

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет агротехнологій

Кафедра ґрунтознавства та агрохімії

Агрохімія.

Методи та способи визначення макроелементів в ґрунтах

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для виконання практичних робіт здобувачами першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти

ОПП «Агрономія» спеціальності 201 «Агрономія»
денної денної та заочної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв
2025

УДК 631.41:543
М 54

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету від 15.05.2025р., протокол № 10

Укладач:

М.І. Федорчук – д. с.-г. наук, професор, завідувач кафедри ґрунтознавства та агрохімії, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

О.М. Дробітько – канд. с.-г. наук, директор ФГ «Олена»
Вознесенського району Миколаївської області;

В.В. Гамаюнова - д. с.-г. наук, професор, завідувачка кафедри
землеробства, геодезії та землеустрою
Миколаївський національний аграрний університет.

©Миколаївський національний
аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Надходження елементів живлення до рослин	5
Макроелементи та їх роль у живленні рослин	10
Азот (N)	10
Фосфор (P)	10
Калій (K)	10
Ознаки нестачі елементів живлення у рослин	11
Нестача азоту	11
Нестача фосфору	11
Нестача калію	12
Нестача кальцію	12
Лабораторні роботи	
Лабораторна робота №1:	
Приготування водного витягу з рослин	13
Лабораторна робота №2:	
Спектрометричне визначення вмісту нітратів	15
Лабораторна робота №3:	
Фотометричне визначення фосфатів	17
Лабораторна робота №4:	
Визначення калію методом полум'яної фотометрії	19
Лабораторна робота №5:	
Фотометричне визначення загальної сірки	22
Лабораторна робота №6:	
Фотометричне визначення вмісту магнію	24
Список використаних джерел	26

ВСТУП

Мінеральне живлення є одним із ключових факторів, що визначають продуктивність і якість сільськогосподарських культур. У числі найважливіших елементів живлення рослин виділяють макроелементи — азот, фосфор і калій, які споживаються в найбільших кількостях і беруть участь у формуванні білків, ферментів, нуклеїнових кислот та інших життєво необхідних сполук.

Азот є основою білкового обміну, фосфор — енергетичних процесів та утворення ДНК, тоді як калій відповідає за осмотичний тиск, транспірацію, синтез вуглеводів і стійкість до стресових факторів. Збалансоване забезпечення рослин цими елементами є обов'язковою умовою для досягнення високих урожаїв.

У методичних рекомендаціях розглядається фізіолого-біохімічна роль основних макроелементів, ознаки їх нестачі, фактори, що впливають на доступність у ґрунті, а також сучасні агротехнічні рішення щодо їх внесення. Окрему увагу приділено методам лабораторного визначення вмісту макроелементів у рослинному матеріалі з використанням фотометричних та спектрофотометричних методик.

Посібник призначений для студентів агрономічних та біологічних спеціальностей, викладачів, науковців і фахівців аграрної галузі, які займаються вивченням та практичним забезпеченням мінерального живлення рослин.

Надходження елементів живлення до рослин

Кореневе поглинання

Продуктивність рослин і поглинання ними макро- і мікроелементів знаходяться в прямій залежності від вмісту елементів живлення в ґрунті.

В ґрунті елементи живлення знаходяться в таких формах:

- у ґрунтовому розчині,
- у твердій мінеральній фазі,
- в органічній речовині ґрунту.

Доступними для рослин є лише розчинні та обміннопоглинальні форми. Перехід елементів із недоступної форми в доступну здійснюється в результаті таких процесів:

- мінералізація органічної речовини,
- мікробіологічне закріплення елементів,
- руйнування мінералів ґрунту,
- вивітрювання та хімічні процеси,
- поглинання ґрунтовою біотою,
- закріплення елементів у ґрунтово-вбирному комплексі,
- зміна реакції середовища (рН ґрунтового розчину), за якої солі можуть випадати в осад.

На доступність елементів живлення з ґрунту впливають такі фактори:

- вологість,
- структура ґрунту,
- температура,
- рівень рН середовища.

Важливо оцінювати не лише кількість елементів у ґрунті, але й форми, в яких вони там знаходяться.



Надходження елементів живлення до рослин

Загалом поглинання елементів живлення залежить від загальної концентрації солей у ґрунтовому розчині. Оптимальною для найкращого засвоєння елементів рослинами вважається концентрація в межах 0,01–0,05%. Підвищення концентрації солей призводить до зростання осмотичного тиску, що ускладнює надходження в рослину води та поживних речовин.

Доступність елементів живлення також залежить від рівня рН ґрунтового розчину. Для отримання точного показника рН ґрунту найкраще проводити вимірювання в лабораторних умовах із використанням різних розчинів.

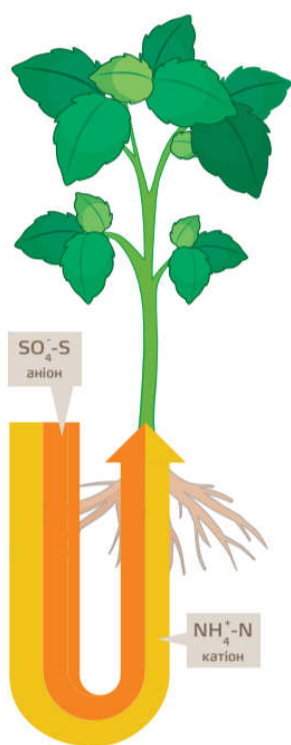
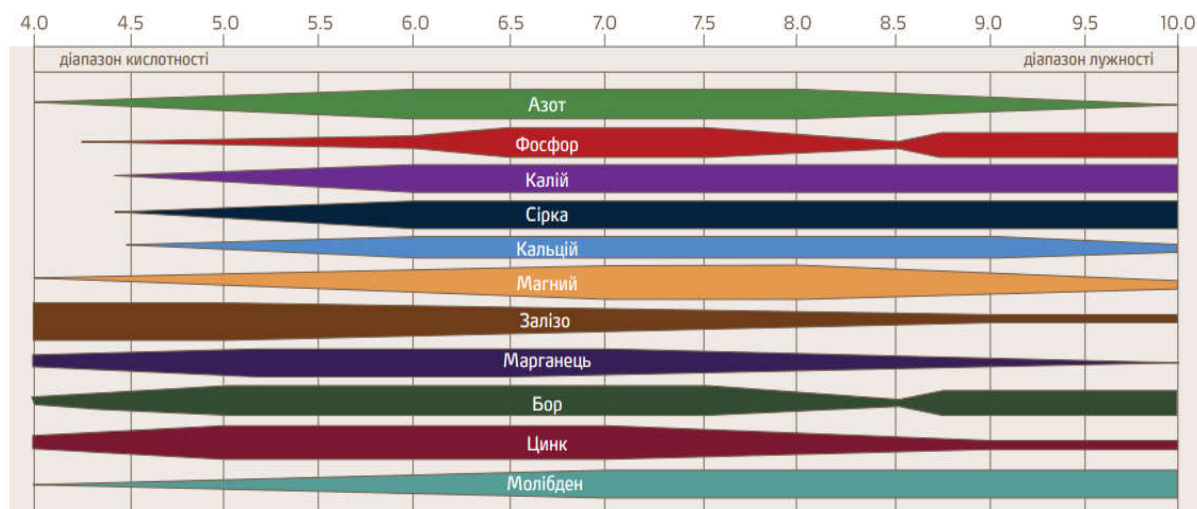
Порівняно зі стандартним 0,01 М розчином CaCl_2 , рН у воді буде на 0,6 одиниці вищим. У 1 М розчині KCl рН буде на 0,3 одиниці нижчим, а в 0,1 М KCl — приблизно на 0,1 одиниці вищим. Важливо пам'ятати, що шкала рН є логарифмічною. Наприклад, підвищення рН з 7 до 8 означає, що ґрунт став лужнішим у 10 разів, тоді як зниження з рН 7 до рН 5 — що ґрунт став у 100 разів кислішим.

У всьому світі загальноприйнятим є вимірювання рН у водному розчині.

Внесення елементів живлення через листову поверхню не лише доповнює кореневе живлення, але й дозволяє оперативно коригувати живлення культури в критичні періоди вегетації. До таких періодів належать надто низькі чи високі температури, посуха, підвищена кислотність ґрунту тощо. Листкове підживлення є зручним способом стимуляції фізіологічних процесів у рослині, які відповідають за підвищення якості урожаю та стійкості до негативних факторів навколишнього середовища.

Сумісне застосування листових добрив із пестицидами усуває ефект пригнічення культури, особливо при обробці гербіцидами.

Максимальна концентрація робочих розчинів для листового підживлення становить 0,7–2%. Для малооб'ємного обприскування можливе використання більш концентрованих розчинів (до 10%), однак у таких випадках необхідно попередньо провести тест на визначення можливості виникнення опіків.



Висока ефективність використання сечовини:

- Забезпечують тривале живлення сільськогосподарських культур шляхом ефективного вивільнення поживних речовин.
- Володіють низьким вмістом біурету.
- Гранули характеризуються особливою міцністю, тому продукт не розкришується та не утворює пилу під час внесення.
- Слово VERA походить зі старонорвезького «Vekra» та означає «оживляти або підбадьорювати».

Важливість сірки для рослин:

- Бере участь в утворенні таких амінокислот як цистеїн та метіонін.
- Є складовою кількох ферментів, які сприяють метаболізму рослин, наприклад, утворенню білків і вуглеводів, засвоєнню азоту.
- Незамінна в утворенні глікозинолатів у капустяних та впливає на якість борошна.
- Рослини використовують азот і сірку разом для створення білків і ДНК. Типове співвідношення N:S для рослин становить від 7:1 до 13:1, тому YaraVera Amidas N:S співвідношенням 7,3:1 є оптимальним для синтезу білка.



Кальцій:

- Добре укорінення.
- Зниження стресу.
- Укріплення клітинних стінок і тканин рослини.
- Покращення якості плодів.
- Збільшення терміну зберігання урожаю.

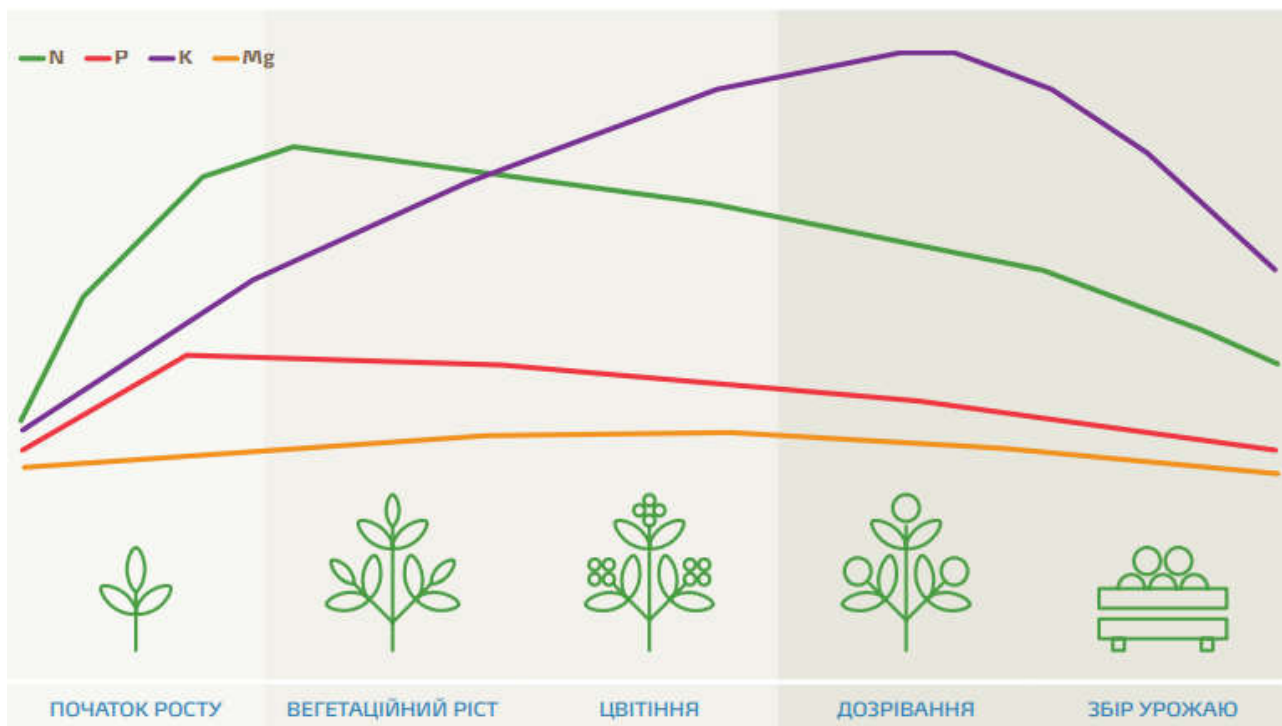
Нітратний азот:

- Прекрасна доступність для рослин.
- Швидкий вегетативний ріст.
- Збільшення урожаю.

Бор:

- Здоров'я коренів.
- Добре цвітіння і плодотворення.
- Сильний ріст молодих пагонів.
- Сильні та еластичні тканини рослин.
- Покращення якості плодів.

Одне рішення для кожної стадії росту:



Елементи живлення і їх роль для рослин

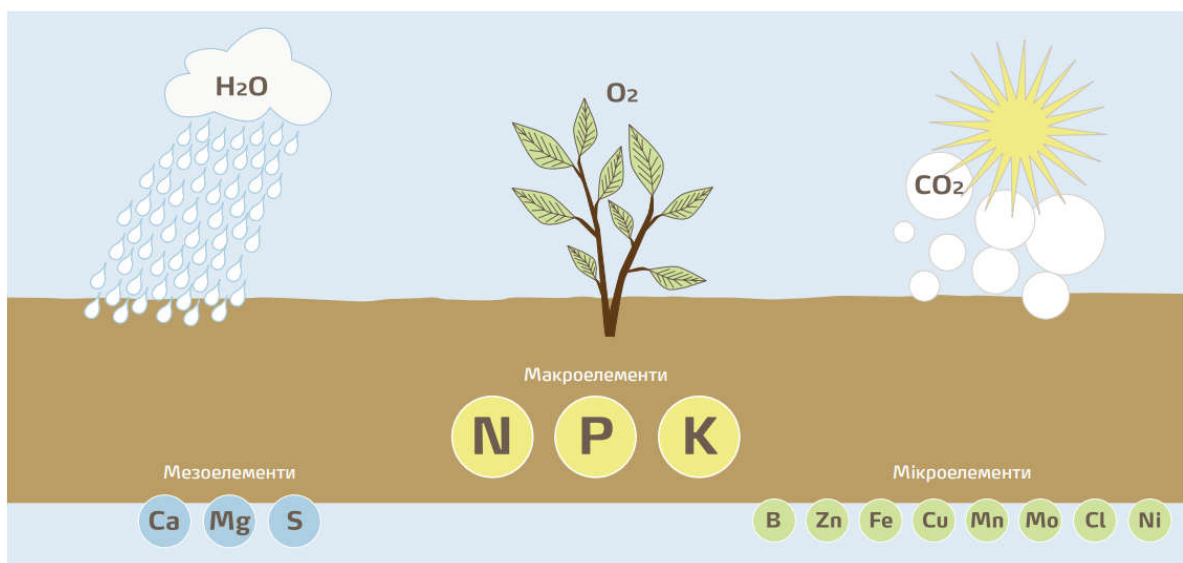
Крім сонячного світла, вуглекислого газу, кисню і води виділяють чотирнадцять важливих елементів живлення для росту рослин. Вони поділяються на:

- Макроелементи – N, P, K (азот, фосфор, калій).
- Мезоелементи – Ca, Mg, S (кальцій, магній, сірка).
- Мікроелементи – Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl, Ni (залізо, марганець, бор, цинк, мідь, молібден, хлор, нікель).

Макро- і мезоелементи необхідні рослинам в найбільшій кількості, оскільки вони являються складовими багатьох компонентів рослин, включаючи білки, нуклеїнові кислоти і хлорофіл, та важливі для таких фізіологічних процесів, як дихання, підтримка осмотичного тиску.

Головна роль мікроелементів в рослинах полягає в тому, що вони входять до складу ферментів, які являються каталізаторами біохімічних процесів, підвищуючи їх активність. Нестача мікроелементів призводить не лише до зниження урожаю, а й викликає ряд захворювань у рослин, інколи і їх загибель, внаслідок чого знижується якість продуктів харчування людини та тварин. Мікроелементи стимулюють ріст сільськогосподарських культур та прискорюють їх розвиток, позитивно впливають на стійкість до несприятливих умов зовнішнього середовища, грають важливу роль у боротьбі з деякими захворюваннями.

Якщо в ґрунті чи в атмосфері один із елементів, що бере участь в живленні рослин, знаходиться в недостатній кількості чи недостатньо засвоюється, рослина не розвивається або розвивається погано. Елемент, що повністю відсутній чи мінімально присутній, перешкоджає іншим поживним сполукам ефективно впливати на рослину.



Макроеlementи та їх роль для рослин

N Азот

Азот – поживний елемент, що найбільше впливає на урожайність рослин. Якщо азот надходить в недостатній кількості, це проявляється візуально: рослина чахла, листки стають бліді, починаючи з найбільш старих. Урожайність може значно зменшитися, якщо дефіцит азоту триватиме протягом усього вегетаційного періоду. Відтак, це відображається на якості продукції; в основному, на порушенні білкових з'єднань при формуванні зерна. Рослини споживають азот, розчинений у воді, тому погодні умови протягом сезону відіграють важливу роль в цьому процесі. В посушливих умовах рослини не можуть вбирати азот – як і будь-які інші поживні речовини – навіть якщо вони знаходяться в ґрунті. З іншого боку, рясні дощі і надмірне зрошення можуть призвести до вимивання азоту, особливо на легких ґрунтах.

Надмірна щільність ґрунтів негативно впливає на ріст коренів, тому рослинам стає важко поглинати азот та інші поживні речовини в таких умовах.

P Фосфор

Фосфор здійснює суттєвий вплив на фізіологію культури, оскільки відіграє вирішальну роль в розподілі енергії в рослині. Потреба в фосфорі особливо велика на початку фази формування кореневої системи, на етапі цвітіння і зав'язування плодів. Симптоми дефіциту фосфору – темно-зелене або фіолетове забарвлення країв листків, особливо у культур на краю і клітинки стають темними чи червонуватими.

Фосфор гарно гуртується з частинками ґрунту і не рухомий елемент, навпаки, він один із найбільш нерухомих. Його розчинність, тобто доступність, в основному залежить від температури ґрунту і показника рН, оптимальне значення якого знаходиться в межах 6–7. Чим довший контакт розчинних форм фосфору з частинками ґрунту, тим більша його кількість стане недоступною для рослин. Саме тому висока ефективність використання фосфору, як правило, досягається внесенням добрив одразу перед сівбою чи посадкою культури. Ця практика особливо актуальна на ґрунтах з високою поглинаючою здатністю.

K Калій

Для фізіології сільськогосподарських культур калій відіграє найважливішу роль, беручи участь у розподілі води і в ферментативних процесах. Досягати наявної кількості калію може полегшити стрес, що перенесли рослини в період спеки, посухи чи посухи. Калій є елементом, що впливає на якість сільськогосподарської продукції, особливо таких як: картопля, овочі і плодова деревина. Для цих культур калій необхідний особливо на стадії росту і наливу чи

зав'язі плодів, при цьому він також впливає на колір плодів, їх смак і якість зберігання.

Для багатьох овочевих культур потреба в калії набагато більша, ніж в азоті, із розрахунку кг/га. Наприклад, 1 тонна бульб картоплі містить приблизно 6–7 кг K_2O . Типи ґрунтів містять великі кількості калію не у формі, доступній рослинам, остання необхідна більша кількість даного елемента. Наявність піску в ґрунті, що вивітрюється швидше, для овочів і інших культур з високим вегетативним приростом і великою потребою в калії рекомендоване поетапне живлення цим елементом.

Ознаки нестачі основних елементів живлення в рослинах

N Азот

Нестача азоту сильно гальмує ріст і розвиток рослин. Це проявляється у вигляді хлорозу: листя стає світло-зеленим, дрібним, передчасно жовтіє з кінчиків. У зернових колосових культур спостерігається сповільнення кущіння, стебла формуються короткими. Погіршується цвітіння, виникає раннє опадання зав'язі.

P Фосфор

Нестача фосфору пригнічує ріст і розвиток рослин, погано формується коренева система. Симптоми дефіциту з'являються насамперед на старих листках, які набувають темно-зеленого кольору, що згодом переходить у синювато-бузковий, пурпуровий або фіолетовий відтінок. По краях листків можуть з'являтися жовто-бурі, бурі або чорно-бурі смуги. Уповільнюються фази розвитку, спостерігається пригнічення росту, пізніше настає цвітіння і ще пізніше — дозрівання. Також порушується білковий обмін.



Дефіцит азоту
на пшениці



Дефіцит азоту
на кукурудзі



Дефіцит фосфору
на пшениці



Дефіцит фосфору
на картоплі



Дефіцит азоту
на картоплі



Дефіцит азоту
на томатах



Дефіцит фосфору
на кукурудзі



Прояв дефіциту
фосфору на ріпаку

К Калій

Калій визначає тургор рослинної клітини. Нестача цього елементу призводить до його втрати, внаслідок чого збільшується транспірація та зменшується посухостійкість рослин. Симптоми дефіциту проявляються у вигляді пожовтіння між жилками листків. Нижні листки покриваються жовто-коричневими плямами. По краях листків та на їх кінчиках спостерігається хлороз. Також можуть з'являтися плями на поверхні листків. У зернових культур вкорочуються міжвузля, що негативно впливає на формування стебел.

Са Кальцій

Кальцій є малорухомим елементом у рослині й переноситься переважно з потоком води, тому він накопичується в основному в листі. Дефіцит кальцію проявляється переважно на молодих листках і органах, особливо в періоди низької транспірації та слабкого водного обміну. За нестачі кальцію відмирають точки росту.

Коренева система — одна з перших частин рослини, яка реагує на дефіцит кальцію: основні корені стають вкороченими, а бічні — слабо розвиненими. Рослини з нестачею кальцію зазвичай зберігають зелене забарвлення, але листя має тенденцію до в'янення або руйнування.



Дефіцит калію
на ріпаку



Прояв дефіциту калію
на томатах



Дефіцит кальцію
на картоплі



Дефіцит кальцію
на картоплі



Дефіцит калію
на кукурудзі



Прояв дефіциту калію
на сої



Дефіцит кальцію
на томатах



Дефіцит кальцію
на яблуні

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ПРИГОТУВАННЯ РОСЛИННОЇ ВОДНОЇ ВИТЯЖКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ХІМІЧНОГО АНАЛІЗУ

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

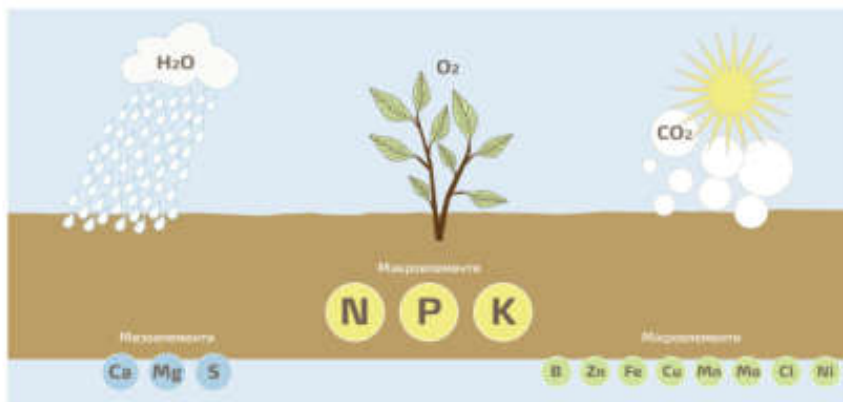
Крім сонячного світла, вуглекислого газу, кисню і води виділяють чотирнадцять важливих елементів живлення для росту рослин. Вони поділяються на:

- Макроелементи – N, P, K (азот, фосфор, калій).
- Мезоелементи – Ca, Mg, S (кальцій, магній, сірка).
- Мікроелементи – Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl, Ni (залізо, марганець, бор, цинк, мідь, молібден, хлор, нікель).

Макро- і мезоелементи необхідні рослинам в найбільшій кількості, оскільки вони являються складовими багатьох компонентів рослин, включаючи білки, нуклеїнові кислоти і хлорофіл, та важливі для таких фізіологічних процесів, як дихання, підтримка осмотичного тиску.

Головна роль мікроелементів в рослинах полягає в тому, що вони входять до складу ферментів, які являються каталізаторами біохімічних процесів, підвищуючи їх активність. Нестача мікроелементів призводить не лише до зниження урожаю, а й викликає ряд захворювань у рослин, інколи і їх загибель, внаслідок чого знижується якість продуктів харчування людини та тварин. Мікроелементи стимулюють ріст сільськогосподарських культур та прискорюють їх розвиток, позитивно впливають на стійкість до несприятливих умов зовнішнього середовища, грають важливу роль у боротьбі з деякими захворюваннями.

Якщо в ґрунті чи в атмосфері один із елементів, що бере участь в живленні рослин, знаходиться в недостатній кількості чи недостатньо засвоюється, рослина не розвивається або розвивається погано. Елемент, що повністю відсутній чи мінімально присутній, перешкоджає іншим поживним сполукам ефективно впливати на рослину.



Для дослідження умісту макроелментів у рослин, необхідно насамперед отримати водний витяг з рослини або аналізування хімічного складу соку.

Необхідні матеріали:

- Рослина (свіже або сушене листя, стебла, коріння тощо)
- Дистильована або деіонізована вода
- Аналітичні ваги

- Блендер або ступка з товкачиком
- Скляні мензурки або конічні колби
- Гаряча плита або водяна баня (якщо гаряча екстракція)
- Фільтрувальний папір або центрифуга
- Скляна лійка або установка Бюхнера
- Мірна колба

1. Підготовка зразка.

Очистіть рослинний матеріал від бруду та пилу. Подрібніть на дрібні шматочки або подрібніть (свіжий) або подрібніть у порошок (сушений) за допомогою блендера або ступки. Зважте точну кількість (зазвичай 5–10 грамів сухого матеріалу або 10–20 грамів свіжого).

2. Екстракція.

Виберіть екстракцію **холодною** або **гарячою** водою, залежно від типу сполуки. *Холодна екстракція (мацерація)*

Помістіть рослинний матеріал у склянку або колбу. Додайте дистильовану воду у співвідношенні 1:10 або 1:20 (рослина:вода за вагою/об'ємом). Періодично перемішуйте або струшуйте. Залиште на 12–24 години при кімнатній температурі. *Гаряча екстракція (настій або відвар)*

Додайте таку ж воду у співвідношенні 1:10 або 1:20. Нагрівайте на водяній бані або на плиті при температурі 60–80°C протягом 30–60 хвилин. Регулярно помішуйте, щоб забезпечити рівномірну екстракцію. Дайте охолонути до кімнатної температури.

3. Фільтрація Відфільтруйте екстракт за допомогою фільтрувального паперу, муслінової тканини або центрифуги при 5000 об/хв протягом 10 хвилин. Зберіть прозорий фільтрат або супернатант.

4. Концентрування (необов'язково)

За потреби концентруйте екстракт під зниженим тиском за допомогою роторного випарника або висушіть його до порошкоподібної форми за допомогою ліофілізаційного сушіння.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ:

1. Поясніть особливості отримання водного витягу рослин для різних видів рослин;
2. Які етапи отримання водного витягу рослин? Які процедури виконуються при їх виконанні?
3. Які елементи та сполуки можна визначити з водного витягу рослини?
4. Який об'єм водного витягу повинен бути для найоптимальнішого визначення спектру елементів ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

СПЕКТРОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ НІТРАТІВ У ВОДНІЙ ВИТЯЖЦІ РОСЛИН В УЛЬТРАФІОЛЕТОВОМУ СПЕКТРІ

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Нітроген – поживний елемент, що найбільше впливає на урожайність рослин. Якщо азот надходить в недостатній кількості, це проявляється візуально: рослина чахла, листки стають бліді, починаючи з найбільш старих.

Урожайність може значно зменшитися, якщо дефіцит Нітрогену триватиме протягом усього вегетаційного періоду. Відтак, це відображається на якості продукції; в основному, на порушенні білкових з'єднань при формуванні зерна. Рослини споживають азот, розчинений у воді, тому погодні умови протягом сезону відіграють важливу роль в цьому процесі.

В посушливих умовах рослини не можуть вбирати сполуки Нітрогену – як і будь-які інші поживні речовини – навіть якщо вони знаходяться в ґрунті. З іншого боку, рясні дощі і надмірне зрошення можуть призвести до вимивання азоту, особливо на легких ґрунтах.

Надмірна щільність ґрунтів негативно впливає на ріст коренів, тому рослинам стає важко поглинати сполуки Нітрогену та інші поживні речовини в таких умовах.

Ознаки нестачі Нітрогену:

- Нестача азоту сильно гальмує ріст і розвиток рослин. Це проявляється у вигляді хлорозу: листя стає світло-зеленим, дрібним, передчасно жовтіє з кінчиків.

- У зернових колосових культур спостерігається сповільнення



Дефіцит азоту
на пшениці



Дефіцит азоту
на кукурудзі



Дефіцит азоту
на картоплі



Дефіцит азоту
на томатах

кущіння, стебла формуються короткими.

- Погіршується цвітіння, виникає раннє опадання зав'язі.

1. Приготування серії стандартних розчинів нітрату

Створіть серію стандартних розчинів нітратів з відомою концентрацією (наприклад, 1, 2, 5, 10, 20 мг/л у вигляді NO_3^- або N).

Необхідні матеріали: Нітрат натрію (NaNO_3), аналітичного класу. Дистильована або деіонізована вода. Мірні колби (100 мл, 500 мл, 1000 мл). Аналітичні ваги (точність $\pm 0,0001$ г). Піпетки та циліндри.

Довідкові дані:

Молярна маса $\text{NaNO}_3 = 85,00$ г/моль

Вміст нітратів у $\text{NaNO}_3 = 62,0 \text{ г/моль NO}_3^- \text{ на } 85,0 \text{ г/моль NaNO}_3 \rightarrow 1 \text{ мг NO}_3^- = 1,37 \text{ мг NaNO}_3$

Для N (у вигляді нітратного азоту): $1 \text{ мг N} = 4,43 \text{ мг NaNO}_3$

Приготування вихідного розчину (1000 мг/л NO_3^-)

Щоб приготувати 1000 мг/л NO_3^- : Зважте $1,630 \text{ г NaNO}_3$. Розчинити у дистильованій воді Доведіть до 1000 мл у мірній колбі.

Приготування робочого стандарту

Розчинити вихідний стандарт для отримання калібрувального графіка ($1, 2, 5, 10, 20 \text{ мг/л}$)

Цільова концентрація, мг/л	Об'єм вихідного робочого розчину, мл	Об'єм колби для розведення, мл
1	1	100
2	2	100
5	5	100
10	10	100
20	20	100

Для кожної калібрувального розчину визначається оптична густина розчину за допомогою спектрометру при довжині хвилі 220 нм . Виводиться рівняння лінійного калібрувального графіку за методом найменших квадратів, або за допомогою Microsoft Excel.

Проведення визначення вмісту нітратів у водному витязі рослини

Відбирають 5 мл (з 100 мл) водної витяжки рослини і визначають значення оптичної густини за допомогою спектрометру при довжині хвилі 220 нм . За рівнянням калібрувального графіку визначається вміст нітратів у водній витязці за формулою:

$$m(\text{NO}_3^-) = C \times 0.1$$

де C - результат зразку за спектрометричним визначенням.

Завдання:

Зробити розрахунки вмісту нітратів на відносну одиницю маси рослини та зробити висновки щодо норми вмісту нітратів у досліджуваних рослин.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яка роль нітратів для розвитку рослин?
2. Джерела нітратів у ґрунтах. Роль бульбочкових бактерій в даному процесі
3. Основні методи визначення нітратів у воді та ґрунті, їх особливості, переваги та недоліки;
4. Норми вмісту нітратів у різних рослин;
5. Особливості спектрометричного визначення нітратів у водному витязі рослинних частин;

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ФОСФАТІВ У ВОДНІЙ ВИТЯЖЦІ РОСЛИН

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Фосфор здійснює суттєвий вплив на фізіологію культури, оскільки відіграє вирішальну роль в розподілі енергії в рослині. Потреба в фосфорі особливо велика на початку фази формування кореневої системи, на етапі цвітіння і зав'язування плодів. Симптоми дефіциту фосфору – темно-зелене або фіолетове забарвлення країв листків, особливо у культур на краю і клітинки стають темними чи червонуватими.

Фосфор гарно гуртується з частинками ґрунту і не рухомий елемент, навпаки, він один із найбільш нерухомих. Його розчинність, тобто доступність, в основному залежить від температури ґрунту і показника рН, оптимальне значення якого знаходиться в межах 6–7. Чим довший контакт розчинних форм фосфору з частинками ґрунту, тим більша його кількість стане недоступною для рослин. Саме тому висока ефективність використання фосфору, як правило, досягається внесенням добрив одразу перед сівбою чи посадкою культури. Ця практика особливо актуальна на ґрунтах з високою поглинаючою здатністю.

Ознаки нестачі Фосфору:

- Нестача фосфору пригнічує ріст і розвиток рослин, погано формується коренева система.
- Симптоми дефіциту з'являються насамперед на старих листках, які набувають темно-зеленого кольору, що згодом переходить у синювато-бузковий, пурпуровий або фіолетовий відтінок.
- По краях листків можуть з'являтися жовто-бурі, бурі або чорно-бурі смуги.
- Уповільнюються фази розвитку, спостерігається пригнічення росту, пізніше настає цвітіння і ще пізніше — дозрівання.
- Також порушується білковий обмін.



Дефіцит фосфору на пшениці



Дефіцит фосфору на картоплі



Дефіцит фосфору на кукурудзі



Прояв дефіциту фосфору на ріпаку

Суть методу.

Взаємодія молібдату амонію в кислому середовищі з фосфат-аніонами з утворенням кольорового комплексу молібденової сині при наступному відновленні аскорбіною кислотою, інтенсивність кольору якого прямопропорційно залежить від концентрації фосфат-аніонів.

Реактиви

1. Молібдат-реагент (суміш молібдату амонію та сірчаної кислоти)
2. Аскорбінова кислота (відновник)
3. Стандартний розчин фосфатів (KH_2PO_4)
4. Дистильована або деіонізована вода

Прилади та обладнання

- Спектрофотометр або фотометр (довжина хвилі **880 нм**)
- Колби, піпетки, пробірки
- Ваги аналітичні
- Водяна баня або термостат (за потреби)

Підготовка стандартного розчину фосфатів

1. Відважити **0.2195 г KH_2PO_4** (ч. д. а.)
2. Розчинити в невеликій кількості дистильованої води
3. Долити до **1 л** → отримуємо **100 мг/л PO_4^{3-}**

Далі розвести для приготування калібрувальних розчинів: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 мг/л.

Хід аналізу

1. **Пробу водної витяжки рослини профільтрувати**, якщо вона мутна.
2. Відміряти **5,0 мл зразка** у мірну колбу, і розбавити до 50 мл.
3. Додати:
 - **5 мл молібдатного реагенту**
 - **1 мл розчину аскорбінової кислоти**
4. Залишити на **10–15 хвилин** при кімнатній температурі (або 5 хв при 40–50 °C).
5. Виміряти **оптичну густину при 880 нм** проти холостої проби (дистильована вода з реагентами).
- 6.

Приготування робочого стандарту

Розчинити вихідний стандарт для отримання калібрувального графіка (1, 2, 5, 10, 20 мг/л)

Цільова концентрація, мг/л	Об'єм вихідного робочого розчину, мл	Об'єм колби для розведення, мл
1	0,1	100
2	0,2	100
5	0,5	100
10	1,0	100
20	2,0	100

Для кожної калібрувального розчину визначається оптична густина розчину за допомогою спектрометру при довжині хвилі 880 нм. Виводиться рівняння лінійного калібрувального графіку за методом найменших квадратів, або за допомогою Microsoft Excel

Завдання.

Створити калібрувальну криву (концентрація PO_4^{3-} – оптична густина) та визначити вміст фосфатів у зразках за допомогою інтерполяції. Зробити розрахунок вмісту ортофосфатів на одиницю маси рослини та зробити висновок щодо норми їх вмісту в залежності від досліджуваної культури.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Джерела фосфат-аніонів в ґрунті і механізм засвоєння кореневою системою рослин;
2. Роль фосфат-аніонів у рослинному організмі і основні ознаки у рослин при фосфатному дефіциті і надлишку;
3. Норми фосфат-аніонів у різних частин різних видів рослин;
4. Основні види фосфатних добрив які використовуються при удобренні ґрунту;
5. Особливості фотометричного визначення фосфат-аніонів у водному витягі частин рослин.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ КАЛІЮ У ВОДНОМУ ВИТЯГУ РОСЛИН ЗА ДОПОМОГОЮ ПОЛУМНЕВОЇ ФОТОМЕТРІЇ

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Для фізіології сільськогосподарських культур калій відіграє найважливішу роль, беручи участь у розподілі води і в ферментативних процесах. Досягати наявна кількість калію може полегшити стрес, що перенесли рослини в період спеки, посухи чи посухи.

Калій є елементом, що впливає на якість сільськогосподарської продукції, особливо таких як: картопля, овочі і плодова деревина. Для цих культур калій необхідний особливо на стадії росту і наливу чи зав'язі плодів, при цьому він також впливає на колір плодів, їх смак і якість зберігання.

Для багатьох овочевих культур потреба в калії набагато більша, ніж в азоті, із розрахунку кг/га. Наприклад, 1 тонна бульб картоплі містить приблизно 6–7 кг K_2O . Типи ґрунтів містять великі кількості калію не у формі, доступній рослинам, остання необхідна більша кількість даного елемента. Наявність піску в ґрунті, що вивітрюється швидше, для овочів і інших культур з високим вегетативним приростом і великою потребою в калії рекомендоване поетапне живлення цим елементом.

Ознаки дефіциту Калію:

- Калій визначає тургор рослинної клітини. Нестача цього елементу призводить до його втрати, внаслідок чого збільшується транспірація та зменшується посухостійкість рослин.

- Симптоми дефіциту проявляються у вигляді пожовтіння між жилками листків. Нижні листки покриваються жовто-коричневими плямами. По краях листків та на їх кінчиках спостерігається хлороз. Також можуть з'являтися плями на поверхні листків.

- У зернових культур вкорочуються міжвузля, що негативно впливає на формування стебел.



Дефіцит калію
на ріпаку



Прояв дефіциту калію
на томатах



Дефіцит калію
на кукурудзі



Прояв дефіциту калію
на сої

Суть методу

Сутність методу полягає у визначенні інтенсивності випромінювання атомів Калію за допомогою полум'яного фотометра. Калій визначають за аналітичними лініями 766,5 - 769,9 нм.

АПАРАТУРА, МАТЕРІАЛИ ТА РЕАКТИВИ

- Для проведення аналізу застосовують: полум'яний фотометр із монохроматором 766-770 нм для визначення калію (допускається використання газової суміші складу пропан - бутан - повітря та мережевий газ - повітря);

- лабораторні ваги 2-го класу точності з найбільшою межею зважування 200 г та 4-го класу точності з найбільшою межею зважування 500 г;

- калій хлорид згідно, х. ч.;

- посуд мірний лабораторний 2-го класу точності піпетки та бюретки 2-го класу точності;

- вода дистильована.

ПІДГОТОВКА ДО АНАЛІЗУ

- Приготування розчину концентрацій натрію калію з $C(K^+) = 0,01$ моль/дм³ 0,746 г хлористого калію, прожарених до постійної маси при температурі 500°C, зважують з похибкою не більше 0,001 г, поміщають у мірну колбу місткістю 1000 см³ і розчиняють у дистильованій воді. Приготовлений розчин ретельно перемішують.

- Приготування розчинів порівняння мірні колби місткістю 250 см³ поміщають зазначені в таблиці обсяги розчину, приготованого по попередньому

кроку і доводять обсяги до міток дистильованою водою. Приготовлені розчини ретельно перемішують. Розчини зберігають у склянках із притертими пробками трохи більше 1 міс.

Характеристика розчину	Номер розчину порівняння						
	1	2	3	4	5	6	7
Об'єм вихідного розчину, мл	0	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Концентрація калію, моль/дм ³	0	0,0002	0,0004	0,0008	0,0012	0,0016	0,002

Розчини порівняння використовують для градування полумневого фотометру в день проведення аналізу.

Проведення аналізу:

- Подрібнити рослинний зразок.
- Відібрати 5 г (сухої маси) і екстрагувати в 50–100 мл дистильованої води при нагріванні (30 хв).
- Охолодити, профільтрувати або центрифугувати — отримати **витяг калію**.
- Полум'яний фотометр налаштовують на вимірювання концентрації натрію або калію відповідно до інструкції з його експлуатації. Розчини порівняння та аналізовані витяжки вводять у полум'я та реєструють показання приладу.

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

- За результатами фотометрування розчинів порівняння будують градувальний графік. По осі абсцис відкладають концентрації калію в розчинах порівняння в перерахунку в мілімолях в 100 г рослини, а по осі ординат - відповідні показання приладу. Кількість еквівалентів калію в аналізованих ґрунтах визначають безпосередньо за градувальним графіком. За результат аналізу приймають значення одиничного визна- поділу калію. Якщо результат визначення виходить за межі градувального графіка, визначення повторюють, попередньо розбавивши фільтрат дистильованою водою. Результат, знайдений за графіком, збільшують у стільки разів, у скільки був розведений фільтрат.

- Масову частку калію в аналізованій водній витяжці (X_i) у відсотках обчислюють за формулою:

$$X_i = C \cdot 0,0391,$$

де C - кількість еквівалентів калію рослині, ммоль/100 г; 0,0391 - коефіцієнт перерахунку у відсотки. Результати аналізу виражають у мм-екв на 100 г рослини та відсотках із округленням до трьох значущих цифр. При проведенні масових аналізів замість побудови градувального графіка допускається градування шкали - приладу по розчинах порівняння в день проведення аналізу.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Джерела калій-катіонів, та його види в ґрунті та механізм його засвоєння кореневою системою рослин;
2. Роль катіонів калію для рослинного організму та його роль в метаболізмі та фотосинтезу;
3. Норми умісту Калію у різних рослин та у різних органах рослин;
4. Основні ознаки дефіциту та профіциту сполук Калію у рослин;
5. Принцип фотометричного визначення сполук Калію у водному витязі рослин.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЗАГАЛЬНОЇ СІРКИ У ВОДНОМУ ВИТЯЗІ РОСЛИН

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Роль у рослинах:

Сірка входить до складу білків, амінокислот, вітамінів та ензимів. У пшениці кількість сірки впливає на якість клейковини. Культури не можуть зв'язувати азот без достатньої кількості сірки. Тому важливо підтримувати оптимальне співвідношення цих елементів. Для зерна пшениці воно становить 10:1, для ріпаку — 5:1, для злакових трав — 12–14:1.

Сірка в ґрунті присутня як в неорганічних, так і в органічних формах. Органічна сірка утворюється внаслідок розкладання решток рослин, тварин, комах та мікроорганізмів. Сульфатна форма сірки утворюється як побічний продукт в процесі мінералізації органічної речовини ґрунту, що протікає за участю мікроорганізмів.

Ознаки дефіциту Сульфуру:

- Зовнішній прояв починається з молодих листків. Вони стають світліші, жовтувато-коричневі чи набувають білуватого відтінку.
- Жилки стають біднішими, ніж навколишня тканина.
- Стебла вкорочуються, стають крихкими.
- Нестача сірки позначається на процесах синтезу білків. Збільшується час дозрівання урожаю.

Суть методу

Фотометричне визначення загальної сірки у водному витязі ґрунтується на кількісному виявленні **сульфат-іонів (SO_4^{2-})**, які є основною формою сірки після окиснення органічних сполук. Один із найпоширеніших методів — **турбідиметричний** або **барієвий фотометричний метод**, який базується на утворенні **малорозчинного сульфату барію (BaSO_4)**, що викликає помутніння, вимірюване фотометрично.

- До зразка додають **розчин барію (BaCl_2)** в присутності **стабілізатора помутніння** (наприклад, гліцерин, желатин або ПАР).
- В результаті утворюється **завислий осад BaSO_4** .
- Інтенсивність помутніння пропорційна концентрації SO_4^{2-} .

- Вимірювання здійснюється фотометрично при $\lambda = 420\text{--}450\text{ нм}$.

Вміст загальної сірки визначається **після мінералізації** рослинного матеріалу або повного окиснення органічної сірки у витягу.

Необхідні реактиви

Назва	Призначення
BaCl_2 (хлорид барію)	Осадження сульфатів
Желатиновий або гліцериновий розчин	Стабілізація помутніння
HCl (розведена)	Кисле середовище
Стандартний розчин сірки (Na_2SO_4)	Калібрування
Фотометр/спектрофотометр	$\lambda = 420\text{--}450\text{ нм}$

Методика (турбідиметричний барієвий метод)

1. Підготовка проби (водний витяг):

- Подрібнити рослинний зразок.
- Відібрати 5 г (сухої маси) і екстрагувати в 50–100 мл дистильованої води при нагріванні (30 хв).
- Охолодити, профільтрувати або центрифугувати — отримати **витяг сірки**.

Для **загальної сірки** з органічних сполук потрібна мінералізація або окиснення (H_2O_2 , HNO_3 , або сухе спалювання з наступним вилуговуванням попелу).

Проведення аналізу:

- Відібрати 10–25 мл витягу.
- Додати:
 - 1 мл розведеної HCl (0.1 М)
 - 1 мл стабілізуючого розчину (гліцерин або желатин)
 - 1 мл 10% BaCl_2
- Перемішати й дати постояти 10–15 хв для повного розвитку каламутності.
- Виміряти **оптичну густину при $\lambda = 420\text{--}450\text{ нм}$** .

Калібрувальна крива

Підготовка розчинів стандартного Na_2SO_4 (концентрації в перерахунку на S):

Конц. S (мг/л)	Об'єм стандарту Na_2SO_4 (мл)	Долити водою до
0	0	50 мл
1	1	50 мл

Конц. S (мг/л)	Об'єм стандарту Na ₂ SO ₄ (мл)	Долити водою до
2	2	50 мл
5	5	50 мл

- Аналогічно проводять реакцію, вимірюють оптичну густину.
- Будують графік **O.D.** → мг/л S.

Вираження результату

- **Концентрація сірки у витягу, мг/л**
- При потребі — перерахунок на **мг/кг сухої речовини** або **% від маси зразка**

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Джерела сполук Сульфуру, та їх види в ґрунті та механізм їх засвоєння кореневою системою рослин;
2. Роль сполук Сульфуру та безпосередньо сульфатів для рослинного організму та його роль в енергетичному метаболізмі та фотосинтезу;
3. Норми умісту сульфат-аніонів у різних рослин та у різних органах рослин;
4. Основні ознаки дефіциту та профіциту сульфат-аніонів та інших форм Сульфуру у рослин;
5. Принцип фотометричного визначення сульфатів у водному витягу рослин.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ УМІСТУ МАГНІЮ У ВОДНОМУ ВИТЯГІ РОСЛИН

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Магній бере участь в основному процесі росту рослин, а саме в фотосинтезі, тому що магній є життєво важливою складовою рослинного хлорофілу. Таким чином, дефіцит магнію можна легко помітити на листкових пластинках, які втрачають колір між основними жилками.

Потреба в магнії для фізіології рослини не така важлива, як потреба в інших поживних речовинах — кальції і сірці — але він відіграє вирішальну роль, і при помітному дефіциті листкове підживлення являється найшвидшим способом вирішення проблеми.

Крім того, високий вміст калію та кальцію в ґрунті або надмірне застосування калійних добрив призводить до зменшення доступності магнію, що спричиняє появу дефіциту.

Суть методу

Магній (Mg^{2+}) утворює стабільний кольоровий комплекс з барвником **калмагітом** або **еріохром чорним Т** у слабо-лужному середовищі. Інтенсивність забарвлення пропорційна концентрації магнію і вимірюється на фотометрі при довжині хвилі **530–540 нм**.

Реактиви та матеріали

Назва	Призначення
Буферний розчин ($pH \approx 10$)	Для стабілізації pH (наприклад, аміак + амоній хлорид)
Реагент калмагіт або ерохром чорний Т	Формує кольоровий комплекс із Mg^{2+}
Стандартний розчин Mg^{2+} ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	Для калібрувальної кривої
Дистильована вода	Розчинник
Комплексон ІІІ (ЕДТА) (опціонально)	Для селективного відділення Ca^{2+}

Порядок проведення аналізу

- Пробопідготовка:**
 - Відібрати 25–50 мл проби водного витягу рослини.
 - При потребі — відфільтрувати.
- Додавання реагентів:**
 - Додати 2–3 мл **буферного розчину** ($pH 10$).
 - Додати 1 мл **розчину калмагіту** (свіжоприготовлений).
 - Перемішати, дочекатися появи кольору (синьо-фіолетовий або червонуватий).
- Фотометрія:**
 - Виміряти оптичну густину при $\lambda = 530–540$ нм.
 - Провести вимірювання проти контрольного зразка (бланку).
- Побудова калібрувальної кривої:**
 - Готують серію стандартних розчинів Mg^{2+} з концентраціями (напр. 0.1 – 1.0 мг/л).
 - Будують графік: оптична густина $\rightarrow$ концентрація Mg .

Завдання

- Визначити концентрація магнію у досліджуваній водній витяжці рослини за **калібрувальною кривою** або за рівнянням регресії.
- Результат виражають у **мг/л Mg^{2+}** .
- Зробити висновок щодо норми вмісту магнію в досліджуваній рослині.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Джерела сполук Магнію в ґрунті та механізм його засвоєння кореневою системою рослин;
2. Роль катіонів Магнію для рослинного організму та його роль в енергетичному метаболізмі та фотосинтезу;
3. Норми умісту Магнію у різних рослин та у різних органах рослин;
4. Основні ознаки дефіциту та профіциту сполук Магнію у рослин;
5. Принцип фотометричного визначення сполук Магнію у водному витягу рослин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрохімічна складова технології вирощування буряку цукрового / І. М. Господаренко та ін. / За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 308 с.
2. Адаптація агротехнологій до зміни клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти / за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, Б. С. Носка. Харків : Стильна типографія, 2018. 364 с.
3. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш и др. Горки, 2021. 161 с.
4. Волкогон В. В., Бердніков О. М., Лопушняк В. І. Екологічні аспекти систем удобрення сільськогосподарських культур. Київ : Аграрна наука, 2019. 264 с.
5. Гамаюнова В. В., Кудріна В. С. Формування продуктивності соняшнику під впливом позакоренових підживлень сучасними біопрепаратами в умовах Південного Степу України. AGROLOGY. 2020. Вип. 3. С. 225-231.
6. Гончарова І. Мінеральне живлення соняшника. Мікроелементи. 2020. URL:<http://vnis.com.ua/useful-information/advice-to-the-agronomist/Mineralne-zhivlenniaMicroelementi>.
7. Горбунова Н. С., Куликова Е. В. Цинк в системе почва-растение при длительном применении удобрений и мелиорантов в условиях Каменной Степи. Плодородие. 2018. № 4 (103). С. 53-55.
8. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 560 с.
9. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ: ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.
10. Господаренко Г. М. Удобрення садових культур. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2017. 340 с.
11. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2016. 276 с.
12. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бомко С. М. Формування врожаю сої залежно від складових агротехнології. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 184 с.
13. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Кривда Ю. І. Вміст і баланс мікроелементів і важких металів у ґрунті після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Зб. наук. пр. Уманського НУС. 2016. Вип. 89. 4. 1. С. 103-113.
14. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію / за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.

15. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Чередник А. Ю. Хімічний склад зерна пшениці озимої за різного удобрення. Матеріали Всеукр. наук. конф. «Актуальні питання агротехнологій». 28 березня 2019 року. Умань: РВВ Уманського НУС, 2019. С. 9-10.
16. Господаренко Г. Особливості застосування мікродобрів на цукрових буряках. Пропозиція. 2020. №6. С. 50-52.
17. Господаренко Г. Удобрення ріпаку. Пропозиція (спецвипуск). 2019. № 7. С. 28-32
18. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 148 с.
19. Ґрунтові ресурси України: збалансоване використання, прогноз та управління / за ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошніченка, Р. С. Трускавецького. Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. 452 с.
20. Демиденко О. В. Відтворення чорнозему в агроценозі. Чорнобай : Чорнобаївське КПП, 2020. 108 с.
21. Довідник нормативних показників якості продукції сільськогосподарських культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах України (довідково-нормативна інформація) С. А. Балюк та ін. /За ред. С. А. Балюка, М. В. Лісового. Харків: Смуґаста типографія, 2016. 46 с.
22. Домарацький Є. ., Добровольський А. В., Базалій В. В. та ін. Соняшник: екологічні шляхи оптимізації його живлення: монографія. Херсон : Олді-плюс, 2020. 160 с.
23. ДСТУ 2439:2018. Хімічні елементи та прості речовини. Терміни та визначення основних понять, назви й символи. Початок дії: 2019-10-01. 32 с.
24. Дудка М. І., Якунін О. П., Ковтун О. В., Гладкий О. В. Формування врожайності зерна кукурудзи залежно від макро- і мікродобрів. Зернові культури. Том 5. № 1. 2021. С. 45-51.
25. Захарченко Е. А. Ефективність застосування цинку при вирощуванні кукурудзи на зерно. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2019. Вип. 4. С. 8-14.
26. Зернові: професійне вирощування ТОВ «ДСВ-Україна» / Г. Шьонбергер та ін. Київ : ТОВ «АГРАР МЕДІСН УКРАЇНА», 2022. 168 с.
27. Іваніна В. В. Біологізація удобрення сільськогосподарських культур у сівозмінах. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 400 с.
28. Каменщук Б. Д. Шляхи підвищення ефективності вирощування кукурудзи на зерно. Корми і кормовиробництво. 2020. № 89. С. 85-92.
29. Концепція інноваційного розвитку агрохімічного забезпечення землеробства України на період до 2030 року / За ред. А. С. Варишняка, С. А. Балюка., М. М. Мірошніченка. Харків, 2022.
30. Кривенко А. І., Бурикiна С. І. Ефективність форм і строків внесення цинку на посiвах пшениці озимої. Агроном. 2019. № 4. С. 52-56.
31. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За ред. Ядука І. П., Балюка С. А. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.
32. Моніторинг якості ґрунтів / С. Ю. Булигін, С. В. Вітвіцький, О. В. Була-ний, О. Л. Тонха. Київ : Видавничий дім «Вініченко». 2020. 430 с.

33. Особливості акумуляції мікроелементів рослинами соняшнику залежно від рівня мінерального живлення в умовах степової зони. В. І. Чабан, О. Ю. Подобел. І. В. Кротінов, Д. А. Коцюбан, Н. А. Коцюбан. бернові культури. Том 1. № 2. 2017. С. 338-344.
34. Передумови формування якості зерна пшениць та продуктів його перероблення. Г. М. Господаренко, В. В. Любич, І. О. Полянецька, В. В. Новіков, В. В. Железна. За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУПІ Україна», 2019. 336 с.
35. Перелік допоміжних продуктів та методів дозволених для використання в органічному виробництві з врахуванням вимог органічних стандартів ЄС. Київ : ПП «АРТ ОК», 2022. 170 с.
36. Пліско І. В. Якість орних ґрунтів України. Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. 372 с.
37. Поліщук М. І., Паламарчук О. Д. Вплив позакоренових підживлень на продуктивність гібридів кукурудзи. Сільське господарство та лісівництво. 2016. № 4. С. 102-109.
38. Прокопенко С. М., Міцай С. Г., Пономаренко О. О. та ін. Уміст мікроелементів в ґрунтах Сумської С. 148-153.
39. Родючість ґрунту і продуктивність буряку цукрового: монографія / Л. В. Вишневська, та ін.; за ред. Г. М. Господаренка і С. П. Полторецького. Умань: Видавець «Сочінський М. М.», 2020. 178 с.
40. Сидеральна система удобрення пшениці м'якої озимої / Г. М. Господаренко, О. Л. Лисянський, В. В. Любич, І. О. Полянецька. Київ : ТОВ « ТРОПЕА», 2021. 216 с.
41. Система удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку ХХІ століття. С. А. Балюк та ін. / За ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошниченка. Київ : Альфа-стевія, 2016. 400 с.
42. Складові технології вирощування сої / Г. М. Господаренко та ін. За заг. ред. Г. М. Господаренка. Умань: Видавець «Сочінський М. М.», 2019. 208 с.
43. Стратегія збалансованого використання, відтворення і управління ґрунтовими ресурсами України / за наук. ред. С. А. Балюка. В. В. Медведєва Київ : Аграрна наука, 2012. 240 с.
44. Сучасні системи удобрення с.-г. культур у сівозмінах з різною ротацією за основними ґрунтово-кліматичними зонами України : рекомендації / за ред. А. С. Заришняка, М. В. Лісового. Київ: Аграрна наука, 2008. 120 с.
45. Трохименко П. І. Мікроелементне живлення рослин / Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л. Основи управління родючістю ґрунтів. Харків : ФОП Бровін О. В., 2016. С. 258-282.
46. Удобрення тритикале / Г. М. Господаренко, В. В. Любич та ін. За заг. ред. Г. М. Господаренка. Умань: Видавець «Сочінський М. М.», 2019. 176 с.
47. Філон В. І. Мікродобрива : довідник. Харків, 2018. 242 с.
48. Екологія ґрунту: монографія / Т. Н. Мыслыва и др. Житомир : Издательство «Евенок А. А.», 2018. 515 с.

49. Dhaliwal S. S., Sharma V., Shukla A. K. (2022). Impact of micronutrients in mitigation of abiotic stresses in soils and plants- A progressive step towards crop security and nutritional quality. *Adv. Agron.* 173, 1-78.
50. Dhaliwal S. S., Sharma V., Shukla A. K. et al. (2021). Comparative efficiency of mineral, chelated and nano forms of zinc and iron for improvement of zinc and iron chickpea (*Cicer arietinum* L.) through biofortification. *Agronomy* 11, 24-36.
51. Effect of long-term nutrient management practices on soil micronutrient concentrations and uptake under a rice-wheat cropping system / R. Puniya, P. C. Pandey, P. S. Bisht, et al. *The Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 157. No. 3. P. 226-234.
52. Environment and Climate Change Canada Health Canada, 2018. Final Screening Assessment EDTA and Its Salts Group. Chemical Abstracts Service Registry Numbers. May, 2018. 20 pages.
53. Gamajunova V. V., Kuvshinova A. O., Kudrina V. S., Sydiakina O. V. Influence of biologics on water consumption of winter barley and sunflower in conditions of Ukrainian Southern Steppe. *Innovative Solutions In Modern Science*. New York. TK Meganom LLC. 2020. N° 6 (42). P. 149-176.
54. Hospodarenko, H. - Prokopchuk, I. - Nikitina, O. - Liubych, V.: Assessment of the contamination level of a podzolized chernozem with nuclides in a long-term land use. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*, vol. 65, 2019, no. 3, pp. 128-135.
55. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. D. Molden et al. *Agricultural Water Management*. 2010. N°97. P. 528-535.
56. Jankowski K. J., Sokólski M., Szatkowski A. (2019). The effect of autumn foliar fertilization on the yield and quality of winter oilseed rape seeds. *Agronomy* 9, 849.
57. Kandil E. E., Abdelsalam N. R., Aziz A. A. E., Ali H. M., Siddiqui M. H. (2020). Efficacy of nanofertilizer, fulvic acid and boron fertilizer on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and quality. *Sugar Tech.* 22, 782-791.
58. Manschadi A. M., Soitany A. Variation in traits contributing to improved use of nitrogen in wheat: Implications for genotype by environment interaction. *Field Crops Research*. 2021. V. 270. P. 108-211.
59. Miroshnichenko M., Zvonar A., Pachev I. Micronutrients consumption in different varieties of winter in contrast weather conditions. *Journal of Agriculture on th Balcans*. 2020. N°23 (3). P. 64-79.
60. Sancar B. Mineral content of some bread wheat cultivars. *Cereal Research Communications*. 2022.

Навчальне видання

Агрохімія.
Методи та способи визначення мікро –
та ультроелементів в ґрунтах
методичні рекомендації

Укладач: **Федорчук Михайло Іванович**

Формат 60×84/16 Ум. друк. арк. 2,4

Тираж 20. Зам. №__

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.