

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ҐРУНТОЗНАВСТВА ТА АГРОХІМІЇ

АГРОХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ В РОСЛИННИЦТВІ

Курс лекцій з навчальної дисципліни
для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня
вищої освіти спеціальності Н1 «Агрономія»
денної форми здобуття вищої освіти



Миколаїв 2026

УДК 631.8:631.42

A26

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету від 14.05.2026 р., протокол № 8

Укладачі:

М. І. ФЕДОРЧУК – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри ґрунтознавства та агрохімії, Миколаївський національний аграрний університет;

А. М. КРУГЛЕНКО - асистент кафедри ґрунтознавства та агрохімії, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

А. В. ПАНФІЛОВА - доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувачка кафедри рослинництва та садово-паркового господарства Миколаївський національний аграрний університет;

Н. В. ІВАНОВА - кандидат економічних наук , директор ТОВ «Золотий колос» Миколаївська обл., Миколаївський р-н, селище Капустине.

ВСТУП

Сучасне рослинництво неможливе без науково обґрунтованого управління родючістю ґрунтів і мінеральним живленням рослин. Зростання потреб у сільськогосподарській продукції, необхідність підвищення ефективності використання добрив та забезпечення екологічної безпеки агровиробництва зумовлюють важливість застосування сучасних агрохімічних методів досліджень.

Агрохімічні методи аналізу є основою оцінювання родючості ґрунтів, контролю стану живлення рослин, визначення якості добрив і прогнозування продуктивності сільськогосподарських культур. Вони дозволяють отримати об'єктивну інформацію про забезпеченість рослин елементами живлення, виявити фактори, що обмежують урожайність, та розробити ефективні системи удобрення.

Навчальна дисципліна «Агрохімічні методи аналізу в рослинництві» спрямована на формування у здобувачів вищої освіти теоретичних знань і практичних навичок щодо використання польових, вегетаційних, лізіметричних, лабораторних, математичних та статистичних методів дослідження. Особлива увага приділяється методам агрохімічного аналізу ґрунтів, рослин, добрив і кормів, а також визначенню макро- та мікроелементів у різних об'єктах агроecosystem.

Метою курсу є вивчення сучасних підходів до проведення агрохімічних досліджень, освоєння методик відбору та аналізу зразків, оцінювання результатів досліджень і використання отриманих даних для оптимізації мінерального живлення рослин, підвищення родючості ґрунтів та програмування врожаю.

Засвоєння матеріалу дисципліни сприятиме формуванню професійних компетентностей майбутніх фахівців аграрної галузі, необхідних для впровадження науково обґрунтованих технологій вирощування сільськогосподарських культур, раціонального використання добрив та збереження родючості ґрунтів в умовах сучасного землеробства.

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1. Методи дослідження в рослинництві

Лекція 1. Значення агрохімічних досліджень. Польовий дослід. Види польового дослідження. Методика складання схеми дослідження

ПЛАН

1. Значення агрохімічних досліджень у сучасному землеробстві та економіці аграрного виробництва.
2. Роль засобів хімізації у формуванні врожаю і підвищенні продуктивності культур.
3. Польовий дослід як основний метод агрохімічних досліджень
4. Методика закладання та наукове значення схеми польового дослідження

Агрохімічні дослідження є важливою складовою сучасного землеробства, оскільки забезпечують науково обґрунтоване використання засобів хімізації та сприяють підвищенню ефективності аграрного виробництва. Раціональне застосування мінеральних добрив, засобів захисту рослин, меліорантів і регуляторів росту безпосередньо впливає на рівень урожайності сільськогосподарських культур, якість продукції та економічні показники господарств.

У середньому по Україні в зоні богарного землеробства одна гривня витрат на мінеральні добрива окупується приростом продукції вартістю 3–3,5 гривні, тоді як засоби захисту рослин забезпечують ще вищу економічну віддачу — 5–6 гривень приросту продукції на кожен вкладений гривню. У перерахунку на 1 кг поживних речовин НРК у науково-дослідних установах додатково отримують 7–10 кг продукції, тоді як у виробничих умовах — лише 3–5 кг. Це свідчить про наявність значних резервів підвищення ефективності використання добрив у практиці землеробства.

Ефективність добрив значною мірою залежить від культури та рівня агротехніки. Так, при внесенні добрив під цукрові буряки їх окупність не перевищує 85 %, під картоплю — близько 68 %, а під овочеві культури — до 90 % нормативної. Це підтверджує, що лише комплексне застосування добрив у поєднанні з іншими агротехнічними заходами забезпечує високий економічний ефект.

Таблиця 1.1

Нормативні витрати на одиницю приросту врожаю та середня окупність добрив в Україні

| Культура | Витрати добрив на 1 т врожаю, кг елементів живлення | | | | Окупність 1 т добрив, приростом врожаю, ц/га |
|----------|---|-----------|----------|--------|--|
| | Азотних | Фосфорних | Калійних | Всього | |
| Зернові | 72 | 102 | 60 | 234 | 4,3 |

| | | | | | |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| Цукрові буряки | 11 | 12 | 11 | 34 | 29,2 |
| Льон-довгунець | 176 | 314 | 320 | 810 | 1,2 |
| Соняшник | 148 | 226 | 48 | 422 | 2,4 |
| Картопля | 13 | 13 | 12 | 38 | 26,6 |
| Овочі | 8 | 8 | 8 | 24 | 42,6 |
| Силосні культури | 10 | 9 | 8 | 27 | 37,2 |
| Кормові корнеплоди | 8 | 8 | 8 | 24 | 42,9 |
| Трави багаторічні та однорічні | 21 | 32 | 33 | 86 | 11,6 |
| Луки та пасовища | 31 | 23 | 23 | 77 | 13,0 |
| Багаторічні насадження | 27 | 23 | 21 | 71 | 14,1 |

З наведених даних видно, що окупність добрив істотно змінюється залежно від культури, що зумовлює необхідність диференційованого підходу до їх застосування.

Ефективність добрив також значною мірою визначається погодними умовами та природною зоною.

Таблиця 1.2

Формування врожаю за рахунок внесення оптимальних норм добрив у польових сівозмінах за різних погодних умов, % до природної родючості ґрунту

| Зона | Кількість дослідів | Роки | | |
|-------------------|--------------------|------------|-----------|--------------------------|
| | | сприятливі | посушливі | перезволожені та холодні |
| Полісся | 45 | 95 | 108 | 148 |
| Лісостеп | 48 | 40 | 61 | 57 |
| Степ | 23 | 40 | 55 | 40 |
| Всього по Україні | 116 | 55 | 74 | 82 |

Наведені дані свідчать, що в несприятливі за погодними умовами роки роль добрив у формуванні врожаю зростає, особливо в зоні Полісся.

Вагомим є внесок окремих елементів живлення у формування врожаю сільськогосподарських культур.

Таблиця 1.3

Частка добрив у формуванні середнього приросту врожаю сільськогосподарських культур в Україні

| Культури | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|-------------------------|-------------|-------------------------------|------------------|
| Зернові (без кукурудзи) | 28,3 – 63,0 | 16,9–61,9 | 6,2–28,2 |
| Кукурудза на зерно | 35,4–58,3 | 33,5–61,4 | 0–31,1 |
| Картопля | 36,1–41,9 | 24,2–36,0 | 29,6–40,0 |
| Цукрові буряки | 27,8–40,6 | 35,9–50,0 | 22,1–27,3 |
| Льон-довгунець | 30,5–56,8 | 22,1–23,2 | 0–38,2 |

Особливе значення агрохімічні дослідження мають для виробництва зерна, яке є основним продуктом харчування населення, використовується у тваринництві та промисловості і залишається головним джерелом грошових надходжень аграрного сектору України.

Польові досліди

Ефективність мінеральних добрив, їх форм, доз і співвідношень поживних речовин істотно змінюється залежно від ґрунтово-кліматичних умов, культури та рівня агротехніки. Саме тому встановлення оптимальних норм і способів застосування добрив можливе лише на основі експериментальних досліджень, провідне місце серед яких посідають польові досліди. Жоден розрахунковий або лабораторний метод не може повністю замінити польовий експеримент, оскільки тільки в умовах поля проявляється комплексна дія ґрунту, клімату, рослин і агротехнічних заходів.

Польові досліди застосовуються в агрохімії вже понад століття і залишаються основним методом перевірки ефективності добрив та систем удобрення. Вони дають змогу оцінити не лише приріст урожаю, а й його якість, післядію добрив, зміни родючості ґрунтів і економічну доцільність агрохімічних заходів. Залежно від мети й умов проведення польові досліди можуть бути короткочасними або довготривалими, проводитися в науково-дослідних установах чи безпосередньо в умовах виробництва.

Короткочасні польові досліди закладають для розв'язання конкретного практичного або наукового питання в певних умовах і, як правило, проводять протягом одного чи кількох років. Довготривалі, або стаціонарні, досліди здійснюють у межах сівозміни протягом тривалого часу з метою вивчення змін родючості ґрунтів, балансу поживних речовин і тривалої дії добрив. Виробничо-польові досліди максимально наближені до реальних умов господарства і дозволяють перевірити ефективність наукових рекомендацій на практиці. Поряд із ними застосовують також лабораторно-польові та облікові господарські досліди, які поєднують елементи експерименту і виробничого аналізу.

Особливістю польових дослідів є те, що вони дозволяють вивчати вплив окремого агрохімічного чинника на фоні складного комплексу природних умов.

Саме тому надзвичайно важливим є правильне складання схеми досліду, яка визначає варіанти, повторності та їх розміщення. Схема досліду повинна забезпечувати можливість об'єктивного порівняння варіантів і отримання вірогідних результатів. При закладанні дослідів необхідно використовувати однакові форми добрив, дотримуватись однакових строків і способів їх внесення, а також єдиної агротехніки для всіх варіантів.

Польові досліді широко застосовують для вивчення дії різних форм мінеральних і органічних добрив, визначення оптимальних доз поживних елементів, оцінювання ефективності мікроелементів та їх поєднання з макродобривами. Вони дозволяють встановити, як змінюється реакція рослин на добрива залежно від ґрунтових умов і рівня забезпеченості елементами живлення, а також визначити економічну доцільність застосування тих чи інших агрохімічних заходів.

Для отримання достовірних результатів польові досліді повинні закладатися з дотриманням принципів типовості, точності та єдиної відміни. Дослідні ділянки мають бути однорідними за ґрунтовими умовами, рельєфом і попередниками, а всі варіанти повинні відрізнятися між собою лише досліджуванним чинником. Вибір площі під дослід має велике значення, оскільки ділянки з неоднорідним ґрунтовим покривом або значною забур'яненістю не забезпечують вірогідності результатів.

У процесі проведення польових дослідів здійснюють систематичні фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин, станом ґрунту, динамікою поживних речовин і вологозабезпеченням. Завершальним етапом є облік урожаю, який проводять за єдиною методикою для всіх варіантів досліду. Отримані результати підлягають статистичній обробці, що дозволяє оцінити точність досліду і зробити науково обґрунтовані висновки.

Таким чином, польові досліді є основним експериментальним методом агрохімії, який забезпечує наукове обґрунтування систем удобрення, дозволяє оцінити ефективність агрохімічних заходів і є базою для впровадження інтенсивних та екологічно безпечних технологій землеробства.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. У чому полягає значення агрохімії як науки для сучасного землеробства?
2. Які основні завдання агрохімічних досліджень у сільському господарстві?
3. Що таке польовий дослід і яке його місце в системі агрохімічних досліджень?
4. Які основні вимоги висуваються до закладання польового досліду?
5. Які види польових дослідів застосовують в агрохімії та чим вони відрізняються?
6. Що розуміють під варіантом і повторністю польового досліду?
7. Яке значення має контрольний варіант у польовому досліді?
8. У чому полягає методика складання схеми польового досліду?
9. Які фактори необхідно враховувати при виборі ділянки для польового досліду?
10. Яке значення мають агротехнічні умови при проведенні польових досліджень?

Лекція 2. Вегетаційний та лізиметричний методи дослідження

ПЛАН

1. Значення вегетаційного методу в агрохімічних дослідженнях і історія його розвитку
2. Основні види вегетаційних дослідів та умови їх проведення
3. Лізиметричний метод як засіб вивчення водного і поживного режимів ґрунту
4. Порівняльна характеристика вегетаційних і лізиметричних методів та їх практичне значення.

Вегетаційний метод займає важливе місце в системі агрохімічних досліджень, оскільки дозволяє детально вивчати процеси живлення рослин і механізми засвоєння поживних елементів за контрольованих умов. Його застосування тісно пов'язане зі становленням агрохімії як науки та формуванням уявлень про роль окремих факторів у рості й розвитку рослин. Саме завдяки вегетаційним дослідом було встановлено фізіологічну роль макро- і мікроелементів, визначено межі оптимального та критичного живлення, а також виявлено взаємодію між елементами живлення і ґрунтовим середовищем.

На відміну від польових дослідів, у яких рослини перебувають під впливом складного комплексу природних чинників, вегетаційний метод дає змогу ізолювати окремі фактори та простежити їх безпосередній вплив на ріст, розвиток і продуктивність рослин. Це робить його незамінним для вирішення теоретичних питань агрохімії, однак водночас обмежує можливості прямого перенесення отриманих результатів у виробничі умови. Саме тому вегетаційні дослідів розглядаються як доповнення до польових експериментів, результати яких мають узагальнюватися і перевірятися в реальних умовах землеробства.

Вегетаційні дослідів проводять у спеціально обладнаних приміщеннях, теплицях або вегетаційних будиночках, де можна регулювати умови живлення, водний режим і мікроклімат. Рослини вирощують у посудинах з ґрунтом, піском або поживними розчинами, що дозволяє контролювати надходження елементів живлення. Ґрунтова культура дає змогу частково відтворити природні умови, тоді як піщана і водна культури забезпечують високу точність у вивченні впливу окремих елементів або їх співвідношень. У процесі досліджень здійснюють фенологічні спостереження, облік ростових показників, накопичення сухої речовини та хімічний аналіз рослинної маси.

Важливим доповненням до вегетаційних і польових методів є лізиметричний метод, який застосовується для вивчення водного режиму ґрунтів, міграції поживних речовин і втрат елементів живлення з фільтраційними водами. Лізиметричні дослідження дозволяють кількісно оцінити процеси вимивання поживних елементів, особливо азоту, а також встановити залежність між режимом зволоження, удобренням і продуктивністю культур. Лізиметр являє собою спеціальну установку, що ізолює певний об'єм ґрунту разом із рослинним покривом і дає змогу аналізувати воду, яка проходить крізь ґрунтовий профіль.

Значення лізиметричних досліджень особливо зростає в умовах інтенсивного землеробства, зрошення та кліматичної нестабільності, коли підвищується ризик втрат поживних речовин і забруднення ґрунтових вод. Дані, отримані за допомогою лізиметрів, широко використовуються для екологічної оцінки систем удобрення, оптимізації норм і строків внесення добрив та розробки заходів із охорони навколишнього середовища.

Результати вегетаційних, лізиметричних і польових досліджень є науковою основою для прогнозування врожаю сільськогосподарських культур за ґрунтово-кліматичними та агрохімічними ресурсами. Метод прогнозування врожаю ґрунтується на диференціації його на окремі складові та кількісному визначенні внеску кожної з них із використанням нормативної інформації про продуктивність ґрунтів, ефективність добрив і метеорологічні умови. Такий підхід широко застосовується в агрохімічних дослідженнях і рекомендований для оцінювання ефективності добрив у виробничих умовах.

Характерною особливістю цього методу є використання результатів бонітування ґрунтів, які базуються на багаторічних виробничих даних про урожайність сільськогосподарських культур. Агроекологічний підхід до оцінки якості та продуктивності ріллі передбачає врахування всього комплексу природних факторів родючості. Основними критеріями є максимально можливі запаси продуктивної вологи, запаси гумусу, вміст потенційно доступних для рослин форм елементів живлення та рівень урожайності. Регіональні особливості ґрунтів, такі як кислотність, засолення, оглеєння або солонцюватість, а також умови їх залягання враховуються за допомогою поправкових коефіцієнтів.

Таким чином, для оцінки продуктивності земельних ресурсів застосовується принцип, сформульований К. А. Тімірязєвим, згідно з яким при аналізі росту і розвитку рослин необхідно враховувати основні фактори — вологу, світло, тепло і кількість поживних речовин у ґрунті. Кількісна реалізація цього принципу здійснюється за допомогою рівняння прогнозування врожаю, яке дозволяє оцінити сумарний внесок ґрунтових, агрохімічних і кліматичних факторів у формування продуктивності культур.

Узагальнення результатів вегетаційних, лізиметричних і польових досліджень створило наукову основу для розробки методу прогнозування врожаю за ґрунтово-кліматичними та агрохімічними ресурсами. Цей метод ґрунтується на кількісному врахуванні основних факторів продуктивності рослин і дозволяє максимально наблизити прогнозування врожаю до реальних умов сільськогосподарського виробництва. Його концептуальною основою є принцип, сформульований К. А. Тімірязєвим, відповідно до якого рівень урожайності визначається забезпеченістю рослин вологою, світлом, теплом і поживними речовинами.

Кількісна оцінка впливу зазначених факторів реалізується за допомогою рівняння прогнозування врожаю, яке дозволяє визначити сумарний внесок ґрунтових, агрохімічних і кліматичних ресурсів у формування продуктивності сільськогосподарських культур. Прогнозований урожай визначається за таким співвідношенням:

$$y = \frac{A_0X_0 + A_1X_1 + A_2X_2}{100} \pm A_3K$$

де y — прогнозований урожай, ц/га;

A_0 — ціна одного бала бонітету ґрунту, кг;

X_0 — бонітет ріллі, бал;

A_1 — окупність 1 т органічних добрив урожаєм, кг;

X_1 — доза органічних добрив, т/га;

A_2 — окупність 1 кг поживної речовини мінеральних добрив урожаєм, кг;

X_2 — доза мінеральних добрив, кг/га поживної речовини;

A_3 — урожайний еквівалент гідротермічного коефіцієнта;

K — відхилення фактичного значення гідротермічного коефіцієнта від середньобагаторічної норми;

100 — коефіцієнт для перерахунку кілограмів у центнери.

Подане рівняння дозволяє кількісно оцінити реальні можливості ґрунтово-кліматичних і агрохімічних ресурсів землеробства, зокрема продуктивність ріллі, ефективність органічних і мінеральних добрив, а також вплив гідротермічного режиму на формування врожаю. Його застосування базується на багаторічних виробничих і масових дослідних даних, одержаних безпосередньо в господарствах при вирощуванні районованих високопродуктивних сортів за умов загальноприйнятої агротехніки.

Таким чином, використання цього рівняння у поєднанні з даними вегетаційних і лізиметричних досліджень дозволяє не лише прогнозувати рівень урожайності, а й виявляти невикористані ґрунтово-агрохімічні резерви та обґрунтовувати напрями підвищення ефективності землеробства.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чому ґрунт розглядають як основне середовище мінерального живлення рослин?
2. Які властивості ґрунту визначають його родючість?
3. Яке значення мають фізичні властивості ґрунту для живлення рослин?
4. Як агрохімічні властивості ґрунту впливають на доступність елементів живлення?
5. Що таке ґрунтовий розчин і яку роль він відіграє в живленні рослин?
6. Яке значення має реакція ґрунтового середовища (рН) для мінерального живлення?
7. Як гумус впливає на поживний режим ґрунту?
8. У чому полягає роль ґрунтових колоїдів у процесах живлення рослин?
9. Як водний і повітряний режими ґрунту впливають на засвоєння поживних речовин?
10. Які ґрунтові фактори можуть обмежувати доступність елементів живлення?

Лекція 3. Математичний, статистичний аналіз результатів досліджень

ПЛАН

1. Значення математичного і статистичного аналізу в агрохімічних дослідженнях
2. Статистична обробка експериментальних даних та характеристика мінливості показників
3. Оцінювання достовірності результатів досліджень і вірогідності відмінностей.
4. Роль математичних методів у узагальненні, інтерпретації та прогнозуванні результатів.

Математичний і статистичний аналіз є невід'ємною частиною наукових досліджень в агрохімії, оскільки саме він забезпечує наукову достовірність і обґрунтованість отриманих результатів. У процесі проведення польових, вегетаційних або лабораторних дослідів дослідник отримує значну кількість числових даних, які самі по собі не дають повного уявлення про дію досліджуваних факторів. Лише після відповідної математичної обробки ці дані набувають наукового змісту і можуть бути використані для формулювання висновків і рекомендацій.

У агрохімічних дослідженнях особливу роль відіграє статистичний аналіз, оскільки об'єкти дослідження — ґрунт, рослини, агроєкосистеми — характеризуються значною природною мінливістю. Навіть за однакових умов вирощування результати дослідів можуть істотно відрізнятися, що зумовлено неоднорідністю ґрунтового покриву, впливом погодних умов, біологічними особливостями культур і похибками вимірювань. Статистичні методи дозволяють врахувати цю мінливість і відокремити закономірні зміни від випадкових коливань.

Застосування математичних і статистичних методів дає змогу не лише оцінити результати окремого досліду, а й порівняти їх із даними інших досліджень, узагальнити багаторічні спостереження та сформулювати науково обґрунтовані рекомендації для практики землеробства. Саме тому володіння основами статистичного аналізу є обов'язковим для фахівців аграрного профілю.

Першим етапом статистичної обробки результатів досліджень є впорядкування експериментальних даних. Отримані значення показників формують статистичний або варіаційний ряд, який дозволяє наочно оцінити характер розподілу досліджуваної ознаки. Такий підхід дає можливість виявити загальні тенденції, крайні значення та особливості мінливості показника.

Для узагальненої характеристики результатів досліджень використовують середню арифметичну величину, яка відображає типовий рівень ознаки в досліджуваній сукупності. Однак середнє значення не може повною мірою характеризувати результати експерименту без урахування ступеня їх розсіювання. Саме тому поряд із середнім значенням обов'язково аналізують показники мінливості.

До основних показників мінливості належать розмах варіації, дисперсія та середньоквадратичне відхилення. Вони дають змогу оцінити, наскільки сильно окремі значення відхиляються від середнього рівня. У практиці агрохімічних досліджень особливе значення має коефіцієнт варіації, який виражає мінливість у

відсотках і дозволяє порівнювати різні показники між собою. За його величиною можна судити про однорідність дослідного матеріалу та стабільність функціонування агроекосистеми.

Аналіз мінливості є важливим для правильного тлумачення результатів досліджень. Висока мінливість може свідчити як про значний вплив досліджуваного фактора, так і про недостатню однорідність умов експерименту. Низька мінливість, навпаки, вказує на стабільність показника і високу якість проведеного досліджу.

3. Оцінювання достовірності результатів досліджень і вірогідності відмінностей

Одним із ключових завдань статистичного аналізу є оцінювання достовірності отриманих результатів. У практиці досліджень часто виникає необхідність встановити, чи є відмінності між варіантами досліджу істотними, чи вони зумовлені випадковими коливаннями. Саме для цього застосовуються методи перевірки статистичних гіпотез.

Достовірність результатів залежить від точності експерименту, яка визначається величиною похибки середнього значення. Похибка, у свою чергу, залежить від мінливості показника та кількості повторень. Зі збільшенням кількості повторень точність результатів зростає, що підкреслює важливість правильного планування дослідів.

В агрохімічних дослідженнях широко застосовують методи порівняння середніх значень, які дозволяють оцінити вірогідність відмінностей між варіантами удобрення, сортами або агротехнічними прийомами. У багатofакторних експериментах важливе місце займає дисперсійний аналіз, що дозволяє визначити внесок окремих факторів і їх взаємодії у формування досліджуваного показника.

Оцінювання достовірності результатів є необхідною умовою формулювання наукових висновків. Лише статистично обґрунтовані відмінності можуть бути використані для розробки практичних рекомендацій і впровадження у виробництво.

Математичні методи аналізу результатів досліджень виконують важливу узагальнювальну функцію. Вони дозволяють перейти від окремих експериментальних даних до загальних закономірностей, які можуть бути застосовані в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Особливе значення мають методи кореляційного і регресійного аналізу, які дозволяють встановлювати зв'язки між показниками і описувати їх у вигляді математичних моделей.

Регресійні моделі широко використовуються для прогнозування врожайності, оцінювання ефективності добрив і планування агротехнічних заходів. На основі таких моделей можна оцінити, як зміниться досліджуваний показник за зміни одного або кількох факторів, і визначити оптимальні умови їх застосування.

У сучасних умовах математичний і статистичний аналіз тісно пов'язаний із використанням комп'ютерних технологій, що дозволяє обробляти великі масиви даних і застосовувати складні методи аналізу. Проте незалежно від рівня автоматизації ключовим залишається розуміння суті статистичних методів і правильна інтерпретація отриманих результатів.

Таким чином, математичний і статистичний аналіз результатів досліджень є основою наукового підходу в агрохімії. Він забезпечує достовірність експериментальних даних, дозволяє об'єктивно оцінювати дію агрохімічних факторів і формує підґрунтя для прогнозування та управління продуктивністю агроєкосистем.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що розуміють під елементами мінерального живлення рослин?
2. Які елементи належать до макроелементів і яку роль вони відіграють?
3. Які елементи відносять до мікроелементів і чому вони є необхідними?
4. У чому полягає фізіологічна роль азоту в рослинному організмі?
5. Яке значення фосфору та калію для росту і розвитку рослин?
6. Як кальцій і магній впливають на обмін речовин у рослин?
7. Що таке закон мінімуму і як він проявляється у живленні рослин?
8. Чому порушення співвідношення елементів живлення негативно впливає на врожайність?
9. Які фактори впливають на засвоєння елементів живлення рослинами?
10. У чому полягає взаємодія між макро- і мікроелементами?

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2. Агрохімічний аналіз

Лекція 4. Агрохімічний аналіз ґрунту

ПЛАН

1. Агрохімічний аналіз ґрунту як основа оцінки родючості та продуктивності агроєкосистем
2. Біологічна система ґрунту: складність, організація та взаємодія з чинниками середовища.
3. Математичне моделювання в агрохімії: побудова нелінійних моделей і прогнозування показників ґрунту.
4. Оцінювання організації та функціонування ґрунтово-біологічних систем на основі статистичних і інформаційних показників.

Агрохімічний аналіз ґрунту є однією з базових складових сучасної агрономічної науки і практики землеробства. Саме ґрунт виступає головним середовищем росту і розвитку рослин, джерелом поживних елементів, води та повітря, а також складною біологічною системою, у якій постійно відбуваються фізичні, хімічні й біологічні процеси. Ефективне використання ґрунтів у сільському господарстві неможливе без глибокого розуміння їх властивостей, стану родючості та закономірностей функціонування.

Агрохімічний аналіз ґрунту дозволяє отримати кількісну характеристику поживного режиму, визначити вміст і доступність основних елементів живлення, оцінити реакцію ґрунтового середовища, запаси органічної речовини та інші

показники, що мають безпосередній вплив на продуктивність сільськогосподарських культур. Разом із тим слід враховувати, що ґрунт не є статичною системою. Він постійно змінюється під впливом природних факторів і господарської діяльності людини, а його властивості формуються в результаті складної взаємодії між живими і неживими компонентами.

Вивчення будь-якої реальної біологічної системи, зокрема ґрунту, полягає у визначенні її складових частин і взаємозв'язків між ними, а також у дослідженні впливу факторів навколишнього середовища. Ґрунт як біосистема включає мінеральну основу, органічну речовину, ґрунтову біоту, воду і ґрунтове повітря. Усі ці компоненти перебувають у постійній взаємодії, формуючи внутрішню структуру ґрунту та визначаючи його функціонування як екосистеми.

Особливістю ґрунтової біологічної системи є її багаторівнева організація. На мікрорівні відбуваються біохімічні процеси, пов'язані з діяльністю мікроорганізмів, мінералізацією органічної речовини та трансформацією поживних елементів. На макрорівні проявляються зміни фізичних і хімічних властивостей ґрунту, що визначають умови росту кореневої системи рослин. У свою чергу, рослини активно впливають на ґрунт, змінюючи його структуру, склад органічної речовини та біологічну активність.

Для встановлення закономірностей функціонування ґрунту як біологічної системи недостатньо лише окремих аналітичних показників. Необхідним є комплексний підхід, який дозволяє оцінити взаємозв'язки між елементами системи та реакцію ґрунту на дію зовнішніх чинників. Саме в цьому контексті в агрохімії дедалі ширше застосовується математичне моделювання, яке дозволяє формалізувати складні процеси та представити їх у вигляді математичних залежностей.

Математичне моделювання біосистем ґрунту є потужним інструментом узагальнення експериментальних даних, отриманих у польових, лабораторних і вегетаційних дослідженнях. Воно дає змогу описати залежність між властивостями ґрунту, факторами середовища і продуктивністю рослин, а також прогнозувати зміни системи за різних умов. Особливо важливим є застосування математичних моделей у випадках, коли взаємозв'язки між показниками мають нелінійний характер.

Однією з найпоширеніших форм нелінійних залежностей в агрохімічних дослідженнях є ступенева функція, яка описує залежність між двома ознаками у вигляді рівняння

$$y = ax^b,$$

де y — досліджуваний показник, x — незалежна змінна, а параметри a і b відображають особливості функціонування біологічної системи. Такі моделі широко застосовують для опису зміни вмісту гумусу залежно від глибини ґрунтового шару, розподілу поживних елементів у профілі ґрунту, а також для аналізу інших агрохімічних показників.

Побудова математичної моделі починається з постановки задачі, визначення об'єкта дослідження і мети аналізу. На цьому етапі важливо чітко визначити, які

фактори істотно впливають на досліджувану систему і які показники слід враховувати. Далі проводяться експериментальні дослідження, під час яких фіксують зміни вихідних величин залежно від варіювання незалежних змінних. Отримані дані систематизують, формують статистичні ряди і піддають математичній обробці.

У процесі статистичної обробки визначають середні значення показників, дисперсію та середньоквадратичне відхилення, що дозволяє оцінити мінливість і стабільність функціонування біологічної системи. Для спрощення аналізу експериментальні дані часто групують у варіаційні ряди, визначаючи частоту повторюваності окремих значень. Такий підхід дає змогу перейти від хаотичного набору чисел до впорядкованої структури, зручної для подальшого аналізу.

Важливим етапом дослідження біосистем є визначення ступеня її складності та організації. Мірою складності біологічної системи служить логарифм числа класів упорядкованого статистичного ряду, який характеризує максимально можливу невизначеність системи. Поточну невизначеність визначають з урахуванням відносних частот повторюваності значень досліджуваного показника. На основі цих величин розраховують відносну організацію біосистеми, яка відображає ступінь її впорядкованості та детермінованості.

Залежно від отриманих значень показників складності та організації біосистеми ґрунти можуть бути віднесені до простих, складних або дуже складних систем, а також до детермінованих, квазидетермінованих або вірогіднісних за характером функціонування. Така класифікація має не лише теоретичне, а й практичне значення, оскільки дозволяє обґрунтувати вибір математичного апарату для опису та прогнозування поведінки ґрунтової системи.

Для детермінованих систем найбільш доцільним є використання алгебраїчних, регресійних і диференціальних моделей, які дозволяють описати динаміку процесів у ґрунті. Для вірогіднісних систем ефективними є методи теорії ймовірностей і теорії інформації, що дають змогу оцінити ступінь невизначеності та адаптивні можливості біосистеми. У складних випадках застосовують елементи теорії управління, які дозволяють розглядати ґрунт і агрокосистему загалом як об'єкт керування.

Таким чином, агрохімічний аналіз ґрунту в поєднанні з методами математичного моделювання дозволяє розглядати ґрунт не лише як носій поживних елементів, а як складну, динамічну біологічну систему. Такий підхід забезпечує більш глибоке розуміння процесів, що відбуваються в ґрунті, створює наукову основу для прогнозування змін родючості та обґрунтування раціональних систем землеробства, спрямованих на збереження і відтворення ґрунтових ресурсів.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке система удобрення і яке її значення для землеробства?
2. Які принципи покладені в основу науково обґрунтованої системи удобрення?
3. Які показники використовують для агрохімічної оцінки родючості ґрунтів?
4. Що таке бонітування ґрунтів і яке його практичне значення?

5. Як визначають забезпеченість ґрунтів елементами живлення?
6. Яке значення має баланс поживних речовин у ґрунті?
7. Як результати агрохімічного обстеження ґрунтів використовують у практиці?
8. Яка роль органічних і мінеральних добрив у підвищенні родючості ґрунтів?
9. Як система удобрення впливає на екологічний стан агроєкосистем?
10. Чому агрохімічна оцінка ґрунтів є основою планування врожаю?

Лекція 5. Агрохімічний аналіз рослин та добрив

ПЛАН

1. Агрохімічний аналіз як основа контролю мінерального живлення рослин.
2. Агрохімічний аналіз рослин: завдання, показники та інтерпретація результатів.
3. Агрохімічний аналіз добрив і коефіцієнти використання елементів живлення.
4. Використання результатів агрохімічного аналізу для оптимізації удобрення і програмування врожаю.

Агрохімічний аналіз є одним із фундаментальних методів агрохімії, що забезпечує наукове обґрунтування системи мінерального живлення сільськогосподарських культур. Його значення особливо зростає в умовах інтенсивного землеробства, коли рівень урожайності та якість продукції визначаються не лише потенційною родючістю ґрунтів, а й ефективністю використання внесених добрив.

У системі «ґрунт — рослина — добриво» агрохімічний аналіз виконує функцію зворотного зв'язку, оскільки дозволяє оцінити фактичний стан мінерального живлення рослин і ступінь реалізації агрохімічних заходів. На відміну від ґрунтового аналізу, який характеризує потенційні можливості ґрунту щодо забезпечення рослин елементами живлення, аналіз рослин відображає реальний рівень засвоєння поживних речовин у конкретний період вегетації.

Важливою особливістю агрохімічного аналізу є його динамічний характер. Уміст елементів живлення в рослинах змінюється залежно від фази розвитку, погодних умов, водного режиму ґрунту, форм і строків внесення добрив. Тому агрохімічний аналіз дозволяє не лише фіксувати стан живлення, а й прогнозувати можливі порушення та своєчасно вносити корективи в систему удобрення.

В умовах зростання цін на мінеральні добрива агрохімічний аналіз набуває також економічного значення, оскільки дає змогу підвищити коефіцієнти використання елементів живлення, зменшити втрати поживних речовин і забезпечити максимальну окупність витрат на хімізацію землеробства.

Таким чином, агрохімічний аналіз є базовим інструментом управління мінеральним живленням рослин, що поєднує наукові знання, практичні рекомендації та екологічні вимоги сучасного агровиробництва.

Агрохімічний аналіз рослин спрямований на визначення вмісту макро- і мікроелементів у рослинній масі з метою оцінки рівня їх забезпеченості поживними речовинами. Основним завданням цього аналізу є діагностика мінерального живлення, тобто встановлення відповідності фактичного вмісту елементів живлення фізіологічним потребам рослин.

Для проведення аналізу надзвичайно важливим є правильний відбір зразків. Зразки рослин повинні бути типовими для даного поля або ділянки, відібраними у строго визначені фази розвитку, коли вміст елементів живлення найбільш інформативно відображає стан живлення. Найчастіше аналізують листки, оскільки вони є основним органом фотосинтезу і найбільш чутливо реагують на зміну умов живлення.

У процесі аналізу визначають уміст азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, сірки, а також мікроелементів — заліза, марганцю, міді, цинку, бору, молібдену та інших. Отримані результати виражають у відсотках або міліграмах на кілограм сухої речовини.

Інтерпретація результатів агрохімічного аналізу рослин ґрунтується на порівнянні отриманих даних з оптимальними або критичними рівнями вмісту елементів живлення. Критичний рівень — це мінімальна концентрація елемента, за якої ще не спостерігається зниження врожайності. Оптимальний рівень відповідає максимальній продуктивності культури.

Важливо підкреслити, що дефіцит елементів живлення може бути як абсолютним, так і відносним. Абсолютний дефіцит пов'язаний з низьким умістом елемента у ґрунті, тоді як відносний дефіцит виникає внаслідок порушення співвідношення між елементами або несприятливих ґрунтових умов, що обмежують їх засвоєння.

Особливу увагу при діагностиці живлення приділяють співвідношенням між елементами, зокрема азоту і калію, кальцію і магнію, фосфору і цинку. Порушення балансу між ними може призводити до фізіологічних розладів навіть за достатнього загального вмісту поживних речовин.

Таким чином, агрохімічний аналіз рослин є важливим діагностичним методом, що дозволяє своєчасно виявляти порушення мінерального живлення і обґрунтовувати заходи щодо їх усунення.

Агрохімічний аналіз добрив має на меті визначення їх хімічного складу, вмісту поживних речовин і доступності елементів живлення для рослин. Він є необхідним для контролю якості добрив, правильного розрахунку норм внесення і оцінки їх агрономічної ефективності.

Особливе значення в агрохімії має поняття коефіцієнта використання елементів живлення з добрив. Цей показник характеризує частку поживної речовини, засвоєної рослинами, від загальної кількості елемента, внесеного з добривами. Коефіцієнти використання залежать від багатьох факторів, серед яких форма добрива, спосіб і строки його внесення, властивості ґрунту та біологічні особливості культури.

Для визначення коефіцієнтів використання застосовують різницевий та ізотопний методи. Різницевий метод базується на порівнянні вмісту елемента у

врожаї за внесення добрив і без них, тоді як ізотопний метод дозволяє точно визначити частку елемента, засвоєного безпосередньо з добрива. Дослідження показали, що внесення добрив не лише забезпечує рослини поживними речовинами, а й активізує засвоєння елементів живлення з ґрунту.

Агрохімічний аналіз добрив у поєднанні з аналізом рослин дозволяє виявити резерви підвищення ефективності використання поживних речовин і обґрунтувати заходи щодо вдосконалення системи удобрення.

Результати агрохімічного аналізу рослин і добрив є основою для оптимізації мінерального живлення культур. На їх основі визначають норми, строки і способи внесення добрив, а також співвідношення між макро- і мікроелементами у системі живлення.

Оптимізація мінерального живлення передбачає не лише компенсацію винесення поживних речовин урожаєм, а й створення умов для максимального засвоєння елементів живлення рослинами. Агрохімічний аналіз дозволяє визначити лімітуючі фактори продуктивності та своєчасно усунути їх.

Важливим напрямом застосування агрохімічного аналізу є програмування врожаю, яке ґрунтується на прогнозуванні рівня продуктивності культур з урахуванням ґрунтово-кліматичних, агрохімічних і біологічних факторів. Аналіз рослин і добрив у цьому випадку використовується для оцінки реальних можливостей агроєкосистеми і виявлення резервів підвищення врожайності.

Крім того, агрохімічний аналіз відіграє важливу роль у збереженні родючості ґрунтів і забезпеченні екологічної безпеки землеробства, оскільки дозволяє уникати надмірного внесення добрив і зменшувати негативний вплив агрохімічних заходів на навколишнє середовище.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. У чому полягає сутність агрохімічного аналізу рослин і добрив та яке його значення для сучасного землеробства?
2. Чим відрізняється агрохімічний аналіз рослин від агрохімічного аналізу ґрунтів?
3. Які основні завдання агрохімічного аналізу рослин у системі мінерального живлення?
4. Які органи рослин найчастіше використовують для агрохімічного аналізу і чому?
5. Які макро- і мікроелементи визначають під час агрохімічного аналізу рослин?
6. Що таке оптимальні та критичні рівні вмісту елементів живлення в рослинах?
7. У чому полягає значення співвідношення елементів живлення при оцінці результатів аналізу рослин?
8. Яка роль агрохімічного аналізу добрив у контролі їх якості та ефективності застосування?
9. Що таке коефіцієнт використання елементів живлення з добрив і від яких факторів він залежить?
10. У чому полягають відмінності різницевого та ізотопного методів визначення коефіцієнтів використання добрив?

11. Як результати агрохімічного аналізу використовують для оптимізації системи удобрення?

Лекція 6. Мікроелементи та методи визначення їх у ґрунтах, рослинах, кормах та добривах

ПЛАН

1. Поняття про мікроелементи та їх роль у системі мінерального живлення рослин
2. Біологічне, агрохімічне та екологічне значення основних мікроелементів
3. Вміст, міграція та доступність мікроелементів у ґрунтах, рослинах і кормах
4. Методи визначення мікроелементів у ґрунтах, рослинах, кормах та добривах.

Мікроелементи є невід'ємною складовою системи мінерального живлення рослин і належать до групи хімічних елементів, які необхідні живим організмам у надзвичайно малих кількостях, але відіграють ключову роль у забезпеченні нормального перебігу фізіологічних і біохімічних процесів. Незважаючи на низькі концентрації, мікроелементи мають виняткове значення для росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур.

У системі мінерального живлення рослин мікроелементи займають особливе місце, оскільки їх функції не пов'язані зі створенням маси рослинної речовини безпосередньо, як це характерно для макроелементів, а полягають у регулюванні найтонших процесів обміну речовин. Саме тому дефіцит мікроелементів часто не проявляється відразу у вигляді різкого зменшення біомаси, але призводить до порушення внутрішніх фізіологічних процесів, зниження інтенсивності фотосинтезу, дихання, синтезу органічних сполук і, зрештою, до втрати врожаю.

Потреба рослин у мікроелементах визначається їх біологічною природою і генетично зумовленими особливостями. Разом з тим, реалізація цієї потреби залежить від умов ґрунтового середовища, забезпеченості ґрунту рухомими формами мікроелементів, реакції ґрунтового розчину, вмісту гумусу та інших факторів. Таким чином, навіть за наявності значних загальних запасів мікроелементів у ґрунті рослини можуть відчувати їх нестачу.

Особливістю мікроелементів є дуже вузький інтервал між дефіцитною, оптимальною і токсичною концентраціями. Це зумовлює необхідність точного контролю їх вмісту в ґрунтах, рослинах, кормах і добривах. Неправильне застосування мікродобрив або порушення балансу мікроелементів може мати не лише агрономічні, а й екологічні наслідки.

Таким чином, мікроелементи є важливою ланкою у системі мінерального живлення рослин, а їх вивчення та контроль є обов'язковою умовою сучасного науково обґрунтованого землеробства.

Біологічне значення мікроелементів полягає в їх участі у найважливіших життєвих процесах рослин. Переважна більшість мікроелементів входить до складу ферментів або активує їх, забезпечуючи перебіг складних біохімічних реакцій. Без

участі мікроелементів неможливі процеси фотосинтезу, дихання, синтезу білків, нуклеїнових кислот, вітамінів та фітогормонів.

Бор відіграє ключову роль у процесах росту меристемних тканин, поділу клітин, формування генеративних органів і транспорту вуглеводів. Його нестача особливо небезпечна для коренеплодів, бобових і технічних культур. Марганець є важливим компонентом фотосинтетичного апарату і бере участь у реакціях окиснення та відновлення.

Мідь необхідна для нормального перебігу дихання, синтезу лігніну та формування стійкості рослин до хвороб. Цинк регулює синтез ростових речовин, впливає на поділ клітин і формування генеративних органів. Молібден має виняткове значення в азотному обміні, зокрема у процесах фіксації атмосферного азоту і відновлення нітратів.

Залізо є незамінним елементом у процесі синтезу хлорофілу та функціонуванні ферментів дихального ланцюга. Кобальт відіграє важливу роль у симбіотичній азотфіксації та має велике значення у кормовиробництві, оскільки впливає на обмін речовин у тварин.

З агрохімічної точки зору мікроелементи тісно пов'язані з ефективністю використання макроелементів. За нестачі хоча б одного мікроелемента ефективність азоту, фосфору і калію різко знижується. Це явище часто пояснюють законом мінімуму, згідно з яким продуктивність рослин обмежується тим фактором, який перебуває у найменшій кількості.

Екологічне значення мікроелементів полягає в тому, що вони можуть бути як необхідними, так і потенційно небезпечними. Надлишкове накопичення окремих мікроелементів у ґрунтах і рослинах може призводити до токсичних ефектів і порушення екологічної рівноваги агроєкосистем.

У ґрунтах мікроелементи перебувають у різних формах, серед яких розрізняють валові, потенційно доступні та рухомі форми. Основна частина мікроелементів входить до складу первинних і вторинних мінералів, а також органічної речовини ґрунту. Ці форми є малодоступними для рослин і беруть участь у живленні лише в процесі тривалого ґрунтоутворення.

Рухомі форми мікроелементів перебувають у ґрунтовому розчині або адсорбовані ґрунтовими колоїдами. Саме вони визначають безпосередню доступність мікроелементів для кореневої системи рослин. Їх кількість залежить від реакції ґрунтового середовища, вмісту гумусу, вологості, температури та аерації ґрунту.

У кислих ґрунтах підвищується рухомість марганцю, міді та цинку, тоді як у лужних і карбонатних ґрунтах часто спостерігається дефіцит бору, заліза і цинку. У ґрунтах з високим вмістом органічної речовини мікроелементи можуть утворювати стійкі комплекси, що знижує їх доступність для рослин.

У рослинах вміст мікроелементів значно варіює залежно від виду культури, органу рослини, фази розвитку та умов живлення. Найбільш інформативними для діагностики живлення є листки, оскільки вони швидко реагують на зміну забезпеченості мікроелементами.

У кормах концентрація мікроелементів має особливе значення для тваринництва. Нестача або надлишок мікроелементів у кормах може призводити до порушень обміну речовин, зниження продуктивності та виникнення специфічних захворювань тварин.

Методи визначення мікроелементів є важливою складовою агрохімічного аналізу і поділяються на хімічні, фізико-хімічні та інструментальні. Їх вибір залежить від об'єкта дослідження, необхідної точності та чутливості.

У ґрунтах визначення мікроелементів зазвичай проводять після екстракції їх рухомих форм спеціальними витяжками. Для цього використовують слабкі кислоти, сольові розчини або комплексоутворювачі, які імітують умови ґрунтового розчину. Отримані витяжки аналізують фотометричними або спектрофотометричними методами.

У рослинах і кормах аналіз мікроелементів проводять після руйнування органічної речовини шляхом мінералізації. Після цього визначають вміст елементів методами атомно-абсорбційної спектроскопії, спектрального аналізу або іншими високочутливими методами.

У добривах мікроелементи визначають для контролю якості, відповідності нормативам і оцінки ефективності їх застосування. Особливу увагу приділяють формі сполук мікроелементів, оскільки від цього залежить їх доступність для рослин і безпечність використання.

Таким чином, сучасні методи визначення мікроелементів забезпечують можливість комплексного контролю мінерального живлення, своєчасного виявлення дефіциту або надлишку і науково обґрунтованого застосування мікродобрив.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Дайте визначення поняття «мікроелементи» та поясніть їх роль у мінеральному живленні рослин.
2. Чому мікроелементи, незважаючи на малу потребу в них, є життєво необхідними для рослин?
3. Назвіть основні мікроелементи та охарактеризуйте їх біологічні функції у рослинному організмі.
4. У чому полягає агрохімічне та екологічне значення мікроелементів?
5. Які фактори ґрунтового середовища впливають на рухомість і доступність мікроелементів?
6. У яких формах перебувають мікроелементи в ґрунтах і які з них є доступними для рослин?
7. Як реакція ґрунтового середовища впливає на доступність різних мікроелементів?
8. Чому вміст мікроелементів у кормах має важливе значення для тваринництва?
9. Які основні методи застосовують для визначення мікроелементів у ґрунтах?
10. У чому полягають особливості визначення мікроелементів у рослинах і кормах?

11. Яке значення має агрохімічний аналіз мікроелементів у добривах?
12. Чому необхідно контролювати не лише дефіцит, а й надлишок мікроелементів

Лекція 7. Діагностика живлення рослин

ПЛАН

1. Поняття про діагностику живлення рослин та її значення в агрохімії
2. Види діагностики живлення рослин і їх науково-методичні основи
3. Ознаки дефіциту та надлишку елементів живлення у рослин
4. Використання результатів діагностики живлення для регулювання удобрення і підвищення врожайності.

Діагностика живлення рослин є важливою складовою сучасної агрохімії та системи науково обґрунтованого землеробства. Під діагностикою живлення рослин розуміють сукупність методів і прийомів, спрямованих на визначення забезпеченості рослин елементами мінерального живлення, виявлення дефіциту або надлишку поживних речовин, а також оцінку ефективності застосування добрив.

На відміну від ґрунтової діагностики, яка характеризує потенційні можливості ґрунту щодо забезпечення рослин поживними речовинами, діагностика живлення рослин відображає фактичний стан мінерального живлення в конкретний період вегетації. Вона дозволяє оцінити, наскільки повно рослини реалізують доступні ресурси ґрунту і добрив, а також своєчасно виявити порушення живлення, які можуть негативно вплинути на ріст, розвиток і формування врожаю.

Значення діагностики живлення особливо зростає в умовах інтенсивного землеробства, коли високі врожаї формуються за рахунок значних доз мінеральних добрив. За таких умов навіть незначні дисбаланси у співвідношенні елементів живлення можуть призводити до істотного зниження ефективності удобрення. Діагностика живлення дозволяє уникнути необґрунтованого внесення добрив, зменшити витрати на хімізацію та підвищити коефіцієнти використання поживних речовин.

Крім агрономічного значення, діагностика живлення рослин має важливий екологічний аспект. Надлишкове внесення добрив може призводити до забруднення ґрунтів, водних об'єктів і накопичення нітратів та інших небажаних сполук у рослинній продукції. Своєчасна і точна діагностика живлення є одним із ключових елементів екологічно безпечного землеробства.

Таким чином, діагностика живлення рослин є науковою основою управління мінеральним живленням, що поєднує агрохімічні, фізіологічні та екологічні підходи.

У практиці агрохімії використовують кілька основних видів діагностики живлення рослин, кожен з яких має свої особливості, переваги та обмеження. Найбільш поширеними є візуальна, хімічна (лабораторна), фізіологічна та експрес-діагностика.

Візуальна діагностика ґрунтується на спостереженні за зовнішнім виглядом рослин і виявленні характерних симптомів порушення живлення. Зміна забарвлення листків, їх форма, наявність плям, некрозів, затримка росту або деформація органів можуть свідчити про дефіцит або надлишок певних елементів живлення. Перевагою візуальної діагностики є її простота і доступність, однак вона має суттєвий недолік — симптоми часто проявляються вже тоді, коли врожайність значною мірою втрачена.

Хімічна діагностика живлення передбачає визначення вмісту елементів живлення в рослинних тканинах шляхом лабораторного аналізу. Для цього відбирають зразки рослин або їх окремих органів у строго визначені фази розвитку. Отримані результати порівнюють з оптимальними або критичними рівнями вмісту поживних речовин. Цей вид діагностики є більш точним і надійним, ніж візуальний, але потребує спеціального обладнання і часу.

Фізіологічна діагностика ґрунтується на вивченні фізіологічних показників рослин, таких як інтенсивність фотосинтезу, дихання, активність ферментів, водний режим та інші параметри, які опосередковано відображають стан мінерального живлення. Цей підхід дозволяє виявити приховані форми дефіциту, коли зовнішні симптоми ще не проявилися.

Експрес-діагностика є сучасним напрямом, що поєднує елементи хімічного та фізіологічного аналізу і дозволяє швидко оцінити стан живлення рослин безпосередньо в польових умовах. До неї належать, зокрема, методи визначення вмісту нітратів у соку рослин, використання портативних приладів і тест-систем.

Таким чином, різні види діагностики живлення доповнюють один одного і повинні використовуватися комплексно.

Одним із важливих аспектів діагностики живлення є знання характерних ознак дефіциту та надлишку окремих елементів живлення. Ці ознаки зумовлені порушенням фізіологічних процесів у рослинному організмі і проявляються у зміні зовнішнього вигляду рослин.

Дефіцит азоту, як правило, проявляється у вигляді загального пригнічення росту, блідого або світло-зеленого забарвлення листків, передчасного старіння нижніх листків. Надлишок азоту, навпаки, спричиняє надмірний вегетативний ріст, затримку досягання і зниження стійкості рослин до хвороб.

Нестача фосфору часто супроводжується затримкою росту, темно-зеленим або фіолетовим забарвленням листків, поганим розвитком кореневої системи. Дефіцит калію проявляється у вигляді крайового підсушування і некрозів листків, зниження стійкості рослин до посухи і хвороб.

Серед мікроелементів найчастіше спостерігається дефіцит бору, цинку, марганцю і заліза. Наприклад, нестача заліза викликає хлороз молодих листків, тоді як дефіцит бору призводить до відмирання точок росту і деформації генеративних органів.

Надлишок елементів живлення також може мати негативні наслідки. Токсичні концентрації мікроелементів проявляються у вигляді плямистостей, некрозів, пригнічення росту і навіть загибелі рослин. Саме тому діагностика

живлення повинна враховувати не лише нестачу, а й можливий надлишок поживних речовин.

Результати діагностики живлення рослин є науковою основою для регулювання системи удобрення. На їх основі розробляють рекомендації щодо корекції норм, строків і способів внесення добрив з урахуванням фактичних потреб рослин.

Особливе значення діагностика живлення має для оперативного управління живленням у період вегетації. У разі виявлення дефіциту певних елементів можливе проведення позакоренових підживлень, які дозволяють швидко усунути порушення живлення і мінімізувати втрати врожаю.

Діагностика живлення також використовується при програмуванні врожаю, коли на основі аналізу стану рослин оцінюють реальні можливості агроecosистеми і коригують технологічні заходи. У поєднанні з ґрунтовою діагностикою вона дозволяє виявити лімітуючі фактори продуктивності і максимально ефективно використовувати ресурси ґрунту і добрив.

Важливим є і довгострокове значення діагностики живлення. Систематичне накопичення даних про стан мінерального живлення рослин дозволяє вдосконалювати систему удобрення, підвищувати родючість ґрунтів і забезпечувати стабільні врожаї в умовах змін клімату та інтенсифікації землеробства.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. У чому полягає сутність агрохімічного аналізу рослин і добрив та яке його значення для сучасного землеробства?
2. Чим відрізняється агрохімічний аналіз рослин від агрохімічного аналізу ґрунтів?
3. Які основні завдання агрохімічного аналізу рослин у системі мінерального живлення?
4. Які органи рослин найчастіше використовують для агрохімічного аналізу і чому?
5. Які макро- і мікроелементи визначають під час агрохімічного аналізу рослин?
6. Що таке оптимальні та критичні рівні вмісту елементів живлення в рослинах?
7. У чому полягає значення співвідношення елементів живлення при оцінці результатів аналізу рослин?
8. Яка роль агрохімічного аналізу добрив у контролі їх якості та ефективності застосування?
9. Що таке коефіцієнт використання елементів живлення з добрив і від яких факторів він залежить?
10. У чому полягають відмінності різницевого та ізотопного методів визначення коефіцієнтів використання добрив?
11. Як результати агрохімічного аналізу використовують для оптимізації системи удобрення?

Питання для підсумкового контролю знань

1. Предмет, завдання та значення агрохімічних методів аналізу в рослинництві.
2. Роль агрохімічних досліджень у сучасному землеробстві.
3. Значення засобів хімізації у підвищенні продуктивності сільськогосподарських культур.
4. Польовий дослід як основний метод агрохімічних досліджень.
5. Основні види польових дослідів.
6. Вимоги до закладання польового дослідів.
7. Поняття про варіант, повторність та контроль у польовому досліді.
8. Методика складання схеми польового дослідів.
9. Переваги та недоліки польового методу досліджень.
10. Сутність вегетаційного методу досліджень.
11. Основні види вегетаційних дослідів.
12. Особливості проведення дослідів у ґрунтовій, піщаній та водній культурах.
13. Лізиметричний метод досліджень та його значення.
14. Будова та принцип роботи лізиметра.
15. Використання лізиметричних досліджень для оцінки міграції поживних речовин.
16. Порівняльна характеристика польового, вегетаційного та лізиметричного методів.
17. Основні принципи прогнозування врожаю.
18. Фактори, що впливають на формування врожаю.
19. Значення математичних методів в агрохімічних дослідженнях.
20. Поняття про статистичну обробку експериментальних даних.
21. Варіаційний ряд та його значення.
22. Середня арифметична величина та її використання.
23. Показники мінливості результатів досліджень.
24. Дисперсія та середньоквадратичне відхилення.
25. Коефіцієнт варіації та його практичне значення.
26. Поняття про достовірність результатів досліджень.
27. Статистичні методи оцінювання вірогідності відмінностей.
28. Кореляційний аналіз в агрохімічних дослідженнях.
29. Регресійний аналіз та його використання.
30. Агрохімічний аналіз ґрунту та його значення.
31. Основні показники агрохімічної оцінки ґрунтів.
32. Родючість ґрунту та фактори, що її визначають.
33. Ґрунт як біологічна система.
34. Вплив властивостей ґрунту на доступність елементів живлення.
35. Роль гумусу у формуванні родючості ґрунту.
36. Значення реакції ґрунтового середовища (рН).
37. Математичне моделювання в агрохімії.
38. Нелінійні моделі та їх застосування в агрохімічних дослідженнях.

39. Агрохімічний аналіз рослин: мета та завдання.
40. Правила відбору рослинних зразків для аналізу.
41. Діагностика мінерального живлення рослин.
42. Оптимальні та критичні рівні вмісту елементів живлення.
43. Макроелементи та їх роль у житті рослин.
44. Мікроелементи та їх фізіологічне значення.
45. Агрохімічний аналіз добрив та контроль їх якості.
46. Коефіцієнт використання поживних речовин з добрив.
47. Різницевий та ізотопний методи визначення використання добрив.
48. Оптимізація системи удобрення на основі результатів аналізів.
49. Поняття про програмування врожаю.
50. Бор та його значення у живленні рослин.
51. Роль міді, цинку та марганцю у фізіологічних процесах рослин.
52. Значення молібдену та кобальту для рослин і тварин.
53. Форми перебування мікроелементів у ґрунті.
54. Фактори, що впливають на доступність мікроелементів.
55. Методи визначення мікроелементів у ґрунтах.
56. Методи визначення мікроелементів у рослинах.
57. Методи визначення мікроелементів у кормах.
58. Методи визначення мікроелементів у добривах.
59. Атомно-абсорбційна спектроскопія та її застосування.
60. Екологічне значення контролю вмісту мікроелементів у агроєкосистемах.

Рекомендована література

1. Господаренко Г. М. Система застосування добрив : підручник. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.
2. ДСТУ ISO 10390:2022. Якість ґрунту. Визначення рН. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 18 с.
3. ДСТУ ISO 11464:2022. Якість ґрунту. Попередня підготовка проб для фізико-хімічних аналізів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 14 с.
4. Методичні рекомендації з проведення агрохімічного обстеження ґрунтів сільськогосподарського призначення. Київ : ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», 2024. 98 с.
5. Havlin J., Tisdale S., Nelson W., Beaton J. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 9th ed. Boston : Pearson, 2023. 528 p.
6. Marschner P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 4th ed. London : Academic Press, 2023. 716 p.
7. Brady N. C., Weil R. R. The Nature and Properties of Soils. 16th ed. Harlow : Pearson Education, 2022. 1104 p.
8. Lal R. Soil Health and Climate Change. Boca Raton : CRC Press, 2024. 402 p.
9. Singh B., Cowie A., Chan K. Soil Organic Matter and Sustainable Agriculture. Cham : Springer, 2025. 367 p.
10. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Никітіна О. В. Агрохімія калію : монографія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 264 с.
11. Господаренко Г. М., Лисянський О. Л., Любич В. В., Полянецька І. О. Сидеральна система удобрення пшениці м'якої озимої : монографія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 216 с.
12. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бомко С. М. Формування врожаю сої залежно від складових агротехнології : монографія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 184 с.

Інтернет-ресурси

1. Інститут охорони ґрунтів України — <https://www.iogu.gov.ua>
2. Національна наукова сільськогосподарська бібліотека НААН України - <https://dnsgb.com.ua>
3. Міністерство аграрної політики та продовольства –України - <https://minagro.gov.ua>
4. FAO — <https://www.fao.org>
5. ДП «УкрНДНЦ» — <https://uas.org.ua>
6. Springer Nature (Agriculture and Soil Science) — <https://link.springer.com/subject/agriculture-and-soil-science>
7. ScienceDirect (Agricultural and Biological Sciences) — <https://www.sciencedirect.com/browse/journals-and-books/agricultural-and-biological-sciences>

Навчальне видання

АГРОХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ В РОСЛИННИЦТВІ

Методичні рекомендації

Укладачі:

Михайло Іванович ФЕДОРЧУК

Анна Миколаївна КРУГЛЕНКО

Формат 60x84/16 Ум.друк.арк 3,1
Тираж 20. Зам №

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

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