) аміаку перетворює жовте забарвлення в оранжеве. Цю реакцію дають амінокислоти - тирозин, фенілаланін, триптофан. Вона базується на утворенні нітропохідних цих амінокислот.

в) Реакція Міллона. До 1-2 мл розчину білка додають декілька краплин реактиву Міллона (ртуть, розчинена в концентрованій азотній кислоті). Звернути увагу на різке і миттєве звертання білка під дією важкого металу ртуті.

При нагріванні проходить фарбування осаду в м'ясо-червоний колір. Ця реакція характерна для амінокислоти тирозину і для всіх ароматичних сполук, що мають в бензольному кільці фенольну групу (ОН).

Висновок:

---



---



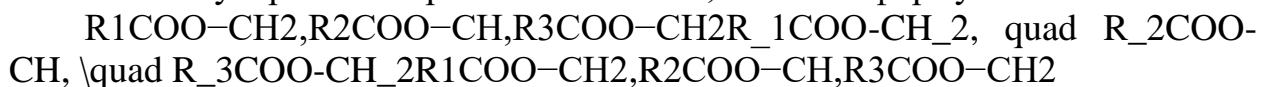
---



Цитоплазматичні ліпіди є постійним компонентом клітин і складають 0,1–0,5 % від сирової маси тканини, залежно від органу рослин (листки, стебла, плоди, корені).

Запасні жири містяться у насінні (жито, пшениця, ячмінь - 2–3%, бавовник і соя - 20–30%, льон, коноплі, соняшник - 30–50 %, мак, рицина - 50–60%), у м'якуші плодів (маслини, обліпіха), бульбах і кореневищах, корі дерев та листках. Вони відкладаються у вигляді крапель і використовуються як енергетичний матеріал. Жири складають близько 90% запасних речовин у рослинах через високу енергетичну віддачу при їх окисненні, яка майже вдвічі перевищує енергію з вуглеводів чи білків.

Рослинні жири - це суміш складних ефірів гліцерину з високомолекулярними жирними кислотами, загальна формула:



де R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> - радикали жирних кислот. Найпоширеніші жирні кислоти:

Насичені: пальмітинова (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>14</sub>COOH), стеаринова (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COOH)

Ненасичені: олеїнова, лінолева, ліноленова.

Олеїнова та лінолева кислоти складають близько 60 % рослинних жирних кислот, тому більшість рослинних жирів - це рідкі масла, що містять також фосфоліпіди, стероїди, каротини та вітаміни. Склад жирних кислот у рослині є відносно сталим, але може змінюватися залежно від умов вирощування. У культурних рослин (льон, конопля, горіх, соняшник, мак) переважають ненасичені жирні кислоти (75–90 %), що робить масла здатними до висихання.

Властивості жирів оцінюють за температурою плавлення, кислотним числом, йодним числом та числом омилення.

Температура плавлення залежить від співвідношення насичених та ненасичених кислот: чим більше ненасичених кислот, тим рідкіший жир. Тверді жири отримують шляхом гідрогенізації, тобто насичення подвійних зв'язків воднем.

Окислення жирів спричинює утворення перекисів, альдегідів і кетонів, що надає продукту гіркового смаку та плівкової структури.

Гідроліз жирів під дією кислот, лугів або ферментів (ліпази) розщеплює їх на гліцерин і вільні жирні кислоти, які можуть утворювати неприємний запах і смак.

Характеристика жирів:

Кислотне число показує кількість калію, необхідну для нейтралізації вільних жирних кислот у 1 г жиру.

Йодне число - кількість грамів йоду, що приєднується до 100 г жиру; відображає вміст ненасичених жирних кислот. Рослинні жири: 120–160, тваринні: 30–70.

Число омилення визначає кількість калію, необхідну для нейтралізації всіх жирних кислот (вільних і зв'язаних) у 1 г жиру.

Гліколіпіди це ліпіди, що містять гліцерин, дві жирні кислоти та цукор. Вони є основним компонентом ліпідів зелених листків і мають високу біологічну активність.

### **Робота 1. Гідролітичне розщеплення жирів при проростанні насіння олійних культур**

**Мета:** ознайомитися з процесом гідролізу жирів на прикладі пророслого насіння.

**Матеріали та обладнання:** насіння рицини і соняшника (сухе та пророщене 2- і 4-дні), ступки, колби 50–100 мл, дистильована вода, піпетка 10 мл, бюретка, 0,1 н. розчин і 1 % фенолфталеїн.

#### **Хід роботи**

Насіння звільняють від оболонки. Кожне окремо розтирають у ступці та переносять у колбу з 10 мл води. Додають 2 краплі фенолфталеїну і титрують 0,1 н. розчином NaOH до появи слабкого рожевого забарвлення. Результати фіксують у таблиці (сухе та проросле насіння, 2-денне і 4-денне).

При проростанні насіння відбувається інтенсивний гідроліз жирів на гліцерин і жирні кислоти. Гліцерин швидко перетворюється в цукри, тому його в проростаючому насінні не виявляють. Жирні кислоти розкладаються повільніше і визначаються титруванням.

Кількість необхідного лугу для титрування зростає у пророщеному насінні через утворення вільних жирних кислот.

Інтенсивність гідролізу жирів у рицини і соняшника різниться і залежить від виду насіння.

Результати досліду записати в таблицю:

Повторення	Соняшник			Рицина		
	сухе насіння	проросле насіння		сухе насіння	проросле насіння	
		2-денне	4-денне		2-денне	4-денне
I						
II						
III						

При проростанні насіння проходить інтенсивний гідроліз жирів на гліцерин і жирні кислоти, які потім перетворюються в цукри. Найшвидше перетворюється в цукор гліцерин, тому його не можливо виявити в проростаючому насінні. Перетворення жирних кислот йде повільніше, тому на початку проростання їх можна виявити шляхом титрування.

Зробити висновки з роботи. Чому збільшується кількість лугу на титрування у досліді з пророщеним насінням? Порівняйте інтенсивність розщеплення жирів при проростанні соняшника і рицини.

Висновок: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



структурною різноманітністю, нерозчинністю у лугах і здатністю розчинятися у воді.

Алкалоїди являють собою складні органічні гетероциклічні основи, у складі яких атом азоту зазвичай входить до циклічної структури. Вони проявляють високу фізіологічну активність і здатні вступати в реакції з утворенням кольорових комплексів або нерозчинних осадів. Переважна більшість алкалоїдів є гіркими на смак, нелеткими та, в окремих випадках, токсичними, що зумовлює їхню захисну роль у рослинному організмі. При взаємодії з кислотами ці сполуки утворюють солі. На сьогодні описано понад п'ять тисяч різних алкалоїдів, які за хімічною будовою поділяють на похідні піридину, піролідину, хіноліну, індолу та пурину.

Залежно від типу азотистого гетероциклу, що входить до складу молекули, алкалоїди об'єднують у окремі групи: похідні піперидину (анабазин), піридину (нікотин), тропану (атропін), хіноліну (хінін), ізохіноліну (морфін, берберин), пурину (кофеїн), терпеноїдів (соланін) та індолу (стрихнін).

Дубильні речовини, або таніни, є природними органічними сполуками фенольної природи, що містять гідроксильні групи –ОН. За своїми хімічними властивостями вони близькі до глікозидів. Під час тривалого кип'ятіння дубильні речовини зазнають розкладу, тому рослинну сировину, яка їх містить, не рекомендують піддавати тривалій термічній обробці.

За хімічною класифікацією дубильні речовини поділяють на гідролізовані та конденсовані. Гідролізовані таніни містять у своїх високомолекулярних структурах ефірні зв'язки, які легко розщеплюються під дією води, ферментів, слабких кислот або навіть при кип'ятінні. До цієї групи належать похідні галової, елагової кислот і таніну. Конденсовані дубильні речовини, навпаки, є стійкими до гідролізу, оскільки зв'язки між їхніми структурними одиницями мають іншу хімічну природу. Типовими представниками цієї групи є катехіни чаю. Під дією сильних кислот або внаслідок окисних процесів вони утворюють червонуваті сполуки - флобафени, що пояснює потемніння настоїв чаю та багатьох рослин під час тривалого зберігання.

Дубильні речовини, як і алкалоїди, належать до фенольних сполук і можуть бути виявлені за допомогою характерних якісних кольорових реакцій.

### **Робота 1. Виявлення алкалоїдів і дубильних речовин у рослинах**

**Мета:** навчитися виявляти алкалоїди і дубильні речовини у рослинних зразках

**Матеріали та обладнання:** пробірки, скляні палички, скельця, розчин Люголя, 1 %-ний розчин хлорного заліза, насіння люпину, рослини чистотілу, чай, кора ялини, дуба, осики.

#### **Хід роботи**

1. Виявлення алкалоїдів у рослинах. Розрізають 2-3 насінини люпину і на зрізи наносять 1-2 краплини розчину Люголя. Поява червоно-бурого забарвлення на зрізах вказує на наявність алкалоїдів у насінні.

Розтирають скляною паличкою частинку рослинної тканини чистотілу і наносять на неї краплину йоду в йодистому калії. При наявності алкалоїдів з'являється червоно-буре забарвлення.

2. Виявлення дубильних речовин у рослинах. Характерною кольоровою реакцією на дубильні речовини є їх почорніння при обробці слабким розчином хлорного заліза.

В чисту пробірку наливають 2-3 мл витяжки чаю і додають 1-2 краплини хлорного заліза. Витяжка чаю почорніє, що вказує на наявність дубильних речовин.

Поміщають у пробірку невеликі шматочки гладкої кори ялини, дуба або осики, додають води і екстрагують дубильні речовини кип'ятінням. Зливають екстракт у дві пробірки. Додають декілька крапель 1% хлорного заліза. Спостерігається темно-зелене або чорне забарвлення.

Зробити висновок про наявність алкалоїдів та дубильних речовин у досліджуваному матеріалі.

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

### Підсумковий контроль:

1. Які Ви знаєте речовини вторинного походження і яку фізіологічну роль вони виконують?
2. Назвіть якісні реакції на алкалоїди і дубильні речовини?
3. Які Ви знаєте вітаміни і які їх функції?
4. Які властивості мають алкалоїди і дубильні речовини, і як вони впливають на фізіологічні процеси рослин?

## Тема № 9

### ПРОЦЕСИ ВОДООБМІНУ

#### Теоретична частина

Переміщення води в рослинному організмі здійснюється завдяки взаємодії двох кінцевих рушійних сил - кореневого тиску та всисної (присмоктувальної) сили транспірації. Нагнітальна дія кореневої системи, відома як кореневий тиск, виявляється у характерних фізіологічних явищах - гутації та так званому «плачі» рослин.

Шлях висхідного руху води в рослині поділяють на дві ділянки, що відрізняються за анатомічною будовою, протяжністю та фізіологічними

властивостями. Перша ділянка є надзвичайно короткою (від часток до кількох міліметрів) і складається з живих клітин. У корені вона простягається від поверхні кореневих волосків до судин центрального циліндра та називається радіальним шляхом. У листку цей шлях проходить від судин провідних пучків до клітин мезофілу й отримав назву ближнього шляху.

Друга, значно довша ділянка, представлена судинами та трахеїдами ксилеми, сформованими з прокамбіальних клітин кореня й стебла. Зрілі елементи ксилеми позбавлені цитоплазми, мають вигляд порожнистих трубок і виконують водопровідну функцію. Цей відрізок водного транспорту, що з'єднує судини центрального циліндра кореня з судинами листових провідних пучків, називають дальнім шляхом.

Радіальний шлях починається з клітинних оболонок кореневих волосків. Для поглинання води клітини повинні мати всисну силу, що перевищує осмотичний потенціал ґрунтового розчину. Подальше переміщення води до провідної системи здійснюється двома шляхами - апопластним і симпластним.

За апопластного транспорту вода рухається по міжклітинному простору та клітинних оболонках первинної кори до ендодерми, де її подальший рух обмежується поясками Каспарі. Унаслідок цього вода змушена переходити до пропускних клітин, після чого надходить до центрального циліндра й судин ксилеми.

При симпластному способі вода проникає в цитоплазму клітин кореневих волосків і далі переміщується через систему плазмодесм по цитоплазмі клітин первинної кори та навколо судинної паренхіми до провідних елементів.

Сила, з якою вода за участю кореневої системи надходить до елементів ксилеми, називається кореневим тиском і виконує роль нижнього кінцевого двигуна висхідного току. Однак через відносно невелику величину кореневий тиск не здатний самостійно забезпечити безперервне водопостачання, особливо у високих деревних рослин.

Основним рушієм водного транспорту є верхній кінцевий двигун - присмоктувальна сила транспірації. У процесі випаровування води спочатку в клітинах мезофілу листка, а згодом і в судинах ксилеми формується значна всисна сила, що в десятки разів перевищує кореневий тиск. Вона створює градієнт водного потенціалу, який забезпечує спрямований рух води від ґрунту до надземних органів.

Отже, висхідний рух води у ксилемі зумовлений спільною дією двох двигунів: нижнього, що виштовхує воду, і верхнього, який її присмоктує. Верхній кінцевий двигун може розвивати тиск до 10–15 і більше атмосфер, що визначає його провідну роль у водному обміні рослин. Водночас у певні періоди року, зокрема взимку та ранньою весною за відсутності листків, основне значення набуває кореневий тиск. Джерелом енергії транспіраційного двигуна є сонячне випромінювання, тоді як кореневий тиск забезпечується енергією дихання.

Безперервність водного стовпа в судинах підтримується силами когезії між молекулами води та адгезії між водою і гідрофільними стінками судин.

Сили зчеплення досягають 300–350 атмосфер, що забезпечує формування суцільних водяних ниток, які поєднують кореневу й листову системи.

Швидкість руху води в ксилемі є відносно невеликою і становить у листяних дерев близько 20 см<sup>3</sup>/год на 1 см<sup>2</sup> поперечного перерізу деревини, а у хвойних - приблизно 5 см<sup>3</sup>/год.

Активність кореневої системи легко спостерігати при механічному пошкодженні стебла, коли на його поверхні з'являється рідина - явище, відоме як плач рослин. Виділювана рідина, або пасока, являє собою водний розчин мінеральних і органічних речовин, що транспортуються по ксилемі. Її хімічний склад варіює залежно від виду рослини, фази розвитку та фізіологічного стану.

Гутація - це виділення краплин води через гідатоиди, спеціалізовані пори на краях листків у місцях закінчення жилок. У природних умовах вона найчастіше спостерігається вранці за підвищеного кореневого тиску та сприятливих умов вологості й температури. Вміст розчинених речовин у гутаційній рідині значно нижчий, ніж у пасоці. У трав'янистих рослин кореневий тиск невеликий, тоді як у деревних може досягати 2–3 атмосфер.

Кореневий тиск визначають як тиск, що виникає в ксилемі внаслідок метаболічної активності кореня і забезпечує односторонній рух води з розчиненими речовинами незалежно від транспірації.

Лабораторна робота направлена вивченню впливу зовнішніх умов на процес гутації, дає змогу встановити залежність інтенсивності виділення води від температури ґрунту та вологості повітря. Спостереження за появою краплин на кінчиках листків проростків дозволяє оцінити швидкість гутації та роль кореневого тиску в регуляції водного режиму рослин.

### **Робота 1. Вплив зовнішніх умов на процес гутації**

**Мета:** дослідити вплив зовнішніх умов на процес гутації.

**Матеріали та обладнання:** проростки злаків висотою 3-5 см; скляні ковпаки; сніг або лід, термометр, електроплитка; фільтрувальний папір.

Вода у рослині пересувається завдяки роботі двох кінцевих двигунів: кореневого тиску і сисної сили транспірації. Нагнітаюча дія кореневої системи - кореневий тиск - проявляється у явищах гутації і "плачу" рослин.

Гутація - виділення краплин води через *гідатоиди* - особливі пори по краях листків у місцях закінчення листових жилок.

Гутація в природних умовах відбувається, в основному, вранці, коли кореневий тиск зростає. Гутації також сприяє помірно тепла та волога погода, коли оточуюче середовище насичене водяною парою.

Наявність кореневого тиску можна спостерігати на цілих рослинах (проростках), якщо кількість води не встигає випаровуватись органами. В цьому випадку вона буде виділятися у вигляді краплин на кінчиках листків.

#### **Хід роботи**

Для спостереження за явищем гутації за кілька днів до заняття в чашках Петрі вирощують молоді проростки злаків. Потім одну чашку з проростками

помішають у посуд із льодом, другу - в чашку з водою кімнатної температури (рівень води має бути нижче від краю чашки Петрі), третю - в посуд з водою, нагрітою до 35°C, четверту - залишають в якості контролю. Фільтрувальним папером видаляють наявні на проростках краплини і накривають три перші чашки скляними ковпаками або хімічними стаканами. Через пів години, коли в ґрунті встановиться відповідна різниця в температурі, починають спостереження. Піднявши ковпак, обережно знімають фільтрувальним папером (прикріпленим до дроту) краплини води, що з'явилися на кінчиках рослин і знову опускають ковпак. Відразу ж записують час: спостерігають за появою нових краплин на тих же рослинах.

Обліки проводять три рази і вираховують середнє з трьох спостережень. Встановлюють швидкість гутації (за появою нових краплин) в умовах різної температури ґрунту і вологості повітря.

Кількість краплин записують в таблицю роблять висновок

#### Спостереження за явищем гутації

Під ковпаком			Без ковпака
0°C	18°C	35-40°C	

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

### **Робота 2. Визначання стану продохів методом інфільтрації**

**Мета:** визначити стан продохів методом інфільтрації рослин різних видів.

**Матеріали та обладнання:** листки рослин різних видів, ксилол, бензол, спирт, піпетки, ножиці.

Продихи - це специфічні отвори в епідермісі, крізь які відбувається газообмін. Зовні продох має вигляд щілини між двома клітинами своєї будови. Ці дві серпоподібні клітини, що змикаються між собою протилежними кінцями (замикаючі клітини) значно відрізняються від інших клітин епідермісу за формою та за наявністю хлоропластів.

Продихи розміщені з нижнього боку листової пластинки, але у деяких рослин - і з верхнього (капуста, злаки).

Загальна площа продихів коливається від 1 до 2% всієї листової поверхні. Кількість продихів на листках рослин варіює від 40 до 600 на 1мм<sup>2</sup> залежно від виду.

На листках з паралельним жилкуванням (у хвойних) продихи розташовані паралельними рядами, на листках інших рослин - без певного порядку, рівномірно.

Стан продихів залежить від величини осмотичного тиску у замикаючих клітинах, а також від вмісту води в клітинах мезофілу, від температури, тощо.

*Методом інфільтрації* користуються для визначення стану продихів в польових умовах. Він базується на різній ступені проникності (інфільтрації) хімічних речовин крізь продихи.

### Хід роботи

Відібрати листки 10 рослин (верхній, середній, нижній яруси) з різними умовами існування. Розкласти листки на столі нижньою стороною листової пластинки догори і обережно піпеткою нанести на кожний по краплині бензолу, ксилолу і спирту таким чином, щоб вони не злилися між собою. Якщо рідина проникає, на листку утворюється темна пляма (при спостереженні проти світла - прозора). При відсутності інфільтрації рідина випаровується не залишає сліду. Результати інфільтрації зафіксувати в таблиці знаками «+» і «-».

Ксилол, бензол і спирт мають різні фізичні властивості, тобто різну здатність до інфільтрації (просочування). Спирт проникає тільки через широко відкриті продихи, бензол – напіввідкриті, ксилол - навіть через слабо відкриті.

При повному відкритті продихів можна спостерігати появу плям від усіх трьох речовин. Якщо плями взагалі не утворюються, це означає, що продихи закриті.

Висновки роботи та результати дослідів записати у таблицю.

### Визначення стану продихів методом інфільтрації

Назва рослини	Умови росту, ярусність	Інфільтрація			Висновки про стан продихів
		ксилол	бензол	спирт	

Висновок: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Підсумковий контроль:

1. Які існують шляхи надходження води в рослину?
2. Чим забезпечується робота нижнього та верхнього кінцевого двигуна водного току рослин?
3. Які основні прояви кореневого тиску?
4. Що таке гутація?
5. Яке фізіологічне значення гутації?
6. Яка будова продихового апарата?
7. У чому полягає механізм відкриття і закриття продихів?
8. Які фактори впливають на закриття та відкриття продихів?

### Тема № 10

## ПОКАЗНИКИ ТРАНСПІРАЦІЇ

### Теоретична частина

Транспірація є складним фізіологічним процесом, результатом якого є випаровування води рослиною. Провідну роль у цьому процесі відіграє листок як основний орган транспірації. Саме завдяки транспірації забезпечується надходження та переміщення води разом із розчиненими в ній поживними речовинами по рослинному організму. Випаровування води являє собою фізичний процес переходу її з рідкого стану в газоподібний, що супроводжується значними витратами енергії. Поверхні, з яких інтенсивно випаровується вода, мають температуру на 4–6 °С нижчу за температуру навколишнього повітря, що зумовлює важливу роль транспірації у терморегуляції рослинних органів.

Одним з основних кількісних показників транспірації є її інтенсивність - кількість води, що випаровується з одиниці поверхні рослини за одиницю часу. У деяких випадках цей показник розраховують у перерахунку на одиницю маси листків. Для більшості сільськогосподарських культур інтенсивність транспірації в денний час коливається в межах 15–250 г/м<sup>2</sup>·год, тоді як уночі вона знижується до 1–20 г/м<sup>2</sup>·год.

Для оцінки ефективності використання води рослинами застосовують транспіраційний коефіцієнт, який відображає співвідношення між кількістю витраченої води та масою утвореної сухої речовини. Значення цього коефіцієнта суттєво варіює залежно від виду рослини та умов її вирощування і може становити від 125 до 1000. У середньому для трав'янистих рослин він дорівнює 300–400, що свідчить про необхідність витрати 300–400 кг води для синтезу 1 кг сухої органічної речовини. Таким чином, безпосередньо на утворення органічної маси використовується лише 0,3–0,4 % загального об'єму поглинутої води.

Величина транспіраційного коефіцієнта значною мірою залежить від мінерального живлення та родючості ґрунту. На бідних, неудобрених ґрунтах вода використовується менш продуктивно, ніж за умов оптимального живлення. Показником, оберненим до транспіраційного коефіцієнта, є

продуктивність транспірації - кількість сухої речовини, яку рослина накопичує під час випаровування 1 л води.

Для характеристики інтенсивності водовіддачі застосовують також показник відносної транспірації, що визначається як відношення транспірації з одиниці площі листка до випаровування з аналогічної площі відкритої водної поверхні за той самий проміжок часу.

Основна частина води у наземних рослин випаровується через продихи - спеціалізовані структури епідермісу. Регулювання ступеня відкритості продихів дозволяє рослині змінювати інтенсивність транспірації. Через продихи одночасно відбувається випаровування води та надходження вуглекислого газу, необхідного для фотосинтезу. Повне припинення продихової транспірації призводить до порушення газообміну й фотосинтетичної діяльності рослини.

Продихову транспірацію умовно поділяють на кілька послідовних етапів. Перший етап полягає у випаровуванні води з поверхні клітин мезофілу в міжклітинний простір. Уже на цьому рівні рослина може регулювати транспірацію шляхом підвищення водоутримуючої здатності клітинної цитоплазми та зменшення проникності мембран, а також зниження ступеня зволоження клітинних оболонок. Унаслідок цього збільшується поверхневий натяг води, що гальмує її перехід у пароподібний стан. Такий поза продиховий механізм регуляції транспірації дозволяє зменшити втрати води без обмеження надходження вуглекислого газу.

Другий етап полягає у виході водяної пари з міжклітинників через продихові щілини. Швидкість цього процесу близька до швидкості випаровування з відкритої водної поверхні, що пояснюється законом Стефана про дифузію газів крізь малі отвори. Відносна транспірація зазвичай становить 0,5–0,8 і може наближатися до одиниці. Часткове закривання продихів незначно впливає на інтенсивність випаровування, тоді як повне їх закриття зменшує транспірацію приблизно на 90 %.

Третій етап транспірації пов'язаний із дифузією водяної пари від поверхні листка до віддалених шарів атмосфери. Його інтенсивність визначається винятково факторами зовнішнього середовища, зокрема температурою, відносною вологістю повітря та швидкістю руху повітряних мас.

Окрім продихової, у рослин має місце також кутикулярна транспірація - випаровування води через кутикулу епідермісу. Кутикула складається з кутину та восків і пронизана мікроканалами, заповненими целюлозними фібрилами. У зрілих листків частка кутикулярної транспірації становить приблизно 10–20 % від загальної кількості випарованої води.

Лабораторна робота з визначення інтенсивності транспірації ваговим методом дозволяє дослідити залежність цього процесу від розташування листків на рослині, їх віку, екологічної групи та умов водозабезпечення. Інтенсивність транспірації визначають за втратою маси листка за певний проміжок часу з урахуванням площі його поверхні, що дає змогу кількісно оцінити роль транспірації у водному режимі рослин.



### Підсумковий контроль:

1. Які показники транспірації Ви знаєте? Поясніть їх використання.
2. Які фактори впливають на інтенсивність транспірації?
3. Якими методами можна визначити площу поверхні листка?
4. Що таке антитранспіранти і як їх використовують?
5. Які внутрішні фактори регулюють транспірацію?
6. Яке біологічне значення транспірації?
7. Поясніть різницю механізму дії продигової та кутикулярної транспірації?
8. Восени, після опадання з дерев листя, як відбувається транспірація (випаровування води)?

### Тема № 11

## ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІГМЕНТІВ

### Теоретична частина

Пігменти - це хімічні сполуки, здатні вибірково поглинати світлову енергію у видимій частині електромагнітного спектра з довжиною хвиль у межах 400–700 нм. Пластидні пігменти поділяють на три основні групи: хлорофіли, каротиноїди та фікобіліни. Ведуче місце у фотосинтетичному процесі належить зеленим пігментам - хлорофілам.

Ключовими пігментами, без яких фотосинтез неможливий, є хлорофіл а у зелених рослин та бактеріохлорофіл у фототрофних бактерій. Ті ділянки сонячного спектра, які не поглинаються пігментами, відбиваються, що і визначає їх характерне забарвлення. Так, хлорофіл активно поглинає світло в червоній і синій ділянках спектра, тоді як зелені промені відбиваються, надаючи рослинам відповідного кольору.

Хлорофіли за хімічною природою є складними ефірами дикарбонової кислоти хлорофіліну. В їх молекулі одна карбоксильна група етерифікована метанолом, а друга - спиртом фітолом. За результатами хроматографічного аналізу розрізняють два основні типи хлорофілу: хлорофіл а ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) та хлорофіл b ( $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ).

Структурну основу молекули хлорофілу становить порфіринове ядро, утворене чотирма пірольними кільцями, атоми азоту яких координуються з атомом магнію в центрі молекули. Пірольні кільця з'єднані між собою метиновими містками ( $=CH-$ ). Додатково до структури входить п'яте циклопентанове кільце з кетогрупою.

Хлорофіл а міститься в хлоропластах або споріднених структурах усіх фотосинтезуючих організмів, за винятком бактерій, у яких функціонує бактеріохлорофіл. У вищих рослин і зелених водоростей поряд з хлорофілом а присутній також хлорофіл b. Відмінність між ними полягає в тому, що в молекулі хлорофілу b при третьому атомі вуглецю другого пірольного кільця метильна група ( $-CH_3$ ) заміщена альдегідною ( $-CHO$ ). Це зумовлює і різницю в забарвленні: хлорофіл а має синьо-зелений відтінок, тоді як хлорофіл b -

жовто-зелений. Кількісно хлорофілу а в листку приблизно втричі більше, ніж хлорофілу b.

У разі відщеплення фітолу від молекули хлорофілу утворюється хлорофілід, а заміщення іона  $Mg^{2+}$  атомами гідрогену призводить до формування феофітину. Для хлорофілів характерна наявність двох максимумів поглинання - у короткохвильовій та довгохвильовій зонах спектра. Так, хлорофіл а поглинає світло з максимумами приблизно 420 і 662 нм, а хлорофіл b - 455 і 644 нм. Виявлено також форми хлорофілів, здатні поглинати світло з довжиною хвилі до 700–720 нм.

Окрім хлорофілів, у хлоропластах наявні пігменти каротиноїдної природи. Каротиноїди - це широко поширені у рослинному світі жиророзчинні пігменти жовтого, оранжевого або червоного кольору, що мають алифатичну будову. Вони є обов'язковою складовою фотосинтетичного апарату. За хімічною структурою каротиноїди є поліізопреновими сполуками, що містять 40 атомів вуглецю, сформованих із восьми ізопренових залишків.

За будовою каротиноїди поділяють на ациклічні, моноциклічні та біциклічні. Окиснені форми каротиноїдів називають ксантофілами, які становлять близько половини загального вмісту каротиноїдів у листках. Найпоширенішими каротиноїдами вищих рослин є  $\beta$ -каротин ( $C_{40}H_{56}$ ), а також ксантофіли - лютеїн ( $C_{40}H_{56}O_2$ ) і віолаксантин ( $C_{40}H_{56}O_4$ ); у менших кількостях трапляються  $\alpha$ -каротин і неоксантин.

Каротини та ксантофіли є гідрофобними сполуками, добре розчиняються в жирах і локалізуються в ліпідному шарі мембран. Ксантофіли мають більш різноманітну хімічну структуру, оскільки містять кисневмісні функціональні групи - гідроксильні, метоксильні, кетогрупи тощо.

Функціональне значення каротиноїдів полягає у розширенні спектра світлопоглинання фотосинтезу: вони забезпечують поглинання 10–20 % сонячної енергії, причому значна її частина припадає на короткохвильову зону спектра. Енергія, поглинута каротиноїдами, передається хлорофілу а, тоді як зворотний перенос неможливий. На відміну від хлорофілів, каротиноїди не проявляють флуоресценції. Вони виконують також захисну роль, запобігаючи фотоокисненню хлорофілу шляхом поглинання надлишкової енергії збуджених молекул.

У деяких фотосинтезуючих організмів - зокрема синьозелених водоростей, бактерій та окремих груп водоростей - поряд із хлорофілами і каротиноїдами наявні допоміжні пігменти фікобіліни. Вони дозволяють ефективно використовувати світло, що проникає на значну глибину води, забезпечуючи зайняття специфічних екологічних ніш.

Хлорофіл легко екстрагується з листкових тканин органічними розчинниками - етиловим спиртом, ацетоном, бензином. Відмінності у розчинності зелених і жовтих пігментів у полярних та неполярних розчинниках покладені в основу методу Крауса для їх розподілу. Під дією лугів відбувається омилення хлорофілу з утворенням солей хлорофіліну, а при заміщенні магнію кислотами формується феофітин бурого забарвлення. За

додавання солей слабких кислот магній може знову включатися до структури молекули, що супроводжується відновленням зеленого кольору.

Лабораторні роботи з виділення, розподілу та хімічних перетворень пігментів дозволяють наочно дослідити їх фізико-хімічні властивості та функціональну роль у фотосинтезі.

### **Робота 1. Виділення із листка суміші пігментів**

**Мета:** навчитися робити спиртову витяжку суміші пластидних пігментів із фотосинтезуючих тканин.

**Матеріали та обладнання:** листя рослин, ступка, скляний пісок, 96%-ний етиловий спирт, жорсткий фільтр, колба, сухі пробірки.

#### **Хід роботи**

Рослини містять різні пігменти: зелені хлорофіли (хлорофіл "a" –  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$  хлорофіл "b" –  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ; жовто-оранжеві: каротини –  $C_{40}H_{56}$ , ксантофіли –  $C_{40}H_{54}(OH)_2$ .

Для виділення пігментів із листка користуються полярними розчинниками (ацетоном, етиловим спиртом), які руйнують зв'язок пігментів з ліпопротеїновими комплексами пластид і сприяють їх кращому екстрагуванню. У воді пігменти не розчиняються.

Свіже або сухе листя будь-якої зеленої рослини нарізають ножицями і розтирають у фарфоровій ступці до однорідної зеленої маси. Для кращою розтирання додають трохи скляного піску. Потім туди доливають 20 мл етилового спирту і труть, поки спирт не забарвиться в інтенсивний зелений колір. Одержану витяжку відфільтровують через сухий фільтр в колбу і зберігають для наступних робіт у посуді з темного скла. Для порівняння такий самий листок розтирають з водою. Вода при цьому не зеленіє.

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---



---

### **Робота 2. Розподіл пігментів за методом Крауса**

**Мета:** Дослідити розподіл пігментів за методом Крауса.

**Матеріали та обладнання:** спиртова витяжка пігментів, суха пробірка, бензин.

Метод Крауса базується на різній розчинності пігментів і їх спорідненості із полярними (спирт, ацетон) і неполярними (бензин) розчинниками. Полярні розчинники викликають денатурацію білка, розриваючи при цьому зв'язки пігментів з ліпопротеїновими комплексами, що забезпечує швидку екстракцію всіх пігментів хлоропластів. Ксантофіли, які мають дві або більше полярних

груп, розчиняються у спирті, а супутник хлорофілу, неполярний каротин - у бензині.

### Хід роботи

В пробірку наливають 2 мл спиртової витяжки пігментів, доливають 3 мл бензину і 2-3 краплі води. Пробірку закривають корком, збовтують 2 хв. потім дають відстоятись. Рідина в пробірці розділиться на два шари. Хлорофіли будуть у верхньому, більш легкому бензиновому шарі разом з каротином. Спиртовий шар розташований знизу, він забарвлений в жовтий колір від наявності в ньому ксантофілу.

Дослід замальовують.

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



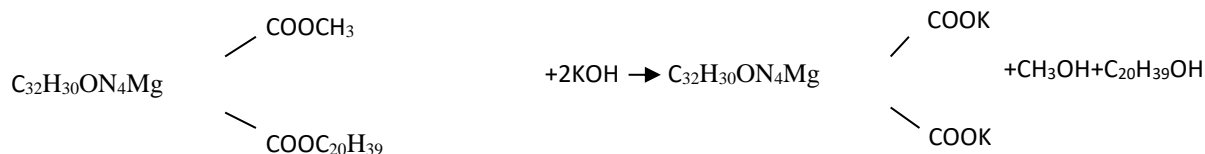
---

### Робота 3. Омилення хлорофілу

**Мета:** прослідкувати реакцію омилення хлорофілу.

**Матеріали та обладнання:** спиртова витяжка пігментів, суха пробірка, твердий NaOH або KOH.

Хлорофіл за хімічною природою є складним ефіром дикарбонової кислоти хлорофіліну і двох спиртів - метанолу і фітолу. При дії лугу на хлорофіл омилюються ефірні групи. Відщеплюються залишки метилового спирту та фітолу і на їх місце стає метал (Na, K).



Сіль хлорофілінової кислоти, яка утворилася, зберігає зелене забарвлення і оптичні властивості хлорофілу, але відрізняється більшою гідрофільністю порівняно з незмінним хлорофілом, а тому переходить із бензинового шару в спиртовий.

### Хід роботи

До суміші пігментів, поділеної за методом Крауса додають грудочку KOH або NaOH. Пробірку закривають корком, збовтують 2 хв. і залишають відстоюватись. Вже під час збовтування видно, що луг розчиняється в спирті. Продукт омилення хлорофілу зеленого кольору переходить в нижній

спиртовий шар, де до цього був лише ксантофіл. У бензиновому шарі залишається каротин.

Дослід замалювати, зробити висновок.

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



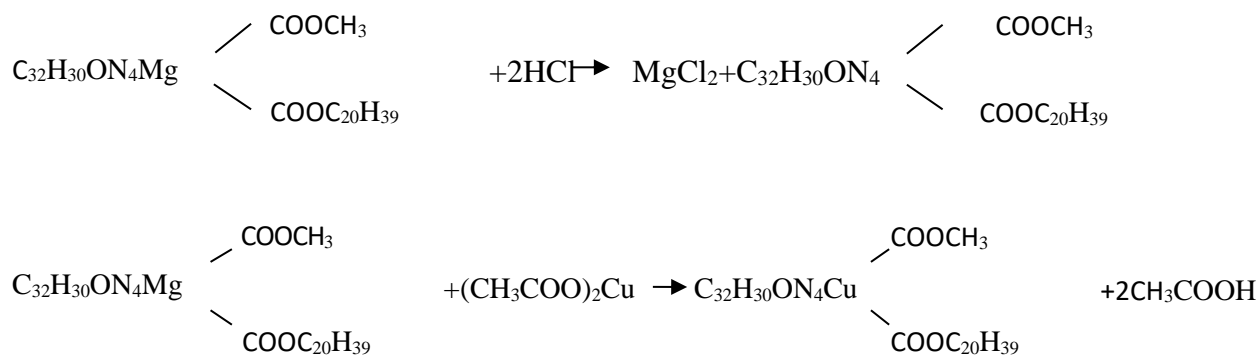
---

#### **Робота 4. Одержання феофітину та зворотне заміщення атомом металу**

**Мета:** пересвідчитися експериментально, що молекула хлорофілу містить магній. Відновити металоорганічний зв'язок.

**Матеріали та обладнання:** спиртова витяжка пігментів, сухі пробірки, водяна баня, 10%-на HCl, оцтова кислота мідь (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Cu.

Хлорофіл належить до магній-профіринів. У центрі порфіринового ядра знаходиться двохвалентний метал - магній, який відносно слабо утримується азотом чотирьох пірольних кілець. При взаємодії хлорофілу з сильними кислотами магній заміщується двома протонами, внаслідок чого утворюється феофітин бурого кольору.



Зелене забарвлення можна знову отримати шляхом додавання металу - мідь (залізо, магній, цинк).

Колір хлорофілів залежить від наявності металоорганічного зв'язку в їх молекулі.

Утворення феофітину можна спостерігати в природних умовах: після осіннього приморозку листки та пелюстки квітів змінюють колір, після суворої зими озимі мають бурий колір.

### Хід роботи

До 2 мл спиртової витяжки пігментів додають 1-2 краплі 10% HCl і збовтують. Витяжка стає бурюю. Потім до вмісту пробірки додають кристалик оцтовокислої міді (цинку) обережно нагрівають на водяній бані. Буре забарвлення поступово змінюється на зелене. Оцтова кислота необхідна як каталізатор.

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---

### Підсумковий контроль:

1. Яка роль належить пластидним пігментам у процесі фотосинтезу?
2. Які гідрофільні та гідрофобні властивості має хлорофіл?
3. Як отримати спиртову екстракцію пластидних пігментів з листків?
4. В чому полягає метод Крауса? Які пігменти можна виділити із суміші цим методом?
5. Чим хлорофінілова кислота відрізняється від солей?
6. Поясніть реакцію омилення хлорофілу лугом?
7. Під дією яких факторів утворюється феофітин?
8. Яким чином можна відновити металорганічний зв'язок?
9. Наведіть приклади де в природних умовах можна феофітинізацію зелених рослин?

### Тема № 12

## БІОХІМІЯ ФОТОСИНТЕЗУ

### Теоретична частина

У тилакоїдних мембранах хлоропластів реалізується світлова фаза фотосинтезу, яка охоплює поглинання світлових квантів фотосинтетичними пігментами - хлорофілом, каротиноїдами та фікобілінами, фотоокиснення води, перенесення електронів уздовж електронтранспортного ланцюга та синтез енергетично насичених сполук - аденозинтрифосфату (АТФ) і відновленого нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату (НАДФ·Н<sub>2</sub>).

Основний зміст світлової стадії фотосинтезу полягає в трансформації енергії світлових квантів у хімічну енергію лабільних, високореактивних сполук - АТФ і НАДФ·Н<sub>2</sub>. Центральним процесом цієї стадії є фотосинтетичне фосфорилування, тобто утворення макроергічних сполук унаслідок перенесення електронів, зумовленого світловим збудженням.

Фотосинтетичне фосфорилування відбувається за участю двох фотосистем - фотосистеми I (ФС-1) і фотосистеми II (ФС-2), між якими

здійснюється спрямований рух електронів по електронтранспортному ланцюгу. Розрізняють два типи цього процесу: циклічне та нециклічне фотосинтетичне фосфорилування.

Циклічне фотосинтетичне фосфорилування відбувається за участю лише фотосистеми I, реакційний центр якої представлений молекулою хлорофілу а з максимумом поглинання світла при довжині хвилі 700 нм (P700). Після поглинання кванта світла електрон збуджується і залишає молекулу хлорофілу, переміщуючись по замкнутому електронтранспортному ланцюгу у напрямку зростання окисно-відновного потенціалу. Під час цього перенесення частина енергії вивільняється і використовується для синтезу АТФ. Завершивши шлях, електрон повертається до реакційного центру, заповнюючи утворену електронну вакансію, що забезпечує повторюваність циклу збудження.

У процесі нециклічного фотосинтетичного фосфорилування функціонують обидві фотосистеми. У фотосистемі II реакційним центром є хлорофіл із максимумом поглинання світла при 683–680 нм (P680). Поглинання світлового кванта призводить до вибивання електрона з молекули хлорофілу та формування електронної дірки. Перенесення електронів від ФС-2 до ФС-1 здійснюється через послідовність переносників: пластохінон → цитохром f → пластоціанін → P700.

Після світлового збудження реакційного центру ФС-1 електрон з P700 передається на ферредоксин і далі використовується для відновлення НАДФ<sup>+</sup> до НАДФ·Н<sub>2</sub> на зовнішньому боці тилакоїдної мембрани. Джерелом протонів і електронів у цьому процесі є вода, яка зазнає фотолізу. Вивільнені електрони компенсують дефіцит електронів у молекулі P680, а побічним продуктом фотолізу є молекулярний кисень.

Таким чином, у ході нециклічного фотосинтетичного фосфорилування утворюються одночасно АТФ і НАДФ·Н<sub>2</sub>. АТФ синтезується під час перенесення електронів між фотосистемами, тоді як НАДФ·Н<sub>2</sub> формується внаслідок передачі електронів із ФС-1. За один повний цикл електронного транспорту утворюються чотири молекули АТФ і дві молекули НАДФ·Н<sub>2</sub>. Ці сполуки забезпечують енергетичні та відновні потреби темної стадії фотосинтезу, зокрема процесу відновлення СО<sub>2</sub> до вуглеводів.

Механізм синтезу АТФ найбільш повно пояснюється теорією Мітчелла, згідно з якою внаслідок перенесення електронів на одному боці фотосинтетичної мембрани накопичуються протони, що створює електрохімічний градієнт. Потік протонів через фермент АТФ-синтазу призводить до вивільнення енергії, яка використовується для фосфорилування АДФ з утворенням АТФ. Оскільки осмотична енергія протонного градієнта безпосередньо поєднана з хімічною роботою, ця концепція отримала назву хеміосмотичної теорії спряження.

Кінцевим результатом світлової фази фотосинтезу є фотоокиснення води з виділенням молекулярного кисню та утворення енергетично багатих і

відновних сполук - АТФ і НАДФ·Н<sub>2</sub>, необхідних для подальших біохімічних перетворень у темновій стадії.

Згідно з сучасними уявленнями, надходження світлової енергії до фотосинтетичного ланцюга переносу електронів здійснюється через дві послідовні фотохімічні реакції, локалізовані у фотосистемах I та II. Світлозбиральні антени кожної фотосистеми поглинають кванти світла й передають енергію до відповідних реакційних центрів - P700 у ФС-1 та P680 у ФС-2, де відбувається перетворення світлової енергії у хімічну.

Фотосистеми можуть функціонувати як незалежні центральні комплекси або утворювати мультицентральні домени, між якими можливий перенос енергії. Для ефективної роботи реакційних центрів важливу роль відіграють комплекси хлорофілу та феофітину, що забезпечують первинний перенос електронів.

У хлоропластах фотосистеми розміщені нерівномірно: ФС-2 локалізується переважно в гранах, тоді як ФС-1 - у тилакоїдах строми. Перенесення електронів між ними забезпечується рухомими переносниками - пластохіноном, пластоціаніном і ферредоксином.

Світлова стадія фотосинтезу включає фотофізичний та фотохімічний етапи. На фотофізичному етапі енергія світлового кванта переводить електрон молекули хлорофілу у збуджений стан. На фотохімічному етапі енергія цього електрона перетворюється у хімічно зв'язану енергію АТФ і НАДФ·Н<sub>2</sub>. Послідовність процесів охоплює фотоліз води та циклічне й нециклічне фотосинтетичне фосфорилування.

Фотосенсибілізуюча роль хлорофілу може бути продемонстрована у модельних системах перенесення водню, де хлорофіл виступає посередником у реакціях окисно-відновного типу під дією світла.

### **Робота 1. Фотосенсибілізуюча дія хлорофілу (світлова фаза фотосинтезу)**

**Мета:** дослідити основні умови проходження світлової фази фотосинтезу на модельних реакціях.

**Матеріали та обладнання:** спиртова витяжка пігментів листка, 4 сухі пробірки, аскорбінова кислота (кристали), 0,04% спиртовий розчин метилового червоного, чорний папір, електрична лампа.

#### **Хід роботи**

Беруть 4 пробірки. В перші три наливають по 5 мл спиртової витяжки хлорофілу, в четверту - 5 мл етилового спирту. В першу, другу і четверту пробірки вносять по 50 мг кристалічної аскорбінової кислоти і декілька разів добре струшують розчин. До всіх пробірок із хлорофілом додають по краплинах відфільтрований спиртовий розчин метилового червоного до тих пір, поки зелене забарвлення не перейде у червоно-буре.

У четвертій пробірці забарвлення розчину доводять за допомогою індикатора до яскраво-рожевого. Другу пробірку накривають чохлам з чорного паперу. Потім усі пробірки ставлять у штатив і освітлюють

електричною лампою (300 Вт), розташували її на відстані приблизно 15 см від штативу. Для поглинання теплових променів між пробірками і джерелом освітлення розмішують заповнену водою ємкість з плоско паралельними стінками. Після 10-15 хвилинного освітлення в першій пробірці після відновлення метиловий червоний знебарвлюється і розчин знову набуває зеленого забарвлення. В дослідних пробірках забарвлення розчину не змінюється, так як при відсутності світла, аскорбінової кислоти або хлорофілу метиловий червоний не відновлюється в лейкосполуку.

Схема досліду

№ пробірки	Склад суміші в пробірках				Умови досліду	Результати
	хлорофіл, мл	етиловий спирт, мл	аскорбінова кислота, мг	метиловий червоний		
.	5	-	50	Додається до появи червоно-бурого забарвлення	світло	
.	5	-	50		темрява	
.	5	-	-		світло	
.	-	5	50		світло	

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

### Підсумковий контроль:

1. З якими структурними частинами хлоропласта пов'язана світлова фаза фотосинтезу?
2. Поясніть організацію і функціонування I та II пігментних систем.
3. Розкрийте суть світлових реакцій фотосинтезу.
4. Назвіть основні умови проходження світлової фази фотосинтезу, її основні продукти.
5. Що таке темнова стадія фотосинтезу; який зв'язок між світловими і темновими реакціями?
6. Дайте характеристику основних етапів циклу Кальвіна?

## ЕКОЛОГІЯ ФОТОСИНТЕЗУ

### Теоретична частина

Інтенсивність фотосинтезу визначається обсягом вуглекислого газу, який поглинається одиницею площі листової поверхні за певний проміжок часу. Зазвичай цей показник подають у міліграмах  $\text{CO}_2$  на  $1 \text{ дм}^2$  листка за одну годину. Залежно від біологічних особливостей виду та етапу онтогенезу рослин, інтенсивність фотосинтезу може змінюватися в межах  $5\text{--}25 \text{ мг } \text{CO}_2/\text{дм}^2\cdot\text{год}$ .

У фізіології розрізняють два підходи до визначення фотосинтезу - видимий і дійсний. Видимий фотосинтез оцінюють за зменшенням концентрації  $\text{CO}_2$  або збільшенням вмісту  $\text{O}_2$  в ізольованому просторі, в який поміщають рослину. Для визначення дійсного фотосинтезу, окрім змін газового складу, враховують також інтенсивність дихання, додаючи до експериментально отриманих даних кількість  $\text{CO}_2$ , яка могла б виділятися листком у темряві. Водночас такий підхід не дає повної оцінки реального фотосинтезу, оскільки при затемненні листка припиняється не лише видимий фотосинтез, а й фотодихання, а темнове дихання, своєю чергою, також залежить від світлових умов.

Окрім газометричних методів, для визначення інтенсивності засвоєння вуглецю рослинами застосовують й інші підходи, зокрема радіометричний метод, оцінку чистої продуктивності фотосинтезу, манометричний метод та інші.

#### Вплив факторів середовища на фотосинтез

**Вуглекислий газ.** Концентрація  $\text{CO}_2$  в атмосферному повітрі є відносно стабільною і становить близько  $0,03 \%$  за об'ємом. Проте безпосередньо в посівах різних культур упродовж доби вміст вуглекислого газу може змінюватися: він зменшується внаслідок активного фотосинтезу та зростає при його ослабленні. Підвищення концентрації  $\text{CO}_2$ , навіть у десять разів, сприяє поступовому посиленню фотосинтетичної активності. Збагачення повітря вуглекислим газом у закритих приміщеннях є ефективним способом підвищення продуктивності, насамперед у  $\text{C}_3$ -рослин.  $\text{C}_4$ -рослини майже не реагують на таке збагачення, оскільки мають специфічний механізм концентрації  $\text{CO}_2$  у тканинах листків.

**Температура.** Зниження ефективності фотосинтезу може спостерігатися вже за температур понад  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Основною причиною цього є різна чутливість фотосинтезу та дихання до температурних умов: зі зростанням температури інтенсивність дихання збільшується значно швидше, ніж швидкість дійсного фотосинтезу, що знижує чисту асиміляцію  $\text{CO}_2$ .

**Водний режим.** Вода відіграє ключову роль у реалізації фотосинтетичної функції рослин, оскільки є вихідним компонентом фотосинтетичних реакцій. Водозабезпечення значною мірою визначає будову хлоропластів, впливає на синтез і концентрацію фотосинтетичних пігментів, а також на формування

листяної поверхні. Тривалий дефіцит вологи призводить до порушення нециклічного фотофосфорилування, тоді як помірна нестача води (5–20 % від повного насичення) може забезпечувати оптимальний перебіг фотосинтезу.

Мінеральне живлення. Повітряне та кореневе живлення рослин тісно взаємопов'язані. Мінеральні елементи необхідні для формування, оновлення та функціонування фотосинтетичного апарату, зокрема пігментів і фотосистем. Дефіцит азоту, фосфору чи калію порушує синтез хлорофілу, що спричиняє зменшення вмісту пігментів, структурні зміни хлоропластів і, як наслідок, зниження інтенсивності фотосинтезу та продуктивності рослин.

Кисень. Вміст кисню в атмосфері становить близько 21 %, що перевищує оптимальні показники для фотосинтетичного процесу. Зміни концентрації  $O_2$  впливають на фотосинтез по-різному залежно від рівня фотодихання. У рослин із високою інтенсивністю фотодихання зниження вмісту кисню з 21 до 3% сприяє підвищенню фотосинтезу, тоді як у рослин із низьким рівнем фотодихання такі зміни істотно не впливають на перебіг процесу.

### **Робота 1. Визначення інтенсивності фотосинтезу газометричним методом.**

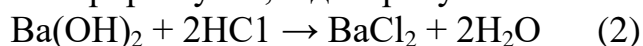
**Мета:** визначити експериментально кількість засвоєного вуглекислого газу фотосинтезуючим листком дослідної рослини за одиницю часу.

**Матеріали та обладнання:** дві скляні колби однакового об'єму (1-2 л), гумові корки до колб, три стакани по 100 мл, парафін або вазелін, 0,1 н. розчин  $Ba(OH)_2$ ; 0,1н. розчин  $HCl$ , фенолфталеїн, листя герані, електрична лампа.

Метод ґрунтується на визначенні кількості вуглекислоти, яка поглинається рослиною в посуді з постійним об'ємом повітря. Якщо відомо, яка кількість вуглекислого газу міститься в колбі до досліду і після нього, то за різницею між цими величинами дуже легко обчислити кількість вуглекислого газу, яку рослина поглинула в дослідних умовах. У досліді використовують дві колби однакового об'єму, закриті гумовими корками. В дослідну поміщають листок, контрольна залишається пустою. Обидві колби витримують певний час на світлі. В кінці досліду визначають вміст  $CO_2$  в колбах. Для цього в кожену колбу наливають розчин луґу, який реагує з вуглекислотою.



Для повного поглинання вуглекислоти в колби наливають надлишок луґу, так щоб з вуглекислотою його прореагувало не більш як 25-30%. Луґ, який не прореагував, відтитрують кислотою:



За різницею титрувань дослідної і контрольної колб визначають кількість  $CO_2$ , засвоєного листком під час досліду.

#### **Хід роботи**

Перед дослідом обидві колби на 20-30 хв. залишають в однакових атмосферних умовах відкритими, потім закривають. Зрізують листок будь-якої рослини і прикріплюють його за черешок до внутрішньої поверхні гумового

корка дротом або ниткою. З дослідної колби виймають корок та закривають її швидко корком з листком. Контрольну колбу одночасно швидко відкривають та закривають корком. Корки герметизують вазеліном чи парафіном. Обидві колби ставлять на світло на 30 хв. Потім листок швидко виймають, колбу закривають корком. Контрольну колбу також швидко відкривають і закривають.

В обидві колби наливають по 20 мл децинормального розчину  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , закривають та збовтують на апараті для струшування протягом 10 хв. Їдкий луг вбирає  $\text{CO}_2$  з утворенням  $\text{BaCO}_3$ . Потім в колби додають по 3 краплі 1%-го розчину фенолфталеїну і залишки незв'язаного лугу титрують 0,01 н. розчином  $\text{HCl}$  до зникнення рожевого кольору. За різницею титрувань дослідної і контрольної колби визначають кількість  $\text{CO}_2$ , поглинутого рослиною під час фотосинтезу. Визначають площу дослідного листка або його вагу.

Площу листка визначають за допомогою міліметрового паперу або ваговим методом. *Ваговий метод визначення площі листка.* З тонкого паперу вирізають квадрат площею  $100 \text{ см}^2$  ( $10 \times 10 \text{ см}$ ) і зважують його. Потім на паперовий квадрат (або папір такої ж якості) накладають листок і обводять його контури простим олівцем. Контури листка вирізають і зважують з одержаних даних складають пропорцію і знаходять площу листка, користуючись прямими співвідношеннями між масою і площею.

Інтенсивність фотосинтезу розраховують в  $\text{мг CO}_2$  за 1 год. на  $100 \text{ см}$  листової поверхні за формулою:

$$I\Phi = \frac{(A - B) \cdot 0,44 \cdot 60 \cdot 100}{S \cdot t}$$

де  $I\Phi$  - інтенсивність фотосинтезу,  $\text{мгCO}_2/\text{дм}^2/\text{год.}$ ;

$A$  - кількість  $\text{HCl}$ , яка витратилась на титрування в дослідній колбі, мл;

$B$  - кількість  $\text{HCl}$ , яка витратилась на титрування лугу в контрольній колбі, мл;

0,44 - кількість  $\text{CO}_2$  еквівалентна 1 мл 0,02 н.  $\text{HCl}$ ;

60 - одиниця часу, год.;

100 - перерахунок на  $100 \text{ см}^2$ ;

$S$  - площа листка,  $\text{см}^2$ ;

$t$  - тривалість досліду, хв.

Розрахунки та висновки:

---



---



---



---



---



---



---



---

### Підсумковий контроль:

1. Дайте визначення інтенсивності і продуктивності фотосинтезу?
2. Які фактори впливають на ці показники?
3. Як впливають абіотичні фактори на інтенсивність фотосинтезу?

4. У чому суть газометричного методу визначення інтенсивності фотосинтезу?
5. Які значення може мати інтенсивність фотосинтезу в природних умовах?
6. Що таке чиста продуктивність фотосинтезу і як її визначають?
7. Які ви знаєте способи підвищення інтенсивності і продуктивності фотосинтезу рослин?

## Тема №14

### ПРОДУКТИВНІСТЬ ФОТОСИНТЕЗУ

#### Теоретична частина

Фотосинтез є провідним процесом синтезу органічної речовини в рослинному організмі. У поєднанні з поглинанням мінеральних елементів із ґрунту він формує матеріальну основу кількісних і якісних показників урожаю. Вирішальне значення фотосинтезу для продуктивності рослин підтверджується тим, що близько 95% сухої маси їхніх тканин припадає на органічні сполуки. Саме в молекулах органічних речовин акумулюється енергетичний потенціал рослини.

Регулювання фотосинтетичних процесів є одним із найефективніших напрямів управління продуктивністю рослин. Водночас слід ураховувати, що загальна продуктивність організму визначається не лише рівнем фотосинтезу, а й співвідношенням між процесами асиміляції та дисиміляції, ефективністю використання синтезованих органічних речовин і характером їх перерозподілу на різні потреби рослини.

За В. І. Кефелі, у формуванні продуктивності рослин виділяють п'ять основних елементів, що регулюються генетичними та гормональними чинниками й перебувають у тісному взаємозв'язку. Фотосинтезуючі органи при цьому повинні забезпечувати органічними речовинами не лише власні потреби, а й ріст і розвиток інших органів рослини.

Приблизно 90% біомаси рослин становить органічна речовина, утворена в процесі фотосинтезу. Тому динаміка сухої маси є об'єктивним показником асиміляційної діяльності рослин. Приріст сухої речовини за певний проміжок часу, віднесений до одиниці листової поверхні, називають чистою продуктивністю фотосинтезу (ЧПФ).

Чиста продуктивність фотосинтезу є важливим чинником формування врожаю і впродовж вегетаційного періоду може змінюватися від нульових і навіть від'ємних значень до 15–18 г/м<sup>2</sup> за добу. Її величина насамперед залежить від кількості вуглекислого газу, засвоєного рослиною в процесі фотосинтезу протягом дня.

В умовах природного середовища показники ЧПФ у різних видів рослин коливаються від 0,1 до 20 г сухої речовини на 1 м<sup>2</sup> листової поверхні за добу та істотно змінюються залежно від фаз росту й розвитку. Так, у високопродуктивних сортів озимої пшениці ЧПФ у фазу виходу в трубку становить 6–7 г/м<sup>2</sup> за добу, у фазу колосіння зростає до 11–12 г/м<sup>2</sup>, у період цвітіння знижується до 7 г/м<sup>2</sup>, а в подальші фази різко збільшується й може перевищувати 30 г/м<sup>2</sup> за добу.

Фотосинтетичний потенціал рослин визначають як суму добових показників площі листової поверхні за весь вегетаційний період або його окрему частину; цей показник виражають у  $\text{м}^2 \cdot \text{днів}$  на гектар.

Визначення чистої продуктивності фотосинтезу дає змогу отримати інформацію, необхідну для розроблення заходів підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, а також для прогнозування та програмування врожаїв.

У ряді випадків виникає потреба оцінити ефективність роботи фотосинтетичного апарату не з погляду загального приросту біомаси, а з позиції формування господарсько цінних органів - насіння, бульб, цибулин, коренеплодів тощо. Для цього використовують поняття біологічного та господарського врожаю.

Біологічний урожай являє собою суму всіх добових приростів органічної речовини за вегетаційний період. Господарський урожай є лише частиною біологічного і залежить від культури та коефіцієнта господарського використання. Наприклад, у зернових культур основною продукцією є зерно, у картоплі - бульби, а в ряді інших рослин - коренеплоди. Тому величину господарсько цінного врожаю визначають із урахуванням коефіцієнта господарського використання (Кгосп).

Листковий індекс характеризує співвідношення сумарної площі листків до площі ґрунту, зайнятого посівом. Так, у пшениці цей показник дорівнює приблизно 7, що означає наявність близько 70 000  $\text{м}^2$  листової поверхні на 1 гектар посіву.

Разом із тим підвищення інтенсивності фотосинтезу залишається складним завданням, що зумовлено його складною генетичною природою та специфікою ферментативних систем світлової й темної фаз фотосинтетичного процесу.

### **Робота: Визначення чистої продуктивності фотосинтезу**

**Мета:** визначити приріст маси дослідних рослин за певний проміжок часу на одиницю асиміляційної поверхні.

**Матеріали та обладнання:** ваги технічні, леза, свердла, міліметровий папір, бюкси, термостат.

### **Хід роботи**

На полі, засіяному зерновою культурою (або іншою культурою), вибирають характерну ділянку площею 1  $\text{м}^2$ , підраховують на ній кількість рослин. Для одержання врожаю в 4,0 т/га повинно бути не менше 400 продуктивних колосків. Відбирають з ділянки 5-10 рослин, ретельно їх розбирають. Пожовклі і відмерлі листки враховують окремо. Рослини зважують за органами, визначаючи сиру масу зелених, підсохлих і пожовклих листків, стебел.

Визначають площу зеленого листа. Для цього всі листки зважують, потім складають один на інший і свердлом кілька разів у різних місцях роблять висічки. Чим більше висічок, тим точніше буде визначена площа листків.

Висічки зважують, вимірюють діаметр свердла і розраховують площу висічок за формулою:

$$S_v = \eta \cdot D^2 \cdot n / 4,$$

де:  $S_v$  - площа висічок,  $\text{см}^2$ ;  
 $D$  - діаметр свердла,  $\text{см}$ ;  
 $n$  - число висічок, шт.;  
 $\eta$  - 3,14.

Потім визначають площу листків за формулою:

$$S_l = M \cdot S_v / m,$$

де:  $S_l$  - площа листків,  $\text{см}^2$ ;  
 $S_v$  - площа висічок,  $\text{см}^2$ ;  
 $m$  - сира маса висічок, г;  
 $M$  - сира маса зеленого листя, г.

Зважені органи рослин поміщують у паперові коробочки або металеві бюкси, ставлять у термостат і сушать до повітряно-сухого стану. Якщо використовуються бюкси, то їх потрібно попередньо зважити, записати масу з тим, щоб потім відняти її від загальної маси бюкса з рослинним сухим матеріалом.

Після просушування визначають повітряно-суху масу листків, стебел і пожовклих листків. Підраховують їх загальну суху масу.

Через 7-10 діб знову відбирають рослини із досліджуваних ділянок, розбирають їх, визначають площу листового апарату, сиру і повітряно-суху масу рослин за органами, а потім і їх сумарну суху масу.

Усі показники записують у таблицю.

*Примітка.* Якщо немає свердла, то можна використовувати міліметровий папір. Але тоді необхідно вимірювати площу шматочків листків, які нарізають замість вирубування. Ці шматочки вирізають із середньої частини листової пластинки.

Чисту продуктивність фотосинтезу розраховують за формулою:

$$\text{ЧПФ} = (B_2 - B_1) / 0,5 (S_1 + S_2) \cdot n,$$

де: ЧПФ - чиста продуктивність фотосинтезу,  $\text{г}/\text{м}^2$  за добу;  
 $B_1$  і  $B_2$  - суха маса рослин на початку і в кінці облікового періоду, г;  
 $S_1 + S_2$  - площа листків на початку і в кінці облікового періоду,  $\text{м}^2$ ;  
 $n$  - число днів між двома визначеннями.

Приріст біомаси за добу на  $1 \text{ м}^2$  посіву розраховують за формулою:

$$P = \text{ЧПФ} \cdot A/a,$$

де:  $P$  - приріст біомаси, г за добу;  
 $a$  - число рослин, узятих для аналізу, шт.;  
 $A$  - число рослин на  $1 \text{ м}^2$  посіву.

На основі отриманих результатів роблять висновок про асиміляційну активність та наростання маси у різних варіантів дослідів.

## ДИХАННЯ - ФЕРМЕНТИ ДИХАЛЬНОГО ЦИКЛУ

### Теоретична частина

Дихання можна охарактеризувати як процес катаболізму метаболітів, що відбувається за участю гліколітичного та/або окиснювального пентозофосфатного шляхів із подальшим окисненням утворених сполук у циклі трикарбонових кислот. Відновлені піридиннуклеотиди, що виникають у ході цих реакцій, використовуються для синтезу АТФ у процесі окисного фосфорилування. Таким чином, дихання являє собою керований процес розщеплення та окиснення органічних молекул.

У більшості випадків головним джерелом енергії та відновної сили для метаболічних процесів рослин слугують вуглеводи. Проміжні продукти їх окиснення виконують роль попередників у численних біосинтетичних реакціях. Електрони, що відщеплюються під час окиснення органічних речовин, беруть участь у відновленні НАДФ, після чого включаються в електронтранспортний ланцюг. Послідовно передаючись через систему цитохромів а, b і с, вони поступово переходять на нижчі енергетичні рівні та зрештою приєднуються до молекулярного кисню, який відновлюється до води.

Субстратами дихання у вищих рослин можуть бути не лише вуглеводи, а й білки, амінокислоти та ліпіди. Енергія, що вивільняється в процесі дихання, використовується для синтезу складних органічних сполук у ході метаболізму. Саме дихання забезпечує енергетичні потреби росту рослин, перебіг синтетичних реакцій, поглинання мінеральних елементів і транспорт асимілятів. Його значення полягає в тому, що цей багатоступеневий окисно-відновний процес є джерелом як енергії, так і лабільних сполук, необхідних для нормальної життєдіяльності рослинного організму. Отже, дихання забезпечує перетворення органічних речовин, синтезованих у процесі фотосинтезу, та їх використання для формування структур рослини.

Дегідрогенази відіграють ключову роль у процесах біологічного окиснення, активуючи атоми Н субстратів і забезпечуючи їх перенесення на відповідні акцептори. Процес активації та відщеплення Н від молекули субстрату називають дегідруванням; саме ці реакції лежать в основі більшості окисно-відновних перетворень у клітині.

Для прояву каталітичної активності більшість дегідрогеназ потребує участі коферментів. Усі дегідрогенази є двокомпонентними ферментами та характеризуються високою субстратною специфічністю. Залежно від природи акцептора Н, дегідрогенази поділяють на дві основні групи. До першої належать ферменти, здатні передавати активований водень безпосередньо на кисень, - так звані аеробні дегідрогенази. Другу, більш чисельну групу становлять анаеробні дегідрогенази, які передають Н проміжним переносникам. Серед них розрізняють дві підгрупи: одна з них віддає Н акцепторам, що входять до складу цитохромної системи, інша - коферментам піридиннуклеотидів.

### **Робота 1. Виявлення дегідрогенази**

**Мета:** виявити фермент дегідрогеназу, вивчити його дію і властивості.

**Матеріали та обладнання:** дріжджі пресовані, пробірки, водяна баня, термостат. 5% -ний розчин сахарози, розчин метиленової сині, мірні циліндри, спиртівка.

Дегідрогеназа переносить Н від донора (речовина, яка віддає і тому окислюється) до акцептора (речовина, яка приймає Н і відновлюється).

Акцептором Н може бути метиленова синька. Приєднуючи два атоми Н на одну молекулу, вона відновлюється, перетворюючись в безколірну лейкосполуку.

#### **Хід роботи**

2,5 г пресованих дріжджів змішують з 50 мл 5% розчину сахарози. Суміш розливають в 3 пробірки на 3/4 їх об'єму. Одну пробірку кип'ятять протягом п'яти хвилин (контроль). В усі пробірки наливають по декілька крапель метиленової синьки (в контрольну пробірку метиленову синьку додають після охолодження рідини).

Дослідні і контрольні пробірки занурюють у водяну баню з температурою 45 °С (оптимальна для ферменту дегідрогенази).

Через 20-30 хвилин спостерігають, що на контролі рідина залишилась яскраво-блакитною, а в дослідній - зовсім безбарвною. Це пояснюється тим, що метиленова синька під впливом приєданого Н, активованого дегідрогеназою, стала безколірною, перетворилася в лейкосполуку. Ця реакція зворотна: якщо відняти Н від лейкосполуки - рідина стає яскраво-блакитною. Це легко досягається при збовтуванні дослідної пробірки кисень, який проникає при збовтуванні в рідину, забирає водень від лейкосполуки і тому вміст пробірки забарвлюється в яскраво-блакитний колір. З цієї ж причини на поверхні рідини в дослідних пробірках завжди спостерігається блакитний овал.

**Висновок:**

---



---



---



---



---



---



---



---

### **Робота 2. Виявлення в насінні каталази**

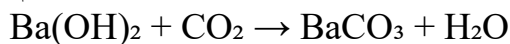
**Мета:** виявити каталазу, вивчити її властивості.

**Матеріали та обладнання:** проросле і непроросле насіння пшениці або гороху та інших культур, пробірки, 3% -ний розчин  $H_2O_2$ .

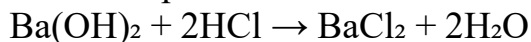


особливостями рослин, а й характером обміну речовин у різних органах і тканинах. Вагомий вплив на цей показник мають вік рослинних тканин, а також умови навколишнього середовища, зокрема температура, вологість повітря, концентрація кисню та інші чинники.

Інтенсивність дихання можна оцінити за кількістю вуглекислого газу, що виділяється під час дихання одиницею маси рослинного матеріалу за одиницю часу в умовах замкнутого простору. Зазвичай цей показник виражають у міліграмах  $\text{CO}_2$  за годину на 100 г рослинної маси. Для визначення інтенсивності дихання методом обліку виділеної вуглекислоти у герметичний посуд поміщають наважку досліджуваного зразка разом із визначеною кількістю лужного розчину. Вуглекислий газ, що утворюється в процесі дихання, взаємодіє з лугом, унаслідок чого зменшується його концентрація за реакцією:



Після завершення експозиції залишок луку титрують розчином кислоти відповідно до рівняння:



Отримані результати порівнюють із даними титрування контрольної проби та з початковою концентрацією лужного розчину. Різниця між показниками титрування контрольної та дослідної колб є прямо пропорційною кількості вуглекислого газу, виділеного в процесі дихання.

Тривалість експозиції визначається масою наважки та рівнем інтенсивності дихання досліджуваного об'єкта.

### **Робота 1. Визначення інтенсивності дихання за кількістю виділеної вуглекислоти**

**Мета:** визначити інтенсивність дихання сухого і пророслого насіння, проаналізувати отримані результати.

**Матеріали та обладнання:** проросле і непроросле насіння; 0,1н. розчин  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ; 0,1н. розчин  $\text{HCl}$ ; фенолфталеїн; вага; однакові конічні колби (3 шт.); гумові пробки до них.

#### **Хід роботи**

Помістити наважку досліджуваного матеріалу (5-10 г) в марлевий мішечок і прикріпити його до пробки за допомогою крючка, встановленого в пробку. Ввести в колбу дві краплі фенолфталеїну і налити 20 мл децинормального розчину  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . Швидко опустити в колбу матеріал, щільно закривши колбу пробкою і записати час початку досліду.

Завдання роботи - порівняти інтенсивність дихання різних об'єктів. Для цього потрібно взяти дві колби і помістити в них рівні частини однієї і тієї ж рослини, наприклад листки і стебла або проросле і непроросле насіння і т.д.

В контрольну колбу також налити 20 мл бариту і 2 краплі фенолфталеїну і щільно закрити пробкою, не допускаючи попадання жодної краплини розчину на мішечок з матеріалом.

Через 1 годину вийняти матеріал і провести титрування луку, який



Коли на дихання використовуються більш окислені речовини, ніж вуглеводи, білки і жири, наприклад, органічні кислоти, то величина ДК буде більшою за одиницю.

В умовах нестачі кисню процес аеробного дихання може супроводжуватися анаеробним диханням, при якому також виділяється вуглекислий газ. Тому в цьому випадку дихальний коефіцієнт буде зростати. Подібне можна спостерігати при зануренні проростаючого насіння у воду. Утворені продукти неповного окислення при певних концентраціях можуть виявляти токсичну дію.

Величина дихального коефіцієнта відображує не лише тип субстрату, який піддається окисленню, але й особливості процесу дихання даної тканини чи органа відповідно до їх стану та впливу конкретних зовнішніх умов.

### **Підсумковий контроль:**

1. Що таке інтенсивність дихання та в яких одиницях її вимірюють?
2. Які ви знаєте методи визначення інтенсивності дихання?
3. Як залежить інтенсивність дихання від умов зовнішнього середовища: температури, вологості, газового складу атмосфери, освітлення, мінерального живлення, та інших фізіологічних факторів?
4. Поясніть, що таке коефіцієнт дихання. Чому він дорівнює при окисненні різних дихальних субстратів (вуглеводів, білків, жирів, органічних кислот)?
5. Який зв'язок існує між процесом дихання і усіма проявами життєдіяльності рослин?
6. Як можна керувати диханням рослин у період вегетації і при зберіганні рослинної продукції?
7. Як визначають інтенсивність дихання рослин і в яких одиницях прийнято виражати цей показник?
8. Які основні способи та методи застосовують для оцінювання інтенсивності дихального процесу?
9. Якими методами можна регулювати інтенсивність дихання рослин у період вегетації та під час зберігання рослинної продукції?

### **Тема №17**

## **ЯВИЩЕ АНТАГОНІЗМУ**

### **Теоретична частина**

Зелена рослина, окрім води, що надходить із ґрунту, та органічних сполук, синтезованих у процесі фотосинтезу, потребує постійного надходження мінеральних елементів. Саме кореневе живлення вищих рослин представле їхню автотрофну природу - здатність формувати власні структурні й функціональні компоненти з неорганічних речовин.

Рослинні організми здатні поглинати з навколишнього середовища в різних кількостях майже всі елементи періодичної системи Д. І. Менделєєва. Водночас для повноцінного життєвого циклу необхідними є лише 19 елементів, функції яких є незамінними. Із них 16 належать до мінеральних (N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl, Na, Si, Co), тоді як C, H і O надходять у рослину переважно у формі вуглекислого газу, кисню та води. Водночас у клітинах рослин виявляють також слідові кількості рідкісних і навіть радіоактивних елементів.

З огляду на кількісний вміст у рослинному організмі всі хімічні елементи поділяють на три основні групи. До макроелементів, які містяться у концентраціях від 10 до  $10^{-2}$  %, належать органогени, а також фосфор, кремній, калій, кальцій, сірка, магній, залізо, натрій і алюміній. Мікроелементи присутні в рослинах у межах  $10^{-3}$ – $10^{-5}$  % і представлені марганцем, бором, міддю, цинком, молібденом, кобальтом, йодом та низкою інших елементів. До ультрамікроелементів, концентрація яких коливається від  $10^{-6}$  до  $10^{-12}$  %, належать миш'як, германій, свинець, ртуть, срібло, золото та радій.

Органогенні елементи є основою для синтезу вуглеводів, білків, ліпідів та інших органічних сполук. Фосфор і сірка, окрім того, входять до складу білків протопласта. Мінеральні елементи істотно впливають на фізико-хімічний стан клітинних колоїдів, виконують каталітичні функції в біохімічних реакціях, беруть участь у регуляції тургору, проникності цитоплазми та формуванні електрофізіологічних процесів у рослинному організмі.

Надходження поживних речовин до рослини зумовлюється їх доставкою до поверхні кореневої системи. Контакт іонів із коренями забезпечується трьома основними шляхами. Перший - кореневе перехоплення - полягає в тому, що в процесі росту корені охоплюють дедалі більший об'єм ґрунту та безпосередньо поглинають наявні в ньому елементи. Другий шлях - масовий потік, за якого поживні речовини транспортуються до коренів разом із водою у складі ґрунтового розчину. Третій механізм - дифузія, що відбувається за градієнтом концентрації.

Поглинання мінеральних іонів коренями знижує їх концентрацію в прикореневій зоні, внаслідок чого формується концентраційний градієнт, який забезпечує подальший рух іонів у напрямку кореневої системи. Усі три механізми сприяють мобілізації мінеральних речовин ґрунту. Характер переміщення елементів залежить від форми іона: кальцій і магній надходять переважно шляхом масового потоку та кореневого перехоплення, калій - через дифузію і масовий потік, тоді як фосфат-іони - виключно шляхом дифузії.

Сучасні уявлення про клітинне поглинання мінеральних речовин передбачають існування кількох механізмів транспорту: простої та полегшеної дифузії, перенесення з потоком розчинника, дифузії через ліпідну фазу мембрани, обмінної дифузії, активного транспорту з витратами енергії, а також піноцитозу. Після досягнення мембрани речовина взаємодіє з її структурними компонентами, проникає всередину клітини й включається в метаболічні процеси.

Залежно від енергетичних витрат розрізняють пасивне й активне надходження мінеральних елементів. Пасивний транспорт здійснюється без використання метаболічної енергії та відбувається за градієнтом електрохімічного потенціалу, тоді як активний транспорт потребує витрат енергії й може відбуватися проти градієнта концентрації. У рослинах функціонують дві взаємопов'язані транспортні системи: апопластна, що забезпечує пасивне переміщення речовин через міжклітинний простір, і симпластна, яка включає активний транспорт через систему протопластів, з'єднаних плазмодесмами.

Важливим фізіологічним явищем є антагонізм іонів - протилежний вплив окремих іонів та їхніх солей на властивості цитоплазми. У деяких випадках іони, токсичні в ізольованому вигляді, у складі суміші виявляються нешкідливими. Розчини з оптимальним співвідношенням іонів називають врівноваженими. Антагонізм пояснюється конкуренцією іонів за адсорбційні ділянки плазмолем, мембранні переносники, активні центри ферментів, а також їх різноспрямованим впливом на гідратацію білків, в'язкість і проникність цитоплазми.

Експериментальні дослідження антагонізму іонів необхідно проводити в умовах максимальної чистоти, використовуючи очищений посуд і реактиви, оскільки навіть незначні домішки сторонніх іонів можуть істотно спотворювати результати дослідів.

### **Робота 1. Антагонізм іонів Н і кальцію**

**Мета:** дослідити явище антагонізму іонів Н і кальцію.

**Матеріали та обладнання:** пробірки, розчини: 0,001н. НС1, 0,002н. СаС1<sub>2</sub>, столовий буряк.

#### **Хід роботи**

В три пробірки наливають розчини:

1. 4 мл НС1 0,001 н.
2. 2 мл НС1 0,001 н. + 2 мл СаС1<sub>2</sub> 0,002 н.
3. Контроль - Н<sub>2</sub>О.

Роблять 6 зрізів столового буряка і занурюють по 2 зрізи в кожену пробірку. З цього моменту відмічають початок досліду і слідкують за часом, коли зрізи в тому чи іншому розчині обезбарвлюються. В отруйному розчині клітини швидко гинуть і клітинний сік, забарвлений антоціаном, шляхом екзоосмосу виходить з мертвих клітин назовні в розчин.

Встановивши швидкість обезбарвлення зрізів у розчині в хвилини, ми отримуємо порівняльну токсичність розчину. Якщо отруйність Н<sup>+</sup> іонів повністю анульована іонами Са<sup>++</sup> то зрізи буряка дуже довго не втрачають колір, так як протоплазма залишається живою напівпроникною і антоціан із іншим вмістом клітинного соку залишається у вакуолі клітини. Такі розчини солей називаються врівноваженими.

Швидкість обезбарвлення зрізів буряка визначається за допомогою лупи або неозброєним оком.



чашку 15 мл розчину  $KCl$  0,12 н. в другу 15 мл  $CaCl_2$  0,12 н. в третю – 13 мл  $KCl$  0,12 н. + 2 мл  $CaCl_2$  0,12 н., в четверту - чисту воду. Після цього чашки Петрі закривають кришками і ставлять в темне місце до наступного заняття.

Через 3 дні необхідно чашки відкрити і перевірити, потім знову закрити. За тиждень на різних розчинах зародкові корінці досягнуть різних розмірів. Через тиждень на кожному розчині виміряти сумарну довжину всіх зародкових корінців 20 зернівок.

На найбільш токсичному розчині сумарна довжина органів буде найменшою, на врівноваженому і воді - найбільшою.

Висновок:

---



---



---



---



---

#### **Підсумковий контроль:**

1. Яке значення мінеральних елементів у житті рослин?
2. Охарактеризуйте групи мінеральних елементів за кількісною потребою і характером надходження?
3. Що Ви знаєте про взаємну дію іонів на рослини (антагонізм, синергізм, адитивність)?
4. Які розчини називаються врівноваженими?
5. Наведіть приклади таких розчинів?

#### **Тема №18**

### **ДІАГНОСТИКА МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ**

#### **Теоретична частина**

Для оцінювання стану мінерального живлення рослин, визначення доцільності проведення підживлення та отримання узагальненої характеристики ґрунту за вмістом доступних форм поживних речовин широко застосовується метод листової діагностики. Цей підхід дає змогу оперативне отримати інформацію про забезпеченість рослин елементами живлення і швидко реагувати на виявлені порушення.

Листкова, або функціональна, рослинна діагностика належить до перспективних напрямів оцінки потреб рослин у макро- та мікроелементах і відноситься до якісних методів аналізу. Її застосування дозволяє протягом 1,5–2 годин визначити дефіцит або надлишок основних елементів живлення, зокрема азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, бору, міді, цинку, заліза, марганцю, молібдену, кобальту та йоду, а також скоригувати систему живлення рослин аж до рівня окремої особини і надати рекомендації щодо проведення позакореневого підживлення.

Для реєстрації змін фотохімічної активності суспензії хлоропластів використовується портативний фотометр. Цей прилад забезпечує можливість автономного проведення діагностики в будь-яких умовах, у тому числі безпосередньо в полі, що має особливе значення для дослідження польових культур відкритого ґрунту.

Принцип функціональної рослинної діагностики передбачає кілька послідовних етапів: відбір типових рослин, які найбільш повно характеризують досліджувану ділянку; приготування суспензії хлоропластів; внесення суспензії до контрольної пробірки з додаванням барвника та вимірювання оптичної густини до і після освітлення. За різницею між отриманими значеннями оцінюють рівень фотохімічної активності хлоропластів. Надалі до суспензії додають окремі елементи живлення у визначених концентраціях і повторно визначають фотохімічну активність. Її підвищення порівняно з контролем свідчить про дефіцит відповідного елемента, зниження - про його надлишок, а відсутність змін - про оптимальний вміст у живильному середовищі.

Для польових умов розроблено також метод діагностики азотного живлення рослин. На зріз рослини наносять краплю дифеніламіну, який у присутності нітратів спричиняє синє забарвлення. Інтенсивність цього забарвлення прямо пропорційна концентрації нітратного азоту: чим вона вища, тим кращою є забезпеченість рослин азотом. Отримані результати відображають рівень доступного азоту для конкретної культури за певних умов росту та оцінюються за семибальною шкалою.

Під час листової діагностики забезпеченості рослин макроелементами аналізують зрілі листки, які завершили свій ріст. Такі листки функціонують переважно як донори поживних речовин для молодих органів, тому за дефіциту живлення вони швидше збіднюються, а за його надлишку — інтенсивніше накопичують елементи.

Метод хімічної діагностики ґрунтується на аналізі рослинних тканин з урахуванням фаз розвитку культури. Експрес-аналізи виконують у лабораторних умовах із застосуванням сучасних методик і високоточного обладнання, що забезпечує надійність і відтворюваність результатів. Для визначення ступеня забезпеченості рослин найважливішими елементами живлення - нітратним азотом ( $\text{NO}_3^-$ ), фосфором ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) і калієм ( $\text{K}_2\text{O}$ ) - використовують експрес-методи тканинної діагностики із застосуванням відповідних хімічних реагентів.

### ***Робота 1. Визначення потреби рослин в азоті***

**Мета:** засвоїти методику діагностики потреби рослин в азоті за вмістом нітратів.

**Матеріали та обладнання:** рослини квасолі, соняшнику, бритва, скляна пластинка, дифеніламін (0,1 г дифеніламіну розчиняють у 10 мл концентрованої сірчаної кислоти).

### Хід роботи

Використовують рослини квасолі і соняшнику, що вирости на повній живильній суміші Кнопа і на живильній суміші з 1/5 азоту.

Для аналізу використовують нижні листки або черешки молодих рослин, а також частини стебла, у злаків – вузли. У всіх рослин проби беруть з листків одного ярусу або з вузлів того ж порядку. Встановлено, що більше нітратів міститься в більш старих органах рослин молодого віку. У молодих органах нітрати швидко використовуються на біосинтез, а в старих синтетичні процеси перебігають повільно.

Одержані зрізи переносять на скляну пластинку. Додають краплю розчину дифеніламіну. За секундоміром відмічають час появи забарвлення зрізу, його колір та інтенсивність. Порівнюють одержані результати зі шкалою

Шкала для визначення нітратів у рослині та забезпеченості її доступним азотом у конкретних умовах проведення аналізу

Бал	Забарвлення зрізів	Умовна потреба в азотному добриві
6	Зріз і розчин швидко та інтенсивно забарвлюються в синяво-чорний колір	Вносити азотне добриво не треба. Можливий надлишок азоту в ґрунті в доступному стані.
5	Зріз і розчин відразу забарвлюються в темно-синій колір. Забарвлення зберігається деякий час.	Не потребує.
4	Зріз і розчин забарвлюються в синій колір. Забарвлення відбувається не відразу.	Середня потреба.
3	Зріз і розчин забарвлюються в світло-синій колір. Забарвлення зникає через 2-3 хв.	Слабка потреба.
2	Забарвлюються головним чином провідні пучки. Колір швидко зникає.	Потребує.
1	Сліди блакитного забарвлення швидко зникають.	Сильна потреба.
0	Синього кольору немає. Настає порозовіння і почервоніння тканини внаслідок її обуглення сірчаною кислотою реактиву.	Дуже сильно потребує.

Записати одержані результати у таблицю

#### Діагностика потреби рослин в азоті

Варіант	Забарвлення зрізів, бал	Умовна потреба в добриві	Порівняння потреби двох видів
Квасоля 1. Повна живильна суміш 2. Живильна суміш з 1/5 азоту			
Соняшник			

3. Повна живильна суміш Живильна суміш з 1/5 азоту			
---	--	--	--

Зробити висновок про потреби рослин в азоті. Порівняти необхідність у цьому елементі двох видів – квасолі і соняшнику.

Висновок: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Підсумковий контроль:

1. Яке значення мінеральних елементів у житті рослин?
2. Які фізіологічні розлади можуть виникати при нестачі окремих елементів мінерального живлення?
3. Які Ви знаєте методи вивчення потреби рослин у мінеральній елементах?
4. Охарактеризуйте методи діагностики мінерального живлення.
5. Відношення рослин до кислотності і лужності розчинів. Що таке фізіологічно кислі і лужні солі?
6. Які особливості нітратного і амонійного живлення рослин?
7. В чому полягають фізіологічні основи застосування добрив?

### Тема № 19

## ВИЗНАЧЕННЯ РОСТУ І РОЗВИТКУ РОСЛИН

### Теоретична частина

Індивідуальний розвиток кожної рослини супроводжується низкою закономірних змін, притаманних певному біологічному виду. Сукупність фізіолого-біохімічних і морфологічних перетворень, зумовлених генетичними чинниками, які відбуваються в рослинному організмі від моменту його виникнення із зиготи, спори або спеціалізованого вегетативного зачатка до природної смерті за звичайних умов середовища, визначають як життєвий цикл, або онтогенез.

За особливостями життєвого циклу рослини поділяють на монокарпічні та полікарпічні. Монокарпічні характеризуються одноразовим плодоношенням; серед них виділяють однорічні, дворічні й багаторічні види. Тривалість їхнього життя значною мірою залежить від умов вирощування: за несприятливих умов період до цвітіння та відмирання подовжується. Полікарпічні рослини здатні плодоносити багаторазово. Для них розрізняють малий життєвий цикл, що відповідає розвитку окремого пагона, і великий - життєвий цикл усїєї рослини. Тривалість життя полікарпічних коливається в широких межах і може сягати 20–30 років і більше.

В онтогенезі рослин виокремлюють основні процеси: ріст, розвиток, старіння та омолодження. Ріст розглядають як незворотне збільшення лінійних розмірів, поверхні, об'єму й маси рослинного організму, пов'язане з новоутворенням клітинних структур. Саме ріст є найбільш наочним проявом життєдіяльності рослин. За визначенням Д. О. Сабініна, ріст ґрунтується на формуванні нових структурних елементів, що зумовлює збільшення маси або розмірів рослини. Водночас найбільш надійним критерієм росту вважають утворення нових клітин та збільшення їхнього об'єму.

У процесі росту розрізняють три основні етапи: ембріональний, фазу розтягування та внутрішньої диференціації. Реальне збільшення розмірів і маси організму відбувається переважно на стадії розтягування, тоді як два інші етапи можуть проходити без істотних змін лінійних показників клітин.

Ріст органів, організмів і клітинних популяцій зазвичай має S-подібний характер і включає кілька фаз. Початкова лаг-фаза характеризується прихованим ростом, під час якого активізуються процеси синтезу ДНК, РНК, білків-ферментів і фітогормонів. Лог-фаза відповідає періоду інтенсивного росту, коли відбувається активне розтягування клітин, формування нових тканин і органів та збільшення їхніх розмірів. На фазі уповільненого росту накопичуються інгібітори, ріст поступово припиняється, а рослина або її окремі частини можуть переходити у стан спокою. Завершальною є стаціонарна фаза.

Розвиток, на відміну від росту, охоплює якісні фізіологічні, біохімічні та морфологічні зміни, пов'язані з формуванням нових структурних елементів і переходом рослини через певні етапи онтогенезу.

Однією з характерних особливостей рослин є здатність протягом онтогенезу утворювати нові тканини й органи. Ці процеси локалізовані в меристемах: апікальних (на верхівках пагонів і коренів), латеральних (прокамбій, камбій, перицикл, фелоген) та інтеркалярних, розташованих біля основи міжвузлів і листків. Основні органи пагона формуються в апікальній меристемі - конусі наростання. У багаторічних рослин ріст стебла і кореня є практично необмеженим, тоді як ріст листка завжди має визначені межі.

У розвитку листка виділяють чотири фази: утворення примордію, формування черешка, закладання листкової пластинки та її подальший ріст. Листкові примордії виникають у конусі наростання внаслідок інтенсивного поділу клітин. По краях серединної жилки формується меристема, з якої розвиваються тканини листкової пластинки. Інтенсивність росту листків значною мірою залежить від умов освітлення.

Формування основних тканин стебла забезпечується діяльністю апікальної меристеми та прокамбію, а подовження пагону відбувається внаслідок розтягування клітин. Цей процес стимулюється гіберелінами, що транспортуються з коренів і листків. У дводольних рослин потовщення стебла зумовлене активністю камбію та фелогену. На відміну від стебла, апікальна меристема кореня не утворює бічних органів, а формує кореневий чохлак і



Зробити малюнок та висновок про періодичність росту пагонів.

*Довжина, см*



Порядковий номер міжвузля

Висновок:

---



---



---



---



---



---



---

### **Робота 2. Явище алелопатії**

**Мета:** вивчити явище алелопатії у рослин.

**Матеріали та обладнання:** чашки Петрі, фільтрувальний папір, насіння рослин.

Алелопатія, як кругообіг фізіологічно активних речовин, що відіграють роль регулятора внутрішніх та зовнішніх взаємовідношень, поновлення, розвитку і зміни рослинного покриву в біоценозі. Алелопатія у агрофітоценозі, має безпосереднє значення для системи землеробства.

За здатністю утворювати і виділяти фізіологічно активні речовини рослини поділяють на дві групи. До першої належать рослини, корені яких при нормальних умовах росту не виділяють фосфорну кислоту й інші мінеральні речовини – злаки, корене-, бульбоплоди, овочеві рослини. Другу групу складають рослини, корені яких виділяють фосфорну кислоту та інші мінеральні речовини. До них належать бобові, більшість олійних рослин.

Рослини першої групи характеризуються нагромадженням вуглеводів і нейтральною реакцією клітинного соку, другої – нагромадженням переважно білків, жирів і кислою реакцією клітинного соку.

Поряд з мінеральними речовинами коріння багатьох рослин виділяє у

грунт різноманітні органічні сполуки. Наприклад, корені кукурудзи виділяють цукри, органічні кислоти, амінокислоти, ферменти; льону – вітаміни.

Рослини в процесі життєдіяльності виділяють в оточуюче середовище органічні речовини які стимулюють або пригнічують ріст інших видів рослин. Це явище враховують при складанні сівозмін, відборі рослин для змішаних посівів, боротьбі із бур'янами та ін.

Рослини в процесі життєдіяльності виділяють в оточуюче середовище органічні речовини які стимулюють або пригнічують ріст інших видів рослин. Це явище враховують при складанні сівозмін, відборі рослин для змішаних посівів, боротьбі із бур'янами та ін.

### Хід роботи

У дослідній чашці Петрі на добре зволоженому фільтрувальному папері розкладають для сумісного пророщування по 20 насінин кожного з двох видів рослин, що порівнюються. Кришку чашки також вистилають зволоженим фільтром. Можливі варіанти:

1. Пшениця і люпин.
2. Гарбуз і ячмінь,
3. Цукрові буряки і льон.

У двох контрольних чашках Петрі окремо пророщують по 20 насінин кожного з досліджуваних видів рослин.

Через тиждень підраховують кількість пророслих насінин в дослідній і контрольних чашках Петрі. Вимірюють довжину корінців і стебел кожного проростка окремо і в середньому по повтореннях. Результати досліду записують в таблицю:

Варіант	Рослини	Контроль		Дослід	
		довжина, см			
		корінця	стебла	корінця	стебла
1					
2					
3					

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---

### **Робота 3. Явище фототропізму**

**Мета:** вивчити явище фототропізму у рослин.

**Матеріали та обладнання:** молоді проростки злаків, темні ковпаки.

Ростові рухи рослин спричинені однобічним впливом факторів зовнішнього середовища. Залежно від природи подразника, розрізняють: фототропізм, геотропізм, гідротропізм, термотропізм, аеротропізм та інші.

#### **Хід роботи**

Місце отримання світлових подразнень у молодих проростків злаків можна визначити за допомогою фототропічної камери і станіольових ковпачків. Для цього на частину пророслих у темряві насінин насаджують ковпачки. Горщики з проростками накривають темним непрозорим ковпаком з невеликим отвором на рівні верхівки колеоптиле. Отвором горщик повертають до світла. Через 2-3 дні можна встановити, що ті проростки, які були накриті станіольовими ковпачками, ростуть вертикально, а непокриті - згинаються в напрямку до світла. Це свідчить, що місцем сприйняття світлового подразнення є верхівка колеоптиле, а ріст рослин в напрямку до світла і є явищем фототропізму.

Типове явище фототропізму можна показати на рослинах, які ростуть на вікні. Всі листкові пластинки повернуті до світла.

Висновок: \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

#### **Підсумковий контроль:**

1. Дайте визначення росту і розвитку рослин, розкрийте їх взаємозв'язок.
2. Які ви знаєте методи вимірювання швидкості росту?
3. Як впливають зовнішні фактори на ріст і розвиток рослин?
4. Виділення речовин рослинами. Фізіологія та значення алелопатії.
5. Застосування регуляторів росту в рослинництві і садово парковому господарстві?
6. Які види ростових рухів характерні для рослин?
7. Як фізіологічна природа фототропізму?
8. Поняття про онтогенез. Етапи індивідуального розвитку у рослин?

## РЕГУЛЯТОРИ РОСТУ РОСЛИН

### Теоретична частина

Серед природних регуляторів росту провідну роль відіграють фітогормони - біологічно активні сполуки, що синтезуються безпосередньо в рослинному організмі. Вони беруть участь у регуляції обмінних процесів і значною мірою визначають інтенсивність та спрямованість формоутворення.

Традиційно виділяють п'ять основних груп фітогормонів: ауксини, цитокініни, гібереліни, абсцизову кислоту та етилен. Їх синтез відбувається у строго визначених тканинах і органах рослин.

Ауксини стали першими фітогормонами, відкритими та охарактеризованими експериментально. У 1934 році Ф. Кегль ідентифікував ауксин як індолілоцтову кислоту (ІОК), речовину індольної природи. Біосинтез ІОК у рослин пов'язаний з амінокислотою триптофаном і шикимовою кислотою. У вищих рослин ауксини найбільш інтенсивно утворюються в молодих листках, бруньках, активному камбію, пилку та насінні, що розвивається; незначна їх кількість виявляється в апікальних меристемах коренів.

Фізіологічна роль ауксинів полягає передусім у стимуляції росту клітин шляхом розтягування, що має вирішальне значення для формування камбію, провідних пучків і кореневої системи. Вони зумовлюють явище апікального домінування, пригнічують розвиток пазушних бруньок, затримують опадання листків і плодів, впливають на диференціацію провідних тканин та беруть участь у ростових рухах - тропізмах і настях. Практичне значення ауксинів пов'язане з їх здатністю стимулювати коренеутворення у живців та регулювати листопад і плодопад.

Цитокініни - це група фітогормонів, основною функцією яких є стимуляція поділу клітин, зокрема в калусних культурах. У 1963 році було виділено перший представник цієї групи - зеатин. Найвищі концентрації цитокінінів виявляють у верхівках коренів, меристемах, ксилемному соку, проростаючому насінні та плодах, що досягають. Їх біосинтетичним попередником є аденін.

Цитокініни активізують клітинний поділ і диференціювання, гальмують процеси старіння, стимулюють загальний обмін речовин і діють синергічно з ауксинами. Основою їх ростової дії є прискорення синтезу ДНК і, відповідно, мітотичної активності клітин.

Гібереліни були відкриті у 1926 році японським ученим Є. Куросавою під час дослідження гриба *Gibberella fujikuroi*. Найбільша кількість цих гормонів міститься в молодих органах, що перебувають у фазі активного росту. Синтез гіберелінів відбувається переважно в молодих листках, бруньках, насінні та корневих апексах; їх біохімічним попередником є мевалонова кислота.

Гібереліни стимулюють вегетативний ріст, активують процеси клітинного поділу та розтягування, прискорюють проростання насіння,

індукують цвітіння у певних груп рослин і сприяють утворенню партенокарпічних плодів. Крім того, вони впливають на формування статі, зсуваючи його у бік чоловічого типу, та підвищують активність багатьох ферментних систем.

Абсцизова кислота (АБК) є природним інгібітором росту. Вона гальмує поділ і розтягування клітин, затримує проростання насіння, сприяє опаданню листків і переходу деревних рослин у стан спокою. Найбільше АБК накопичується в старіючих листках, бруньках і насінні, що перебуває у стані фізіологічного спокою. Як і гібереліни, абсцизова кислота утворюється з мевалонової кислоти.

Етилен - газоподібний фітогормон, відкритий Д. Н. Нелюбовим у 1901 році, який відіграє ключову роль у процесах дозрівання плодів і старіння рослин. Він синтезується з амінокислоти метіоніну та міститься в різних органах - плодах, квітках, листках, стеблах і коренях. Етилен проявляє антагоністичну дію щодо ауксинів, уповільнює ріст, прискорює старіння, сприяє опаданню плодів, квіток і листків шляхом формування відокремлювального шару.

Окрему групу регуляторів росту становлять ретарданти - синтетичні сполуки, що гальмують вегетативний ріст, насамперед видовження стебел і пагонів. До них належать солі амонію, хлорхолінхлорид та інші препарати. Хлорхолінхлорид широко застосовують у землеробстві для запобігання поляганню зернових культур, зокрема пшениці, а також у садівництві - для прискорення плодоношення та підвищення врожайності плодкових дерев.

Ріст рослинних клітин регулюється насамперед ауксинами, серед яких провідне значення має гетероауксин. У низьких концентраціях ці речовини стимулюють ростові процеси, тоді як підвищені дози можуть справляти інгібувальний або токсичний ефект на живий рослинний організм.

### ***Робота 1. Вплив гетероауксину на ріст кореня***

**Мета:** ознайомитися з впливом регулятора росту на прикладі гетероауксину.

**Матеріали та обладнання:** чашки Петрі, фільтрувальний папір, гетероауксин, насіння пшениці, кукурудзи.

#### **Хід роботи**

4 чашки Петрі вистилають фільтрувальним папером і зволожують 9 мл  $H_2O$  (контроль), і таким самим об'ємом розчину гетероауксину 0,01; 0,001; 0,0001%-ної концентрації.

В кожену чашку поміщають по 5 однакових насінин кукурудзи або пшениці, закривають кришками і ставлять в термостат при температурі 20-25 °C на тиждень. Через тиждень вимірюють довжину корінців і за результатами вимірів встановлюють, які концентрації гетероауксину стимулюють, а які затримують ріст.

Результати спостережень записати в таблицю:

Варіант дослідю	Середня довжина корінців на одну рослину	Довжина корінців, % до контролю
1. Вода (контроль)		
2. Гетероауксин 0,01%-ний		
3. Гетероауксин 0,001 %-ний		
4. Гетероауксин 0,0001%-ний		

Висновок: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### Підсумковий контроль:

1. Дайте визначення регуляторам росту і розвитку рослин?
2. Класифікація та властивості регуляторів росту?
3. В чому полягає суть явища апікального домінування?
4. Що ви знаєте про фітогормони та інгібітори росту, їх синтез, перетворення і механізм дії?

#### Тема №21

### СТІЙКІСТЬ ДО НИЗЬКИХ І ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

#### Теоретична частина

Закон Заленського встановлює, що листки верхнього ярусу рослини більш посухостійкі порівняно з нижніми листками та мають характерні морфофізіологічні ознаки: дрібні клітини, більшу кількість продихів, щільніше розміщених на поверхні, підвищену інтенсивність транспірації та фотосинтезу, високий вміст зв'язаної води. Листки верхніх ярусів проявляють ознаки ксероморфізму, тоді як листки нижніх ярусів менш адаптовані до посушливих умов. Для демонстрації закону достатньо визначити кількість продихів на одиниці поверхні листка, проводячи вимірювання у середній частині листової пластинки між центральною жилкою та краєм.

Жаростійкість - це здатність рослин витримувати високі температури. За цією ознакою рослини поділяють на три групи:

1. термофільні нижчі рослини, як бактерії та синьо-зелені водорості, які переносять 75–90 °С;
2. жаровитривалі рослини посушливих зон, включно з сукулентами (до 60 °С) та ксерофітами (до 54 °С);
3. не жаростійкі мезофіти й водні рослини (до 40 °С).

Рослини, що ростуть на світлих, сухих та добре прогрітих ділянках, більш стійкі до спеки, ніж тіньовитривалі. Жаростійкість залежить не лише від абсолютного рівня температури, а й від тривалості її дії: короткочасне впливання надто високих температур (43–45 °С) може бути так само шкідливим, як і тривале впливання дещо нижчих температур, що перевищують оптимальні.

Високі температури зменшують площу листків, знижують їхню фотосинтетичну активність і ушкоджують генеративні клітини, зокрема пилок, що стає стерильним, а проростання фертильних пилкових зерен на приймочці сповільнюється. Це є однією з причин зниження врожайності. Під час спеки за високої вологості повітря транспіраційне охолодження листків обмежене, а перевищення оптимальної температури призводить до денатурації білків і пошкодження білково-ліпідних комплексів мембран, що дезорганізує фізіологічні процеси.

Рослини володіють низкою адаптивних механізмів для захисту від теплових ушкоджень: активна транспірація, вертикальне орієнтування листків, фототаксис хлоропластів, світле забарвлення листової поверхні, наявність кутикули та кіркових шарів, підвищена концентрація вуглеводів у цитоплазмі. Ступінь ушкодження в польових умовах залежить від комплексу факторів, зокрема наявності вологи в ґрунті.

Функціональні і структурні властивості клітин визначають реакцію рослин на екстремальні температури: спостерігається інгібування руху цитоплазми, її коагуляція, ядерні зміни, втрата мембранної напівпроникності. Високі температури стимулюють патологічне дихання і утворення токсичних продуктів. Жаростійкість також залежить від стадії розвитку рослини: молоді, активно ростучі рослини більш чутливі до спеки, ніж старі або перебуваючи у стані спокою. Наприклад, у фазі куціння пшениці висока температура гальмує диференціацію колосків у конусі наростання, знижуючи кількість квіток і, як наслідок, врожай. Особливо небезпечна спека для рослин під час цвітіння, оскільки викликає стерильність квіток і опадання зав'язей.

Стійкість різних органів неоднакова: підземні органи менш жаростійкі, ніж пагони та бруньки. Камбіальні тканини демонструють найвищу стійкість, а дозрілі плоди можуть переносити високі температури навіть корисно, якщо рослина загалом витримує спеку. Для підвищення жаростійкості П. О. Генкель рекомендував обробку насіння окремих культур 0,2 % розчином хлористого кальцію перед висівом, хоча цей метод не завжди ефективний. Також застосовують заходи, подібні до тих, що використовуються для посухостійкості: впровадження ползахисних смуг, штучне зрошення, побілку стовбурів деревних рослин.

Посуха визначається як тривала нестача вологи, що особливо поширена на півдні і сході України та призводить до значних втрат урожаю. Її шкідливість залежить від фази розвитку рослин і тривалості дії: найбільше страждають активно ростучі рослини та ті, що формують генеративні органи. Розрізняють атмосферну та ґрунтову посуху. Атмосферна посуха, наприклад весняна,



## **Робота 2. Визначення жаростійкості рослин**

**Мета:** навчитися визначати жаростійкість рослин.

**Матеріали та обладнання:** водяна баня; кристалізатори; термометри; пінцети; мірні циліндри місткістю 50-100 мл; 0,2 н. розчин соляної кислоти.

Стійкість проти перегріву (впливу високих температур) називають жаростійкістю рослин. Високою для вегетативних органів рослин є температура 40-60 °С. При високих температурах у рослин, внаслідок перегріву, виникають патологічні порушення обміну речовин. В багатьох рослин у процесі еволюції виробилась одночасно здатність переносити високі температури і помітне зневоднення, оскільки ці несприятливі умови в природі майже завжди поснуються. Визначення жаростійкості рослин за Ф. П. Мацковим має певне значення для характеристики посухостійкості рослин. Він ґрунтується на властивості протоплазми протистояти високій температурі. При відмиранні клітини і коагуляції білків протоплазми соляна кислота, проникаючи в клітину, витісняє магній з молекули хлорофілу, в результаті чого утворюється феофітин (бурого). Про ступінь жаростійкості рослин роблять висновок за кількістю бурих плям, які утворюються на рослині, і оцінюють за п'ятибальною системою. Цей метод можна застосовувати тільки до рослин, які мають нейтральну реакцію клітинного соку.

### **Хід роботи**

Водяну баню нагрівають до температури 40 °С і в воду занурюють листки досліджуваних рослин. Через 30 хв беруть першу пробу листя на жаростійкість, їх витягають із водяної бані і тимчасово переносять у кристалізатори з холодною водою. Температуру води в бані піднімають на 5 °С і через 40 хв після цього беруть другу пробу, яку також переносять у холодну воду. Так поступово температуру води доводять до 80 °С, беручи проби через інтервали 5 °С. Після цього воду в кристалізаторах замінюють 0,2 н. розчином НС1 і через 20 хв вивчають результати дослідів. Живе листя залишається зеленим, а мертво буріє. Про ступінь пошкодження 'роблять висновок за появою на листках бурих плям внаслідок утворення феофітину. Жаростійкість досліджуваних рослин оцінюють в цифрах за п'ятибальною системою і на підставі добутих даних роблять висновок про ступінь жаростійкості досліджуваної рослини. Вивчаючи жаростійкість, доцільно досліджувати рослини різних екологічних груп.

**Висновок:**

---



---



---



---



---



---



---



---

---



---



---



---



---



---



---



---

### **Підсумковий контроль:**

1. Яка фізіологічна природа адаптації рослин?
2. Якими фізіологічними особливостями обумовлена стійкість рослин до високих та низьких температур? Жаро- та посухостійкість?
3. Як на практиці використовують закон Заленського?
4. Які ви знаєте методи визначення жаро- та посухостійкості рослин?
5. Холодо-, морозо- і зимостійкість. Способи їх підвищення.

### **Тема №22**

## **СОЛЕСТІЙКІСТЬ І ШЛЯХИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ**

### **Теоретичні відомості до роботи**

Деякі ґрунти містять надмірну кількість розчинних солей, що негативно впливає на ріст і розвиток рослин. Таке засолення особливо характерне для зон із низьким зволоженням, де природні процеси промивання ґрунту та вимивання солей недостатні. Крім того, надлишок солей може формуватися через підняття розчинів із глибших горизонтів ґрунту або систематичне внесення високих доз мінеральних добрив, зокрема сирих калійних солей.

Надмірна солоність ґрунту підвищує осмотичний тиск ґрунтового розчину, ускладнює поглинання води кореневою системою та створює токсичні умови для рослин. Ґрунти, що містять до 0,25 % легкорозчинних солей, належать до слабо засолених, до 0,5 % - середньозасолених (солончакуваті), а понад 0,5 % солей характеризують сильнозасолені ґрунти (солончаки).

Рослини по-різному реагують на підвищену солоність: галофіти пристосовані до росту на солончакових ґрунтах і можуть переносити концентрацію 3–5 % натрієвих солей, тоді як глікофіти більш чутливі до солей. Серед галофітів виділяють три групи:

1. евгалофіти - соленакопичувальні рослини з м'ясистими стеблами та листками, клітини яких мають високий осмотичний потенціал, що дозволяє активно поглинати катіони та аніони;
2. криногалофіти - солевідділяючі рослини з високою проникністю цитоплазми для солей, що забезпечується спеціальними секреторними клітинами - міхурчастими волосками, які накопичують та виводять сіль на поверхню листка;

3. глікогалофіти - соленепроникні рослини, у яких клітинний сік підтримує високий осмотичний тиск завдяки концентрації органічних сполук, особливо вуглеводів (наприклад, полин).

За теорією А. Шимлера, шкідлива дія засолення зумовлена високим осмотичним тиском ґрунтового розчину, що створює явище «фізіологічної сухості» ґрунтів. Пізніше дослідження Б.П. Строгонова та П.О. Генкеля показали, що пошкодження рослин виникає також через токсичний вплив солей, причому ступінь ушкодження залежить від складу іонів: найбільш токсичними є аніони  $\text{HCO}_3^-$ , менш шкідливі -  $\text{Cl}^-$  та  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Фізіологічно засолення проявляється зміною осмотичних властивостей клітин, руйнуванням цитоплазматичних мембран, зниженням активності ферментів, порушенням фотосинтетичного та окислювального фосфорилування, білкового обміну, накопиченням вільних амінокислот і токсичних сполук (кадаверину, путресцину, аміаку). Найменш стійкими до солей є рослини на ранніх етапах онтогенезу, тоді як з віком їхня солестійкість змінюється.

Культурні рослини за стійкістю до засолення поділяють на три групи: слабостійкі (пшениця, гречка, льон, огірки, квасоля, яблуна, вишня), середньостійкі (овес, просо, кукурудза, соняшник, жито, картопля, цибуля, морква, томати, виноград, люцерна) і сильностійкі (ячмінь, гірчиця, конюшина, капуста, цукровий буряк). Ступінь солестійкості визначають прямими методами (енергія проростання насіння, процент схожості) або лабораторними тестами (швидкість відкривання й закривання продохів у сольових розчинах, ступінь знебарвлення хлорофілу).

Для боротьби із засоленістю застосовують хімічну меліорацію ґрунтів, зокрема гіпсування, а також створюють солестійкі сорти рослин. Сильна засоленість долається рослинами з інтенсивним метаболізмом органічних кислот, сахарози та амінокислот (аспарагінової, глутамінової), що нейтралізують токсичний аміак через утворення амідів.

П.О. Генкель пропонував передпосівну обробку насіння розчинами солей ( $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) для підвищення стійкості до хлоридного, сульфатного та содового засолення. Такий прийом фактично «загартовує» насіння, зменшує проникність мембран цитоплазми і підвищує поріг токсичної дії солей.

### **Робота 1. Вплив концентрації розчину солей на проростання насіння**

**Мета:** вивчити вплив різних концентрацій солей на проростання насіння таких порівняно стійких до засолення рослин.

**Матеріали та обладнання:** термостат; чашки Петрі; промитий пісок; фільтрувальний папір; насіння соняшнику, кукурудзи, цукрового буряка пшениці огірків; 1 М розчин  $\text{NaCl}$ .

#### **Хід роботи**

В 4 чашки Петрі насипають по 50 г добре промитого піску. У першій чашці змочують пісок 10 мл 1 М розчину  $\text{NaCl}$ , в другій - 10 мл 0,1 М розчину

NaCl, в третій - 10 мл 0,01 М розчину NaCl, а в четверту чашку наливають 10 мл водопровідної води (контроль). Після цього відбирають 4 порції по 50 шт. досліджуваного насіння (бажано непошкодженого і однакового за розміром). Відібране насіння рівномірно розкладають в чашках Петрі, накривають їх кришками і ставлять в термостат для пророщування при відповідній температурі. Через тиждень підраховують кількість пророслих насінин. Міліметровою лінійкою вимірюють довжину надземної частини і корінців та знаходять середню величину з 10 вимірювань. Добуті результати записують за такою схемою:

Об'єкт	Концентрація розчину NaCl, м	Кількість пророслих насінин, %	Довжина, мм	
			коріння, середнє з 10	стебельця, середнє з 10
	Вода (контроль)			
	0,01			
	0,1			
	1,0			

При проведенні даної роботи вивчають вплив різних концентрацій солей на проростання насіння таких порівняно стійких до засолення культурних рослин, як соняшник, просо, цукровий буряк, кукурудза і не солестійких огірків, помідорів та ін.

На підставі результатів досліджень роблять висновок про вплив різних концентрацій NaCl на проростання насіння та солевитривалість досліджуваних рослин.

#### Питання самоконтролю:

1. Що розуміють під солестійкістю?
2. Завдяки чому підвищується солестійкість рослин?
3. Поясніть причини загибелі рослин під час зимівлі?
4. Які методи визначення солестійкості рослин Вам відомі?
5. Чому культурні рослини не можуть розвиватись на засолених ґрунтах?

**№23**

### ЗАКОНОМІРНОСТІ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИННОГО ОРГАНІЗМУ В ОНТОГЕНЕЗІ

Прізвище та ім'я	Питання	Форма
	Клітина – жива одиниця тіла організму	
	Ферменти як біологічні каталізатори	
	Фізіологічні основи стійкості рослин	
	Основні закономірності ростових процесів	
	Ґрунт як середовище мінерального живлення рослин	
	Дихання в житті рослин, бродіння	

	Транспірація та її залежність від зовнішніх і внутрішніх факторів	
	Світлова і темнова фази фотосинтезу	
	Фізіологічна роль макро і мікроелементів	
	Шляхи підвищення посухо- та жаростійкості рослин	
	Дихання у рослин різних видів	
	Потреби рослин в елементах живлення протягом вегетації	
	Вміст мінеральних елементів у рослині	
	Явище спокою рослин як адаптація до несприятливих умов середовища	
	Фотосинтез, праці сучасних вчених у розвитку вчення про фотосинтез	
	Періодизація онтогенезу	
	Ростові рухи у рослин - види тропізмів їх регуляція	
	Фізіологія цвітіння і плодоносіння	
	Особливості росту вегетативних органів рослин	
	Стійкість рослин до техногенних хімічних забруднень атмосфери і ґрунту	
	Екологія застосування мінеральних добрив	
	Стійкість рослин до радіоактивного випромінювання	

### Список використаної літератури

1. Безсонова В. П. Практикум з фізіології рослин. - Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2006. - 316 с.
2. Брайон О. В. Фізіологія рослин для допитливих. Стежина в зелений світ. - К.: Фітосоціоцентр, 2003. - 219 с.
3. Власенко М. Ю. Вельямінова-Зернова Л. Д., Мацкевич В. В. Фізіологія рослин з основами біотехнології: підручник для студ. вищих аграрн. навч. закл. напряму «Агрономія». - Біла церква, 2006. - 504 с.
4. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин: Підручник. - Суми: ВТД "Університетська книга", 2004. - 464 с.
5. Колупаєв Ю. Є. Основи фізіології стійкості рослин: Курс лекцій. - Харків, 2010. - 121 с.
6. Колупасв Ю. Є. Стресові реакції рослин (молекулярно-клітинний рівень). - Харків, 2001.-173 с.
7. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин / За ред. М. М. Макрушина. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2006. - 416 с.
8. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин - К.: Либідь, 2005.- 306 с.
9. Недільська У. І. Фізіологія рослин. Навчальний посібник Кам'янець-Подільський: ТОВ «Друк Сервіс», 2013. – 188 с.
10. Фізіологія рослин: практикум / О. В. Войцехівська, А. В. Капустян, О. І. Косик та ін.; за ред. Т. В. Паршикової. – Луцьк: Терен, 2010. - 420 с.
11. Практикум з фізіології рослин. Навчальний посібник. / В. А. Гайченко, І. М. Гудков, В. О. Кошпаров, В. О. Кіцко, М. М. Лазарєв - К.: Кондрат, 2010. - 286 с.
12. Практикум з фізіології рослин: навчальний посібник / Т. Г. Самойленко, М. О. Самойленко, О. Ф. Рожок. - Миколаїв: МНАУ, 2013. - 431 с.
13. Терек О. І. Ріст рослин: навчальний посібник. - Львів, Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. - 248 с.



