

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**
Факультет агротехнологій

Кафедра ґрунтознавства та агрохімії

Агрохімія
**Методи та способи визначення мікро –
та ультроелементів в ґрунтах**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для виконання практичних робіт здобувачами першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти
ОПП «Агрономія» спеціальності 201 «Агрономія»
денної та заочної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв
2025

УДК 631.41:543
А26

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	5
1. Мезоелементи та їх роль для рослин	6
Сірка (S)	6
Кальцій (Ca)	6
Магній (Mg)	6
2. Мікроелементи та їх роль для рослин	7
Бор (B)	7
Залізо (Fe)	7
Марганець (Mn)	7
Мідь (Cu)	7
Молібден (Mo)	8
Цинк (Zn)	8
3. Ознаки нестачі елементів живлення у рослин	9
Магній	9
Сірка	9
Бор	10
Залізо	10
Мідь	11
Марганець	11
Цинк	12
Молібден	12
4. Надходження елементів живлення до рослин	13
Кореневе поглинання	13
Вплив pH, солей, структури ґрунту	14
Листкове підживлення	14
5. Додаткові рекомендації щодо живлення	15
Сечовина та її ефективність (YaraVera Amidas)	15
Роль сірки, кальцію, бору, нітратного азоту	16
6. Лабораторні роботи	17
Лабораторна робота №1: Визначення бору	17
Лабораторна робота №2: Визначення заліза (Fe^{2+})	19
Лабораторна робота №3: Визначення марганцю	21
Лабораторна робота №4: Визначення молібдену	24
Лабораторна робота №5: Визначення цинку	25
Список використаної літератури	29

ВСТУП

Мікроелементи та мезоеlementи відіграють надзвичайно важливу роль у рості, розвитку та продуктивності рослин. Незважаючи на те, що потреба в мікроелементах є порівняно невеликою, їх нестача призводить до серйозних порушень фізіологічних процесів, зниження врожайності та якості продукції. Сучасні агротехнології вимагають точного розуміння потреб культур у поживних елементах, механізмів їх надходження з ґрунту та шляхів оптимального забезпечення рослин живленням.

У цьому методичному посібнику розглянуто роль основних мезо- та мікроелементів у життєдіяльності рослин, наведено ознаки дефіциту окремих елементів, охарактеризовано умови ґрунтової доступності поживних речовин. Значну увагу приділено фотометричним методам кількісного визначення таких елементів, як бор, залізо, марганець, молібден і цинк у рослинних матеріалах. Лабораторні роботи спрямовані на практичне закріплення теоретичних знань та формування навичок проведення хімічного аналізу.

Посібник розрахований на студентів агрономічних спеціальностей, викладачів, аспірантів, фахівців сільськогосподарської галузі та всіх, хто цікавиться сучасними аспектами мінерального живлення рослин.

Мезоеlementи та їх роль для рослин

S Сірка

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.

Ca Кальцій

Кальцій є елементом, необхідним для формування клітинних стінок. Якщо клітинні стінки товсті, рослини можуть ефективно протистояти захворюванням і механічному впливу. Це особливо важливо при вирощуванні овочів та плодово-ягідних рослин. У більшості випадків дефіцит кальцію не помітний, але, наприклад, у випадку томатів він проявляється у вигляді гниття плодів.

Більшість типів ґрунтів містять достатню кількість кальцію, проте він знаходиться у зв'язаному стані. Багато культур, яким необхідний кальцій, позитивно реагують на його додаткове застосування, навіть якщо в ґрунті вже є достатній рівень цього елемента.

Наприклад, для картоплі рекомендується застосування добрив з кальцієм на стадії формування бульб у поєднанні з підгортанням та додатковим зрошенням. Рівень кальцію в ґрунті повинен бути збалансованим з іншими катіонами.

Mg Магній

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 листових 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 листове 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.

Мікроелементи та їх роль для рослин

Потреба культур в мікроелементах невелика, але їх вплив на ріст і розвиток очевидний. Дефіцит мікроелементів може значно вплинути на урожайність сільськогосподарських культур.

В Бор підтримує структурну цілісність мембран рослин і накопичується у великих кількостях у листі, точках росту та плодах. Він важливий для утворення пилку, розвитку квіток та плодів, необхідний для синтезу нуклеїнових кислот і рослинних гормонів, а також забезпечує переміщення цукрів у рослині.

Поглинання бору з ґрунту зменшується при низьких температурах, коли уповільнюється ріст кореневої системи та зменшується транспірація. Стрес, спричинений посухою, також посилює дефіцит бору, оскільки його засвоєння частково залежить від водоспоживання.

Дефіцит бору проявляється у вигляді деформації або відмирання точок росту. Також можуть виникати порушення розвитку квіток, бульб, плодів тощо. Найбільшу потребу в борі мають коренеплоди та капустяні культури.

Fe Залізо є необхідним елементом для ферментативних функцій та фотосинтезу. При його нестачі листові пластинки втрачають колір, жовтіють і стають майже білими. Залізо — приклад елемента, який у ґрунті часто наявний у надлишку, проте залишається недоступним для рослин.

Доступність заліза залежить від рівня рН ґрунту. При нейтральному або кислому середовищі воно добре засвоюється, але в лужних ґрунтах залізо щільно зв'язується з частинками ґрунту. У таких випадках необхідне додаткове внесення залізовмісних добрив.

Mn Марганець бере участь у синтезі хлорофілу, фотосинтезі, транспортуванні кисню та активації ферментів. Як структурна частина рибосом, він має ключову роль у синтезі білка та покращує засвоєння азоту. У плодах марганець важливий для утворення вітаміну С (аскорбінової кислоти) і каротину.

Незважаючи на достатній вміст марганцю в ґрунтах, його доступність зменшується при підвищенні рН. На піщаних ґрунтах проблеми з поглинанням марганцю виникають при рН вище 6, на важчих ґрунтах — при рН понад 7.

У холодних і перезволожених умовах марганець також стає недоступним для рослин, як і під час посухи, коли недостатньо вологи для його поглинання. Такі перехідні дефіцити часто зникають після осушення або випадіння опадів.

Особливо чутливими до нестачі марганцю є зернові культури. Тому для отримання високих урожаїв важливе додаткове внесення цього мікроелемента.

Cu Мідь відіграє роль каталізатора у фотосинтезі та диханні рослин. Вона також є складовою частиною кількох ферментів, які беруть участь в обміні вуглеводів та білків. Крім того, цей елемент бере участь у лігніфікації

клітинних стінок, що підвищує стійкість клітин до грибкових захворювань, а також покращує посухо- і холодостійкість рослин.

Доступність міді залежить від рівня рН ґрунту: чим вищий рівень рН, тим нижча розчинність і доступність цього елементу для рослин.

Мо Молібден відіграє особливу роль у перетворенні нітратів, що надходять у рослину, на нітроти, а згодом — на білки. У бобових культурах молібден є критично важливим для процесу фіксації атмосферного азоту в бульбочках. У зв'язку з цим його доцільно вносити додатково на ранніх стадіях росту або під час обробки насіння.

Молібден необхідний у дуже малих кількостях, але єдиний мікроелемент, доступність якого підвищується зі зростанням рівня рН ґрунту. Він рідко буває в дефіциті на нейтральних або лужних ґрунтах, проте стає недоступним на сильно кислих ґрунтах з рН нижче 5,5.

Zn Цинк є каталізатором багатьох ферментних систем, що беруть участь у синтезі білків та обміні вуглеводів. Він також важливий для формування хлоропластів.

Цинк бере участь в обміні ауксинів — регуляторів росту рослин — і, відповідно, є необхідним для нормального перебігу основних процесів росту. Низький рівень цинку знижує стійкість рослин до захворювань, зокрема до грибкових інфекцій, таких як *Rhizoctonia* spp.

При високому рівні рН ґрунту понад 7,5 цинк адсорбується оксидами заліза або алюмінію, що значно зменшує його доступність. Ця проблема особливо поширена на вапнякових ґрунтах. У свою чергу, на кислих, піщаних ґрунтах з великою кількістю опадів цинк легко вимивається.

Ознаки нестачі основних елементів живлення в рослинах

Mg Магній

Нестача магнію гальмує синтез хлорофілу. Найчастіше проявляється у вигляді хлорозу між жилками, що починається зі старих листків. Можлива поява сірих плям. Але на різних рослинах забарвлення листків може змінюватися від жовтувато-оранжевого до червоно-фіолетового. При цьому жилки листка залишаються зеленими. Інколи листки стають ламкими. Рослини відстають у рості і розвитку. Сповільнюється цвітіння.

S Сірка

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.



Дефіцит магнію на капусті Брокколі



Дефіцит магнію на кукурудзі



Прояв нестачі сірки на ріпаку на різних стадіях росту



Ознаки дефіциту магнію на листках яблуні



Прояв дефіциту магнію на конюшині



Дефіцит сірки на картоплі



Дефіцит сірки на кукурудзі

В Бор

Дефіцит бору проявляється в пригніченні верхівкового росту, аж до відмирання верхівкової точки росту. Спостерігається погіршення репродуктивних функцій рослин, порушення синтезу і транспортування вуглеводів, окисно-відновлювальних процесів. Листки бліднуть, на кінчиках з'являється хлороз. Часто спостерігаються недорозвинені або деформовані листки. У качанах капусти проявляються порожнистості та побуріння тканин. У буряках та інших коренеплодах також спостерігаються побуріння або навіть гниль серцевини.

Fe Залізо

Залізо входить до складу найважливіших ферментів. Бере участь у процесі дихання рослин, синтезі хлорофілу та обміні речовин. Симптоми дефіциту проявляються насамперед на молодих листках, які набувають лимонно-жовтого відтінку, при цьому старі листки залишаються без змін. Можливе відмирання тканин (некроз) по краях сильно вражених листків. Жилки зберігають зелене забарвлення. Стебла формуються коротшими і тоншими.



Прояв симптомів дефіциту бору на листках цукрового буряка і ураження коренеплодів



Дефіцит заліза на кукурудзі



Дефіцит заліза на листках огірка



Дефіцит бору на томатах



Дефіцит бору на соняшнику



Дефіцит заліза на листках суниці



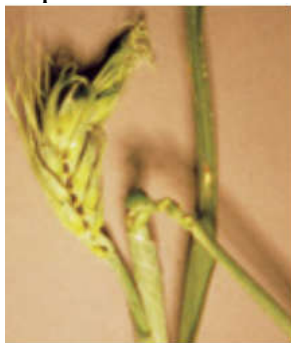
Ознаки дефіциту заліза на листках троянди

Cu Мідь

Мідь є елементом окисно-відновлювальних ферментів та бере участь у фотосинтезі. Вона відіграє важливу роль у фітогормональній регуляції, а також у вуглеводному та білковому обміні. Дефіцит міді проявляється у скручуванні листків і зміні їх забарвлення. Спостерігається в'янення рослин та зниження загальної стресостійкості. Сповільнюється ріст і порушується розвиток, особливо генеративний. У зернових спостерігається слабкий розвиток колосків і наявність пустот у колосі.

Mn Марганець

Марганець є нерухомим елементом у рослині, тому дефіцит насамперед проявляється на молодих листках. Першими симптомами є загальне бліде забарвлення, пожовтіння ділянок між жилками та ламкість листків. У разі сильного дефіциту уражені ділянки відмирають. Найбільш чутливою культурою до нестачі марганцю є овес, за ним — ячмінь, пшениця, тритикале та жито.



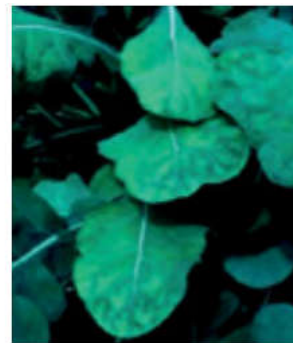
Результат дефіциту міді на колосках зернових культур



Дефіцит міді на пшениці



Дефіцит марганцю на кукурудзі



Дефіцит марганцю на ріпаку



Прояв дефіциту міді на листках конюшини



Дефіцит міді на картоплі



Дефіцит марганцю на пшениці



Дефіцит марганцю на сої

Zn Цинк

Ріст рослин стає слабким і сповільненим. Найбільш виражені симптоми спостерігаються на щойно розпущених листках. Вони проявляються у вигляді хлорозу та жовтуватої плямистості, що може переходити і на жилки. Відмічається вкорочення міжвузля. У деяких культур можливе утворення розеткоподібних форм листків.

Mo Молібден

Рослини з дефіцитом молібдену ростуть повільно та мають блідо-зелене забарвлення листків. Через порівняну рухливість елементу симптоми часто проявляються спочатку на старих листках. Спостерігаються міжжилкові плямистості, крайовий хлороз або відмирання старого листа. Дефіцит молібдену частіше зустрічається у бобових культурах, ніж у зернових. У плодових культурах він може гальмувати утворення пилку, що призводить до зниження плодоношення.



Візуальні ознаки дефіциту цинку на кукурудзі.



Візуальні ознаки дефіциту цинку на листках зернових культур



Дефіцит молібдену на огірках



Дефіцит молібдену на сої



Прояви дефіциту цинку на конюшині



Прояви дефіциту цинку на ячмені



Дефіцит молібдену на цукрових буряках



Дефіцит молібдену на пшениці

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.

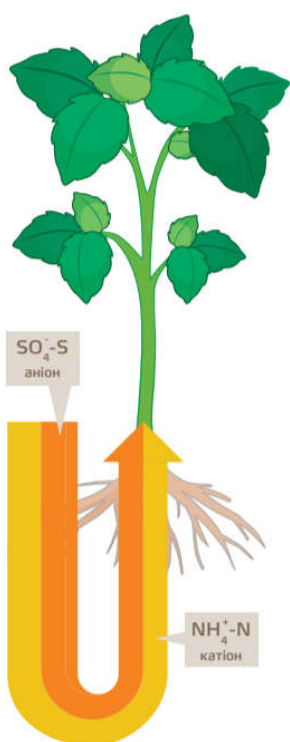
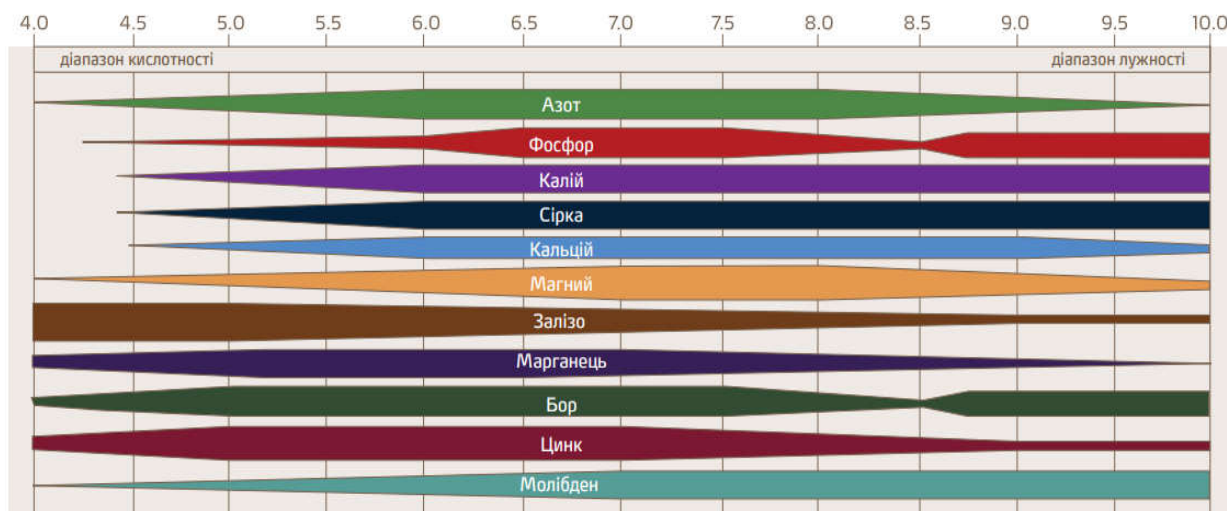
Порівняно зі стандартним 0,01 М розчином CaCl_2 , рН у воді буде на 0,6 одиниці вищим. У 1 М розчині KCl рН буде на 0,3 одиниці нижчим, а в 0,1 М KCl — приблизно на 0,1 одиниці вищим. Важливо пам'ятати, що шкала рН є логарифмічною. Наприклад, підвищення рН з 7 до 8 означає, що ґрунт став лужнішим у 10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

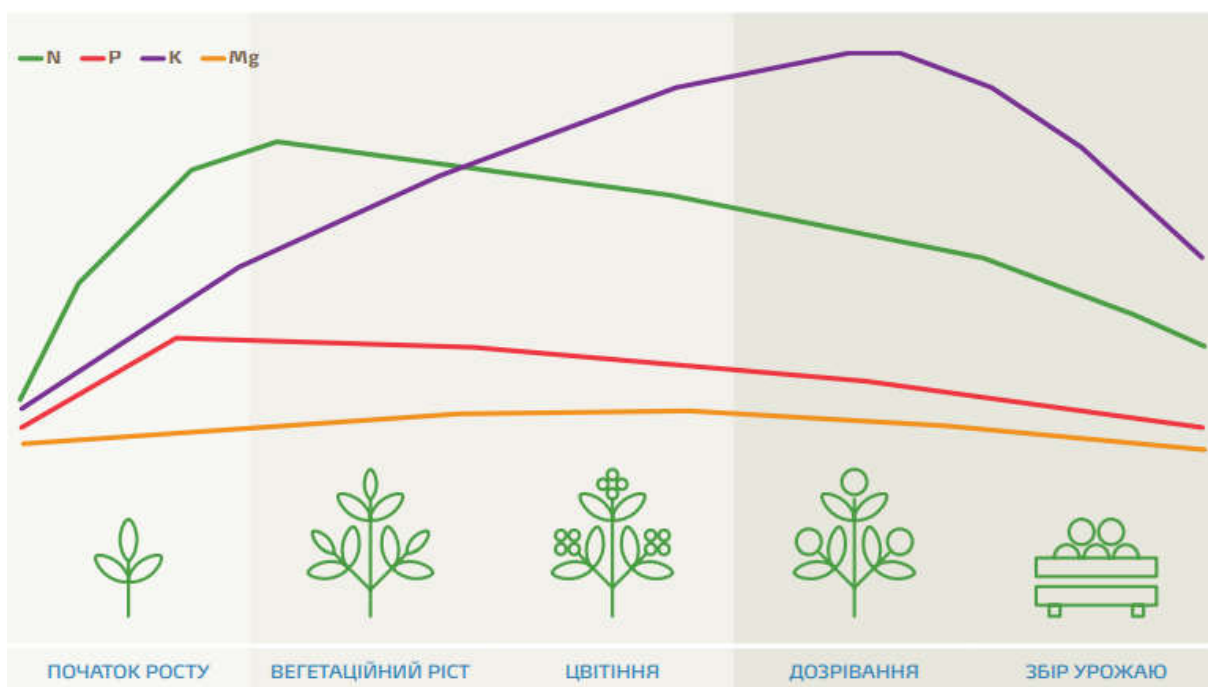
Нітратний азот:

- 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:



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СПОЛУК БОРУ У ВОДНОМУ ВИТЯЗІ РОСЛИН

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Бор (В) підтримує структурну цілісність мембран рослин і накопичується у великих кількостях у листі, точках росту та плодах. Він важливий для утворення пилку, розвитку квіток та плодів, необхідний для синтезу нуклеїнових кислот і рослинних гормонів, а також забезпечує переміщення цукрів у рослині.

Поглинання бору з ґрунту зменшується при низьких температурах, коли уповільнюється ріст кореневої системи та зменшується транспірація. Стрес, спричинений посухою, також посилює дефіцит бору, оскільки його засвоєння частково залежить від водоспоживання.

Дефіцит бору проявляється у вигляді деформації або відмирання точок росту. Також можуть виникати порушення розвитку квіток, бульб, плодів тощо. Найбільшу потребу в борі мають коренеплоди та капустяні культури.

Суть методу

Фотометричне визначення **бору (В)** у водному витязі з рослин ґрунтується на утворенні кольорового комплексу бору з органічними реагентами, зазвичай **куркуміном** або **азометиновим-Н**. Інтенсивність забарвлення прямо пропорційна концентрації бору і вимірюється фотометрично у видимому діапазоні.

Необхідні реагенти

Назва	Призначення
Куркумін (порошок)	Хромогенний реагент
Оцтова кислота (гл. або 0.05 М)	Кисле середовище
Етанол (95%) або інший спирт	Розчинник
Стандартний розчин бору (наприклад, H_3BO_3)	Калібрування
Активоване вугілля (опціонально)	Очищення витязу
Фотометр/спектрофотометр	$\lambda = 540\text{--}550 \text{ нм}$

Підготовка водного витязу:

1. Подрібнити рослинну масу (5 г сухої речовини).
2. Додати 50–100 мл дистильованої води.
3. Екстрагувати 1–2 години (можна на водяній бані при 70–80 °С).
4. Охолодити, профільтрувати.
5. За потреби очистити активованим вугіллям.

Реакція з куркуміном:

1. Відібрати 5–10 мл водного витягу в суху пробірку.
2. Додати 2–3 мл **розчину куркуміну в етанолі**.
3. Додати 1–2 мл **оцтової кислоти**.
4. Перемішати та витримати 30–60 хвилин при кімнатній температурі (в темряві).
5. Виміряти оптичну густину при $\lambda = 540\text{--}550\text{ нм}$.

Побудова калібрувальної кривої

1. Приготувати серію стандартних розчинів бору (напр. 0.1–1.0 мг/л В).
 - ☐ Відважити **0.5725 г борної кислоти (H_3BO_3)**.
 - ☐ Розчинити в невеликому об'ємі дистильованої води.
 - ☐ Долити до об'єму **100 мл** у мірній колбі.
 - ☐ Отримуємо **100 мл розчину з концентрацією 1000 мг/л В**.

Концентрація (мг/л В)	Об'єм основного розчину (мл)	Долити дист. водою до (мл)
0.10	0.01	100
0.20	0.02	100
0.40	0.04	100
0.60	0.06	100
0.80	0.08	100
1.00	0.10	100

Робочі розчини слід готувати безпосередньо перед використанням або зберігати не більше 24 годин у холодильнику.

2. Повторити реакцію як із витягом.
3. Побудувати графік: **оптична густина** → **концентрація бору**.
4. Визначити концентрацію В у витягу.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Характеристика Бору, як мікроелементу. Які властивості мають його сполуки?
2. Які найпоширеніші природні сполуки Бору? Добування Бору та його сполук в промисловості
3. Джерела Бору в ґрунті та способи його засвоєння кореневою системою рослин і позакореневим способом;
4. Норми Бору для різних культур рослин та його вміст в різних органах рослин
5. Методика кількісного визначення Бору у водному витязі рослини фотометричним методом. Які елементи впливають на точність результатів вмісту Бору?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ УМІСТУ Fe^{+2} У ВОДНІЙ ВИТЯЖЦІ РОСЛИН

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Залізо (Fe) є необхідним елементом для ферментативних функцій та фотосинтезу. При його нестачі листкові пластинки втрачають колір, жовтіють і стають майже білими. Залізо — приклад елемента, який у ґрунті часто наявний у надлишку, проте залишається недоступним для рослин.

Доступність заліза залежить від рівня рН ґрунту. При нейтральному або кислому середовищі воно добре засвоюється, але в лужних ґрунтах залізо щільно зв'язується з частинками ґрунту. У таких випадках необхідне додаткове внесення залізовмісних добрив.

Суть методу

Утворення кольорового комплексу йонами Fe^{+2} з сполуками о-фенантроліну з відновленням сполук Fe^{+3} до Fe^{+2} аскорбіновою кислотою. В результаті, визначається загальний вміст заліза у водному витязі рослини у формі Fe^{+2} .

Необхідні реактиви

1. Розчин о-фенантроліну (0.1%)
2. Буферний розчин ацетат-амоній (рН ~3.5–4.5)
3. Розчин аскорбінової кислоти (для відновлення $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$)
4. Стандартний розчин Fe (наприклад, з сульфату або хлориду заліза)
5. Дистильована вода

Підготовка стандартного розчину Fe

- Відважити **0.702 г FeSO₄·7H₂O**
- Розчинити у сірчаній кислоті (0.1 М)
- Долити до 1 л — отримання **100 мг/л Fe²⁺**
- Далі розвести до 0.1–2.0 мг/л для калібрування

Проведення аналізу

1. **Пробу профільтрувати** (при потребі).
2. Відміряти **50 мл зразка** у колбу.
3. Додати:
 1. 1 мл аскорбінової кислоти (якщо аналізується загальне Fe)
 - 2 мл буферного розчину
 - 2 мл о-фенантроліну
4. Долити до 50 мл дистильованою водою
5. Залишити на **10–15 хвилин** при кімнатній температурі
6. Виміряти оптичну густину при **510 нм** проти холостого зразка

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 510 нм. Виводиться рівняння лінійного калібрувального графіку за методом найменших квадратів, або за допомогою Microsoft Excel.

Завдання

- Побудуйте калібрувальну криву ($A = f(C)$)
- Визначте концентрацію заліза в пробі за допомогою інтерполяції
- Зробити розрахунок на вміст Fe²⁺ на одиницю маси досліджуваної рослини
- Зробити висновки щодо норми вмісту Fe²⁺ у досліджуваній рослині

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МАНГАНУ У ВОДНОМУ ВИТЯГУ РОСЛИННИХ ЧАСТИН

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Марганець (Mn) бере участь у синтезі хлорофілу, фотосинтезі, транспортуванні кисню та активації ферментів. Як структурна частина рибосом, він має ключову роль у синтезі білка та покращує засвоєння азоту. У плодах марганець важливий для утворення вітаміну С (аскорбінової кислоти) і каротину.

Незважаючи на достатній вміст марганцю в ґрунтах, його доступність зменшується при підвищенні рН. На піщаних ґрунтах проблеми з поглинанням марганцю виникають при рН вище 6, на важчих ґрунтах — при рН понад 7.

У холодних і перезволожених умовах марганець також стає недоступним для рослин, як і під час посухи, коли недостатньо вологи для його поглинання. Такі перехідні дефіцити часто зникають після осушення або випадіння опадів.

Особливо чутливими до нестачі марганцю є зернові культури. Тому для отримання високих урожаїв важливе додаткове внесення цього мікроелемента.

Суть методу

Метод базується на переведенні сполук мангану у перманганат-іон шляхом окиснення амоній персульфатом у кислому середовищі з використанням як каталізатора іонів аргентуму. Межа визначення методу 10 мкг/см³ Mn-йону.

Підготовка розчинів

- Стандартний розчин калій перманганату: $9,0 \text{ см}^3$ $0,01 \text{ моль/дм}^3$ розчину калій перманганату переносять в колбу на 100 см^3 та доводять об'єм до мітки дистильованою водою. 1 см^3 розчину містить $0,01 \text{ мг Mn}^{2+}$.

- Приготування стандартного розчину манган сульфату: $0,2748 \text{ г MnSO}_4$, прожареного при $500 \text{ }^\circ\text{C}$ розчиняють приблизно в 10 см^3 гарячої сульфатної кислоти (1:4) та доводять дистильованою водою до 1 дм^3 . 1 см^3 розчину містить $0,01 \text{ мг Mn}^{2+}$. Розчин слід готувати в день проведення аналізу.

- 1% розчин AgNO_3 .

- 10% розчин $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Перед приготуванням препарат слід перевірити на забрудненість йонами мангану. Для цього в мірну колбу на 50 см^3 вносять 5 см^3 розчину магній сульфату, 10 см^3 дистильованої води, 10 см^3 20% розчину фосфатної кислоти, 1 см^3 аргентум нітрату, $0,2 \text{ г}$ калій чи амоній персульфату. Нагрівають до кипіння та витримують на водяній бані 5 хв. , після чого охолоджують та доводять об'єм до мітки. Якщо розчин забарвлюється у малиновий колір, це свідчить що реактив забруднений манганом. В цьому випадку до 1 дм^3 розчину 10% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ по краплям додають 20 см^3 1% розчину луку ретельно перемішуючи вміст колби до появи осаду. Осад осаджують, а прозорий розчин використовують для аналізу (осад магній гідроксиду адсорбує манган із розчину).

- 20% розчин ортофосфорної кислоти.

Розчин фосфатної кислоти готують змішуванням $20 \text{ см}^3 \text{ H}_3\text{PO}_4 \text{ ч.д.а.}$ з 80 см^3 дистильованої води.

Методика проведення визначень

Визначення вмісту йонів мангану.

До 50 см^3 досліджуваної водної витяжки, що не була підкислена при відборі проби, додають $0,5 \text{ см}^3$ 4% розчину натрій гідроксиду, перемішують, додають $0,5 \text{ см}^3$ 10% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, знову перемішують та залишають до повного відстоювання отриманого осаду. Після відстоювання більшу частину розчину над осадом зливають (або декантують), а осад відфільтровують через фільтр з голубою стрічкою. Осад розчиняють на фільтрі 20% розчином H_3PO_4 та збирають розчин у колбу на 50 см^3 .

Промивають фільтр 2-3 рази таким чином, щоб об'єм у колбі становив близько 35 см^3 . Додають 10 см^3 1% розчину аргентум нітрату (при цьому слідкують, щоб розчин не помутнів від випадання хлоридів у осад), вносять близько $0,3 \text{ г}$ амоній персульфату, нагрівають до кипіння, та витримують на водяній бані протягом 10 хв. Після охолодження розчин доводять до мітки дистильованою водою і вимірюють оптичну густину при $\lambda=590 \text{ нм}$ в кюветах з товщиною світлопоглинаючого шару $2,0 \text{ см}$. При аналізі вод з високим вмістом хлорид-йонів осад промивають декілька разів дистильованою водою. Якщо ж при додаванні аргентум нітрату розчин все ж мутніє, тоді колбу струшують до утворення більших частинок осаду аргентум хлориду і додатково вводять надлишок аргентум нітрату.

Отриманий розчин відділяють від осаду, додають до розчину 0,3 г амонію персульфату і повторюють вище описані операції.

Побудова градувального графіку.

В колби місткістю 50 см³ вносять 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10 см³ стандартного розчину мангану. В кожен колбу додають по: 10 см³ 20 % розчину ортофосфornoї кислоти, 10 см³ 1 % розчину аргентум нітрату, близько 0,3 г натрій чи амоній персульфату, дистильовану воду доводять до об'єму 40 мл і нагрівають до кипіння та витримують на водяній бані 10 хвилин. Після охолодження доводять об'єм розчину до мітки дистильованою водою. При цьому отримують серію розчинів з вмістом мангану 0,0; 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,08 та 0,1 мг. Оптичну густину приготовлених розчинів вимірюють на фотометрі при $\lambda=590$ нм, використовуючи кювети з товщиною 2,0 см. Отримані дані дозволяють побудувати градувальний графік, за яким знаходять вміст мангану у пробі.

Обробка результатів Вміст мангану X в мг/дм³ , розраховують за формулою:

$$X = \frac{a \times 1000}{V}$$

де a – вміст мангану, знайдений за градувальним графіком, мг. V – об'єм проби води, взятий для аналізу, см³.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ УМІСТУ МОЛІБДЕНУ У ВОДНОМУ ВИТЯГІ РОСЛИН

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Мо Молібден відіграє особливу роль у перетворенні нітратів, що надходять у рослину, на нітроти, а згодом — на білки. У бобових культурах молібден є критично важливим для процесу фіксації атмосферного азоту в бульбочках. У зв'язку з цим його доцільно вносити додатково на ранніх стадіях росту або під час обробки насіння.

Молібден необхідний у дуже малих кількостях, але єдиний мікроелемент, доступність якого підвищується зі зростанням рівня рН ґрунту. Він рідко буває в дефіциті на нейтральних або лужних ґрунтах, проте стає недоступним на сильно кислих ґрунтах з рН нижче 5,5.

Суть методу

Молібден (у вигляді молібдат-іонів MoO_4^{2-}) у кислому середовищі утворює **гетерополікислоту** з фосфатами (фосфомолібденова кислота), яка **відновлюється** до інтенсивно синього комплексу — **молібденово-синій**, який вимірюється фотометрично.

Необхідні реактиви

1. Сірчана кислота (H_2SO_4) — для створення кислого середовища
2. Амоній молібдат ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
3. Аскорбінова кислота або олов'яна сіль (SnCl_2) — як відновник
4. Стандартний розчин молібдену — готується з молібдату амонію
5. Дистильована вода

Підготовка стандартного розчину молібдену

- Відважити **0.1802 г** $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- Розчинити у невеликій кількості дистильованої води
- Долити до **1 літра** — отримаєте **100 мг/л Мо**
- Далі готуються розчини з концентраціями: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 мг/л

Проведення аналізу

1. Відміряти **50 мл води** (або менше, якщо концентрація висока).
2. Додати:
 - 1 мл **сірчаної кислоти (1:1)**
 - 2 мл **розчину амоній молібдату**
 - 1 мл **відновника (аскорбінова кислота або SnCl_2)**
3. Залишити на **10 хвилин** для розвитку кольору
4. Виміряти оптичну густину при $\lambda = 660\text{--}700\text{ нм}$ (найчастіше 690

нм)

Завдання

- Побудувати калібрувальну криву (оптична густина — концентрація) за оптичними густинами калібрувальних розчинів.
- Дослідження оптичної густини водної витяжки досліджуваної рослини
- Вміст молібдену у зразках визначається шляхом інтерполяції або використання рівняння прямої за допомогою методу найменших квадратів або за допомогою ресурсу Microsoft Excel.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЦИНКУ У ВОДНОМУ ВИТЯГУ РОСЛИННИХ ЧАСТИН

ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Цинк(Zn) є компонентом каталізаторів (кофактор) багатьох ферментних систем, що беруть участь у синтезі білків та обміні вуглеводів. Він також важливий для формування хлоропластів.

Цинк бере участь в обміні ауксинів — регуляторів росту рослин — і, відповідно, є необхідним для нормального перебігу основних процесів росту. Низький рівень цинку знижує стійкість рослин до захворювань, зокрема до грибкових інфекцій, таких як *Rhizoctonia spp.*

При високому рівні рН ґрунту понад 7,5 цинк адсорбується оксидами заліза або алюмінію, що значно зменшує його доступність. Ця проблема особливо поширена на вапнякових ґрунтах. У свою чергу, на кислих, піщаних ґрунтах з великою кількістю опадів цинк легко вимивається.

Суть методу

Метод заснований на утворенні забарвленого в червоний колір сполуки цинку з дитизоном з подальшим витяганням дітizonата цинку в шар чотирьохлористого вуглецю (при рН 4,5 – 4,8). Чутливість методу складає (обсяг досліджуваної води 100 мл) – 5 мкг/л.

У слабкокислому середовищі іони цинку взаємодіють із дифенілтіокарбазоном (дитизоном H_2Dz), розчиненим у тетрахлориді вуглецю з утворенням в органічній фазі комплексної сполуки червоного кольору (розчин дитизону в тетрахлориді вуглецю має зелений колір).

Молярний коефіцієнт поглинання дитизонату цинку в тетрахлориді вуглецю $\varepsilon = 9,2 \cdot 10^4$ за $\lambda = 538$ нм.

Реактиви.

Приготування основного стандартного розчину цинку. 0,100 г чистого металевого цинку розчиняють у пробірці 2 мл соляної кислоти (1 : 1), розчин переносять у мірну колбу місткістю 1 л і доводять дистильованою водою до мітки. 1 мл розчину містить 100 мкг Zn^{2+} .

Приготування робочого стандартного розчину цинку. Основний розчин розбавляють 1 : 100. 1 мл розчину містить 1 мкг Zn^{2+} . Необхідно застосовувати свіжоприготовлений розчин.

Приготування 2 н розчину оцтовокислого натрію. 68 г $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ розчиняють в дистильованій воді і доводять об'єм до 250 мл.

Приготування 2 н розчину оцтової кислоти. 30 мл крижаної оцтової кислоти розчиняють в дистильованій воді і доводять об'єм до 250 мл.

Приготування буферного розчину (ацетатного). Змішують рівні об'єми 2 н розчину оцтовокислого натрію ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) і 2 н розчину оцтової кислоти (CH_3COOH) і очищають так само, як і 20 %-ий розчин тіосульфату натрію (див. нижче).

Приготування 0,01 і 0,002 %-ого розчину дитизону в тетрахлориді вуглецю CCl_4 . 0,05 г очищеного дитизону переносять в мірну колбу місткістю 500 мл, розчиняють у невеликій кількості CCl_4 . Потім доводять до мітки тетрахлоридом вуглецю і отримують 0,01 %-ий розчин. З 0,01 %-ого розчину готують 0,002 і 0,001 %-і розчини. Для цього беруть відповідно 20 і 10 мл розчину дитизону і доводять до мітки тетрахлоридом вуглецю в мірній колбі місткістю 100 мл.

Приготування 20 %-ого розчину тіосульфату натрію. 20 г $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ розчиняють у 80 мл дистильованої води і очищують збовтуванням в ділильній воронці з 0,01 %-им розчином дитизону порціями по 5 – 10 мл до тих пір, поки колір дитизону не перестане змінюватися. Надлишок дитизону видаляють струшуванням розчину з чистим тетрахлоридом вуглецю порціями по 10 мл до тих пір, поки чотирихлористий вуглець не стане безбарвним.

Проведення аналізу.

Об'єм проби водного витягу рослин для визначення вмісту цинку не повинен бути меншим за 300 мл. Проби води консервують додаванням 3 мл очищеної соляної кислоти (1:1) на 1 л води.

В умовах методу можна визначити цинк в кількості від 5 до 50 мкг/л. Якщо буде потрібно визначити кількість цинку, що виходить за вказані межі, відбирають на визначення відповідно більшу або меншу кількість води.

Визначенню цинку заважає вміст міді більший за 0,001 мг в досліджуваній витяжці. При вмісті міді більше 0,001 мг її зв'язують в комплекс додаванням тіосульфату натрію з розрахунку на кожні 10 мкг міді в досліджуваній воді 5 мл 20 %-ого розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. При вмісті окисного заліза більше 0,05 мг і закисного 0,03 мг в пробі досліджуваної води необхідно воду попередньо розбавити очищеною дистильованою водою і потім профільтрувати через щільний фільтр, промитий гарячою дистильованою водою.

100 мл досліджуваної витяжки, підкисленої при відборі (якщо досліджувана вода не була підкислена, її підкислюють 2 – 3 краплями очищеної HCl (1 : 1)), переросять в ділильну воронку місткістю 150 – 200 мл. Додають 5 мл буферного розчину, перемішують, доливають 1 мл 20 %-ого розчину тіосульфату натрію і знову перемішують. Додають з бюретки 4 мл 0,002 %-ого робочого розчину дитизону в тетрахлориді вуглецю і енергійно струшують протягом 2 хв. Забарвлення розчину дитизону залежно від вмісту цинку змінюється від зеленого до червоного. Ставлять воронку вертикально в штатив і чекають розшарування рідин. Екстракт дітізонату зливають в колориметричну пробірку з притертою пробкою. до водного розчину в ділильної воронці доливають знову 2 мл розчину дитизона. Енергійно струшують протягом 2 хв і після розділення рідин зливають шар дітізонату цинку в ту ж пробірку. Перемішують і порівнюють зі стандартною шкалою, приготовленою в тих же умовах.

Для *приготування стандартної шкали* відбирають 0,0 ; 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 3,0 ; 4,0 і 5,0 мл робочого стандартного розчину Zn (1 мл розчину містить 1 мкг Zn^{2+}), доводять об'єм дистильованою водою до 100 мл і обробляють так само, як досліджувану воду. Зразки шкали відповідно будуть містити 0,0 - 0,5 - 1,0 - 2,0 - 3,0 - 4,0 - 5,0 мкг Zn^{2+} .

Шкала стійка протягом трьох діб при зберіганні в темному місці.

Якщо концентрація цинку в досліджуваній воді не перевищує 50 мкг/л, весь цинк з досліджуваної води зазвичай переходить в дитизонат при першому струшуванні. Колір розчину дитизону при повторному екстрагуванні залишається зеленим. Якщо колір розчину дитизона матиме інше забарвлення, то це означає, що у воді міститься цинку більше 50 мкг/л. У цьому випадку визначення повторюють, відбираючи для аналізу 50 - 25 мл досліджуваної води. При цьому кількість буферного розчину і тіосульфату натрію, що додається, залишається незмінною. Якщо необхідно брати ще меншу кількість досліджуваної води, її потрібно розбавляти очищеною

дистильованою водою до об'єму 25 мл. При малих концентраціях цинку в досліджуваній воді (0,5 - 1,0 мкг у досліджуваній воді) екстракцію слід проводити більш розведеним розчином дитизону (0,001 %). При першій екстракції додають 3 мл 0,001 %-ного розчину дитизону, вдруге 1 мл.

Отримані екстракти зливають разом в пробірку з притертою пробкою і колориметрують. Стандартну шкалу (0,5 - 1,0 мкг Zn^{2+}) готують в тих же умовах.

Обробка результатів. Вміст цинку (X), мг/л, визначають за формулою

$$X = \frac{a \cdot 1000}{V \cdot 1000},$$

де a – вміст цинку, знайдений за шкалою стандартних розчинів, мкг; V – об'єм досліджуваної води, взятий на визначення, мл.

Допустиме розходження між повторними визначеннями – 5 мкг/л, якщо вміст цинку не перевищує 20 мкг/л; при більш високих концентраціях – 25 відн. %.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрохімічна складова технології вирощування буряку цукрового / 1. М. Госпо-даренко 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. 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 сівоzmіні. 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 мікродобрив 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 УКРАЇ- НА», 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 : Чорнобайв-ське 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: Смугаста 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 мікродобрив. 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 сі-возмінах. 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., Бурикіна С. І. Ефективність форм і строків внесення цинку на посівах 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 перероб-лення. Г. М. Господаренко, В. В. Любич, І. О. Полянецька, В. В. Новіков, В. В. Железна. За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП 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 позакореневих 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. Виш-невська, 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. Господарен-ко, 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. Мірошни-ченка. 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. Медведева Київ : Аграрна наука, 2012. 240 с.
44. Сучасні системи удобрення с.-г. культур у сівоzmінах 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 Бро-він 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. Экология почвы: монография / 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 ультраелементів 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.

