

Міністерство освіти і науки України
Кіровоградський національний технічний університет
Кафедра загального землеробства

Фізіологія рослин з основами біохімії

Частина I

Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт з фізіології рослин з основами біохімії згідно вимог кредитно модульної системи навчання для студентів напрямку підготовки 090101 – Агрономія

Кіровоград, 2014

Міністерство освіти і науки України
Кіровоградський національний технічний університет
Кафедра загального землеробства

Фізіологія рослин з основами біохімії

Частина I

Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт з фізіології рослин з основами біохімії згідно вимог кредитно модульної системи навчання для студентів напряму підготовки 090101 – Агрономія

Затверджено на засіданні кафедри загального землеробства. Протокол № 10 від 19.03.2014 р.

Кіровоград, 2014

Фізіологія рослин з основами біохімії для студентів спеціальності 090101 – Агрономія / Укладачі: доцент **Мостіпан М.І.**, асистент **Корнічева Г.І.**
Кіровоград: КНТУ, 2014. – 42 с.

Рецензент: кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри загального землеробства **Кулик Г.А.**

Зміст

Вступ	4
Модуль I	
Фізіологія рослинної клітини	6
Лабораторна робота № 1. Спостереження явища плазмолізу і деплазмолізу	7
Лабораторна робота № 2. Визначення проникненості живої та мертвої протоплазми для клітинного соку	8
Водообмін у рослин	10
Осмотичний тиск	10
Лабораторна робота № 3. Визначення осмотичного тиску клітинного соку методом вимірювання відрізків	11
Модуль II	
Транспірація рослин	15
Лабораторна робота № 4. Методи визначення транспірації та її показники	16
Лабораторна робота № 5. Визначення інтенсивності транспірації і відносної транспірації за ваговим методом	18
Фотосинтез	20
Лабораторна робота № 6. Визначення інтенсивності фотосинтезу методом асиміляційної колби	24
Лабораторна робота № 7. Визначення величини листкового індексу	25
Модуль III	
Дихання у рослин	29
Лабораторна робота № 8. Визначення інтенсивності дихання по кількості виділеної вуглекислоти	33
Лабораторна робота № 9. Визначення коефіцієнту дихання у рослин	35
Лабораторна робота № 10. Визначення втрати сухих речовин при проростанні насіння	36
Рекомендована література	42

Вступ

Фізіологія рослин – це наука, яка вивчає функціональну активність рослинних організмів та механізми окремих функцій рослинних систем різних рівнів організації їх – від субклітинних структур до багатоклітинних цілісних рослин. Тому предметом фізіології є функції живих рослинних організмів, їхніх органів, тканин, клітин та надклітинних компонентів, а також причини тих або інших проявів їхньої життєдіяльності. Метою фізіології рослин є пізнання закономірностей життєвих функцій рослин та розкриття їхніх механізмів, формування уявлення про структурно-функціональну організацію рослинних систем різних рівнів.

Живим системам, в тому числі рослинному організму, притаманна вища форма цілісності, нерозривний зв'язок та взаємозумовленість складових його компонентів. Одним із проявів цілісності є те, що незважаючи на велике значення кожної окремої функції, життєдіяльність організму в цілому залежить від того, яким чином конкретна функція пов'язана з іншими, і як ці співвідношення змінюються зі зміною умов навколишнього середовища.

Виняткова складність хімічного складу, морфологічної будови, тісний взаємозв'язок структури і функції, залежність процесів обміну речовин від стану структур, динамічність останніх – такі специфічні властивості об'єкта досліджень фізіології рослин. Проблеми та завдання фізіології рослин настільки широкі та складні, що вирішення їх потребує застосування цілого комплексу тонких фізико-хімічних методів, різноманітних експериментальних та теоретичних підходів. Саме тому ця дисципліна входить у ранг точних фундаментальних наук.

Важливим аспектом фізіології рослин є також практична направленість її досліджень, завдяки чому ця наука цілком обґрунтовано вважається теоретичною основою раціонального землеробства та біотехнології рослин.

Входячи до циклу ботанічних дисциплін, фізіологія рослин має тісні взаємозв'язки з біохімією, біофізикою, імунологією, генетикою, математичним моделюванням, найтісніше пов'язана з фізіологією тварин. Адже якщо рослини та тварини, як і все живе, походять від одного кореня, то все живе повинно володіти певними спільними рисами, як наприклад, дихання, живлення, подразливість, самовідтворення тощо. У зв'язку з цим ми будемо, по можливості, постійно підкреслювати загальнобіологічні закономірності та шукати взаємозв'язки між окремими фізіологічними явищами.

Щоб пізнати життя рослини, слід насамперед проаналізувати всі окремі прояви її життєдіяльності, детально вивчити ті фізичні та хімічні явища, які лежать в основі життєвих процесів. Цьому служить аналітичний метод дослідження. Однак, пізнавши окремі складові частини, фізіолог повинен відновити картину життєдіяльності рослинного організму як єдиного цілого. Тому за аналітичним методом слід застосовувати синтетичний метод. Використовуючи цей метод, потрібно врахувати особливості перебігу різних життєвих процесів у різних конкретних видів та сортів рослин, залежність їх від умов навколишнього середовища.

Впровадження синтетичного методу поряд із загальною фізіологією привело до виникнення фізіології окремих культур, прикладної фізіології. Однак фізіолог для свого синтезу (експериментального або логічного) не може задовольнитися лише аналізом життєвих явищ, він повинен знати історію розвитку організмів. Тому поряд з експериментальним порівняльним методом фізіолог повинен використати як доповнення історичний метод.

Як відомо, причину завершеності (досконалості) органічних форм пояснює еволюційна теорія. Тому в даний час ми стаємо свідками посилення зв'язків з еволюційним вченням та виділенням перспективного розділу – еволюційної фізіології. Вона вивчає розвиток пристосувальних реакцій в онтогенезі при зміні умов навколишнього середовища, а також історичний розвиток самого онтогенезу, тобто функції і структур, загального метаболізму та окремих ланок його в рослині. Іншими словами, вивчення функціональних пристосувань в онто- та філогенезі – найбільш загальне завдання еволюційної фізіології.

Фізіологія рослин, як підкреслював К. А. Тімірязєв, вивчає перетворення речовини, енергії та форми у рослин. Однак тепер, коли успішно розвивається загальна теорія регуляції складних систем і багато чого з'ясовано в області саморегуляції рослинних організмів, до цієї тріади слід додати вивчення перетворення інформації, оскільки всі особливості і потенційні можливості рослини, що формуються в процесі росту і розвитку, матеріалізуються генетичним апаратом лише при асиміляції речовини, енергії та інформації з навколишнього середовища. Саме навколишнє середовище виступає як фактор, який сприяє перетворенню потенційних можливостей геному в специфічні процеси онтогенезу. В цьому ми вбачаємо діалектичну єдність між вміщеною в геномі клітин інформацією та тією, що надходить зовні.

В методичних рекомендаціях приводиться короткий конспект лекцій по всіх темах з фізіології рослин з основами біохімії. Головна їх мета полягає в тому, щоб надати допомогу студентам при підготовці до виконання лабораторних робіт. Після кожної теми приводиться перелік контрольних запитань, які необхідні для самоконтролю знань по засвоєнню тієї чи іншої теми. Усі лабораторні роботи поділено на три модулі. Кожен модуль оцінюється певною кількістю балів, яка вказана у таблиці 1.

Таблиця 1

Модуль	I	II	III
Бали	12	16	12

Модуль I

Тема: Фізіологія рослинної клітини

Тіла рослинних організмів складаються із елементарних клітин. Вони є основою життя рослин. В клітинах відбуваються безперервні біохімічні процеси, без яких життя рослин неможливе. Ріст і розвиток рослин відбувається завдяки діленню клітин.

В хімічному відношенні клітини складаються із води (80-85 %), білків (10%), нуклеїнових кислот (1,1%), вуглеводів та ліпідів (2%), інших органічних речовин (0,4 %), мінеральних речовин (1,5 %).

Вода в клітинах знаходиться в двох формах: вільна і зв'язана.

Для рослинної клітини, як живої системи, характерні не окремі біохімічні реакції, а певна послідовність в якій вони відбуваються. Велику роль в біохімічних процесах відіграють біологічні каталізатори – ферменти.

Ферменти – це речовини білкової природи, які створюються в процесі життя рослин і своєю участю в обміні речовин забезпечують єдність між організмом і зовнішнім середовищем.

Ферменти ділять на однокомпонентні і двокомпонентні. Перші складаються лише із білкових молекул, другі – із білкової частини, яка носить назву апоферменту і органічної сполуки небілкової природи – коферменту. В двокомпонентних ферментах білок-носії називають також фероном, а небілкову активну групу – агоном.

Каталітичні властивості ферментів визначаються головним чином їх активним центром, який складається із 250-500 амінокислотних залишків.

Біохімічні реакції між двома видами молекул можуть відбуватися лише за умови їх активації, тобто у випадку отримання додаткової енергії. Фермент знижує енергію активації, необхідну для даної біохімічної реакції, спрямовуючи її через проміжні реакції, які потребують меншої кількості енергії.

Міжнародним біохімічним Союзом в 1961 році ферменти класифікували на шість класів:

- 1) Оксидоредуктази,
- 2) Трансферази,
- 3) Гідролази,
- 4) Ізомерази,
- 5) Ліази,
- 6) Лігази.

В живій клітині завжди підтримується певне співвідношення води, солей і органічних сполук, що регулюється обміном речовин із зовнішнім середовищем, без якого життя рослин неможливе.

Здатність протоплазми пропускати через себе речовини носить назву напівпроникненості. Мінеральні речовини та органічні сполуки можуть проникати в клітину шляхом дифузії, адсорбції, активного переносу та піноцитозу.

Лабораторна робота № 1

Спостереження явища плазмолізу і деплазмолізу

Мета роботи: Спостереження явища плазмолізу і деплазмолізу під мікроскопом.

Матеріали та обладнання: цибулина, 1М розчин сахарози, лезо, препарувальна голка, скальпель, мікроскоп, предметне і покривне скло, фільтрувальний папір, спиртівка, пінцет, сірнику.

Пояснення. Для кожної клітини можливо підібрати наступні розчини: 1) гіпотонічний, у якого концентрація менша ніж концентрація клітинного соку: 2) ізотонічний – має концентрацію рівну концентрації клітинного соку: 3) гіпертонічний, у якого концентрація більша ніж концентрація клітинного соку. Якщо помістити рослинну клітину в гіпертонічний розчин то буде спостерігатися обезводнення клітини до тих пір, поки концентрація клітинного соку і зовнішнього розчину не урівноважаться. Внаслідок обезводнення протоплазми клітинні стінки скорочуються до повної втрати тургору. Після цього розпочинається плазмоліз – явище відставання протопласту від клітинної оболонки.

Спочатку протопласт відстає від клітинної оболонки в кутках клітини і носить назву куткового плазмолізу. Потім протопласт відстає в інших місцях із створенням увігнутих поверхонь і називається ввігнутим плазмолізом. В кінці протопласт приймає округлу форму і такий плазмоліз носить назву випуклого. У випадках великої в'язкості протопласта виникає судорожний плазмоліз, який характеризується нерівномірним відходженням протопласту від клітинної оболонки.

Речовини, які викликають явище плазмолізу називаються плазмолітиками. В їх якості використовують нетоксичні речовини, які погано проникають через цитоплазму у вакуоллю. До них належать сахароза, кухонна сіль та інші.

Процес зникнення плазмолізу називають деплазмолізом.

Хід роботи.

Зробити лезом зріз епідермісу клітини, якого містять антоціан. Зріз помістити у краплю води на предметне скло, накрити покривним склом і розглянути клітини під мікроскопом. Потім воду замінити на 1М розчин сахарози. Для цього із одного боку покривного скла нанести краплю розчину, а з протилежного боку за допомогою фільтрувального паперу відтягнути воду. Це повторюють 2-3 рази до повної заміни води розчином сахарози. В цей період необхідно проводити спостереження в мікроскоп. Через 10-15 хвилин плазмоліз буде добре помітним. Для спостереження явища деплазмолізу необхідно провести зворотню процедуру.

Завдання: провести спостереження за явищем плазмолізу і деплазмолізу.

Контрольні запитання:

1. Що таке плазмоліз і його причини?
2. Які речовини відносяться до плазмолітиків?
3. Чи здатні до плазмолізу мертві клітини?
4. З яких розчинів клітини здатні поглинати воду?

5. Поясніть водообмін між клітиною і зовнішнім середовищем при виникненні явища плазмолізу.
6. Клітина з концентрацією клітинного соку 0,4М поміщена в розчин який має концентрацію 0,6М. Поясніть водообмін між клітиною і розчином.
7. Два шматочки епідермісу відповідно з живими та мертвими клітинами помістили в гіпертонічний розчин сахарози. Яка картина буде спостерігатися при цьому? Чому?
8. Клітини листків рослин озимої пшениці, які перезимували помістили в гіпертонічний розчин сахарози. Плазмолиз наступив лише у клітинах 20% рослин. Які рослини добре перенесли зиму?
9. На якій підставі плазмоліз клітин використовують для діагностики ступеня пошкодження рослин під впливом несприятливих факторів зовнішнього середовища (мороз, посуха, високі температури)?

Лабораторна робота № 2

Визначення проникненості живої і мертвої протоплазми для клітинного соку

Мета роботи: навчитися визначати проникненість живої і мертвої протоплазми для клітинного соку.

Матеріали та обладнання: столовий буряк, спиртівка, пробірки, лезо.

Пояснення. Здатність протоплазми пропускати через себе речовина одержала назву проникненості. Вона пов'язана із біологічними мембранами такими як плазмолема і тонопласт. При їх пошкодженні протоплазма втрачає здатність утримувати ті речовини, які знаходяться в ній, а тому вони можуть вільно виходити в зовнішнє середовище. Легкість з якою поверхневі біологічні мембрани пропускають одні речовини і не пропускають інші вказує на особливості їх будови.

Різна проникненість мембран є важливою властивістю клітини. Це дозволяє їй утримувати відносно постійний склад в різних за хімічним складом середовищах. Завдяки цьому з-клітин водних рослин не вимиваються такі водорозчинні речовини як вуглеводи. Без неї існування підводних рослин було б взагалі неможливим. Але з іншого боку такі речовини як кисень, що виникає у клітинах при фотосинтезі, та вуглекислота - при диханні, вільно проходять через поверхневі протоплазматичні мембрани. Досить легко проникають через мембрани також мінеральні солі та вода. Плазмолема в дуже слабкій мірі прониклива для сахарів, білків, амінокислот та водневих іонів. Не дивлячись на це клітини зеленої паренхіми, в яких проходить синтез вуглеводів, здатні пропускати їх через свою протоплазму в інші клітини.

Плазмолема і тонопласт мають різну будову. Плазмолема є молекулярною мембраною із ліпідів, а тонопласт побудований із двох шарів ліпідів. У зв'язку з різною будовою їм властива і різна проникненість. Плазмолема більш прониклива у порівнянні із тонопластом.

Проникненість протоплазми залежить від багатьох факторів: хімічного складу, будови речовин, електричного заряду як на біологічних мембранах, так і на речовинах, що проникають в клітину. Вплив температури на швидкість

проникнення речовин виявляється лише для тих, що легко проникають в клітину.

Вибіркова проникненість характеризує властивість живої протоплазми зберігати константність внутріклітинного середовища. При пошкодженні клітини цитоплазма втрачає цю властивість і речовини вільно виходять із клітини. Ступінь пошкодження корелює з кількістю речовин, що виділяються у навколишнє середовище. Таким чином, інтенсивність виходу речовин із клітини служить критерієм її пошкодження.

Жива протоплазма втрачає властивість напівпроникненості при дії на клітину високих та низьких температур, токсичних речовин та солей важких металів внаслідок коагуляції колоїдів.

Хід роботи.

Вирізати із очищеного столового буряка кубики із стороною на більше 1 см. Їх добре промити водою і потім помістити в наступні пробірки:

1. В пробірку № 1 налити 5мл. водопровідної води;
2. В пробірку № 2 із шматочком буряку влити воду, потім кип'ятити на протягом 3 хвилин для того щоб убити клітини. Після цього гарячу воду зливають і кубик буряку заливають 5 мл холодної води;
3. В пробірку № 3 налити 5мл. 30% оцтової кислоти;
4. В пробірку № 4 налити 5мл. 50% спирту.

Через 30 хвилин пробірки стружують і порівнюють забарвлення розчину в кожній пробірці.

Завдання: Визначити проникненість живої і мертвої протоплазми, зробити малюнки та висновки.

Контрольні запитання:

1. Що таке проникненість протоплазми?
2. Від яких клітинних структур залежить проникненість протоплазми?
3. Які фактори можуть привести до втрати клітиною проникненості?
4. Наведіть приклади, які підтверджують втрату клітинами проникненості.
5. Яке значення має проникненість протоплазми клітин в житті рослин?

Запитання для самостійної роботи

1. Будова клітини та функції окремих клітинних органел.
2. Хімічний склад клітини.
3. Будова і властивості ферментів.
4. Класифікація ферментів та роль окремих груп ферментів в житті рослин.
5. Теорія ферментативного каталізу.
6. Білки і їх значення в житті рослин.
7. Вуглеводи та їх значення.
8. Ліпіди та їх значення.
9. Конститутивні і адаптивні ферменти. Ізоферменти.
10. Фізичні властивості протоплазми і їх значення в житті рослин.
11. Механізми надходження органічних і мінеральних речовин у клітину.

Тема: Водобмін у рослин

Осмотичний тиск

Вода є необхідною умовою існування рослин на Земній кулі. Вміст води в рослинах становить 70-80%, а в деяких випадках навіть 90%.

Вода в житті рослин відіграє велике значення. Це насамперед основне середовище, де відбуваються біохімічні процеси. Вода також виступає хімічною сполукою, що приймає участь в таких важливих процесах як гідроліз, синтез, фотосинтез та інші. Вона необхідна для охолодження рослин та переміщенню органічних і мінеральних сполук.

Надходження води в клітину підчиняється закономірностям осмосу. Осмос – це повільна дифузія молекул розчинника і речовин через напівпроникнені мембрани. Осмос і осмотичний тиск відіграє велику роль в біологічних явищах. Осмотичний тиск це сила, яку здатний розвивати розчин при поглинанні води через напівпроникнену перегородку. Рослинну клітину можливо розглядати як осмотичну систему, в якій розчином виступає клітинний сік, напівпроникненою перегородкою – біологічні мембрани плазмолема і тонопласт та розчинником – ґрунтова вода.

Осмотичний тиск визначають за формулою, яка запропонована Вант-Гофом:

$$P = C \cdot R \cdot T \cdot i, \text{ де} \quad (1)$$

P – осмотичний тиск, атм

C – концентрація, моль/л;

R – газова стала, 0,0083 кДж/(град моль);

T – абсолютна температура, $273^{\circ} + 1^{\circ}\text{C}$;

i – ізотонічний коефіцієнт.

В результаті осмотичного надходження води у вакуоль в клітині створюється гідростатичний тиск, який називається тургорним. При повному насиченні клітини водою осмотичний тиск (P) буде рівнятися тургорному (T).

$$P = T \text{ або } P - T = 0 \quad (2)$$

При випаровуванні води із клітин їх об'єм зменшується, а осмотичний тиск зростає, тому що в меншому об'ємі міститься така ж кількість розчинених у воді речовин. Тому при випаровуванні води із клітин, осмотичний тиск вищий за тургорний і він становить:

$$P = T + S, \quad (3)$$

Величина S – це сила, яка зумовлює надходження води у вакуоль і носить назву сисної сили або водного потенціалу:

$$S = P - T. \quad (4)$$

Вода в рослині надходить і рухається по них завдяки існуванню трьох механізмів:

1. Кореневий тиск;
2. Транспірація;
3. Сили зчеплення між молекулами води.

Кореневий тиск це сила, яка обумовлює рух водного розчину в живих клітинах і виділення його в судини. В основі виникнення кореневого тиску

лежить осмотичний процес. Активний рух води в рослинах, який виникає внаслідок кореневого тиску проявляється в явищах плачу рослин та гутації.

Плач рослин це виділення водяного розчину через пошкоджені органи у рослин. Гутація – виділення рослинами води через гідатоми листків.

Лабораторна робота №3

Визначення осмотичного тиску клітинного соку методом вимірювання відрізків

Мета роботи: навчитися визначати осмотичний тиск в клітинах рослин.

Матеріали та обладнання: бульба картоплі, 1М розчин хлористого натрію, вода дистильована, пінцет, скальпель, олівець для скла, лінійки.

Пояснення. Тиск, який здатний розвивати розчин, поглинаючи воду через напівпроникнену перегородку, називається осмотичним. Розмір осмотичного тиску прямопропорційний концентрації розчину і абсолютній температурі. Концентрацію клітинного соку, який є розчином органічних і мінеральних речовин, в більшості випадків визначають за величиною осмотичного тиску. Найбільш простий метод його визначення це вимірювання довжини відрізків в різних за концентрацією розчинах хлористого натрію.

Для визначення осмотичного тиску клітинного соку шляхом вимірювання відрізків їх поміщають в ряд розчинів відомої концентрації. Відомо, що гіпертонічні розчини будуть викликати обезводнення клітин відрізків, а ті в свою чергу будуть зменшуватися в розмірах. В гіпотонічних розчинах, навпаки, клітини будуть поглинати воду і відрізки збільшуватимуться. В ізотонічних розчинах рух води не буде проходити і довжина відрізків залишатиметься без змін.

Визначивши концентрацію ізотонічного розчину, вираховують осмотичний тиск за формулою Вант-Гоффа :

$$P = RCT_i, \quad (5)$$

де P - осмотичний тиск, атм;

R - універсальна газова стала (0,0823 кДж /(град моль));

T - абсолютна температура ($273^\circ + 1^\circ\text{C}$);

C - ізотонічна концентрація, моль/л;

i - ізотонічний коефіцієнт.

Для розчинів електролітів ізотонічний коефіцієнт залежить від іонів, на які розкладається молекула і від ступеня дисоціації.

Значення ізотонічного коефіцієнту приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення ізотонічного коефіцієнту для кухонної солі при різних концентраціях

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

Хід роботи.

Приготувати по 20мл. розчинів NaCl наступних концентрацій 1,0; 0,8; 0,6; 4; 0,2 і 0,1 М. Взяти 7 пробірок і налити в першу із них дистильовану воду, а в наступні - розчини NaCl вищевказаних концентрацій.

Із бульби картоплі вирізати відрізки товщиною 1-2 мм і довжиною 25-30 мм. їх ретельно виміряти з точністю до 0,5 мм. Під час вирізання відрізків не слід допускати їх підсихання, або ж попадання на них води.

Помістити по одному відрізку в пробірки. Вони повинні бути повністю покриті розчином. Через 30 хвилин дістати відрізки із пробірок і провести їх вимірювання. Результати записати до таблиці 3.

Таблиця 3

Результати вимірювання відрізків

Показник, мм	Концентрація розчину, М						
	Вода	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Початкова довжина відрізу							
Довжина відрізу через 30 хвилин							
Зміна довжини відрізу							

Завдання: визначити осмотичний тиск в клітинах бульби картоплі.

Контрольні запитання:

1. Що таке осмотичний тиск?
2. Від яких факторів залежить осмотичний тиск?
3. Яка залежність між осмотичним тиском і сисною силою клітин?
4. У яких рослин більший осмотичний тиск: у рослин, що ростуть на засоленних ґрунтах, чи звичайних?
5. Чому у рослин степової зони більший осмотичний тиск ніж у рослин Полісся?
6. Розрахуйте сисну силу клітинного соку, якщо відомо, що в розчині з концентрацією 0,3 М розміри клітин збільшилися, а в розчині з концентрацією 0,4 М залишилися без змін. Температура під час досліду становить 25°C.
7. Клітина знаходиться в стані повного насичення водою. Осмотичний тиск клітинного соку становить 0,8 кПа. Розрахуйте сисну силу і тургорний тиск клітини.
8. Шматочки однієї і тієї ж рослинної тканини поміщені в розчини, осмотичний тиск яких становить 5,0; 6,0; 7,0; 10,0; 12,0; 16,0; 18,0 і 20,0 кПа, осмотичний тиск клітинного соку 15,0 кПа. В яких розчинах клітини будуть: поглинати воду, віддавати воду, знаходитися в стані плазмолізу?
9. Клітина знаходиться в стані початкового плазмолізу. Розрахуйте осмотичний і тургорний тиск даної клітини, якщо сисна сила її становить 5 атм.
10. Сисна сила клітини становить 5 атм. Розрахуйте тургорний тиск клітини, якщо відомо, що осмотичний становить 12 атм.

11. Клітина поміщена в розчин, концентрація якого становить 0,6 М.
Поясніть рух води, коли відомо, що осмотичний тиск клітини складає 10 атм., а температура розчину 15°C.

Запитання для підготовки до складання першого змістовного модуля

1. Вміст води у клітині активно вегетуючих рослин
2. Вміст білків у клітині активно вегетуючих рослин
3. Вміст мінеральних речовин у клітині активно вегетуючих рослин
4. Кількість вільної води від загального її вмісту у клітині
5. Вміст зв'язаної води у клітині
6. Як змінюється співвідношення між вільною та зв'язаною водою у клітинах озимих польових культур в осінній період вегетації?
7. Дайте визначення білкам як органічним сполукам
8. Вміст карбону у білкових молекулах
9. Вміст кисню у білкових молекулах
10. Яка кількість амінокислот входить до складу білкових молекул рослин?
11. Які фактори визначають властивості білкових молекул?
12. Яка відповідь містить найбільш повний перелік функцій білків?
13. Дайте визначення первинної структури білкової молекули
14. Дайте визначення вторинної структури білкової молекули
15. Дайте визначення третинної структури білкової молекули
16. Дайте визначення четвертинної структури білкової молекули
17. Які типи зв'язків зберігаються у білковій молекулі після її денатурації?
18. Дайте визначення протеїнів
19. Дайте визначення протеїдів
20. Дайте визначення лікопротеїдів
21. Охарактеризуйте альбуміни
22. Охарактеризуйте глутеліни
23. Визначте основну функцію молекули ДНК
24. Виберіть відповідь з повним переліком складових частин молекули РНК
25. Основне призначення рибонуклеїнових кислот
26. Основне призначення ДНК
27. Дайте визначення ліпідів
28. Дайте визначення тригліцеридів
29. Яка найбільш поширена кислота серед насичених жирних кислот?
30. Яка найбільш поширена кислота серед ненасичених жирних кислот?
31. Чи переміщуються ліпіди у межах рослини?
32. В чому виявляється будівельна функція ліпідів?
33. В чому виявляється фізіологічна функція ліпідів?
34. Дайте визначення гліколіпідів
35. Дайте визначення вуглеводів
36. Який із олігосахаридів є найбільш поширеним?
37. Який із полісахаридів є найбільш поширеним?
38. Виберіть відповідь, де присутні лише олігосахариди
39. Дайте визначення халатам

40. Яка із функцій не властива мінеральним речовинам клітини?
41. Які розміри мають більшість рослинних клітин?
42. Основні складові частини протопласту
43. Зовнішній шар цитоплазми
44. Які розміри мають клітини прокаріотів?
45. Яка кількість хромосом міститься у клітинах прокаріотів?
46. Що відносять до прокаріотів?
47. Основні функції ядра
48. Розкрийте роль ядерець, що містяться у ядрі клітини
49. Активна стадія розвитку пластиду рослинної клітини
50. Основна функція мітохондрій
51. Особливість мітохондрій
52. Фаза дегенерації у розвитку пластиду рослинної клітини
53. Які клітинні органели здійснюють процес фотосинтезу?
54. Які клітинні органели здійснюють біосинтез жирів?
55. Особливість хлоропластів
56. У біосинтезі білків приймають участь
57. Які клітинні органели приймають участь у автолізі води?
58. Які клітинні органели приймають участь у перетворенні високомолекулярних продуктів, що надійшли до клітини шляхом піноцитозу?
59. Одна із фізіологічних функцій вакуолі клітини
60. Основна хімічна речовина клітинної оболонки рослинної клітини
61. Які рослинні клітини містять вакуолі?
62. Одна із головних функцій діктісом
63. Що таке плазмо лема?
64. Основна функція плазмолем
65. Ендоплазматичний ретикул
66. Дайте визначення Фізіології рослин з основами біохімії
67. Для якої науки фізіологія рослин виступає теоретичною базою?
68. Охарактеризуйте біохімічне направлення у фізіології рослин
69. Охарактеризуйте біофізичне направлення у фізіології рослин
70. Охарактеризуйте онтогенетичне направлення у фізіології рослин
71. Охарактеризуйте еволюційне направлення у фізіології рослин
72. Охарактеризуйте еволюційне направлення у фізіології рослин
73. Охарактеризуйте синтетичне направлення у фізіології рослин
74. В якому році відкритий процес фотосинтезу?
75. Хто із вчених відкрив процес фотосинтезу?
76. Основоположники фізіології рослин на теренах СНД
77. Хто із вчених є основоположником фізіології рослин в Україні?
78. Хто із вчених на теренах СНД підготував перший підручник по фізіології рослин?
79. Засновник та творець московської школи фізіологів рослин
80. Хто із вчених-фізіологів підготував та видав працю у 1901 році "Сторічні підсумки фізіології рослин"?
81. Засновник кафедри фізіології рослин у Петербурзькому університеті

82. Провідна установа по проведенню досліджень по фізіології рослин в Україні
83. Періодичні вітчизняні видання, що публікують наукові статті по фізіології рослин
84. Основний метод досліджень у фізіології рослин
85. За допомогою якого методу у фізіології рослин досліджують шляхи перетворення мінеральних речовин у рослинах?
86. За допомогою якого методу можна розділити суміш речовин на складові частини?
87. Яку перевагу має метод електрофорезу перед хроматографічним методом?
88. Офіційна дата зародження фізіології рослин
89. В якому році у Світі був виданий перший підручник по фізіології рослин?
90. Хто є автором першого у Світі підручника по фізіології рослин ?
91. Основні напрямки наукових досліджень К.А.Тімірязєва
92. Хто із вчених довів участь води у процесі фотосинтезу?
93. Хто із вчених запропонував термін фізіологія рослин?

Модуль II

Тема: Транспірація рослин

Транспірація це процес випарування води рослинами. Вона відіграє важливу роль в житті рослин. Насамперед вона є одним із головних механізмів надходження і переміщення води по рослинах і особливо високорослих. Так, у багаторічних порід дерев всисна сила транспірації в багато разів перевищує силу кореневого тиску. Транспірація також позитивно впливає на повітряне живлення рослин та захищає їх від перегрівання. Розрізняють продихову і кутикулярну транспірацію. У більшості рослин на першому місці знаходиться продихова транспірація. Її інтенсивність залежно від умов навколишнього середовища складає від 15 до 250 г/м²/год. За своє життя рослини поглинають і транспірують величезну кількість води. Про це переконливо свідчать транспіраційні коефіцієнти. У сільськогосподарських культур вони становлять від 200 до 1050, тобто на 1 тону сухої речовини витрачається 200 - 1050 т. води. Рослини здатні регулювати транспірацію шляхом закриття і відкриття продихів. У деяких рслин в процесі еволюції створилися пристосування, які зменшують інтенсивність транспірації. До них відносяться кутикула, опушення, поглиблене розміщення продихів та інші.

Сили зчеплення між молекулами води як фактор переміщення води по рослинах забезпечують безперервність водних потоків. Відомо, що в рослинах вода і розчинені в ній речовини переміщуються шляхом дифузії і у вигляді току. Виділяють висхідний тік, по якому рухаються вода і розчинені речовини від кореневої системи в надземні органи, і тік пластичних речовин.

Дефіцит води в ґрунті може викликати у рослин тимчасове або довгострокове в'янення. При тимчасовому в'яненні відмічається припинення процесу фотосинтезу і різке підвищення інтенсивності дихання. Проте, протягом ночі водний баланс при тимчасовому в'яненні стає позитивним. При довгостроковому в'яненні, крім зупинки фотосинтезу і підвищення

інтенсивності дихання, спостерігається порушення діяльності ферментів, змінюється хід інших фізіологічних процесів та відмічається відмирання корневих волосків. Після довгострокового в'янення рослини можуть відновити позитивний водний баланс лише після рясних дощів та формування нових корневих волосків.

Для отримання високих і стабільних урожаїв сільськогосподарських культур в зонах недостатнього та нестійкого зволоження застосовують 11 зрошення. Для найбільш ефективного використання води при зрошенні важливо правильно визначити і раціонально розподілити поливну норму в період вегетації рослин і встановити надійні та прості методи діагностики стану водного режиму. З цією метою рекомендується використовувати такі показники:

- концентрація клітинного соку;
- осмотичний тиск клітинного соку;
- сисну силу листків; стан продихів.

Лабораторна робота № 4

Методи визначення транспірації та її показники

Мета роботи: вивчити методи визначення транспірації її показники і навчитися використовувати їх на практиці.

Матеріали та обладнання: індивідуальне завдання для розрахунків продуктивності транспірації, коефіцієнта транспірації.

Пояснення. Процес випаровування води рослинами називають транспірацією.

Транспірацію можна визначати різними методами, які об'єднуються в три групи: вагові, які враховують транспірацію по зміні маси рослин за відповідний відрізок часу; методи по визначенню кількості водяної пари і методи по визначенню води, що поглинається кореневою системою замість тієї, що випаровується при транспірації.

Вагові методи мають переваги перед іншими тому, що дають реальну величину води, що транспірується рослинами. Для цього рослини вирощують в сосудах і через відповідні відрізки часу їх зважують. Різниця між початковою і кінцевою вагою буде свідчити про кількість води, яку рослини випарували за певний відрізок часу. Використовують нижче приведену формулу.

$$T = M_1 - M_2, \quad (6)$$

де T - кількість води яка витрачена на транспірацію, г;

M_1 - маса рослини на початку дослідження, г;

M_2 - маса рослини в кінці дослідження, г.

Визначення транспірації в польових умовах проводять за зміною маси зрізаних частин рослин в перші декілька хвилин після зрізання. За цей відрізок часу у зрізаній рослині або її частини транспірація зберігається на тому ж рівні як і у живої рослини. Цей метод був вперше рекомендований Івановим і забезпечив добрі результати для рослин з невисокою інтенсивністю транспірації. Проте, у рослин з високою інтенсивністю транспірації в перші хвилини після перерізування стебла спостерігається різке підвищення

інтенсивності транспірації. У зв'язку з цим Ріхтер запропонував під час зрізання стебла зріз негайно обробляти рідиною, яка швидко згущується.

При визначенні транспірації по урахуванню водяної пари, що виділяється під час транспірації, рослину або ж її частину поміщають у скляну камеру через яку продувають повітря і за допомогою гігроскопічних речовин (P_2O_5 і $CaCl_2$) зв'язують воду, що міститься у повітрі. Цим методом можна визначати транспірацію як в польових так і в лабораторних умовах. Необхідно пам'ятати, що за таких умов можлива похибка при визначенні транспірації.

Дуже часто при зв'язуванні водяної пари використовують гігроскопічні речовини, які змінюють своє забарвлення при поглинанні води. На цьому базується хлоркобальтовий метод. Сухий фільтрувальний папір насичений хлористим кобальтом має синій колір, тоді як при поглинанні води стає рожевим. По швидкості зміни кольору паперу, який розміщують між листком і скляною пластинкою, судять про інтенсивність транспірації. Метод дозволяє досить швидко виявити відмінності у транспірації у великій кількості рослин.

При визначенні транспірації за кількостею води, яка поглинається рослинами їх поміщають в потометри і спостерігають за переміщенням води у боковій трубці.

В той же час добре відомо, що кількість води, яка поглинається рослинами, не завжди співпадає з кількістю води витраченою на транспірацію. Тому даний метод більш достовірно характеризує сисну силу кореневої системи, а не інтенсивність транспірації.

Для визначення транспірації у рослин, які ростуть у полі поки що не рекомендовано надійних методів. В цьому випадку для визначення показників транспірації виходять із позицій балансу води у ґрунті на площі, яка зайнята рослинами. Це так званий балансний метод. Прихід води визначають за кількостею опадів, що випали на дану площу та запасів води у ґрунті на початку проведення досліджень. Витрати вода складають наступні показники: запаси води у ґрунті в кінці досліджень, випарування води з поверхні ґрунту, кількість води, що проникає у нижні шари ґрунту і є недоступною для рослин. Різниця між надходженням води і її витратою буде становити транспірацію рослин.

Показники транспірації.

Кількість сухої речовини, що створюється рослиною при проходженні через неї 1 кг води називається продуктивністю транспірації. В середньому вона складає 3 грами і змінюється від 1 до 8 грамів сухої речовини на 1 кг води.

Кількість води, що випаровується рослинами з одиниці листової поверхні за одиницю часу називається інтенсивністю транспірації. В більшості випадків вона складає від 15 до 250 грамів на 1 см^2 за 1 годину в день і 1 - 20г. на 1 см^2 вночі. Цей показник може виражатися в грамах на 1 см^2 , 1 дм^2 , 1 м^2 за годину.

Транспіраційний коефіцієнт показує, яку кількість води рослини витрачають на створення одиниці сухої речовини. Його величина визначається як біологічними властивостями рослин так і природно-кліматичними умовами.

Сільськогосподарські культури мають наступні транспіраційні коефіцієнти:

1. Озима пшениця

440-600;

2. Яра пшениця	338-513;
3. Озиме жито	500-800;
4. Яре жито	350;
5. Ярий ячмінь	310-534;
6. Овес	376 - 800;
7. Кукурудза	250-400;
8. Просо	200-400;
9. Рис	500 - 80;
10. Сорго	280-37;
11. Гречка	500-600;
12. Соняшник	500 - 600;
13. Горох	270-800;
14. Картопля	300 - 636;
15. Цукрові буряки	350 - 450;
16. Люцерна	844.

Завдання: Вивчити і описати методи визначення транспірації та зробити розрахунки показників транспірації згідно індивідуального завдання.

Контрольні запитання:

1. Назвіть методи визначення транспірації?
2. Що таке продуктивність транспірації?
3. В чому полягає суть хлоркобальтового методу визначення транспірації?
4. У однієї рослини транспіраційний коефіцієнт становить 300, а у іншої продуктивність транспірації складає 5 г/л. Яка рослина більш економно витрачає воду?
5. Які фактори впливають на величину транспіраційного коефіцієнту?
6. Розрахуйте транспіраційний коефіцієнт дерева, яке випарувало за вегетаційний період 1,5 т води і накопичило за цей час 8 кг сухих речовин.
7. Продуктивність транспірації становить 4 г/л. Розрахуйте транспіраційний коефіцієнт.
8. За вегетаційний період рослини накопичили 4 кг сухих речовин і випарували за цей час 1125 кг води. Визначте продуктивність транспірації.
9. У одного виду рослин транспіраційний коефіцієнт становить 350, а у іншого продуктивність транспірації - 6 г/л. Яка рослина більш економно використовує воду. Обґрунтуйте.
10. У озимої пшениці в умовах Кіровоградської області транспіраційний коефіцієнт становить 375, а у проса в умовах Херсонської області продуктивність транспірації складає 4г/л. Яка культура є більш посухостійкою?

Лабораторна робота № 5

Визначення інтенсивності транспірації і відносної транспірації ваговим методом

Мета роботи: навчитися визначати інтенсивність транспірації та відносну транспірацію у рослин.

Матеріали та обладнання: кімнатні рослини , ваги ВЛТК-500, ножиці,

папір, фільтрувальний папір, вода.

Пояснення. Відносна транспірація це відношення інтенсивності транспірації до інтенсивності, випаровування з відкритої водної поверхні при однакових умовах. Вона характеризує здатність рослин регулювати транспірацію. Виражається у відсотках або ж у вигляді десяткового дробу. Якщо вона становить 0,1-0,3, то така рослина добре регулює свою транспірацію, 0,5-0,6 – середньо і 0,8-0,9 – рослина не здатна регулювати транспірацію.

Ваговий метод базується на зважуванні рослини або ж окремої її гілки за певний проміжок часу. Але робота з цілою рослиною складніша і тому в більшості випадків працюють із окремими гілками рослин. Їх зрізають (бажано під розтопленим парафіном для збереження водяних ниток в судинах) і двічі зважують. Інтервал між зважуваннями не повинен перевищувати 5 хвилин, тому що більш тривала експозиція приводить до в'янення листків і зменшення інтенсивності транспірації.

Хід роботи.

Зрізають гілку з рослини і швидко зважують її на вагах. Через 3-5 хвилин гілку знову зважують.

Площу листової поверхні визначають ваговим методом. Для цього на папері вирізають контури листків рослини і зважують. На такому ж папері вирізають квадрат 10 x 10 см і зважують. Площу листків визначають за співвідношенням:

$$A/B=C/S, \quad (7)$$

де А - вага квадрату 10 x 10 см, г;

В - вага паперових фігур листків рослини, г;

С - площа квадрату, см²;

С - площа листової поверхні, см².

Інтенсивність транспірації визначають по формулі:

$$I=n*60*10000/St, \quad (8)$$

де n - кількість води, що випарувала рослина під час досліду, г;

S - площа листків, см²;

t - тривалість досліду, хвилин;

60 - коефіцієнт переведу хвилин у години;

10000 - коефіцієнт переведу см² в м².

Для визначення відносної транспірації потрібно провести подібний дослід по визначенню інтенсивності випаровування води із відкритої водної поверхні при тих же самих умовах. Для цього використовують чашку Петрі з водою, яку зважують двічі з інтервалом 3-4 хвилини. Інтенсивність випарування визначають по формулі (7). Відносну транспірацію розраховують за наступною формулою:

$$BT = I/E, \quad (8)$$

де I - інтенсивність транспірації;

E - інтенсивність випаровування.

Завдання: Визначити інтенсивність транспірації та відносну транспірацію і зробити висновок.

Контрольні запитання:

1. Яке біологічне значення транспірації?
2. Назвіть види транспірації у рослин.
3. Що таке відносна транспірація?
4. Стебло рослини зважене безпосередньо після зрізання мало вагу 11,36 г, а через 3 хвилини - 11,07г. Площа листової поверхні 250см². Визначте інтенсивність транспірації.
5. Розрахуйте яку кількість води випарує рослина за 4 хвилини, якщо п інтенсивність транспірації становить 130 г/м²/ год., а площа листової поверхні 340 см².
6. Стебло рослини має площу листової поверхні 1,4 дм² і за 5 хвилин випарувало 0,08г води. При тих же умовах із відкритої водної поверхні площею 40 см² за 3 години випарувалося 0,7 г. Визначте відносну транспірацію.
7. Папіроброблений розчином хлористого кобальту і висушений до світло синього кольору був прикріплений до двох сторін листка дуба. На нижній стороні листка папір почервонів через 15 хвилин, тоді як на верхній лише через 2 години. Як пояснити отримані результати?
8. Обґрунтуйте чому листки верхніх ярусів рослин в'януть пізніше, ніж нижніх при виникненні ґрунтової посухи? Чому в спекотні часи стебла рослин стають тоншими, а увечері їх діаметр збільшується?
9. Листок рослини і посудина з водою які мають однакові площі за один і той же відрізок часу випарували однакову кількість води. Продихи складають лише 1% площі листка. Поясніть.

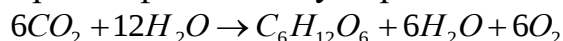
Запитання для самостійної роботи:

1. Водний режим і фізіологічні основи зрошення сільськогосподарських культур.
2. Значення антитранспірантів для сільськогосподарського виробництва.
3. Кореневий тиск як фактор поглинання води рослинами.
4. Стан води в клітинах рослин.
5. Рух води у рослинах.
6. Характеристика різних груп рослин за їх водним режимом.
7. Механізми поглинання води рослинами.
8. Транспірація у рослин та її біологічне значення.
9. Регуляція транспірації у рослин.
10. Вплив зовнішніх умов на інтенсивність транспірації у рослин.
11. Морфологічні та біологічні пристосування рослин до посухи.

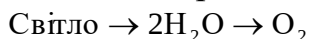
Тема: Фотосинтез

Фотосинтез це процес при якому відбувається поглинання сонячної енергії хлорофілом та іншими пігментами листків і перетворення її в хімічну, а також поглинання вуглекислого газу із повітря атмосфери і відновлення його в органічні сполуки із виділенням кисню.

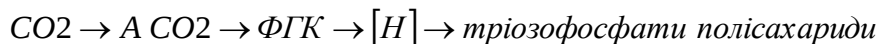
Процес фотосинтезу виражають наступним рівнянням:



Проте наведене рівняння не відображає фотосинтез як окисно-відновний процес і тому його можна виразити наступною схемою:



Акцептор



Таким чином, фотосинтез складається із взаємопов'язаних реакцій: окислення води до кисню і відновлення вуглекислого газу воднем до полісахаридів.

В процесі фотосинтезу приймають участь складні біологічні структури і клітинні системи. Фотосинтез відбувається в хлоропластах. Вони мають подвійну білково-ліпідну мембрану і заповнені біоколоїдами, які називаються строною. В стромі розташована ламелярна система, яка складається із тілакоїдів. Внутрішні порожнини тілакоїдів створюють єдину замкнуту систему, що називається фотосинтетичною системою хлоропласту.

В склад фотосинтетичних мембран входять зелені пігменти хлорофіли та каротиноїди.

Взагалі всі пігменти рослин класифікують на чотири групи: хлорофіли до яких належать хлорофіл а, хлорофіл в, хлорофіл с, хлорофіл d і бактеріохлорофіл; каротиноїди – комплекс жовтих пігментів; фікобіліни – входять до складу водорослів; флавоноїдні пігменти до яких належать антоціани, флавони і флавоноли.

В процесі фотосинтезу зелених рослин головну участь приймають зелені пігменти хлорофіли. Це комплекс органічних сполук, що містять чотири пірільних кільця і зв'язані між собою атомами магнію. Хлорофіл а і в відрізняються між собою не лише молекулярною масою, а й спектрами поглинання сонячної енергії. Хлорофіл а найбільш ефективно поглинає сонячні промені з довжиною хвилі 420 і 660 нм, а хлорофіл в - 435 і 643 нм.

Колір їх залежить від променів, які не поглинаються. Тому, зелений колір хлорофілу залежить від непоглинутих зелених променів.

Із загальної кількості сонячних променів в життєдіяльності рослин найбільш важливу роль відіграє проміння з довжиною хвилі 380-710 нм. Цей спектр називається фотосинтетично активною радіацією (ФАР). Загальна кількість сонячної радіації, що припадає на 1 гектар посіву за період вегетації в середньому складає 21,109 кДж/га, із них 8-10 кДж/га це ФАР.

Кількість ФАР, що поглинається посівом визначають за формулою, Дж/см² в 1 хвилину:

$$П = G - R - T_n + R_n, \text{ де} \quad (9)$$

П – поглинена радіація посівом;

G – сумарна радіація, яка надходить на посів;

R – радіація, відбита від посіву за верхні його межі;

T_n – радіація, що проникла до ґрунту;

R_n – радіація, відбита від ґрунту під рослинністю.

Ефективність фотосинтезу характеризують коефіцієнтом корисної дії (ККД), який визначають за формулою:

$$E = B \cdot 100 / A, \text{ де} \quad (10)$$

A – кількість енергії, що надійшла за період вегетації на 1 га, кДж;

B – кількість енергії, яка накопичена в органічній масі врожаю, кДж.

Коефіцієнт корисної дії для сільськогосподарських культур складає 0,5-1%, а теоретично можливий – 4-6 %.

Сучасні наукові уявлення про фотосинтез базуються на квантовій теорії світла. Згідно її положень, кожна молекула речовини при біохімічних реакціях поглинає частину світла – фотон або квант. Він має певний запас енергії для того, щоб провести у молекулі відповідні зміни. Вважається, якщо запас енергії менший, ніж необхідно енергії для даної реакції, то вона не відбудеться, а якщо він більший, то реакція відбудеться, але витрати енергії будуть непродуктивними.

Енергія світла (E), що переноситься фотоном або квантом визначається за формулою:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \text{ де} \quad (11)$$

h – світлова константа Планка ($6,21196 \cdot 10^{-34}$ Дж/с),

ν – частота коливань даної хвилі, Гц;

λ – довжина хвилі, нм;

c – швидкість світла (приблизно $3 \cdot 10^8$ м/с).

В фізіології рослин досить часто використовується термін квантовий вихід фотосинтезу – це кількість молекул вуглекислого газу, що відновлюється воднем води при витраті 1 кванту світла. Він складає 0,25. Таким чином, можна вважати, що на відновлення 1 молекули CO₂ витрачається 4 кванти червоного світла.

В результаті багаточисельних досліджень встановлено, що на відновлення 1 молекули CO₂ витрачається 8-12 квантів світла. Сумарний запас їх енергії складає 1004-1506 кДж/моль, тоді як для відновлення 1 моля CO₂ необхідно 472 КДж. Енергії. Вважається, що енергія 4 квантів перетворюється в хімічну і накопичується в продуктах фотосинтезу, решта витрачається на проміжні біохімічні реакції фотосинтезу і в кінцевому результаті вона перетворюється в тепло.

Основними етапами фотосинтезу є:

1. Поглинання пігментами листків фотонів світла, що несуть сонячну енергію, яка переноситься на АДФ із створенням АТФ тобто відбувається фотосинтетичне фосфорилування;

2. Фотоліз води (реакція Хілла): $H_2O \rightarrow 2H^+ + O^{2-}$, при цьому протон водню переноситься на НАДФ із наступним синтезом НАДФН₂ і виділенням кисню.

3. Поглинання листками рослин CO₂ і взаємодія його з рибульозо-1,5 дифосфат із створенням двох молекул фосфогліцеринової кислоти (ФГК).

4. Відновлення ФГК воднем і синтез фосфогліцеринового альдегіду, який полімеризується до гексози. Під час даних біохімічних реакцій відбувається також регенерація рибульози.

Перші два етапи називаються світлової фази фотосинтезу, а два останніх – темної фази фотосинтезу.

Результатами досліджень встановлено, що вуглекислий газ вступає в цикл із створенням фосфогліцеринової кислоти шляхом приєднання його до рибульозо-1,5-дифосфату. Фосфогліцеринова кислота відновлюється воднем і перетворюється в фосфогліцериновий альдегід. Під дією ферментів остання речовина перетворюється в фосфодіоксіацетон, який взаємодіє з фосфогліцериновим альдегідом і синтезується фруктозо-1,6-дифосфат. Ця молекула є вихідною формою для синтезу сахарози та всіх інших вуглеводів рослин. Фруктозо-1,6-дифосфат може вступати в реакцію із фосфогліцериновим альдегідом в результаті якої синтезується рибульозофосфат, що є акцептором CO_2 . Тобто перетворення вуглекислого газу в процесі фотосинтезу має циклічний характер. Вищенаведена схема перетворення вуглекислого газу в процесі фотосинтезу носить назву циклу Кальвіна. Але, у зелених рослин CO_2 може включатися в органічні сполуки і іншим шляхом. Так, у рослин тропічного походження існує фотосинтетичне створення чотирьохвуглецевих сполук (аспартату і манату), яке відбувається в результаті приєднання CO_2 до фосфоенолпіровиноградної кислоти (ФЕП). Виділяють чотири етапи фосфоенолпіруватного поглинання CO_2 :

1. $\text{Піруват} + \text{АТФ} + \Phi_n \rightarrow \text{ФЕП} + \Phi\Phi + \text{АМФ}$
2. $\text{ФЕП} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{ЩУК} + \Phi_n$
3. Реакції перетворення ЩУК в малат і аспартат
4. Переміщення малата і аспарта до місць розташування ферментів циклу Кальвіна, відокремлення CO_2 і взаємодія його із рибульозо-1,6-дифосфатом. В результаті синтезується ФГК.

Таким чином, у даної групи рослин існує два взаємозв'язаних механізми поглинання CO_2 .

Для рослин C_4 характерна відсутність фотодихання і підвищений синтез органічних сполук. Вони світлолюбиві і позитивно реагують на цілодобове освітлення без різких змін температури в денні та нічні години.

Фотосинтез є складним фізіологічним процесом в якому проявляється взаємозв'язок рослин із навколишнім середовищем. Він залежить як від внутрішніх так і зовнішніх факторів. До того ж інтенсивність фотосинтезу неоднакова на протязі росту та розвитку рослин.

Поняття інтенсивності фотосинтезу потрібно відрізняти від продуктивності фотосинтезу.

Інтенсивність фотосинтезу це кількість CO_2 , що засвоюється одиницею листової поверхні в одиницю часу. Вона складає в межах 5-25 мг CO_2 на 1 дм² за годину. Чистою продуктивністю фотосинтезу називається відношення добового збільшення ваги рослин (в г) до площі листків. В більшості випадків вона складає 5-12 г сухої речовини на 1 м² за добу.

Існує ряд методів за допомогою яких можна визначити інтенсивність фотосинтезу рослин. Головними із них є наступні: 1) газометричне визначення інтенсивності фотосинтезу в природніх умовах; 2) радіометричний; 3) визначення чистої продуктивності фотосинтезу; 4) визначення інтенсивності фотосинтезу у водорості за кількістю виділеного кисню у воду; 5) манометричний; 6) метод

інфрачервоної спектрометрії.

У більшості рослин інтенсивність фотосинтезу зростає від початку розвитку до фази бутонізації або ж цвітіння, а потім починає зменшуватись.

На інтенсивність фотосинтезу значний вплив мають вміст хлорофілу в листках рослин, інтенсивність світла і його спектральний склад, температура, водозабезпеченість, мінеральне живлення, вміст вуглекислого газу в навколишньому середовищі та інші фактори.

Лабораторна робота № 6

Визначення інтенсивності фотосинтезу методом асиміляційної колби.

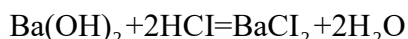
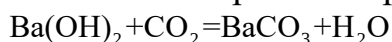
Мета роботи: навчитися визначати інтенсивність фотосинтезу у рослин методом асиміляційної колби.

Матеріали та обладнання: 1) кімнатні рослини або ж зрізані гілки рослин, 2) 0,025 н розчин $\text{Ba}(\text{OH})_2$, 3) 0,025 н розчин HCl із бюреткою, 4) фенолфталеїн, 5) однакові колби ємністю 1,5 - 3,0 л - 2 штуки, 6) резинові пробки для закриття колб, 7) лезо, 8) технічні ваги, 9) ножиці, 10) міліметровий папір.

Пояснення. Метод базується на визначенні кількості вуглекислого газу, що поглинається листками рослин при фотосинтезі. Гілку або ж окремих листок поміщають у колбу і виставляють на світло на відповідний проміжок часу. Частина вуглекислоти, яка міститься у колбі поглинається листками. Потім зв'язують вуглекислоту, яка не використана в процесі фотосинтезу надлишком лугу, після чого вільну кількість лугу титрують соляною кислотою. Подібний дослід проводять із контрольною колбою.

При умові, якщо дослідна і контрольна колби мають однаковий об'єм і в них було налито однакову кількість лугу, то кількість поглиненої вуглекислоти при фотосинтезі буде прямопропорційна різниці титрування дослідної і контрольної колб.

Для встановлення якій кількості CO_2 відповідає 1мл. використаної для титрування кислоти потрібно співставити рівняння реакцій:



Із наведених рівнянь видно, що 1 молю HCl відповідає 0,5 моля CO_2 , тобто $44 : 2 = 22$ г CO_2 .

При концентрації HCl 0,025 н в 1 мл цього розчину міститься 0,000025 моля HCl , що еквівалентно $22 \times 0,000025 = 0,00055$ г, або 0,55 мг CO_2 .

Даний метод забезпечує досить точні результати при умові, що всі операції по відкриванню і закриванню колб проводяться не торкаючись скла руками. Для більш достовірного визначення інтенсивності фотосинтезу дослід проводять в двох повторностях і крім цього враховують дихання, для чого одну колбу обгортають чорним папером.

Хід роботи.

Взяти дві однакові колби і обгорнути їх горла папером. Витримати їх в однакових умовах відкритими на протязі 20-30 хвилин для заповнення їх повітрям. Потім одночасно вставити в них пробки із отворами, закритими резиновими пробками.

Зрізати гілку або окремий листок і поставити в пробірку із водою. Швидким але спокійним рухом вставити гілку з листками в колбу. Виставити її на світло і відмітити час. На протязі досліду стежити за температурою повітря в колбах і в разі необхідності охолоджувати їх водою. Важливо щоб температура на початку і в кінці досліду була однакова.

Тривалість досліду повинна бути такою, щоб рослини поглинули не більше 25 % вуглекислоти, яка міститься в колбі. Експериментально встановлено, що тривалість досліду із літровими колбами не повинна перевищувати 5 хвилин.

Після закінчення досліду необхідно дістати гілку або ж окремі листки із асиміляційної колби. Контрольну колбу також потрібно відкрити на відповідний проміжок часу. В обидві колби налити по 20 мг Ва(ОН)₂ і 2-3 каплі фенолфталеїну.

Колби протягом 20 хвилин помірно стряхують, а потім проводять титрування 0,025 н НСІ до зникнення рожевого забарвлення.

Після визначення площі листової поверхні проводять розрахунки інтенсивності фотосинтезу по формулі:

$$F = (A - B) \cdot 0,55 \cdot 60 K / S t, \quad (12)$$

де А - кількість мг НСІ, що витрачена на титрування дослідної колби;

В - кількість мг НСІ, що витрачена на титрування контрольної колби;

К - поправка до титру НСІ;

0,55 - кількість мг СО₂, що відповідає 1 мг НСІ;

С - площа листків, дм₂;

Т - тривалість досліду у хвилинали;

60 - перетворення хвилин у години.

Завдання: визначити інтенсивність фотосинтезу у рослин.

Контрольні запитання:

1. Що таке фотосинтез і його значення?
2. Назвіть методи за якими можна визначити інтенсивність фотосинтезу?
3. Які основні етапи фотосинтезу?
4. Які особливості мають рослини С₄ фотосинтезу?
5. За 30 хвилин стебло з площею листової поверхні 340 см² поглинуло 12 мг СО₂. Визначте інтенсивність фотосинтезу.
6. Рослина спочатку була опромінена зеленими а потім червоними променями.
7. В яких променях буде спостерігатися більш інтенсивніше поглинання СО₂?
8. Поясніть, чому глибоководні морські водорості мають червоний колір?
9. Чому деякі види рослин опівдні влітку виділяють СО₂?

Лабораторна робота № 7

Визначення величини листового індексу

Мета роботи: навчитися визначати листовий індекс у сільськогосподарських культур.

Матеріали і обладнання: рослини ячменю або пшениці, вирощені у

вегетативних судинах, папір, терези, олівець, ножиці.

Пояснення. Основним фотосинтезуючим органом у рослин є листок. Звичайно, чим більш інтенсивно збільшується площа листової поверхні тим більше сонячної енергії поглинається рослинами, що в кінцевому результаті веде до зростання урожайності. Проте збільшення площі листків не завжди може вирішувати всіх питань продуктивності рослин на одиниці площі, так як це може привести до затінення одних листків іншими. В кожній ґрунтово-кліматичній зоні для кожного виду рослин або навіть сорту є оптимальна площа листків, яка забезпечує найбільшу продуктивність. У зв'язку з цим рекомендують використовувати листовий індекс. Це відношення площі листків всіх рослин до площі ґрунту на якому вони ростуть. Листковий індекс в межах 1,0-1,5 вважається малим, а від 3 до 5 – середнім. Площу листової поверхні – регулюють густотою стояння рослин, застосуванням добрив, зрошенням і напрямом розміщення рядків.

Хід роботи.

Взяти рослини озимої пшениці або ярого ячменю, вирощені у вегетативних судинах. Визначити площу вегетативного судина і площу всіх листків рослин ваговим методом таким же чином як у лабораторній роботі № 5. Листковий індекс визначити як відношення площі листків рослин до площі ґрунту.

Завдання: визначити листовий індекс у озимої пшениці або ярого ячменю.

Контрольні запитання:

1. Що таке листовий індекс?
2. За допомогою яких агротехнічних прийомів можливо регулювати площу листової поверхні?
3. Чи завжди збільшення площі листків рослин веде до зростання врожайності сільськогосподарських культур?
4. Зелений листок на світлі при температурі 25°C інтенсивно поглинав вуглекислий газ, а при підвищенні температури до 40°C почав виділяти вуглекислий газ. Чому?

Запитання для самостійної роботи:

1. Поглинання рослинами вуглекислоти в процесі фотосинтезу.
2. Які особливості фотосинтезу мають рослини тропічного походження?
3. Роль фотосинтезу у формуванні урожайності сільськогосподарських культур.
4. Хлорофіли їх будова і властивості.
5. Властивості каротиноїдів та їх роль у рослин.
6. Фікобіліни та флавоноїдні пігменти у рослин.
7. Основні етапи фотосинтезу.
8. Поглинання сонячної енергії рослинами в процесі фотосинтезу.
9. Вплив умов навколишнього середовища на інтенсивність фотосинтезу.

Запитання для підготовки до складання другого змістового модуля

1. В чому суть гідропасивної реакції прорихів?
2. Розрахуйте продуктивність транспірації при відомому транспіраційному

3. Які форми води є доступними для рослин?
4. Які явища підтверджують існування кореневого тиску у рослин?
5. Клітини яких листків у рослин мають найбільшу сисну силу?
6. Як відбувається кутикулярна транспірація?
7. Які рослини вважаються посухостійкими?
8. Що називають гіпертонічним розчином?
9. Що називають літнім плачем у рослин?
10. На яку форму ґрунтової води сподіваються агрономи коли проводять коткування посівів сільськогосподарських культур?
11. Чи впливає температура оточуючого середовища на величину осмотичного тиску?
12. Яку кількість води містять рослини у період активної вегетації?
13. Дайте визначення інтенсивності транспірації
14. У якій відповіді найбільш повно розкрито значення води для життя рослин?
15. Які рослини не здатні регулювати свій водний баланс але відносяться до ксерофітів?
16. Чи впливає на інтенсивність транспірації у рослин еректоїдне розташування листків?
17. Дайте визначення осмосу
18. Завдяки чому вода надходить до кореневої системи рослин?
19. Дайте визначення гутації у рослин
20. В чому суть гідроактивної реакції продихів?
21. Склад осмотичної системи
22. До рослин, що взагалі не регулюють свою транспірацію відносять рослини з відносною транспірацією
23. Дайте визначення осмотичного тиску
24. Які з рослин мають кореневу систему, що проникає до ґрунтових вод?
25. Який рівень осмотичного тиску трапляється у більшості випадків у клітинах рослин?
26. Весняний плач у рослин
27. За якою формулою визначають осмотичний тиск?
28. Як впливає швидкість вітру на інтенсивність транспірації?
29. Рослини якої ґрунтово-кліматичної зони мають найбільший осмотичний тиск?
30. Осмотичний тиск ґрунтового розчину становить 10 атм. Який осмотичний тиск повинен бути у клітинах рослин щоб вони засвоювали воду із такого ґрунту?
31. Фактор від якого залежить величина осмотичного тиску у рослин
32. Ізотонічний розчин
33. В наслідок чого відкриваються продихи у рослин?
34. Який рівень осмотичного тиску може бути у замикаючих клітинах продихів?
35. Завдяки яким механізмам відбувається переміщення води по рослинах?
36. У яких рослин найбільш розвинута кутикулярна транспірація?
37. Чи змінюється вміст вуглеводів у пасоці рослин?

38. Дайте визначення транспірації
39. Які з фізіологічних показників пропонуються для визначення строків зрошення сільськогосподарських культур?
40. Яка із форм води рухається у ґрунті лише вниз?
41. Які наслідки може викликати розрив водневих ниток у провідній системі рослин?
42. В чому суть не продихової регуляції транспірації у рослин?
43. Які рослини адаптовані до умов достатнього зволоження ґрунту?
44. До якої групи за водним режимом належить більшість сільськогосподарських культур?
45. У яких із рослин листки перетворилися у колючки?
46. Дайте визначення ксероморфізму у рослин
47. Які листки у рослин мають найбільшу інтенсивність транспірації?
48. Як впливає присутність волосків на органах рослин на інтенсивність транспірації?
49. Дайте визначення критичного періоду по водоспоживанню у рослин
50. Дайте визначення відносної транспірації у рослин
51. Чому продихи у денні години відкриті а в ночі закриті?
52. Дайте визначення продуктивності транспірації
53. Яка із форм води рухається у ґрунті у різних напрямках?
54. Дайте визначення кореневого тиску у рослин
55. Дайте визначення плачу у рослин
56. Пасокой у рослин називають
57. Що лежить в основі виникнення кореневого тиску у рослин
58. Які погодні умови сприяють гутації у рослин?
59. Як зміниться гутація у рослин при пошкодженні у них кореневої системи?
60. Чому рідина, що виділяється при гутації містить менше органічних та мінеральних речовин?
61. Яка форма води є основним джерелом для життєдіяльності рослин?
62. Через які органи відбувається транспірація у рослин?
63. Чи сприяє транспірація охолодженню рослин?
64. Дайте визначення транспіраційному коефіцієнту
65. До рослин, що добре регулюють свою транспірацію відносять рослини з відотною транспірацією
66. Внаслідок якого процесу продихи у рослин відкриваються та закриваються?
67. В чому суть фотоактивної реакції продихів?
68. Який рівень водного дефіциту у рослин не має на них негативного впливу?
69. Який із фізіологічних показників пропонується для встановлення строків зрошення сільськогосподарських культур?
70. Якою метою використовують антитранспіранти у сільськогосподарському виробництві?

Модуль III

Тема: Дихання у рослин

У рослинах поряд із процесами синтезу органічних сполук протікають процеси в яких останні розпадаються до простих мінеральних речовин і виділяється енергія. Ці процеси пов'язані із поглинанням тканинами рослин кисню повітря і виділенням вуглекислоти. Тобто газообмін між клітинами рослин і зовнішнім середовищем прямопротилежний газообміну при фотосинтезі. Сукупність процесів перетворення органічних речовин, що протікають за участю вільного кисню і при яких виділяється енергія, називається диханням рослин.

Дихання це біологічне окислення органічних сполук із поглинанням кисню і виділенням CO_2 . Дихання є обов'язковою умовою життя рослин. Воно забезпечує не лише їх енергією, а цілим комплексом життєво необхідних сполук.

Головними субстратами дихання є вуглеводи. Проте, рослини здатні окислювати також жири, білки та інші органічні сполуки. Процес дихання відбувається в мітохондріях клітин.

Враховуючи те, що вуглеводи виступають головними субстратами процесу дихання його можна виразити наступним рівнянням:

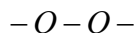


Процес біологічного окислення є поетапним, але згідно законів термодинаміки загальна кількість енергії в будь-якому процесі, при якому виділяється енергія, не змінюється від кількості проміжних етапів і їх енергетичного рівня. Результати досліджень показують, що при окисленні білків і жирів виділяється значно більше енергії, ніж вуглеводів. Так, при окисленні 1 г вуглеводів виділяється 17 кДж, а 1 г жирів – 39 кДж енергії.

Процес дихання у рослин впливає не лише на накопичення сухих речовин, а і може приводити до зменшення їх ваги у зв'язку з витратою гексоз, виділенням CO_2 , H_2O і енергії. В деяких умовах зменшення ваги рослин може досягати значних розмірів. Так, згідно результатів досліджень, маса зерна пшениці може зменшуватися на 57 %, а гороху – на 52 %.

Сучасна уява про біохімічні реакції при диханні рослин є подальшим розвитком ідей видатних біохіміків Паладіна, Баха та Костичева.

Згідно перекисної теорії активації молекулярного кисню, ненасичені органічні сполуки при взаємодії з киснем повітря сприяють розриву одного зв'язку в його молекулі, внаслідок чого він є активним.



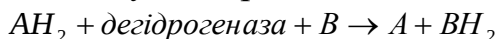
Молекулярний кисень

Активний кисень

Активний кисень при взаємодії з окислюваною сполукою створює перекис, за рахунок якої можуть окислюватися інші речовини. При біологічному окисленні поряд з активацією кисню відбувається також активація субстрату. Тому всі ферменти, що приймають участь в біохімічних реакціях при диханні класифікують на три групи.

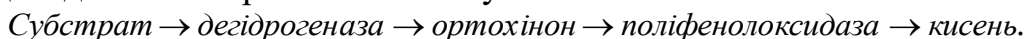
Ферменти – дегідрогенази. Їх головна роль полягає в активації водню

субстрата і передачі його на акцептор. В цілому схему дії дегідрогеназ можна виразити наступним рівнянням:



За характером дії дегідрогенази ділять на аеробні і анаеробні. Перші здатні активувати водень субстрату і переносити його безпосередньо на молекулярний кисень повітря, другі – на проміжний акцептор, яким може бути зо аеробна дегідрогеназа або ж оксидаза. Всі дегідрогенази є двокомпонентними ферментами і при цьому їх активність та специфічність дії визначається природою білкового носія. За характером простетичних груп всі дегідрогенази ділять на пірідінові та аллоксазинові.

Ферменти оксидази. Вони активують кисень повітря та діють на кінцевому етапі біологічного окислення. До них належать ферменти, що містять мідь (поліфенолоксидази) і залізо (цитохромоксидази) та цитохромна система рослин. Активність поліфенолоксидаз прямопропорційна вмісту міді. Участь їх в процесі дихання виражається наступною схемою:



Поліфенолоксидази вважаються досить специфічними по відношенню до субстрату.

Група цитохромів включає цитохром а, цитохром в, цитохром с і цитохром d. Залізо в цитохромах може переходити із двовалентного стану в трьохвалентне і навпаки. В цьому полягає його каталітична роль.

В рослинах, крім дегідрогеназ і оксидаз існує багаточисельна група проміжних ферментів, які по своїй хімічній природі відносяться до флавінів. Це двокомпонентні ферменти в яких білок з'єднаний з розчинним коферментом похідним вітаміну В₂. Найбільш поширеними є флавінмононуклеотид і флавінаденіндинуклеотид.

Дихання відбувається у мітохондріях клітин і є складним окисно-відновним процесом. Його суть полягає у перетворенні хімічної природи органічних сполук і використанні заключеної в них енергії.

Процес дихання згідно сучасних уявлень складається з двох етапів. Початковий етап – анаеробне дихання, під час якого субстрат розкладається до простих продуктів типу піровиноградної кислоти. На другому етапі відбувається перетворення піровиноградної кислоти і залежно від умов зовнішнього середовища може проходити двома шляхами: аеробним до кінцевих продуктів CO₂ і H₂O або ж анаеробним по типу бродіння.

Вищенаведена схема дихання у рослин вперше була розроблена Костичевим і отримала назву генетичного зв'язку дихання і бродіння. В основі теорії лежать положення про те, що дві фізіологічні функції дихання і бродіння не розділені, а безпосередньо зв'язані між собою. Початкова фаза перетворення вуглеводів – анаеробний розпад молекули глюкози є однаковим як для бродіння так і для аеробного дихання. Шляхи цих процесів розходяться пізніше, на етапі синтезу в клітинах піровиноградної кислоти.

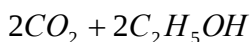
Загальну схему дихання рослин можна представити наступним чином:

Вуглеводи $C_6H_{12}O_6$

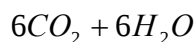
Проміжні продукти

CH_3COOH – піровиноградна кислота

Анаеробний шлях – бродіння



Аеробний шлях



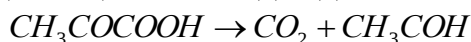
Л.Пастер вперше встановив, що зелені рослини не перестають виділяти вуглекислоти навіть в умовах без доступу кисню. В даному випадку дихання рослин відбувається по типу бродіння. Дихання рослин за рахунок зв'язаного кисню називається інтрамолекулярним. Воно проходить згідно наступного рівняння:



Життя зелених рослин при такому диханні довго продовжуватися не може. Причинами смерті можуть бути як низький енергетичний вихід, так і отруєння сполуками, що виникають в результаті нього.

В рослинах може проходити декілька типів бродіння і їх тип визначається кінцевими акцепторами водню. Слід відзначити, що при аеробному диханні таким акцептором виступає кисень повітря, а при інтрамолекулярному інші сполуки, що виникають під час бродіння.

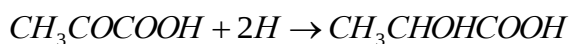
При спиртовому бродінні кінцевими сполуками є етиловий спирт і CO_2 . Спочатку піровиноградна кислота відщеплює вуглекислоту і кінцевим продуктом реакції є оцтовий альдегід.



Оцтовий альдегід в свою чергу відновлюється воднем і синтезується етиловий спирт.



При молочнокислому бродінні піровиноградна кислота відновлюється до молочної кислоти:



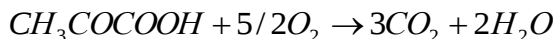
В разі маслянокислого бродіння вуглеводи розкладаються до масляної кислоти у відповідності із рівнянням:



При аеробному диханні, яке властиве всім організмам в тому числі і зеленим рослинам, піровиноградна кислота повністю окислюється до простих мінеральних малоенергоємких речовин води і вуглекислоти. Це відбувається в циклі специфічних біохімічних реакцій, послідовність яких вперше була встановлена американським вченим Кребсом і тому отримала назву циклу Кребса або циклу трикарбонових кислот. Цикл Кребса має наступну послідовність перетворення трикарбонових кислот: піровиноградна кислота оцтова кислота лимонна кислота ізолимонна кислота щавелевоянтарна кислота кетоглютарова кислота янтарна кислота фумарова кислота яблучна кислота щавелевооцтова

кислота. Вона взаємодіє з оцтовою кислотою і розпочинається новий цикл.

З кожним повним циклом одна молекула піровиноградної кислоти окислюється до трьох молекул CO_2 і двох H_2O і поглинається при цьому 5 атомів кисню:



Враховуючи те, що із однієї молекули глюкози виникають дві молекули CH_3COCOON , то при їх повному окисленні виділяється шість молекул CO_2 і чотири молекули H_2O . Дві молекули води, як відомо, виникають на анаеробному етапі.

У вищих зелених рослин поряд з окисленням вуглеводів в циклі Кребса проходить і так званий пентозофосфатний цикл. Суть його полягає в тому, що із шести молекул гексоз, які входять в цикл, п'ять молекул регенерується а одна окислюється звичайним шляхом до кінцевих продуктів води і вуглекислоти.

Загальне схематичне рівняння аеробного окислення глюкози в пентозофосфатному циклі має наступний вигляд:



Пентозофосфатний цикл є головним джерелом в клітинах пентоз, які використовуються для синтезу нуклеїнових кислот. В даному циклі синтезується також рибульоза – акцептор CO_2 при фотосинтезі.

Енергетичний вихід пентозофосфатного циклу такий же самий як і циклу Кребса, проте в клітинах ще додатково синтезуються 5 молекул гексозофосфат.

Порівнюючи вихід енергії при аеробному і анаеробному (бродинні) диханні потрібно відзначити, що в останньому він значно менший і тому бродіння є менш вигідним для рослин.

Аеробне дихання:



Бродіння:

Спиртове:



Молочнокисле:



Маслянокисле:



Як видно із наведених рівнянь, субстрат при аеробному диханні витрачається більш економно і для отримання такої ж кількості енергії, як і при анаеробному, необхідно затратити значно менше субстрату.

При повному окисленні однієї молекули піровиноградної кислоти в клітині синтезується 15 молекул АТФ, а так як із однієї гексози виникає дві молекули піровиноградної кислоти, то в цілому створюється 30 молекул АТФ. З урахуванням анаеробної фази в клітинах із однієї молекули глюкози синтезується 38 молекул АТФ в яких накопичується 1596 кДж енергії. Решта енергії $2867 - 1596 = 1271$ кДж виділяється клітинами у вигляді тепла, що сприяє підвищенню швидкості біохімічних реакцій.

Хімічна енергія, що накопичена в АТФ використовується клітинами для

синтетичних процесів, росту і розвитку, поглинання мінеральних та органічних речовин та інших фізіологічних процесів.

Інтенсивність дихання можна визначати як шляхом визначення кількості кисню, що поглинається, або ж вуглекислоти, що виділяється клітинами в процесі дихання. Тому, інтенсивність дихання можна визначити як кількість CO_2 , що виділяється одиницею маси рослин за 1 годину. На інтенсивність дихання впливають температура, вміст води в клітинах, світло, аерація та інші фактори.

Нижній температурний поріг дихання рослин лежить значно нижче 0°C . Бруньки дерев можуть дихати навіть при температурі $20-25^\circ\text{C}$ морозу. Інтенсивність дихання швидко зростає при підвищенні температури до 40°C , а після 50°C інтенсивність дихання знижується і рослини гинуть.

Між вмістом води в клітинах і інтенсивністю дихання немає прямої залежності. Проте, зниження вологості листків у рослин веде до зростання інтенсивності дихання. Насіння, навпаки, при вологості 10-14% має невисоку інтенсивність дихання, а при підвищеній вологості дихання різко зростає. Цю закономірність обов'язково враховують при зберіганні зерна сільськогосподарських культур.

Вплив світла на інтенсивність дихання насамперед пов'язано із підвищенням температури вегетативних органів. Крім цього, світло впливає на інтенсивність дихання через накопичення сполук, що виступають субстратом для дихання.

Із газів, що входять в склад повітря, безпосереднє відношення до процесу дихання рослин має кисень. Вміст його в повітрі залишається майже незмінним (21 %). Незначні коливання, що виникають, не можуть суттєво вплинути на інтенсивність дихання. Відносно концентрації кисню, при якій відмічається зниження інтенсивності дихання, то вона неоднакова для різних рослин. Так, зниження інтенсивності дихання у моркви спостерігається при концентрації кисню 7 %, картоплі та буряків – 15%, пшениці – 12,6-14,4 %. Нетривале перебування рослин в анаеробних умовах не викликає суттєвих змін в ході біохімічних реакцій при диханні рослин.

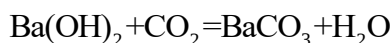
Лабораторна робота № 8

Визначення інтенсивності дихання по кількості виділеної вуглекислоти (по Бойсен-Іенсену)

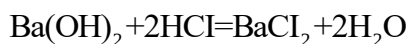
Мета роботи: навчитися визначати інтенсивність дихання у рослин.

Матеріали та обладнання: насіння сільськогосподарських культур або зелені листки, 0,1 н розчин $\text{Ba}(\text{OH})_2$, 0,1 н розчин NaCl , фенолфталеїн, ваги, конічні колби і резинові пробки до них, парафін.

Пояснення. Для визначення інтенсивності дихання за кількістю вуглекислоти, що виділяється, в замкнутий посуд поміщують наважку досліджуваного матеріалу і відповідну кількість розчину лугу. Вуглекислота, яка виділяється при диханні, буде взаємодіяти із лугом, внаслідок чого концентрація розчину зменшиться:



Через деякий час решту лугу в сосудах титрують:



Одержаний результат титрування порівнюють із титруванням контрольної колби. Різниця між результатами титрування контрольної і дослідної колб буде прямопропорційна кількості вуглекислоти виділеної при диханні.

Тривалість досліду залежить від розміру наважки і інтенсивності дихання досліджуваного об'єкту. Якщо експозиція буде короткою, то різниця між результатами титрування буде недостовірною. Якщо ж в колбі залишиться мало лугу то може пройти неповне поглинання вуглекислоти. Бажано підібрати таку тривалість досліду, щоб на зв'язування CO_2 було витрачено 30-40% лугу.

Хід роботи

Взяти дві колби однакового об'єму. Налити в них по 10мл. 0,1 н розчину лугу $\text{Ba}(\text{OH})_2$ і 2-3 краплини фенолфталеїну. В одну з них, так звану дослідну колбу помістити наважку досліджуваного матеріалу. Обидві колби закрити розиновими пробками і відмітити час. Під час досліду обидві колби необхідно легенько струшувати, щоб розрушувати плівку BaCO_3 , яка перешкоджає повноті поглинання вуглекислоти. При цьому необхідно стежити щоб луг не попадав на досліджуваний матеріал.

Через 1-2 години матеріал вийняти із дослідної колби і відмітити час. Провести титрування вільного лугу 0,1 н HCl до зникнення рожевого забарвлення. Контрольну колбу можна титрувати через 20 хвилин після початку досліду.

Інтенсивність дихання визначають за наступною формулою:

$$F = (A - B) \cdot 2,260 \cdot K / p \cdot t, \quad (14)$$

де А - результат титрування контрольної колби, мг;

В - результат титрування дослідної колби, мг;

К - поправка до титру HCl ;

2,260 - кількість мг CO_2 еквівалентне 1мл. 0,1 н HCl ;

p - маса наважки, г;

t - тривалість досліду, годин.

Завдання. Визначити інтенсивність дихання у різних рослин.

Контрольні запитання:

1. Що таке дихання і його значення?
2. Які ферментні системи приймають участь у диханні рослин?
3. Покажіть зв'язок бродіння і аеробного дихання у рослин?
4. Від яких факторів залежить інтенсивність дихання у рослин?
5. Поясніть чому для кращого зберігання овочів в сховищах підтримують низьку температуру?
6. За 30 хвилин 15г бруньок виділили 3мл. CO_2 . Визначте інтенсивність дихання на 1г сухої речовини за годину, якщо відомо, що вміст води в бруньках складає 60 %.
7. Існує думка, що квіти не бажано залишати на ніч в кімнаті, так як вони поглинають кисень, необхідний для дихання людини. Щоб дати відповідь потрібно підрахувати до якої величини знизиться вміст кисню в повітрі

проти звичайного (21%) в кімнаті об'ємом 45м^3 протягом 10 годин за рахунок дихання рослин, які мають загальну вагу 2 кг, а середня інтенсивність дихання 12мл. O_2 на 1 г на добу.

8. Скільки CO_2 виділить 1 кг насіння за 10 діб, якщо відомо, що інтенсивність дихання складає $0,1\text{ мг CO}_2$ на 1 г сухої речовини за годину, а вміст води в насінні 27%?

Лабораторна робота № 9

Визначення коефіцієнту дихання у рослин

Мета роботи: навчитися визначати коефіцієнт дихання у рослин і на його основі визначати хімічні сполуки, що виступають в якості субстрату.

Матеріали та обладнання: насіння різних сільськогосподарських культур, прилад для визначення коефіцієнту дихання у рослин, олія.

Пояснення. Важливим показником хімічної природи субстрату дихання є коефіцієнт дихання (ДК). Це відношення об'єму виділеного вуглекислого газу до об'єму поглиненого кисню при диханні рослин. При окисленні вуглеводів ДК рівняється 1, жирів (більш відновлених сполук кисню поглинається більше, ніж виділяється CO_2) - ДК менше 1, а органічних кислот (сполук менш відновлених ніж вуглеводи) - ДК більше 1.

Значення ДК залежить і від інших факторів. В деяких тканинах через затруднення доступу кисню поряд із аеробним проходить і анаеробне дихання без поглинання кисню і тому ДК збільшується.

Прилад для визначення ДК складається з великої пробірки із щільною каучуковою пробкою, в яку вставляється зігнута під прямим кутом градуйована трубка з шкалою.

Хід роботи.

Половину пробірки заповнюють пророслим насінням соняшнику. Її добре закривають каучуковою пробкою із градуйованою трубкою. В кінець трубки піпеткою вводять невелику краплину олії, яка створює в приладі ізольовану атмосферу. Під час досліду обов'язково підтримують постійну температуру. Для цього прилад ставлять в штатив або ж колбу і не нагрівають його руками або диханням. Відмічають на скільки поділок шкали зміститься краплина олії у градуйованій трубці за дві хвилини. Для отримання достовірних результатів визначають середнє з декількох спостережень. Отримана величина (А) виражає різницю між об'ємом поглиненого при диханні насіння кисню і об'ємом виділеного вуглекислого газу.

Відкривають пробірку з насінням і поміщають в неї пінцетом полоску фільтрувального паперу, змоченого 20% розчином їдкого натрію. Знову закривають пробірку, поміщають у вимірювальну трубку краплину олії і визначають швидкість її руху при тій же температурі. Одержані дані виражають об'єм кисню (В), так як виділений при диханні вуглекислий газ зв'язувався лугом. Коефіцієнт дихання визначають за формулою:

$$\text{ДК} = (\text{В} - \text{А}) / \text{В} \quad (15)$$

Результати досліджень заносять до таблиці

Результати визначення коефіцієнту дихання

Умови	Показники, мм за 2 хвилини			ДК
	1	2	3	

Завдання: визначити коефіцієнт дихання у насіння різних сільськогосподарських культур.

Контрольні запитання:

1. Який хімічний склад запасних речовин насіння, якщо ДК рівняється 0,3, 0,8 і 1,0?
2. Як відбувається дихання озимих культур під льодовою кіркою?
3. Чим відрізняються і чим подібні процеси дихання і фотосинтезу?
4. Обґрунтуйте зміну величини дихального коефіцієнту в процесі проростання насіння соняшнику.

Лабораторна робота № 10**Втрата сухої речовини при проростанні насіння**

Мета роботи: навчитися визначати втрату сухої речовини насінням сільськогосподарських культур при їх проростанні.

Матеріали та обладнання: насіння сільськогосподарських культур, ваги, сушильна шафа, ексікатор, фільтрувальний папір, бюкси.

Пояснення. Дихання рослин пов'язано з біологічним окисненням різних органічних сполук. Внаслідок цього вага рослин може зменшуватись, особливо це відмічається при зберіганні сільськогосподарської продукції та проростанні насіння. В деяких випадках, втрату сухої речовини, розцінюють як інтенсивність дихання. Найбільш зручним об'єктом для визначення кількості витрачених органічних сполук в процесі дихання є проросле насіння. Пророщення насіння ведуть на вологій стружці в темряві, щоб виключити як ґрунтове, так і повітряне живлення. Через відповідний проміжок часу проростки висушують і зважують. Для визначення вихідної кількості сухих речовин використовують другу порцію такого ж насіння, так як сушіння його при високих температурах приводить до загибелі зародку і насіння стає несхожим.

Хід роботи.

Відібрати два зразки по 100 насінин у кожному. Один зразок насіння закласти на проростання у вологу стружку і поставити у темряву. Через 5-6 днів проростки дістати із стружки, ретельно промити водою і визначити в них вміст сухих речовин шляхом висушування при температурі 105°C в сушильній шафі.

У другому зразку таким же чином визначити вміст сухих речовин. Різниця між кількістю сухих речовин у другому і першому зразках буде свідчити про - кількість сухих речовин витрачених насінням в процесі дихання при його проростанні.

Отримані результати занести до таблиці.

Таблиця 5

Результати визначення втрати сухих речовин при проростанні насіння

Вага 100 зерен, г		Вміст води у насінні, г	Вага 100 проростків, г		Вміст води у проростках, г	Зменшення сухих речовин	
повітряно сухих	абсолютно сухих		сирих	абсолютно сухих		На 100 зерен, г	в % від вихідної ваги за 1 добу

Завдання: визначити втрату сухих речовин насінням різних сільськогосподарських культур при його проростанні.

Контрольні запитання:

1. Обґрунтуйте зменшення ваги сухих речовин в процесі проростання насіння.
2. Що таке анаеробне дихання?
3. Які ферменти активують кисень повітря?
4. Чому відбувається втрата сухих речовин при проростанні насіння?
5. Як впливають фактори зовнішнього середовища на дихання рослин?
6. Розкрийте взаємозв'язок впливу температури повітря і вологості насіння на інтенсивність дихання.
7. Хімічний аналіз пророщеного в темряві насіння вики показав, що за 30 днів вміст крохмалю в проростках зменшився із 36 до 2 %, тоді як вміст розчинних вуглеводів зріс з 5 до 6 %. Чим це пояснити?
8. Обґрунтуйте чому інтенсивність дихання різко зростає при збільшенні вмісту O_2 від 1 до 5-6%, а при подальшому підвищенні вмісту O_2 інтенсивність дихання майже не змінюється.

Запитання для самостійної роботи:

1. Біологічне значення дихання в житті рослин.
2. Аеробне дихання у рослин.
3. Анаеробне дихання у рослин.
4. Енергетика дихання.
5. Ферментні системи дихання рослин.
6. Вплив зовнішніх умов на інтенсивність дихання.
7. Пентозофосфатний цикл при диханні рослин.

Запитання для підготовки до складання третього змістового модуля

1. Процес фотосинтезу
2. Хто із вчених відкрив процес фотосинтезу?
3. Який із факторів підтверджує умовність ділення живих організмів на автотрофні та гетеротрофні?
4. Дайте визначення процесу фотосинтезу
5. Кисень який виділяється у процесі фотосинтезу
6. Фотосинтез вважається окисновідновним процесом. Яка сполука окислюється?
7. Яке із положень не визначає значення фотосинтезу?
8. Дослідження К.А.Тімірязєва

9. Яким процесом є фотосинтез?
10. Джерело енергії для хемосинтезуючих бактерій.
11. Які із правил фотохімії можливо застосувати до процесу фотосинтезу?
12. Дайте визначення фотоенергетичної системи хлоропласту
13. Фотосинтез вважається окисно-відновним процесом. Яка сполука відновлюється?
14. Дайте визначення квантовому виходу фотосинтезу
15. Який із етапів є першим в процесі фотосинтезу?
16. Який із етапів відноситься до світлової фази процесу фотосинтезу?
17. До групи зелених пігментів належить
18. Яка речовина є первинним акцептором CO_2 в процесі фотосинтезу?
19. В чому особливість рослин тропічного походження?
20. Дайте визначення процесу фотодихання
21. Чому фотосинтез є замкнутим циклічним процесом?
22. У процесі фотодихання окислюються
23. Хто із вчених відкрив послідовність біохімічних реакцій в процесі фотосинтезу
24. До ФАР відносять сонячні промені довжина хвилі яких складає
25. Оптимальна температура протікання фотосинтезу для більшості сільськогосподарських культур лежить у межах
26. Дайте визначення інтенсивності фотосинтезу
27. Дайте визначення квантовим витратам фотосинтезу
28. Який із етапів є останнім в процесі фотосинтезу?
29. Який із етапів відноситься до темної фази процесу фотосинтезу?
30. Група флавоноїдних пігментів у рослин
31. Дайте визначення продуктивності фотосинтезу
32. Що розуміють під світловим насиченням процесу фотосинтезу?
33. Яка мінімальна інтенсивність освітлення достатня для процесу фотосинтезу?
34. Яка кількість сухих речовин рослин створюється в процесі фотосинтезу?
35. Який із елементів входить до складу молекули хлорофілу?

Запитання для залікового тесту:

1. Дайте визначення фізіології рослин як науки.
2. Офіційною датою зародження рослин вважається?
3. Екологічний напрямок досліджень у фізіології рослин вивчає.
4. Хто із вчених відкрив процес фотосинтезу?
5. Фізіологія рослин є теоретичною базою.
6. Біохімічний напрямок досліджень у фізіології рослин вивчає:
7. Основоположниками фізіології рослин у нашій країні є:
8. Головним методом досліджень у фізіології рослин:
9. Яким із методів найбільш ефективно можливо розділити суміш речовин на складові частини.
10. Яким із методів найбільш достовірно можливо дослідити шляхи

перетворення елементів живлення у рослинах.

11. Які переваги має метод електрофорезу перед хроматографічним методом?
12. Розділіть організми та назвіть найбільш характерні ознаки будови їх клітини.
13. Установіть відповідність між клітинами органелами та їх функціями.
14. Ферменти це:
15. Роль ферментів у біохімічних реакціях.
16. В чому суть гідропасивної реакції продихів?
17. Яку продуктивність транспірації мають рослини якщо їх транспіраційний коефіцієнт становить 500?
18. Які форми води є доступними для рослин?
19. Які явища підтверджують існування кореневого тиску рослин?
20. Клітини яких листків у рослин мають найбільшу сисну силу?
21. Кункулярна транспірація рослин відбувається .
22. Які рослини вважаються посухостійкими ?
23. Гіпертонічним розчином називають .
24. Літнім плачем у рослин називають.
25. На яку форму ґрунтової води сподівається агрономи коли проводять коткування посівів сільськогосподарських культур.
26. Чи впливає температура оточуючого середовища на величину осмотичного тиску?
27. Яку кількість води містять рослини у період активної вегетації?
28. Дайте визначення інтенсивної транспірації.
29. У якій відповіді найбільш повно розкрито значення води для життя рослин.
30. Які рослини не здатні регулювати свій водний баланс але відносяться до ксерофітів?
31. Чи впливає на інтенсивність транспірації рослин еректоїдне розташування листків?
32. Дайте визначення осмосу.
33. Вода до рослин надходить завдяки.
34. Дайте визначення гутації у рослин.
35. В чому суть гідро активно реакції продихів?
36. Осмотична система складається.
37. До рослин, що взагалі не реагують своєю транспірацією відносять рослини з відносною транспірацією.
38. Дайте визначення осмотичного тиску.
39. Які рослини мають кореневу систему, що проникає до ґрунтових вод?
40. Який рівень осмотичного тиску вважається трапляється у більшості випадків у клітинах рослин?
41. Весняним плачем у рослин називають.
42. За якою формулою визначають осмотичний тиск?
43. Як впливає швидкість вітру на інтенсивність транспірації?
44. Рослин якої ґрунтово-кліматичної зони мають найбільший осмотичний

тиск?

45. Осмотичний тиск ґрунтового розчину становить 10 атм. який осмотичний тиск повинен бути у клітинах рослин щоб вони засвоювали воду із такого ґрунту?
46. Виберіть фактор від якого залежить величина осмотичного тиску у рослин.
47. Ізотонічним розчином називають.
48. Продири у рослин відкриваються внаслідок.
49. Який рівень осмотичного тиску може бути у замикаючих клітинах продихів?
50. Завдяки яким механізмам відбувається переміщення води по рослинах?
51. Процес фотосинтезу відкритий у:
52. Хто із вчених відкрив процес фотосинтезу?
53. Який із факторів підтверджує умовність ділення живих організмів на автотрофні та гетеротрофні?
54. Дайте визначення процесу фотосинтезу:
55. Кисень який виділяється у процесі фотосинтезу належить?
56. Фотосинтез вважається процесом. Яка сполука окислюється?
57. Яке із положень не визначає значення фотосинтезу ?
58. К.А. Тімірязєв у своїх дослідженнях.
59. Яким процесом є фотосинтез?
60. Назвіть джерело енергії для хемосинтезуючих бактерій
61. Які із правил фотохімії можливо застосовувати до процесу фотосинтезу?
62. Дайте визначення фото енергетичної системи хлоропласту.
63. Фотосинтез вважається окисно- відновним процесом. Яка сполука відновлюється?
64. Дайте визначення квантовому виходу фотосинтезу.
65. Який із станів є першим в процесі фотосинтезу?
66. Який із етапів відноситься до світлової фази процесу фотосинтезу?
67. Дайте характеристику А) Однокомпонентних ферментів; Б) Двокомпонентних ферментів.
68. Які функції виконують наступні класи ферментів; А) Оксидоредуктази Б) Гідролази; В) Трансферази; Г) Гілази; Д) Ліази; Є) Ізомерази:
69. Виберіть фактори, що впливають на активність ферментів?
70. Ізоферменти це?
71. Дайте характеристику А) Єндоферментів Б) Єкзоферментів В) Конститутивних ферментів.
72. Дайте визначення показникам активності ферментів А) Питома активність Б) Молекулярна активність В) Число обертів.
73. Дайте визначення А) Абсолютної специфічності ферментів; Б) Групової специфічності ферментів.
74. Температурний коефіцієнт це:
75. Яку кількість води містять клітини рослин у фазу активного росту.

76. Дайте характеристику різних форм води у рослинній клітині
А) Вільна вода; Б) Зв'язана вода.
77. Яка із органічних сполук належить до вуглеводів .
78. Які типи хімічного зв'язку присутні у білковій молекулі, яка знаходиться у первинній структурі .
79. Білки складаються.
80. Яку кількість сухих речовин містять вегетативні органи рослин ярого ячменю?
81. У яких рослин найбільш розвинута кутикулярна транспірація?
82. Чи змінюється вміст вуглеводів у пасоці рослин?
83. Дайте визначення транспірації.
84. Які з фізіологічних показників пропонуються для визначення строків зрошення сільськогосподарських культур?
85. Яка із форм води рухається у ґрунті лише у низ?
86. Які наслідки може викликати розрив водневих ниток у провідній системі рослин?
87. В чому суть не продихової регуляції транспірації у рослин?
88. Які рослини адаптовані до умов достатнього зволоження ґрунту?
89. Більшість сільськогосподарських культур належить.
90. У яких із рослин листки перетворилися у колючки?
91. Дайте визначення ксероморфізму рослин.
92. Які листки у рослин мають найбільшу інтенсивність транспірації?
93. Як впливає присутність волосків на органах рослин інтенсивність транспірації?
94. Дайте визначення критичного періоду по водоспоживанню у рослин.
95. Дайте визначення відносної транспірації у рослин.
96. Чому продихи у денні години відкриті в ночі закриті?
97. Дайте визначення продуктивності транспірації.
98. Яка із форм води рухається у ґрунті у різних напрямках?
99. Дайте визначення кореневого тиску у рослин.
100. Дайте визначення плачу у рослин.
101. Пасокою у рослин називають.
102. В основі виникнення кореневого тиску лежить.
103. Які погодні умови сприяють гутації у рослин ?
104. Як зміниться гутація у рослин при пошкодженні у них кореневої системи?
105. Чому рідина, що виділяється при гутації містить менше органічних та мінеральних речовин?
106. Яка форма води є основним джерелом для життєдіяльності рослин?
107. Транспірація у рослин відбувається.
108. Чи сприяє транспірація охолодженню рослин?
109. Дайте визначення транспіраційному коефіцієнту.
110. До рослин, що добре регулюють свою транспірацію відносять рослини з відотною транспірацією.
111. Внаслідок якого процесу продихи у рослин відкриваються та

закриваються?

112. В чому суть фото активної реакції продохів?
113. Який рівень водного дефіциту у рослин не має на них негативного впливу?
114. До групи зеленбих пігментів належить.
115. Яка речовина є первинним акцептором CO_2 в процесі фотосинтезу?
116. В чому особливість рослин тропічного походження?
117. Вдайте визначення процесу фото дихання.
118. Чому фотосинтез є замкнутим циклічним процесом?
119. У процесі фото дихання окислюється.
120. Хто із вчених відкрив послідовність біохімічних реакцій в процесі фотосинтезу.
121. До ФАР відносять сонячні промені довжина хвилі яких складає.
122. Оптимальна температура протікання фотосинтезу для більшості сільськогосподарських культур лежить у межах.
123. Дайте визначення інтенсивності фотосинтезу.
124. Дайте визначення квантовим витратам фотосинтезу.
125. Який із етапів є останнім в процесі фотосинтезу?
126. Який із етапів відноситься до темної фази процесу фотосинтезу?
127. До групи флавоноїдних пігментів у рослин належать.
128. Дайте визначення продуктивності фотосинтезу.
129. Що розуміють під світловим насиченням фотосинтезу.
130. Яка мінімальна інтенсивність освітлення достатня для процесу фотосинтезу?
131. Яка кількість сухих речовин рослин створюється в процесі фотосинтезу?
132. Який із елементів входить до складу молекули хлорофілу?

Рекомендована література

1. Біохімія. Підручник / Кучеренко М.Є., Бабенюк Ю.Д., Васильєв О.М., Виноградова Р.П., Войціцький В.М., Курський М.Д., Рибальченко В.К., Цудзевич Б.О. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2002. – 480 с.
2. І.П. Григорюк, О.А. Бойко, С.В. Прилуцька Фізіологія рослин з основами біохімії. Практикум. – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2014. – 144 с.
3. Макрушин М.М., та інші. Фізіологія сільськогосподарських рослин з основами біохімії. – К.: Урожай, 1995. – 334 с.
4. Макрушин М.М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин / За редакцією професора М. М. Макрушина. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2006. – 416 с.
5. Молекулярна біологія. Підручник / Сиволоб А.В. – К: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 384 с.
6. Слободян С.М. Фізіологія рослин (Конспект лабораторного практикуму з контрольними питаннями для самостійної роботи), 1998. – 22 с.
7. Фізіологія рослин: Практикум / Байрон О.В., Чикаленко В.Г., Славний П.С. та ін. За ред. М.М. Мусієнка. – К.: Вища школа, 1995. – 191 с.