

Розділ II ВОДООБМІН РОСЛИН

Тема 1. РОСЛИННА КЛІТИНА ЯК ОСМОТИЧНА СИСТЕМА (частина 1)

Мета. Дослідити основні властивості рослинної клітини як осмотичної системи, умови поглинання води клітиною в залежності від фізіологічного стану рослини, оволодіти основними засобами визначення осмотичного тиску та всисної сили клітини.

Питання до обговорення.

1. Водний потенціал. Хімічний потенціал.
2. Осмотичний тиск, тургорний тиск.
3. Всисна сила клітини.

Вода рослинними клітинами поглинається за законами осмосу. Переміщення молекул води із зовнішнього середовища в клітину, а також від клітини до клітини відбувається за градієнтом рівня вільної енергії молекул води, який визначається їх **хімічним потенціалом** (μ_w). Точкою відліку рівня вільної енергії молекул води береться її рівень у молекул чистої води в стандартних умовах (μ_w^0). Хімічний потенціал води у водних розчинах і клітинах менше ніж у чистої води. Ця різниця, звана водним **потенціалом** (ψ), відображає здатність води в даній системі здійснювати роботу порівняно з роботою, яку за тих же умов здійснювала б чиста вода. Водний потенціал розраховується за рівнянням

$$\psi = \frac{\mu_w - \mu_w^0}{V_w}$$

де \bar{V}_w — парціальний мольний об'єм води.

Водний потенціал визначає здатність молекул води дифундувати, випаровуватися або поглинатися. Він має розмірність енергії, поділеної на об'єм, що співпадає з розмірністю тиску (атмосфери, бари, паскалі).

Молекули розчинених у воді речовин знижують рівень вільної енергії молекул води. Це зниження вимірюється осмотичним потенціалом ($\psi_{осм}$).

Осмотичний потенціал — компонент водного потенціалу розчину, який визначається присутністю розчинених речовин, що знижують хімічний потенціал води. Тому ($\psi_{осм}$) завжди величина негативна. Якщо два розчини з різними концентраціями розділити напівпроникною мембраною, проникною тільки для молекул води, то молекули води перемішатимуться за градієнтом ψ — з розчину з меншою концентрацією, в якому ($\psi_{осм}$) вище (тобто менш негативна величина), в розчин з більшою концентрацією, в якому ($\psi_{осм}$) нижче (тобто більш негативна величина).

У молекулу води, що знаходяться під тиском, рівень вільної енергії підвищується. Тому величина водного потенціалу розчину або клітини збільшується при підвищенні в них гідростатичного (тургорного) тиску. Водний потенціал, залежний від гідростатичного тиску (величина завжди позитивна), називається потенціалом тиску ($\psi_{тиску}$). Загальний **водний потенціал клітини** залежить від осмотичного потенціалу ($\psi_{осм}$) і потенціалу тиску ($\psi_{тиску}$).

$$\psi_{кл} = \psi_{осм} + \psi_{давт}$$

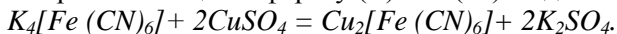
При розміщенні клітини в чистій воді остання входить в клітину до тих пір, поки $\psi_{осм}$ в клітині не буде урівноважений $\psi_{тиску}$, який збільшується. Збільшення $\psi_{тиску}$ відбувається через опір клітинної стінки збільшенню об'єму протопласта під час надходження до нього води.

Якщо клітину помістити у водний розчин, $\psi_{осм}$ якого буде більш негативним, ніж, $\psi_{кл}$, то вода виходитиме з клітини в цей зовнішній розчин. При цьому $\psi_{кл}$ зменшуватиметься через зменшення в клітині як $\psi_{осм}$, так і $\psi_{тиску}$. Вихід води з клітини відбуватиметься доти, поки ψ клітини і зовнішнього розчину не зрівняються.

Лабораторна робота 1. Явище осмосу. Переміщення води за градієнтом водного потенціалу в штучній «клітинці» Траубе

«Клітинка» Траубе — модель клітини, запропонована дослідником Траубе. Її одержують, поміщаючи кристал гексоціаноферату (II) калію $K_4[Fe(CN)_6]$ або гексоціаноферату (III) калію $K_4[Fe(CN)_6]$ у водний розчин $CuSO_4$.

Навкруги кристала в результаті взаємодії солей утворюється осадкова мембрана гексоціаноферату (II) або (III) міді:



Ця мембрана проникна тільки для молекул води, але не для розчинених в ній речовин, тобто має властивість напівпроникності.

Матеріали і обладнання: 1) 0,5 % водний розчин CuSO_4 ; 2) кристали гексоціаноферату (II) калію; 3) пробірки на 10 мл.

Хід роботи

В невеликий циліндр або пробірку наливають на 3/4 об'єму 0,5 % розчину CuSO_4 і потім на дно цієї судини опускають кристал $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Мембрана утворює замкнутий мішечок - штучну клітину. Напівпроникна плівка $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ розподіляє два розчини різної концентрації: усередині мішечка знаходиться концентрований розчин фероціаніду калію (що утворюється при розчиненні кристала солі), а зовні — розчин сульфату міді. Виникає струм води всередину мішечка, об'єм розчину фероціаніду калію збільшується, внаслідок чого мембрана розтягується. Будучи дуже тонкою, мембрана в окремих місцях розривається під дією гідростатичного тиску. В цих місцях солі знову взаємодіють, виникають нові ділянки мембрани, що призводить до нерівномірного збільшення розміру мішечка. Мішечок ростиме, поки увесь кристал не розчиниться. Подальше надходження води в мішечок призведе до розриву плівки, і вона осяде у вигляді пластивців на дно стаканчика.

Завдання: описати дослід, зробити малюнок, сформулювати висновок про механізм переміщення води через напівпроникну мембрану.

Лабораторна робота 2. Визначення осмотичного тиску клітинного соку плазмолітичним методом (за де-Фрізом)

Концентрацію клітинного соку, в якому розчинена велика кількість різноманітних органічних і мінеральних речовин, частіше за все визначають за його потенційним осмотичним тиском. ***Плазмолітичний метод*** визначення осмотичного тиску клітинного соку полягає в тому, що зрізи досліджуваної тканини занурюють в ряд розчинів відомої концентрації, а потім розглядають в мікроскоп. Виходячи з того, що плазмоліз здатні викликати тільки гіпертонічні розчини, знаходять такий розчин, в якому спостерігається початковий (кутковий) плазмоліз не менше ніж у 50% клітин досліджуваної тканини. Ізотонічний розчин знаходиться між цим розчином і наступним (більш слабим), який не викликає

плазмолізу. Концентрація ізотонічного розчину дорівнює (з відомою часткою погрішності) середньому арифметичному між концентраціями вказаних сусідніх розчинів.

Матеріали і обладнання: 1) цибулина синьої цибулі або листя традесканції чи елодеї; 2) 1М розчин NaCl або сахарози; 3) дистильована вода; 4) годинникове скло; 5) банки або бюкси для розчинів (7 шт.); 6) кришки або шматочки скла для закриття банок (7 шт.); 7) мікроскоп; 8) предметні і покривні скельця; 9) лезо бритви; 10) препарувальна голка; 11) скляна паличка; 12) стакан з кип'яченою водою; 13) шматочки фільтрувального паперу; 14) олівець по склу.

Хід роботи

Приготувати по 5 мл розчинів NaCl або сахарози концентрацією від 0,1 до 0,7 моль/л, використовуючи 1М розчин NaCl і дистильовану воду (табл. 3.1). Ретельно перемішавши розчини, закрити банки кришками або шматочками скла для захисту від випаровування.

Приготувати за допомогою леза бритви 14 зрізів рослинної тканини і помістити їх у воду на годинникове скло (вода повинна бути кип'яченою, щоб не було пухирців повітря). При зануренні у воду віддаляється сік, що витікає з пошкоджених клітин, і досягається однаковий стан всіх зрізів. Через декілька хвилин витягнути зрізи з води, обсушити фільтрувальним папером і занурити по 2 в кожний розчин, починаючи з самого концентрованого. При цьому необхідно стежити за тим, щоб зрізи не плавали на поверхні, а були занурені в розчини (якщо зріз спливає, його слід «втопити» препарувальною голкою).

Концентрація дослідного розчину, моль/л	На 5 мл розчину	
	1М розчину NaCl, мл	Води, мл
0,1	0,5	4,5
0,2	1,0	4,0
0,3	1,5	3,5
0,4	2,0	3,0
0,5	2,5	2,5
0,6	3,0	2,0
0,7	3,5	1,5

Через 20-30 хв. розглянути зрізи в мікроскоп в краплі відповідного розчину в тій же послідовності. Скляну паличку, якій наносилася крапля розчину, пензлик, скельця після кожного розчину необхідно ополоснути водою і витерти серветкою або фільтрувальним папером.

Результати досліду записати формою:

Концентрація розчину, моль/л	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Ступінь плазмолізу							
Малюнок клітини							

В другому рядку вказати, в якому стані знаходиться більшість клітин зрізу (сильний плазмоліз, коли протопласт скорочується більш ніж на 1/3, слабкий плазмоліз — цитоплазма трохи відстає від клітинної стінки, кутковий плазмоліз або відсутність плазмолізу). В третьому рядку схематично замалювати одну клітину, характерну для даного зрізу.

Знайти ізотонічну концентрацію і обчислити осмотичний тиск клітинного соку за рівнянням Вант-Гоффа:

$$P_{осм} = RTCi$$

де $P_{осм}$ — осмотичний тиск, МПа;

R — універсальна газова постійна (0,00831 кДж/град-моль);

T — абсолютна температура (273,4 К);

C — концентрація розчину, моль/л;

i — ізотонічний коефіцієнт, що показує відношення числа частинок (молекул і іонів) в розчині до початкової кількості молекул розчиненої речовини.

Для неелектролітів, наприклад для сахарози, $i = 1$. Для розчинів електролітів i залежить від числа іонів, на які розпадається молекула, і ступені дисоціації. Значення i для розчинів NaCl дані в таблиці:

Концентрація NaCl, моль/л	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,01
---------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Ізотонічний коефіцієнт	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,73	1,75	1,78	1,83	1,93
------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Завдання: зробити висновок про залежність ступеню плазмолізу клітин від концентрації зовнішнього розчину (з відповідним поясненням).

Лабораторна робота 3. Визначення водного потенціалу рослинних тканин методом Уршпрунга (за зміною довжини брусків тканини)

Цей метод заснований на підборі зовнішнього розчину відомої концентрації, водний потенціал якого виявиться рівним величині водного потенціалу кліток тканин (ψ_{mk}). Водний потенціал зовнішнього розчину визначається його осмотичним потенціалом ($\psi_{осм}$). При зануренні смужок досліджуваної тканини в розчин, $\psi_{осм}$ якого менше, довжина смужок тканини зменшується. Якщо ψ_{mk} менше $\psi_{осм}$ розчину, то клітини поглинають воду з розчину, об'єм їх збільшується і довжина смужок тканини теж збільшується. Довжина смужок тканини залишається без зміни в тому розчині, у якого $\psi_{осм}$ дорівнює $\psi_{осм}$ тканини.

Матеріали і обладнання: 1) 1М розчин хлориду натрію; 2) дистильована вода; 3) пробірки; 6) ніж для вирізування смужок тканини; 7) лінійки або міліметровка; 8) бульби та коренеплоди овочів, плоди фруктів.

Хід роботи

У пробірках готують по 20 мл розчинів хлориду натрію з концентрацією: 1,0; 0,8; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2 М, у восьму наливають дистильовану воду. Для приготування розчинів початковий 1М розчин NaCl розбавляють дистильованою водою.

З органу рослини вирізають пластини завтовшки 5—10 мм і ділять на однакові бруски завширшки близько 5 мм і завдовжки 40—70 мм. Довжину кожного бруска точно виміряють за допомогою лінійки перед його зануренням в розчин і після витримки в розчині протягом 40—50 хв. Результати вимірювань записують в табл. 3.5.

Таблиця 3.5.

1	Концентрація NaCl, моль/л	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0
---	---------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

2	Всисна сила розчину, МПа							
3	Початкова довжина бруска							
4	Довжина після перебування в розчині							
5	Різниця, мм							
6	Тургор							

Примітка: в другому рядку таблиці записати всисну силу розчинів, яка чисельно дорівнює їх осмотичному тиску. Дані для п'ятого рядка отримати, віднявши з більшої величини меншу, причому збільшення довжини позначити знаком «+», а зменшення – знаком «-». В останньому рядку відзначити ступінь тургору тканини (сильний, середній, слабкий) або його відсутність; для визначення цього показника розкласти бруски на тарілці так, щоб вони наполовину звисали з її краю.

Завдання: визначити величину водного потенціалу тканин бульб методом Уршпрунга, пояснивши причини зміни розмірів брусків в розчинах різної концентрації, і визначити всисну силу клітин.

Тема 1. РОСЛИННА КЛІТИНА ЯК ОСМОТИЧНА СИСТЕМА **(частина 2)**

Лабораторна робота. Визначення всисної сили клітин за зміною концентрації розчинів

Силу, з якою клітина здатна поглинати воду, називають **всисною силою клітини (S)**. На відміну від будь-якого розчину, всисна сила якого чисельно дорівнює його потенційному осмотичному тиску, всисна сила рослинної клітини, пружна стінка якої перешкоджає надходженню води, дорівнює різниці між осмотичним тиском клітинного соку (P) і тургорним протivotиском клітинної стінки (T):

$$S = P - T$$

При зануренні рослинної клітини в який-небудь розчин водообмін між ними визначається співвідношенням їх всисних сил: вода переміщується у бік більшої всисної сили (більш негативного водного потенціалу).

Для визначення всисної сили клітин шматки досліджуваної тканини занурюють в ряд розчинів відомої концентрації і підбирають такий розчин, всисна сила якого дорівнює всисній силі клітин. На відміну від плазмолітичного методу визначення осмотичного тиску клітинного соку, де критерієм служить початок плазмолізу, при визначенні всисної сили клітин критерієм є незмінність вмісту води в клітинах. Найточніші методи визначення всисної сили клітин засновані на вимірюванні концентрації оточуючих клітини розчинів.

Якщо занурити рослинну тканину в розчин, всисна сила якого більше всисної сили клітин, то розчин буде відсмоктувати воду з клітин, внаслідок чого його концентрація зменшиться. Навпаки, якщо всисна сила клітин більше всисної сили розчину, то клітини всмоктують воду з розчину, який стає при цьому більш концентрованим. При рівності всисних сил клітин і розчину не відбувається ні всмоктування, ні відняття води, внаслідок чого концентрація розчину залишається без змін.

Зміну концентрації можна встановити шляхом визначення показника заломлення (рефрактометричний метод) або густини розчинів (метод цівок). В даній роботі рекомендується використовувати обидва методи (з одним і тим же матеріалом).

Матеріали і обладнання: 1) свіже листя рослин; 2) 1М розчин сахарози; 3) дистильована вода; 4) метиленова синь кристалічна; 5) рефрактометр; 6) пробкове свердло діаметром 7—8 мм; 7) препаративна голка; 8) термометр; 9) бюретки з воронками (2 шт.); 10) дворядний штатив з пробірками: в нижньому ряді — звичайні пробірки з пробками (7 шт.), у верхньому — маленькі пробірки об'ємом 3—4 мл з пробками (7 шт.); 11) велика кіркова пробка; 12) скляна паличка; 13) піпетки з відтягнутим в капіляр кінцем, з вихідним отвором не більше 1 мм (7 шт.); 14) олівець по склу; 15) шматочки фільтрувального паперу.

Хід роботи

Ретельно вимити пробірки (7 звичайних і 7 маленьких), сполоснути їх дистильованою водою, висушити в сушильній шафі і забезпечити написами олівцем по склу. Змішуючи відповідні кількості 1М розчину сахарози і дистильованої води, приготувати по 10 мл розчинів наступних концентрацій (моль/л): 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1. Для приготування розчинів використовувати великі пробірки. Після ретельного перемішування відлити в маленькі

пробірки по 0,5 - 1 мл приготованих розчинів і закрити пробірки пробками.

Вирізати гострим пробковим свердлом диски з листя недалеко від середньої жилки, не захоплюючи по можливості крупних жилок (для цього повернути листя нижньою стороною вгору і підкласти під листя пробку). Розкласти по 5 дисків в маленькі пробірки, закрити їх пробками. Витримати диски в розчинах 30 - 40 хв, час від часу струшуючи пробірки і стежачи за тим, щоб диски були весь час занурені в розчини.

Після закінчення вказаного часу виїняти проби з розчинів препаративною голкою і закрити пробірки пробками. Визначити зміну концентрації розчинів після перебування в них дисків з листя.

Завдання: визначити сисну силу клітин рефрактометричним методом та методом цівок.

Рефрактометричний метод (за Н. А. Максимовим і Н. З. Петіновим)

Рефрактометр — оптичний прилад, за допомогою якого визначають показник заломлення променя при проходженні його через призму з нанесеним на неї досліджуванним розчином. Показник заломлення залежить від концентрації розчину і температури.

Існує декілька типів рефрактометрів, пристрій яких і правила роботи з ними описані в інструкціях до кожного приладу. Основна частина рефрактометра — дві скляні призми, причому нижня призма закріплена нерухомо, а верхня може підійматися і опускатися. Між цими призмами потрібно помістити досліджуваний розчин: підняти верхню призму, нанести паличкою з оплавленим кінцем на нижню призму 2—3 краплі досліджуваного розчину сахарози і негайно опустити верхню призму повністю. Сполоснути паличку у воді і витерти фільтрувальним папером. Дивлячись в окуляр, направити за допомогою дзеркала світло в отвір призми, сумістити межу світлої і темної частин поля зору з перетином ліній хреста (в рефрактометрах іншого типу — з пунктирною лінією) і зробити відлік по шкалі коефіцієнтів заломлення. Визначити концентрації розчинів в обох рядах пробірок (початкових розчинів і після перебування в них дисків). Знайти такий розчин, концентрація якого не змінилася — ізотонічний розчин. Після кожного визначення видалити з поверхні призм краплі розчину сухим фільтрувальним папером, потім двічі

протерти папером, змоченим дистильованою водою, і знову витерти сухим фільтрувальним папером.

Завдання: за визначеною ізотонічною концентрацією розрахувати осмотичний тиск та всисну силу клітин.

Метод цівок (за В. С. Шардаковим)

Даний метод заснований на зміні густини розчинів після перебування в них вивчаємих об'єктів.

Розчин, в якому знаходилися шматочки досліджуваного листя, вносять піпеткою в пробірку з розчином початкової концентрації. Якщо цівка піде вниз, це свідчатиме про збільшення концентрації розчину. Рух цівки вгору вказує, що концентрація розчину зменшилася. Якщо цівка залишиться на місці, то густина розчину не змінилася і, отже, всисна сила клітин дорівнює всисній силі цього розчину.

Роботу проводять з тими ж розчинами, які використовувалися для рефрактометричного методу. Перед визначенням треба підфарбувати розчини, для чого внести в маленькі пробірки по кристалу метиленової сині на кінчику препарувальної голки. Багато барвника додавати не можна, оскільки це може викликати збільшення концентрації розчину. Струсивши вміст пробірки, набрати забарвлену рідину в піпетку з відтягнутим в капіляр кінцем і опустити у відповідну пробірку з початковим розчином так, щоб нижній кінець піпетки був занурений в розчин на 2—3 см. Поволі випускаючи розчин, прослідити за напрямом руху цівки забарвленої рідини. Кожний розчин слід брати чистою сухою піпеткою. Отримані результати записати у формі таблиці:

Таблиця 3.4.

Концентрація розчину сахарози, моль/л	Осмотичний тиск при 20°C, МПа	Коефіцієнт заломлення розчинів		Напрямок руху цівки	Співвідношення між S розчину і S клітин
		Початковий	Після перебування дисків		
0,1	0,263				
0,2	0,537				
0,3	0,821				

0,4	1,125				
0,5	1,449				
0,6	1,803				
0,7	2,178				

Завдання: зробити висновки про причини зміни концентрації розчинів і розрахувати значення осмотичного тиску клітин.

Контрольні завдання.

Розрахувати наступні фізіологічні показники:

- 1) Обчисліть інтенсивність транспірації рослини з площею листків 4 м^2 , якщо відомо, що за 45 хвилин вона випарувала 750 г води.
- 2) Маса дослідного пагона відразу після зрізання становила 10,26 г, а через 3 хв. – 10,17 г. Площа листової поверхні становила 240 см^2 . Обчисліть інтенсивність транспірації.
- 3) Обчисліть осмотичний тиск 0,3 М розчину хлористого натрію (за нормальних умов), ізотонічний коефіцієнт якого дорівнює 1,75.
- 4) Обчисліть осмотичний тиск 0,2 М розчину хлориду калію при 7°C . Ізотонічний коефіцієнт даного розчину дорівнює 1,8.
- 5) Обчисліть осмотичний тиск клітинного соку (за рівнянням Вант-Гоффа), якщо відомо, що кімнатна температура становить 20°C , ізотонічна концентрація розчину хлориду натрію дорівнює 0,5 М (для NaCl $i = 1,7$).
- 6) Обчисліть осмотичний тиск клітинного соку при температурі 17°C , якщо відомо, що ізотонічний розчин сахарози для даної клітини має концентрацію 0,3 М (для сахарози $i = 1$)?
- 7) Осмотичний тиск клітинного соку дорівнює 10 атм, атм, а тургорний тиск цієї клітини дорівнює $\frac{3}{4}$ від максимальної величини. Чому дорівнює всисна сила клітини?
- 8) Обчисліть тургорний тиск клітини, якщо відомо, що осмотичний тиск клітинного соку дорівнює 12 атм, а всисна сила клітини становить 5 атм?

Тема 2. ВОДНИЙ ОБМІН РОСЛИН (частина 1)

Мета. Дослідити основні етапи водного обміну рослин, процеси поглинання, пересування та випаровування води в залежності від фізіологічного стану рослини, оволодіти основними засобами визначення транспіраційної активності тканин

Питання до обговорення.

1. Форми води в рослині.
2. Надходження води у рослину, нижній кінцевий двигун.
3. Радіальний та висхідний транспорт.
4. Верхній кінцевий двигун. Транспірація, види, інтенсивність, значення.

Лабораторна робота 1 Визначення різних форм води в рослині.

Нормальний хід процесів життєдіяльності клітин обумовлений не тільки їх загальним обводненням, але і співвідношенням вільної і зв'язаної води.

Вільною називають воду, що зберегла всі або майже всі властивості чистої води. Вільна вода легко пересувається, вступає в різні біохімічні реакції, випаровується в процесі транспірації і замерзає при низьких температурах. **Зв'язана** вода має змінені фізичні властивості.

Молекули води завдяки їх діпольності можуть взаємодіяти як друг з другом, так і з молекулами інших хімічних сполук. Завдяки водневим зв'язкам, молекули води утворюють ажурну квазікристалічну структуру з тетраедричною координацією сусідніх молекул. Така решітка (**кристалічна вода**) може відносно міцно зберігатися в гелеподібних структурах і біологічних мембранах. В рідкому стані тепловий рух молекул не дає можливості формуватися постійній жорсткій решітці. В цьому випадку час існування окремих структур не перевищує $10^{-9} - 10^{-10}$ сек.

Іншим способом взаємодії води з речовинами клітини є хемогідратація низькополімерних (**осмотично зв'язана**) і високополімерних (**колоїдно зв'язана вода**) сполук. Біля кожної полярної або іонізованої групи розташовується декілька шарів орієнтованих молекул води, складаючи гідратну оболонку (**гідратаційно зв'язана вода**).

Крім кристалічно і гідратаційно зв'язаної води у фізіології розглядають поняття **структурно зв'язаної** води. Це вода, яка вступає у взаємодію з молекулами органічних сполук завдяки водневим зв'язкам. Вона грає велику роль при формуванні структури цитоплазми. В певних умовах в молекулах білка відбуваються конформаційні перетворення, перехід фібрил у глобули, золя у гель і т.д. При цьому молекули води можуть утворювати тривимірну сітку або вузькі порожнисті простори, заповнені водою. Ця вода виявляється зв'язаною через свою просторову ізолюваність. Даний тип структурно зв'язаної води отримав назву **імобілізованої**.

Провести чітку грань між вільною і зв'язаною формами води дуже важко. До міцно зв'язаної води слід віднести велику частину води, що утримується при хемогідратації іонів і молекул низько- і високополімерними сполуками, до слабкозв'язаної – воду дифузних шарів гідратаційних сфер, молекули яких зберегли рухливість, структурно зв'язану воду та осмотично поглинену воду клітинного соку.

Суть методу полягає в тому, що наважка досліджуваного рослинного матеріалу поміщається в розчин сахарози певної концентрації (наприклад, 30%). За зниженням концентрації цього розчину, визначеної за допомогою рефрактометра, можна визначити, скільки води віднімає розчин з висічок. Розчин віднімає з висічок вільну, вірніше, слабо зв'язану, легко рухому воду. В іншій паралельній наважці визначається загальна кількість води в рослинному матеріалі. За різницею між кількістю загальної і вільної води знаходять зв'язану воду.

Матеріали і обладнання: 1) рефрактометр; 2) бюкси; 3) піпетки на 5 мл; 4) сушильна шафа; 5) терези з важками.

Хід роботи

Вміст води визначається в листях різних рослин. В заздалегідь зважені скляні бюкси з притертими кришками наливають по 2 мл 30% розчину сахарози. Бюкси зважують і по різниці між першим і другим зважуванням визначають вагу розчину сахарози в бюксі. Потім дуже швидко береться наважка висічок листа (близько 0,5 г) і поміщається в бюкси з сахарозою, після чого бюкси знову зважуються і залишаються при кімнатній температурі на 2 години. Вільна вода витягується сахарозою з досліджуваного об'єкту і внаслідок цього концентрація початкового розчину сахарози змінюється. Визначають концентрацію початкового і дослідного

розчинів сахарози. Зміна концентрації розчину сахарози вказує на кількість води, витягнутої з об'єкту.

Розрахунок **вільної води** проводиться за формулою:

$$X = \frac{100 \times (A - B) \times C}{B \times D}, \text{ де}$$

X – кількість вільної води, %;

A – відсоток сахару в початковому розчині;

B – відсоток сахару в дослідному розчині;

C – вага розчину сахарози;

D – вага наважки рослинного матеріалу, в г.

Загальний вміст води визначається шляхом висушування приблизної г наважки рослинного матеріалу в сушильній шафі при температурі 105⁰С протягом 2-3 годин до постійної ваги:

$$y = \frac{B - A}{B} \times 100\% \text{ , де}$$

y – загальний вміст води, %;

A – вага висушеної наважки, г;

B – вага сирої наважки, г;

Кількість **зв'язаної води** розраховується за різницею між загальною кількістю води і кількістю вільної води.

Об'єкт	Вага порожнього бюкса	Вага бюкса з розчином сахарози	Вага бюкса з сахарозою і наважкою	% початкового розчину сахарози	% дослідного розчину сахарози	Кількість загальної води, %	Кількість вільної води, %	Кількість зв'язаної води, %

Завдання: заповнити таблицю, зробити висновок про загальну кількість води в рослинній тканині та про співвідношення форм води в листі.

Лабораторна робота 2. Вплив зовнішніх умов на процес гутації

Матеріали і обладнання: 1) 5 – 8-денні проростки кукурудзи, вівса або пшениці, вирощені в темряві в глиняних горщиках або в металевих стаканчиках з ґрунтом (4 судини); 2) кристалізатори (3 шт.); 3) великі скляні хімічні стакани з отвором в дні (3 шт.); 4) сніг або битий льод; 5) колба; 6) електроплитка; 7) термометр; 8) шматочки фільтрувального паперу.

Коренева система не тільки всмоктує воду з ґрунту, але і активно нагнітає її в стебло з певною силою, званою *кореневим тиском*. Якщо кількість води, що нагнітається кореневим тиском, більше кількості води, яка випаровується надземними органами, то спостерігається *гутація* – виділення крапель рідини на кінчиках листя.

Хід роботи

Узяти 4 судини з однаковими проростками, политими за годину до початку роботи. Поставити 3 судини в кристалізатори: один заповнити снігом або битим льодом, в другій налити воду кімнатної температури (рівень води повинен бути нижчим за край судини з проростками), в третій – воду, нагріту до 30⁰С. Четверту судину залишити на столі. Видалити шматочками фільтрувального паперу ті краплі, що є на проростках, після чого закрити три перші судини скляними ковпаками (рис.).

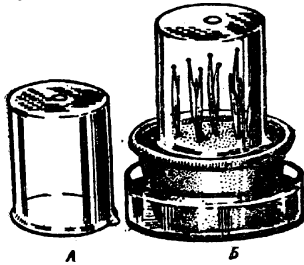


Рисунок. Установка для вивчення гутації:
а — стакан з отвором в дні; б — загальний вид установки

Спостерігати за швидкістю виділення крапель на кінцях проростків. Для більшої точності після появи крапель рекомендується зняти їх через отвір в дні ковпака шматочком фільтрувального паперу, прикріпленого до кінця дроту, і відзначити, через який проміжок часу з'являться нові краплі.

Результати записати в таблицю, оцінюючи інтенсивність гутації за п'ятибальною системою:

Об'єкт	№ варіанту	Умови досліджу	Інтенсивність гутації, бал
	1	Під ковпаком, 0 ⁰ С	
	2	Під ковпаком, кімнатна температура	

	3	Під ковпаком, 30 ⁰ С	
	4	Без ковпака, кімнатна температура	

Завдання: пояснити, чому інтенсивність гутації неоднакова в різних умовах досліду.

Лабораторна робота 3. Визначення інтенсивності транспірації за зменшенням маси зрізаного листа

Матеріали і обладнання: 1) кімнатні рослини (пеларгонія, примула і ін.); 2) торсіонні терези; 3) технічні терези з важками; 4) ножиці; 5) скальпель; 6) кришка чашки Петрі; 7) нитки; 8) міліметрівка; 9) фільтрувальний папір.

Транспірація — процес випаровування води надземними частинами рослин. **Інтенсивність транспірації** — це кількість води, яка випаровується за одиницю часу одиницею листової поверхні. Відношення інтенсивності транспірації до інтенсивності евапорації (випаровування з вільної водної поверхні) за тих же умов називається **відносною транспірацією**; цей показник характеризує здатність рослин регулювати транспірацію.

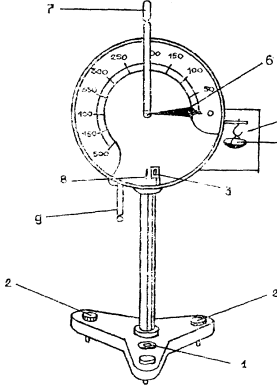
Найпростіший і достатньо точний метод обліку транспірації – метод швидкого зважування, запропонований Л. А. Івановим: пагін або окремих лист зрізають і двічі зважують з інтервалом не більше 5 хв, оскільки при більш тривалій експозиції може початися в'янення листа, що знижує транспірацію. Встановлене цим методом зменшення маси листа відповідає кількості води, яка випарувалась (збільшенням маси в процесі фотосинтезу можна нехтувати, оскільки інтенсивність фотосинтезу у багато разів менше інтенсивності транспірації).

Хід роботи

Для визначення інтенсивності транспірації методом швидкого зважування доцільно використовувати торсіонні терези (рис.).

Перш за все слід встановити терези у вертикальному положенні за рівнем 1 за допомогою опорних гвинтів 2. Приступаючи до роботи, необхідно строго дотримувати правило: щоб уникнути поломки терезів підвішувати груз до гачка 5 або знімати його тільки при закритому аретирі .

Рисунок. Торсіонні терези;



1 - рівень; 2 - опорні гвинти; 3 - показчик
 4 - ваги; 5 - гачок; 6 - стрілка-показчик
 7 - рукоятка; 8 - нульова межа; 9 - аретир

В даній роботі визначають різницю результатів двох зважувань, а не абсолютну масу листа, тому можна зняти з гачка терезів кошик 4 і тим самим збільшити їх навантаження.

Зрізати лист з невеликим відрізком черешка, підвісити за допомогою нитки з петлею на кінці до гачка терезів (при закритому аретирі!) і негайно зважити: відкрити аретир і, обертаючи рукоятку 7, добитися поєднання показчика рівноваги 3 з нульовою межею 8; провести відлік по показчику маси 6 і відзначити час. Якщо маса узятого листа виявиться більше максимального навантаження терезів, то слід використовувати лист менших розмірів або відрізати частину листової пластинки ножицями. Через 3-4 хв зробити друге зважування, також відзначивши час. Якщо випаровування йде слабо, можна збільшити експозицію до 5 хвилин. Закрити аретир і зняти лист з гачка.

Для визначення поверхні листа зважити на технічних терезах квадрат міліметрівки відомої площі (наприклад, 100 см²), накласти на цей квадрат досліджуваний лист, ретельно обвести олівцем листову пластинку, вирізати і зважити отриману паперову фігуру. Площу листа обчислити за пропорцією: $a/b = c/s$, де a — маса квадрата; b — маса паперової фігури; c — площа квадрата; s — площа листа.

Одночасно визначити за тих же умов інтенсивність евапорації (вільного випаровування). Для цього зважити чашку, наповнену майже до краю водою кімнатної температури (зовнішня поверхня чашки повинна бути абсолютно сухою), і через будь-який час, наприклад через 30 хвилин, зробити друге зважування. Визначити поверхню випаровування, змірявши внутрішній діаметр чашки. Результати записати в таблицю 4.3.

Інтенсивність транспірації I_T (г/м²годину) обчислити за формулою:

$$I_T = \frac{n \times 10\,000 \times 60}{s \times t}$$

де n — кількість води, що випарувалася, г;

s — площа, см²;

t — експозиція, хв;

10 000 — коефіцієнт переведу см^2 в м^2 ;

60 — коефіцієнт переведу хвилин в години.

Об'єкт	Час зважування		Експозиція, хв	Маса, г		Випаровано води, г	Площа см^2
	1-го	2-го		1-го	2-го		
Лист							
Судина з водою							

Завдання: обчислити інтенсивність евапорації (ІЕ) за тією ж формулою; знайти відносну транспірацію IT/IE ; на підставі величини відносної транспірації (IT/IE менше 0,5 вважається низкою) зробити висновок про регуляцію листом процесу транспірації.

Тема 2. ВОДНИЙ ОБМІН РОСЛИН (частина 2)

Лабораторна робота 1. Порівняння транспірації верхньої і нижньої сторін листа хлоркобальтовим методом

Матеріали і обладнання: 1) свіже листя рослин (гортензії, фуксії, традесканції і ін.); 2) кружки хлоркобальтового паперу діаметром 1 см наклеєні липкою стрічкою на предметні скельця; 3) пінцет; 4) мікроскоп; 5) лезо бритви; 6) предметні і покривні стекла; 7) препарувальна голка; 8) стаканчик з водою.

Якщо притиснути до листка заздалегідь висушений шматок фільтрувального паперу, просоченого розчином хлориду кобальту, то папір, поглинаючи водяну пару, що виділяється в процесі транспірації, міняє забарвлення з голубого (колір сухого CoCl_2) на рожеве (колір $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$). За швидкістю набуття рожевого забарвлення можна приблизно судити про інтенсивність транспірації.

Хід роботи

Відклеїти липку стрічку з двома кружками хлоркобальтового паперу і негайно прикласти кружки до двох сторін листка (безпосередньо на рослині). Хлоркобальтові папірці слід тримати за липку стрічку, не торкаючись до них пальцями, від яких можуть

залишитися рожеві плями. (Максимально щільно притискайте липку стрічку до листка щоб усунути дію атмосферної вологи.) Спостерігати за зміною забарвлення хлоркобальтового паперу і записати результат (час порожевіння, хв).

Зробити зрізи верхнього і нижнього епідермісу дослідного листка (або іншого листка цієї ж рослини), розглянути їх в мікроскоп при великому збільшенні і замалювати.

Завдання: зробити висновки про причини різної інтенсивності транспірації верхньої і нижньої сторін листа даної рослини.

Лабораторна робота 2. Вплив зовнішніх умов на стан продихів (за Молішем)

Матеріали і обладнання: 1) різні кімнатні рослини (за годину до початку роботи полити рослини та помістити деякі екземпляри у темряву); 2) бензол, ксилол і етиловий спирт в крапельницях.

Міжклітинники листа зазвичай заповнені повітрям, завдяки чому при розгляді на світлі лист здається матовим. Якщо відбудеться інфільтрація, тобто заповнення міжклітинників якою-небудь рідиною, то відповідні ділянки листа стають прозорими.

Визначення стану продихів методом інфільтрації засновано на здатності рідини, що змочує клітинні стінки, проникати через відкриті продихові щілини до найближчих міжклітинників, витісняючи з них повітря, в чому легко переконатися за появою на листі прозорих плям. Рідина проникають в продихові щілині залежно від їх ширини: петролейний ефір або бензол — крізь слабко відкриті продихи, ксилол — крізь середньо відкриті, а етиловий спирт — тільки через широко відкриті.

Хід роботи

На нижню поверхню листа нанести окремо маленькі краплі бензолу, ксилолу і етилового спирту. Тримати лист в горизонтальному положенні до повного зникнення крапель, які можуть або випаруватися, або проникнути всередину листа, і розглянути лист на світло.

Досліджувати листя, витримане в різних умовах (свіжі і підв'ялі, освітлені і затемнені і т. п.).

Результати записати в таблицю, відзначаючи проникнення рідини знаком „+”, а відсутність проникнення знаком „—”:

Об'єкт	Умови досліджу	Бензол	Ксілол	Спирт	Стан продихів

Завдання: зробити висновки про вплив зовнішніх умов на стан продихів.

Лабораторна робота 3. Визначення стану продихів методом відбитків

Матеріали і обладнання: 1) кімнатні рослини (деякі рослини або окреме листя за 2-3 години до заняття помістити у темряву); 2) лак для нігтів, розведений ацетоном до сироподібного стану; 3) тонка скляна паличка; 4) пінцет; 5) мікроскоп; 6) окуляр - мікрометр; 7) об'єktiv - мікрометр; 8) предметні скельця.

На поверхню листа наносять тонкий шар лаку. Після випаровування розчинника утворюється плівка, на якій відбивається епідерміс з продихами. Розглядаючи отримані відбитки в мікроскоп, можна визначити кількість і розмір продихів, а також виміряти ширину щілин продихів. Даний метод можна використовувати не тільки для лабораторних, але і для польових досліджень (в останньому випадку відбитки зберігають до визначення в пробірках з водою). Для дослідження листя, продихи яких розташовані в поглибленнях епідермісу (наприклад, у олеандра), цей метод незастосовний, оскільки у такого листя відбитки не виходять.

Продихи можна спостерігати також безпосередньо на епідермісі. Для цього знімають верхній або нижній епідерміс (в залежності від того, де більше продихів – це визначають хлоркобальтовим методом), розташовують його на предметне скельце у краплю дистильованої води та розглядають під мікроскопом на малому та великому збільшенні, визначають площу продихових щілин за допомогою окуляр-мікрометра.

Хід роботи

Нанести на нижню поверхню листа скляною паличкою краплю розчину лака і швидко розмазати тонким шаром. Після повного висихання зняти плівку пінцетом, розмістити на предметне скло і розглянути при великому збільшенні без покривного скла. Вставити в мікроскоп окуляр - мікрометр і виміряти ширину і

довжину щілини продохів не менше ніж у десяти продохів, обчислити середні величини.

Визначити ціну ділення окуляр – мікрометра за допомогою об'єктив – мікрометра. Помноживши довжину і ширину отворів продохів, виражених в поділках окуляр - мікрометра, на ціну одного ділення, знайти абсолютні розміри щілин продохів. Обчислити площу продохової щілини, з деяким наближенням приймаючи її форму за ромб, за формулою $X=0,7a \cdot b$, де a — ширина, b — довжина щілини.

Досліджувати листя різних ярусів однієї і тієї ж рослини, а також добре освітлене і затемнене листя. Результати записати в таблицю:

№ п/п	Вид рослини	Умови		Ціна поділок окуляр-мікрометра, мкм	Розмір щілин продохів				
		Світло	Темрява		У поділках окуляр-мікрометра		У мкм		Площа щілин продохів, мкм ²

Завдання: зробити висновки про вплив умов освітлення на розміри отворів продохів; порівняти розміри отворів продохів у різних рослин.

Лабораторна робота 4. Підняття води в рослині по судинах

Рух води здійснюється по судинах і трахеїдах. Вода в судинах знаходиться у вигляді суцільних водяних ниток, які спираються на живі клітини кореня і сполучені з живими клітинами листка. Сила налипання води до стінок судин (***адгезія***) і сила зчеплення окремих молекул води між собою (***когезія***) дорівнює декількам сотням атмосфер. Для пересування води вгору потрібно, щоб клітини, які випаровують воду, мали достатню всисну силу. В клітинах листової паренхіми вона сягає 20-40 атм і більше. Вода випаровується листком і тягне за собою водяну нитку. Рух води по судинах пояснюється присмоктуючою силою транспірації,

кореневим тиском і наявністю безперервних водяних ниток.

Присмоктуюча сила транспірації і сили зчеплення води в рослині зумовлюють рух води в рослині і без кореневої системи. Це можна бачити на досліді з гілками або листками рослин, які ставлять в забарвлений розчин.

Матеріали і обладнання: 1) листок герані, суцвіття спатифіллюма та білі квіти інших рослин; 2) мікроскоп; 3) 1% розчин еозину; 4) препарувальне обладнання; 5) предметні і покривні скельця; 6) колба.

Хід роботи

Зрізають листок герані (під водою) і ставлять черешок в розчин еозину. Виставляють на яскраве світло. Через півгодини жилки листка забарвлюються в рожевий колір. Роблять зрізи листка під мікроскопом. Звертають увагу, по яких частинах провідного пучка пересувається забарвлений розчин.

Завдання: зробити висновок, по яких елементах провідного пучка пересувається вода; замалювати основний пучок і відзначити забарвлені елементи.

Контрольні питання

I. Виконати тестові завдання:

- 1) Вода в клітині розміщується нерівномірно. Де вміст води найбільший?
 - a) а) в ядрі
 - b) в мітохондріях;
 - c) в хлоропластах;
 - d) в клітинній оболонці;
 - e) у вакуолі
- 2) Існують такі механізми продихових рухів: Який тип руху продихів відноситься до гідро пасивного:
 - a) зв'язані з закриттям продихів у результаті механічного тиску сусідніх епідермальних клітин, заповнених водою;
 - b) відкриття та закриття продихових щілин, обумовлене зміною вмісту води в самих замикаючих клітинах.
- 3) Ростові та тургорні рухи відрізняються один від одного за цілим рядом ознак. Укажіть особливості, характерні для тургорних рухів.
 - a) відбуваються дуже швидко;

- b) залежать від вмісту фітогормонів;
 - c) відбуваються повільно;
 - d) не залежать від вмісту фітогормонів.
- 4) Вода рухається по рослині в результаті дії двох кінцевих двигунів Який з цих механізмів діє в деревах до появи листя?:
- a) верхнього (присисна дія транспірації);
 - b) нижнього (кореневий тиск).
- 5) Гілка тополі була зрізана з дерева, поставлена в банку з водою і закрита скляним ковпаком для зупинки транспірації. Чи відбувається в цієї гілки гутація?
- a) так;
 - b) ні.
- 6) Між молекулами води, що знаходяться в судинах ксилеми, діють сили зчеплення. Як змінюється товщина дерева протягом спекотного дня?
- a) збільшується;
 - b) залишається без змін;
 - c) зменшується.
- 7) Які основні бар'єри існують у центральному циліндрі на шляху транспорту води з ґрунтового розчину до ксилему кореня?
- a) клітинна оболонка;
 - b) плазмалема кореневого волоска;
 - c) паренхімні клітини кори;
 - d) ендодерма;
 - e) паренхімні клітини центрального циліндра.
- 8) Час, потрібний для розриву цитоплазми під час центрифугування становить у алое 3 хв., подорожника – 10 хв., вероніки сизої – 25 хв. Яка з цих рослин краще переносить зневоднення?
- 9) Всисна сила клітини дорівнює нулю за умови:
- a) максимального тургору та мінімального осмотичного тиску;
 - b) максимального осмотичного тиску та мінімального тургору;
 - c) коли осмотичний тиск дорівнює тургорному тиску.
- 10) Кількість продихів:
- a) більша на зовнішній поверхні листка;
 - b) більша на внутрішній поверхні листка;
 - c) однакова на обох.
- 11) Внаслідок ранньовесняного потіку соку по рослині може спостерігатись явище:
- a) „плачу”;

- b) гутації;
 - c) транспірації.
- 12) Основним транспортним вуглеводом, що транспортується по флоемі, у рослин є:
- a) а) глюкоза;
 - b) фруктоза;
 - c) сахароза;
 - d) крохмаль.
- 13) Основними обмінними іонами між кореневою системою та ґрунтовим поглинаючим розчином є:
- a) Ca^{2+} та SO_4^{2-} ;
 - b) H^+ та HCO_3^- ;
 - c) K^+ та Cl^- ;
 - d) H^+ та HCOO^- .
- 14) Рослина здатна деякою мірою регулювати величину осмотичного тиску. Які з перелічених умов ведуть до збільшення цього показника?
- a) висока активність ферменту амілази, який гідролізує крохмаль;
 - b) низька активність амілази;
 - c) висока активність протеїназ;
 - d) низька активність протеїназ;
 - e) накопичення в клітинному соці органічних кислот;
 - f) нейтралізація органічних кислот клітинного соку з переведенням їх у нерозчинний стан.
- 15) Розрізняють продихову та кутикулярну транспірацію. В якому листку інтенсивність кутикулярною транспірації буде більшою?
- a) в молодому;
 - b) в зрілому;
 - c) в старому.
- 16) Гутація виникає за таких умов:
- a) за високої вологості повітря;
 - b) за достатньо високої температури;
 - c) при закриванні продихів;
 - d) за наявності в ґрунті великої кількості кисню.
- 17) Як зміниться інтенсивність обміну речовин у клітині при збільшенні частки зв'язаної води?
- a) підвищиться;
 - b) залишиться без змін;

с) знизиться.

II. Дати відповідь на наступні питання

1. Яка роль води в життєдіяльності рослинного організму?
2. Дайте характеристику стану та фракційного складу води в рослині.
3. Від чого залежить надходження води в клітину?
4. Які особливості має коренева система рослини в зв'язку з її функцією поглинання води із ґрунтового розчину?
5. Як регулюється процес надходження та процес випаровування води рослинами?
6. Дайте характеристику явищу транспірації.
7. Що таке гутація і "плач" рослини?
8. Поясніть наступні терміни: польова вологоємність, мертвий запас води в ґрунті, вологість в'янення.

ПИТАННЯ ДО СЕМІНАРУ

«Водообмін рослин»

1. Яку роль відіграє вода в житті рослини?
2. Назвіть особливості структури молекул води, які визначають її фізичні та хімічні властивості.
3. Дайте характеристику стану та фракційного складу води в рослині.
4. Яку воду називають гомеостатичною?
5. У яких компартментах клітини може запасатися вода?
6. Які речовини можуть зв'язувати воду?
7. Яку воду називають гідратаційною?
8. Що таке імібілізована вода?
9. Якими формами представлена зв'язана вода?
10. У якому стані знаходиться вода у вакуолі, в клітинній стінці, в цитоплазмі?
11. За допомогою яких механізмів вода поступає в клітку?
12. Що таке осмос? Що є причиною осмосу?
13. З яких компонентів складається осмотична система?
14. Чому клітку називають осмотичною системою?
15. Що таке осмотичний потенціал?

16. Який розчин називають гіпертонічним, гіпотонічним, ізотонічним?
17. Які речовини називають осмотично активними?
18. Від яких чинників залежить величина осмотичного потенціалу?
19. Який тиск називають тургорним?
20. Який стан клітини називають станом насичення?
21. Що таке водний потенціал і водний потенціал клітини?
22. Від чого залежить напрям руху води — в клітину або з клітини?
23. Чому дорівнює водний потенціал клітини?
24. Що таке циторріз?
25. Від яких внутрішніх і зовнішніх чинників залежить величина водного потенціалу?
26. Якими способами клітина може знизити свій водний потенціал?
27. Дайте визначення поняттям дифузія і осмос. Чим визначається напрямок дифузії?
28. Що таке водний потенціал? Які його складові частини?
29. Від чого залежить надходження води в клітину?
30. В якому стані клітини водний потенціал дорівнює осмотичному потенціалу? Нулю?
31. Яке значення мають явище осмосу та процеси гідратації в рослинній клітині? Поясніть, які сили обумовлюють надходження води в клітину.
32. Чому градієнт водного потенціалу є рушійною силою надходження та пересування води в рослині?
33. Які процеси складають водний обмін рослинного організму?
34. Нижній та верхній кінцевий двигун.
35. Що таке транспірація? Який процес називають гутацією?
36. Що таке водний дефіцит?
37. Клітини яких органів можуть поглинати воду?
38. Що таке водний баланс?
39. Скільки води може випарувати рослина за добу? Чому рослина витрачає багато води?
40. Які шляхи ближнього та дальнього транспортування води в рослині?
41. Які особливості має коренева система рослини в зв'язку з її функцією поглинання води із ґрунтового розчину?
42. Як регулюється процес надходження та процес випаровування води рослинами?
43. Дайте характеристику явищу транспірації. В чому різниця між

- продиховою та кутикулярною транспірацією?
44. Що таке гутація і "плач" рослини?
 45. Які особливості водного режиму у рослин різних екологічних груп?
 46. Які рослини називають епіфітами?
 47. Поясніть наступні терміни: польова вологоємність, мертвий запас води в ґрунті, вологість в'янення.
 48. Коли виникає водний дефіцит у рослин і до яких початкових та наступних наслідків він може привести?
 49. Які фізіологічні показники використовують з метою діагностики в зрошенні?