



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет агрономії і захисту рослин
Кафедра землеробства та гербології ім. О. М. Можейка

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Навчально-методичний посібник

Харків 2024

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет агрономії і захисту рослин
Кафедра землеробства та гербології ім. О. М. Можейка

Г.А. Лугова, К.М. Гавва

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Навчально-методичний посібник
для здобувачів , першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти зі спеціальності 205 «Лісове господарство»,
та 206 «Садово-паркове господарство»

Затверджено
рішенням Науково-методичної ради
факультету лісового господарства,
деревооброблювальних технологій
та землевпорядкування

Протокол № 2 від _18.12.2024_р.

Харків 2024

УДК 581.1(075.8)

Л 86

Схвалено

на засіданні кафедри землеробства та гербології ім. О. М. Можейка
Протокол № 9 від 25.11.2024 _р.

Рецензенти:

Шох С.С.- доцент, кандидат сільськогосподарських наук, Білоцерківський національний аграрний університет

Гавва Д.В.- доцент кафедри ґрунтознавства, кандидат сільськогосподарських наук, Державний біотехнологічний університет

Л 86

Лугова Г. А., Гавва К. М.

Фізіологія рослин : Навчально-методичний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 205 «Лісове господарство», та 206 «Садово-паркове господарство» / Г. А. Лугова, К. М. Гавва / - Електрон. дані. - Х. : Держ. біотехн. ун-т;/, 2024. - 64 с

У навчально-методичному посібнику подається структура лекційного матеріалу, анотований зміст лекційної частини, лабораторний практикум, література, завдання для самостійної роботи здобувачів, вказівки до виконання індивідуальних науково-дослідних завдань з курсу «Фізіологія рослин», принципи оцінювання успішності здобувачів за модульно-рейтинговою системою.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 205 «Лісове господарство», та 206 «Садово-паркове господарство».

УДК 581.1(075.8)

© Лугова Г.А., Гавва К.М., 2024

© ДБТУ, 2024

ЗМІСТ

Розділ 1. Мета і завдання курсу «Фізіологія рослин»	5
Розділ 2. Робоча програма курсу	7
2.1. Загальна схема та структура курсу	7
2.2. Анотований зміст лекційної частини курсу	8
2.3. Опорні конспекти лекцій (вибрані приклади)	12
2.4. Лабораторний практикум	34
2.5. Рекомендована література до курсу	35
Розділ 3. Самостійна робота здобувачів	37
3.1. Теми та питання лекційної частини курсу, які виносяться на самостійне вивчення	37
3.2. Теми рефератів	38
3.3. Методичні рекомендації до написання реферативних робіт	39
3.4. Теми науково-дослідних робіт (НДР)	40
3.5. Методичні рекомендації до виконання НДР	41
Розділ 4. Контрольні питання до курсу	43
Розділ 5. Форми контролю знань здобувачів	50
5.1. Приклади тестових завдань	50
5.2. Приклади завдань з модульного контролю	55
Розділ 6. Критерії оцінювання знань здобувачів	57
Додатки	59
Дод. 1. Титульна сторінка реферату	59
Дод. 2. Титульна сторінка НДР	60
Дод. 3. Правила та приклади представлення результатів дослідів	61

РОЗДІЛ 1.

Мета і завдання курсу «Фізіологія рослин»

Метою нормативного курсу «Фізіологія рослин» є формування у здобувачів сучасних теоретичних знань фізіологічних механізмів життєдіяльності рослинного організму та практичних навичок, необхідних для професійної діяльності в галузі біології. Цей навчальний курс знайомить здобувачів із сучасними проблемами науки, її методологією, класичними школами фізіології рослин, основними методами, підходами, термінологією.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізіологія рослин» є формування цілісного уявлення про:

- особливості функціонування рослинного організму;
- зв'язок фізіологічних функцій та метаболічних систем у рослині;
- регуляцію фізіологічних функцій в системі цілісного організму;
- зміни у фізіологічних процесах за дії факторів навколишнього середовища;

-особливості перебігу біохімічних процесів у рослинному організмі. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні знати:

- предмет, об'єкт та методи фізіології рослин;
- особливості організації та функціонування рослинної клітини;
- будову та закономірності функціонування фотосинтетичного апарату рослин, світлові та темнові реакції фотосинтезу, біосферне значення та екологію фотосинтезу, роль у продуктивному процесі;
- особливості клітинного дихання рослин, екологію дихання;
- водний обмін, механізми та регуляцію транспорту води в рослині;
- механізми надходження і транспорту іонів, фізіологічну роль макро- і мікроелементів, видільну функцію коренів;
- закономірності росту та розвитку рослин, механізми фоторецепції, гормональну систему, фотоперіодизм, теорії цвітіння, вегетативне розмноження, гіпотези старіння;
- фізіологічні основи стійкості рослин;
- особливості вторинного метаболізму рослинного організму.

Вміти:

- проводити дослідження фізіологічних процесів рослинного організму;
- проводити дослідження біохімічного складу та метаболізму рослин;
- засвоїти методи лабораторного практикуму з фізіології рослин: вегетаційний метод, гомогенізація рослинного матеріалу, фотоколориметрія, хроматографія, диференціальне центрифугування, світлова мікроскопія, цитохімічний аналіз та ін.;

-проводити індивідуальні науково-дослідні роботи: постановка мети і завдань, схеми експерименту, вибір методів, проведення експерименту, аналіз отриманих результатів.

Викладання курсу передбачає проведення лекцій, лабораторного практикуму, де кожний теоретичний розділ курсу закріплюється виконанням відповідних лабораторних робіт, колоквиумів, презентацій рефератів, захистів індивідуальних науково-дослідних завдань. Значна кількість годин приділяється самостійній роботі здобувачів, пропонуються різні форми її виконання. Поточний і підсумковий контроль знань здобувачів здійснюється за допомогою модульно-рейтингової системи, що враховує результати всіх форм роботи здобувачів.

РОЗДІЛ 2. Робоча програма курсу

2.1. Загальна схема та структура курсу

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 120 годин / 4 кредити
ECTS: 30/8* лекцій + 30/8 лабораторні роботи. + 60/134 самостійна робота

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин										
	денна форма						Заочна форма				
	усього	у тому числі					усього	у тому числі			
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд
Модуль 1											
Змістовий модуль 1. Фізіолого-біохімічні процеси у рослинній клітині і цілому організмі											
Тема 1. Вступ. Структура, функції і хімічний склад рослинної клітини.	13	4		4		6	31	0,5		2	
Тема 2. Водний обмін рослин.	14	4		4		6	20	1		1	20
Тема 3. Фотосинтез.	13	6		6		6	25	2		2	26
<i>Разом за змістовим модулем 1</i>	40	14		14		18	76	3		3	46
Змістовий модуль 2. Дихання рослин. Мінеральне живлення рослин											
Тема 1. Дихання рослин.	22	4		4		12	22	1		1	20
Тема 2. Мінеральне живлення рослин.	29	4		4		10	29	2		2	28
<i>Разом за змістовим модулем 2</i>	38	8		8		22	51	3		3	48
Змістовий модуль 3. Інтегральні функції рослинного організму. Стійкість рослин до біотичних і абіотичних факторів											
Тема 1. Ріст і розвиток рослин. Фітогормони.	20	4		4		10	20	1		1	15
Тема 2. Адаптація рослин до умов навколишнього середовища.	33	4		4		10	33	1		1	25
<i>Разом за змістовим модулем 3</i>	42	8		8		20	53	2		2	40
Усього годи	120	30		30		60	150	8		8	134

*Примітка: * кількість годин на денному (у чисельнику) та заочному відділенні (у знаменнику).*

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Інструктаж ТБ. Фізіологія рослинної клітини. Осмотичні властивості рослинної клітини.	2
2	Водний режим. Визначення стану продохів та інтенсивності транспірації	2
3	Фізіологія рослинної клітини. Ферменти рослинної клітини. Визначення активності каталази у рослинному матеріалі.	4
4	Визначення активності пероксидази як маркера стресу рослин	2
5	Властивості пігментів зеленого листка.	4
6	Визначення вмісту хлорофілу в листках рослин	2
7	Визначення вмісту пероксиду водню у рослинному матеріалі	4
8	Мінеральне живлення рослин. Мікрохімічний аналіз золи рослин	2
9	Визначення вмісту проліну у рослинному матеріалі	4
10	Визначення жаростійкості рослин	4
	Разом:	30,0

2.2. Анотований зміст лекційної частини курсу

Модуль 1. Фізіолого-біохімічні процеси у рослинній клітині і цілому організмі

Тема 1. Вступ. Структура, функції і хімічний склад рослинної клітини

Фізіологія рослин – наука про організацію та координацію функціональних систем рослинного організму. Становлення фізіології рослин. Пізнання закономірностей життєдіяльності рослин на різних рівнях організації живої матерії (від молекулярного до біосферного). Об'єкт фізіології рослин – еукаріотичні фототрофні організми. Специфічні особливості функціонування зелених рослин. Методологічні основи фітофізіології. Специфічні методи фізіології рослин як науки. Етапи розвитку фізіології рослин. Вітчизняні школи фізіологів рослин. Головні завдання фізіології рослин у зв'язку з глобальними проблемами сучасності. Вступ до фізіології рослин. Предмет і завдання фізіології рослин. Рослинна клітина як елементарна структурна та функціональна одиниця багатоклітинного організму. Специфічні особливості рослинної клітини. Мембрани рослинної клітини, їхня організація, властивості, функції та роль у клітині. Транспорт

речовин через рослинні мембрани. Біохімічна та функціональна різноманітність мембран.

Біохімічна організація структури рослинного організму. Загальна характеристика рослинних білків. Специфічні властивості рослинних білків. Амінокислотний склад рослинних білків. Повноцінні та неповноцінні білки. Класифікація білків. Прості та складні білки. Загальна характеристика вуглеводів, їхні функції, класифікація, характеристика окремих представників моно-, оліго- та полісахаридів. Структурні полісахариди клітинної оболонки рослин. Біосинтез та розпад вуглеводів: сахарози, крохмалю, целюлози та ін. Протеїногенні та непротеїногенні амінокислоти. Пептиди. Їх роль у рослинах. Властивості та особливості ферментів рослин. Загальна характеристика ліпідів, їх класифікація. Жири (рослинні олії). Характеристика, вміст в рослинах, практичне значення. Склад рослинних олій. Жирні кислоти, їх особливості. Основні фізико-хімічні константи жирів. Ліпоїди: загальна характеристика та роль у рослинах. Фосфоліпіди, воски, розчинні в жирах пігменти. Біосинтез насичених та ненасичених жирних кислот.

Тема 2. Водний обмін рослин

Значення води в життєдіяльності рослин. Загальна характеристика водного обміну рослинного організму: надходження, транспорт і виділення. Показники, що характеризують водний обмін: водний баланс, водний дефіцит, оводненість. Форми води в рослині. Водний обмін клітини. Основні закономірності поглинання води клітиною, механізми: осмотичний і шляхом набухання біолоїдів. Транспорт води клітиною. Поглинання води рослиною. Кореневий тиск – нижній кінцевий двигун води в рослині. Транспірація – верхній кінцевий двигун води в рослині. Фізіологічне значення транспірації та гутації. Кількісні показники транспірації: інтенсивність, продуктивність, транспіраційний коефіцієнт. Будова листка як органу транспірації. Види транспірації – продихова, кутикулярна. Будова продихів, механізми продихових рухів: калієвий механізм, осмотичний і гідродинамічний. Продихова регуляція транспірації. Засоби зниження транспірації – антитранспіранти. Транспорт води по рослині: трансвакуолярний; апопластний, симпластний шляхи; ближній і дальній транспорт. Пересування води по судинах рослини. Екологія водного обміну рослин. Особливості водного обміну у рослин різних екологічних груп (ксерофітів, мезофітів, гігрофітів) і шляхи адаптації рослин до водного дефіциту.

Тема 3. Фотосинтез

Фотосинтез – унікальний біологічний процес. Біосферна роль зелених рослин. Розвинуто вчення про фотосинтез. Загальне рівняння фотосинтезу, його компоненти. Роль фотосинтезу в процесах енергетичного й пластичного обміну рослинного організму. Структурна організація фотосинтетичного апарату. Будова листка як органу фотосинтезу, зміни в онтогенезі.

Ультраструктура хлоропластів (подвійна мембрана, строма, тилакоїди, грани). Пігментні системи фотосинтезуючих організмів. Хлорофіли - основні представники, спектральні, фізичні та хімічні властивості, функції у фотосинтезі. Хімічна будова хлорофілів, основні етапи біосинтезу молекули хлорофілу. Збуджений стан молекули хлорофілу (синглетний та триплетний) і шляхи передачі енергії збудження молекули хлорофілу. Каротиноїди – класифікація, спектри поглинання, основні представники, функції у фотосинтезі. Хімічна будова каротиноїдів. Явище хроматичної адаптації. Шляхи фіксації CO₂ (темнова стадія фотосинтезу). Цикл Кальвіна як джерело асимілятів. Зв'язок асиміляції CO₂ з фотохімічними реакціями. Хімізм реакцій циклу Кальвіна - C-3 шляху фотосинтезу, його ключові ферменти, основні фази. Етапи процесу – карбоксилювання, відновлення ФГК, регенерація первинного акцептора. Різновиди фіксації CO₂ у фотосинтезі. Цикл Хетча-Слека – C-4-шлях фіксації CO₂. Структурна організація циклу. Різні метаболічні шляхи кооперативного фотосинтезу. Гліколатний цикл - C-2 шлях фотосинтезу або фотодихання. Основні фази циклу. Просторова організація циклу – взаємодія трьох органел: хлоропласт – пероксисома – мітохондрія. Баланс між C-2 і C-3 шляхами фотосинтезу. Фізіологічне значення фотодихання. Взаємозв'язок фотосинтезу і процесів засвоєння азоту. Первинні продукти фотосинтезу, їх перетворення, розподіл та запасання.

Модуль 2. Дихання рослин. Мінеральне живлення рослин

Тема 1. Дихання рослин

Значення дихання в життєдіяльності рослинного організму – енергетична і пластична функції. Розвиток уявлень про клітинне дихання. Типи окислювально-відновних реакцій. Шляхи окислювання дихального субстрату в рослинній клітині. Гліколіз, бродіння. Взаємозв'язок різних шляхів, їхнє значення і регуляція. Показники, що характеризують процес дихання. Дихальний контроль, дихальний коефіцієнт. Дихання як центральна ланка обміну речовин. Регуляція дихання. Екологія дихання – залежність від зовнішніх і внутрішніх факторів. Вплив концентрації кисню й вуглекислого газу, температури, водозабезпечення та оводненості тканин, умов мінерального живлення на процес дихання.

Тема 2. Мінеральне живлення рослин

Живлення рослин – кореневе і повітряне. Основні закономірності поглинання речовин із ґрунту. Транспорт іонів через плазматичну мембрану. Види мембранного транспорту: пасивне перенесення і активний транспорт іонів (первинно- та вторинно-активний транспорт). Іонні канали рослин. Портерні системи. Транспорт елементів мінерального живлення, ближній і дальній внутрішньоклітинний, механізми і регуляція. Вміст мінеральних елементів у рослині. Макро-, мікро- і ультрамікроелементи. Фізіологічна роль

окремих елементів. Азот і його значення в житті рослини. Біологічна азотфіксація. Мінеральні форми азоту, що використовують рослини. Поглинання, асиміляція і метаболізація нітратів. Ферментні системи, біохімічні шляхи відновлення нітратів, етапи та регуляція редукції нітратів. Поглинання і засвоєння амонію. Фізіологічна роль фосфору. Особливості фосфорного живлення рослин, поглинання, транспорт і метаболізм фосфору в рослині. Фізіологічна роль сірки. Поглинання, транспорт і асиміляція сульфату. Фізіологічна роль кальцію. Кальцій і системи внутрішньоклітинної сигналізації. Фізіологічна роль калію. Поглинання, транспорт, роль, дефіцит калію в рослині. Мікроелементи. Фізіологічна роль заліза, міді, марганцю, молібдену, цинку, бору та ін. Metали як компоненти простетичних груп і як активатори ферментних систем. Участь мікроелементів у формуванні і функціонуванні електронтранспортних ланцюгів фотосинтезу та дихання, у ростових процесах, в азотному і вуглеводному обміні. Виділення речовин кореневою системою рослин. Мінеральне живлення – фактор продуктивності рослин і якості врожаю. Фізіологічні основи застосування добрив.

Модуль 3. Інтегральні функції рослинного організму. Стійкість рослин до біотичних і абіотичних факторів

Тема 1. Ріст і розвиток рослин. Фітогормони

Визначення поняття «ріст». Загальні закономірності, типи росту рослин. Ріст клітини розтягненням. Диференціація клітин і тканин. Особливості росту органів рослин. Властивості ростових процесів. Залежність росту від зовнішніх факторів. Вплив температури, світла, вологості ґрунту й повітря, умов мінерального живлення на процеси росту. Механізми регуляції ростових процесів. Гормональна система рослин. Поняття фітогормону, класифікація. Рістінгібуючі фітогормони: абсцизова кислота (АБК) і етилен. АБК – гормон стресу, фізіологічна дія. Етилен – гормон старіння, фізіологічна дія. Рухи рослин. Настії і нутації. Сейсмонастичні рухи рослин. Фізіологічна роль рухів. Поняття «розвиток». Життєвий цикл вищих рослин. Тривалість онтогенезу і його типи. Етапи онтогенезу: ембріональний, ювенільний, репродуктивний, сенільний, їхні морфологічні, фізіологічні та метаболічні особливості. Спокій рослин: фізіологічний та вимушений, значення для життєдіяльності рослин. Регуляція росту і розвитку. Внутрішні і зовнішні фактори, що визначають перехід рослин від вегетативного розвитку до генеративного.

Тема 2. Адаптація рослин до умов навколишнього середовища

Загальні поняття: стрес, адаптація, стійкість. Специфіка стресової реакції рослин. Реакція-відповідь рослин на стрес. Механізми, стратегії та види адаптації рослин. Посухостійкість рослин. Види посухи: атмосферна і ґрунтова. Еволюційні адаптації рослин-ксерофітів до водного дефіциту.

Фізіологічні адаптації мезофітів до посухи. Екстремальні температури і рослини. Дія високих температур і жаростійкість рослин. Термінові адаптації рослин. Білки теплового шоку (БТШ): особливості синтезу, групи, функції молекулярних шаперонів. Дія низьких позитивних температур (холодостійкість), негативних температур (морозостійкість) і ґрунтово-кліматичних факторів (зимостійкість). Загартовування рослин. Солестійкість рослин. Галофіти, їхня класифікація і механізми еволюційних адаптацій до засолення ґрунтів. Рослини в умовах гіпоксії і аноксії. Забруднення шкідливими газами. Токсичність їхньої дії на рослини. Формування стійкості до газів. Основні біотичні стресори для рослин. Захист від потенційних шкідників і хвороб у рослин. Групи патогенів. Концепція Флора. Видовий імунітет. Захисні реакції рослин на ураження патогенами. Відповіді рослин на ураження патогенами. Категорії рослин: чутливі, толерантні, надчутливі і вкрай стійкі (імунні). Значення саліцилової кислоти і оксид азоту. Фітоалексини синтезуються у місці інфікування і пригнічують розвиток патогену. Індукована стійкість до повторного зараження патогеном. Стійкість рослин до фітофагів. Узагальнення. Рослина як система структур і функцій. Рівні структурної (клітина – тканина – орган – цілісний організм) та функціональної (фотосинтез, дихання, мінеральне живлення, водний обмін, стійкість, ріст і розвиток) організації рослинного організму. Механізми регуляції процесів життєдіяльності на різних структурних і функціональних рівнях організації рослинного організму: генетичні, гормональні, трофічні, ензиматичні, електрофізіологічні, донорно-акцепторні. Зовнішні фактори як чинники зміни рівня перебігу регуляторних процесів у рослині. Взаємодія та взаємообумовленість у функціонуванні структур та фізіолого-біохімічних процесів як комплементарної системи регуляції життєдіяльності рослин.

2.3. Опорні конспекти лекцій (вибрані приклади)

Тема. Дихання рослин

1. Загальні уявлення про дихання рослин, його значення.
2. Взаємозв'язок між диханням і бродінням.
3. Види дихання. Дихальний коефіцієнт. Інтенсивність дихання рослин.
4. Ферментативні системи дихання.
5. Гліколіз.
6. Взаємозв'язок процесів фотосинтезу і дихання
7. Залежність інтенсивності дихання від внутрішніх і зовнішніх факторів.

1. Загальні уявлення про дихання рослин, його значення

В природі існують два основні процеси, в ході яких енергія сонячного світла, що була акумульована в органічній речовині, вивільняється, - це дихання та бродіння.

Дихання – це складний, багатоступінчастий процес біологічного окиснення органічних речовин з використанням O_2 до простих неорганічних речовин CO_2 і H_2O з вивільненням енергії, яка використовується на життєдіяльність організму.

Дихання можна визначити як розпад метаболітів через гліколітичний і (або) окислювальний пентозофосфатний шлях з наступним окисненням продуктів у циклі трикарбонових кислот та використанням відновлених піридиннуклеотидів для синтезу АТФ у процесі окислювального фосфорилування.

Дихання – це контрольоване розщеплення або окислення молекул органічної речовини. У більшості випадків основним джерелом енергії і відновлюючої сили для метаболічної активності рослин є вуглеводи. Проміжні сполуки, які утворюються під час окислення, використовуються як вихідний матеріал для ряду синтетичних реакцій. Відщеплені у процесі окиснення органічної речовини електрони використовуються для відновлення НАД, а потім надходять до електротранспортного ланцюга, поступово передаються по системі цитохромів *a*, *b*, і *c*, де на кожному новому етапі переходять на все більш низький енергетичний рівень і нарешті приєднуються до кисню. При цьому утворюється вода.

Субстратами дихання у вищих рослин можуть бути білки, амінокислоти і ліпіди. Виділена енергія використовується рослиною для утворення складних органічних речовин у процесах метаболізму. Саме дихання є джерелом енергії для росту рослин, різних синтетичних реакцій, поглинання елементів мінерального живлення, транспорту асимілятів. Значення дихання полягає у тому, що цей складний окисновідновний процес є джерелом енергії і лабільних речовин, необхідних для процесів життєдіяльності рослинного організму. Тобто, завдяки диханню відбувається перетворення синтезованих у процесі фотосинтезу органічних речовин і використання їх для побудови тіла рослин.

Значення дихання:

1. В процесі дихання відбувається дисиміляція органічних речовин з вивільненням енергії, яка запасається у вигляді АТФ.

2. В процесі дихання утворюються проміжні продукти, що використовуються для синтезу інших речовин (амінокислоти, білки, пігменти (хлорофіли, каротиноїди), нуклеїнові кислоти, алкалоїди тощо).

3. Вода, яка утворюється в процесі дихання використовується рослиною при дефіциті води.

2. Взаємозв'язок між диханням і бродінням

Розщеплення органічних речовин називають дисиміляцією або катаболізмом. Цей процес відбувається анаеробно, тоді він називається бродінням, або аеробно – диханням.

Бродіння – це дисиміляційний процес з утворенням продуктів неповного окислення. Залежно від кінцевого продукту, розрізняють бродіння спиртове, молочнокисле, оцтовокисле, маслянокисле та ін. Процеси бродіння властиві здебільшого нижчим гетеротрофним організмам (дріжджі, інші гриби, бактерії). У тканинах вищих рослин без наявності кисню також може відбуватися спиртове і молочнокисле бродіння.

Процес бродіння більш давній тип дисиміляції, ніж дихання. В енергетичному відношенні він менш вигідний, тому що для одержання тієї самої кількості енергії при бродінні витрачається значно більше субстрату, ніж при диханні. Адже при диханні органічна речовина повністю перетворюється на H_2O та CO_2 і при цьому виділяється значна кількість енергії. В той же час при бродінні органічна речовина не розкладається до кінця, тому накопичуються різні багаті на енергію продукти (спирти, молочна кислота та ін.). Доступ кисню забезпечує рослині значно менші витрати енергетичного матеріалу. Таке неоднакове відношення до використання енергетичного матеріалу з'явилося в процесі еволюції і є одним з найважливіших пристосувань до умов життя.

Між диханням і бродінням існує достатньо тісний зв'язок, про що свідчить спільність першого анаеробного етапу (фази) перетворення глюкози.

Перший етап бродіння і дихання - це гліколітичне розщеплення глюкози до піровиноградної кислоти (ПВК). Наступний етап - аеробний. ПВК розщеплюється з утворенням кінцевих продуктів CO_2 і H_2O при диханні. В анаеробних умовах вона зазнає неповного окислення бродіння.

Про єдність цих процесів свідчить і те, що у рослин виявлені ферменти, які каталізують спиртове бродіння. Крім того, серед проміжних продуктів аеробної фази дихання і бродіння є однакові, наприклад: яблучна, лимонна та інші органічні кислоти.

3. Види дихання. Дихальний коефіцієнт

Дихання буває зовнішнім і внутрішнім.

Зовнішнє дихання – обмін газів між організмом і середовищем.

Внутрішнє дихання – внутрішньоклітинні біохімічні процеси, які супроводжуються виділенням енергії.

У нижчих рослин обмін газів здійснюється шляхом дифузії через поверхню клітин. У вищих рослин для дихання є спеціальні пристосування: продихи на листках і зелених стеблах, сочевички у корі дерев'янистих форм, численні міжклітинники у губчастій паренхімі листків. Дихання у рослин відбувається як в темряві, так і на світлі, причому на світлі внаслідок

фотосинтезу з повітря поглинається набагато більше вуглекислого газу, ніж виділяється в процесі дихання. На дихання зелені рослини втрачають 20-25% органічних речовин, що утворюються в процесі фотосинтезу. Найінтенсивніші процеси дихання у ростучих тканинах верхівок пагонів і коренів, стебел, бруньок, проростаючого насіння.

Тривалий час вважали, що процеси фотосинтезу й дихання протилежні. Та насправді вони взаємопов'язані і споріднені, причому в обох процесах важливе значення має вода. Виявлено, що дихання виконує ті ж самі функції, що й фотосинтез, а саме вони забезпечують клітину необхідними для росту й життєдіяльності проміжними продуктами та енергією.

Основним дихальним субстратом є вуглеводи. Також як субстрати використовуються білки, жири і органічні речовини. Жири, білки як субстрати дихання використовуються під час проростання насіння. Розщепленню субстратів у процесі дихання передують гідроліз: вуглеводів – до моносахаридів, жирів – до гліцерину, білків – до амінокислот. Для характеристики якості і типу дихального субстрату використовується дихальний коефіцієнт.

Дихальний коефіцієнт – це співвідношення об'єму виділеного вуглекислого газу до об'єму поглинутого кисню в процесі дихання:

Уявлення про хімічну природу субстрату, який піддається окисленню, дає дихальний коефіцієнт. Дихальний коефіцієнт (ДК) характеризує співвідношення об'ємів виділеного під час дихання вуглекислого газу та поглинутого кисню. Згідно закону Авогадро, одна грам-молекула будь-якого газу займає однаковий об'єм. Тому при окисленні глюкози відповідно з реакцією $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ дихальний коефіцієнт дорівнює 1, тобто кількість молекул виділеного вуглекислого газу відповідає кількості атомів вуглецю у молекулі субстрату, а число поглинутих молекул кисню зростає зі збільшенням кількості атомів водню і зменшується зі збільшенням числа атомів кисню у молекулі, що окислюється. Тому при окисленні жирів і білків, молекули яких містять відносно багато атомів водню і мало атомів кисню, дихальний коефіцієнт буде меншим від одиниці (для жирів - близько 0,7, білків - близько 0,8).

На величину ДК можуть впливати і процеси обміну речовин, які не мають відношення до дихання. Так, при проростанні олійного насіння жирні кислоти перетворюються у вуглеводи, тому дихальний коефіцієнт знижується. В умовах нестачі кисню процес аеробного дихання може супроводжуватися анаеробним диханням, при якому також виділяється вуглекислий газ. Тому у 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. Таким чином, величина дихального коефіцієнта відображає не лише тип субстрату, який піддається окисленню, але й

особливості процесу дихання даної тканини чи органу відповідно до їх стану та впливу конкретних зовнішніх умов.

Інтенсивність дихання рослин – величина не постійна. Найбільш високу інтенсивність дихання мають молоді органи і тканини рослин. Також інтенсивність дихання залежить від біологічного виду рослини, зовнішніх умов, від того, в яких рослинних органах воно протікає. Найактивніше дихають репродуктивні органи, потім листя; слабкіше дихають стебло та коріння.

Активність процесу дихання у тіньовитривалих рослин слабкіше, ні у світлолюбних. Високі параметри дихання відзначені у високогірних рослин, адаптованих до зниженого парціального тиску O_2 , цвілевих грибів, бактерій. Дихання посилюється з підвищенням температури (на кожні $10^\circ C$, приблизно у 2-3 рази), зупиняючись за температури $45-50^\circ C$.

У тканинах зимуючих органів рослин (бруньки листяних дерев, голки хвойних) дихання продовжується (з різко зниженою інтенсивністю) і при значних морозах. Дихання рослин стимулюють механічні та хімічні подразнення. Закономірно змінюється дихання під час розвитку рослини та її органів.

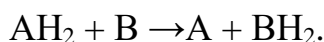
Сухе насіння дихає досить слабо. При набуханні і наступному проростанні насіння дихання посилюється у сотні і тисячі разів. Із закінченням періоду активного росту рослин дихання їхніх тканин слабшає, що пов'язується з процесом старіння протоплазми. При дозріванні насіння, плодів інтенсивність дихання зменшується.

4. Ферментативні системи дихання

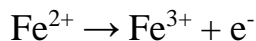
Окиснювальний апарат рослин має свої специфічні особливості. Для нього характерні: делокалізація дихального апарата (мітохондрії, пероксисома, цитоплазма та ін.), наявність каталізаторів, що характеризуються багатьма властивостями. В організмі міститься не один, а кілька ферментів, які каталізують ті самі або близькі реакції.

Як відомо, біологічне окиснення будь-якої речовини передбачає втрату нею електронів або електронів разом із протонами. В рослинній клітині відбуваються окиснювальні реакції різних типів.

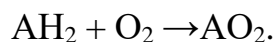
За рахунок вилучення з окиснюваної речовини водневих іонів за допомогою ферментів гідроксилаз. Акцепторами протонів у таких реакціях часто є сам кисень:



Реакції, в яких спостерігається безпосередня втрата електрона в результаті зміни його валентності. Такі реакції каталізують і ферменти оксидази, в активних центрах яких є метали:



Пряме окиснення молекулярним киснем за допомогою оксигеназ або трансфераз:



Утворення проміжних гідратованих речовин з наступним вилученням двох електронів і протонів:



У біологічних системах усі ці шляхи взаємопов'язані, причому втрата електрона в разі окиснення супроводжується, як правило, і втратою водню. Саме тому процес окиснення певної речовини в живих системах поєднується з відновленням іншої. Наявність альтернативних механізмів окиснення органічних речовин зумовлює здатність рослин зберігати необхідний ефективний рівень дихання за несприятливих умов. Щоб знати напрям руху електронів, уведено поняття стандартного відновлювального потенціалу (E_0). За нуль потенціалу умовно прийнято вважати відновлювальний потенціал реакції



Універсальним окиснювачем є кисень O_2 , який має максимальний позитивний потенціал, а функцію донорів електронів виконують різні органічні речовини. Всі електрони транспортуються до кисню через багатокомпонентну окисновідновну систему, і окиснення однієї речовини поєднується з відновленням іншої сполуки. Ферменти, що каталізують такі реакції, називають оксидоредуктазами. Є три групи оксидоредуктаз: анаеробні і аеробні дегідрогенази і оксидази.

5. Гліколіз

Джерелом фосфорної кислоти є АТФ. Перенесення залишку фосфорної кислоти на молекулу глюкози каталізує фермент гексокіназа. Подальше активування гексози відбувається шляхом ізомеризації: глюкозо-6-фосфат перетворюється у фруктозо-6-фосфат. Процес ізомеризації проходить за участі фосфогексоізомерази. Наступний етап супроводжується приєднанням ще одного залишку фосфорної кислоти від молекули АТФ - утворюється фруктозо-1,6-дифосфат за участі ферменту фосфогексокінази. Далі молекула фруктозо-1,6-дифосфату під дією ферменту альдолази розщеплюється на дві фосфотріози: фосфодіоксиацетон і 3-фосфогліцериновий альдегід. Це перша стадія гліколітичного розщеплення глюкози (гліколізу). Завдяки наявності в клітинах специфічного ферменту фосфотрізоізомерази відбувається перетворення фосфодіоксиацетону у фосфогліцериновий альдегід. На наступній стадії гліколізу фосфогліцериновий альдегід через ряд реакцій перетворюється у фосфогліцеринову кислоту. Спочатку до фосфогліцеринового альдегіду приєднується ще один залишок фосфорної кислоти від АТФ. Утворений 1,3-дифосфогліцериновий альдегід за допомогою специфічної дегідрогенази

окислюється до 1,3-дифосфогліцеринової кислоти. Енергія, яка вивільняється при цьому, спочатку зосереджується в одному із фосфатних зв'язків дифосфогліцеринової кислоти, а потім переноситься з участю трансфосфорилази на АДФ і таким чином утворюється молекула АТФ і молекула 3- фосфогліцеринової кислоти. Далі фермент фосфогліцеромутаза ізомеризує 3- фосфогліцеринову кислоту до 2-фосфогліцеринової, від якої потім під дією енолази відщеплюється молекула води. Ця реакція супроводжується перерозподілом енергії в молекулі, внаслідок чого утворюється фосфоенолпіровиноградна кислота. Цей фосфат за участю піруваткінази передається на АДФ (утворюється АТФ), а енолпіровиноградна кислота внаслідок своєї нестійкості самовільно перетворюється у піровиноградну кислоту – кінцевий продукт гліколізу. Процес відбувається у цитоплазмі.

Гліколіз – це перший з вивчених метаболічних процесів. Термін «метаболізм» походить з грецької мови і означає «зміна» або ж «акт розкидання». Цим словом визначають сукупність хімічних процесів, які відбуваються в живих організмах. Перетворення до піровиноградної кислоти під час першого і другого субстратного фосфорилування супроводжуються утворенням чотирьох молекул АТФ. Але для активування глюкози на першій стадії були витрачені дві молекули АТФ. Тому чистий вихід гліколітичного субстратного фосфорилування становить дві молекули АТФ. На другій стадії гліколізу відновлюється по одній молекулі НАДН₂ на кожну з двох молекул фосфотріоз. Окислення ж однієї молекули НАДН₂ у електротранспортному ланцюзі мітохондрій у присутності кисню сполучене із синтезом трьох молекул АТФ. Отже, у розрахунку на одну молекулу глюкози синтезуються шість молекул АТФ. Усього у процесі гліколізу утворюється вісім молекул АТФ. Вільна енергія гідролізу однієї молекули АТФ становить близько 42 кДж/моль (10 ккал). Тому повний енергетичний баланс гліколізу дорівнює 336 кДж/моль, або 80 ккал.

6. Взаємозв'язок процесів фотосинтезу і дихання

Рівень продуктивного процесу значною мірою залежить від інтенсивності дихання. Процес фотосинтезу є першим етапом циклу обміну енергії і речовини в клітині. Утворені у світлових реакціях багаті на енергію активні метаболіти – АТФ, НАДФН₂ у темнових фазах перетворюються у багаті на енергію але у малоактивній формі запасні сполуки – білки, вуглеводи, жири. Щоб клітина могла використати нагромаджену у вуглецевих сполуках енергію, необхідно цю енергію трансформувати у енергію макроергічних фосфатних зв'язків АТФ. Саме це відбувається під час дихання, яке є другим етапом енергетичного обміну рослин. Через це обидва процеси – фотосинтез і дихання, пов'язані з перетворенням енергії і утворюють єдиний енергетичний цикл. Процеси фотосинтезу і дихання, на

перший погляд, здаються протилежними. Процес фотосинтезу відбувається при освітленні у хлоропластах, нагромаджується енергія, відбувається поглинання CO_2 з його відновленням у органічних речовинах, також відбувається виділення кисню. Дихання не залежить від світла, відбувається у мітохондріях. При диханні органічні речовини окислюються з виділенням енергії, CO_2 і води. Однак ці процеси мають багато спільного. Обов'язковими учасниками є вода: при фотосинтезі вона є донором H_2 , а при диханні окислення речовин відбувається за рахунок кисню води. Фотосинтез і дихання мають однакові проміжні сполуки – ФГК, ФГА, ФДА, рибулозу, Ф-1,6-Ф. Але є також і відмінності. Дихання та фотосинтез постачають АТФ. Але у процесі фотосинтезу джерелом енергії для синтезу АТФ є енергія сонячних променів, а при диханні – енергія окислення органічних речовин. Фотосинтез властивий лише організмам, що мають хлоропласти, тобто це унікальний процес. Дихання, навпаки, є універсальним процесом, притаманним усім живим організмам.

7. Залежність інтенсивності дихання від внутрішніх і зовнішніх факторів

Вплив внутрішніх факторів на інтенсивність дихання визначається:

- видовою специфікою рослин (відмінностями тканин, органів);
- віком рослин;
- доступом кисню до тканин.

Молоді органи й тканини рослин, які знаходяться в стані активного росту, мають найвищу інтенсивність дихання. Із органів найінтенсивніше дихають листки, із тканин – флоема. Поки молодий листок росте й розвивається, інтенсивність дихання зростає. Потім дихання знижується до рівня половини максимального і лише перед пожовтінням спостерігається короткочасний підйом. Цвітіння й плодоношення супроводжується посиленням дихання квітів та плодів. Перед повним дозріванням соковитих плодів спостерігається тимчасове посилення дихання – клімактеричний підйом дихання.

Видова специфіка рослин: злаки в 3-4 рази дихають інтенсивніше, ніж бобові.

Вплив факторів зовнішнього середовища.

Концентрація кисню. Процес дихання пов'язаний із споживанням кисню. Однак зниження парціального тиску кисню з 21% до 9% змінювала інтенсивність дихання незначно. Очевидно, у процесі еволюції дихальні системи рослин формувалися в низькій концентрації кисню. Крім того, це дає можливість рослинам характеризуватися широкою адаптацією до низьких концентрацій O_2 . Це важливо, бо газовий склад всередині тканин сильно відрізняється від атмосферного. Вміст кисню в паренхімі на протязі доби

може коливатися від 7 до 17%. Рівень O_2 в тканинах впливає на інтенсивність дихання і на величину витрати дихальних субстратів на синтетичні процеси. Гальмування розкладу цукрів і більш ефективне їх використання в присутності кисню називають ефектом Пастера.

Діоксид вуглецю. Підвищення концентрації CO_2 , як кінцевого продукту дихання, призводить до зниження інтенсивності дихання. Гальмуються реакції декарбоксілювання й активність сукцинатдегідрогенази, зменшується ДК. При цьому спостерігається окислення тканин – ацидоз, що приводить до шкідливих наслідків. Збільшення концентрації CO_2 викликає закривання продохів, гальмування проростання насіння.

Температура. Дихання, як ферментативний процес, залежить від температури. В інтервалі температур від $0^\circ C$ до $20^\circ C$ Q_{10} дихання $\approx 2-3$. При вищих темп. Q_{10} знижується. Одна з причин – зниження розчинності O_2 в рідині при зростанні температури. Дихання у зимуючих рослин спостерігається при дуже низьких температурах ($-20^\circ C$ – $-25^\circ C$). Температурний оптимум для видів помірних широт лежить у межах $35-40^\circ C$. Максимальні температури (45 – $55^\circ C$) визначаються здатністю білків до денатурації.

Водний режим. Зміна оводненості тканин рослин відбивається на інтенсивності дихання. Швидка тимчасова втрата води посилює дихання – реакція на подразнення. Тривалий водний дефіцит викликає поступове зниження дихання, причому це відбувається повільніше, ніж падіння інтенсивності фотосинтезу. Дихання повітряно-сухого насіння (10-11% H_2O) дуже незначне. При зростанні вологості насіння до 15% дихання зростає у 4-5 раз, а при подальшому зростанні оводненості до 35% дихання збільшується в 1000 раз і більше. Різке зростання дихання при набряканні насіння супроводжується виділенням тепла, що може призвести до перегріву при зберіганні. Зміна інтенсивності дихання при втраті води залежить також від віку та фізіологічного стану рослини.

Мінеральні речовини. Розчин солей звичайно посилює дихання коренів проростків – ефект «сольового дихання». Вважається, що дія солей на дихання побічна. Деякі катіони металів (магній, калій) підвищують активність окисних ферментів, а їх недостача зменшує дихання. Катіони важких металів пригнічують дихання.

Світло. Дію світла на дихання зелених органів рослин вивчено недостатньо. Освітленість, при якій інтенсивність фотосинтезу дорівнює інтенсивності дихання називають компенсаційним пунктом. Дихання не припиняється на світлі, в нормі його інтенсивність і розпад органічних речовин повинні бути значно меншими за інтенсивність фотосинтезу. Дихання (поглинання кисню і виділення вуглекислого газу) незелених тканин активізується світлом короткохвильової частини спектру – ультрафіолетом (380 нм), синіми й зеленими променями (400-500 нм).

Пошкодження. Механічні впливи викликають короткочасне посилення поглинання кисню. При цьому натискання і згинання впливають мало, а зрізання й порізи – дуже сильно. В останньому випадку різні субстрати з'єднуються з оксидазами, а також активізуються процеси відновлення.

Контрольні запитання

1. Дихання. Види дихання.
2. Дихання рослин в різні фази і стадії їх росту і розвитку.
3. Взаємозв'язок між диханням і бродінням.
4. Як змінюється інтенсивність дихання рослин за несприятливих умов?
5. Які існують зв'язки між інтенсивністю дихання та якістю рослинної продукції?
6. Взаємозв'язок процесів фотосинтезу і дихання.

Тема. Водний обмін рослин

1. Надходження води в клітину рослин
2. Загальна характеристика водного обміну рослинного організму
3. Надходження води в клітину рослин
4. Водний баланс в рослинах
5. Транспірація. Значення транспірації
6. Фактори що впливають на процес транспірації
7. Надходження та пересування води по рослині
8. Вплив зовнішніх умов на надходження води
9. Особливості водного режиму різних екологічних груп рослин

1. Надходження води в клітину рослин

Активна життєдіяльність рослин можлива тільки при високій оводненості їх тканин. В наземних рослин запаси води постійно витрачаються на фізіологічні функції, випаровування, транспірацію і повинні поповнюватися за рахунок надходження з ґрунту. Всмоктування води корінням, піднесення її до поверхні, що випаровує листя і транспірація – нерозривно пов'язані між собою, це основні процеси водного обміну.

Існує два механізми поглинання води рослинами. Активне поглинання відбувається під дією кореневого тиску – осмотичного тиску, що розвивається в живих клітинах необкорковівших коренів. Воно пояснює такі явища, як гутація (плач рослин). Цей механізм має більше значення для повільно транспіруючих рослин, що добре забезпечені водою, в основному трав'янистих. У дерев він спостерігається навесні, коли сокорух передує початку їх активної життєдіяльності. Як тільки дерева покриваються листям, починається процес транспірації, втрата води перевищує рівень активного поглинання. Це викликає пасивне поглинання води рослиною, механізм якого

визначається тим, що вода, укладена в тонкі капіляри провідної системи і що володіє великою силою молекулярного зчеплення, рухається в рослині по градієнту водного потенціалу (від високого – у ґрунті до низького – в атмосфері). Втрата води при транспірації створює дефіцит тиску в судинах, яке передається через гідростатичну систему рослин вниз, до самих дрібних розгалужень коренів, і в результаті вода інтенсивно всмоктується всією кореневою поверхнею. Цей процес має набагато більше значення для дерев (з точки зору кількості поглинаючої води), ніж активне поглинання, що викликається кореневим тиском.

2. Загальна характеристика водного обміну рослинного організму

Вода відіграє важливу роль у життєдіяльності організму завдяки своїм унікальним фізичним і хімічним властивостям. Молекула води складається з двох атомів водню, приєднаних до одного атому кисню. Атом кисню відтягує електрони від водню, завдяки цьому заряди в молекулах води розподілені нерівномірно. Один полюс набуває позитивний заряд, а інший – негативний (в цілому молекула води електронейтральна). Інакше кажучи, вода являє собою диполь. Завдяки цьому молекули води можуть асоціювати один з одним. Позитивний заряд атома водню однієї молекули притягається до негативного заряду іншої. Це призводить до виникнення водневих зв'язків. Завдяки наявності водневих зв'язків вода має певну впорядковану структуру. Кожна молекула води притягує до себе ще чотири молекули. Число асоційованих молекул може бути невизначено великим. У твердому стані (лід) всі молекули води з'єднані водневими зв'язками і організовані в правильні гексагональні структури. При нагріванні лід плавиться, і частково ці зв'язки розриваються. При 0°C розривається приблизно 15% водневих зв'язків. Навіть при нагріванні до 20°C залишаються непошкодженими 80% водневих зв'язків. У рідкій воді впорядковані ділянки чергуються з неупорядкованими хаотично розподіленими молекулами. Завдяки цьому щільність води більше густини льоду. Крім того, при плавленні льоду густина збільшується. Зчеплення молекул води між собою (когезія), а також з іншими речовинами (адгезія) має велике значення в процесі пересування води по рослині. Висока прихована теплота випаровування води (при 20°C вона складає 586 кал/град) також обумовлюється наявністю водневих зв'язків. Для того щоб в процесі випаровування стався відрив молекул від водної поверхні, необхідно затратити додаткову кількість енергії для розриву водневих зв'язків. Тому випаровування води рослиною (транспірація) супроводжується охолодженням транспіруючих органів. Зниження температури листя при транспірації має важливе фізіологічне значення. Вода має дуже високу теплоємність, тому поглинання або втрата значної кількості тепла тканинами рослин супроводжується порівняно невеликими коливаннями їх температури.

Це дозволяє рослинному організму сприймати коливання температури навколишнього середовища наче в «пом'якшеному вигляді».

Вода має високу розчинну здатність. У воді аніони і катіони будь-якої солі виявляються роз'єднаними. Гідратні оболонки, що оточують іони, обмежують їх взаємодію. Позитивно заряджені іони притягують полюс молекули води з негативно зарядженими атомами кисню, тоді як іони, що несуть негативний заряд, притягують полюс з позитивно зарядженими атомами водню. Одночасно порушується і структура самої води. При цьому чим більше іон, тим це порушення сильніше. Згідно сучасним уявленням, вода в клітині представляє собою складну гетерогенну систему, що складається з:

- а) рідкої фази;
- б) гідратно-пов'язаної;
- в) гідрофобно-стабілізованої (головним чином у мембранах);
- г) просторово стабілізованої (в капілярних проміжках).

Що стосується гідратної води, то розрізняють два типи гідратації:

1. Тяжіння диполів води до заряджених частинок (як до іонів мінеральних солей, так і до заряджених груп білка COO^- і NH_2);
2. Утворення водневих зв'язків з полярними групами органічних речовин - між атомом водню води і атомами О або N.

Розрізняють таку внутрішньоклітинну воду:

1. Осмотично-зв'язану – вода, зв'язана іонами та низькомолекулярними сполуками.
 2. Капілярно-зв'язану – вода, яка знаходиться в клітинних стінках та судинах.
 3. Імобілізовану (структурно-зв'язана) – вода, молекули якої є механічно захоплені іншими молекулами (така вода в насінні).
 4. Колоїдно-зв'язану – вода, зв'язана як з внутрішніми, так і з розташованими на поверхні групами біополімерів (ця вода забезпечує стійкість в стресових ситуаціях).
 5. Вільну – чиста, без будь-який домішок вода з високою рухливістю
- Активним учасником фізіологічних процесів є осмотичнозв'язана та так звана вільна вода.

3. Надходження води в клітину рослин

При температурі вище абсолютного нуля всі молекули знаходяться в постійному русі. **Дифузія** - це процес, що веде до рівномірного розподілу молекул газів або розчиненої речовини і розчинника завдяки їх постійного руху. Дифузія завжди спрямована від більшої концентрації речовини до меншої.

Дифузія води через напівпроникну мембрану називається **осмосом**. Напівпроникна мембрана - це мембрана добре проникна для води і

непроникна чи погано проникна для розчинених у воді речовин. Осмотичний осередок - це простір, оточений напівпроникною мембраною і заповнений яким-небудь водним розчином. Усі клітинні мембрани, у тому числі плазмалема і тонопласт, є напівпроникною мембраною. Вода проходить в клітину через водні пори в плазмалемі, утворені спеціальними білками аквапоринами.

У середині осмотичного осередку розчин розвиває осмотичний тиск. Завдяки осмотичному припливу води в клітину там виникає гідростатичний тиск, званий тургорний. Цей тиск притискає цитоплазму до клітинної стінки і розтягує її. Клітинна стінка має обмежену еластичність і надає рівний протитиск. Еластичне розтягнення тканини завдяки тургорному тиску її клітин надає твердість нездерев'янілих частин рослин. Пагони стають в'ялими, оскільки при втраті води тургорний тиск падає. Тургорний тиск протидіє припливу води в клітину. Тиск, з яким вода осмотично притікає в клітину називають всисною силою

Вода надходить у клітину із зовнішнього розчину, якщо осмотичний тиск менший за всисну силу клітини і, навпаки, вода виходить з клітини в розчин з більш високим потенціалом осмотичного тиску.

При термодинамічному трактуванні всисної сили замінюється водним потенціалом. **Водний потенціал** можна визначити як роботу, необхідну для того, щоб підняти потенціал зв'язаної води до потенціалу вільної води.

Величину осмотичного потенціалу можна визначити плазмолітичним методом. **Плазмоліз** – це процес, обумовлений втратою води клітиною. Він виявляється у відході протопласта від клітинної стінки. В окремих місцях цитоплазма може протягом більш-менш тривалого часу зберігати зв'язок з клітинною стінкою, утворюючи так звані нитки Гехта. Спостерігаються різні форми плазмолізу: опуклий плазмоліз при невеликій в'язкості цитоплазми і увігнутий плазмоліз при високій в'язкості цитоплазми. При перенесенні плазмолізованих тканин в гіпотонічний розчин або чисту воду вода надходить у клітину і відбувається деплазмоліз. Кількість води в клітині збільшується, обсяг вакуолі зростає і вона притискає цитоплазму до клітинної стінки. Плазмолітичний метод заснований на доборі ізоосмотичного (ізотонічного) розчину, тобто має осмотичний потенціал рівний осмотичному потенціалу клітини. Розчин, при якому почався плазмоліз, має осмотичний потенціал приблизно рівний осмотичному потенціалу клітини. Знаючи концентрацію зовнішнього розчину в молях, можна обчислити осмотичний потенціал клітини.

Величина осмотичного потенціалу дозволяє судити про здатність рослини поглинати воду з ґрунту і утримувати її, незважаючи на висушуючу дію атмосфери. Осмотичний потенціал коливається в різних рослин в межах від -5 до -200 бар. У водних рослин осмотичний потенціал близько -1 бар. У більшості рослин середньої смуги осмотичний потенціал коливається від -5

до -30 бар, рослини степів і пустель мають більш негативний осмотичний потенціал. Осмотичний потенціал різний і в різних життєвих форм. У дерев він більш негативний, ніж у чагарників і трав'янистих рослин, відповідно. У світлолюбних рослин осмотичний потенціал більш негативний, ніж у тіньовитривалих рослин.

Надходження води в клітину обумовлено не тільки осмотичним тиском, а й силою набухання. Набуханням називають поглинання рідини або пари високомолекулярною речовиною що супроводжується збільшенню об'єму. Явище набухання обумовлено колоїдальними і капілярними ефектами.

У деяких частин рослин поглинання води відбувається виключно шляхом набухання, наприклад, у насіння. Вода дифундує в набухаюче тіло. Завдяки великій кількості воді при набуханні може виникати тиск набухання в кілька сотень атмосфер.

Вода в клітину може надходити також у процесі піноцитозу, коли частина плазмалемі під впливом різних причин, найчастіше в результаті адсорбції на плазмалемі великих молекул і вірусних частинок, прогинається всередину клітини. Зовнішні краї таких інвагінації зникаються у вигляді бульбашки – везикули з адсорбованою часткою і зовнішнім розчином проходить всередину цитоплазми.

4. Водний баланс в рослинах

Водний баланс рослин – сукупність процесів поглинання, засвоєння і виділення води рослинами. Вода, складова 80-95% маси рослин, є середовищем для біохімічних реакцій, бере участь у фотосинтезі, забезпечує нормальну структуру колоїдів цитоплазми, визначає конформацію і активність ферментів і структурних білків клітинних мембран і органоїдів, а також тургорний стан клітин.

Поглинання води кореневою системою і піднесення її до листя відбуваються під дією нагнітаючої сили кореневого тиску і поглинальної сили транспірації. З ґрунту вода поглинається головним чином молодими закінченнями коренів, забезпеченими корневими волосками, і рухається в центральний циліндр кореня. Разом з водою транспортуються і розчинені в ній поживні речовини, що поглинаються (іони мінеральних солей) і синтезовані (амінокислоти, цитохініни та ін.) коренями. Досягнувши листової поверхні, менша частина води використовується на ріст і метаболізм клітин листка, а велика (до 90%) виділяється в атмосферу при транспірації і гутації. Від того, як в цілому протікають процеси надходження, пересування і випаровування води в рослині, залежить його водний баланс, тобто співвідношення між одержуваною і витраченою кількістю води. У різний час доби, а також у різний час вегетації водний баланс рослини неоднаковий. Так, в полуденний час випаровування здебільшого перевершує поглинання води, в результаті чого в тканинах виникає так називаємо

полуденний водний дефіцит, який за нестачі ґрунтової вологи може не компенсуватися і перейти в так називаємо залишковий дефіцит, що свідчить про страждання рослини від посухи; відбувається в'янення рослин.

В помірно вологому кліматі одна рослина кукурудзи або соняшнику витрачає за вегетаційний період 200-250 л води, 1 га посівів пшениці – до 2 млн. л, капусти – 8 млн. л. У посушливому кліматі ці величини зростають у 2-3 рази. Швидкість пересування води в рослині залежить від різних факторів (температура і вологість повітря, освітленість, вологість і засоленість ґрунту і т. д.), а також від особливостей самої рослини (площа загальної листкової поверхні, об'єм і глибина кореневої системи). Водний обмін рослини пов'язаний з водним і повітряним режимом ґрунту, температурою ґрунту, внесенням добрив, особливо азотистих (великий вплив при цьому надають катіони солей, змінюючи водопроникні властивості цитоплазми). Достатня забезпеченість водою необхідна для нормального проходження всіх фаз росту в рослинних тканинах, але особливо для зростання розтягуванням клітин.

Найбільш негативно дефіцит води позначається на розвитку репродуктивних органів рослин, нерідко призводить до їх повної безплідності (відбувається скидання бутонів). Водний баланс рослини надає також великий вплив на дихання і пов'язані з ним енергетичні процеси.

Різні рослини неоднаково чутливі до нестачі або надлишку води в ґрунті. Ксерофіти здатні нормально рости, розвиватися в пустелях і напівпустелях, переносити високу ступінь сухості ґрунту і повітря; гігрофіти пристосовані до нестачі кисню в затопленому ґрунті; мезофіти представляють собою проміжну групу рослин, найбільш численну, до якої належить у більшість культурних рослин.

5. Транспірація. Значення транспірації

Процес транспірації, або випаровування води рослинами, має важливе значення в їхньому житті. У результаті транспірації рослина постачає себе водою і мінеральними речовинами, необхідними для нормальної життєдіяльності клітин. Крім того, досягається терморегуляція рослин. Температура листка в саму жарку погоду нижче температури повітря на 4 – 10° С.

Транспірація води рослинами, а отже, і рух води по стеблі регулюються як внутрішніми фізіологічними факторами, так і зовнішніми. Розрізняють продихову і кутикулярну транспірацію. Продихові регулятори транспірації грають основну роль, так як продихова транспірація у багато разів перевершує кутикулярну.

Кількість води, що випаровується рослиною, у багато разів перевершує обсяг води, який міститься всередині. Економна витрата води становить одну з найважливіших проблем сільськогосподарської практики. Дійсно, в розмірах що звичайно протікають транспірація не є необхідною.

Так, якщо вирощувати рослини в умовах високої і низької вологості повітря, то, природно, в першому випадку транспірація буде йти зі значно меншою інтенсивністю. Однак ріст рослин буде однаковий або навіть краще там, де вологість повітря вище, а транспірація менше. Разом з тим транспірація в певному обсязі корисна рослинному організму:

1. Транспірація рятує рослину від перегріву, який їй загрожує на прямому сонячному світлі. Температура сильно транспіруючого листка може приблизно на 7°C бути нижче. Це особливо важливо у зв'язку з тим, що перегрів, руйнуючи хлоропласти, різко знижує процес фотосинтезу (оптимальна температура для процесу фотосинтезу 20-25°C). Саме завдяки високій транспіруючій здібності багато рослин добре переносять підвищену температуру.

2. Транспірація створює безперервний струм води з кореневої системи до листя, який зв'язує всі органи рослини в єдине ціле.

3. З транспіраційним струмом пересуваються розчинні мінеральні і частково органічні поживні речовини, при цьому чим інтенсивніше транспірація, тим швидше відбувається цей процес.

Як вже говорилося, механізм надходження іонів і води в клітину різний. Однак певна кількість поживних речовин може надходити пасивно, і цей процес може прискорюватися зі збільшенням транспірації.

б. Фактори що впливають на процес транспірації

Інтенсивність транспірації в основному знаходиться під контролем фізичних факторів, але на неї впливає ряд внутрішніх факторів, що діють як на рушійні сили, так і на опору.

Площа листя. Загальна площа листя значно впливає на втрату води окремими рослинами. Рослини з великою листовою поверхнею зазвичай транспірують більше, ніж рослини з малою поверхнею. Однак при видаленні з дерева половини листя не обов'язково пропорційно скоротиться інтенсивність транспірації. Видалення частини листя зменшує транспірацію в розрахунку на одне дерево, але підвищує інтенсивність транспірації на одиницю листової поверхні. Таке підвищення відбулося в результаті посилення руху повітря і кращого освітлення листя що залишилося, а також більш високого відношення поверхні коренів до поверхні листя. Деякі види деревних рослин скидають більшу частину листя при водному стресі, значно скорочуючи транспіруючу поверхню. Це відбувається також і у деяких мезофітних видів, наприклад у кінського каштана. Скручування і згортання листя також зменшує відкриту поверхню і підвищує опір дифузії водяної пари, особливо якщо більшість продихів знаходиться на внутрішній поверхні скрученого листка.

Є великі розбіжності у транспірації на одиницю листової поверхні серед різних видів. Проте ці відмінності можуть бути оманливими, тому що

неоднакова загальна площа листя може компенсувати різницю в інтенсивності на одиницю листової поверхні. Наприклад, інтенсивність транспірації на одиницю листової поверхні сосни нижче, ніж у деяких листових порід, але загальна поверхня листя одного сіянця сосни настільки більше, що втрата води на один сіянець виявляється також більше. Таким чином, одне дерево сосни може втрачати за день стільки ж води, скільки і дерево листової породи з кроною подібного розміру.

Відношення корінь-пагін. Відношення коренів до пагонів або, точніше, поглинаючої поверхні до транспіруючої має більше значення, ніж одна тільки площа листової поверхні, бо якщо поглинання відстає від транспірації, то виникає водний дефіцит, продишки закриваються і транспірація зменшується. Інтенсивність транспірації на одиницю листової поверхні у сіянців дубу та сосни, що ростуть на вологому ґрунті, підвищувалася зі збільшенням відношення сухої ваги коренів до поверхні листя. У сіянців клена з великою поверхнею листя розвивався більш сильний водний стрес, ніж у сіянців після часткової дефоліації. Дерев з сильно розгалуженою кореневою системою набагато краще переносили посуху, ніж дерева з поверхневою або слабо розгалуженою кореневою системою.

Втрата коренів під час викопування сіянців - серйозна проблема, тому що найбільш звичайною причиною загибелі пересаджуваних сіянців є висихання через відсутність ефективної поглинаючої поверхні. Підрізка і «скручування» сіянців у грядках проводиться для створення компактної, сильно розгалуженої кореневої системи, яку можна викопати з мінімальним пошкодженням. Вживаність сіянців сосни, пересаджених в районі з посушливим літом, підвищувалася при добре розвиненій кореневій системі і величині відношення коріння/пагони. На практиці зазвичай застосовується обрізка надземної маси пересаджуваних дерев і чагарників для того, щоб компенсувати втрату коренів у процесі пересадки. Однак скорочення транспіруючої поверхні зменшує і фотосинтезуючу поверхню, що небажано. Виняток становлять випадки коли збереження вмісту води важливіше втрати фотосинтетичної здібності.

Розмір і форма листя. Розмір і форма листя впливають на інтенсивність транспірації на одиницю поверхні. Крім того, невелике, глибокорозсічене листя і складне листя з маленькими листочками зазвичай бувають холодніше, ніж великі листки, так як їх більш тонкі прикордонні шари сприяють швидшому переносу тепла.

Орієнтація листя. Більшість листя росте таким чином, щоб розташовуватися більш-менш перпендикулярно найбільш яскравого світла, проникаючого до них. Це добре помітно у покриваючих стіни ліан і у поодиноких дерев, на зовнішній поверхні яких є суцільна мозаїка листя, чітко розташованих так, щоб поглинати якомога більше світла. З іншого боку, листя деяких видів, наприклад, дубу гладкого, а також хвоя сіянців сосни болотної в

трав'янистій фазі розташовуються вертикально. Така орієнтація, очевидно, зменшує поглинання енергії і знижує температуру листя опівдні, що в свою чергу може скоротити втрату води. У сосни більшість голок розташовуються пучками й затінують один одного, що знижує фотосинтез, а можливо, і транспірацію. Опускання і скручування, характерні для млявого листя, також зменшують кількість одержуваної радіації. В'янення служить ознакою водного стресу, але воно сприяє скороченню подальшої втрати води, достатньому для продовження життя.

Продихи. Велика частина води, що втрачається рослинами, виділяється через розташовані на листі продихи, і найбільша кількість двоокису вуглецю, використовуваної при фотосинтезі, проникає тим же шляхом. Незважаючи на те, що продихові отвори зазвичай займають не більше 1% поверхні листа, дифузія водяної пари через продихи часто досягає 50% інтенсивності випаровування з вільної водної поверхні. Це відбувається завдяки тому, що розміри продихів і проміжків між ними забезпечують їх функціонування в якості ефективних шляхів для дифузії газів. Розмір продихових отворів регулюється тургором замикаючих клітин, збільшуючись з підвищенням тургору і зменшуючись із його зниженням. Продихи відкриваються на світлі або у відповідь на низьку концентрацію двоокису вуглецю в міжклітинниках, закриваються в темряві. Вони закриваються також і при втраті тургору внаслідок зневоднення.

Циклічне відкривання і закривання продихів спостерігалось у трав'янистих рослин, які страждають від водного стресу. Водний стрес є причиною закривання продихів внаслідок втрати тургору замикаючими клітинами, перш ніж він може викликати зміну концентрації регуляторів росту, достатню для того, щоб надати відповідну дію.

Продихові реакції змінюються в залежності від віку рослин і умов зовнішнього середовища. Відомо, що продихи чуйно реагують на інтенсивність світла, концентрацію CO_2 і водний стрес, але на їх відповідну реакцію впливає попередня ситуація. При старінні листя їх продихи стають менш чутливими і полуденний продиховий опір може збільшитися в кілька разів, так як вони не відкриваються повністю.

7. Надходження та пересування води по рослині

Вода рухається в рослині по градієнту водного потенціалу. Вода, поглинена кореневими волосками й іншими клітинами епідермісу, з клітин зовнішньої частини кореня переміщається до ксилеми, що займає центральну частину кореня. Головним шляхом дифузії води в зовнішній частині кореня служить **апопласт** - безперервна сукупність клітинних стінок. Однак у ендодерми (циліндричному шарі клітин, навколишньому провідну тканину) Вільна дифузія по клітинним стінкам наштовхується на перешкоду - водонепроникний корковий шар пояс Каспарі. Вода повинна змінити тут свій

шлях і пройти крізь мембрану і протопласт клітин ендодерми, що грає роль осмотичного бар'єру між корою кореня і його центральним циліндром. У однодольних пробковіють також і внутрішні тангенціальні стінки клітин, але ці стінки пронизані порами, за якими, як по каналах, може проходити вода.

По ксилемі вода піднімається в надземні частини рослини. Ксилема складається з декількох типів клітин. Вода рухається в ній головним чином по судинах і трахеїдах. І ті й інші клітини чудово пристосовані для цієї мети: вони витягнуті в довжину, позбавлені живого вмісту і всередині порожнини, тобто це як трубки для води. Одеревіли вторинні клітинні стінки досить міцні на розрив, щоб витримувати величезну різницю тисків, що виникає при підйомі води до вершин високих дерев. Торцеві, а іноді й бічні стінки члеників судин перфоровані, судини, що складаються із сполучених кінець в кінець члеників, утворюють довгі трубки, по яких легко проходить вода з розчиненими в ній мінеральними речовинами. У трахеїдів немає перфорацій івода, для того щоб потрапити з однієї трахеїди в іншу, повинна пройти через їхні торцеві стінки, а проте трахеїди – дуже довгі клітини, а тому і ця конструкція досить добре пристосована для проведення води.

Листові жилки, що складаються з тяжів ксилеми і флоєми, утворюють в листі настільки густу мережу, що будь-яка його клітина виявляється досить близько від джерела води. З ксилеми вода дифундує в стінки клітин мезофілу. Таким чином, вода в рідкій фазі заповнює весь шлях від ґрунту через корінь і стебло до клітин мезофілу в листі. Сумарний потік води спрямований завжди у бік меншого водного потенціалу, тобто максимальний у ґрунті, трохи нижче в клітинах кореня і найнижчий в клітинах, що примикають до епідермісу листка. Мала величина в цих останніх клітинах пояснюється головним чином випаровуванням води з поверхні листа, тобто транспірацією. Вода переходить з рослини в навколишнє повітря головним чином в пароподібному стані. У мезофілу листка є великі міжклітинні простори, і кожна клітина мезофілу хоча б однією своєю стороною межує з міжклітинниками. Внаслідок випаровування води з вологих клітинних стінок повітря в міжклітинниках насичене водяними парами, і частина цих парів втрачається – виходить назовні. Оскільки у більшості рослин клітини епідермісу укріті воскоподібною водонепроникною кутикулою, водяні пари виходять з листа в атмосферу головним чином через прориди.

8. Вплив зовнішніх умов на надходження води

Надходження води через кореневі системи залежить від температури. З пониженням температури швидкість надходження води різко скорочується. Це може зробити помітний вплив на рослинний організм, особливо в осінній період, коли випаровування йде ще досить інтенсивно, а надходження води затримується через низькі температури ґрунту. У результаті рослини в'януть і

навіть можуть загинути від зневоднення. Причин, за якими зниження температури викликає зменшення надходження води, кілька:

- 1) підвищується в'язкість води і, як наслідок, знижується її рухомість;
- 2) зменшується проникність цитоплазми для води;
- 3) гальмується ріст коренів;
- 4) зменшується швидкість усіх метаболічних процесів.

Зниження аерації ґрунту також гальмує надходження води. Це можна спостерігати, коли після сильного дощу всі проміжки ґрунту заповнені водою і разом з тим на сонці при сильному випарі рослини в'януть. Це пов'язано з тим, що всі умови, що знижують метаболізм (нестача кисню, надлишок CO₂, дихальні отрути) знижують надходження іонів і, як наслідок, зменшують надходження води. Разом з тим дослідження показали, що особливо різке пригнічення надходження води відбувається при збільшенні вмісту CO₂. Можливо, надлишок вуглекислого газу крім інгібування дихання, підвищує в'язкість води, знижує проникність цитоплазми. Велике значення має вміст води в ґрунті, а також концентрація ґрунтового розчину. Природно, вода надходить в корінь тільки тоді, коли водний потенціал кореня нижче (більш негативний) водного потенціалу ґрунту. У тому випадку, якщо ґрунтовий розчин має більш негативний осмотичний потенціал, вода не тільки не буде надходити в корінь, але буде виділятися з нього. Особливе значення це має для засолених ґрунтів. Саме тому рослини, що ростуть на цих ґрунтах (галофіти), мають різко негативний осмотичний потенціал.

Будь-яке зменшення вологості ґрунту знижує надходження води. Чим менше води в ґрунті, тим з більшою силою вона утримується і тим менше її водний потенціал. Для того щоб в рослину надійшла вода, повинен існувати градієнт водного потенціалу в системі ґрунт-рослина-атмосфера. Треба також враховувати, що зменшення вмісту води в корені ускладнює її подальше просування до судин ксилеми. Це пояснюється тим, що при зменшенні вмісту води опір її пересуванню по клітинах кореня зростає. Підсихаючи клітинні оболонки роблять значний опір пересуванню води. Опір кореневої системи пересуванню води при нестачі настільки великий, що може знижувати транспірацію, тобто бути засобом для її регулювання.

З фізіологічної точки зору зручно виділити наступні форми ґрунтової вологи, що розрізняються за ступенем доступності для рослин.

Гравітаційна вода заповнює великі проміжки між частинками ґрунту, вона добре доступна рослинам. Водний потенціал цієї форми води залежить від осмотичної концентрації і становить -0,1 бар. Однак, як правило, вона легко стікає в нижні горизонти під впливом сили тяжіння, внаслідок чого буває в ґрунті лише після дощів.

Капілярна вода заповнює капілярні пори в ґрунті. Ця вода також добре доступна для рослин, утримується в капілярах силами поверхневого

натягу і тому не тільки не стікає вниз, а й піднімається вгору від ґрунтових вод.

Плівкова вода оточує колоїдні частки ґрунту. Вода з периферичних верств гідратаційних оболонок може поглинатися клітинами кореня. Разом з тим чим ближче до колоїдних частинок розташовуються молекули води, тим з більшою силою вони утримуються і менш доступні для рослин.

Гігроскопічна вода адсорбується сухим ґрунтом, що перебуває в атмосфері з 95% відносною вологістю повітря. Це недоступна для рослин вода.

Кількість води (y %), при якому рослина впадає в стійке в'янення, називають вологістю в'янення. Вологість, при якій настає в'янення на даному ґрунті, залежить від ряду причин. Вважається, що рослини в'януть в той момент, коли вода в ґрунті перестає пересуватися. Велике значення при визначенні показника вологості в'янення також має тип ґрунту. Одні і ті ж рослини в'януть на чорноземі при значно більш високій вологості, ніж на підзолі. Це пов'язано з тим, що чорноземні ґрунти характеризуються більш тонким механічним складом. Вологість в'янення ще не дає уявлення про кількість води, повністю недоступною рослині, оскільки при в'яненні якась кількість води продовжує надходити в рослинний організм. У зв'язку з цим було введено поняття «мертвий запас» вологи в ґрунті – це кількість води, повністю недоступний рослині. Мертвий запас залежить виключно від типу ґрунту, її механічного складу, що видно з наступної формули: $q = \% \text{ піску} (0,01)\% \text{ пилу} (0,12)\% \text{ глини} (0,57)$, де q – мертвий запас. Чим більше глинистих частинок в ґрунті, тим більше мертвий запас вологи. Кількість доступною для рослинного організму води представляє різницю між польовою вологоємністю (максимальна кількість води, що утримується ґрунтом в капілярах) і мертвим запасом. У зв'язку із сказаним перегнійні суглинкові ґрунти мають не тільки найбільший мертвий запас, але і найбільший запас доступної вологи. Так, якщо польова вологоємність чорноземних ґрунтів складає 40%, мертвий запас – 25%, то кількість доступної води дорівнює 25%, тоді як у піску питома вологоємність – 15%, мертвий запас – 5%, кількість доступної води всього 10%

9. Особливості водного режиму різних екологічних груп рослин

Пристаювання рослин до різних умов водопостачання позначилося на їхніх морфологічних, анатомо-фізіологічних і біохімічних особливостях. Залежно від екологічної ніші, яку вони займають, слід виділити насамперед водні рослини та наземні. В свою чергу, їх поділяють на пойкилогідрові (бактерії, ціанобактерії та деякі інші водорості, лишайники), що пристосувалися витримувати дефіцит вологи без значних втрат життєдіяльності, та гомойогідрові (наземні папоротеподібні, голонасінні,

квіткові), тобто більшість рослин суші. Для них характерна наявність тонких механізмів регуляції продигової та кутикулярної транспірації.

Рослини різних зон поділяють на відповідні екологічні типи, серед яких розрізняють: гідатофіти, гігрофіти, мезофіти, гідрофіти та ксерофіти.

1. Гідатофіти — це водяні рослини, які цілком або частково занурені у воду (кушир, елодея, водяна лілія тощо). У них мало розвинена механічна тканина, провідні елементи, оскільки поживні речовини поглинаються всією поверхнею рослин.

2. Гігрофіти — це рослини, що ростуть в умовах значного зволоження, мають гігроморфну структуру (відносно великі розміри клітини, тонкі клітинні оболонки, більші за розміром продихи). У гігрофітів стебло видовжене, коренева система розвинена слабо.

3. Мезофіти — це рослини середньозволожених місць, переважно представники культурної флори. Ці рослини різноманітні, дуже поширені на Земній кулі і мають величезне значення в житті людини. Вони широко використовуються в сільському господарстві. Це хлібні злакові рослини, кормові трави, овочеві, технічні, олійні, кормові, плодові, волокнисті та інші культури.

4. Гідрофіти — це рослини, які розвиваються в умовах достатнього водопостачання, на низинних місцях з неглибоким заляганням ґрунтових вод, болотах, озерах, на берегах річок, морів тощо. Мають досить розвинені механічні та провідні тканини, міжклітинники і повітряні порожнини, крізь які повітря доходить до занурених у воду частин рослин.

5. Ксерофіти — це рослини, посушливих місцезростань, які в процесі онтогенезу добре пристосовувалися до посухи завдяки специфічним ознакам і властивостям, що виникли під впливом умов існування в процесі еволюції. До цієї групи належать рослини пустель, напівпустель, сухих степів, де умови водопостачання ускладнені у зв'язку з нестачею води. Загальна ознака всіх представників ксерофітів – максимальне скорочення випаровуючої поверхні, що призвело до незначного розвитку надземної частини. Цим і пояснюється, що більшість ксерофітів — це трави, низькорослі кущі, в яких підземні частини розвинені краще, ніж надземні.

Контрольні запитання

1. Осмотичні явища в клітині і їх значення в житті рослин.
2. Осмотичний тиск клітинного соку, методи його вивчення.
3. Плазмоліз, причини його виникнення. Деплазмоліз.
4. Біологічне значення тургору.
5. Зміни сисної сили в різних тканинах і органах рослин. Залежність її від різних факторів середовища.
6. Вміст і розподіл води в організмі і значення її в житті рослини.
7. Стан води в тканинах і її фізіологічна роль.
8. Шляхи надходження води в рослину.

9. Коренева система як орган поглинання води, її будова і роль у забезпеченні рослин водою.

10. Форми ґрунтової вологи та її доступність для рослин.

11. Вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на кореневий тиск.

12. Транспірація і її значення в житті рослин.

13. Види транспірації. Продихова, кутикулярна, лентикулярна.

14. Методи вимірювання транспірації, інтенсивність транспірації.

15. Залежність транспірації від зовнішніх і внутрішніх умов.

16. Механізми відкриття і закриття продихів

17. Рух води в системі ґрунт-рослина-атмосфера.

18. Особливості водного режиму рослин різних екологічних груп.

19. Фізіологічні і анатомо-морфологічні пристосування рослин до посухи.

2.4. Лабораторний практикум

Модуль 1. Фізіолого-біохімічні процеси у рослинній клітині і цілому організмі.

Засвоєння методів мікроскопічного дослідження рослинної клітини, визначення фізико-хімічних властивостей протопласту (в'язкість, осмотичний тиск, швидкість руху, вибіркова проникність плазмоліми). Фотоколориметрія, центрифугування, статистичні методи. Виконання лабораторних робіт:

1. Клітинні мембрани, дифузія речовин

2. Визначення проникності цитоплазми за дії температури та токсичних речовин

3. Визначення осмотичного потенціалу клітинного соку плазмолітичним методом

4. Явище осмосу. Переміщення води за градієнтом водного потенціалу в штучній «клітинці» Траубе

Засвоєння методів біохімічного аналізу рослин. Особливості виділення і аналізу метаболітів рослин та активності ферментів. Виконання лабораторних робіт:

5. Якісні реакції на білки

6. Якісні реакції на вуглеводи

7. Лігнін. Органічна деревина утворююча речовина. Визначення в трісках вмісту деревини листяних і хвойних порід

8. Жири. Доказ нерозчинності жирів у воді і одержання стійкої емульсії

9. Визначення активності каталази в рослинному матеріалі

10. Визначення активності пероксидази у рослинному матеріалі

Ознайомлення з основними оптичними та хімічними властивостями фотосинтетичних пігментів. Освоєння методів спектрофотометрії,

фотоколориметрії, хроматографічного аналізу сумішей пігментів. Виконання лабораторних робіт:

11. Будова пігментів листка

12. Хімічні властивості пігментів листка

Засвоєння методів дослідження показників водного режиму рослинного організму. Зважувальний (гравіметричний) метод досліджень. Світлова мікроскопія, принципи і правила вимірювання об'єктів під мікроскопом, робота з окуляр- та об'єкт-мікрометром. Виконання лабораторних робіт:

13. Визначення стану продохів методом інфільтрації (за Г. Молішем)

14. Вплив концентрації розчину на проростання насіння

15. Визначення інтенсивності транспірації та відносної транспірації ваговим методом

Модуль 2. Дихання рослин. Мінеральне живлення рослин

Ознайомлення із залежністю величин дихального коефіцієнта від виду окиснювальних речовин. Виконання лабораторних робіт:

16. Визначення інтенсивності дихання

17. Визначення дихального коефіцієнта у різних рослин

Фотоколориметрія, цитохімічні методи виявлення зольних елементів, світлова мікроскопія, потенціометрія (робота із рН метром). Виконання лабораторних робіт:

18. Мікрохімічний аналіз золи

19. Антагонізм іонів

Модуль 3. Інтегральні функції рослинного організму. Стійкість рослин до біотичних і абіотичних факторів

Ознайомлення з перетвореннями, яких зазнають запасні поживні речовини під час проростання насіння. Порівняння хімічного складу непророслого та пророслого насіння.

20. Перетворення речовин під час проростання насіння

Засвоєння експрес-методів визначення стійкості рослин: жаро-, соле- і морозостійкості. Статистичні методи. Виконання лабораторних робіт:

21. Визначення жаростійкості рослин (за Ф.Ф. Мацковим)

22. Визначення водного дефіциту рослин

2.5. Рекомендована література до курсу

1. Бобошко О. П., Антоненко С. В. . Методичні рекомендації та лабораторний практикум «Фізіологія рослин» / Автори-укладачі: Бобошко О. П., Антоненко С. В. – Київ, 2019. – 57 с.

2. Гудзь Ю. П., Котелевець О. С., Волинська С. С., Афанасьєва І. Ф. Фізіологія рослин. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з фізіології рослин.- Київ НПУ, 1999.
3. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин / Ю. А. Злобін. – Суми: «Університетська книга», 2004. - 463 с.
4. Машевська А. С., Єрмейчук Т. М., Голуб В. О. М-38 Фізіологія та біохімія рослин: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів денної та заочної форми спеціальності «Біологія» біологічного факультету / А. С. Машевська, Т. М. Єрмейчук, В. О. Голуб. – Луцьк : 2014. – 79 с.
5. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт і контрольних завдань з дисципліни —Технологія целюлози для студентів спеціалізації 7.091611. 02 —Хімічна технологія целюлозно-паперового виробництва// С.Ф. Примаков, Л. П. Антоненко, В. А. Барбаш, І. М. Дейкун, Р. І. Черьопкіна – К.:КПІ, 2003 - 71 с.
6. Методичні рекомендації та лабораторний практикум «Фізіологія рослин» / Автори-укладачі: Бобошко О. П., Антоненко С. В. – Київ, 2019. – 56 с.
7. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин / М. М. Мусієнко. - Київ: Фітосоціоцентр, 2001. - 392 с.
8. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: підручник. Київ : «Либідь», 2005. 808 с.
9. Прості та складні білки: методичний посібник з дисципліни «Біологічна хімія» для викладачів / К. В. Александрова та ін. – Запоріжжя : [ЗДМУ], 2015.-115 с.
10. Самойленко Т. Г, Самойленко М. О., Рожок О. Ф. Практикум з фізіології рослин.- Миколаїв: МНАУ, 2013.—413с.
11. Фекета І. Ю. Фізіологія рослин. Методичні вказівки з дисципліни фізіологія рослин для студентів спеціальності 6.130400 - лісове господарство –Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла» , 2011. – 56 с.
12. Ферменти : методичний посібник для викладачів / Александрова К. В., Шкода О. С, Крісанова Н. В. та ін. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2015. – 115 с.
13. Фізіологія та біохімія рослин: малий практикум: навчально-методичний посібник / Авксентьєва О. О. та ін.; Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. 151 с.
14. Фізіологія рослин: практикум / О. В. Войцехівська, А. В. Капустян, О. І. Косик та ін. За заг. ред. Т. В. Паршикової – Луцьк: Терен, 2010 -420с.
15. Фізіологія рослин з основами біохімії / Макрушин М.М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Цибулько В. С.; під ред. Макрушина М. М. - Київ: Урожай, 1995. - 352 с.

РОЗДІЛ 3. Самостійна робота здобувачів

3.1. Теми та питання лекційної частини курсу, які виносяться на самостійне вивчення

Модуль 1. Фізіолого-біохімічні процеси у рослинній клітині і цілому організмі.

1. Основні структурні елементи рослинної клітини.
2. Ядро, рибосоми, ендоплазматична мережа, апарат Гольджі – організація і функціонування органоїдів.
3. Мітохондрії.
4. Цитозоль і цитоскелет, особливості будови у зв'язку з біологічними функціями.
5. Будова листка як органу фотосинтезу, зміни в онтогенезі.
6. Ультраструктура хлоропластів.
7. Еволюція структури фотосинтетичного апарата.
8. Генетичні й онтогенетичні особливості фотосинтезу.
9. Фотосинтез і продуктивність рослинних організмів.
10. Фотосинтез і врожай.
11. Характеристика окремих представників моно-, оліго- та полісахаридів рослин.
12. Жири (рослинні олії). Загальна характеристика, вміст в рослинах, практичне значення. Склад рослинних олій. Жирні кислоти, їх особливості. Основні фізико-хімічні константи жирів.
13. Гліюксилатний цикл та глюконеогенез.
14. Властивості та особливості ферментів рослин.
15. Синтез фенольних сполук.
16. Бальзами та смоли. Стероїди та каротиноїди. Поліпреноли. Каучук і гута.
17. Метаболічні зв'язки шляхів первинного та вторинного метаболізму в рослині
18. Будова кореня як головного органу надходження води у рослину.
19. Особливості водного обміну рослин різних екологічних груп (ксерофітів, мезофітів, гігрофітів).
20. Ґрунт як джерело мінеральних елементів. Структура ґрунтового поглинаючого комплексу (ГПК).

Модуль 2. Дихання рослин. Мінеральне живлення рослин

1. Дихання. Види дихання.
2. Дихання рослин в різні фази і стадії їх росту і розвитку.

3. Взаємозв'язок між диханням і бродінням.
4. Як змінюється інтенсивність дихання рослин за несприятливих умов?
5. Які існують зв'язки між інтенсивністю дихання та якістю рослинної продукції?
6. Взаємозв'язок процесів фотосинтезу і дихання.
7. Фізіологічна роль мікроелементів – заліза, міді, марганцю, молібдену, цинку, бора та ін.
8. Metalli як компоненти простетичних груп і як активатори ферментних систем.
9. Виділення речовин кореневою системою рослин. Механізми виділення і види спеціалізованих секреторних структур.
10. Мінеральне живлення як найважливіший фактор керування продуктивністю рослин і якістю врожаю.
11. Фізіологічні основи застосування добрив.

Модуль 3. Інтегральні функції рослинного організму. Стійкість рослин до біотичних і абіотичних факторів

1. Рухи рослин. Механізми рухів.
2. Тропізми. Гормональна природа тропізмів.
3. Настії. Сейсмонастичні рухи рослин.
4. Фізіологічна роль рухів.
5. Детермінація статі. Генетичні, фенотипичні і гормональні фактори, що визначають формування чоловічих і жіночих квіток.
6. Фізіологія вегетативного розмноження рослин.
7. Теорії старіння рослин.
8. Формування стійкості до газів (регулювання їх надходження, підтримка внутрішньоклітинного гомеостазу, детоксикація отрут, що утворюються).
9. Формування стійкості до важких металів – клітинні і молекулярні механізми.
10. Радіаційна стійкість рослин і її механізми.
11. Рівні структурної та функціональної організації рослинного організму.
12. Механізми регуляції процесів життєдіяльності на різних структурних і функціональних рівнях організації рослинного організму.

3.2. Теми рефератів

1. Вчені фізіологи рослин – короткі біографічні відомості.
2. Специфіка функціонування рослинного організму

3. Походження рослинної клітини.
4. Завдання сучасної фізіології рослин.
5. Глобальний фотосинтез і парниковий ефект.
6. Гетеротрофія у рослин.
7. Транспорт води у дерев.
8. Особливості водного режиму рослин різних екологічних груп.
9. Роль макроелементів у рослині.
10. Роль мікроелементів у рослині.
11. Видільна функція рослин.
12. Алелопатія.
13. Азотфіксація: види і роль в азотному живленні рослин.
14. Рецепція фітогормонів.
15. Вегетативне розмноження рослин.
16. Методи культури рослин *in vitro* у рослинництві, овочівництві, плодівництві.
17. Трансгенні рослини: використання і ризику.
18. Радіаційна стійкість рослин.
19. Трансгенні (ГМ) рослини зі змінами біохімічного складу.
20. Глобальна проблема харчового білку та шляхи її вирішення у світі.
21. Речовини вторинного метаболізму рослин фармацевтичного та медичного значення.
22. Рослинні отрути та наркотичні речовини.
23. Роль транспортних систем у регуляції життєдіяльності рослини.
24. Регуляторні системи рослинного організму.

3.3. Методичні рекомендації до написання реферативних робіт

1. Здобувач обирає одну тему із загального переліку (вибір теми – довільний, на власний розсуд здобувача, але теми не повинні повторюватись, якщо кількість здобувачів у групі менша, ніж кількість запропонованих тем).

2. Після збору інформації, аналізу літературних джерел, власних роздумів тощо представити обрану тему у вигляді рукопису реферату.

3. Обсяг реферату – не менше 10 сторінок тексту, оптимальні розміри – 12-15 сторінок, максимум – 20 сторінок. Додатки не входять до загального обсягу реферату, їхня кількість може бути різною (від жодного додатку до тієї кількості, яку, на думку автора реферату, потрібно представити для належного висвітлення теми). Якщо схема, рисунок, графік, карта, таблиця тощо займають окрему сторінку, то їх не потрібно рахувати до загальної кількості тексту. Якщо вони розміщені на сторінці разом з текстом, то рахуються, як текстова сторінка.

4. Реферат має бути чітко поділятися на вступ, основну частину (у вигляді окремих розділів чи пунктів плану), висновки, список використаної

літератури, додатки (за наявності). Загальну структуру реферату представлено нижче.

5. Літературне оформлення реферату є важливим елементом його виконання і одним з чинників, які впливають на оцінювання. Передусім звертається увага на змістовний виклад матеріалу (логічність і послідовність, повнота і репрезентативність, кількість використаних наукових джерел, загальна грамотність тощо), а також на текст роботи, список літератури і додатки, на зовнішнє оформлення титульної сторінки (зразок оформлення титульної сторінки представлено нижче).

6. Текст реферату треба друкувати, дотримуючись таких вимог: шрифт – Times New Roman; розмір – 14; відстань між рядками – 1,5; інтервали: верхнє, нижнє, лїве поле – не менше 20 мм, праве поле – не менше 10 мм; розташування – книжне. Друкувати на сторінках формату А4 (210/297 мм). У роботі допускається виконання ілюстрацій та таблиць на сторінках формату А3. Кожну структурну частину реферату слід починати з нової сторінки.

7. Перед написанням реферату здобувач має скласти план, за пунктами якого послідовно висвітлюватиме обрану тему. Рекомендовано узгодити план реферату з викладачем. Приклад структури і плану реферату на одну із запропонованих тем представлено нижче.

8. Кінцевий варіант реферату можна здавати у електронній або друкованій формі.

3.4. Теми науково-дослідних робіт(НДР)

Однією із форм самостійної роботи є виконання НДР що є обов'язковим у курсі «Фізіологія рослин». Робота над виконанням НДР сприяє підвищенню рівня підготовки здобувачів та набуттю ними навичок науково-дослідної діяльності.

Для виконання НДР здобувачам пропонується наведений нижче перелік тем, з яких вони за своїм бажанням вибирають одну:

1. Визначити всіма можливими цитофізіологічними методами ступінь життєздатності рослинної клітини.

2. Провести порівняння осмотичного тиску клітинного соку рослин різних екологічних груп (мезофітів, ксерофітів і гігрофітів).

3. Порівняти в'язкість цитоплазми гігрофітів і ксерофітів.

4. Порівняти пігментний склад у водних і наземних рослин.

5. Вивчити вплив зовнішніх факторів на вміст хлорофілу в листках дослідних рослин.

6. Дослідити онтогенетичні зміни вмісту хлорофілу в листках.

7. Дослідити залежність величини дихального коефіцієнту від виду дихального субстрату.

8. Провести спостереження за настичними рухами листків рослин.

9. Вивчити явище гідротропізму у рослин.
10. Вивчити явище фототропізму.
11. Вивчити вплив світла на ріст рослин.
12. Визначити жаростійкість рослин різних екологічних груп.
13. Провести визначення температурного порога коагуляції білків цитоплазми рослинної клітини.
14. Провести біохімічний аналіз вмісту цукрів у плодах рослин, що різняться за віком та умовами зберігання.
15. Провести біохімічний аналіз вмісту дубильних речовин у корі рослин.

3.5. Методичні рекомендації до виконання НДР

Спочатку здобувач за своїм бажанням обирає одну із запропонованих тем НДР. Потім він вивчає наукову літературу з даного питання, разом з викладачем ретельно обговорює мету, задачі та схему проведення експерименту. Вивчаючи методичну літературу, порадившись з викладачем, здобувач обирає об'єкти і методи дослідження. Наступний етап роботи – складання здобувачем списку матеріалів та реактивів, необхідних для виконання НДР, який він передає навчально-допоміжному персоналу (лаборанту). За наявності усіх підготовлених реактивів, обладнання, матеріалів та об'єктів, приступає до виконання роботи у відведений для НДР на кафедрі час. Під час виконання експерименту при роботі у лабораторії здобувач повинен обов'язково дотримуватись правил техніки безпеки. По завершенню експерименту отримані результати (первинні матеріали) здобувач заносить у лабораторний журнал, потім проводить необхідні розрахунки (в залежності від задачі дослідження) та обов'язково статистичну обробку отриманих результатів. Отримані результати здобувач аналізує та представляє у найбільш доступній та наглядній формі: таблиці, графіки, діаграми, фотографії тощо.

Наступний етап роботи – оформлення НДР. Робота оформлюється на окремих аркушах (10 – 15 сторінок) формату А4 за такою структурою:

- титульний аркуш;
- зміст;
- огляд літератури за даною темою;
- схема досліду;
- характеристика об'єктів дослідження;
- методи експерименту;
- результати та обговорення;
- висновки;
- список використаної літератури.

Оформлення рукопису НДР виконується згідно з правилами оформлення курсових, кваліфікаційних та дипломних робіт. Структура розділу «результати та обговорення» повинна чітко відповідати постановленій меті та задачам НДР. Висновки складаються з окремих пронумерованих пунктів, формулюються чіткими, короткими реченнями, кожен з них має відповідати задачі, сформульованій на початку роботи. Список використаної літератури подається згідно правил бібліографічного опису.

РОЗДІЛ 4. Контрольні питання до курсу

Модуль 1. Фізіолого-біохімічні процеси у рослинній клітині і цілому організмі

Тема 1. Вступ. Структура, функції і хімічний склад рослинної клітини.

1. Фізіологія рослин (ФР) - наука про функції рослинного організму. Основні розділи фізіології рослин.
2. Специфічні особливості рослинного організму.
3. Специфічні методи ФР. Методологія сучасних досліджень у ФР.
4. Становлення ФР як самостійної науки. Розвиток ФР протягом 19 і 20 століть.
5. Розвиток ФР на Україні. Основні наукові установи ФР на Україні. Вітчизняні вчені та їх наукова діяльність. Науковий потенціал – перспективні напрямки ФР.
6. Завдання і перспективи фізіології рослин. Роль ФР у вирішенні глобальних проблем сучасності.
7. Загальна характеристика рослинної клітини. Відмінності рослинної клітини від бактеріальної і тваринної.
8. Рослинний організм – єдина багатоклітинна функціональна система.
9. Мембранна система рослинної клітини. Роль у компартаментації та регуляції метаболізму клітини.
10. Організація елементарної мембрани (рідинно-мозаїчна модель). Хімічний склад мембран. Функції мембранних ліпідів. Типи та функції мембранних білків.
11. Труднощі проникнення речовин через мембрану. Види мембранного транспорту речовин. Активний і пасивний транспорт.
12. Мембранні транспортні білки. Транспорт води - аквапорини.
13. Пластидна система рослинної клітини. Генетичний взаємозв'язок пластид.
Особливості структури та функції геному хлоропластів.
14. Структура та функції мітохондрій. Особливості структури та функції геному мітохондрій.
15. Взаємодія геномів ядра, хлоропластів і мітохондрій.
16. Структура та функції ядра рослинної клітини. Рибосоми рослинної клітини.
17. Ендоплазматичний ретикулум: структура та функції. Апарат Гольджі (АГ): структура та функції. Участь АГ в утворенні клітинної оболонки і плазмалеми.

18. Мікротільця рослинної клітини: пероксисоми, гліоксисоми, сферосоми. Організація, функціонування, генетичний взаємозв'язок.
19. Цитоскелет рослинної клітини: мікротрубочки і мікрофіламенти. Внутрішньоклітинні рухи.
20. Вакуоль, структура та функції. Склад клітинного соку.
21. Осмотичні властивості рослинної клітини. Поняття: осмос, тургор, осмотичний і тургорний тиск, гіпер-, гіпо- та ізотонічні розчини. Явища: плазмоліз, деплазмоліз, циториз, осмотичний шок.
22. Клітинна оболонка, її хімічний склад, будова, функції та біогенез. Первинна й вторинна клітинна оболонка.
23. Міжклітинні контакти – плазмодесми
24. Клітина як цілісна система. Функціональний взаємозв'язок органел.
25. Регуляторні механізми рослинної клітини. Подразливість, подразники і рецептори рослинної клітини.
26. Трансдукція сигналу (система вторинних посередників). Загальна схема формування локальної клітинної та системної відповіді.
27. Загальна характеристика вуглеводів, їхні функції, класифікація.
28. Характеристика окремих представників моно-, оліго- та полісахаридів рослин.
29. Структурні полісахариди клітинної оболонки рослин.
30. Загальна характеристика та класифікація рослинних білків. Амінокислотний склад рослинних білків. Повноцінні та неповноцінні білки.
31. Протеїногенні та непротеїногенні амінокислоти. Пептиди. Їх роль у рослинах.
32. Жири (рослинні олії). Загальна характеристика, вміст в рослинах, практичне значення. Склад рослинних олій. Жирні кислоти, їх особливості. Основні фізико-хімічні константи жирів.
33. Біосинтез та розпад вуглеводів: сахарози, крохмалю, целюлози та ін.
34. Гліюксилатний цикл та глюконеогенез.
35. Властивості та особливості ферментів рослин.
36. Органічні кислоти рослин. Загальна характеристика, класифікація, представники та роль у рослині.
37. Речовини вторинного метаболізму: їх ознаки, класифікація, значення в рослинному організмі. Екологічна роль речовин вторинного метаболізму. Характеристика їх класів.
38. Флавоноїди – найпоширеніша група фенолів. Класифікація, характеристика окремих груп. Пігменти клітинного соку рослин. Фактори, що зумовлюють колір пігментів.
39. Олігомерні фенольні сполуки. Полімери – дубильні речовини (таніни), меланіни, лігнін.

40. Функції фенолів у рослинах, їх практичне значення.
41. Компоненти ефірних олій. Характеристика окремих представників, будова, властивості, розповсюдження, значення.
42. Бальзами та смоли. Стероїди та каротиноїди. Поліпреноли. Каучук і гута.
43. Алкалоїди. Загальна характеристика, розповсюдження, властивості, класифікація
44. Метаболічні зв'язки шляхів первинного та вторинного метаболізму в рослині.

Тема 2. Водний обмін рослин

1. Значення води в житті рослини. Молекулярна будова та фізико-хімічні властивості води. Вміст та форми води у рослині.
2. Загальна характеристика водного обміну рослин. Водний баланс, водний дефіцит, оводненість, інші характеристики водного режиму.
3. Водний обмін клітини. Механізм надходження води у клітину – осмотичний та колоїдно-хімічний. Аквапорини і їх роль у поглинанні води рослинною клітиною. Хімічний потенціал води в рослинній клітині.
4. Роль кореневої системи в поглинанні води рослиною. Нижній кінцевий двигун води – кореневий тиск, плач рослин, гутація.
5. Вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на надходження води в корінь.
6. Верхній кінцевий двигун води – транспірація: види та фізіологічне значення. Показники, що характеризують транспірацію – інтенсивність, продуктивність, транспіраційний коефіцієнт, відносна транспірація.
7. Листок як основний орган транспірації. Продихові рухи. Механізми процесу. Вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на рухи продихів.
8. Вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на транспірацію як фізичний і фізіологічний процес. Шляхи зниження транспірації (антитранспіранти).
9. Механізм транспорту води по судинах.
10. Транспорт води в рослині (внутрішньоклітинний, ближній і дальній).
11. Особливості водного обміну рослин різних екологічних груп – мезофітів, ксерофітів та гігрофітів.

Тема 3. Фотосинтез.

1. Фотосинтез як унікальний у загальнобіологічному значенні процес. Космічна (біосферна) роль зелених рослин.
2. Основні етапи дослідження фотосинтезу. Загальне рівняння фотосинтезу.
3. Фотосинтетичні пігменти, будова, спектральні властивості, функції.

4. Характеристика пігментів групи хлорофілів. Хімічні та фізичні властивості хлорофілів. Біосинтез молекули хлорофілу.
5. Енергетичний стан молекули хлорофілу і шляхи міграції енергії збудження. Флуоресценція та фосфоресценція.
6. Характеристика каротиноїдів. Хімічна будова, класифікація, представники та функції у фотосинтетичних процесах.
7. Первинні процеси фотосинтезу (світлова фаза фотосинтезу).
8. Антенні комплекси і міграція енергії в пігментних системах. Розподіл зарядів у фотосистемах.
9. Склад фотосистем I і II
10. Фотофосфорилування – циклічне, нециклічне та псевдоциклічне.
11. Темнова фаза фотосинтезу. Цикл Кальвіна (C-3 шлях фотосинтезу).
12. Різновиди C-4 шляхів фотосинтезу. Значення C-4 фотосинтезу.
13. Фотодихання (C-2 шлях фотосинтезу, гліколатний цикл).
14. Відновлення азоту і утворення амінокислот при фотосинтезі. Асиміляти – продукти фотосинтезу.
15. Транспорт асимілятів у рослині. Внутрішньоклітинний транспорт асимілятів.
16. Спрямованість і регуляція транспорту асимілятів. Донорно-акцепторні відносини.
17. Показники, що характеризують фотосинтез. Фотосинтетичний коефіцієнт, квантовий вихід і квантова витрата фотосинтезу.
18. Екологія фотосинтезу. Фактори, що лімітують фотосинтез.
19. Загальна характеристика дихання та його значення. Пластична і енергетична роль.
20. Клітинне дихання. Типи ферментів дихання.
21. Гліколіз. Функції гліколізу в клітині.
22. Бродіння. Взаємозв'язок гліколізу і бродіння.
23. Цикл Кребса.
24. Взаємозв'язок різних шляхів дисиміляції глюкози.
25. Синтез АТФ у процесі окисного фотофосфорилування.
26. Показники, що характеризують дихання. Дихальний коефіцієнт. Ефект Пастера.
27. Екологічні аспекти дихання. Залежність дихання від концентрації CO₂, концентрації O₂, водного режиму, умов мінерального живлення, дії світла, механічного стресу та інших факторів.
28. Онтогенетичні зміни дихання. Клімактеричний підйом дихання.
29. Порівняння процесів фотосинтезу та дихання.

Модуль 2. Дихання рослин. Мінеральне живлення рослин

Тема 1. Дихання рослин

1. Поняття – живлення рослин (повітряне, кореневе). Основні етапи розвитку вчення про мінеральне живлення рослин.

3. Основні закономірності поглинання речовин. Активне та пасивне поглинання речовин.

4. Дифузія та адсорбція у поглинанні та транспорті іонів клітиною і кореневою системою. Роль клітинної оболонки у процесах адсорбції мінеральних речовин.

5. Види мембранного транспорту. Електрохімічний потенціал іона.

6. Пасивний мембранний транспорт іонів: проста та полегшена дифузія.

7. Іонні канали – будова, принцип роботи зворотного механізму, види (K^+ , Ca^{2+} , аніонні, механочутливі та ін.)

8. Активний транспорт – первинно-активний транспорт, вторинно-сполучений транспорт. Транспортні АТФ-ази: види та функції.

Тема 2. Мінеральне живлення рослин

1. Транспорт елементів мінерального живлення (внутрішньоклітинний, ближній і дальній).

2. Вміст мінеральних елементів у рослині (макро-, мікро- та ультрамікроелементи).

3. Фізіологічна роль азоту. Азотфіксація: симбіотична, асоціативна, вільноживучими мікроорганізмами.

4. Поглинання та засвоєння нітратів.

5. Поглинання та засвоєння амонійного азоту.

6. Фізіологічна роль фосфору.

7. Фізіологічна роль сірки.

8. Фізіологічна роль кальцію. Кальцій – універсальний вторинний месенджер.

9. Фізіологічна роль калію.

10. Фізіологічна роль заліза, магнію.

11. Фізіологічна роль мікроелементів – бору, молібдену, міді, марганцю, кобальту та інших.

12. Фізіологічні основи застосування добрив. Класифікація добрив.

13. Виділення речовин коренями: механізми та значення. Алелопатія.

14. Спеціалізовані секреторні структури.

Модуль 3. Інтегральні функції рослинного організму. Стійкість рослин до біотичних і абіотичних факторів

Тема 1. Ріст і розвиток рослин. Фітогормони

1. Поняття ріст. Клітинна основа росту.

2. Особливості росту органів рослин – кореня, стебла, листків.

3. Властивості росту: корелятивність, полярність, регенерація, нерівномірність, закон великого періоду росту, ритмічність росту.
4. Спокій рослин. Вимушений спокій. Глибокий або органічний спокій.
5. Поняття про фітогормони. Класифікація фітогормонів.
6. Ауксини. Цитокініни. Гібереліни. Їх фізіологічна дія
7. Абсцизова кислота. Хімічна природа, біосинтез, транспорт АБК. Фізіологічна дія АБК.
8. Етилен. Відкриття, біосинтез, транспорт етилену. Фізіологічна дія етилену.
9. Брасиностероїди, саліцилова кислота, жасмонати, негормональні регулятори росту.
10. Рецептори та механізм дії фітогормонів. Взаємодія фітогормонів.
11. Залежність росту від зовнішніх факторів: вплив світла на ріст рослин.
12. Вплив температури на ріст рослин. Вологість ґрунту і повітря та ріст рослин.
13. Рухи рослин. Тропізми і настії. Механізми рухів рослин: ростові, тургорні та інші.
14. Поняття розвитку. Автономний та індукований розвиток.
15. Тривалість онтогенезу та його типи. Монокарпічні та полікарпічні рослини. Етапи онтогенезу: ембріональний, ювенільний, репродуктивний (генеративний), сенільний.
16. Регуляція розвитку рослин. Перехід від вегетативного до генеративного періоду онтогенезу – ключовий етап розвитку рослин. Віковий та екологічний контроль розвитку рослин.
17. Фотоперіодизм: відкриття, біологічне значення. Фотоперіодичні групи рослин. Фотоперіодичний контроль цвітіння.
18. Цвітіння. Основні етапи цвітіння.
19. Детермінація чоловічих і жіночих квіток. Запилення та запліднення.
20. Фізіологія дозрівання насіння, плодів.
21. Вегетативне розмноження. Формування органів вегетативного розмноження рослин.
22. Старіння (клітини, органу, організму). Механізми, індукуючі старіння.

Тема 2. Адаптація рослин до умов навколишнього середовища.

1. Загальні поняття – стрес, адаптація, стійкість.
2. Фізіологія стресу. Специфіка стресової реакції рослин.
3. Реакції-відповідь рослин на стрес.
4. Механізми, стратегії та види адаптації рослин.

5. Посухостійкість рослин.
6. Дія високих температур і жаростійкість рослин.
7. Білки теплового шоку БТШ: особливості синтезу, групи, функції молекулярних шаперонів.
8. Стійкість рослин до низьких температур – холодостійкість, морозостійкість та зимостійкість.
9. Солестійкість рослин.
10. Вищі рослини та ультрафіолетова радіація.
11. Газостійкість рослин.
12. Стійкість до забруднення важкими металами.
13. Стійкість до нестачі кисню – гіпоксія та апоксія.
14. Радіаційна стійкість рослин.
15. Основні біотичні стресори для рослин.
16. Захист від потенційних шкідників і хвороб у рослин.
17. Групи патогенів.
18. Видовий імунітет.
19. Захисні реакції рослин на ураження патогенами. Відповіді рослин на ураження патогенами.
20. Категорії рослин: чутливі, толерантні, надчутливі і вкрай стійкі.
21. Значення саліцилової кислоти і оксид азоту.
22. Індукована стійкість до повторного зараження патогеном.
23. Стійкість рослин до фітофагів.
24. Механізми регуляції процесів життєдіяльності на різних структурних і функціональних рівнях організації рослинного організму.
25. Зовнішні фактори як чинники зміни рівня перебігу регуляторних процесів у рослині. Взаємодія та взаємообумовленість у функціонуванні структур та фізіолого-біохімічних процесів як комплементарної системи регуляції життєдіяльності рослин

РОЗДІЛ 5. Форми контролю знань здобувачів

5.1. Приклади тестових завдань

Модуль 1. Фізіолого-біохімічні процеси у рослинній клітині і цілому організмі

1. Специфічною особливістю рослинної клітини є:
 - а) тотипотентність;
 - б) наявність клітинної оболонки;
 - в) здатність до самостійного руху;
 - г) міжклітинні контакти.
2. До системи ендомембрани рослинної клітини не входить:
 - а) тонопласт;
 - б) плазмалема;
 - в) тілакоїди;
 - г) гранулярний ендоплазматичний ретикулум.
3. До напівавтономних органел рослинної клітини відносять:
 - а) тонопласт;
 - б) хлоропласти;
 - в) апарат Гольджі;
 - г) гранулярний ендоплазматичний ретикулум.
4. При переміщенні рослинної клітини в гіпертонічний розчин відбувається:
 - а) апоптоз;
 - б) плазмоліз;
 - в) циториз;
 - г) осмотичний шок.
5. Особливий тип росту рослинної клітини називають:
 - а) «швидкий» ріст;
 - б) «кислий» ріст;
 - в) ріст подовженням;
 - г) фітогормонально залежний ріст.
6. Процес синтезу органічних речовин з неорганічних з використанням енергії світла називають:
 - а) автотрофія;
 - б) хемосинтез;
 - в) дихання;
 - г) фотосинтез.
7. Спектр поглинання хлорофілів перебуває в області:
 - а) 400-500 нм і ближній УФ;
 - б) 500-700 нм і інфрачервона частина спектра;
 - в) 400-500 і 600-700 нм;
 - г) ближній УФ і 600-700 нм.

8. У результаті нециклічного транспорту електронів утворюються:
- а) АТФ, кисень;
 - б) АТФ, НАДН, кисень;
 - в) кисень, НАДФ-Н;
 - г) АТФ, НАДФ-Н, кисень.
9. Фотосинтез у тропічних злаків відбувається по шляху:
- а) циклу Кальвіна;
 - б) САМ-фотосинтезу;
 - в) гликолатного шляху;
 - г) циклу Хетча й Слека.
10. Залежність інтенсивності фотосинтезу від інтенсивності світла відображає:
- а) світлова крива фотосинтезу;
 - б) параболічна крива;
 - в) вуглекислотна крива;
 - г) двофазна крива.
11. При радіальному русі води мають найменший водний потенціал:
- а) кореневі волоски;
 - б) клітини кори кореня;
 - в) клітини, що оточують судини;
 - г) клітини ендодерми.
12. Що є нижнім кінцевим двигуном води в рослині:
- а) транспірація
 - б) сили когезії й адгезії
 - в) кореневий тиск
 - г) гутація.
13. У клітинній оболонці вода переважно перебуває в:
- а) колоїдно-зв'язаному стані;
 - б) осмотично-зв'язаному стані;
 - в) пароподібному стані;
 - г) вільному стані.
14. Процеси виділення краплиннорідкої води рослинами називається:
- а) гутація;
 - б) транспірація;
 - в) евапорація;
 - г) випаровування.
15. Відкривання продохів стимулює:
- а) абсцизова кислота;
 - б) етилен;
 - в) цитокінін;
 - г) жасмонова кислота.
16. Ключовим ферментом циклу Кальвіна є:

- а) рибулозобіфосфаткарбоксилаза;
 - б) фосфоенолпируваткарбоксилаза;
 - в) сахарофосфатсинтетаза;
 - г) крохмалсинтаза.
17. Укажіть запасні білки, що переважають у насінні злаків:
- а) гістони;
 - б) альбуміни;
 - в) проламіни;
 - г) глобуліни.
18. Флавоноїди мають структуру вуглецевого скелету:
- а) C₆-C₁;
 - б) C₆;
 - в) C₆-C₃-C₆;
 - г) C₆-C₃.
19. Компонентами ефірних масел є:
- а) α-каротин;
 - б) камфора;
 - в) гераніол;
 - г) кофеїн.
20. До справжніх алкалоїдів відносяться:
- а) ефедрин;
 - б) морфін;
 - в) колхіцин;
 - г) соланідин.

Модуль 2. Дихання рослин. Мінеральне живлення рослин

1. Де протікають реакції гліколізу:
- а) в цитоплазмі;
 - б) в мітохондріях;
 - в) в ядрі;
 - г) в гліоксисомах.
- 2 Кінцевим продуктом гліколізу є:
- а) глюкоза;
 - б) вуглекислий газ;
 - в) піровиноградна кислота;
 - г) молочна кислота.
3. Специфічний метаболічний шлях окислювання дихального субстрату у рослин це:
- а) гліколіз;
 - б) цикл трикарбонових кислот;
 - в) гліоксилатний цикл;
 - г) бродіння.

4. При розпаді 1 молекули глюкози шляхом бродіння синтезується:
- а) 15 молекул АТФ;
 - б) 36 молекул АТФ;
 - в) 38 молекул АТФ;
 - г) 2 молекули АТФ.
5. Якщо субстратами дихання будуть вуглеводи, то дихальний коефіцієнт становить:
- а) > 1 ;
 - б) $= 1$;
 - в) < 1 ;
 - г) $= 0$.
6. Транспорт речовин через мембрану в протилежних напрямках називають:
- а) уніпорт;
 - б) симпорт;
 - в) антипорт;
 - г) екзоцитоз.
7. Азот у рослину надходить у вигляді:
- а) молекулярного азоту;
 - б) органічного азоту;
 - в) нітрат іона;
 - г) амоній іона.
8. З яким фізіологічним процесом тісніше всього пов'язане пересування мінеральних елементів по ксилемі рослин?
- а) із транспірацією;
 - б) з інтенсивністю росту;
 - в) з фотофосфорилуванням;
 - г) з окисним фосфорилуванням.
9. На яких листках рослин у першу чергу виявляються симптоми недоліку магнію?
- а) на наймолодших;
 - б) на найстаріших;
 - в) на всіх відразу;
 - г) залежність відсутня.
10. До складу яких фізіологічно активних речовин входить молібден?
- а) вітамін В12;
 - б) нітратредуктаза;
 - в) нітрогеназа;
 - г) леггемоглобін.
11. Укажіть рецептор синього світла.
- а) фітохром;
 - б) фототропін;
 - в) фікоціанін;

- г) фікоеритрин.
12. Рослини, що прискорюють перехід до цвітіння за короткого фотоперіоду:
- а) фотоперіодично нейтральними;
 - б) довгоденними;
 - в) короткоденними;
 - г) яровими.

Модуль 3. Інтегральні функції рослинного організму. Стійкість рослин до біотичних і абіотичних факторів

1. Який гормон активує поділ клітин?
- а) абсцизова кислота;
 - б) етилен;
 - в) цитокінін;
 - г) гіберелін.
2. Причиною гідротропічних рухів є:
- а) однобічний вплив фактора;
 - б) дифузійний вплив фактора;
 - в) ендогенні причини;
 - г) варіанти «б» і «в».
3. Які ефекти характерні для етилену?
- а) дозрівання соковитих плодів;
 - б) ріст у довжину;
 - в) опадання листів;
 - г) диференціація клітин.
4. Ознаки справжніх ксерофітів:
- а) розвиток механічних тканин;
 - б) здатність різко скорочувати транспірацію
 - в) короткий вегетаційний період;
 - г) товстий шар кутикули.
5. До неспецифічних стресових реакцій рослин відносять:
- а) деполяризація плазмалемі;
 - б) синтез шаперонів;
 - в) підвищення вмісту Ca^{2+} у цитоплазмі;
 - г) синтез пектинових речовин.
6. Особливо небезпечні заморозки у:
- а) фазу появи сходів;
 - б) фазу закладки генеративних органів;
 - в) фазу цвітіння - плодоношення;
 - г) фазу дозрівання плодів.
7. При зневодненні у не пристосованих до посухи рослин:
- а) інтенсивність дихання підсилюється;
 - б) істотних змін дихання не має;

- в) формується мезоморфна структура листків;
 - г) знижується в'язкість протоплазми.
8. БТШ у рослині виконують наступні функції:
- а) стабілізація структури білків;
 - б) транспорт речовин через мембрани;
 - в) правильна зборка макромолекул;
 - г) всі відповіді правильні.

5.2. Приклади завдань з модульного контролю

Дайте визначення:

1. Уніпорт – це
2. Фотосистема – це
3. Дихальний контроль – це
4. Транспіраційний коефіцієнт – це
5. Живлення рослин – це
6. Ріст – це
7. Стрес – це
8. Речовини вторинного метаболізму рослин – це.

Назвіть, перелічіть:

1. Мембранні структури, що утворюють систему ендомембрани рослинної клітини.
2. Функції каротиноїдів.
3. Функції циклу Кребсу у рослинній клітині.
4. Види транспорту води у рослині та процеси, що їх забезпечують.
5. Основні ознака дефіциту калію.
6. Фізіологічні ефекти ауксинів
7. Функції шаперонів.
8. Групи моносахаридів.

Наведіть класифікацію:

1. Органел рослинної клітини.
2. Фотосинтетичних пігментів.
3. Дихальних ферментів.
4. Форм води у ґрунті за їх доступністю для рослин.
5. Елементів мінерального живлення за їх кількістю у рослинному організмі.
6. Рухів рослин.
7. Видів адаптацій.

Намалюйте схему або графік:

1. Схему взаємозв'язку органел у рослинній клітині.
2. Схему функціонування фотосистеми I.
3. Схему взаємозв'язку різних шляхів дисиміляції глюкози.
4. Схему транспорту води у системі «ґрунт – рослина – атмосфера».
5. Схему мембранного транспорту іонів у рослинній клітині.

6. Графік, що ілюструє зміни параметрів росту у часі. Коротко охарактеризуйте зображені на кривій фази.

7. Схему класифікації рослинних білків.

Напишіть реакцію(-і)/рівняння/послідовність:

1. Протікання плазмолізу.
2. Загального рівняння фотосинтезу та його компоненти.
3. Приклади основних типів окислювально-відновлювальних реакцій.
4. Рівняння, що характеризує водний потенціал клітини.
5. Реакції 2-х етапів відновлення нітратів.
6. Послідовність етапів фізіологічного процесу цвітіння
7. Послідовність етапів стресової реакції рослин.

Наведіть приклади

1. Сучасних методів культивування рослин
2. Рослин з С3- та С4-типом фотосинтезу.
3. Дихальних ферментів.
4. Еколого-фізіологічних груп рослин, що ростуть за різних умов волого-забезпечення
5. Макро-, мікро-, ультрамікроелементів.
6. Ростових рухів рослин.
7. Стресових білків.
8. Справжніх алкалоїдів.

Дайте розгорнуту відповідь:

1. Клітинна оболонка: хімічний склад, будова, утворення та функції.
2. Фотосинтез, продуктивність і врожай рослин.
3. Онтогенетичні зміни дихання.
4. Нижній кінцевий двигун води - кореневий тиск, «плач» рослин, гутація.
5. Кальцій – універсальний вторинний месенджер.
6. Морозостійкість, холодостійкість, зимостійкість.
7. Глікозиди - речовини первинного й вторинного метаболізму рослин.

РОЗДІЛ 6.

Критерії оцінювання знань здобувачів

Оцінку «відмінно» 5 А заслуговує здобувач, який протягом навчання отримав 90-100 балів за всіма формами учбової діяльності, показав систематичні, глибокі та різнобічні знання матеріалу за програмою дисципліни, виконав усі заплановані програмою завдання, засвоїв основну літературу й ознайомився з додатковою, пройшов у повному обсязі лабораторний практикум з дисципліни й активно брав участь у самостійній роботі. Оцінку «відмінно» виставляють здобувачу, який вміє встановлювати взаємозв'язок між основними розділами та поняттями дисципліни, проявляє творчий підхід у розумінні, викладанні та використанні програмного матеріалу.

Оцінку «добре» 4 В заслуговує здобувач, який протягом навчання отримав 80-89 балів, показав повні знання програмного матеріалу, успішно виконав програмні завдання, засвоїв основну літературу, пройшов у повному обсязі лабораторний практикум з дисципліни і брав участь у самостійній роботі. Оцінку «добре» одержує здобувач, який показав систематичні знання з дисципліни та здатність їх самостійно поповнювати й оновлювати в подальшій навчальній роботі та професійній діяльності.

Оцінку «добре» 4 С заслуговує здобувач, який протягом навчання отримав 70-79 балів, показав знання програмного матеріалу, успішно виконав програмні завдання, засвоїв основну літературу, пройшов лабораторний практикум з дисципліни.

Оцінку «задовільно» 3 D заслуговує здобувач, який протягом навчання отримав 60-69 балів, показав знання основного програмного матеріалу в обсязі, що необхідний для подальшого навчання, виконав програмні завдання, ознайомився з основною літературою програми. Оцінку «задовільно» одержує здобувач, який допустив помилки при складанні тематичних модулів, пропустив до 30 % занять лабораторного практикуму з неповажної причини і не брав участі в самостійній роботі.

Оцінку «задовільно» 3 E заслуговує здобувач, який протягом навчання отримав 50-59 балів, показав знання основного програмного матеріалу не в повному обсязі, виконав програмні завдання з помилками, ознайомився з основною літературою програми, пропустив до 40 % занять лабораторного практикуму з неповажної причини і не брав участі в самостійній роботі.

Оцінку «незадовільно» 2 FX отримує здобувач, у якого відсутнє знання окремих розділів основного програмного матеріалу, що не має основних уявлень про фізіологію рослинної клітини, фізіолого-біохімічні механізми фотосинтезу, дихання, водного обміну, мінерального живлення, росту і розвитку рослин, систем стійкості до абіотичних факторів середовища та особливостей біохімії рослин. Оцінку "незадовільно" одержує здобувач, який допустив принципові помилки при виконанні програмних завдань,

пропустив більш ніж 40 % занять із лабораторного практикуму з неповажної причини та не брав участь у самостійній роботі.

Додатки

Дод. 1. Титульна сторінка реферату

Міністерство освіти і науки України
Державний біотехнологічний університет
Факультет лісового господарства, деревооброблювальних технологій та
землевпорядкування
Кафедра лісових культур, меліорацій та садово-паркового господарства

Реферат на тему:
Транспорт води у дерев

Виконав:
Здобувач 2-го курсу групи

(Прізвище, ім'я, по батькові)

Перевірила:

(Прізвище, ім'я, по батькові викладача)

Харків 2024

Дод. 2. Титульна сторінка НДР

Міністерство освіти і науки України
Державний біотехнологічний університет
Факультет лісового господарства, деревооброблювальних технологій та
землевпорядкування
Кафедра лісових культур, меліорацій та садово-паркового господарства

Науково – дослідна робота
Провести біохімічний аналіз вмісту дубільних речовин у корі рослин

Виконав:
Здобувач 2-го курсу групи

(Прізвище, ім'я, по батькові)

Перевірила:

(Прізвище, ім'я, по батькові викладача)

Харків 2024

Оформлення таблиці

Таблиця повинна мати назву (тематичний заголовок), яку розміщують над таблицею і друкують симетрично до тексту. Назву наводять жирним шрифтом. Таблиці нумерують послідовно (за винятком таблиць, поданих у додатках) в межах розділу, або наскрізно (через всю роботу від першого до останнього розділу). В правому верхньому куті над заголовком таблиці розміщують напис «Таблиця» із зазначенням номера. Номер таблиці повинен складатися з номера розділу і порядкового номера таблиці, між якими ставиться крапка, наприклад: «Таблиця 1.2» (друга таблиця першого розділу).

Таблицю з великою кількістю рядків можна переносити на наступну сторінку. При перенесенні частини таблиці на інший аркуш (сторінку) слово «Таблиця» і номер її вказують один раз справа над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть слова «Продовж, табл.» і вказують номер таблиці, наприклад: «Продовж. табл.1.2». Назву також вміщують тільки над її першою частиною.

Правила заповнення таблиці:

- одиниці виміру, загальні для всіх показників, виносять в тематичний заголовок, якщо в графах є дані з різними величинами, то їх вказують в заголовку кожного рядка;
- перед позначенням розмірності замість прийменника «в» ставлять кому, наприклад: Температура, °C; Вміст, мг/г;
- числа в графах пишуть на рівні останнього рядка боковика;
- числа в таблицях розміщують так, щоб їх класи у графі знаходились один під одним; числові величини в одній графі повинні мати однакове число знаків після коми;
- для наочності громіздкі числа слід округлювати до одиниць більшої розмірності;
- однаковий текст в графах і боковика замінюють лапками, цифри і знаки не дозволяється замінювати лапками;
- якщо в графах відсутній текст або цифри – ставлять риску;
- текст у таблиці варто друкувати кеглем 12 з одинарним інтервалом.

Оформлення приміток та виносок в таблицях:

- у відповідній графі таблиці поряд з текстом (цифрами), який коментується під таблицею, ставлять зірочку «*» (виноска), або цифру (примітка);
- для оформлення примітки (виноски) необхідно від останнього рядка таблиці відступити півтора інтервали, провести риску, знову відступити півтора інтервали і оформити примітку;
- при оформленні примітки спочатку пишуть «Примітка», ставлять крапку, а потім або текст (якщо це примітка до всієї таблиці), або

«Примітки», ставлять двокрапку і далі пронумеровані арабськими цифрами примітки (якщо приміток декілька);

- виноску позначають не цифрами, а «зірочкою».

Таблицю розміщують після першого згадування про неї в тексті, так, щоб її можна було читати без повороту або з поворотом за стрілкою годинника.

Оформлення ілюстрацій

Кількість ілюстрацій в реферативній, або ІНДЗ роботі має бути достатньою для пояснення тексту, що викладається. Усі ілюстрації, що виносяться на захист роботи (у вигляді ілюстративного матеріалу), повинні бути присутніми в основній частині роботи або у додатках.

Ілюстрації можуть буди представленні у вигляді креслення, рисунка, графіка, схеми, діаграми, фотознімка тощо. Їх слід розташовувати в роботі безпосередньо після тексту, у якому вони зазначаються вперше, чи на наступній сторінці. Від тексту вони відокремлюються одним вільним рядком зверху та знизу. На всі ілюстрації повинні бути дані посилання в основному тексті. При посиланнях на ілюстрації слід писати «...відповідно до рис. 1.2» при нумерації в межах розділу.

Якщо ілюстрації, які розміщені в роботі, створені не автором, надаючи їх обов'язково слід вказати джерело їх походження після назви рисунка у дужках, зазначивши автора та рік. Допускається також поміщати в роботу ілюстрації, виконані методом ксерокопії. Ксерокопії і фотознімки розміром повинні бути наклеєні на стандартні аркуші білого паперу формату А4. Якщо ілюстрації більше за А4 формат, то їх розміщують серед додатків у тому порядку, в якому вони зазначаються в тексті роботи.

Ілюстрація обов'язково повинна мати назву, яку розміщують під нею. За необхідності під ілюстрацією подають пояснюючі дані. Назву позначають словом «рис.» і нумерують наскрізно (через всю роботу від першого до останнього розділу) або послідовно в межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках. При послідовній нумерації номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою. Наприклад, рис. 3.2 (другий рисунок третього розділу). Якщо у роботі подається лише одна ілюстрація, то вона не нумерується. Після номеру ілюстрації розміщують її назву.

Ілюстрації мають бути розташовані так, щоб їх було зручно розглядати без повороту роботи або з поворотом за годинниковою стрілкою.

Графіки

Графіки використовуються як для аналізу, так і для підвищення наочності матеріалу: Окрім геометричного образу, графік повинен містити ряд допоміжних елементів: загальну назву графіка; пояснення умовних знаків і значення окремих елементів графіка; осі координат, шкалу з масштабами і

числові сітки; числові дані, що доповнюють або уточнюють величину нанесених на графік показників.

На осях координат повинні бути вказані умовні позначення і розмірність відкладених величин у прийнятих скороченнях. На графіку потрібно писати тільки прийняті в тексті умовні позначення. Написи, що відносяться до кривих і точок, залишають тільки в тих випадках, коли їх мало і вони є короткими. Багатослівні написи замінюють цифрами, а розшифровку приводять в під рисунковому тексті.

Якщо крива на графіку займає невеликий простір, то для економії місця числові позначки на осях координат можна починати не з нуля, а в межах тих значень, в яких розглядається дана функціональна залежність. Кількість параметричних ліній на графіку потрібно вибрати мінімально можливим.

Якщо головна мета графіка – показати загальний характер якого-небудь процесу, характер зміни функціональної залежності в загальних рисах, то доцільно застосувати графік без координатної сітки. Графік з координатною сіткою переважає в тих випадках, коли повинно проводитися інтерполювання.

Гістограма

Гістограма за формою являє собою прямокутники, орієнтовані відносно осі ординат або абсцис. Графічна величина, що зображується на гістограмі, представлена площею прямокутного стовпчика і, якщо ширина всіх стовпчиків однакова і незмінна, їх висота є прямо пропорційною зображуваним величинам.

Діаграма

Діаграма характеризується більшою наочністю та швидкістю зчитування даних, а також меншою імовірністю помилок.

Переважають наступні типи діаграм.

1. Кругова діаграма, в якій діапазон змінної величини або розмір якого-небудь показника представлений колом (100 %). Сектори кола означають частку того або іншого об'єкта. На круговій діаграмі зручно відобразити процеси і явища, що допускають розчленовування за якою-небудь ознакою.

2. Стовпчикова діаграма, в якій розташування прямокутників (стовпчиків) показує відносні розміри досліджуваного явища. Розташування прямокутників може бути горизонтальним, один під одним, починаючи з деякої загальної лінії, або вертикальним, поруч один з одним. У останньому випадку всі прямокутники стоять на загальній горизонталі.

Діаграми не мають координатних осей, а необхідні числові помітки розміщуються, як правило, на самій діаграмі. Частини діаграми можна по-різному заштрихувати. Безпосередньо поблизу діаграми, або у поясненні після назви, потрібно розшифрувати тип штриховки.

Навчальне видання

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Навчально-методичний посібник

Лугова Ганна Арнольдівна
Гавва Катерина Миколаївна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. _.

Наклад ___ пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44