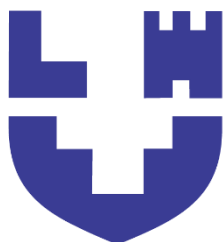


**Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет**



***СУЧАСНІ ПІДХОДИ УПРАВЛІННЯМ
ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН***

**ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Агрономія»
галузі знань 20 «Аграрні науки і продовольство»
за спеціальністю 201 Агрономія
денної та заочної форм навчання**

Луцьк 2023

УДК 631.81:635.631.1
А 18

До друку:

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій
Луцького НТУ
Директор бібліотеки _____ С.С. Бакуменко

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою факультету аграрних
технологій та екології ЛНТУ, протокол № ____ від « » _____ 2023 року.

Голова вченої ради факультету аграрних технологій та екології
_____ Кірчук Р. В.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри агрономії ЛНТУ,
протокол № ____ від « » _____ 2023 року.

Завідувач кафедри агрономії _____ доцент Зінчук М.І.

Укладач: _____ М. Б. Августинович, к. с/г. н., доцент кафедри агрономії ЛНТУ

Рецензент: _____ С. П. Бондарчук, кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри екології ЛНТУ

Відповідальний за випуск: _____ Зінчук М.І., кандидат сільськогосподарських
наук, доцент, завідувач кафедри агрономії ЛНТУ

Сучасні підходи управлінням живлення рослин: опорний конспект лекцій
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми
А 18 «Агрономія» галузі знань 20 Аграрні науки і продовольство, спеціальності
201 Агрономія денної та заочної форм навчання / уклад., М. Б. Августинович.
– Луцьк, Луцький НТУ, 2023,- 48 с.

У методичних вказівках представлені основні теми для розгляду та вивчення
дисципліни здобувачами денної та заочної форм навчання. Призначене для
здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми
«Агрономія» галузі знань 20 Аграрні науки і продовольство, спеціальності 201
Агрономія

© М.Б. Августинович, 2023

ЗМІСТ

ТЕМА 1. Діагностика живлення рослин і визначення потреби в добривах.....	5
ТЕМА 2. Дефіцит Азоту в рослинах: виявлення та усунення симптомів.....	22
ТЕМА 3. Дефіцит Калію в рослинах: виявлення та усунення симптомів.....	28
ТЕМА 4. Фосфор (ознаки нестачі та шляхи його регулювання).....	28
ТЕМА 5. Цинк Шкода чи користь? Цинк у живленні зернових.....	32
ТЕМА 6. Позакореневе живлення: за чи проти.....	36
ТЕМА 7. Синергізм та антагонізм елементів живлення.....	40
ТЕМА 8. Листкова діагностика польових культур на вміст.....	43

ТЕМА 1. Діагностика живлення рослин і визначення потреби в добривах

Методи діагностики живлення рослин.

Свого часу К. А. Тимірязєв писав: "Усі завдання агрономії, якщо вникнути в їхню сутність, зводяться до визначення і, по можливості, своєчасного забезпечення правильного живлення рослин". Тому одним із найдоступніших чинників регулювання росту й розвитку рослин є зміна їх мінерального живлення. Це можливо лише за належної діагностики живлення рослин, тобто завчасного виявлення нестачі чи надлишку елементів живлення.

За постійного сільськогосподарського використання ґрунтів без достатнього внесення добрив вони виснажуються і створюється дефіцит елементів живлення. Щоб мати високу продуктивність культур, потрібно враховувати запаси рухомих сполук елементів живлення в ґрунті, а їх дефіцит компенсувати потрібною нормою добрив.

Основою для планування системи удобрення є аналіз вмісту в ґрунті доступних для рослин елементів живлення. Дані аналізів ґрунту під час вегетації мають серйозні обмеження для планування удобрення культури: вони вказують лише на можливу доступність елементів живлення з ґрунту, але не дають відповіді, як і в якій кількості вони використовуватимуться певними видами рослин.

Ефективність добрив залежить від потреби рослин в елементах живлення і здатності ґрунту задовольняти цю потребу на різних стадіях їх розвитку. Цей взаємозв'язок Д. М. Прянишников зобразив у вигляді відомого трикутника ґрунт–рослина – добриво. Щоб визначити нормальність розвитку рослин і формування ними врожаю, широко застосовують методи рослинної діагностики. За допомогою цих методів установлюють закономірності надходження елементів живлення із зовнішнього середовища та їх використання разом із продуктами фотосинтезу в процесі відтоку речовин і формування врожаю.

План застосування добрив у господарстві розробляють на основі типових для даного регіону погодних умов. Однак погода часто буває нетиповою. Оскільки засвоєння елементів живлення, як відомо, тісно пов'язане з температурою, вологістю та іншими умовами зовнішнього природного середовища, то живлення рослин потрібно контролювати упродовж вегетації, відстежуючи ситуацію щодо кожного елемента: як нестачу, так і надлишковий вміст. Найчастіше це здійснюють лабораторними методами (систематичне відбирання зразків і проведення їх аналізу в лабораторії), польовими (визначення дефіциту живлення в полі візуальним оглядом рослин або за допомогою портативних приладів) та дистанційними (контроль розвитку рослин і визначення їх реакції на підживлення за допомогою сенсорів на полі або супутникових систем).

Методів рослинної діагностики є багато, зокрема: біометрична й морфологічна діагностика, фенологічні спостереження; візуальна діагностика; метод рослин- індикаторів; листкова (тканинна) діагностика; хімічна діагностика; метод ін'єкцій та обприскування; дистанційне зондування.

Аналіз рослин включає як швидку польову діагностику тканин, так і лабораторні дослідження складу елементів у рослинних зразках. В обох випадках вважають, що концентрація елементів у тканин рослин пропорційна їх доступності в ґрунті і є показником його родючості. Візуальною діагностикою та дистанційним зондуванням нині неможливо визначати кількість елементів живлення в рослинах, так як вони ґрунтуються на залежності між кольором або показником росту рослин та родючістю ґрунту.

Полеві методи – це насамперед візуальний огляд рослин, а в деяких випадках ще й використання приладів, які полегшують і пришвидшують цей процес. За допомогою **біометричної та морфологічної діагностики і фенологічних спостережень** реєструють зміни росту рослин, пов'язані з утворенням тих або інших органів – листків, стебел, квіток, плодів.

Припинення росту і розвитку (безсумнівно) – основна причина великих втрат урожаю. Порушення росту й розвитку культури спостерігається по зовнішньому вигляду рослини загалом і по площі листка. У разі виявлення вад розвитку листків важливо звернути увагу на такі чинники: де чіткіші ознаки порушення розвитку – на молодих чи на старих листках; чи ознаки мають вигляд хлорозу (пожовкнення) і де він виявився – у прожилок листків, по краях чи рівномірно по поверхні у вигляді некрозу тканин та яка закономірність розподілу хлорозних плям, чи у вигляді таких деформацій листка, як чашоподібність, скрученість, ущільненість. Інші ознаки, на які потрібно звертати увагу: тріщини і ламкість, порожнистість, коричневі вологі плями на стеблах і коренях, нетиповість квіток і плодів, особливості розвитку рослин – нехарактерна піднятність або вкорочення міжвузлів, плямистість.

Простим і поширеним є метод **візуальної діагностики**. Він ґрунтується на виявленні зміни зовнішнього вигляду рослини або окремого її органа за нестачі або токсичного надлишку того чи іншого елемента живлення, що виявляється у зміні забарвлення та форми листків, появи на них плям, смуг, порушенні нормального розвитку органів тощо. Ознаки дефіциту залежать і від ступеня рухливості елемента в рослині. Якщо він здатний перемішуватися зі старіючих у молоді частини рослини (реутилізуватися), то ознаки дефіциту спочатку з'являються на старих тканинах. Подібне спостерігається у разі дефіциту азоту, фосфору, калію, магнію. Є також елементи живлення, які в рослині утворюють міцні хімічні зв'язки і повторно не використовуються (кальцій, сірка, всі мікроелементи). Тому їх нестача насамперед помітна на молодих тканинах. Дуже часто ці прояви досить специфічні. Наприклад, нестача фосфору на кукурудзі легко діагностується за синьо-фіолетовим забарвленням листків. Дефіцит заліза на плодкових культурах і винограді спричинює дуже характерне міжжилкове пожовкнення листків (залізний хлороз), нестача кальцію на помідорові й перці призводить до появи верхівкової гнилі. Таких типових ознак є дуже багато для кожного елемента на всіх рослинах.

Для основних сільськогосподарських культур складено кольорові атласи-визначники, довідники і навіть електронні програми ознак дефіциту елементів живлення, за допомогою яких визначення можна провести швидко і без помилок. Проте слід пам'ятати, що візуальна діагностика буває досить складною, оскільки зовнішні зміни рослин можуть зумовлюватись дефіцитом не одного, а кількох елементів живлення, іноді їх можна сплутати з ознаками інфекційних захворювань або фізіологічних порушень. Основним недоліком цього методу є те, що він дає запізнілі дані. Якщо з'являються зовнішні ознаки мінерального голодування, то в рослині вже можуть відбутися незворотні зміни обміну речовин, які спричиняють зниження продуктивності, а іноді й загибель рослин. Тому таке визначення варто розцінювати не як основну практику керування мінеральним живленням рослин, а як засіб додаткового контролю, сигнал для швидкого реагування на раптово виявлену проблему.

Прилад для швидкого і точного визначення вмісту елементів живлення в рослинах безпосередньо в полі – давня мрія агрономів. Нині це вже стало реальністю для азоту. Такий прилад має назву N-тестер.

Між вмістом азоту і хлорофілу в листках існує тісна кореляційна залежність. Інтенсивність зеленого забарвлення листків залежить від вмісту хлорофілу, отже, вказує на забезпеченість рослин азотом. На цій основі розроблено портативні N-тестери. Фактично вимірюється не вміст азоту, а концентрація хлорофілу в листках. Для багатьох культур встановлено певну кореляцію між цими показниками, тому саме для них розроблено таблиці інтерпретації отриманих даних, які дають змогу визначити потребу і розрахувати потрібну кількість азотних добрив для підживлення рослин задля отримання запланованого врожаю.

Вада приладу полягає в тому, що не завжди бліде забарвлення листків пов'язане з дефіцитом азоту. Так, за дефіциту сірки й ураження деякими хворобами першими жовкнуть не нижні листки, а верхні. Інфекційний хлороз рослин спричинюють віруси (наприклад, верхівковий хлороз тютюну і махорки, хлороз малини), гриби та інші мікроорганізми. Переносниками його збудників часто є шкідники (трипси, попелиці). Неінфекційний хлороз виникає за несприятливих ґрунтових і погодних умов. Зазвичай це залізний або кальцієвий хлороз рослин, на який вони хворіють на карбонатних (лужних) ґрунтах. Трапляються також магнієвий, цинковий та інші хлорози. За різних хлорозів листки жовкнуть по-різному: з'являються плями, спочатку жовкнуть нижні або верхні листки, або лише міжжилкові ділянки. Без лабораторних досліджень точно встановити, чого саме не вистачає рослині, неможливо.

Едафічний хлороз спричинюють несприятливі умови – підвищений вміст карбонатів у ґрунті, які порушують засвоєння заліза і блокують його переміщення в рослині; надмірна вологість; надмірне засолення ґрунту; порушення оптимального вмісту в ґрунті окремих елементів живлення – міді, мангану, фосфору та ін.

Оскільки різні види і сорти рослин різняться за вмістом хлорофілу, виміряні показники потрібно уточнювати. Не можна користуватися показами приладу за нестачі сірки, магнію і за стресу від нестачі вологи (в'янення рослин, закручування листків). На результати вимірювань не впливають час дня, покриття листків засобами захисту рослин або вологою (дощ, роса). Вимірювання щонайменше 30 вимірів у різних точках поля) проводять на наймолодших, повністю розвинених листках у відповідну фазу розвитку рослин.

Метод рослин-індикаторів.

Відомо, що потреба різних видів рослин в елементах живлення неоднакова. Є види рослин, які чітко реагують на нестачу доступних форм елементів живлення в ґрунті: *азоту* – капуста білоголова, смородина чорна; *фосфору і сірки* – бруква, агрус; *калію* – картопля, порічки; *бору* – помідор, яблуна; *кальцію* – капуста цвітна, агрус; *магнію* – капуста цвітна; *мангану* – овес, буряк цукровий, малина; *натрію* – буряк цукровий. На цій основі розроблено метод рослин-індикаторів: у посіві висаджують кілька таких рослин і за особливостями їх росту й розвитку роблять висновок, чи добре ґрунт певного поля забезпечений тим або іншим елементом живлення. Так, нестачу азоту і калію на полі для зернових культур легко розпізнати за допомогою кукурудзи. Припускають, що дані про дефіцит елементів живлення, отримані із застосуванням кукурудзи, можна використовувати й стосовно інших культур сівозміни.

Лабораторні методи, безперечно, є найнадійнішими методами визначення вмісту елементів живлення в рослині, зокрема листкова діагностика. Оперативнішим є метод хімічної діагностики – *хімічний аналіз* проб рослин за фазами їх розвитку на вміст азоту і зольних елементів після озолення сумішшю кислот і пероксиду водню. Це швидкий (зазвичай триває 2–3 доби) й, безперечно, найточніший аналіз. В його основу покладено закон мінімуму: в яких елементах

живлення рослина відчуває найгостріший дефіцит, тими її насамперед необхідно підживлювати. При цьому важливо правильно відібрати зразки рослин для аналізу:

- відбір проводять у суху погоду, але до настання спеки;
- для визначення різних елементів живлення беруть різні частини рослин (наприклад, вміст фосфору визначають в усій надземній частині, сірки – тільки в молодих листках);
- потрібно відбирати частини рослин залежно від стадії розвитку культури;
- індикатором може бути не весь орган рослини, а його частина (наприклад, для визначення деяких елементів вирізають кружечок тканини в зоні центральної жилки, для інших – з периферії листка).

Хімічний склад різних видів рослин неоднаковий і залежить від кількості, форм і способів внесення добрив, доступності елементів живлення ґрунту. Вміст хімічних елементів у рослинах та окремих їх органах визначається також генетичними особливостями рослин, фізіологічним станом їх органів і тканин.

Хімічні зміни в тканинах у часі відбуваються першими, тому вони можуть бути основою експрес-діагностики. Принцип аналізу рослинних тканин (зазвичай листків, звідси термін – листкова діагностика) ґрунтується на тому, що зі збільшенням кількості доступних форм елементів живлення в ґрунті зростає їх вміст у рослинах. За низького вмісту в тканині окремого елемента ріст рослин уповільнюється, а збільшення його вмісту сприяє ліпшому росту й підвищенню врожаю. Проте ця залежність не лінійна.

За дефіциту окремого елемента навіть невелике збільшення його вмісту в тканині після внесення добрив значно поліпшує ріст і підвищує врожай, але на певному рівні наступне збільшення вмісту елемента живлення вже майже не впливає на ріст, а отже, і на врожай. Цей вміст відповідає оптимальному рівню забезпечення. Перехід від нестачі до оптимума характеризують терміном "критична концентрація" певного елемента.

Критична концентрація – це виявлена в тканині концентрація елемента, за якої відбувається нормальний розвиток рослин, але нижче від якої елемент стає дефіцитним і ріст рослин сповільнюється. Саме критичну концентрацію слід брати до уваги, плануючи внесення добрив. Подальше збільшення норми добрив майже не впливає на ріст, може призводити до надмірного поглинання елемента. А надлишок будь-якого елемента в тканині зазвичай порушує обмін речовин і знижує врожайність. Для макроелементів токсичний рівень майже не досягається, а для мікроелементів трапляється досить часто. Так, оптимальна концентрація міді в тканинах становить 4–15 мкг/г маси сухої речовини. За концентрації менше 4 мкг/г спостерігається її дефіцит, за більше 20 мкг/г – у багатьох рослин починається токсикоз. Критична концентрація різних елементів живлення не є сталою і змінюється залежно від виду рослини, її органа й особливо від фізіологічного віку.

Метод листкової (тканинної) діагностики відрізняється оперативністю у поєднанні з достатньою точністю. Експрес-аналізи рослин проводять в умовах хімічної лабораторії або в польових умовах, застосовуючи міні-лабораторії та прилади для експрес-аналізів. При цьому контролюють вміст неорганічних сполук азоту, фосфору, калію, магнію та інших елементів на свіжих зрізах рослин, у краплі соку (експрес-методи Церлінг і Магницького) або у витяжках з рослин (дистильована вода, ацетатний буферний розчин, 2%-й розчин оцтової кислоти). Методи листкової діагностики постійно вдосконалюються. До них широко вдаються фермери багатьох країн світу. Із досвіду застосування цього методу відомо, що хімічний склад соку рослин істотно змінюється залежно від віку рослин, розміщення листків на рослині та метеорологічних умов. Тому листкову

діагностику проводять для визначення потреби рослин у позакореновому підживленні, але вона є не надійною для розроблення системи удобрення.

Методи ін'єкції та обприскування – це по суті мікропольові дослідження з добривами, оскільки їх безпосередньо проводять на рослинах у полі або в саду. Об'єктом дослідження можуть бути рослини, частини рослин (наприклад, гілки) і навіть листки, решта – призначена для контролю. Повторність не менш як 10-разова.

Суть методу полягає в тому, що слабкий розчин будь-якого елемента, нестача якого передбачається, наносять на рослину, роблять ін'єкції в стовбур, стебло, гілку чи жилку листка або обприскують рослину чи її частини певним розчином. За допомогою цього методу через кілька діб можна виявити, яких саме елементів потребує рослина. Він дає змогу швидко і просто виявити потребу у важкодіагностованих мікроелементах, а також швидко (3–15 діб) встановити причини порушення живлення і тим самим встигнути виправити їх. У цьому разі використовують той факт, що добрива, які надходять через корінь, повільно дають видиме візуальне поліпшення стану розвитку рослини порівняно з елементами живлення, що були введені безпосередньо в надземну частину. Крім того, значно складніше виявити зміни на всьому масиві – полі чи саду, ніж на частинах його або на окремих дослідних рослинах.

Особливо ефективний цей метод для діагностування багаторічних рослин, а також у садах і ягідниках.

До основних елементів діагностики цим методом належать такі: 1) введення розчину елементів живлення в середину надземної частини рослини; 2) спостереження і порівняння змін в обробленій рослині з необробленими рослинами того самого насадження або посіву.

Розробляти цей метод розпочав у 1931 р. Дж. П. Бенкет (США), а завершив у 1938 р. В. А. Роуч. Нині його широко використовують для діагностування як деревних і кущових, так і польових сільськогосподарських культур.

Варіантах застосування цих методів дуже відрізняються, але всі їх можна поділити на дві групи:

- 1) ін'єкції з введенням через прокол поживного розчину в провідну систему стебла, гілки або листка;
- 2) обприскування, намащування та інші способи нанесення на листки поживного розчину, що проникає через поверхневі тканини листків. Зазвичай у надземні частини рослини вводять розчин якогось одного елемента живлення, щоб виявити нестачу або надлишок саме того елемента, який є причиною захворювання рослини. На основі отриманих даних вирішують питання потреби внесення відповідних добрив.

Концентрація елемента живлення, який вводять у рослину, невелика, бо за такого способу внесення навіть невеликий надлишок того чи іншого елемента може призвести до пригнічення росту й розвитку рослин. Застосовують такі концентрації розчинів:

FeCl ₃ – 0,25%-й розчин (за Fe);	Фосфор – 0,5%-й розчин NaH ₂ PO ₄ ;
KMnO ₄ – 0,05%-й розчин (за Mn);	Калій – 1%-й розчин KCl;
H ₃ BO ₃ – 0,02%-й розчин (за B);	CaCl ₂ – 1%-й розчин CaCl ₂ ;
Азот – 0,2%-й розчин CO(NH ₂) ₂ ;	MgSO ₄ – 0,5%-й розчин MgSO ₄ .

Фітомоніторинг – по суті діалоговий режим роботи з рослиною. Ніхто не знає потреб рослини краще, ніж вона сама. Станція фітомоніторингу – це комплект сенсорів, які встановлюють безпосередньо на органи рослин (стебло, листки, плоди). Через кожні 20 хв сенсор фіксує найменші зміни біометричних параметрів рослини: діаметра стебла, розміру плода, температури листків тощо і передає ці дані через Інтернет на комп'ютер користувача. Проаналізувавши дані, можна простежити настільки швидко й динамічно розвивається рослина, виявити реакції на будь-яке втручання в її розвиток. Для цього, наприклад, на одній експериментальній ділянці проводять підживлення, а на іншій – ні. Якщо рослина на нього реагує, то це є доказом ефективності такого заходу на всьому полі. Ця діагностична можливість – задавати рослині питання й отримувати відповідь уже на 2-3-тю добу має назву "діалоговий режим роботи з рослиною".

За допомогою таких сенсорів можна безпосередньо керувати мінеральним живленням рослин, зрошенням, визначати доцільність проведення будь-яких агротехнологічних заходів.

Дистанційне зондування.

Пристрої, які найчастіше використовують для дистанційного зондування, мають камеру та інші системи відображення, встановлені на літаках чи супутниках, а також сенсори, встановлені на сільськогосподарських машинах (тракторах, агрегатах для внесення добрив), великих стаціонарних конструкціях (іригаційні системи, стовпи ліній електропередач тощо). Сенсорні пристрої обробляють електромагнітну енергію, яку випромінює або відбиває поверхня рослини чи ґрунту, і перетворюють на певну інформацію, яку можна використовувати для оцінювання стану посівів і родючості ґрунтів.

Зондування культур під час вегетації сприяє зменшенню заздалегідь запланованої норми внесення добрив або вказує на потребу додаткового підживлення культур у разі дефіциту елементів живлення.

Мета методів ґрунтової і рослинної діагностики, які є складовими комплексної діагностики живлення – забезпечення постійного контролю за умовами вирощування й коригування живлення рослин у процесі вегетації, що сприяє ефективнішому використанню елементів живлення з ґрунту і добрив.

Вибір методів діагностики або їх поєднання визначається можливостями і потребами господарства. При цьому потрібно враховувати:

- 1) для рослин характерна впорядкованість процесів життєдіяльності;
- 2) умови вирощування значно впливають на темпи росту й розвитку рослин;
- 3) порушення живлення насамперед впливає на розвиток вегетативних органів та їх хімічний склад, що, у свою чергу, змінює хімічний склад репродуктивних органів;
- 4) як нестача, так і надлишок багатьох елементів живлення порушує процеси біосинтезу та обміну речовин у рослинах;
- 5) якщо відома функція елемента, то можна керувати його участю в живленні рослин за допомогою добрив;
- 6) за додаткового внесення елемента живлення разом із підвищенням урожаю змінює не лише його вміст у рослині, а й інших елементів;
- 7) під час розкладання органічних сполук утворюються мінеральні речовини, які впливають на забезпеченість рослин елементами живлення;
- 8) коригування живлення рослин на ранніх етапах їх розвитку дає більший ефект, ніж на пізніх;
- 9) кількість опадів і вміст у ґрунті доступної вологи.

Отже, діагностика живлення рослин має важливе, але все ж таки допоміжне значення в забезпеченні оптимального живлення сільськогосподарських культур.

Головним було і залишається складання плану застосування органічних і мінеральних добрив на основі точного і розгорнутого аналізу ґрунту, їхнього розрахунку на запланований урожай та його якість з урахуванням особливостей сортів чи гібридів культури, кліматичних умов регіону. Спостереження за динамікою засвоєння цих елементів упродовж вегетації – це перевірка коректності проведених розрахунків, а також можливість встановити відхилення від очікуваних результатів та відреагувати на них додаванням рослинам потрібних елементів живлення.

Способи визначення норм добрив.

У результаті тривалих наукових досліджень і практики виробництва в Україні сформовано основні методичні принципи реалізації потенціалу продуктивності сільськогосподарських культур. Вони включають освоєння зональних систем землеробства, що відповідають природно-кліматичним умовам зон, структурі посівних площ і сівознам, системі обробітку ґрунту, внесенню потрібної кількості добрив і меліорантів, вирощуванню інтенсивних сортів і гібридів, ефективному захисту посівів від шкідливих організмів (бур'янів, шкідників і хвороб), своєчасному якісному проведенню всіх агротехнологічних заходів.

Оптимізація живлення рослин унаслідок застосування добрив – один з найважливіших чинників системи землеробства та одне з основних завдань агрохімії. Нині у світі добрива забезпечують половину приросту врожаю. В подальшому роль цього інтенсивного чинника землеробства зростатиме. Завдання полягає лише в тому, щоб норми добрив забезпечували отримання високих урожаїв доброї якості при підвищенні або збереженні досягнутого рівня родючості ґрунту, не становили небезпеки для навколишнього природного середовища й забезпечували окупність витрат на їх застосування.

Агрохімічною наукою розроблено більш як півсотні методів для встановлення норм добрив. Розглянемо деякі з них, які найпоширеніші в практиці землеробства і мають науковий інтерес з погляду подальших досліджень і вдосконалення:

- • **за результатами польових дослідів** із застосуванням поправкових коефіцієнтів на агрохімічні властивості ґрунту та з урахуванням інших чинників, які визначають ефективність добрив;
- • **балансові методи** – на основі даних виносу елементів живлення врожаєм і коефіцієнтів їх використання з ґрунту і добрив;
- • **нормативні методи** – за нормативами витрат добрив на одиницю врожаю або на приріст врожаю;
- • **за бальною оцінкою ґрунту** – на основі бальної оцінки природної родючості ґрунту та окупності добрив;
- • **математичні** – на основі виробничих функцій у системі ґрунт–рослина–добрива;
- • **цілеспрямованого регулювання родючості ґрунту.**

Визначення норм добрив за результатами польових дослідів. Польовими дослідями з різними культурами, які проводили і продовжують проводити в науково-дослідних установах у різних ґрунтово-кліматичних зонах, дало змогу встановити пріоритетну ефективність деяких видів добрив на різних типах ґрунтів (азотних – на нечорноземних ґрунтах, фосфорних – на чорноземах і каштанових ґрунтах, калійних – на торф'яниках і т. д.) та норми органічних і мінеральних

добрив для основних культур на різних типах, підтипах і відмінах ґрунтів. Проведено також диференціацію норм у межах кожної відміни ґрунту з урахуванням вмісту рухомих сполук елементів живлення, попередників (їх урожаю та удобрення), сортових особливостей вирощуваних культур. Залежно від ґрунтово-кліматичних умов розроблено оптимальні строки, норми і способи внесення добрив для різних культур.

На основі узагальнення результатів досліджень для основних ґрунтово-кліматичних зон на переважаючих типах ґрунтів із середнім вмістом рухомих сполук основних елементів живлення встановлено орієнтовні оптимальні норми добрив під основні сільськогосподарські культури.

Орієнтовні оптимальні норми мінеральних добрив (кг/га) під основні сільськогосподарські культури (узагальнені дані)

Культура	Зона	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшениця озима	Полісся	90	90	90
	Лісостеп	100	80	70
	Степ	90	60	50
Кукурудза	Полісся	90	90	90
	Лісостеп	120	90	80
	Степ	90	80	60
Буряк цукровий	Полісся	150	140	170
	Лісостеп	140	140	150
	Степ	120	120	100
Картопля	Полісся	100	90	120
	Лісостеп	90	80	80
	Степ	80	70	70
Силосні культури	Полісся	140	130	150
	Лісостеп	130	130	140
	Степ	120	110	100

Вони є основою застосування добрив у виробництві. Регіональні науково-дослідні установи дають детальніші рекомендації для різних культур і відмін

ґрунтів, нерідко із зазначенням запланованого врожаю, рівня забезпеченості рослин рухомими сполуками основних елементів живлення у поєднанні з рекомендованими нормами органічних добр.

За відсутності диференціації норм їх можна скоригувати за поправковими коефіцієнтами, які рекомендують науково-дослідні установи, або визначити самостійно за такою формулою:

$$K = 2 - B/V_{сер},$$

де K – поправковий коефіцієнт; B – вміст рухомих сполук елемента живлення (азоту, фосфору, калію), мг/кг ґрунту; $V_{сер}$ – середній вміст рухомих сполук елемента живлення, мг/кг ґрунт.

Норми добрив коригують також на основі агрохімічних картограм ґрунту, в яких зазначено забезпеченість рослин елементами живлення на кожному полі (або його частині). Вона може бути дуже низькою, низькою, середньою, підвищеною, високою і дуже високою. Для уточнення рекомендованих норм добрив їх множать на відповідний поправковий коефіцієнт, який розраховано для ґрунтів із середніми показниками потенційної родючості.

При цьому норму азотних добрив коригують із використанням картограм забезпеченості рослин фосфором, оскільки він найчастіше знаходиться в мінімумі

Середній вміст рухомих сполук елементів живлення в ґрунті (П.О. Дмитренко, Б.С. Носко), мг/кг

Елемент живлення	Метод визначення	Для зернових і кормових культур	Для технічних і овочевих культур
N	Тюріна–Кононовой	45	70
	Корнфілда	175	200
P ₂ O ₅	Кірсанова	75	100
	Чирикова	75	100
	Мачигіна	23	30
K ₂ O	Кірсанова	100	120
	Чирикова	100	120
	Мачигіна	100	200
	Маслової	125	200

Норми фосфорних і калійних коригують відповідно до даних картограм забезпеченості рослин фосфором і калієм на певному типі ґрунту. Оптимальні

показники норм добрив, отримані в польовому досліді, коригують з агрохімічними групами ґрунту конкретного поля. Якщо агрохімічна група ґрунту поля за вмістом рухомих сполук фосфору або калію відрізняється від групи ґрунтів у досліді за цим показником на 1 або 2 групи, то норму фосфору або калію змінюють відповідно на ± 25 і 50 %, а норму азоту – на ± 10 і 20 %. При цьому рівень урожаю потрібно узгодити з виробничими умовами, оскільки ефективність добрив на малих ділянках у досліді в середньому на 20–30 % вища, ніж на великих площах у виробничих умовах, а під картоплю – на 50 %.

Балансовий метод визначення норм добрив ґрунтується на встановленні виносу елементів живлення із запланованим урожаєм і використанні їх з урахуванням коефіцієнтів з ґрунту і добрив.

Слід зазначити, що ця група методів для розрахунку перспективна насамперед в умовах достатнього зволоження і зрошення, де лімітуючим чинником в отриманні високих і стійких урожаїв є нестача елементів живлення в ґрунті, а забезпеченість господарства добривами досить висока (не менш як 150 кг/га д. р.).

Поправкові коефіцієнти для рекомендованих норм мінеральних добрив на ґрунтах з різним ступенем забезпеченості рослин елементами живлення

Ступінь забезпеченості рослин живлення елементами	Зернові культури	Зернобобові і багаторічні трави	Просапні культури	Овочеві культури
<i>Для азотних добрив</i>				
Дуже низький	1,3-1,5	0,6	1,3-1,5	1,3
Низький	1,2	0,5	1,2	1,1
Середній	1,0	0,4	1,0	1,0
Підвищений	0,7	0,2	0,7	0,9
Високий	0,5	-	0,5	0,8
Дуже високий	-	-	-	-
<i>Для фосфорних добрив</i>				
Дуже низький	1,3-1,5	1,3-1,5	1,3-1,5	1,3-1,5
Низький	1,0	1,0	1,3	1,3
Середній	1,0	0,7-0,9	1,0	1,2
Підвищений	0,7	0,5-0,6	0,5 – 0,7	1,0
Високий	0,6	-	0,6	0,6-0,8

Дуже ВИСОКИЙ	-	-	-	0,6
<i>Для калійних добрив</i>				
Дуже НИЗЬКИЙ	1,3-1,5	1,3-1,5	1,3-1,5	1,3-1,5
Низький	1,1	1,3	1,3	1,2
Середній	0,9	1,0	0,8	1,0
Підвищений	0,5-0,6	0,7-0,8	0,6 – 0,7	0,9-1,0
Високий	0,5	0,5-0,6	0,6	0,6-0,8
Дуже високий	-	-	-	0,4-0,6

Норми елементів живлення за їх виносом із запланованим урожаєм розраховують за формулою

$$N = \frac{100UV - CK}{K_2}$$

де N – пошукова норма N, P₂O₅, K₂O, кг/га; U – запланована урожайність, т/га; V – винос елемента живлення 1 т продукції, кг; C – запас рухомих сполук елемента живлення в ґрунті, кг/га; K₁ – коефіцієнт використання елемента живлення з ґрунту, %; K₂ – коефіцієнт використання елемента живлення з добрив, %.

Для використання цього методу потрібно знати: 1) винос елементів живлення з урожаєм культури; 2) вміст рухомих сполук елементів живлення в ґрунті; 3) коефіцієнти використання елементів живлення з ґрунту і добрив; 4) масу орного шару ґрунту, для якого проводять розрахунок вмісту рухомих сполук елемента живлення.

Орієнтовні коефіцієнти використання елементів живлення з ґрунту і добрив наведено в табл. 4 та 5.

Агрохімічні показники картограм вмісту в ґрунті рухомих сполук азоту, фосфору і калію (в мг/кг ґрунту) переводять у кілограми на 1 га, множенням на коефіцієнт, який відповідає різновиду ґрунту і глибині розрахункового шару. Так, якщо для розрахунку беруть шар 0–30 см, де розміщена основна кількість коренів, його маса на 1 га становить 3000 т, то застосовують коефіцієнт 3. Цей коефіцієнт для ґрунту на певному полі можна уточнити в найближчій науково-дослідній установі. Приклад такого балансового розрахунку норм добрив наведено в таблиці

Розрахунок норм добрив на врожайність пшениці озимої 7,0 т/га

Порядковий номер стрічки	Показник	N	P2O5	K2O
1	Винос на 1 т зерна і відповідну масу соломи, кг	30	10	20
2	Винос із запланованим урожаєм зерна (стр. 1 × урожайність 7,0 т/га)	210	70	140
3	Вміст елементів живлення у ґрунті, мг/кг	100	100	140
4	Запаси елементів живлення у ґрунті, кг/га (стр. 3 • 3)	300	300	420
5	Коефіцієнт використання елементів живлення з ґрунту, %	35	15	20
6	Використовують рослини елементів живлення з ґрунту, кг/га (стр. 4 × стр. 5 : 100)	105	45	84
7	Нестача елементів живлення, яку потрібно внести з мінеральними добривами, кг (стр. 2 – стр. 6)	105	25	56
8	Коефіцієнт використання елементів живлення з мінеральних добрив, %	60	25	70
9	Потрібно внести елементів живлення з мінеральними добривами, кг/га (стр. 7 х 100: стр. 8)	175	100	80

Вважають, що зернові культури з ґрунту можуть використовувати 50–80 % N, 10–15 – P2O5 і 20–30 % K2O, просапні та овочеві – відповідно 70–90, 15–20 і 30–40 %. Цей балансовий метод застосовують у різних модифікаціях, але суть їх не змінюється – визначають потребу запланованого врожаю в елементах живлення, наявність їх у ґрунті та можливе засвоєння рослинами з ґрунту і добрив. Об'єктивність методу залежить від точності перелічених даних. Залежно від властивостей ґрунту, сорту рослин, погодних умов, норм і форм добрив, строків і способів їх внесення та інших чинників вони можуть істотно змінюватися.

Інший метод балансових розрахунків потреби в добривах враховує лише запланований приріст урожаю. Для проведення таких розрахунків потрібно знати врожайність культури, яку забезпечує на певному полі природна родючість ґрунту (табл. 9.15).

За такого розрахунку не потрібно знати коефіцієнти використання елементів живлення з ґрунту, але при цьому можна вводити коефіцієнти до норм добрив з урахуванням забезпеченості ґрунту рухомими сполуками елементів живлення за даними картограм. Отже, цей розрахунок також орієнтовний.

Визначення норм добрив за нормативами витрат елементів живлення на одиницю врожаю й на одиницю приросту врожаю. Цей метод із найточніших, оскільки належить до прямих. Його основою є результати польових дослідів з добривами, проведених науково-дослідними установами України (табл. 8; 9).

При використанні нормативів витрат добрив на одиницю врожаю норму азоту, фосфору і калію розраховують окремо для кожного елемента за формулою:

$$H = UB1K,$$

де H – норма азоту, фосфору і калію для отримання запланованої врожайності, кг/га; U – планова врожайність культури, т/га; B , – нормативні витрати елементів живлення (азоту, фосфору, калію) для вирощування одиниці врожаю, кг/т; K – поправковий коефіцієнт на вміст рухомих сполук елементів живлення у ґрунті (окремо для кожного елемента).

Таблиця 7. Розрахунок норм добрив під пшеницю озиму для отримання приросту врожаю 2,0 т/га (за врожайності без внесення добрив 3,0 т/га)

Порядковий номер стрічки	Показник	N	P2O5	K2O
1	Винос на 1 т зерна й відповідну масу соломи, кг	30	10	20
2	Винос на 2,0 т запланованого приросту врожайності зерна (стр. 1 × 2)	60	20	40
3	Коефіцієнт використання елементів живлення з мінеральних добрив, %	60	25	70
4	Потрібно внести з мінеральними добривами, кг/га (стр. 2 × 100 : стр. 3)	100	80	57
5	Вміст елементів живлення в мінеральних добривах, %	34	20	57
6	Норма різних форм добрив, ц/га (стр. 4 : стр. 5)	2,9	4,0	1,0

Нормативи витрат діючої речовини мінеральних добрив на формування врожаю і приросту врожаю (усереднено для України)

Культура	Витрати на формування, кг/т					
	врожаю			приросту врожаю		
	N	P2O5	K2O	N	P2O5	K2O
1	2	3	4	5	6	7

<i>Без зрошення</i>						
Пшениця озима	27,0	25,0	19,0	93,0	86,0	85,0
Жито озиме	31,0	29,0	26,0			
Ячмінь озимий	21,0	21,0	15,0			
Пшениця яра	25,0	23,0	19,0			
Ячмінь ярий	22,0	22,0	17,0	86,0	91,0	72,0
Овес	21,0	19,0	16,0	70,0	63,0	56,0
Кукурудза на зерно	20,0	17,0	19,0	84,0	79,0	71,0
Гречка	43,0	49,0	39,0	116,0	140,0	116,0
Просо	19,0	15,0	14,0	84,0	69,0	61,0
Сорго	19,0	14,0	13,0			
Горох	22,0	31,0	24,0	76,0	105,0	105,0
Льон-довгунець	51,0	105,0	125,0	148,0	308,0	363,0
Буряк цукровий	4,5	4,5	5,1	11,1	11,6	12,1
Соняшник	31,0	37,0	27,0	165,0	194,0	132,0
Соя	26,0	34,0	21,0	156,0	203,0	124,0
Ріпак	65,0	49,0	41,0			
Картопля	7,6	7,2	6,0			
Капуста	3,1	2,2	2,1	7,0	5,1	4,8
Огірок	3,9	4,5	3,6	14,7	17,1	13,6
Помідор	2,3	2,3	1,2	5,9	5,9	3,1
Буряк столовий	2,3	1,8	1,8	5,4	5,4	5,4
Морква столова	2,3	1,8	2,2	7,0	5,5	6,6
Цибуля	4,5	4,3	3,7	19,1	18,4	15,8
Однорічні трави на сіно	16,0	13,0	11,0			

Багаторічні трави на сіно	7,5	13,0	14,0			
Природні сінокоси та пасовища (сіно)	28,0	18,0	14,0			
Культурні сінокоси та пасовища (сіно)	24,0	11,0	12,0			
Сади та ягідники	26,2	21,4	21,9			
Виноградники	21,9	25,4	17,1			
Хмільник	190,0	180,0	250,0			
<i>В умовах зрошення</i>						
Пшениця озима	25,0	18,0	13,0			
Жито озиме	25,0	18,0	12,0			
Ячмінь та овес	17,0	24,0	12,0			
Кукурудза на зерно	22,0	14,0	12,0			
Рис	34,0	21,0	18,0			
Круп'яні (просо, гречка, сорго)	27,0	29,0	12,0			
Горох	25,0	32,0	18,0			
Буряк цукровий	5,1	4,3	5,2			
Соя	33,0	34,0	22,0			
Картопля	7,7	7,2	5,1	15,2	13,4	16,9
Овочеві, усього	4,5	4,5	3,3			
Баштанні	5,5	5,5	2,8			

Норми добрив за нормативами витрат на одиницю приросту врожаю розраховують за формулою

$$Д = У_{п}В_{2}К,$$

де $У_{п}$ – плановий приріст урожайності за рахунок добрив, т/га; $В_{2}$ – нормативні витрати елементів живлення на одиницю приросту врожайності, кг/т.

Зональні нормативи витрат діючої речовини мінеральних добрив на формування 1 т врожаю, кг

Культура	Полісся та Карпати			Лісостеп			Степ		
	N	P2O5	K2O	N	P2O5	K2O	N	P2O5	K2O
Пшениця озима	30	17	19	28	18	20	25	17	8
Жито озиме	22	22	21	22	22	21	25	17	8
Ячмінь озимий	21	17	19	21	16	17	21	17	14
Овес	24	20	22	23	19	21	21	17	14
Кукурудза на зерно	-	-	-	22	19	21	22	20	15
Гречка	55	17	20	38	41	36	12	12	12
Просо	13	55	43	22	17	15	12	12	12
Горох	16	13	13	16	23	23	14	20	20
Люпин	-	23	23	-	-	-	-	-	-
Соя	-	28	36	-	-	-	64	15	15
Рис	-	-	-	-	-	-	29	6	6
Соняшник	-	-	-	6	3	14	6	3	14
Буряк цукровий	4,2	4,4	5,4	4,1	4,0	4,9	4,1	3,9	3,7

Норми добрив за бальною оцінкою ґрунту визначають за такою формулою:

$$H = \frac{Y - (B + H_0 O_0)}{O_m}$$

де Н – норма елементів живлення (N + P2O5 + K2O) для отримання запланованої врожайності, ц/га; Y – планова врожайність, т/га; B – урожайність за рахунок природної родючості (ціна бала, помножена на оцінку ґрунту в балах для певної культури), т/га; H0 – запланована норма внесення органічних добрив, т/га; O0 – окупність 1 т органічних добрив приростом урожайності, т/га; Om – окупність 1 ц діючої речовини (N + P2O5 + K2O) мінеральних добрив приростом урожайності, т/га.

Приклад. Заплановано виростити 6,0 т/га пшениці озимої. Оцінка ґрунту на полі під пшеницею озимою – 81 бал; ціна одного бала – 0,046 т/га зерна; внесено гною – 30т/га; окупність 1 т гною зерном пшениці озимої – 0,025 т/га; окупність 1 ц мінеральних добрив зерном пшениці озимої – 0,48 т/га.

Підставивши ці дані у формулу, знайдемо необхідну кількість мінеральних добрив для вирощування 6,0 т/га пшениці озимої:

$$N = \frac{6,0 - (81 \cdot 0,046 + 0,025)}{0,48} = 3,2 \text{ т/га.}$$

Оптимальне співвідношення N : P₂O₅ : K₂O в добриві для пшениці озимої становить відповідно 1,0 : 0,9 : 0,8.

Для визначення вмісту кожного елемента в добриві (кг/га) обчислюють суму коефіцієнтів (1,0 + 0,9 + 0,8 = 2,7) та ціну цілого коефіцієнта в елементах живлення (3,2 : 2,7 = 1,18 ц/га або 118 кг/га). Звідси норми елементів живлення для внесення в ґрунт становлять: N–118 : 1,0 = 118 кг/га; P₂O₅ – 118 : 0,9 = 132 кг/га; K₂O – 118 : 0,8 = 147,5 кг/га. Їх уточнюють з урахуванням коефіцієнтів на вміст рухомих сполук елементів живлення в ґрунті (окремо для кожного елемента).

Математичні методи

Застосування автоматичних методів керування сільськогосподарським виробництвом дає змогу визначати оптимальні норми добрив на основі математичного моделювання (виробничих функцій) із використанням інформації про кількісну залежність урожаю від норм добрив у певних природно- кліматичних умовах та врахуванням агрохімічної характеристики ґрунтів – рівня кислотності, вмісту гумусу, рухомих сполук елементів живлення.

Метод цілеспрямованого регулювання родючості ґрунту

Під час розрахунку норм добрив метою є не лише підвищення врожайності, а й доведення вмісту рухомих сполук елементів живлення в ґрунті до оптимальних або заданих параметрів. При цьому використовують нормативи змін їх вмісту на 10 мг/кг для різних типів ґрунтів, які встановлено на основі тривалих стаціонарних дослідів з добривами.

Загальну норму фосфорних і калійних добрив (кг/га) за ротацію сівозміни або інший період часу розраховують за формулою

Оптимальний вміст рухомих сполук фосфору і калію, визначений за методом Чирикова, в різних типах ґрунтів (мг/кг)

Елемент живлення	Дерново-підзолисті і сірі лісові ґрунти		Чорноземи	
	Сівозміна			
	польова	овочева	польова	овочева
P ₂ O ₅	150-200	200-300	150-200	200-250
K ₂ O	170-200	200-250	150-200	150-200

Нормативи витрат елементів живлення добрив (кг/га д. р.), що забезпечують збільшення вмісту рухомих сполук фосфору і калію на 10 мг/кг ґрунту

Тип ґрунту	Гранулометричний склад	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сірі лісові	Піщані і супіщані	70-90	60-70
	Суглинкові	80-110	70-80
	Важкосуглинкові і глини	120-140	80-90
Чорноземи опідзолені та вилужені	Піщані і супіщані	80-90	80-90
	Суглинкові	90-100	80-90
	Важкосуглинкові і глини	100-120	80-90
типові та звичайні	Піщані і супіщані	90-100	-
	Суглинкові	100-110	-
	Важкосуглинкові і глини	120-130	-

$$N = 0,1(V_1 - V_2)N_n$$

де V₁, V₂ – відповідно запланований і фактичний вміст рухомих сполук елемента живлення в ґрунті, мг/кг; N_n – нормативна кількість елемента живлення понад винос його з урожаєм для збільшення вмісту рухомих сполук на 10 мг/кг ґрунту, кг/га.

Приклад. Для підвищення вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунті за ротацію п'ятипільної сівозміни з 110 до 150 мг/кг норма фосфорних добрив буде становити:

$$N = 0,1(150 - 110) 90 = 360 \text{ (кг/га), або щорічно } 72 \text{ кг/га P}_2\text{O}_5 \text{ (360 : 5)}.$$

Усі перелічені методи розрахунку норм добрив дають змогу з достатньою об'єктивністю прогнозувати рівень продуктивності основних сільськогосподарських культур. Незважаючи на це, вони потребують адаптації з метою комплексного підходу з урахуванням ґрунтової і рослинної діагностики, умов вирощування культур, високої агроекономічної окупності добрив та охорони навколишнього природного середовища.

ТЕМА 2. Дефіцит Азоту в рослинах: виявлення та усунення симптомів.

Дефіцит азоту в рослинах значно знижує врожайність, тому дуже важливо своєчасно його виявити та усунути. Також необхідно розуміти причини виникнення проблеми, щоб уникати її в майбутньому.

Чим раніше вдається діагностувати азотне голодування, тим ефективніше лікування. Постраждалі рослини стають більш тоншими та блідими; вони схильні до хлорозу та погано плодоносять. Використовуючи органічні та хімічні методи боротьби з дефіцитом азоту в рослинах, фермери можуть зберегти врожай. Визначити загрозу на ранній стадії допомагає дистанційне зондування. Таким

чином, вирішення цієї проблеми вимагає комплексного підходу, який включає профілактичні та діагностичні заходи протягом усього сезону, а також використання різних засобів боротьби, зокрема з застосуванням сучасних технологій.

Чому Дефіцит Азоту Небезпечний Для Рослин?

Азот (N) необхідний для синтезу хлорофілу, без якого неможливий фотосинтез — тобто живлення рослин. Крім того, азот є «будівельним блоком» для амінокислот, ДНК, мембранних білків, ферментів, більшості коферментів, ауксинів, цитокінінів та клітин. Також внаслідок дефіциту азоту знижується рівень білка в зернових на кшталт кукурудзи та пшениці. Тож азотфіксація та підтримання його оптимального рівня критично важливі для зростання та продуктивності рослин.

Що Спричиняє Дефіцит Азоту В Рослинах?

Нестачу азоту в рослині може спровокувати ряд факторів. Щоб контролювати ситуацію, слід розуміти причини виникнення проблеми. Ось типові з них:

- Невідповідний тип ґрунту на кшталт піщаних та добре дренованих земель, для яких характерне швидке вимивання поживних речовин.
- Перезволоження внаслідок надмірного поливу та злив.
- Недолік вологи в ґрунті, який перешкоджає поглинанню водорозчинних поживних речовин корінням рослин.
- Недостатня аерація ґрунту. Вона забезпечує необхідною кількістю O₂ аеробні та факультативні аеробні азотфіксуючі бактерії, які постачають рослинам органічний азот. Якщо вміст повітря в ґрунті низький, денітрифікуючі бактерії почнуть замість нього поглинати NO₂ та NO₃. Крім того, брак аерації призводить до розщеплення корисних для рослин нітратів до N₂O, тобто парникового газу.
- Занадто низька температура ґрунту знижує розчинність поживних речовин та активність мікроорганізмів, необхідних для вивільнення засвоюваного рослинами N.
- Високий рівень вмісту цинку (Zn), марганцю (Mn), калію (K), хлоридів також провокує дефіцит азоту в рослинах.
- Засолення ґрунту перешкоджає поглинанню поживних речовин через осмотичний тиск та знижує доступ N.
- Високий або низький рівень кислотності ґрунту (pH) також може спровокувати дефіцит азоту в рослинах.
- Пошкоджені шкідниками або хворі коріння рослин погано засвоюють поживні речовини, зокрема N.
- Бур'яни позбавляють культури життєво важливих елементів, що також провокує азотне голодування рослин.
- Висока розчинність елемента також є однією з причин його дефіциту, оскільки він легко вимивається із ґрунту.
- Низький рівень органічної речовини, оскільки це природне джерело N для рослин.

Дефіцит азоту особливо критичний після зимових дощів та танення снігу, коли молоді рослини лише починають рости та вимагають велику кількість N.

Ознаки Та Симптоми Дефіциту Азоту В Рослинах

Азотне голодування рослин можна визначити за характерними змінами кольору, а також форми листя та стебла, вимушеним раннім цвітінням, ознаками некрозу тощо.

Як Швидко Проявляються Ознаки Нестачі Азоту В Рослинах?

Дефіцит N в рослинах можна виявити досить рано за станом листя. Характерними ознаками є **блідо-зелений колір та пожовтіння**, поряд із нестачею інших поживних речовин. Виявивши проблему, слід негайно зайнятися її усуненням, інакше легка початкова стадія перейде у важку.

Симптоми азотного голодування рослин

Недолік N свідчить про низький вміст хлорофілу, який надає рослинам яскравого зеленого кольору. Саме тому **на ранніх стадіях дефіцит азоту листя починає тьмяніти**, а потім жовтіти. Далі з'являються серйозніші симптоми — некроз та в'янення. Також симптоми азотного голодування рослин помітні на початку періоду цвітіння. Стебла набувають фіолетового відтінку, пагони вкорінюються повільно, рослини стають тонкими та слабкими. На останній стадії азотного голодування культури гинуть, що призводить до **повної втрати врожаю**. Пожовтіння (хлороз) рослин не завжди є наслідком дефіциту азоту. Наприклад, воно може бути пов'язане з недоліком K, Zn, S, Fe, Mg або стати результатом опіків гербіцидами внаслідок неправильної обробки рослин. Тому для ефективного вирішення проблеми необхідно точно визначити причини її виникнення.

Вплив дефіциту Азоту на зростання коренів

Дефіцит азоту в сільськогосподарських культурах впливає на розвиток коренів: вони ростуть швидше, ніж пагони. Це реакція саме на азотне голодування: так рослини намагаються займати більше територій у пошуках життєво необхідної поживної речовини. При надлишку N зростання коренів уповільнюється, щоб мінімізувати його поглинання.

Прояви нестачі Азоту в рослинах.

Наслідки дефіциту азоту в рослинах залежать від того, наскільки сильно порушено їхнє живлення.

На ранній стадії азотне голодування проявляється в легкому знебарвленні зрілого листя, через що рослина виглядає блідою та тонкою. Потім з'являються серйозніші симптоми:

- велике листя з блідо-зелених перетворюється на жовте та біле;
- коріння та дрібне листя стають червонуватими або пурпуровими;
- жилки та черешки червоніють;
- на стеблах з'являються вертикальні пурпурові смуги;
- форсується період цвітіння;
- хлороз вражає не лише нижню, а й верхню частину рослини;
- листя скручується та опадає;
- на посівах з'являються некротичні тканини;
- значно знижується врожайність;
- рослини передчасно в'януть і гинуть.

Чому внаслідок дефіциту N рослини гинуть?

Крім нездатності будувати клітини та виробляти енергію, вони стають сприйнятливими до водного стресу.

У пошуках доступного N коріння починає активно розростатися, але пагони залишаються маленькими та слабкими, оскільки рослини закривають водні пори. Отже, доступ вологи й поживних речовин до пагонів обмежений.

У разі сильного дефіциту азоту — без води, харчування, будівельних матеріалів для клітин, при слабкому фотосинтезі й, як наслідок, відсутності енергії — культури зрештою гинуть.

Приклади ознак азотного голодування рослин

Незважаючи на деякі загальні ознаки дефіциту N, у різних культур симптоми голодування можуть візуально відрізнятись.

Дефіцит Азоту в кукурудзі

Проростки кукурудзи не потребують великої кількості N, тому **на початку сезону симптоми азотного голодування зазвичай не помітні**. Пізніше проблему можна виявити за тонким стеблом та характерним блідо-зеленим або жовтуватим листям. До специфічних симптомів дефіциту азоту в кукурудзі відносяться:

- V-подібне пожовтіння : воно починається з кінчиків листя, поширюється вздовж головної жилки до основи листа, який зрештою стає коричневим;
- маленькі качани, які погано наповнені або мають занадто тонку верхівку;
- лисніючі зерна (через дефіцит білків і надлишок жирів);
- стерня набуває бурого відтінку.

Дефіцит Азоту В Рисі

Нестача азоту погіршує розвиток рисових культур, що проявляється у надто маленьких, блідо-зелених стеблах та коротких головках. Проблема можна визначити за:

- світло-зеленим і жовтим кольором нижнього молодого листя;
- пожовтінням кінчиків старого листя;
- низькою продуктивністю та кушистістю.

Дефіцит азоту в сої.

Бобові відомі як азотфіксуючі рослини, які забезпечують N інші культури. **Тим не менш, соя також може страждати від азотного голодування**. Серед перших симптомів — блідо-зелена рослинність та світло-жовте листя з зеленими прожилками (міжжилковий хлороз). На останній стадії починається некроз: колір листя поступово змінюється від блідо-жовтого до коричневого.

Ознаки нестачі Азоту в огірках

Огірки дуже чутливі до хімічного складу ґрунту, тому швидко реагують на дефіцит N. Можна виділити наступні ознаки цієї проблеми:

- плоди й листя втрачають колір — стають світло-зеленими;
- на верхівках зеленців з'являються дзьобоподібні паростки;
- нижня частина листа жовтіє;
- припиняють розвиватися пасинки та батоги.

Симптоми дефіциту Азоту в пшениці

Азотне голодування пшениці проявляється в жовтуватому або світло-зеленому листі. Також знижується кількість пагонів та уповільнюється їх зростання. До характерних симптомів належать:

- знебарвлення: воно починається з кінчиків старого листя, колір якого змінюється з жовтого на світло-зелений, а потім білий;
- стебла можуть набувати світло-рожевого відтінку.

У той же час знебарвлення не завжди означає дефіцит азоту — це може бути наслідком нестачі в пшениці калію або молібдену (Mo), а також заболочування. Тому, визначаючи причини проблеми, поряд із тестуванням тканин та коректним аналізом ситуації необхідно розуміти відмінності у цих порушеннях. Зимове азотне голодування суттєво знижує кількість та продуктивність вирощування озимої пшениці. Ефективне вирішення проблеми — внесення N на стадії кушення при достатньому зрошенні.

Таким чином, надлишок та дефіцит азоту в рослинах вимагають різних рішень. При нестачі елемента необхідно додавати поживну речовину, зберігаючи оптимальний баланс рН ґрунту. При перевищенні норми азот можна спробувати вимити слабшими розчинами добрив.

Чим дефіцит Азоту в рослинах відрізняється від надлишку?

Обидва порушення небезпечні, оскільки уповільнюють зростання рослин та знижують урожайність. Різниця полягає в тому, що при дефіциті посіви страждають від нестачі азоту, а при надлишку — від його надмірної кількості.

Коли рослинам не вистачає N, необхідний обсяг поживної речовини можна забезпечити за допомогою органічних або хімічних методів. Профілактика дефіциту азоту в рослинах вирішує цю проблему заздалегідь.

Органічні методи

Органічна речовина не тільки забезпечує рослини життєво важливими поживними речовинами, але також покращує структуру ґрунту та допомагає утримувати ґрунтову вологу. Основними джерелами N в органічному землеробстві є:

- компост;
- гній;
- азотфіксуючі рослини (наприклад бобові);
- роґове, кісткове, рибне або кров'яне борошно;
- настій кропиви;
- лушпиння арахісу;
- кокосовий торф (кокосова стружка);
- макуха;
- сидерати;
- листя дерев;
- зола тощо.

Існує багато добрив, які можуть вирішити проблему дефіциту азоту в рослинах. Концентрація елемента в них різна. Зокрема, кров'яне борошно, лушпиння (або макуха) арахісу та кокосовий торф містять набагато більше N, ніж вугілля, деревна зола або свіжий пташиний послід. Попередити дефіцит азоту в бобових також допомагають покривні культури, сівозмінна та суміщення культур.

Скільки часу потрібно для усунення дефіциту азоту в сільськогосподарських культурах за допомогою органічних методів?

Розкладання органічного гною займає деякий час. Тому його найкраще вносити після збирання врожаю, щоб перед наступним посівом отримати поживний ґрунт. Крім того, свіжий гній не слід вносити одразу після посадки, щоб уникнути зараження, хвороб та опіків рослин через високу концентрацію N. У зв'язку з цим рекомендується :

- 4-місячний проміжок між внесенням свіжого гною та збиранням врожаю або вживанням в їжу їстівних частин культур, що контактували з землею;
- 3-місячний період для рослин, їстівні частини яких не торкалися землі.

Хімічні Методи

Неорганічні методи боротьби з дефіцитом азоту в рослинах припускають використання синтезованих азотовмісних добрив для відновлення культур, наприклад NPK-добрив, ціанаміду кальцію, аміачної селітри, сечовини тощо. Аналіз ґрунту перед початком сільськогосподарського сезону допомагає скоригувати рівень рН та кількість поживних речовин.

Більшість хімічних добрив мають збалансовану формулу з конкретним співвідношенням NPK. Перше число означає кількість N: чим вище потреба в поживних речовинах, тим вище має бути цей показник.

Скільки часу потрібно, щоб позбавитися дефіциту азоту за допомогою хімічних добрив? Хімічні добрива підвищують рівень N у ґрунті досить швидко. Однак через високу розчинність елемента його кількість також швидко знижується. Таким чином, найкраще рішення профілактики дефіциту N в рослинах — багаторазове дробове внесення добрив перед початком та протягом вегетаційного періоду, за винятком стадій дозрівання та збирання врожаю.

Як уникнути дефіциту Азоту в рослинах

Своєчасні профілактичні заходи дозволяють недопущення азотного голодування. До них відносяться:

- правильний дренаж ґрунту;
- збалансоване використання добрив;
- внесення органічних речовин;
- тестування ґрунту перед посівом;
- аналіз тканин рослин щодо азотного голодування.

Деякі сільськогосподарські методи збагачують ґрунт азотом, наприклад:

- Регулярне достатнє (але не надмірне) зрошення запобігає не тільки опікам рослин, а й витоку N.
- Фертилізація та фертигація підвищують концентрацію N у ґрунті. Зокрема, при краплинному зрошенні поживні речовини надходять до кореневої зони рослин.

Існують різні способи позбутися дефіциту азоту в ґрунті. Головне — дотримуватися правильного балансу, оскільки кожна культура має свої потреби. Інакше врожайність падає. Наприклад, надмірна кількість N уповільнює розвиток солодкої картоплі, оскільки елемент стимулює зростання пагонів, а не коренеплідів. Ознаки відновлення рослини після дефіциту азоту виявляються швидше, якщо наносити розчинний N на листя, а не коріння. Тим не менш, застосування добрив та корекція рН в області коренів все одно необхідні, тому що листя не може покрити дефіцит поживних речовин усієї рослини. Тож його обробка не вирішує проблему виснаження ґрунту та виправдана у разі несприятливих умов для обробки коренів.

Виявити дефіцит N допомагає не тільки пошук візуальних ознак проблеми. Ефективними інструментами контролю стану посівів є дистанційне зондування та супутникова аналітика. Особливо супутниковий моніторинг корисний для представників агропромислового сектора, що оперують тисячами гектарів землі. Крім кооперативів, це можуть бути агроконсультанти, страхові компанії, постачальники сільськогосподарського програмного забезпечення, державні організації тощо.

Моніторинг Погоди

Баланс N значною мірою залежить від кліматичних умов. Наприклад, на нього негативно впливають посухи та зливи. EOSDA Crop Monitoring дозволяє агроконсультантам та іншим учасникам сільськогосподарської промисловості стежити за погодними аномаліями за допомогою двотижневих прогнозів. Таким чином, платформа полегшує планування польових робіт для підтримки необхідного рівня поживних речовин, зокрема N. Також агроконсультанти можуть

використовувати дані EOSDA Crop Monitoring для рекомендацій клієнтам щодо усунення дефіциту азоту в ґрунті.

ТЕМА 3. Дефіцит Калію в рослинах: виявлення та усунення симптомів.

Ознайомлення з матеріалом у відеолекції

<https://youtu.be/Y0baZlbtUIQ?feature=shared>

ТЕМА 4. Фосфор (ознаки нестачі та шляхи його регулювання)

За словами А. Е. Ферсмана, *фосфор* є «елементом життя і думки». Він є основним передавачем спадкових властивостей, регулятором енергетичного балансу та впливає на синтез білків. Найважливіша роль фосфору полягає у тому, що він бере участь у процесах обміну речовин, які проходять у організмі рослин, зокрема дихання і фотосинтез. Мінеральну форму цього елемента представляють солі ортофосфорної кислоти з кальцієм, калієм, магнієм, амонієм та іншими катіонами. Їх вміст хоч і не великий, але вкрай важливий для утворення багатьох фосфоровмісних органічних сполук, таких як: нуклеїнові кислоти, нуклеопротейди, фосфопротейди, фосфатиди, фітин та інші сполуки, які дуже потрібні для рослинних клітин.

Дефіцит фосфору обумовлює різного роду порушення процесів життєдіяльності рослин, зокрема:

- *морфологічні*: порушення співвідношення підземної і надземної частин та аномального росту кореневої системи;

- *фізіологічні*: послаблюється фотосинтез, дихання, транспірація, фіксація азоту, вміст фотосинтетичних пігментів, порушення розподілу фосфору у донорно-акцепторній системі рослини, виділення органічних кислот через кореневу систему. Гальмує синтез білків, у тканинах рослин підвищується вміст нітратного азоту. Останнє, як правило, відбувається при передозуванні азотом, хоча мають місце випадки протилежного. Погана забезпеченість фосфором погіршує вуглеводний обмін, знижує накопичення цукрів, знижуючи тим самим морозостійкість і зимостійкість

- *біохімічні*: деактивація ферментів, пов'язаних з фосфорним метаболізмом, зміни у фосфорилуванні білків, утворення антоціанів. Так, при дефіциті фосфору листя кукурудзи набуває фіолетового відтінку, листки цукрових буряків стають насичено рожевими, краї листків картоплі закручуються догори і забарвлюються у темний колір, листки томатів на нижній стороні стають багряними;

- *генетичні*: пере модифікація генів які визначають морфологію, фізіологію і метаболізм рослин.

Рівень вмісту фосфору у ґрунті визначається його окультуреністю. Як правило, валовий вміст цього елемента живлення у ґрунті становить 1,2-6 т/га. Цей показник залежить від вмісту гумусу та механічного складу ґрунту. У ґрунті фосфор перебуває у органічній та мінеральній формах. Мінеральні фосфати знаходяться, зазвичай, у формі гідроксил- або фторапатитів, ди- та трикальційфосфатів. На нейтральних та карбонатних ґрунтах переважають фосфати

кальцію та магнію, у кислих – алюмінію та заліза. Фосфор у органічній формі накопичується як наслідок діяльності тварин та мікроорганізмів, вищих і нижчих рослин. Його вміст на різних ґрунтах становить 14-44% від загального. Він знаходиться у плазмі мікроорганізмів та фітатах, а також у гумусі. Магнієві та кальцієві солі фітину знаходять у нейтральних ґрунтах, а фітати **Fe** та **Al** – у кислих.

Для фосфору характерна низька рухомість. У результаті хімічного зв'язування його з магнієм, алюмінієм та кальцієм відбувається фіксація фосфору. Глинисті мінерали поглинають іони H_2PO_4^- (монокальційфосфат) й заміщують ОН-іони гібситового шару. Спочатку цей процес має обмінний характер, згодом переходить у хімічний й утворюється AlPO_4 . Неповне використання фосфору з добрив пов'язане з хімічною адсорбцією.

Поглинання і рух в рослинах. Різні рослини у різні періоди життя поглинають не однакову кількість фосфору. Найбільша його потреба у ранні періоди онтогенезу. Якщо ж у цей час фосфору не вистачає, його дефіцит не можливо буде компенсувати внесенням фосфоровмісних добрив у наступні періоди. Зернові найбільше фосфору поглинають під час колосіння і трубкування, льон – під час цвітіння, коренеплоди, капуста й картопля споживають приблизно однакову кількість цього макроелемента протягом усього вегетаційного періоду.

У рослинних органах фосфор зосереджується в органічній і мінеральній формі, його вміст становить близько 1/3 від вмісту азоту.

Більший відсоток фосфору міститься у молодих і репродуктивних органах рослин, де активно відбуваються процеси синтезу органічних речовин. Він здатен до реутилізації: може переміщатися від старих до молодих частин рослини і використовуватись повторно.

За доступністю для живлення рослин усі мінеральні сполуки фосфору поділяють на три групи:

- солі, розчинні у воді – однозаміщені фосфати магнію, кальцію й інших одновалентних катіонів: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, KH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$;
- солі, розчинні у слабких кислотах – двозаміщені: CaPO_4 , MgHPO_4 ;
- солі фосфатної кислоти, розчинні у мінеральних кислотах – тризаміщені: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$.

Сполуки першої групи повністю доступні для живлення рослин, другої – частково доступні, третьої – частково можуть використовуватися культурами, коренева система яких може виділяти слабкі органічні кислоти (горох, гречка, гірчиця та ін.).

Якщо при аміачному живленні рослини потребують значно більше калію, аніж при нітратному, то за умов нітратного живлення гостріше постає потреба у фосфорі. Тому при оптимальних дозах фосфору і калію дія азоту залежить від форми азотного добрива, що застосовується. Це дуже важливо враховувати при формуванні системи удобрення.

Біохімічні функції. Дуже важлива роль фосфору у метаболічних процесах. Цей елемент живлення задіяний у синтезі білків, репродуктивному процесі, енергетичному обміні, створенні клітинних мембран та передачі генетичної інформації. Вкрай важливий фосфор для процесів фотосинтезу та аеробного дихання, особливо у реакціях окисного та фотосинтетичного фосфорилування. Ці процеси забезпечують загальну обмінну активність у організмі рослин та сприяють синтезу білка.

Фосфор є складовою складних органічних сполук: нуклеопротейдів (продукти взаємодії нуклеїнових кислот з білками), нуклеїнових кислот, нуклеозидполіфосфатів (АМФ, АДФ і АТФ), фітину та ацилфосфатів. Він є також обов'язковим елементом низки коферментів (НАД, НАДФ, ФАД). Нуклеїнові кислоти задіяні у синтезі білків, а фосфор присутній у цих сполуках лише в окисній формі. Цей процес проходить за участі рибонуклеїнової кислоти (РНК), що визначає природу усіх синтезованих амінокислот та напрям синтезу.

Фосфор значно прискорює ріст рослин. Він пришвидшує процеси розпаду білків і перехід продуктів розпаду в репродуктивні органи. Фосфор сприяє більш економічному витрачанняю води, покращуючи таким чином водний режим рослин. Так, фосфоровмісні добрива забезпечують покращення рівня врожайності навіть при відносній нестачі вологи. Також достатнє живлення фосфором покращує перезимівлю культур, забезпечуючи кращий синтез вуглеводів. Фосфор сприяє розвитку кореневої системи, пришвидшенню зростання на початку вегетації: прискорює гідроліз речовин у насінні й транспорт продуктів розпаду в зростаючі частини рослини.

Особлива роль належить фосфору в енергетиці клітини. Саме завдяки фосфору основна молекула, що є носієм енергії в клітині, накопичує і передає енергію. Також він є складником деяких білків та нуклеїнових кислот. Також фосфор входить у молекулу ліпідів у формі додаткової групи й забезпечує надійне з'єднання жирів та білків у мембранах клітини. Фосфор є стимулятором цвітіння рослин.

Взаємодія з іншими елементами. Існує тісна взаємодія між фосфорним і азотним живленням. При дефіциті фосфору в рослині вповільнюється синтез білків і накопичується нітратний азот.

Взаємодія **Al** з **P** пов'язана з утворенням у ґрунті слабозчинних фосфатів **Al**, з іншими реакціями адсорбції чи осадження **Al** і **P**, а також з негативним впливом **Al** на метаболізм **P**, головним чином у тканинах коренів. Тому отруєння алюмінієм часто проявляється як дефіцит фосфору. Тоді як фосфор – ефективний засіб для зниження токсичної дії надлишку алюмінію.

Механізм поглинання рослинами **V** і **P** доволі схожий. Поглинання і транспортування **P** залежить від концентрації **V**, оскільки **V** знижує рухомість **P** в коренях. Взаємодії **P** і **V** у ґрунтах заважає вплив фосфатних іонів на міграцію **V**.

Взаємодія фосфору і заліза зазвичай відбувається в ґрунтах. Через спорідненість іонів Fe^{3+} і $H_2PO_4^-$ при сприятливих умовах може утворитися $FePO_4 \cdot 2H_2O$. Більш того, аніони фосфору конкурують з рослинами за залізо, тому фосфор заважає поглинанию та руху заліза в рослинах. Відповідна пропорція фосфору і заліза в рослинах є основою для їх нормального розвитку.

Взаємодія фосфору і марганцю може бути опосередковано пов'язаною з антагонізмом $Fe-P_2O_5$, а також з варіаціями розчинності фосфатів **Mn** в ґрунтах і з впливом **Mn** на метаболічні реакції фосфору. Наприклад, в залежності від ґрунтових умов фосфорні добрива можуть сприяти як посиленню дефіциту марганцю, так і збільшенню поглинання **Mn** рослинами. Це явище тісно пов'язане з рівнем **pH** ґрунтів та їх сорбційною здатністю.

Антагонізм між P_2O_5 і **Cu** існує в кореневій системі, оскільки фосфати мають високу здатність до адсорбції **Cu**. Високий рівень вмісту фосфатів у ґрунтах також знижує абсорбцію **Cu** мікоризою. Надлишок міді, навпаки, інгібує активність фосфатази, внаслідок чого зменшується доступність P_2O_5 для рослин.

Взаємодія **P** і **Mo** часто проявляється в кислих ґрунтах і виражається в позитивному впливі **P** на доступність **Mo** для рослин. Це обумовлено не тільки більшою високою розчинністю фосфоро-молібдатного комплексу, але і підвищеною мобільністю молібдену в тканинах рослин. Однак, звичайний SO_4^{2-} , що містить суперфосфат, знижує темпи поглинання молібдену рослинами, а концентрований суперфосфат, навпаки, збільшує їх. Таким чином, взаємодія між **P** і **Mo** великою мірою залежить від різних ґрунтових факторів, крім того, вона пов'язана з метаболічними процесами **P** в рослинах.

Взаємозв'язок **P-Zn**, що виникає при інтенсивному накопиченні фосфору, викликає дефіцит цинку. Цей антагонізм, заснований на хімічних реакціях в середовищі, що оточує коріння. Проте антагонізм **P-Zn** не може бути пояснений тільки взаємним обмеженням міграційної здатності. Ця взаємодія є головним чином фізіологічною властивістю. Зазвичай, антагоністична дія **P** на концентрацію **Zn** більш виражена, ніж **Zn** на **P**.

Ефективність застосування фосфорних добрив. Коефіцієнт використання поживи з добрив знаходиться у межах 5-35%, у середньому – 20%. Цей показник є меншим на кислих ґрунтах та залежить від культури, під яку вноситься добриво. Так, кукурудза використовує 7% фосфору, просо – 11%, люпин – 15%, ячмінь – 20, а картопля – 35%. На луках застосування фосфору може сягнути 40%.

Якщо з основним внесенням було використано замало фосфорних добрив, виявлену нестачу можна компенсувати додатковим локальним внесенням або позакореневим підживленням. Метод локалізації ще застосовують, якщо треба збільшити коефіцієнт використання добрив з метою скорочення часу контакту добрив з ґрунтом.

Залишковий фосфор добрив доступніший, аніж ґрунтовий та має сильнішу післядію, хоча велика кількість фосфору стає малодоступною для рослин. Коефіцієнт використання фосфору з ґрунту і добрив можна збільшити завдяки вапнуванню. У зонах, де недостатнє зволоження, важливе значення має глибина загортання добрив. Ефективність фосфоритного борошна вища за умови підвищеної температури, коли інтенсивніше протікають процеси нітрифікації. Азотну кислоту може нейтралізувати фосфор, бікарбонат кальцію та інші його сполуки.

Ефективність фосфору нижча при листових підкормках, аніж через кореневе живлення. Листя має малу здатність перетворювати поглинений фосфор, тому він залишається у неорганічній формі. Транспортування фосфору з листя проходить в обмежених кількостях, а у коренях при некореновому підживленні збільшується фосфорне голодування. Дефіцит фосфору у прикореневій зоні призводить до зниження вмісту органічного фосфору у листках навіть при позакореновому підживленні.

Для оптимізації фосфорного живлення рослин пропонується кілька підходів, в тому числі й класичних, основою яких є підвищення концентрації P_2O_5 в прикореневій зоні:

- обробка насіння доступними формами фосфору і сполуками, що підвищують ефективність поглинання фосфору рослинами;
- позакоренева обробка добривами, що містять водорозчинний фосфор;
- локальне внесення фосфорних добрив.

У цей час розробляються нові та удосконалюються існуючі перспективні методи, такі, як передпосівна обробка насіння препаратами мікоризних грибів, фосфатмобілізуючих бактерій, комплексними бактеріальними препаратами.

Як визначити, що рослини одержують надлишок фосфору? Нестача фосфору у рослин помітна відразу: вони сповільнюються в рості, листя набуває червоного відтінку, бутонізація і плодоношення протікає мляво, плоди не витримують жодної критики — не відповідають ні сортовим ознакам, ні очікуваним смаковим параметрам.

При надлишку цього хімічного елемента картина зовсім інша. Спочатку рослини радують дуже швидким зростанням, але незабаром після цього починається деформація листя і пагонів (спочатку найстаріших, нижніх), помітне зменшення листя в порівнянні з нормальними рослинами, надземна частина стає слабкою, а коренева система аномально розростається.

Також надлишок у ґрунті фосфору проявляється симптомами дефіциту заліза, міді, магнію та ін. (хлороз між жилками листя, плямистість), оскільки сильно порушено їх засвоєння. Які чинники можуть призвести до надлишку фосфору у ґрунті? Нестача фосфору набагато поширеніше явище, ніж його надлишок. Дефіцит пояснити легко: відсутність фосфорних добрив, нераціональне використання землі (недотримання сівозміни, виснаження ґрунту посадками однієї і тієї ж культури тощо).

Щодо надлишків, причина не завжди очевидна. Зловживання фосфоромісними добривами і незбалансованість підживлення — основний фактор. Друга за частотою причина — порушення термінів і періодичності підживлення, при яких фосфор гірше засвоюється рослинами і щоразу залишається в ґрунті у вигляді хімічних з'єднань з іншими елементами. Найбільш неочевидною причиною є надлишок органічних підживлень або залишків на грядках (мульча, бадилля після збирання врожаю, гній ВРХ або пташиний послід). Усі вони містять фосфор у тому чи іншому вигляді, що виділяється у ґрунт, і згодом така ситуація може призвести до надлишку цієї речовини.

Тематичне відео до лекції ...
<https://youtu.be/wU8ILOI9N-c?feature=shared>

ТЕМА 5. Цинк Шкода чи користь? Цинк у живленні зернових

Висока продуктивність та реалізація сільськогосподарськими культурами генетичного потенціалу залежить не лише від вмісту і складу органічної речовини та основних елементів живлення в ґрунті, а й від доступності мікроелементів. Для нормального розвитку рослинного організму необхідна певна кількість мікроелементів у оптимальному співвідношенні, оскільки, як нестача, так і надлишок негативно впливають на ріст та розвиток рослин, сприяють розвитку хвороб, пригніченню рослин, а інколи призводять навіть до загибелі.

Аналізуючи агрохімічну карту ґрунтів нашої держави можна чітко прослідкувати, що ґрунтовірні породи різного гранулометричного складу містять не однакову кількість мікроелементів, у досить різних співвідношеннях. Загальновідомо, що піщані та супіщані ґрунти мають їх у своєму складі досить незначну кількість, а суглинкові та глинисті дещо більший вміст. Основною причиною є різниця у мінералогічному складі ґрунтовірних порід: кварц у

піщаних, а глинисті матеріали у суглинках та глинах. Стосовно Лісостепової зони то притаманні для цієї території ґрунти характеризуються специфічними умовами ґрунтоутворення, а визначальними факторами при цьому слугують тип водного режиму, карбонатність, забезпеченість гумусом з перевагою малорухомих гумінових кислот, висока насиченість основами, які зумовлюють акумуляцію мікроелементів в основних типах ґрунтів.

За узагальненими даними переважна більшість ґрунтів мають достатню забезпеченість залізом і марганцем, але страждають від дефіциту кобальту та цинку, власне вміст останніх потребує достатньо чіткого коригування, оскільки вони відносяться до класу важких металів. До цієї групи відносять ті хімічні елементи, що мають атомну масу більше 40 та густину понад 5г/см^3 , а також властивості металів. Саме визначення «важкі метали» є досить умовним, оскільки в дану групу входять життєвонеобхідні для рослин елементи такі як мідь, цинк, кобальт, свинець та інші, що діють досить позитивно та мають велике фізіологічне значення, тому їх називають мікроелементами, але при їх досить високому нагромадженні (надлишку) можуть бути токсичними і активізувати або навпаки блокувати хімічні процеси в живих організмах.

Слід зазначити, що з органічними речовинами важкі метали утворюють стійкі комплексні сполуки, що сприяють зниженню ступеня нагромадження їх надлишкових кількостей в органах та системах рослин, що не прослідковується на ґрунтах із низьким вмістом гумусу. Метали входять до складу багатьох ферментів в якості інтегрального компонента, виконуючи при цьому каталітичну та структурну функції, а також беруть участь у метаболізмі крохмалю і азоту.

Цинк належить до першого класу високотоксичних елементів і є досить поширеним у земній корі, та у ґрунті трапляється в дуже незначних кількостях. Варто зазначити, що супутником цинку практично завжди є кадмій, а вміст їх рухомих форм у ґрунті досить тісно корелюється. Основним показником, що визначає рухомість цинку є рН, за низьких показників якого рухомість зростає, проте це призводить до його вилуговування у водному середовищі, а найменша його розчинність, як стверджує Я.В. Пейве, спостерігається за інтервалу рН 5,5-7,5. За умови подальшого розчинення цинк може переходити у розчин внаслідок утворення специфічних розчинних сполук – цинкатів. Рухомість цинку також знижується за внесення фосфору, що за думкою деяких вчених призводить до утворення важкорозчинних фосфатів цинку. Недостатня кількість цього мікроелементу часто спостерігається на нейтральних і слаболужних карбонатних ґрунтах, а на кислих додаткове його внесення може бути не доцільним.

Попри небезпеку цинку у достатньо високих концентраціях у ґрунті, його мікроелементарна роль для рослин, зокрема і зернових, є беззаперечною. Його вміст в рослинах оптимально повинен становити 15-60 мг/кг сухої речовини. На відміну від, магнію та кальцію, концентрація цинку в мерисистемах листків у 5-10 разів вища, аніж в листовій пластині зрілих листків, а його підвищений вміст відзначається в листі, репродуктивних органах і конусах наростання, найбільше – у насінні. Потреба у цинку, як і інших елементах живлення, у зернових відчутно коливається в залежності від умов вирощування та сортових особливостей.

Чимало фізіологічних процесів не обходяться без участі цинку. А саме мова йде про: фотосинтез та синтез хлорофілу, окислювально-відновні процеси та синтез амінокислот, органічних кислот, вітамінів, вуглеводневий обмін та обмін фосфору, сірки, ліпідів. У іонній формі він впливає на в'язкість цитоплазми. За рахунок стабілізації дихання при зміні температурних умов цей мікроелемент підвищує жаро-, посухо- та морозостійкість рослин, вміст білку, стійкість до ураження

хворобами. Стійкість до різких перепадів температур завдяки цинку визначається тим, що він не піддає дихання рослин коливанням, тому продиhi працюють рівномірно, а сама рослина не травмується температурним стресом.

Науковцям вдалось встановити чітку залежність між забезпеченістю рослин цинком, фотосинтетичною асиміляцією CO₂ і ростом рослин. Важкі метали, зокрема і цинк, впливають на процес фотосинтезу прямо й опосередковано. Прямий вплив пов'язаний з інгібуванням активності ферментів синтезу хлорофілу та циклу Кальвіна зв'язуванням Me²⁺ з SH-групами білків, порушенням транспорту електронів електронтранспортним ланцюгом (ЕТЛ), зміною кількості тилакоїдів і ліпідного складу мембран. Опосередкована дія обумовлена металоіндукованим водним стресом, закриттям продиhив, внаслідок чого зменшується кількість доступного CO₂

При дефіциті цинку для рослин характерне відчутне сповільнення швидкості білкового синтезу та накопичення у рослинах амідів та амінокислот, тобто розчинних форм азоту, що призводить до зниження вмісту білку, а наслідком може бути підвищення вмісту нітратів у вихідній продукції, що суттєво знижує її якість. Активація більшості ферментів відбувається при прямій дії цинку, інші ж містять даний елемент. За умови недостатньої кількості цинку можна спостерігати порушення біосинтезу вітамінів B6 і B12, які є важливими при утворенні попередника ауксину – триптофану. Як наслідок – зменшення сухої речовини та хлорофілу в листках, зменшення вмісту аскорбінової кислоти.

Підвищена пасивна проникність мембран – типова ознака нестачі цинку, яка зайвий раз підкреслює важливість елемента в мембранній інтеграції. Знижений вміст в мембранах фосфоліпідів та поліненасичених кислот супроводжується посиленням виходом з клітин низькомолекулярних речовин. Висока проникність мембран призводить до накопичення у рослинах фосфору, а також хлоридів та бору до токсичного рівня. Взагалі, баланс живлення між цинком та бором має надзвичайно важливе значення, адже цинк сприяє утворенню ауксину, а бор відповідає за його повне використання. Зміщення шальки терезів в одну із сторін може призвести до катастрофічних наслідків – недостатня кількість ростових речовин, або ж навпаки їх понаднормова концентрація у рослинах.

Проявами дефіциту елемента у зернових культур є гальмування росту, жовте чи оранжеве забарвлення рослин на ранніх етапах розвитку, порушення анатомії листків (блідо-жовті смуги паралельно жилкам) та короткі міжвузля. Зазвичай ріст стебла пригнічується відчутніше, аніж ріст кореневої системи. Ці симптоми можуть комбінуватись з ознаками хлорозу і проявляються більш явно при високій інтенсивності освітлення.

В останні роки великої популярності поміж аграріїв набувають цинковмісні добрива. Причиною є те що майже 60% ґрунтів України характеризуються досить низьким ступенем забезпеченості цим елементом, а саме його рухомими формами. Вміст елемента становить в середньому 0,2-0,3 мг/кг ґрунту, що і є причиною обмеження потенційної врожайності багатьох сільськогосподарських культур, зокрема і зернових.

Найпопулярнішими в Україні формами цинковмісних добрив є:

1) Сульфат цинку (ZnSO₄ · 7H₂O) – кристалічний порошок білого кольору, в якому міститься 25% цинку доступного для рослин. Найпоширенішим способом застосування є передпосівна обробка насіння. Готується суміш з талькою різної концентрації у залежності від рослини. Так на 1 ц насіння зернових потрібно 35 г сульфату цинк і 200 г тальку. Також непоодинокі випадки використання для

передпосівної обробки насіння розчину сульфату цинку. 1 ц насіння необхідно обробити 8 л 0,05-0,1% розчині цієї солі.

Деяко рідше сульфат цинку застосовують під час основного удобрення (3 кг/га оксиду цинку на гектар) і рядкового гніздового підживлення (1 кг/га).

2) Цинкові полімікродобрива (ПМУ-7) – тонкий порошок темно-сірого кольору, що містить 25% Zn, 13% Cu, 1% MgO та інші елементи. Такі добрива застосовуються для передпосівного обпудрювання насіння. Для обробки 1 ц насіння необхідно 400-500 г порошку. При внесенні добрив у ґрунт рекомендована норма 3-5 кг/га.

3) Цинковмісний порошок – готова суміш тонкоподрібненого сульфату цинку (18-22%) та тальку. Підходить для передпосівного обпудрювання насіння. Рекомендовані норми: 2 кг/т. Суміш також може бути використана для овочевих культур.

Проте жодне із вище перелічених добрив не забезпечить рослину цинком протягом усього вегетаційного періоду, зважаючи на ряд факторів які однозначно перешкоджатимуть його надходженню в органи рослини, а це висока кислотність ґрунту, холодний та надто зволожений ґрунт, високий вміст сполук фосфору та понаднормове внесення фосфорних добрив, а також високий вміст гумусу. Тоді і постає питання яким чином усунути дефіцит цього мікроелементу в критичні періоди росту?

Оперативним та високоефективним способом ліквідації та профілактики цинкових дефіцитів протягом усієї вегетації є позакореневі підживлення. Особливо важливо проводити обробки у критичні фази розвитку рослин, коли здійснюється перехід від вегетативного до репродуктивного періоду. Взяти до прикладу зернові, для яких підживлення цинком впливає на кількість продуктивних стебел, якщо обробку провести у фазу кущення, а у період виходу в трубку – на кількість зернин у колосі. Стосовно періоду колосіння та наливу, то підживлення у цей період вплине на якість зерна та масу 1000 зерен.

Проте вплив на достатню ефективність та біодоступність засвоєння поживних елементів листовою поверхнею рослини має форма елемента, який міститься в добриві, особливо ефективні хелатні комплекси з вмістом цинку.

Впровадження в технології вирощування зернових культур додаткового збагачення посівного матеріалу цинком призведе до: підвищення схожості, інтенсифікації розвитку кореневої системи, покращення стійкості сходів до хвороб, несприятливих температурних умов та ґрунтових показників.

Встановлено позитивну тенденцію до підвищення урожайності зернових культур та накопичення цинку в зерні за умови позакорневих підживлень. Зокрема, підживлення у фазу молочної – молочно-воскової стиглості призведе до накопичення цинку врожаєм.

Отже, комплексний підхід до забезпечення рослин цинком варто розпочинати з внесення рекомендованих доз добрив в ґрунт та передпосівної обробки насіння, а завершувати позакореневим внесенням у пізні фази вегетації. Це відчутно покращить кількісні та якісні показники врожайності.

<https://youtu.be/QJTtaqPhbAI?feature=shared>

ТЕМА 6. Позакореневе живлення: за чи проти.

Глобальна зміна кліматичних умов, яка щороку стає все більш помітною, є причиною пошуку нових елементів технологій та методів вирощування сільськогосподарських культур. Аномальні температурні умови, брак вологи та ерозійні процеси, спричинені вітрами, – далеко не увесь перелік екзогенних природних процесів, які цього року стали чи не катастрофічними для сільськогосподарської галузі. Проте має місце і антропогенний чинник впливу, у вигляді тенденції до вирощування культур інтенсивного типу, які виснажують ґрунт та порушують його природну родючість. Як наслідок, спостерігається зниження норм внесення органічних і мінеральних добрив, що поступово призводить до деградації, зокрема і агрохімічної.

Одним словом, якщо про основні елементи живлення аграрії ще хоч якось дбають, то про інші – інколи і не згадують, вважаючи це пустою тратою грошей та часу. Але тут хочеться посперечатись і задати одне лише запитання, яке заставить задуматись над правильністю скептичних думок: «А чи вистачить в ґрунті лише макроелементів (NPK), щоб забезпечити рослину на увесь період росту та розвитку?». Думаю у більшості буде одна і та ж відповідь: «Звичайно ж ні».

Так, одними лише макроелементами рослини не «нагодуєш», оскільки науково доведено, що в повній мірі ростові процеси проходять лише за умови повноцінного живлення, тобто за наявності повного спектру необхідних елементів. Порівняння можливо буде для когось банальним, але хіба людський організм може існувати за відсутності в ньому заліза? Або ж опорно-руховий апарат функціонувати без Ca? Звичайно що ні! Так і рослинний організм не функціонує і тим більше не плодоносить за відсутності того чи іншого елемента живлення. Людина щоб поповнити дефіцит в організмі п'є вітаміни, а у рослини можливості зробити це самостійно немає, та і запаси елементів з ґрунту не безлімітні, тому і необхідність додаткового живлення є очевидною.

Багатьом спаде на думку, а як же класичні твердження про повноцінне поглинання хімічних елементів за допомогою лише кореневої системи? Ця теорія звичайно має право на життя, але за умови достатньої кількості вологи та оптимальних температур, чого точно не спостерігаємо в останні роки. Тож складається така ситуація, що коренева система не здатна поглинути необхідні для рослини елементи в повній мірі з багатьох причин, однією з яких є доступність елементів з ґрунтового розчину. От власне в той моменті постає завдання знайти оптимальний спосіб внесення добрив, який би повністю забезпечив рослину необхідними елементами живлення на певному етапі росту та розвитку.

Перш аніж впроваджувати метод позакоренових підживлень у свої технології необхідно розібратись загалом, що він собою являє і які є його особливості. **Підживленням рослин називається внесення добрив у певний період вегетації рослини шляхом розпилення на поверхню листа.** Застосовувати підживлення рослин макро- та мікроелементами шляхом внесення їх безпосередньо в ґрунт можна лише на початкових стадіях розвитку рослин. Це пояснюється насамперед збільшенням наземної маси і придатності доступу робочих органів сільськогосподарських машин до ґрунту. Як результат і виникла виробнича необхідність позакоренового підживлення рослин, тобто обприскування наземних органів розчинами макро- та мікродобрив. Позакореневе підживлення дає можливість диференційованого надходження елементів живлення в різні фази росту та розвитку рослин і має перевагу перед способом внесення добрив в ґрунт, так як дає впевненість, що елемент потрапить відразу в рослину в обхід поглинанню

кореневою системою та комплексу складних процесів перетворення, які проходять в ґрунті.

У ряді випадків, зокрема при змиканні листя в рядках, за суцільної сівби культури, або ж щоб запобігти гострому дефіциту елементу живлення, а як наслідок, зниження (втрати) врожаю, позакореневе підживлення є єдиним можливим способом швидкого забезпечення рослин необхідними добривами.

Основою позакореневого підживлення рослин є положення про те, що властивість поглинання води і мінеральних речовин виникла ще на початкових етапах еволюції, задовго до розчленування рослини на корінь, стебло і лист. Такі властивості мають одноклітинні, здатні до фотосинтезу водорості. При подальших глибоких структурних і функціональних змінах органів і тканин, рослини все ж зберегли здатність поглинати воду і мінеральні речовини не лише кореневою системою.

Позакореневе підживлення дає можливість диференційовано поставляти рослинам елементи живлення в різні фази їх росту і розвитку, мінімізує їх втрати і запобігає процесам адсорбції, які мають місце при ґрунтовому внесенні. Механізм поглинання поживних речовин при нанесенні на листову пластинку не значно відрізняється від поглинання їх кореневою системою і протікає в два етапи. На першому етапі відбувається міграція іонів всередину тканин листа завдяки процесам адсорбції і дифузії, на другому – переміщення їх в різні органи рослин. Водні розчини поживних речовин проникають в листок через його продиhi і через багатшарову кутикулу. У поглинанні елементів живлення беруть участь верхня і нижня сторони листа.

Нижня сторона листа на якій зосереджено більшу кількість продиhi, як правило, поглинає поживні речовини швидше, відразу після їх нанесення, але з часом поглинання обома сторонами листа вирівнюється. Проникнення іонів всередину протоплазми відбувається через плазмодесми. Зв'язок між активним перенесенням іонів і метаболізмом проходить на клітинному рівні. Процес адсорбції протікає майже миттєво, але його швидкість залежить від властивостей кутикули, будови та площі листа. Також на швидкість надходження поживних речовин впливає вологість листа (роса), вологість повітря, швидкість вітру, температура навколишнього середовища. У молодого листа іонний обмін проходить значно швидше. Швидкість проникнення елементів живлення через поверхню листа залежить від хімічного складу живильного розчину і його рН.

Наприклад, проникнення калію з розчину азотнокислої солі відбувається не раніше ніж через годину, а з хлористої солі проходить за 30 хвилин. З кислого розчину калій проникає повільніше, ніж з лужного. Проникнення магнію з сірчаної солі відбувається протягом 30 хвилин, з хлористої – через 15 хвилин. Азот з азотнокислої солі проникає в листя за 15 хв, а з амонійної солі тільки за 2 години. Поглинуті листям елементи живлення швидко надходять в інші органи рослини, вільно рухаються в висхідному і низхідному напрямках, можуть виділятися кореневою системою в ґрунтовий розчин. Фосфор на п'ятий день після позакореневого підживлення включається в структури нуклеїнових кислот і фосфоліпідів. При цьому швидкість надходження в рослини фосфору в 25 разів вища, аніж за ґрунтового внесення. Проте варто наголосити, що не замінюючи собою основного живлення, позакореневе є лише додатковим агротехнічним заходом підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

Отже, переваги позакореневого підживлення:

- 1) поживні речовини з позакореневого підживлення використовуються рослинами з меншими втратами, ніж за ґрунтового внесення завдяки уникненню процесів їх іммобілізації ґрунтом;
- 2) його можна проводити в різні періоди вегетації;
- 3) на засолених ґрунтах, де використання елементів живлення з ґрунту погіршується, позакореневе підживлення залишається високоефективними;
- 4) витрати добрив за умови позакореневого внесення значно менші, ніж за ґрунтового;
- 5) позакореневе підживлення забезпечує швидке проникнення елементів живлення в тканини рослин і при появі ознак дефіциту дає можливість швидко його усунути.

Варто зазначити, що позакореневе підживлення впливає не лише на обмін речовин та дихання, але і на поглинальні та видільні функції кореневої системи, підсилює використання рослинами поживних речовин із ґрунту. Воно має важливе значення для захисту рослин від хвороб, викликаних дефіцитом окремих елементів живлення в ґрунті та знижує пошкодження рослин грибовими та бактеріальними хворобами. Навіть в кінці періоду вегетації, коли асиміляція вуглекислого газу рослинами зменшується, позакореневе підживлення дозволяє підтримувати інтенсивність фотосинтезу, що сприяє підвищенню врожайності.

Але навіть провівши позакореневу обробку ми більш аніж впевнені, що можемо почути фразу «Не працює!». Але тут варто розібратись чому саме. Можливо причиною є банальне невиконання рекомендацій та недотримання умов.

Перший важливий аспект, який необхідно врахувати при проведенні позакореневого підживлення – недотримання концентрації робочого розчину, а також понаднормовий його розхід на одиницю площі. Це призводить як до збільшення витрати палива, так і уповільнює час обробітку та порушує оптимальні строки. Логічно, що для запобігання цьому необхідно застосовувати досить концентровані розчини, але це зазвичай призводить до опіків листя, що в подальшому усунути практично неможливо. Тож як цього уникнути? Дуже просто – читайте уважно етикетку продукту, який бажаєте придбати, або уже маєте в своєму арсеналі. Професійні виробники обов'язково пишуть на пакуванні не тільки рекомендації кількості робочого розчину на гектар, але і його концентрацію. Якщо ви цього не знайшли тоді шукайте в довідниках, або ж запитайте у професійного консультанта. Ніколи не працюйте наосліп!

І ще один важливий нюанс, необхідно враховувати час проведення обробітку та погодні умови, оскільки опірність до опіків великої кількості рослин залежить від товщини воскового нальоту або кутикули. Вони мінімальні в похмуру дощову погоду.

Другий аспект або ж точніше груба помилка у здійсненні позакореневих маніпуляцій – це надто насичені бакові суміші. Спокуса зберегти гроші та не проходити поле по кілька разів дуже велика. Але подумайте тільки, яка може бути «термоядерна» суміш, якщо в бак намішати фунгіцид, інсектицид, мікродобриво, регулятор росту і, як ще дуже любляють наші аграрії, все це «заправити» гуматами. Розумне рішення? Так, паливо можна зекономити, але очікуваний ефект від цього буде навряд чи, а хімічні реакції, що можуть виникнути при цьому інколи просто непередбачувані. До прикладу, візьмемо розчин мікродобрива з високим вмістом Міді (розчин прозоро блакитний), інший розчин фунгіциду з діючою речовиною фосетил алюмінію (розчин прозорий та однорідний). Проте в суміші вони провокують досить великі утворення схожі на пластівці, тобто абсолютно нові хімічні сполуки, які не потрібні нашому обприскувачу, а рослині і поготів.

Стосовно додавання в бакові суміші гербіцидів, то ми однозначно можемо спровокувати опік, а селективність дії багатьох гербіцидів обумовлена дуже чітким балансуванням доз та концентрацій поміж двома «вогнями», тобто не опалити рослини та знищити бур'яни. Додавання до розчину гербіцидів будь-якої іншої речовини однозначно порушує баланс і не варто потім висловлювати претензії виробникам хімічних препаратів. Та все дуже просто, перш аніж прийняти рішення про змішування препаратів ретельно вивчіть таблиці їх сумісності, але якщо сумніви все ж лишились тоді точно не економте, а пройдіть поле двічі.

Третій важливий аспект, на який необхідно зважати при плануванні позакореневих підживлень, це те, що різні елементи по різному поведуть себе в рослині. Поглинання поживних речовин та розподілення їх в клітинах листка, а також характер транспортування до інших частин рослини напряму залежить від їх мобільності, тобто який саме рух буде висхідний чи низхідний. Наприклад, мобільні елементи, а це азот, фосфор, калій та магній, рухаються вгору і вниз від точки поглинання та можуть переміщатись в ті точки, де є найбільша потреба в них. Зазвичай це молоді органи, а саме бруньки, молоде листя та коріння, що наростає. Елементи, які мають низьку мобільність (мідь, залізо, марганець, бор та кальцій) розподілятимуться лише вгору від точки поглинання, а тому, якщо при обприскуванні ми добре не покрили рослину розчином з вмістом цих елементів, то нижні яруси їх просто не отримують і знову спостерігатимемо явний дефіцит.

Четвертий аспект це необхідність врахування періоду (етапу) вегетаційного процесу. Кожна рослина має свою динаміку споживання елементів живлення і при позакореновому живленні ми не маємо змоги вносити «про запас», як це дуже часто роблять із внесенням добрив в ґрунт. Але дуже важливо зрозуміти і запам'ятати, що рослина неоднаково протягом росту та розвитку потребує азоту чи іншого елементу, є навіть етапи, коли вони взагалі не потрібні, а є коли без них рослина просто загине. Тож перш аніж впроваджувати позакореневі обробки у своє виробництво варто вивчити стосовно кожної рослини коли, що і для чого вносити і обов'язково враховувати це при обробках, коригуючи вміст елементів в баковій суміші.

П'ятий аспект – це врахування складу та форми елементів в добриві. На сьогодні спектр дуже великий і вибір зробити дуже складно, оскільки вони надто відрізняються між собою своїм складом, діючою речовиною та, звичайно ж, ціною. Але не завжди найдорожчий препарат є найякіснішим, інколи буває і навпаки. Аби зробити правильний вибір необхідно знати, що добрива для позакоренового живлення – це не прості суміші лише з макро- та мікроелементами. Для їх виробництва солідні компанії використовують чисту хімічну сировину, яка має достатньо високий ступінь подрібнення та низьку вологість, стабілізатори та ад'юванти (прилипачі).

Логічно, що насамперед при виборі необхідно звертати увагу на склад. Простіші добрива, зазвичай мають досить бідний хімічний склад, низький ступінь чистоти та досить погану розчинність, а як наслідок, при додаванні в розчині недостатнє зрошення листової поверхні. Окрім того, після їх використання на рослині може з'явитись сольовий наліт. Вони можуть бути доцільними лише на культурах екстенсивного типу, коли високих врожаїв не очікується, а забезпечення елементами має все ж таки відбутись.

Не менш важливо звертати увагу на форму в якій представлені діючі речовини. Одна з найефективніших – хелатна, що забезпечує стабільність в розчині та високий ступінь поглинання рослинами і є основною складовою у визначенні вартості таких добрив. Інколи замість хелатів використовують більш дешеві

комплексони, проте вони менш стабільні і дещо гірше засвоюються, але в певній мірі можуть допомогти відкоригувати живлення рослин. Найсучасніші наукові розробки являють собою полімерні хелатні комплекси та сполуки на основі амінокислот, які працюють на клітинному рівні, забезпечуючи безперебійну роботу ферментативних систем. Ці речовини практично не втрачають ефективність при обробках за різних температурних умов, а високий ступінь чистоти сполук забезпечує високу їх ефективність.

Низький вміст деяких мікроелементів в ґрунтах України та тенденція до зростання дії перешкоджаючих факторів (брак вологи, суховії, аномальні температурні умови) стали реальною перешкодою для подальшого підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Отже, позакореневе підживлення можна вважати мірою «швидкої допомоги» рослинам в регулюванні і оптимізації їх мінерального живлення. Застосування мікроелементів через позакореневе підживлення підвищує вміст хлорофілу в листових пластинках, підсилює фотосинтетичну діяльність, сприяє синтезу білків, вуглеводів, жирів, вітамінів. Рослини стають більш стійкими до атмосферної та ґрунтової посухи, впливу підвищених і знижених температур, пошкодження шкідниками і хворобами.

ТЕМА 7. Синергізм та антагонізм елементів живлення.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Si	Cl	Na	B	Mn	Cu	Zn	Mo
N															
P															
K															
Ca															
Mg															
S															
Fe															
Si															
Cl															
Na															
B															
Mn															
Cu															
Zn															
Mo															

- АНТАГОНІСТИ (надлишок одного призводить до дефіциту іншого)
 - БЛОКУЮТЬ ОДИН-ОДНОГО (не можна вносити разом)
 - СИНЕРГІСТИ (допомагають один-одному)

© Інститут живлення рослин

Чи не основною умовою нормального функціонування, росту та розвитку будь-якого живого організму виступає збалансованість його хімічного складу. Не винятком є і рослинний світ, де взаємодія хімічних елементів має осново творче значення. Взаємодія між хімічними елементами у рослині може описуватись одним з двох понять: антагонізм та синергізм. Незбалансовані реакції можуть призвести до стресів рослини, а вони у свою чергу, можуть викликати навіть загибель.

Антагонізм виникає, коли спільна фізіологічна дія елементів менша суми дії цих елементів по одинці, а синергізм, коли більша. Така взаємодія великою мірою визначає здатність одного елементу сприяти або загальмовувати засвоєння іншого. Або якщо простіше, антагонізм – явище, при якому понаднормове засвоєння одного мікроелементу викликає дефіцит іншого, а синергізм – явище, коли засвоєння одного елемента сприяє кращому засвоєнню іншого.

Як видно з малюнку, чим більше для вирощування рослини буде внесено заліза (Fe), тим гостріше рослина відчуватиме дефіцит кальцію (Ca). А ось внесення азоту сприятиме кращому засвоєнню фосфору, калію та магнію.

Доволі часто окрім елементів антагоністів та синергістів прийнято виділяти також і третю групу. Елементи, які блокують один одного. Для прикладу, одночасне внесення купруму та кальцію є неефективним, оскільки рослина засвоїть лише один з цих елементів живлення.

Взаємодія між мікроелементами в рослині підкреслює складність цих процесів, оскільки в деяких умовах грань між синергізмом та антагонізмом може бути досить відносною. Інколи дані процеси проявляються у метаболізмі більш як двох елементів. Найбільш поширені антагоністичні реакції між макро- та мікроелементами, тоді як мікроелементи між собою здебільшого є нейтральними і не реагують на «побратимів».

Макро- та мікроелементи в організмі рослин знаходяться у тісній взаємодії, тому головним фактором, що забезпечує їх нормальний розвиток є забезпечення правильного співвідношення поживних речовин та хімічних елементів. Майже всі елементи є або антагоністами, або синергістами по відношенню один до одного.

Антагонізм між елементами виникає у випадку якщо їх спільна участь в хімічних реакціях призводить до погіршення засвоєння одного з них.

Наприклад:

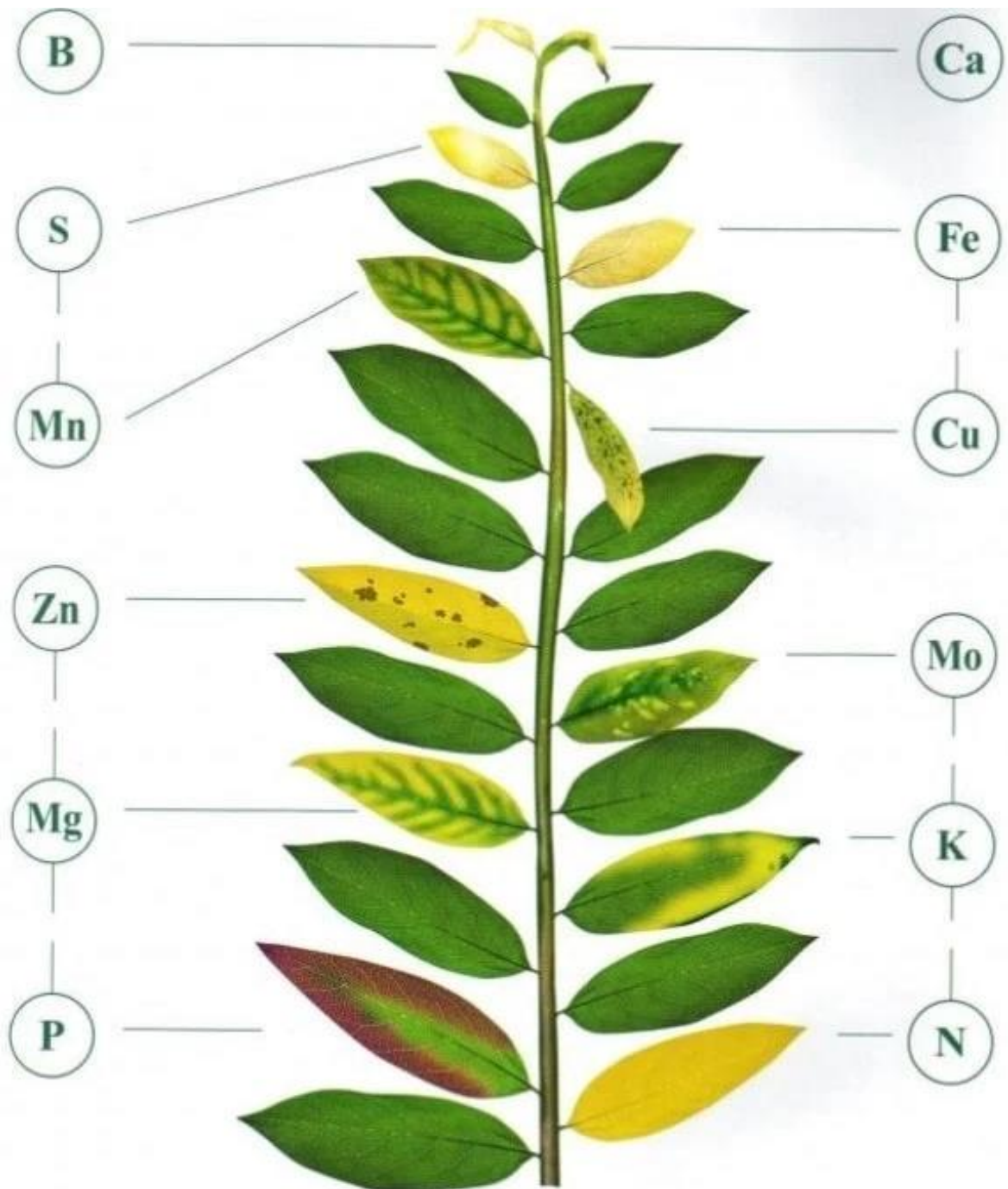
- Надмірна кількість N (азоту) зменшує поглинання P (фосфору), K (калію), Fe (заліза) і деяких інших елементів: Ca (кальцію), Mg (магнію), Mn (марганцю), Zn (цинку), Cu (міді);
- Надмірна кількість P (фосфору) зменшує поглинання катіонів таких мікроелементів як Fe (залізо), Mn (марганець), Zn (цинк) і Cu (мідь);
- Надмірна кількість K (калію) зменшує поглинання Mg (магнію) в більшій мірі і Ca (кальцію) в меншій мірі;
- Надмірна кількість Ca (кальцію) знижує поглинання Fe (заліза);
- Надмірна кількість Fe (заліза) знижує поглинання Zn (цинку);
- Надлишок Zn (цинку) погіршує доступність Mn (марганцю).

На відміну від антагонізму синергізм є комплексна дія елементів (двох або більше), при якому досягається посилення позитивного результату їх впливу на рослину:

- Достатня кількість N (азоту) забезпечує оптимальне поглинання K (калію), а також P (фосфору), Mg (магнію), Fe (заліза), Mn (марганцю) і Zn (цинку) з ґрунтів;
- Достатній рівень Cu (міді) і B (бору) покращує поглинання N (азоту);
- Оптимальне кількість Mo (молібдену) підвищує засвоюваність культурами N (азоту), а також збільшує поглинання P (фосфору);
- Достатня кількість Ca (кальцію) і Zn (цинку) покращують засвоєння P (фосфора) і K (калію);
- Оптимальний рівень S (сірки) підвищує поглинання Mn (марганцю) і Zn (цинку);
- Достатня кількість Mn (марганцю) збільшує поглинання Cu (міді).

Явища антагонізму та синергії залежать від типу ґрунту, фізичних властивостей, рН, навколишнього середовища, температури і кількості поживних речовин. Якщо спостерігається подібність у будові двох або більше елементів, то вони здатні заміщати один одного в біохімічних системах, що і викликає антагонізм цих поживних речовин. Агрономи завжди повинні враховувати конкуренцію елементів, що містять аналогічні за розміром, валентності і заряду іони. Це дуже важливо при складанні збалансованого комплексу добрив, необхідних для гармонійного розвитку культур.

<https://youtu.be/kiMRsZuuxwM?feature=shared>



Симптоми нестачі елементів живлення

ТЕМА 8. Листкова діагностика польових культур на вміст мікроелементів та шляхи компенсації їх нестачі.

На сьогодні аналіз ґрунту ніхто не робить частіше як один раз на 3-5 років або ж взагалі не роблять (стосується дрібних господарств), але контролювати вміст елементів живлення якимось чином однозначно треба, якщо не в ґрунті то в рослині точно. Тож проблема коригування живлення сільськогосподарських культур на стоїть неабияк гостро. Вивчивши та впровадивши в агропромислове виробництво

функціональну експрес діагностику буде змога вчасно реагувати, а подекуди і реагувати на зміни у рості та розвитку рослин.

Функціональні методи діагностики дозволяють визначити не вміст того чи іншого елемента живлення, а потребу рослин у ньому. Цю потребу можна оцінити, контролюючи інтенсивність фізіолого-біохімічних процесів. Принцип даного методу полягає в наступному. Визначають фотохімічну активність суспензії хлоропластів, додають елемент живлення в певній концентрації і знову визначають фотохімічну активність суспензії. У разі підвищення фотохімічної активності суспензії хлоропластів в порівнянні з контролем (без додавання елементів) робиться висновок про нестачу даного елемента, при зниженні – про надлишок, при однаковій активності – про оптимальну концентрацію у живильному середовищі.

Загальновідомо, що рослина не може обійтись лише азотом, фосфором та калієм. Для функціонування всіх фізіологічних процесів розвитку рослин необхідні ряд мікроелементів, зокрема Mg (магній), Ca (кальцій), S (сірка), Fe (залізо), Mn (марганець), Zn (цинк) Cu (мідь), B (бор) та Mo (молібден) залізо (Fe), мідь (Cu), молібден (Mo), (і це ще не увесь перелік). Загалом кожен з них виконують свою особливу функцію і відповідає за підвищення ефективності багатьох ферментів, є регуляторами фітогормонального стану, посилюють засвоєння елементів живлення з ґрунту [4]. Це пов'язано з тим, що основна частина мікроелементів є каталізаторами, які пришвидшують біохімічні реакції та спрямовують їх в потрібне русло. Через це мікроелементи не можна замінити будь-якими іншими речовинами, оскільки їх нестача провокує збій росту та розвитку рослин. Але необхідно наголосити, що деякі з них в надлишкових кількостях мають згубний вплив як на рослини так і навколишнє середовище загалом.

Загалом існує три методи визначення нестачі (або ж надлишку) елементів живлення в рослині: візуальний, хімічний і функціональний. Найпростіший, найшвидший та найдешевший, чи точніше, практично безкоштовний це метод візуальної оцінки. Тобто ідентифікація за зовнішніми змінами в рослині порушення процесів живлення. На це може вказувати зміна забарвлення листя, пригнічення росту, втрата тургору, засихання та скручування листя та ще безліч зовнішніх ознак. Проте це не дасть нам знань про в якій саме кількості чого не вистачає. У цьому і полягає основний недолік візуального методу. Для точного визначення нестачі (надлишку) конкретного елемента необхідний величезний практичний досвід та глибокі знання в агрономії аби поставити точний «діагноз». Оскільки зовнішні ознаки досить часто дуже схожі і помилитись, визначаючи чого саме не вистачає, можна дуже легко (див. рис.).

-N

-Fe



Рисунок 1. Подібність візуальних ознак нестачі елементів живлення

І ще один дуже важливий момент, за умови прояву візуальних ознак порушень досить часто буває уже дуже пізно і ймовірність, що препарати подіють зводиться практично до нуля, зазвичай пішли уже незворотні фізіологічні процеси, що носять некротичний характер.

Інший варіант це хімічна лабораторна діагностика тканин або листя. Так, за її допомогою можна визначити хімічний склад рослини, проте і вона не дасть знань про нестачу того чи іншого елемента і не покаже величини надлишку. Кількість поглинутих рослинами елементів живлення не завжди відображає реальну потребу в них. Процеси поглинання і засвоєння елементів залежать від синергетично-антагоністичних взаємодій між ними. Тому методи діагностики живлення рослин, які базуються на хімічному аналізі вмісту елементів у тканинах, не завжди дають об'єктивну інформацію. Крім того, такі методи часто потребують значних витрат часу, що обмежує можливість швидкого прийняття рішень про необхідність коригування системи живлення рослин. Тому увагу вчених і виробників привертають експрес методи, які дозволяють врахувати природу взаємодії елементів живлення між собою на всіх етапах надходження в рослину й їхню участь в метаболізмі.

Один з найоптимальніших і не дороговартісних, варіантів діагностики рослин протягом вегетації – це функціональний метод листової діагностики. Суть методу полягає у визначенні фотохімічної активності суспензії хлоропластів (спеціальний розчин зроблений із зеленої маси рослин), яку роблять з середньої проби рослин, що підлягають діагностуванню. Далі в суспензію додають елемент живлення в сталій концентрації і повторно визначають фотохімічну активність за допомогою спеціального пристрою (спектрофотометра). Якщо фотохімічна активність хлоропластів підвищена у порівнянні з контролем (розчином без додавання елементів) це свідчить про нестачу елемента живлення. Якщо ж активність знижена то це свідчення надлишку елемента, а однакова активність двох розчинів – оптимальна концентрація елемента в рослині.

Дуже важливо правильно відібрати проби рослин. Найкраще відбір проводити в сонячну погоду, але температура повітря не повинна перевищувати $+35 - +37^{\circ}\text{C}$. Проби відбираються в чорний поліетиленовий пакет. Термін доставки проб в лабораторію не повинен перевищувати годину, але за відсутності такої можливості може зберігатись в холодильнику при температурі $+5 - +6^{\circ}\text{C}$, тоді термін зберігання може бути збільшено до 2-3 годин. Найкраще відбирати проби зранку з 8 до 10 години або ж в післяобідню пору, коли сонячна активність знижується.

В залежності від виду рослини, для аналізу використовують листя середнього ярусу (3-4-ий лист зверху) у дорослих рослин, а молоді рослини беруться повністю. Якщо за певних причин важко визначити 3-4 лист або ж він дуже пошкоджений, то відбирають молоді рослини, що розміщені на досліджуваній площі. Ще один важливий момент, якщо на полі є ділянки, які різко відрізняються на загальному фоні, необхідно взяти проби окремо аби з'ясувати причину даного явища. З просапних культур пробу беруть не менше як з 20 рослин, по 1-2 листка з кожної, у зернових і трав із 50-100 рослин, також по 1-2 листа з рослини.

В загальному діагностика дозволяє визначити потребу в 12 елементах живлення (N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn, Mn, Fe, Mo, Co). В результаті отримуємо дані, якого саме елемента живлення потребують рослини в конкретний період вегетації та будуємо графік, на якому чітко видно оптимум, мінімум і песимум кожного елемента (див. рис. 2.). Завдяки діагностиці також отримуємо інформацію, який з елементів є в надлишку і аби запобігти токсикації виключаємо його внесення.



Рисунок 2. Графік за результатами функціональної діагностики.

Корегування системи живлення дозволить не лише налагодити процеси обміну та метаболізму у рослин, але і підвищити якісні та кількісні показники врожаю.

Перевага функціональної діагностики полягає в тому, що дефіцит (надлишок) елементів живлення виявляється на 3-5 діб раніше ніж за допомогою візуальної, і щонайменше на тиждень раніше ніж після лабораторної діагностики. Експресність методу дозволяє надати інформацію потреби в елементах живлення будь якої рослини за 2-3 години. Фотохімічна активність хлоропластів дозволяє контролювати ще й інтенсивність фізіологічних та біохімічних процесів, які власне і сигналізують, що саме необхідно для рослини. Даний метод дає змогу перед кожним підживленням відкорегувати вміст бакової суміші, що дозволить не тільки відрегулювати живлення рослин, але і знизити загальні витрати.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна

1. Журавель С. В., Кравчук М. М., Кропивницький Р. Б., Клименко Т. В., Трембіцька О. І., Радько В. Г., Нігородова С.А., Дяченко М. О., Журавель С. С, Поліщук В. О. Органічні добрива: навч. посіб. / За ред. С. В. Журавля. Житомир: Вид-во Поліського ун-ту, 2020. 200 с.

2. Лісовий М.М., Таргоня В.С., Федорчук С.В., Клименко Т.В., Трембіцька О.І., Журавель С.В., Бакалова А.В. Технології біовиробництва (на основі біотехнологій): навчальний посібник. Житомир: ЖНАЕУ, 2018. С.244.

3. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 560 с.

4. Господаренко Г. М. Система застосування добрив: підручник. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2018. 376 с.

5. Марчук І. У., Бикіна Н. М., Бордюжа Н. М. Діагностика живлення рослин: навчальний посібник. Київ: ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ», 2015. 242 с. 4. Господаренко Г. М. Удобрення садових культур: навчальний посібник. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2017. 340 с.

6. V. Polovyy, P. Hnativ, Józef Chojnicki, N. Lahush, V. Ivaniuk, M. Avhustynovych, O. Haskevych, L. Lukashchuk, M. Lukyanik Changes in the agrochemical indices of Luvic Greyzemic Phaeozems under the impact of west Ukraine climate iridization «Soil science annual», 2022, 73(1)146855, p. 1-8 (індекс. у НМБД Scopus)

DOI: <https://doi.org/10.37501/soilsa/146855>

7. V. Polovyy, P. Hnativ, Józef Chojnicki, V. Lykhochvor, N. Lahush, N. Yuvchik, H. Ivanyuk, L. Lukashchuk, M. Avhustynovych, H. Kosylovych, Y. Korinec Influence of climate dynamics and liming on physicochemical soil properties and crop- rotation productivity of North-Western Polissya in Ukraine «Soil science annual», 2022, 73(1)146856, p. 1-9 (індекс. у НМБД Scopus)

DOI: <https://doi.org/10.37501/soilsa/146856>

Допоміжна

1. Балюк С.А., Новікова Г.В., Гаврилович Н.Ю. Використання солонцевих ґрунтів України //Вісник аграрної науки.-2001.-№10.-С.12-15.

2. Гаврилюк В.А., Бортнік Т.П., Ковальчук Н.С., Августинович М.Б. Вплив добрив на основі місцевих сировинних ресурсів на відтворення родючості ґрунтів зони Полісся у контексті зміни клімату / В.А. Гаврилюк, Т.П. Бортнік, Н.С. Ковальчук, М.Б. Августинович / Вісник НУВГ. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць. – Рівне, 2020. – Вип. 2(90). – С. 154-166.

3. Гаврилюк В.А., Середюк Л.Є., Августинович М.Б., Гаврилюк С.В., Ковальчук Н.С.. Дослідження сучасого стану вологозабезпечення дерново-підзолистого ґрунту в умовах Західного Полісся / [В.А. Гаврилюк, Л.Є. Середюк, М.Б. Августинович та ін] // Вісник НУВГ. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць. - Рівне: 2021. – Вип. 1(93). – С. 70-77.

4. Балюк С.А., Ромашенко М.І. Ґрунтозахисні заходи – як основа збереження родючості та покращення агроекологічного стану зрошуваних земель //МТНЗ

„Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. випуск до VI з'їзду УТГА. – Книга перша. - Харків, 2002.- С.58-67.

3. Булигін С.Ю., Думін Ю.В., Куценко М.В. Оцінка географічного середовища та оптимізація землекористування. Харків: ТОВ “Світло зі Сходу”, 2002.-168 с.

4. Булигін С.Ю. Регламентация технологічного навантаження земельних ресурсів //Землевпорядкування.-2003.-№1. - С.38-43.

5. Рекомендації для ведення сільськогосподарського виробництва в умовах радіаційного та токсикологічного забруднення у Волинській області: Науково-виробниче видання // За ред Мерленка І.М., Зінчука М.І./ І.М.Мерленко, М.І.Зінчук, В.А.Гаврилюк, Р.В.Джурик та ін. - Луцьк, 2010. -42с.

6. Вилучення з інтенсивного обробітку малопродуктивних земель та їхнє раціональне використання /Методичні рекомендації. За ред. В.Ф.Сайка. – К.:Аграрна наука, 2000.-39 с.

7. Гнатенко О.Ф., Петренко Л.Р., Капштик М.В. та ін. Ґрунтознавство. Лабораторний практикум.-К.:РВЦ НАУ, 2000.-170 с.

8. Земельний кодекс України /Екологічне законодавство України. Збірник законодавчих актів. Видання четверте. Харків: ЕКОПРАВО, 2002.-С.67-168.

Корисні інтернет-ресурси:

https://www.youtube.com/channel/UC_AFhVo6dnU9flCjk1LI-DA

<https://minagro.gov.ua> – офіційний сайт Мінагрополітики www.naas.gov.ua - Національна академія аграрних наук України: Головна

www.issar.com.ua - ННЦ Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім О.Н Соколовського

<https://zemlerobstvo.com.ua> - офіційний сайт Національний науковий центр “Інститут землеробства НААН.

Барабаш М. Використання біологічних препаратів — крок до біологічного землеробства [Електронний ресурс] / М. Барабаш, Г. Круковська. – Режим доступу: <http://www.ukragroportal.com/propoz>.

Біотехнології в умовах глобалізації комунікаційного середовища [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.ukragroportal.com/propoz>

Бульботко Г. Регулятори росту рослин і продуктивність картоплі [Електронний ресурс] / Г. Бульботко. – Режим доступу : <http://www.ukragroportal.com/propoz/index.html?PropozRubID=4&Year=&NumID=&obl=&ItemID=1040&Page=20>

Досвід ведення органічного агровиробництва в Європейському союзі : моделі розвитку в Україні” [Електронний ресурс] / Віда Марія Рудковіне [та ін.]. – 2006. – Режим доступу : www.ifoam.org

Журнал "Агроном", <https://www.agronom.com.ua/publikatsiyi/zemlerobstvo/>

Збірка правил органічного виробництва рослинницької продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.minagro.gov.ua.

Сучасні підходи управлінням живлення рослин: опорний конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Агрономія» галузі знань 20 Аграрні науки і

продовольство, спеціальності 201 Агрономія денної та заочної форм навчання / уклад., М.Б. Августинович. - Луцьк, Луцький НТУ, 2023, - 48с.

Комп'ютерний набір: М. Августинович
Редактор: М. Августинович

Підписано до друку «___» _____ Формат 60x84/16. Папір офс.
Гарн. Таймс. Умовн. друк. арк. 3,6.
Тираж ___ прим.

Інформаційно - видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018 Україна, м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ІВВ ЛНТУ