

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ І ЗАГАЛЬНОБІОЛОГІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

КУРС ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«ФІЗІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНІ ПРИЙОМИ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН»

спеціальності 201 «Агрономія»

освітнього ступеня «доктор філософії»

м. Кам'янець-Подільський

2022

УДК 631.8:633(072)

Укладач:

Уляна НЕДІЛЬСЬКА доцент кафедри екології та загальнобіологічних дисциплін Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат сільськогосподарських наук

Рекомендовано до друку науково-методичною радою

Закладу вищої освіти «Подільського державного університету

(протокол № 8 від 22.11.2022 р.)

Рецензенти:

Микола БАХМАТ доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри землеробства, ґрунтознавства та захисту рослин Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

Вадим МЕНДЕРЕЦЬКИЙ доктор педагогічних наук, професор кафедри географії та методики її викладання Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка

Курс лекцій з дисципліни «Фізіолого-екологічні прийоми живлення рослин» для освітнього ступеня «Доктор філософії» спеціальності 201 «Агрономія» / У.І. Недільська. – Кам'янець-Подільський, 2022. –134 с.

Курс лекцій складений у відповідності з програмою навчальної дисципліни «Фізіолого-екологічні прийоми живлення рослин». У виданні відображено теоретичний матеріал з курсу живлення с.-г. культур. Розглянуто ефективні прийоми застосування органічних і мінеральних добрива у живленні рослин і оцінювання ефективності їх застосування.

Для освітнього ступеня «Доктор філософії» спеціальності 201 «Агрономія»

УДК 631.8:633(072)

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Мета та цілі курсу	6
Структура навчальної дисципліни	7
Тема 1. Концептуальні засади живлення рослин.....	8
Тема 2. Наукові принципи удобрення рослин.....	21
Тема 3. Органічні добрива у живленні рослин.....	37
Тема 4. Мінеральні добрива у живленні рослин.....	59
Тема 5. Фізіолого-екологічні прийоми оптимізації живлення рослин.....	76
Тема 6. Ефективні прийоми і технології використання добрив.....	96
Тема 7. Екологічні проблеми використання добрив.....	115
Список використаної літератури	132

ВСТУП

Живлення рослин відіграє важливу роль у вирішенні однієї з головних задач у розкритті механізмів продуктивного процесу на загальному тлі інтенсифікації рослинництва з метою теоретичного обґрунтування інтенсивних технологій вирощування основних сільськогосподарських культур. Принципово нові технології базуються також на використанні нових видів добрив, створених на полімерній основі з програмованим вивільненням поживних речовин. Оптимальне живлення рослинних організмів у сполученні з раціональним підвищенням ефективності застосування добрив і зменшенням забруднення навколишнього середовища продуктами хімізації дозволить підвищити врожай і поліпшити якість сільськогосподарської продукції.

Кореневе живлення рослин важливий фізіологічний процес в житті рослин. Важливість цього процесу визначається двома обставинами. З одного боку, цей процес на прикладі рослин є теоретичною основою раціонального використання мінеральних речовин - ефективного засобу керування продуктивністю сільськогосподарських рослин; з іншого боку - кореневе живлення розкриває багатобічний взаємозв'язок між рослиною і середовищем за допомогою живлення мінеральними елементами. Від подальших успіхів наукових досліджень кореневого живлення рослин залежить рішення деяких нагрітих питань продовольчої проблеми.

Сутність кореневого живлення складається в поглинанні і включенні в метаболізм мінеральних елементів у результаті обміну речовин між рослиною і навколишнім середовищем.

Актуальність до кореневого живлення рослин пов'язана з його теоретичними успіхами біохімічного, онтогенетичного й екологічного напрямків. Біохімічний напрямок розглядає функціональне значення макро- і мікроелементів для рослинного організму, виявляє шляхи біосинтезу органічних сполук з елементів мінерального живлення, визначає роль мінеральних речовин як регуляторів стану колоїдів клітини. Онтогенетичний напрямок досліджує

можливі шляхи керування ростом і розвитком рослин за допомогою елементів мінерального живлення. Екологічний напрямок виявляє залежність внутрішніх процесів рослинного організму від наявності хімічних елементів у зовнішнім середовищі. Найбільш актуальними питаннями в наукових дослідженнях про кореневе живлення є наступні:

- розробка біохімічної теорії живлення рослин для більш ефективного використання довгостроково діючих мінеральних добрив і використання елементів мінерального живлення як фактору стійкості рослин;
- вивчення можливості регулювання співвідношення між вегетативними й органами, що запасують, за допомогою мінерального живлення;
- з'ясування поглинаючих і метаболічних функцій корневих систем під впливом фізіологічно активних речовин;
- вивчення ролі елементів мінерального живлення у формуванні енергетичних і окисних систем рослин;
- розкриття механізму біологічної фіксації азоту атмосфери і використання його вищими рослинами;
- вивчення питань проникнення іонів через клітинні мембрани і їх компартментація в клітинах, транспорту іонів у тканини й органи;
- з'ясування ролі мінерального живлення при культурі тканин, зв'язаного з розробкою сучасних технологій в одержанні високопродуктивних форм рослин з меристем;
- вивчення питань кореневого живлення при керуванні вегетативним ростом і генеративним розвитком рослин.

З'ясування цих питань наблизить нас до керування продуктивністю рослин на більш високій теоретичній основі мінерального живлення; розгляд іонного транспорту як системи процесів, що складають основу матеріального й енергетичного обмінів у рослині; обґрунтування процесів засвоєння рослиною мінеральних речовин як активних фізіологічних явищ.

1. МЕТА ТА ЦІЛІ КУРСУ

Навчальна дисципліна «Фізіолого-екологічні прийоми живлення рослин» є вибірковою при підготовці фахівців спеціальності 201 «Агрономія» освітнього ступеня «Доктор філософії».

Мета вивчення навчальної дисципліни полягає в одержанні здобувачами вищої освіти теоретичних знань, практичних навичок та розуміння того, що фізіолого-екологічні прийоми живлення рослин це цілісна чітко обґрунтована система з комплексом доцільних, взаємопов'язаних елементів та з відповідними підходами фізіолого-біохімічних процесів мінерального живлення високо інтегральними рівнями цілісного рослинного організму та стійкості до несприятливих факторів навколишнього середовища, а також взаємодії з іншими організмами.

Основні завдання навчальної дисципліни: формування об'єктивних знань та вмінь в наступних питаннях:

- розуміння процесу живлення рослин та шляхи надходження елементів живлення;
- знань наукових принципів удобрення, їх відмінних основних чинників підвищення врожайності та закономірностей ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур;
- розуміння нових світових та європейських тенденцій живлення рослин у формуванні агротехнологій;
- вміння пояснити принципи організації основних виробничих процесів та елементів живлення рослин при вирощуванні сільськогосподарських культур;
- вміння розробляти та реалізовувати основні елементи живлення рослин у технології вирощування; здатність оцінити потенційні можливості сучасних сортів та гібридів стосовно ґрунтово-кліматичних ресурсів конкретного регіону;

- вміння контролювати процес формування продуктивності культурних рослин в польових умовах та науково обґрунтовувати доцільність проведення тих чи інших технологічних заходів;

- вміння проводити комплексний аналіз живлення рослин з урахуванням організаційної і економічної ефективності і на основі таких знань забезпечити високу економічну ефективність вирощування культур.

Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Очна (денна, вечірня) форма навчання				
	усього	у тому числі			
		лекції	лабораторні	практичні	самостійна робота
Тема 1. Концептуальні засади живлення рослин	4	2		2	8
Тема 2. Наукові принципи удобрення рослин	4	2		2	8
Тема 3. Органічні добрива в живленні рослин	8	2		2	8
Тема 4. Мінеральні добрива в живленні рослин	6	2		2	10
Тема 5. Фізіолого-екологічні прийоми оптимізації живлення рослин	6	2		2	10
Тема 6. Ефективні прийоми і технології використання добрив	8	2		2	8
Тема 7. Екологічні проблеми використання добрив	8	2		4	8
Усього годин	90	14		16	60

Тема 1: КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

1. Хімічний і біохімічний склад рослин.
2. Шляхи надходження елементів живлення.
3. Сполуки, в яких рослини поглинають елементи живлення.
4. Вплив мінерального живлення на біологічну цінність урожаю.

Живлення рослин – процес поглинання із зовнішнього середовища і перетворення поживних речовин у сполуки, необхідні для життєдіяльності рослини, пересування первинно поглинутих поживних речовин та їхнє перетворення і локалізація для наступного використання

Живлення - це обмін речовин між рослиною і навколишнім природним середовищем, перехід речовин з ґрунту і повітря в рослину до складу органічних сполук, які синтезуються в рослинному організмі, та виведення частини їх із нього.

За повітряного живлення рослини на відміну від кореневого живлення, зазвичай рівномірно забезпечуються вуглекислим газом (CO_2). Для фотосинтезу рослині потрібні світло, волога, мінеральні елементи.

Кореневе живлення залежить не лише від біологічних особливостей культур і забезпечення продуктами фотосинтезу, а й від інтенсивності росту кореневої системи, структури і вологості ґрунту, реакції середовища, вмісту та співвідношення рухомих сполук елементів живлення, діяльності ґрунтової біоти, корневих виділень тощо.

1. Хімічний і біохімічний склад рослин

Хімічний склад рослин – це вміст у них органічних і мінеральних речовин та деяких хімічних елементів. У складі сухої речовини рослин 90-95 % становлять органічних сполук, які у рослинах представлені білками та іншими азотистими сполуками, жирами, крохмалем, клітковиною, пектинами.

На якість і кількість органічних речовин у рослинах значно впливають умови живлення. *Достатні кількості азоту і сірки у ґрунті сприяють утворенню в рослинах білків. Оптимальне фосфорне і калійне живлення забезпечує накопичення вуглеводів – цукрів, крохмалю, клітковини, жирів. Мікроелементи сприяють поліпшенню якості врожаю.*

Між хімічним складом ґрунту і хімічним складом рослин немає прямої залежності. Деяких хімічних елементів у ґрунті може бути багато, проте в рослини вони або зовсім не надходять, або потрапляють у дуже невеликих кількостях, а інших хімічних елементів, яких у ґрунті мало, в рослинах накопичується велика кількість – рослини вибирають ці речовини з ґрунту. *Отже, поглинання мінеральних речовин має вибірковий характер який успадковується генетично і водночас залежить від їх концентрації в поживному середовищі.*

Хімічні елементи необхідні для росту і формування врожаю, називають *біогенними*. Інші елементи живлення потрапляють у рослини випадково, пасивно і фактично не потрібні для їх росту і розвитку. *С, Н, О, N називають органогенами*, оскільки з них складаються органічні речовини вони формують 95% сухої речовини. Решту 5% становлять зольні елементи (залишаються після спалювання рослин – К, Са, Mg, Р).

Для нормального розвитку організму необхідні 27 елементів, із них 11 макро (С, Н, О, N, Са, Mg, S, Р, Na, К, Cl) 16 мікро (мікробіогенні) I, Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Mo, As, B, Se, Cr, Fe, V, Si, F, Sn.

Сьогодні чітко встановлено, що життєва необхідність хімічних елементів визначається не скільки їх кількісним вмістом в організмі, стільки активністю участі в процесах утворення органічної речовини. А це визначається властивостями елемента. Нині виділяють понад 20 груп чинників, які впливають на формування хімічного складу рослин, але найважливіші з них 3:

1. *Вміст хімічного елемента в середовищі.* Під дією цього чинника вміст елемента в рослині може змінюватися в 10^4 - 10^6 разів і більше.

2. Мінеральні форми перебування хімічного елемента в зоні коренів: ґрунтах, гірських породах, ареалах розсіювання тощо. Ці мінеральні, а іноді й без мінеральні форми перебування елемента в зоні кореневого живлення визначають відносний вміст засвоюваних рослинами (рухомих) форм хімічних елементів.

3. Розподіл хімічних елементів за органами рослин і їх часова динаміка. Вміст хімічного елемента в різних органах рослин може змінюватися в 30-300 разів і більше. Зміни вмісту деяких хімічних елементів у рослинах, зв'язані з їх ростом, також можуть бути значними.

Багато інших чинників можна віднести до другорядних, дія кожного з яких змінює вміст елемента в рослині не більш, ніж у 2-10 разів.

Нестача одного з макро- чи мікроелементів знижує врожай й унеможливорює ефективне засвоєння рослиною інших життєво важливих складових. Слід зауважити, що ефект «передозування» однієї зі складових є точно таким, як і її «нестача» - настає пригнічення і блокування життєво важливих процесів у рослині, як результат - деформація плодів, зерна, зниження якісно-кількісних показників урожаю. Цю закономірність було виведено під назвою правило бочки Лібіха «різка нестача або надлишок елемента обмежує дію інших елементів (навіть якщо вони знаходяться в оптимальних кількостях)».

Після формулювання теорії мінерального живлення рослин Ю. Лібіхом, учені встановили низку загальних закономірностей і правил.

Правило незамінності елементів мінерального живлення рослин стверджує, що роль кожного елемента живлення є унікальною і самостійною, тому для нормального росту й розвитку рослин його не можна замінити на інший, наприклад фосфор - на азот або сірку - на залізо.

Правило нормованої потреби - засвоєння кожного елемента живлення відбувається у тій кількості, якої потребує рослина. Це правило має відносний характер: зміна в кількості засвоєння одного елемента зумовлює зміну потреб у низці інших елементів. Наприклад, високий рівень живлення азотом зазвичай підвищує потребу рослин у деяких мікроелементах.

2. Шляхи надходження елементів живлення

Елементи живлення рослин належать до чинників зовнішнього середовища, проте водночас принципово різняться від інших чинників (температури, кислотності та ін.), оскільки у процесі поглинання вони перетворюються із зовнішніх чинників середовища на внутрішні чинники рослинного організму.

Відомо два типи живлення живих організмів: *автотрофний* - засвоєння мінеральних солей, води, вуглекислого газу та синтез із них органічних речовин; *гетеротрофний* - використання організмами готових органічних сполук. Рослини належать до автотрофних організмів.

Завдяки процесу живлення (повітряному й кореневому) рослини ростуть і розвиваються, за оптимального живлення швидко нарощують масу.

Основним процесом, унаслідок якого створюються органічні речовини в рослинах, є *фотосинтез*, хоча рослини у невеликих кількостях здатні засвоювати амінокислоти, речовини росту, вітаміни, антибіотики.

Інтенсивність засвоєння елементів мінерального живлення залежить не лише від біологічних особливостей культур та умов зовнішнього середовища (наявність у ґрунті доступних сполук елементів живлення, необхідна температура, вологість та ін.), а й від кількості енергії та органічних речовин, які утворюються в процесі фотосинтезу.

Надходження мінеральних речовин у рослини лімітує багато чинників. Рослини через листки засвоюють 95 % і більше карбону. Крім того, вони можуть засвоювати внаслідок позакореневого живлення із водних розчинів зольні елементи, азот і сірку. Проте основна кількість азоту, води і зольних елементів надходить у рослину з ґрунту через кореневу систему.

Залежно від біологічних особливостей та умов вирощування рослини формують кореневу систему різної потужності. На бідних ґрунтах і в засушливих умовах - створюють більшу кореневу систему.

Кореневі системи рослин істотно різняться за будовою, формою, розподілом у ґрунті, вбирною здатністю. Кореневі системи порівняно з надземними органами рослин характеризуються підвищеними швидкістю росту і ступенем

розгалуженості. Для коренів характерна видільна функція. В ґрунт виділяються як мінеральні, так і органічні речовини. Це також один із способів активного впливу коренів на ґрунт, оскільки в разі його підкислення розчиняються мінерали ґрунту, і корені отримують додаткову кількість елементів живлення.

Кореневі виділення - важливий чинник взаємного впливу рослин різних видів один на одного (явище **алелопатії**). Цей вплив може бути як позитивним, так і негативним. Про це Пліній Старший писав, що за наявності капусти уражається виноград. Після буряку цукрового гірше росте кукурудза. Водночас стимулюють одне одного кукурудза, картопля і квасоля. Тому алелопатичний взаємовплив рослин потрібно враховувати під час розміщення культур у сівозміні.

Для коренів рослин характерна також розподільна функція: за надлишку іонів вони акумулюються у вакуолях клітин кореня, а за нестачі - скеровуються з вакуолею у надземні органи. Якщо рослина старіє, то вбирна здатність її коренів зменшується, тому корені зі своїх запасів починають постачати поживні речовини до надземних органів.

У рослинних організмах елементи живлення зазвичай знаходяться в значно вищих концентраціях, ніж у поживному розчині, що їх оточує. Крім того, надходження деяких елементів та їх концентрація різна й не відповідає співвідношенню концентрацій у поживному розчині.

До поверхні коренів рослин елементи живлення надходять за допомогою трьох механізмів: 1) кореневе перехоплення; 2) масовий потік; 3) дифузія.

Кореневе перехоплення - у процесі росту корені дотикаються до елементів живлення і поглинають їх. Значення цього механізму неістотне, оскільки у шарі ґрунту 0-30 см корені займають < 1-2 % його об'єму.

Масовий потік - корені поглинають з ґрунту воду, а з нею - розчинені елементи живлення. Рослини поглинають іони вибірково. Значення масового потоку в живленні рослин змінюється в широких межах залежно від культури і ґрунтово-кліматичних умов.

Нестачу елементів живлення коренева система задовольняє завдяки дифузії. Насамперед це стосується фосфору, калію і частково азоту.

Дифузія - створюється в поживному розчині внаслідок засвоєння елементів живлення кореневою системою рослин. Це створює передумови для дифузії елементів живлення в ґрунті за градієнтом до поверхні кореня. Дифузія елементів живлення відбувається внаслідок теплового руху молекул - броунівського руху. За наявності градієнта концентрації рух спрямований із зони більшої концентрації в зону меншої і відбувається доти, доки концентрація не вирівнюється.

Вважають, що фосфор і калій засвоюються рослинами переважно внаслідок дифузії, тоді як азот, кальцій і магній - з потоком ґрунтового розчину. Нітрати рухаються в ґрунті швидше, ніж фосфати, і поглинаються інтенсивніше.

Рослини зазвичай засвоюють елементи живлення з ґрунтового розчину слабкої концентрації - 0,01-0,05 %. Як надмірно висока, так і недостатня концентрація ґрунтового розчину несприятливі для росту й розвитку сільськогосподарських культур. Відомо, що різниця осмотичного тиску клітинного соку й тургорного напруження оболонки клітини визначає всмоктувальну силу клітини, інтенсивність надходження води і поживних речовин.

Існує **тісний зв'язок між повітряним і корневим живленням** рослин. Іноді високі дози добрив не підвищують урожай, а навпаки, знижують його. Причинами цього є:

- 1) підвищення концентрації ґрунтового розчину до токсичної;
- 2) порушення оптимального співвідношення між елементами живлення в ґрунтовому розчині;
- 3) нестача вологи в ґрунті та вуглекислого газу в повітрі;
- 4) зменшення освітленості внаслідок самозатінення (сильний ріст рослин), що знижує інтенсивність процесу фотосинтезу;
- 5) забур'яненість посівів.

Рослини можуть засвоювати елементи живлення через листову поверхню (*фоліарне живлення*). Фоліарне живлення включає себе адсорбцію та проникнення через кутикулу в епідерму клітинної стінки листка, транспортування в метаболітично активні клітини та використання поглиненої поживної речовини. Кутикула зазвичай є основним бар'єром на шляху проникнення поживних речовин. Завдяки масовому потоку або пасивної дифузії поживні речовини з розчину проникають через кутикулярні тріщини або дефекти, крізь аквапори і модифіковані структури епідермісу - продихи, трихоми чи сочевички. Зовнішня поверхня кутикули має негативний заряд, що створює електрохімічний градієнт, який забезпечує проникнення молекул води і катіонів. Коли електричний заряд у середині тканини урівноважується, через кутикулу починають проникати аніони.

Отже, засвоєння поживних речовин рослиною не обмежується кореневою системою, а нанесення їх зазвичай у вигляді розчинів на листки може бути ефективним в удобренні культур за недостатньої кількості елементів живлення в ґрунті або за низької їх доступності під впливом різних чинників:

фізико-хімічних (тип ґрунту, рН ґрунтового розчину, вміст органічних речовин, внесені агрохімікати),

біологічних (мікробіологічна активність ґрунту, ураження хворобами або пошкодження шкідника),

екологічних (вологість і температура ґрунту).

В цьому випадку фоліарне живлення рослин ефективно доповнює кореневе. Так, наприклад, за:

- рН ґрунту вище 7,5 доступність фосфору, бору, мангану й цинку зменшується.

- низка температура ґрунту гальмує засвоєння азоту, фосфору, сірки, заліза мангану й цинку,

- висока температура та посушливі умови порушують поглинання калію, кальцію, міді та бору,

- високий вміст кальцію і магнію блокують засвоєння кореневою системою калію,
- надлишок іонів заліза та мангану - фосфору, міді та молібдену.
- високий вміст органічних речовин може ускладнювати поглинання заліза, мангану, міді та молібдену.

Найважливішим чинником ефективності добрив є водозабезпечення.

Слід зазначити, що всі процеси, пов'язані з живленням рослин, відбуваються за безпосередньої участі ферментів.

3. Сполуки, в яких рослини поглинають елементи живлення

У ґрунті внаслідок безперервних багатостадійних біологічних, фізичних, хімічних і фізико-хімічних процесів складні мінеральні та органічні сполуки розкладаються на прості. Продукти розкладання використовуються для живлення рослин, а також втрачаються в газоподібному стані, вимиваються по профілю ґрунту або внаслідок ерозії, знову необмінно закріплюються ґрунтом. Основну кількість елементів живлення рослин засвоюють в іонній формі (у вигляді аніонів і катіонів) через кореневу систему. Крім того, з ґрунту корені рослин здатні поглинати CO_2 (до 5 % загальної їх потреби) та в незначних кількостях амінокислоти, цукри, вітаміни, ферменти та інші розчинні органічні сполуки.

Із використанням мічених атомів було встановлено, що ціла низка органічних речовин у незначних кількостях, поглинається безпосередньо коренями рослин. Відкриття цієї здатності дало змогу керувати мінеральним живленням рослин, використовувати так звані хелати, тобто комплекси - органічні речовини, до складу молекул яких входять ті чи інші хімічні елементи, що є для рослин біогенними. Наприклад, етилендіамінтетраацетат (ЕДТА) містить атоми заліза. У такій формі атоми заліза не зв'язуються ґрунтом, стійкі проти дії мікроорганізмів, не вимиваються дощовими водами, а сама кислота (ЕДТА) добре поглинається коренями рослин. До складу хелатів можуть входити

не лише залізо, а й інші макро-та мікроелементи. Застосування елементів живлення у вигляді хелатів як добрив - доволі ефективне.

Амінокислоти в рослинах зазнають дезамінування, вивільнений аміак використовується в процесах синтезу. При цьому *азот переважно поглинається у вигляді аніонів NO_3^- і катіонів NH_4^+* . Ці іони постійно утворюються в ґрунті з органічних речовин унаслідок перебігу процесів амоніфікації та нітрифікації, які здійснюються мікроорганізмами.

Азот і сірка входять до складу білків і багатьох інших сполук.

Сірка засвоюється рослинами у вигляді *аніонів сірчаної кислоти SO_4^{2-}* , **фосфор** - у вигляді *аніонів фосфорної кислоти: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} або PO_4^{3-}* .

Хлор надходить у рослини у вигляді *іонів Cl^-* . У багатьох рослинах він може міститись у високих концентраціях і не чинити на них негативної дії. Насамперед це стосується солестійких рослин – галофітів (буряку цукрового).

Бор і молібден надходить у рослини у вигляді *аніонів - боратів і молібдатів*.

Кальцій, калій, магній, залізо, цинк - у вигляді *відповідних катіонів*, **манган** - у *формі катіонів та аніонів*.

Обмінним фондом під час живлення рослин є катіони водню H^+ та аніони вугільної кислоти HCO_3^- , що утворюються в процесі дихання клітин. Корені постійно дихають і виділяють CO_2 , який, розчиняючись у клітинному соку, утворює вугільну кислоту, що дисоціює на іони H^+ і HCO_3^- .

Мінеральні речовини можуть також адсорбуватися листками. Крім того, вони здатні проникати крізь продири і кутикулу листків. Отже, листки рослин також певною мірою беруть участь у поглинанні мінеральних речовин.

Для позакореневого підживлення рослин використовують слабкі водні розчини макро- та мікроелементів. Найчастіше з цією метою застосовують мікроелементи, оскільки дози їх внесення малі і їх простіше розподілити по площі посівів. За такого способу використання ефект засвоєння рослинами мікроелементів вищий, ніж у разі внесення їх у ґрунт.

У практиці цей прийом називають *позакореневим підживленням*. Азотні й калійні добрива зазвичай швидко надходять у листки, а мікроелементи - значно повільніше. Для фосфору цей прийом має допоміжне значення як додатковий до кореневого, проте не замінює його. Позакореневе фосфорне живлення має обмежене значення і в кількісному відношенні постачає рослинам дуже мало фосфору. В разі застосування фосфатів способом лише обприскування листків рослин їх слабким розчином неможливо виростити культуру й довести її до досягання насіння. Це пояснюється тим, що рух мінеральних фосфатів із підживлених ними листків в інші органи рослини відбувається дуже повільно і здійснюється неповно. Листки з високим умістом фосфору відмирають і опадають, тоді як за кореневого фосфорного живлення вони містять дуже мало фосфору.

Найефективнішим способом є використання елементів живлення у вигляді тонкої плівки, нанесеної на листки. Позитивна дія добрив зростає за їх сумісного використання з поверхнево-активними речовинами (детергентами), які полегшують дифузію крізь кутикулу та надходження елементів живлення в клітини. Засвоєні таким чином елементи дуже швидко включаються в фізіологічні процеси рослин. Слід зазначити, що вони дуже добре засвоюються за низької температури і високої відносної вологості повітря, особливо збільшується вбирна здатність листків після дощу.

Позакореневе внесення елементів живлення скорочує час між їх застосуванням і використанням, що має велике значення для швидкого росту рослин.

4. Вплив мінерального живлення на біологічну цінність урожаю

Найбільше впливають на якість рослинної продукції різноспрямовані процеси - біосинтез білків та інших азотних сполук, біосинтез вуглеводів або жирів.

На початку росту рослини засвоюють порівняно невелику кількість азоту, проте нестача його в цей період негативно впливає на подальший ріст рослин.

Найінтенсивніше рослини поглинають азот з ґрунту для синтезу амінокислот і білків у період максимального росту та утворення вегетативних органів.

За високої дози азоту тенденція кривої врожайності знижується. Подальше підвищення доз добрив не сприяє її росту. Крива росту якості продукції досягає максимуму і починає знижуватися раніше, ніж крива росту врожайності. Отже, якість є досить чутливим показником, її зниження відбувається швидше і настає раніше.

Під впливом **фосфорних** добрив збільшується інтенсивність синтезу сахарози, крохмалю, жирів, дещо менше - білків. Для якості продукції важлива не лише абсолютна кількість фосфору, а й його співвідношення з іншими елементами живлення, насамперед з азотом. Змінюючи співвідношення N:P, можна регулювати інтенсивність і спрямованість процесів обміну, сприяти накопиченню в рослинах білків або вуглеводів.

Під впливом **калію** в рослинах посилюється накопичення крохмалю, цукру і жирів. Він також інтенсифікує синтез високомолекулярних вуглеводів унаслідок чого потовщуються стінки клітин стебел злакових культур, підвищується їх стійкість проти вилягання. У деяких рослин калій посилює синтез вітамінів, наприклад тіаміну, рибофлавіну.

Під впливом **мікроелементів** у листках збільшується вміст хлорофілу, поліпшується процес фотосинтезу, посилюється асиміляційна діяльність усієї рослини. Багато мікроелементів входить до складу активних центрів ферментів і вітамінів. Після внесення мікродобрив поліпшується збалансованість мінерального живлення рослин.

Азотні добрива, збільшуючи загальний вміст білка в зерні, змінюють його склад внаслідок збільшення вмісту гліадину і глютеліну та зменшення вмісту - альбумінів і глобулінів.

Оскільки бобові культури фіксують атмосферний азот, якість їх продукції можна регулювати зміною дози калійних і фосфорних добрив (азот вносять у стартовій дозі 20-30 кг/га для пришвидшення утворення бульбочкових бактерій на початку росту рослин), а також внесенням мікроелементів, зокрема

молібдену. Вплив фосфорних добрив на якість зерна неоднозначний. У разі незбалансованого їх застосування вміст білка знижується. Проте на ґрунтах із малим умістом рухомих сполук фосфору і високою здатністю мінералізувати органічні сполуки азоту спостерігається позитивна дія фосфорних добрив.

Вплив калійних добрив на вміст білка в зерні також неоднозначний. Позитивний вплив калійних добрив найчастіше спостерігається на ґрунтах із низьким вмістом рухомих сполук калію, а також за оптимального співвідношення з азотними добривами. Тому для збільшення вмісту білка в рослинах потрібне збалансоване азотно-фосфорно-калійне живлення. Від рівня азотного живлення рослин залежить не лише вміст азотних речовин, а й крохмалю. Це особливо важливо під час вирощування картоплі. Азотні добрива знижують вміст крохмалю в бульбах.

Фосфорні добрива позитивно впливають на накопичення в бульбах картоплі крохмалю. Проте на крохмалистість бульб сильніше впливають калійні добрива, оскільки за нестачі калію затримується перетворення вуглеводів на крохмаль. Однак це залежить від форм калійних добрив.

Калійні добрива знижують вміст азоту в зерні, проте збільшують вміст крохмалю. Підвищені їх дози впливають на крохмалистість зерна, так само, як і азотні на білковість. Калій рослини насамперед використовуються на формування вегетативної маси і лише потім - на створення запасних речовин зерна. Особливо негативно впливають на цукристість і технологічні якості буряків високі дози азотних добрив.

Вплив фосфорних добрив на врожай і цукристість коренеплодів буряку залежить від вмісту в ґрунті рухомих сполук фосфору. Калійні добрива найменше впливають на врожай буряків.

Олійні культури (соняшник, ріпак, гірчиця та ін.) є основними джерелами *рослинних жирів*. Тому оліїстість насіння значно (на 2-4 %) підвищують фосфорні й калійні добрива.

Якість овочів залежить від умов живлення, за достатнього забезпечення рослин азотом збільшується приріст вегетативної маси, плодів, коренеплодів і

бульб. Фосфорні й калійні добрива сприяють накопиченню цукру й аскорбінової кислоти (вітаміну С) в овочах. Найбільшу позитивну дію на структуру врожаю моркви і буряку столового чинять калійні добрива.

Якість овочевої продукції значною мірою залежить від забезпеченості рослин мікроелементами - бором, манганом, молібденом та ін. Вони пришвидшують досягання, що сприяє збільшенню врожаю, підвищенню в ньому вмісту сухих речовин, цукрів, білків, вітаміну С. Під впливом мікроелементів поліпшуються також дієтичні властивості помідора, перцю та зеленних культур.

За незбалансованого мінерального живлення в рослинах змінюється вміст інших речовин - вітамінів, ефірних олій, алкалоїдів, органічних кислот тощо. Отже, грамотне застосування добрив з урахуванням не лише високого рівня врожайності, економічних потреб, а й доброї якості рослинницької продукції має стати важливим питанням сучасного живлення рослин.

Контрольні питання

1. Який хімічний і біохімічний склад рослин?
2. Які шляхи надходження елементів живлення?
3. Які сполуки, в яких рослини поглинають елементи живлення?
4. Який вплив мінерального живлення на біологічну цінність урожаю?

Тема 2: НАУКОВІ ПРИНЦИПИ УДОБРЕННЯ РОСЛИН

- 1. Стан проблеми застосування добрив.**
- 2. Удобрення - основний чинник підвищення врожаю.**
- 3. Виробництво добрив та їх ефективність.**

1. Стан проблеми застосування добрив

Україна здавна відома як один з найбільших виробників сільськогосподарської продукції, що пояснюється досить сприятливими природно-кліматичними умовами, багатими ресурсами орних земель, більша частина яких (67,7 %) - чорноземи.

Отже, збереження і підвищення родючості чорноземів та інших типів ґрунтів - головне завдання сучасного землеробства. Однак нині намітилася реальна загроза її втрати: зменшилися запаси органічних речовин й азоту, знизилася мікробіологічна активність, відбувається руйнування структури ґрунту та його ущільнення, змінюється склад колоїдного комплексу, збільшуються втрати родючого шару ґрунту внаслідок ерозії, виявляється скрита, негативна дія мінеральних добрив і, як наслідок, реальні врожаї значно менші від біологічного потенціалу сучасних сортів і гібридів.

Оптимізація родючості ґрунту здійснюється внаслідок правильного чергування культур у сівозміні, раціональних систем обробітку ґрунту та удобрення, регулювання водного режиму. Серед цих заходів найдійовішим і найефективнішим є регулювання рівня вмісту рухомих сполук елементів живлення в ґрунті за допомогою застосування добрив. Ґрунти України за вмістом рухомих сполук елементів живлення належать до середньозабезпечених. Вирощувати високі врожаї лише за рахунок їх природної родючості нині майже неможливо. Для ведення продуктивного землеробства з одночасним відновленням родючості ґрунтів альтернативи мінеральним добривам немає.

Одна з найзагальніших закономірностей еволюції поживного режиму після розорювання цілинних земель - заміни замкнутого колообігу поживних речовин

розімкнутим, переважанням процесів розкладання і мінералізації органічних речовин над її синтезом. Крім того, основна роль у підвищенні продуктивності сільськогосподарських культур належить раціональному застосуванню добрив. Добрива дають змогу вводити в колообіг речовин землеробства нову кількість елементів живлення для рослин, а частину поживних компонентів гною та інших органічних матеріалів, що вже входили до складу попередніх урожаїв, використовувати повторно. Це створює можливість відновлювати вилучені поживні речовини з урожаєм та попередити непродуктивні втрати їх з ґрунту (внаслідок ерозії і дефляції, вимивання, втрат в атмосферу тощо) і таким чином не лише підтримувати, а й підвищувати їхню родючість.

Питання ефективності застосування добрив залишається відкритим, хоч і має певну історію. До цього часу вивчені лише біологічна роль і ґрунтово-екологічні основи організації сівозмін, розроблено класичні принципи їх будови, встановлені оптимальні параметри насичення різними за біологічними й агротехнологічними особливостями культурами з чергуванням за типом правильної плодозміни з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних умов.

Слід зазначити, що чим більше чергуються різні за біологічними ознаками культури в сівозміні, тим кращий фізіолого-біохімічний стан ґрунтового середовища та вищий рівень ефективної родючості ґрунту. Зменшення набору вирощуваних культур призводить до підвищення рівня ґрунтової. Правильне чергування культур у сівозміні здатне знизити антропогенне навантаження на агроєкосистеми, а також підвищити їхню продуктивність. Оскільки в умовах беззмінного вирощування або неправильного чергування культур у ґрунті відбувається зниження інтенсивності біологічних процесів, то це часто призводить до ґрунтової, яка характеризується зниженням як активної, так і потенційної родючості.

Однак у процесі досліджень, які продовжуються і понині, виявляються все нові й нові закономірності та взаємозв'язки, їх відносять до впливу добрив на ріст і розвиток рослин, обмін речовин, утворення й накопичення вуглеводів, жирів, фосфатів та інших сполук, оптимізації доз і співвідношень поживних речовин,

способів внесення добрив, поживного і водного режимів. Проте деякі принципи питання застосування добрив залишаються ще не вивченими.

Загальний обсяг виробництва і застосування добрив зростає насамперед за рахунок слаборозвинених країн. У країнах з розвинутою ринковою економікою обсяг використання мінеральних добрив стабілізувався або дещо зменшився. Це зумовлено високим рівнем виробництва сільськогосподарської продукції і зменшенням ресурсних витрат, високим вмістом рухомих сполук елементів живлення в ґрунті, особливо в країнах Західної і Північно-західної Європи, де з 1950-х років мінеральних добрив щорічно вноситься понад 100 кг/га діючої речовини.

Не зважаючи на те, що у виробництві зазвичай правильно вибирають головні напрямки застосування добрив, все ж досить повільно вирішувалися питання підвищення їх ефективності. Нерідко постачання добрив виявляється у протиріччі з вимогами зональних систем удобрення. Так, не враховуються особливості застосування форм добрив, їх кількість та строки застосування, допускаються різноманітні порушення під час транспортування, зберігання і внесення, незбалансованість за елементами живлення, недостатній діагностичний контроль за умовами живлення рослин, порушення принципу комплексного застосування засобів хімізації тощо.

Норми і дози добрив під культури зазвичай встановлювали і продовжують встановлювати із їх наявності, а не з урахуванням потреби та інших важливих чинників. Так, у Лісостеповій зоні, де поширені чорноземні ґрунти, головна роль належить основному удобренню, але тут також широко застосовуються підживлення культур, у тому числі фосфорними і калійними добривами. Здебільшого це данина традиції в зв'язку з недостатнім і нестабільним надходженням у господарства добрив, а не рекомендації агрохімічної служби. Баланс поживних речовин у ґрунтах від'ємний, що призводить до зниження потенційної їх родючості. Тому, аналізуючи світовий досвід, на «виораних» ґрунтах без внесення добрив не можна вирощувати високі врожаї. Все це не тільки ускладнює впровадження передових вітчизняних і зарубіжних технологій, а й заставляє відступати на позиції минулого. Проблема керування родючістю

ґрунтів також ускладнилася у зв'язку з виникненням багатуукладності економіки, збільшенням частки фермерських господарств і посиленням спеціалізації сільськогосподарського виробництва.

У зв'язку з недостатнім внесенням органічних і мінеральних добрив, порушенням чергування культур у сівозміні спостерігається тенденція зменшення вмісту гумусу. Так, найбільші середньорічні втрати гумусу (0,7-2,1 т/га) виявлено в ґрунтах, де були впроваджені польові сівозміни з високим насиченням просапними культурами. Тому розробка систем удобрення з урахуванням рівня насичення органічними добривами є актуальним. Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва зумовлює істотні зміни в структурі посівних площ і технологіях вирощування сільськогосподарських культур.

Натепер все більше виявляється необхідність диференційованого підходу до застосування добрив залежно від ґрунтово-кліматичних умов місцевості. Нові можливості механізації та технологій вирощування культур дають змогу змінити погляди на розробку та впровадження у виробництво певних систем удобрення, які забезпечували б у конкретних природних умовах найповнішу реалізацію біологічного потенціалу культур і підвищення родючості ґрунту. Нові системи удобрення потребують удосконалення традиційних, які неначе вже були міцно ввійшли у виробництво, способів застосування добрив і перегляду систем удобрення окремих культур.

Традиційні системи внесення добрив орієнтовані скоріше на удобрення ґрунту, ніж рослин, оскільки їх потреби в елементах живлення динамічні за етапами органогенезу, що не завжди враховується. Дію добрив не можна правильно інтерпретувати без врахування погодних умов та вимог культури до наявності рухомих сполук елементів живлення в ґрунті. Тому виникає також потреба постійного удосконалення стратегії і тактики застосування добрив. Інтенсифікація вирощування лише окремих культур сівозміни призводить до диспропорції розподілу і використання поживних речовин добрив, порушення екологічної рівноваги.

Основою розробки системи застосування добрив у сівозміні повинно бути підтримання ґрунту в такому стані, за якого він зберігає здатність до регулювання циклів біофільних елементів унаслідок створення замкнутого їх колообігу, збільшення в балансі статей надходження органічних речовин, елементів живлення, що є основою підвищення родючості ґрунту і дають змогу цілеспрямовано регулювати систему агрохімічних показників ґрунту та живлення рослин з урахуванням захисту навколишнього природного середовища від забруднення. При цьому система застосування добрив повинна поєднуватися з системою агротехнологічних заходів, спрямованих на створення оптимального водно-повітряного режиму ґрунту, підтримання належного фітосанітарного стану полів. Усе це сприятиме максимальному використанню рослинами елементів живлення з внесених добрив.

Вузьким місцем у системі застосування добрив продовжує залишатися встановлення потреби культур в елементах мінерального живлення - одного з найскладніших і найважливіших питань сучасної агрохімічної науки. Це насамперед зумовлюється складністю взаємодії між рослиною, добривом, ґрунтом і погодними умовами, що можуть виникати у передбачуваний розрахунковий період для кожного конкретного випадку. Найвигідніша форма та оптимальна доза добрив визначається такими чинниками як культура, ґрунт, клімат, економіка і організація виробництва.

Одне з головних завдань живлення рослин - визначення кількості добрив, внесення яких у певних ґрунтово-кліматичних умовах забезпечує найвищу продуктивність культур і не забруднює навколишнє природне середовище. Нині існує кілька десятків методів розрахунку норм добрив під запланований урожай. Однак, на жаль, усі вони мають певні недоліки. Основні з них полягають у залежності показників від великої кількості недостатньо врахованих чинників у конкретних умовах агрокультури. Зазвичай методи розроблені для визначення норм добрив під окремі пріоритетні сільськогосподарські культур (а не для всіх культур) сівозміни. Запланована врожайність культур при цьому не узгоджується з одержаною врожайністю, а тому на одиницю внесеного добрива

не отримують еквівалентного приросту врожаю. Внесена надмірна кількість добрив під основну культуру частково використовується наступними. Водночас частина елементів живлення мінеральних добрив, особливо азотних, втрачається. Внаслідок чого ефективність їх зменшується.

Розрахункові методи визначення доз добрив знайшли широке застосування завдяки простоті і логічності. Ще Д. М. Прянишников вказував, що «якими б не були простими і швидкими ті або інші методи лабораторного дослідження ґрунтів, зрозуміло, ні один з них не замінить польового досліджу». По суті всі агрохімічні дослідження прямо чи побічно присвячені цьому питанню. Найбільш вивченим і простим є метод використання результатів польового досліджу. Польовий дослід, як припускали, прямо вказує кількість добрив для вирощування того чи іншого врожаю. Однак численні дослідження показали, що навіть в умовах одного і того самого поля норми добрив польового досліджу, перенесені у виробничі умови, не забезпечують вирощування запланованого врожаю.

Нині розроблено багато інших принципово різних методів визначення потреби в добривах. Проте багато з них внаслідок відсутності ґрунтово-агрохімічної нормативної інформації для конкретних умов викликає труднощі практичного застосування. Суть полягає в тому, що існуючі методи розрахунку доз добрив, що широко застосовуються агрохімічною службою (метод середніх норм із системою поправочних коефіцієнтів і балансово-розрахунковий метод), страждають неточністю яка зумовлена слабким вивченням зв'язків і відношень у багатофакторній системі ґрунт-добриво-погода-врожай. Ці методи мають такі недоліки: поправочний коефіцієнт для середніх норм залежно від вмісту в ґрунті рухомих сполук елементів живлення має значні похибки в зв'язку з тим, що їх величина визначається простим усередненням даних дослідів, згрупованих на широкій основі (регіон, тип ґрунту) без урахування його агрохімічної характеристики, клімату та інших чинників, які істотно впливають на цю величину. Метод групування дослідних даних не досконалий, оскільки неможливо забезпечити дотримання принципу єдиної різниці (тільки за показниками, на які робиться поправка). Це означає, що метод в умовах реальної

багатофакторності в принципі безпідставний, оскільки вибір чинників обмежений, а їх взаємодія часто до уваги не береться. Теж саме можна сказати і про коефіцієнти використання поживних речовин, хоч вони значно коливаються залежно від ґрунтових, агрохімічних характеристик і погодних умов.

На практиці норми і дози добрив зазвичай розраховують у трьох часових рівнях - тривалому, щорічному й оперативному (впродовж вегетаційного періоду), які зв'язані між собою, логічно доповнюючи один одного. Однак у рекомендаціях з вирощування окремих культур питання застосування добрив здебільшого розглядається ізольовано від системи застосування добрив у сівозміні. Це сприяє поширенню різних методів розрахунку норм добрив на запланований урожай, багато з яких агрохімічне й екологічно не обґрунтовані. При цьому не ставиться завдання підвищення загального вмісту в ґрунті рухомих сполук дефіцитних елементів, а лише усувається різниця між потребою культури і наявністю в ґрунті відповідного елемента в доступній формі. В ухвалених нині для використання системах застосування добрив не завжди враховані ці чинники. Досліди, проведені в різних ґрунтово-кліматичних умовах, свідчать, що високу продуктивність сівозміни можна забезпечити тільки у разі науково обґрунтованого застосування добрив не лише в цілому в сівозміні, а й у разі диференційованого підходу до удобрення кожної культури. Встановлення норм добрив треба розглядати з урахуванням технології вирощування культур, стану родючості ґрунту, економічних питань, якості вирощеної продукції та системи застосування добрив у сівозміні. Таке положення потребує перегляду традиційних підходів до складання системи удобрення в сівозміні. Вона повинна бути динамічною, тобто визначатися динамікою продуктивності сівозміни (а не окремо взятих культур) та вирішенням питань охорони навколишнього природного середовища.

В Україні і за кордоном широко поширені балансові методи визначення норм добрив у системі ґрунт - добриво - врожай, в яких використовується господарський винос елементів живлення плановим урожаєм. Розрахунок

балансу поживних речовин у ґрунті слід розглядати як найдоступніший контроль за станом родючості ґрунту в кожному полі, господарстві, районі, області

Норми фосфорних і калійних добрив балансовими методами визначення встановлюються з урахуванням виносу фосфору та калію врожаєм, необхідності підвищення вмісту їх рухомих форм у ґрунті до оптимального рівня й компенсації втрат у результаті деструктивних процесів. Щодо застосування азотних добрив і характеристики азотного режиму ґрунту, то все не так визначено.

У вітчизняному землеробстві органічні добрива вже впродовж століть є одним із основних засобів виробництва, який сприяє поліпшенню родючості ґрунту. Вони є джерелом органічних та інших поживних речовин, сприятливо діють на біохімічні, агрохімічні показники і фізичні властивості та на мікробіологічну трансформацію речовин ґрунту, компенсують односторонню дію мінеральних добрив, підвищуючи їх ефективність.

Під час планування системи удобрення, крім основних, треба враховувати наявність й інших макро- і мікроелементів. Система удобрення повинна передбачати гнучке маневрування процесом живлення рослин за допомогою диференціації форм, доз, строків, періодичності і способів внесення добрив з урахуванням біологічних особливостей рослин, з одного боку, і закономірностей взаємодії чинників зовнішнього середовища, з іншого. Строки і способи внесення добрив мають також важливе організаційно-господарське значення. Треба щоб вони забезпечували високу продуктивність праці під час застосування добрив і, по можливості, сприяли зменшенню всіх витрат на ці роботи. Раціональні строки і способи внесення добрив важливо узгоджувати з певними технологічними прийомами. Тому бажано, щоб внесення добрив можна було здійснювати одночасно з іншими необхідними прийомами - обробітком ґрунту, сівбою, застосуванням пестицидів.

Застосування фізіологічно-кислих мінеральних добрив та наявність кислотних опадів зумовлюють декальцинацію та підкислення ґрунтів, що генетично мають нейтральну реакцію, і призводить до збільшення загальної площі ґрунтів, які потребують вапнування.

Треба визнати, що в практичному землеробстві було зроблено багато спроб швидкого підвищення родючості ґрунтів (хімізація, меліорація, травопільна система, комплексне окультурення, тощо), але при цьому не було враховано особливостей агротехнології для конкретної культури, поля, ґрунтового покриву, кліматичних умов. Нині можна вказати на деякі причини, існування яких не дають змоги підвищити продуктивність сільськогосподарських культур та ефективність добрив у землеробстві України, вважати його екологічно безпечним. Під час складання такого переліку можливі, очевидно, деякі розходження щодо порядку і навіть включення конкретних пунктів. Однак до більшості таких переліків ввійшли б, мабуть, такі поточні і довгострокові проблеми (порядок перерахунку не відповідає ступеню пріоритетності):

- нераціональна структура сільськогосподарських угідь, посівних площ, значний рівень розораності земель;
- умови нестійкого зволоження впродовж вегетаційного періоду;
- погіршення якості гумусу, що знижує вплив органічних речовин на ефективну родючість ґрунту;
- створення в результаті нераціонального обробітку та інших чинників несприятливих агрофізичних властивостей ґрунту, збільшення його розпиленості, щільності, зниження водостійкості структури, зменшення в наслідок ерозії водопроникності та підвищення стоку;
- підвищення кислотності ґрунту;
- недосконалі системи удобрення окремих сільськогосподарських культур;
- вміст у ґрунті незначної кількості азоту мінеральних сполук та рухомих сполук фосфору і калію;
- дефіцитний баланс біофільних елементів внаслідок недостатнього рівня застосування добрив;
- високі ціни на придбання та значні витрати на застосування мінеральних добрив;

- досить обмежені економічні можливості господарств, що не дає змогу проводити в необхідному обсязі агротехнологічні заходи, в тому числі і застосування добрив;

- відсутність матеріально-технічної бази для застосування засобів хімізації, різноманітні порушення під час транспортування, зберігання і внесення добрив, незбалансованість їх за елементами живлення;

- недостатній діагностичний контроль за умовами живлення рослин;

- порушення принципу комплексного застосування засобів хімізації;

- недотримання систем сівозмін;

- забур'яненість полів.

Повний огляд досліджень, присвячений застосуванню добрив, - майже безнадійне завдання, оскільки існує великий потік публікацій з даної проблеми як чисто наукового й практичного, так і екологічного характеру. Аналіз їх свідчить про необхідність критичного перегляду відомого дослідницького матеріалу. За найкритичнішого відношення до досягнутих у минулому наукових здобутків, треба їх не забувати, а раціонально розвивати в нових умовах. Стан застосування добрив у землеробстві України та аналіз наукових даних дає змогу зробити висновок, що теорія родючості ґрунту потребує подальшого розвитку на основі переусвідомлення багатьох усталених положень, вирішення складних і спірних питань на основі максимально повного використання найновіших досягнень багатьох галузей науки. Питання вартє системного і цілеспрямованого підходу. В агроєкосистемах повинні діяти механізми, які забезпечують підвищення родючості ґрунтів і вирішення проблем екологічної стійкості щодо здатності впродовж усього часу експлуатації зберігати біопродуктивність за високої якості вирощеної продукції. Знання закономірностей кількісної дії основних агрозаходів у їх сукупному чи в роздільному прояві відкриває можливість для створення раціональних технологій вирощування культур і розробки системи керування родючістю ґрунту. На основі цих закономірностей, а також дії тривалого застосування різних норм мінеральних і органічних добрив та їх поєднання, розміщення і періодичного внесення на властивості ґрунту,

механізм формування врожаю, його структуру і якість, обґрунтовується енергоекономічна та природоохоронна раціональна система застосування добрив.

2. Удобрення - основний чинник підвищення врожаю

Винос елементів живлення з ґрунту визначають за їх кількістю, яка відчужена з урожаєм основної і нетоварної продукції з одиниці площі, а повернення елементів живлення в ґрунт - за їх кількістю, що повертається з добривами, надходить з насінним матеріалом, опадами, в процесі фіксації молекулярного азоту з атмосфери тощо.

Різницю між надходженням і вилученням елементів живлення в ґрунті називають *балансом елементів живлення*.

Сільськогосподарські культури характеризуються різною потребою в елементах живлення, різним їх виносом із ґрунту з урожаєм. Так, з урожаєм зерна пшениці озимої 5 т/га і з відповідною масою соломи з ґрунту виноситься 150 кг N, 50 - P_2O_5 і 100 кг K_2O , з урожаєм картоплі в 30 т/га - 180 кг N, 60 - P_2O_5 і 240 кг K_2O . У польовій сівозміні зерно-бурякового виду за врожайності буряку цукрового 30- 40 т/га, пшениці озимої 4-5 т/га в середньому з 1 га щорічно виноситься 270 кг NPK, зокрема N - 130, P_2O_5 - 40, K_2O - 100 кг. У разі вирощування сільськогосподарських культур без застосування добрив ґрунт виснажується, внаслідок чого врожаї з року в рік знижуються.

Вважають, що не менш як 50 % підвищення врожаю в ХХ ст. є наслідком застосування добрив, решта 50 % приросту припадає на інші чинники: агротехнологію, сорти, меліорацію тощо. У зв'язку з ростом чисельності населення планети щорічний приріст виробництва продуктів харчування має становити 3-4 %.

Потенційні можливості сільськогосподарських культур насправді вищі, ніж ми гадаємо. Головне завдання - наблизитись до них. Так, світовий рекорд врожайності пшениці становить 18,8 т/га. Ще вища фізіологічна продуктивність рослин, досягнення якої для кожного сорту чи гібрида є завданням науки і практики. Для цього потрібно правильно оцінити всі складові врожаю -

господарські, біологічні, природні й випадкові та запобігти втратам урожаю по кожній із них.

З ростом урожаїв збільшується споживання елементів живлення рослинами, тому чим вища запланована врожайність будь-якої культури, тим більше потрібно вносити добрив. Простежується прямий зв'язок між використанням добрив і врожайністю. Країни, які вносять малі норми добрив, мають також низьку врожайність сільськогосподарських культур. Проте слід враховувати, що врожаї від збільшення норм добрив зростають у прямій залежності лише до певного рівня, за якого досягається найвища окупність одиниці добрив вирощеною сільськогосподарською продукцією.

Отже, основою застосування добрив має бути землеробський закон повернення. В ґрунт мають повертатися елементи живлення, які винесено з урожаєм. Проте цього недостатньо. В ґрунт мають також бути повернені й органічні речовини, що є енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів, які сприяють повторному використанню елементів живлення та збереженню агрофізичного стану ґрунту.

На практиці причин низької ефективності застосування добрив багато. Насамперед це людський чинник - підготовка і перепідготовка кадрів. Крім того, це і незбалансованість елементів живлення у певному асортименті добрив, наявність значної кількості кислих ґрунтів, які потребують вапнування, застосування неякісних органічних добрив, нерівномірність внесення добрив, іноді низький рівень вмісту в ґрунті рухомих сполук мікроелементів, наявність чинників, які не піддаються або складно піддаються регулюванню - посуха, перезволоження, сонячна радіація та ін.

Тому потрібно створити гнучку систему застосування сучасних технологій з урахуванням особливостей кожного сорту та кожного поля. Лише творчий підхід до справи дасть змогу позбутися старих рекомендацій. Сучасні технології потребують чіткої відповіді на питання живлення рослин: коли, де, як і в якій формі чи поєднанні застосовувати добрива.

3. Виробництво добрив та їх ефективність

У своїй доповіді «Найближчі завдання в області виробництва мінеральних добрив» Д.М. Прянишников зазначав, що рівень застосування мінеральних добрив, як й інші господарські заходи, значно залежить від економічного стану країни. Він дійшов висновку, що застосування мінеральних добрив (зокрема в нечорноземній зоні) є важливим питанням землеробства. При цьому потреба у фосфатах охоплює як чорноземи, так і нечорноземи. Частина нечорноземної зони потребує також калійних добрив, особливо під такі культури, як конюшина і льон. Д.М. Прянишников вважав, що поповнення ґрунтового фосфору можливе лише завдяки добривам, тоді як для азоту велике значення має фіксація його з атмосфери. Для вирішення проблеми азоту він рекомендував розширювати площі посіву бобових культур, використовувати торф, збільшувати обсяги внесення високоякісного гною. Тому для розроблення відповідних рекомендацій Д.М. Прянишников рекомендував створити потужний спеціальний інститут з розгалуженою мережею лабораторій, дослідних полів і географічну мережу дослідів із надійним фінансуванням. Ці заходи актуальні й сьогодні.

Натепер застосування фосфорних добрив у західноєвропейських країнах знизилося, що обумовлено переважно зменшенням потреби у них. Внесення впродовж тривалого часу високих норм фосфорних добрив і гною привело до накопичення в ґрунті рухомих фосфатів та підвищення забезпеченості рослин фосфором. Наприклад, в Ірландії, Німеччині, Швеції, Фінляндії та інших країнах ґрунтів із середнім і високим рівнем забезпеченості фосфором 80-90 %. Тому за підтримувальної системи удобрення потреба у фосфорних добривах знизилась. Так, у Фінляндії нині середня норма внесення фосфорних добрив становить 30 кг/га діючої речовини (д.р.). У багатьох країнах введено екологічні обмеження на застосування азотних та інших видів добрив.

Найбільше добрив (300-500 кг/га) вносять у таких країнах, як Ірландія, Бельгія, Японія, Англія, Колумбія, Франція. Найбільше виробляють і купують добрив Китай і США. В десятку найбільших виробників мінеральних добрив у світі входить також і Україна.

Нині (у зв'язку з економічною та енергетичною кризою) у багатьох країнах з інтенсивним веденням сільського господарства по-новому оцінюють значення використання органічних добрив. Гній, сапропелі та інші добрива, будучи ефективним засобом підвищення родючості ґрунтів і джерелом елементів живлення для сільськогосподарських культур, здатні закріплювати в ґрунті радіоактивні речовини, важкі метали та деякі пестициди. Загалом за рік на планеті в ґрунт вносять близько 25 млрд т органічних добрив (у перерахунку на стандартний гній) або приблизно 15 т/га ріллі. Найбільше їх застосовують в Ірландії - близько 70 т/га, Англії - 25, США - 14 т/га. У середньому в усіх країнах світу в ґрунт з органічними добривами надходить більше елементів живлення, ніж з мінеральними (за винятком держав Західної Європи і США).

Економічна ефективність застосування добрив насамперед залежить від співвідношення цін на добрива і продукцію рослинництва, що потрібно враховувати під час розрахунку норм добрив.

Окупність добрив залежить від природної родючості ґрунту. Одночасне внесення азотних, фосфорних і калійних добрив значно підвищує їх ефективність порівняно з окремим внесенням або парних їх комбінацій. Проте на ефективність добрив значно впливає кислотність ґрунту. В Україні близько 10 млн га кислих ґрунтів. Тому без проведення їх вапнування застосування добрив малоефективне. Однак за рН ґрунту понад 6,5 для рослин стають важкодоступними деякі елементи мінерального живлення, зокрема залізо і манган, розчинність яких різко знижується.

За низького рівня застосування добрив і низького вмісту рухомих сполук відповідних елементів живлення в ґрунті окупність їх урожаєм вища, а зі збільшенням норми добрив окупність одиниці елемента живлення знижується.

Слід зазначити, що 1 кг NPK добрив за відповідної технології та умов зволоження може давати приріст 10-15 кг зерна і навіть більше. Отже, вартість зерна має покривати витрати на добриво. Практичний досвід доводить, що для підвищення врожайності потрібно повертати в ґрунт азот і калій не менш як на 80 %, а фосфор - на 100 % і більше.

Рівень застосування добрив в Україні значно нижчий, ніж у Європі, але роль живлення рослин в сільськогосподарському виробництві не можна применшувати. Під час використання місцевих добрив (відходів промислового виробництва, компостів з міського сміття, осадів стічних вод, високих норм рідкого гною) зростає небезпека накопичення в ґрунті та надходження в рослини важких металів у токсичних концентраціях. Тому актуальними стали питання захисту навколишнього природного середовища й вирощування сільськогосподарської продукції з певним хімічним складом елементів.

На сучасному етапі розвитку предмет живлення рослин доповнюється новими напрямками. Це пояснюється сучасними вимогами до ведення аграрного виробництва, інтенсивнішим застосуванням добрив, новими їх формами, посиленням антропогенного забруднення ґрунтів, вод і атмосфери. Добрива слід застосовувати з урахуванням відповідних екологічних умов та особливостей регіону. Необхідні широкі дослідження взаємозв'язку елементарного хімічного складу рослинницької продукції та умов її вирощування.

Сьогодні ще недостатньо розроблено питання екологічної стійкості агроєкосистеми. Для цього потрібні нові форми добрив, нові методи ґрунтової та рослинної діагностики, які б давали змогу встановлювати оптимально мінімальні норми їх внесення. Проте для цього слід проводити дороговартісні фундаментальні дослідження. Потрібно акцентувати увагу на тих агрохімічних дослідженнях, першочергове вирішення яких для практичного хліборобства забезпечить найвищі агрономічний та економічний ефекти.

До агрономічних та економічних ефектів належить:

- поглиблене вивчення значення певних елементів і їх співвідношення з іншими елементами для отримання врожаю відповідної якості;
- дослідження механізмів дії окремих елементів на стійкість рослин проти несприятливих умов зовнішнього середовища;
- розроблення принципів визначення потреби в елементах живлення та їх норм у різних регіонах ґрунтово-кліматичних зон;

- виявлення потенційної можливості різних сортів і гібридів с.-г. культур залежно від рівнів родючості ґрунту та удобрення;
- вивчення дії комплексу макро- і мікродобрив на продуктивність с.-г. культур;
- дослідження балансу і трансформації макро- й мікроелементів у тривалих стаціонарних дослідках;
- постійний контроль за правильністю агрохімічних рішень принципово новими методами ґрунтової і рослинної діагностики;
- розширення досліджень з ефективності застосування мікроелементів у вигляді хелатних сполук під різні сільськогосподарські культури у різних ґрунтових умовах;
- охорона і поліпшення стану навколишнього природного середовища внаслідок оптимізації живлення рослин від застосування добрив.

Оскільки в сільському господарстві України застосовують значно менше мінеральних добрив, ніж у західноєвропейських країнах й, очевидно, швидкого збільшення їх норм найближчим часом не очікується, то гострота проблеми можливих негативних наслідків від них зменшується.

Отже, підвищення врожайності сільськогосподарських культур напряду пов'язано з мінеральними добривами, правильне застосування яких сприяє поліпшенню якості продукції.

Контрольні питання

1. До якої забезпеченості належать ґрунти України за вмістом рухомих сполук елементів живлення?
2. До чого призводить чергування культур за біологічними ознаками?
3. Як використовують мінеральні добрива у різних країнах?
4. У зв'язку з чим ускладнилася проблема керування родючістю ґрунтів?
5. На що орієнтовані традиційні системи внесення добрив?
6. Яке одне з головних завдань прикладної агрохімії?
7. Що забезпечують розрахункові методи визначення доз добрив?
8. Як на практиці розраховують норми і дози добрив?

9. Що називають балансом елементів живлення?
10. Який зв'язок простежується між використанням добрив і врожайністю?
11. Від чого залежить економічна ефективність застосування добрив?
12. Що належить до агрономічних та економічних ефектів?

Тема 3: ОРГАНІЧНІ ДОБРИВА В ЖИВЛЕННІ РОСЛИН

- 1. Особливості впливу органічних добрив у живленні рослин**
- 2. Визначення балансу гумусу в ґрунті та потреби в органічних добривах**
- 3. Накопичення та застосування органічних добрив**

1. Особливості впливу органічних добрив у живленні рослин

У сучасному інтенсивному землеробстві високої продуктивності культур добиваються насамперед за рахунок застосування підвищених норм мінеральних добрив і посиленого розкладання гумусу. В зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема підтримання оптимального його вмісту в ґрунті. Передусім це стосується вузькоспеціалізованих короткоротаційних сівозмін.

Нині значення органічних добрив часто недооцінюють, вважаючи, що в сівозміні в ґрунт надходить достатня кількість кореневих і післязбиральних решток, які покривають мінералізацію органічних речовин. При цьому посиляються на залишення на полі значної кількості післязбиральних решток за умови застосування азотних добрив і загущених посівів. Однак саме високі норми азотних добрив є причиною пришвидшеного розкладання гумусу і від'ємного його балансу. На практиці зниження вмісту гумусу може виявлятися занадто пізно.

Органічні добрива - це органічні сполуки рослинного, тваринного, промислового і побутового походження різного ступеня розкладання. Зазвичай вони містять багато вологи та різні елементи живлення, тобто ті, які були в живих організмах. Тому їх іще називають повними добривами. Через низький вміст елементів живлення органічні добрива недоцільно транспортувати на значні

відстані, їх використовують на місці виробництва (або неподалік). Звідси й назва - місцеві добрива.

За кордоном, особливо в органічному землеробстві, застосовують різноманітні добрива рослинного (наприклад, люцернове, соєве, бавовникове борошно) і сухі добрива тваринного походження (кров'яне, кісткове і риб'яче борошно, борошно з рогів і копит, з пір'я, з панцирів крабів і креветок).

Інші види органічних добрив, тобто тих, які безпосередньо не виробляються в господарстві (торф, сапропелі, комунально-побутові відходи міст та ін.), є додатковим джерелом надходження елементів живлення в ґрунт.

Крім елементів живлення органічні добрива постачають у ґрунт вуглекислий газ, який поліпшує повітряне і кореневе живлення рослин. Вони також є енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів. Більшість органічних добрив самі багаті на мікрофлору. Вважають, що застосування їх в оптимальних нормах на 20-30 % підвищує ефективність мінеральних добрив, згладжує післядію несприятливих погодних умов.

2. Визначення балансу гумусу в ґрунті та потреби в органічних добривах

Слід зазначити, що поряд з поверненням елементів живлення в ґрунті має відновлюватися вміст органічних речовин. Тому органічні добрива є не лише важливим джерелом елементів живлення для рослин, але і джерелом гумусу в ґрунті. Органічні речовини ґрунту регулюють витрачення елементів живлення, запобігають непродуктивним їх втратам від вимивання, утворення газоподібних продуктів, підвищують ефективність мінеральних добрив. Тому проблема бездефіцитного і додатного балансу гумусу в агрохімії - одна з найважливіших.

Гумус із ґрунту втрачається внаслідок таких основних причин: 1) зменшення надходження рослинних залишків; 2) посилення мінералізації гумусу унаслідок підвищення аерації за інтенсивного механічного обробітку ґрунту; 3) розкладання гумусу під впливом фізіологічне кислих добрив та активації мікрофлори за рахунок внесених добрив; 4) посилення мінералізації після

осушення; 5) посилення мінералізації зрошуваних ґрунтів у перші роки зрошення (в наступні вміст гумусу стабілізується і навіть може підвищуватися); 6) ерозія ґрунту.

Основними заходами для компенсації мінералізованого гумусу в ґрунті є: 1) застосування органічних добрив та раціональне поєднання їх з мінеральними туками; 2) вирощування сидератів; 3) сівба у сівозмінах бобових і бобово-злакових травосумішей; 4) залишення нетоварної частини врожаю на добрива; 5) використання на добрива різних відходів органічного походження.

Раціональне застосування органічних добрив - важлива складова системи удобрення. Вважають, що середньорічна мінералізація гумусу становить, т/га: під зерновими культурами - 0,5-1,0, просапними - 1,5-2,5, під чистим паром - 2,5-3,5. Найпростіший спосіб для визначення витрат гумусу з ґрунту на створення врожаю - за кількістю використаного рослинами азоту.

Щорічне поповнення гумусу за рахунок корневих і післяжнивних решток у середньому становить, т/га: зернових культур - 0,4-0,6; просапних - 0,2-0,3; багаторічних трав - 0,5-1,0.

Для балансових розрахунків запасів гумусу в ґрунті в зарубіжних країнах використовують метод ізогумусових коефіцієнтів, під яким розуміють кількість гумусу (% на суху речовину), що утворюється в ґрунті з різних органічних матеріалів. Для соломи такий коефіцієнт складає 10 %, коренів і корневих шийок рослин - 18, гною - 20-40, а для молодих рослин і зелених добрив 0.

Коефіцієнт гуміфікації - частка (або відсотковий вміст) вуглецю органічних решток, які включаються в гумус з ґрунту. Для зернових культур і багаторічних трав він прирівнюється до коефіцієнта гуміфікації підстилкового гною, для просапних культур - удвічі менший, а для зелених добрив майже відсутній. Коефіцієнт гуміфікації гною становить 20-25 % за вмісту сухої речовини 25-50 %. Наприклад, за вмісту сухої речовини у гною 25 % і коефіцієнта гуміфікації 0,2, із 1 т добрива утворюється 50 кг гумусу. Тому збереження бездефіцитного балансу гумусу або забезпечення додатного його балансу потребує значних витрат. Із цих міркувань насамперед важливо досягти

мінімально оптимального рівня гумусованості, за якого на певному ґрунті можна отримати високий врожай. Для дерново-підзолистих ґрунтів ця величина становить 1,6-2 %; для сірих лісових - 2,5-3; для чорноземів - 3-4 % і т. д.

Для визначення загального обсягу накопичення органічних добрив у господарстві застосовують такі коефіцієнти для переведу їх на стандартний гній: гній підстилковий - 1,0; гній безпідстилковий (10 % сухої речовини) - 0,25; компости торфогноєві (1:1) - 1,0; солома - 2,2; пташиний послід - 1,4; сапропель - 0,25; дефекація - 0,25.

Для підтримання бездефіцитного балансу гумусу на різних типах ґрунтів необхідна така насиченість сівозмін органічними добривами у перерахунку на підстилковий гній, т/га: на дерново-підзолистих середньо- і важкосуглинкових 10-12; супіщана - 12-15; чорноземах: типових і звичайних у сівозмінах без трав 6-8, з травами (20 %) - 4-5, вилужених - 7-12, карбонатних - 5-10; каштанових ґрунтах - 4-5; на зрошуваних землях - 13. У сівозмінах без багаторічних бобових трав ці норми гною потрібно збільшити на 20-30 %.

У середньому 1 т внесеного гною забезпечує утворення такої кількості гумусу в ґрунті, кг: на Поліссі - 42, в Лісостепу - 54, в Степу - 59.

Важливим джерелом органічних речовин для ґрунту є залишена на добриво солома. Коефіцієнт її гуміфікації в 1,5 рази менший, ніж у гною. Так, для підтримання оптимального гумусового стану чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу у польовій сівозміні за відсутності можливості вносити органічні добрива необхідно залишати на полі не менше 60 - 70 % нетоварної частини врожаю на фоні застосування мінеральних добрив у нормі $N_{45-90}P_{45-90}K_{45-90}$. За органічної системи удобрення з внесенням на 1 га площі сівозміни 9-18 т гною на полі необхідно залишати не менше 30-10 % нетоварної частини врожаю. За внесення на 1 га площі сівозміни 4,5-13,5 т гною у поєднанні з мінеральними добривами ($N_{30-70}P_{30-90}K_{20-60}$) ця частка повинна становити 50-30 %.

За традиційного обробітку ґрунту гумус мінералізується і щорічно під зерновими культурами вивільнюється близько 1 % азоту, під просапними - 1,5-2, під чистим паром - 4 % залежно від типу ґрунту, вмісту в ньому гумусу та

інших умов. На суглинкових ґрунтах за рахунок рослинних решток відновлюється близько 50 % мінералізованого гумусу, на супіщаних - близько 40 %. Решту гумусу потрібно поповнити внесенням органічних добрив. Вважають, що для утворення одиниці доступного для рослин азоту мінералізується 20 одиниць гумусу.

Різде зменшення застосування органічних добрив в Україні створює значний дефіцитний баланс гумусу в орних ґрунтах. За цих умов, на думку В. В. Медведєва, альтернативними джерелами відновлення гумусу можуть бути:

- удосконалення структури посівних площ та сівозмін за рахунок збільшення частки багаторічних трав, зернових колосових і бобових культур, скорочення площ просапних культур;
- максимальне використання відходів тваринництва і комунального господарства, знезаражених відходів побутових стічних вод, сапропелів, в окремих випадках - торфу;
- широке застосування сидеральних добрив, особливо в зоні з достатнім зволоженням, на ґрунтах легкого гранулометричного складу і зрошуваних ґрунтах;
- максимальне використання нетоварної рослинницької продукції, у т.ч. соломи, як органічного добрива, розширення застосування бактеріальних засобів.

Важливою проблемою деяких органічних добрив, які регулярно виробляються, є необхідність їх постійної утилізації. Особливо це стосується великих тваринницьких комплексів, де накопичуються значні обсяги рідкого і напіврідкого гною. Співвідношення у цих добривах вуглецю й азоту становить 1:7, що несприятливо впливає на накопичення гумусу в ґрунті. Тому їх внесення слід поєднувати із застосуванням добрив з високим вмістом вуглецю - соломи, тирси, торфу, лігніну.

3. Накопичення та застосування органічних добрив

Гній - це потенційно - універсальне біоорганічне добриво. Там, де встановлено зв'язок між рослинництвом і тваринництвом, зберігається повернення в ґрунт органічних речовин та елементів живлення.

Підстилковий гній є сумішшю твердих і рідких виділень різних тварин разом з підстилкою. Його склад визначається кількістю і співвідношенням цих складових, а вони неоднакові для різних видів (і віку) тварин, залежать від якості та кількості кормів. За складом і удобрювальною цінністю ці виділення також нерівноцінні: понад 90 % усього фосфору міститься у твердих, 50-75 % азоту і 80-90 % калію - у рідких виділеннях. Що більше в раціоні концентрованих кормів, які засвоюються значно краще, ніж грубі корми, то менше у виділеннях сухої речовини, але більше азоту і фосфору.

У рідких виділеннях тварин усі елементи живлення знаходяться в легко мінералізованих або легкорозчинних формах і внаслідок мікробіологічних перетворень дуже швидко стають доступними для рослин. У твердих і рідких виділеннях у найрухливіших, а отже, доступних для рослин формах, знаходяться калій, кальцій і меншою мірою магній.

Свіжі виділення тварин як добриво не використовують, оскільки вони можуть містити багато насіння бур'янів, хвороботворних бактерій тварин і людини, забруднювати навколишнє природне середовище.

За ступенем розкладання підстилковий гній умовно поділяють на:

- **свіжий слабкорозкладений**;
- **напівперепрілий** - маса гною порівняно з вихідною зменшується на 10-30 %;
- **перепрілий** на цій стадії втрачається половина вихідної маси гною й органічних речовин;
- **перегній** - однорідна сипка маса; його вихід становить до 25 % свіжого гною.

Найбільш удобрювальну цінність має напівперепрілий гній. У разі доведення його до перепрілого стану і перегною в 2-3 рази зменшується вміст

органічних речовин, значно змінюється хімічний склад: унаслідок амоніфікації азотистих сполук втрачається значна кількість азоту.

Вихід гною залежить від кількості підстилки, виду тварин, тривалості стійлового періоду. Його можна розрахувати кількома способами. Наприклад, за використання на одну голову великої рогатої худоби за добу 2 кг соломи за стійловий період (200 діб) накопичується близько 7 т гною. Свині за рік продукують 1-1,5 т гною на одну голову, коні - 7т, вівці - 0,5 т.

Якщо виходити з того, що суха речовина корму засвоюється тваринами лише на 50 %, а інша половина її перетворюється на гній і підстилка вбирає рідкі виділення у співвідношенні 1:4, то вихід гною (Н) можна розрахувати за формулою $H = 4 (K : 2 + П)$,

де К - маса сухої речовини корму; П - маса підстилки.

Вихід гною також розраховують за формулою $H = 2(K + П)$. Наприклад, у Франції кількість гною визначають множенням маси тіл худоби усього стада на коефіцієнт 25.

Для розрахунку виходу виділень від усього поголів'я худоби в господарстві його переводять в умовні голови за такими коефіцієнтами: корови й коні - 1,0; телята - 0,6; свині - 0,3; вівці й кози - 0,1; птиця - 0,02. Вихід твердих і рідких виділень від однієї умовної голови худоби становить 40 кг за добу. За річний норматив виходу рідких і твердих виділень з урахуванням 15 % втрат під час зберігання прийнято 9,5 т на умовну голову. До цієї кількості виділень усіх тварин, що є у господарстві, додають масу підстилкових матеріалів і отримують загальний вихід органічних добрив за рік.

Під час визначення маси гною, що зберігається в гноєсховищах або штабелях, потрібно враховувати його об'ємну масу: свіжого - 0,4, ущільненого - 0,7, напівперепрілого - 0,8, перепрілого - 0,9 т/м³.

Залежно від способів накопичення і зберігання до внесення гною в ґрунт процеси розкладання його органічних речовин і втрати азоту можуть дуже відрізнятися. Використовують три способи зберігання гною: *гарячий* (пухкий), *холодний* (щільний) і *гарячо-холодний* (пухко-щільний).

За *гарячого способу* зберігання гній складають у вузькі, завширшки не більш як 3 м штабелі без ущільнення, де він швидко розігрівається до температури 60-70 °С. При цьому втрачаються великі кількості (20-30 %) азоту та органічних речовин. Гній має погану якість, що зумовлено нерівномірністю його розкладання: в одних місцях зазвичай у середині штабеля, він дуже розігрівається, в інших (по краях) - пересихає і погано розкладається. За такого способу зберігання втрачається багато гноївки.

За *холодного способу* зберігання видалений з тваринницьких приміщень гній складають у штабелі завширшки 5 м, заввишки 1,5-2 м і відразу ущільнюють. Зверху його накривають шаром 10-15 см торфу, різаної соломи або ґрунту. В ущільненому штабелі температура взимку не підіймається вище за 25 °С, а влітку - за 30-35 °С. Мікробіологічні процеси уповільнюються, тому втрати органічних речовин та азоту мінімальні. Напівперепрілий гній взимку утворюється через 3-4 міс, перепрілий - через 7-8 міс після закладання штабелю.

За *гарячо-холодного способу* зберігання гній спочатку вкладають шарами 80-100 см, а після підвищення температури в шарі до 55-60 °С його ущільнюють. При цьому температура знижується до 30-35 °С, що відповідає холодному зберіганню. За такого способу напівперепрілий гній утворюється через 1,5-2 міс, перепрілий - через 4-5 міс.

Для вивезення гною на поле взимку під штабель готують майданчик - очищають його від снігу і вкривають шаром торфу або різаної соломи завтовшки 20 см. Штабель формують заввишки 1,5-2 м, завширшки 4-5 м, укривають шаром торфу або різаної соломи (до 25 см). Штабелі розміщують по полю так, щоб при внесенні гною було якомога менше холостих проїздів гноєрозкидачів.

Відстань між рядами штабелів (B_p) має дорівнювати робочому ходу гноєрозкидача, її визначають за такою формулою:

$$B_p = 10\,000 \cdot T : H \cdot Ш,$$

де T - вантажопідйомність гноєрозкидача, т; H - норма гною, т/га; $Ш$ - ширина розкидання гною, м; 10 000 - площа 1 га, м².

Відстань між штабелями в ряду ($B_{ш}$) розраховують за формулою

$$B_{ш} = M \cdot Ш : T,$$

де M — маса штабеля, т.

Застосування підстилкового гною розпочинають із розподілу наявної його кількості в господарстві між сівозмінами і поза ними в такому порядку: овочеві, прифермські кормові, польові.

Овочеві культури найвибагливіші до родючості ґрунту, але реакція їх на органічні добрива неоднакова. Найліпше на них реагують сланкі культури (огірок, кабачок, гарбуз, кавун, диня і т.д.), а також цибуля, часник, капуста білоголова і цвітна, зеленні культури, редиска.

Гній вносять під кормові культури на полях поблизу ферм, що знижує транспортні витрати. Найчутливіші з них - кукурудза, однорічні й особливо багаторічні трави, кормові коренеплоди.

У польових сівозмінах гній вносять під кукурудзу на зерно, буряк цукровий, картоплю, озимі зернові. Широко практикують його внесення в чистий і зайнятий пар.

Норми гною залежать від ґрунтово-кліматичних умов, його кількості і якості, способів внесення, біологічних особливостей сільськогосподарських культур, економічної доцільності та екологічної безпечності. На Поліссі під просапні культури вносять 30-60 т/га гною, зокрема під буряк цукровий – 40-50, картоплю – 50-60, кукурудзу – 30-40, під зернові – 20-30 т/га; в Лісостепу під просапні культури – 40-50 т/га, в районах недостатнього зволоження – 20-35, під зернові – 20-25, на еродованих ґрунтах – 40-60 т/га; в Степу на богарних землях під зернові колосові – 20-25 т/га, під просапні – 30-40, на зрошуваних землях під просапні – 60-80 т/га.

Підстилковий гній вносять на поля гноєрозкидачами і в той самий день заробляють у ґрунт, оскільки не заораний упродовж доби гній втрачає до 50 % аміачного азоту. Глибина заробляння гною в ґрунт залежно від ґрунтово-кліматичних умов і ступеня його розкладання змінюється від 15 до 30 см. За мілкого заробляння у вологому ґрунті розкладання його пришвидшується, за глибокого - уповільнюється. За нестачі вологи (в засушливих умовах) мілке

заробляння затримує розкладання гною і ще більше висушує ґрунт. На ґрунтах легкого гранулометричного складу гній потрібно заробляти глибше.

У разі локалізації основного внесення гною (у борозни, в рядки) мінімальні норми його зменшують у 2 рази, за локального внесення під час садіння (в ямки) - в 4 рази.

Локалізація та зменшення норм внесення за будь-якого способу застосування гною значно підвищує оплату його одиниці приростом урожаю першою культурою. За узагальненими даними ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського», 1 т гною залежно від норми і ґрунтово-кліматичної зони скуповується такими приростами врожаю, ц: картоплі - 1,3-2,2, буряку цукрового - 1,9-3,8, зернових колосових - 0,13-0,29, пшениці озимої - 0,07-0,28, кукурудзи - 0,2-0,3; при внесенні гною з мінеральними добривами прирости врожаю відповідно становлять, ц: 0,27-2,0, 1,1-3,0, 0,06-0,19, 0,14-0,22. Зазвичай 1 т гною, внесеного у сівозмінах Полісся, забезпечує приріст урожаю 1,2 ц, в Лісостепу - 0,8, у Степу - 0,6 ц у перерахунку на зерно.

Із внесеного у ґрунт гною в перший рік рослини використовують 20-30 % азоту, 30-40 - фосфору і 60-70 % калію загального їх вмісту. Отже, порівняно з мінеральними добривами азот у перший рік засвоюється гірше, фосфор - майже вдвічі краще, а калій майже так само, як і з мінеральних добрив. Тому гній насамперед потрібно доповнювати мінеральними азотними добривами. Зазвичай необхідно не більш як 75 % потреби культур в азоті задовольняти за рахунок гною. Це підтверджується і відповідними розрахунками. Наприклад, якщо напівперепрілий солом'яний гній містить 0,5 % азоту, 0,25 - P_2O_5 % і 0,6 % K_2O , то при нормі його внесення 30 т/га в ґрунт надходить 150 кг азоту, 75 кг P_2O_5 і 180 кг K_2O . В перший рік культури засвоюють: азоту 45 кг/га (30 %), P_2O_5 - 26,3 (35 %), K_2O 108 кг/га (60 %) за співвідношення N: P_2O_5 : K_2O , що дорівнює 1,7:1,0:4,1.

Більшість сільськогосподарських культур найбільше засвоює азоту, потім калію і менше фосфору в таких співвідношеннях N: P_2O_5 : K_2O : зернові колосові - 2,8:1:1,9, трави - 3,5:1:3,0, зернобобові - 5:1:2. Калієфільні культури засвоюють

більше калію: картопля - 3:1:4, коренеплоди – 3-4 : 1: 4-6, соняшник - 2:1: 6-7. Отже, всі культури за винятком соняшнику при удобренні гноєм потребують додаткового внесення азоту з мінеральними добривами. На другий і в наступні роки елементи живлення з гною продовжують засвоюватися культурами сівозміни. Азот, фосфор і калій інша культура на другий рік засвоює відповідно 15-20, 10-15, 10-15 %, на третій рік - 10-15, 5-10, 0-10 %.

Тривалість післядії гною залежить від ґрунтово-кліматичних умов, зокрема від гранулометричного складу ґрунту. На піщаних і супіщаних ґрунтах сумарна його дія триває 3-4 роки, на легко- і середньосуглинкових – 6-8, на важкосуглинкових і глинистих – 10-12, іноді - 16 років. За дією на продуктивність культур гній не поступається мінеральним добривам, внесеним в еквівалентних кількостях, а на ґрунтах легкого гранулометричного складу бідних на органічні речовини навіть переважає їх.

Найвищий ефект спостерігається за сумісного внесення гною (органічних добрив) і мінеральних добрив, тобто у разі доповнення нестачі елементів живлення гною елементами мінеральних добрив. Проте на практиці гній вносять лише під одну-дві культури сівозміни, а під інші культури, з урахуванням післядії гною, вносять лише мінеральні добрива.

Під час зберігання із гною стікає *гноївка* - цінне швидкодійне добриво. Гноївка, що накопичується у гноївкозбірниках біля тваринницьких приміщень, містить 0,1 % азоту, 0,03 - P_2O_5 , 0,28 % - K_2O , тоді як гноївка у гноєсховищах містить 0,26 % азоту, 0,06 - P_2O_5 і 0,58 % K_2O . Отже, гноївка - це азотно-калійне добриво.

Із гноївки найліпше виготовляти компости. Без компостування норма її внесення становить 10-20 т/га. Підживлення просапних культур нормою 5-7 т/га для першого підживлення і 8-12 т/га - для другого проводять на глибину 8-12 см. Для підживлення озимих, пасовищ і сіножатей гноївку (3-5 т/га) у 2-3 рази розбавляють водою. Проте, якщо вміст у ній азоту менший за 0,2 %, розбавлення не потрібне.

Безпідстилковий гній - це суміш рідких і твердих виділень тварин з домішками кормів і води. Залежно від кількості води, що пов'язано з технологією його виділення, безпідстилковий гній поділяють на *напіврідкий* (містить більш як 8 % сухої речовини), *рідкий* (3-8 %) та *гнойові стоки* (3 % сухої речовини).

Кількість і якість рідкого безпідстилкового гною залежить від виду і віку тварин, типу годівлі, тривалості періоду відгодівлі або стійлового утримання, кількості води, що витрачається на прибирання гною з приміщень, технології його зберігання. Так, у разі збільшення кількості води об'єм гною зростає. Наприклад, за підвищення вологості лише на 2 % (з 90 до 92 %) його об'єм збільшується на 25 %. У середньому рідкий гній усіх видів тварин містить 0,3 % азоту, 0,13 - P_2O_5 і 0,3 % - K_2O . Після розшарування гною в рідку фракцію переходить 80 % азоту, 70 - фосфору і 90 % - калію.

У разі використання безпідстилкового гною для удобрювальних поливів його заздалегідь розділяють на тверду і рідку фракції (зазвичай природним відстоюванням). Крім того, можна використовувати й інші методи: проціджування, фільтрацію, пресування, сепарацію, декантацію, коагуляцію. Для удобрювальних поливів вегетуючих рослин гній у період внесення у 6-8 разів розбавляють водою, а в інші періоди - у 2-4 рази. Концентрація азоту під час внесення гною на посівах більшості сільськогосподарських культур має не перевищувати 1 г/л. Напіврідкий гній можна компостувати з торфом або різаною соломою.

У Німеччині поширене приготування міксів (рідкого гною з додаванням у нього певних елементів живлення відповідно до розроблених рецептур). Доза їх внесення - 40 м³/га.

Безпідстилковий гній придатний як для основного удобрення, так і для підживлення. На ґрунтах важкого гранулометричного складу його можна вносити впродовж року, а легкого, з метою запобігання втратам азоту - лише влітку під озимі та навесні під ярі культури. За поверхневого застосування його потрібно відразу ж заробляти в ґрунт. На луках і пасовищах рідкий гній вносять улітку із дощувальних установок відразу після випасання худоби або

скошування трави з тим, щоб до чергового використання минуло не менш як 3 міс. Для поліпшення якості корму отаву можна полити чистою водою.

Екологічно найбезпечнішим і найефективнішим є внесення рідкого гною в ґрунт під час міжрядного обробітку посівів.

У рік внесення безпідстилковий гній ефективніший за підстилковий. Це пояснюється вдвічі вищою доступністю азоту та на 10 % і більше - фосфору і калію. Тому його ефективність значно підвищується за сумісного застосування з фосфорними і калійними добривами. У наступні роки дія безпідстилкового гною нижча, ніж підстилкового, а загалом він не поступається останньому.

Пташиний послід - цінне, найбільш концентроване і швидкодієне органічне добриво. Вміст елементів живлення в пташиному посліді залежить від складу кормів і менш істотно - від способу утримання птахів.

У середньому за рік від кожної курки накопичується 6 кг, качки - 8, гуски - 10, індики - 9 кг посліду. Залежно від особливостей технології вирощування птахів послід буває підстилковий і безпідстилковий. Азоту і фосфору в безпідстилковому курячому посліді значно більше, ніж у підстилковому гною тварин.

Половина азоту, що є в пташиному посліді, 40 % фосфору і 60 % калію знаходяться у водорозчинній формі. До складу посліду також входить значна кількість мікроелементів, мг/кг сухої речовини: мангану – 150-400, цинку - 120-400, кобальту - 10-13, міді - 5-10, заліза - 3500-8000.

Підстилковий курячий Він має добру сипкість і невисоку вологість. Його застосовують так само, як і підстилковий гній у нормах, розрахованих за вмістом азоту. Технологія внесення підстилкового посліду така сама, як і підстилкового гною.

Безпідстилковий курячий послід. Безпідстилковий курячий послід - це липка маса з різким неприємним запахом вологістю до 70 %. У такому посліді порівняно з підстилковим більша кількість елементів живлення, які знаходяться в засвоюваних рослинами формах.

Сухий послід. Такий послід має низьку вологість, втрати азоту не перевищують 5 %, маса зменшується, а концентрація елементів живлення порівняно з вихідним рівнем зростає майже втричі. Сухий послід можна гранулювати з додаванням мінеральних добрив і фасувати в мішки. Послід, внесений в еквівалентних кількостях порівняно з мінеральними добривами за вмістом основних елементів живлення, дає аналогічні результати.

Пташиний послід застосовують до початку сівби культур та під час їх вегетації - для підживлення. Вносять його перед сівбою під просапні культури та овочі в нормі 4-5 т/га, під зернові культури - 2,5 т/га. Норми сухого посліду в 2-3 рази менші. Для підживлення культур застосовують 0,5-1 т/га безпідстилкового посліду, а при внесенні в борозни і ямки - 0,4-0,5 т/га. Норми підстилкового посліду на 20-30 % вищі, а сухого - втричі нижчі. Для позакореневого підживлення послід розбавляють водою у 7 разів. Пташиний послід можна застосовувати для весняного підживлення озимих культур (2 т/га), а також для удобрення сіножатей і пасовищ (10-15 т/га).

Сухий пташиний послід широко застосовують у тепличному овочівництві. Наприклад, під огірок його вносять із розрахунку 1-5 кг/м². З нього можна приготувати «штучний» гній, змішавши із соломою у співвідношенні 1:10.

У рік внесення пташиного посліду в середньому засвоюється 50 % N, 20 - P₂O₅, 70 % - K₂O. За впливом на врожай і якість продукції пташиний послід у перший рік наближається до мінеральних добрив, у наступні - до гною.

Солома, післязбиральні і кореневі рештки

Основа простого відтворення родючості ґрунту в землеробстві - дотримання закону повернення поживних речовин у ґрунт. Крім елементів живлення, винесених урожаєм, у ґрунт мають повертатися органічні речовини - надземна біомаса (нетоварна частина врожаю). Тому крім підстилки для худоби та для інших господарських потреб решта соломи має бути використана як органічне добриво. Вміст сухих речовин у соломі досягає 85 %, у підстилковому гною - 20, зеленому добриві - 10, рідкому гною - 3 %.

У країнах з розвинутим аграрним виробництвом більшу частину нетоварного врожаю застосовують як добриво і лише незначну - використовують для опалення. Так, у Китаї на паливо використовують 1 % соломи, у Німеччині - 5, у Франції - 12 %, а решту застосовують у тваринництві або заробляють у ґрунт. Вважають, що після сівби чергової культури 20-30 % поля має бути вкрито рослинними рештками. Залежно від культури покриття може становити 10-90 %.

Нині органічні добрива майже не вносять. За умови, що всі рослинні рештки основних і пожнивних культур залишаються на полі, досягається навіть додатний баланс органічного вуглецю і, що важливо зазначити, це економічно вигідніше, ніж використовувати ці рештки для потреб тваринництва і повертати їх на поле вже як гній. За такого способу господарювання органічні добрива непотрібні.

Хімічний склад соломи залежить від властивостей ґрунту, удобрення і погодних умов. Солома зернових культур у середньому містить 0,5 % N, 0,25 - P_2O_5 , 0,8 - K_2O , 35-40 % органічного вуглецю та незначні кількості кальцію, магнію, сірки і мікроелементів.

В усіх видах соломи, крім соломи зернобобових культур, широке співвідношення вуглецю до азоту. Від співвідношення C:N прямо залежить швидкість розкладання соломи: чим воно вужче, тим швидше розкладається солома. В перший рік після внесення соломи у чистому вигляді врожай дещо знижується в результаті додаткового засвоєння азоту ґрунту мікрофлорою, яка розкладає соломку. Для усунення цього негативного явища на 1 т соломи додають 4-15 кг азоту добрив.

Солома є енергетичним матеріалом для мікроорганізмів ґрунту, а продукти розкладання соломи - будівельним матеріалом для лабільного гумусу. Тому для її розкладання мікроорганізми потребують додаткового живлення азотом, який вони перехоплюють у рослин з ґрунту і добрив. Так, відомо, що солома колосових культур бідна на азот: в 1 т в середньому міститься 480 кг вуглецю і 5 кг азоту (96:1). Так як у соломі природний вміст азоту становить 5 кг/т, то необхідно додатково вносити ще 11 кг/т його. У вигляді добрив, особливо на

родючих, достатньо зволжених ґрунтах, вважається достатнім внесення тільки половину вказаної кількості азоту (4-6 кг/т). Решту його мікроорганізми засвоюють з повітря і ґрунту.

Негативна дія соломи. Солома діє на культуру, під яку її вносили як добриво, депресивно. Крім високого співвідношення С:N пригнічувальна дія пов'язана з наявністю в ній розчинних форм органічних сполук - саліцилової та дигідростеаринової кислот і ваніліну. Водна витяжка зі свіжої соломи гальмує розвиток рослин. У соломі та продуктах її розкладання виявлено похідні фенолу, які токсично впливають на рослини. В ґрунті продукти розкладання соломи - бензойна, ванілінова і кумаринова кислоти - значно інгібують ріст рослин (затримується ріст коренів, порушується обмін речовин, виявляються ознаки хлорозу).

Крім фенольних сполук під час розкладання соломи утворюється низка органічних кислот: мурашина, оцтова, молочна, масляна, щавлева, бурштинова, валеріанова та інші, які також є шкідливими для розвитку корневих систем рослин. Особливо багато різних сполук накопичується в ґрунті за анаеробного розкладання соломи.

Велике значення для усунення депресивного ефекту соломи на рослини має азот. Високі норми азоту мінімізують депресивний вплив витяжки із соломи.

У процесі розкладання в ґрунті з 1 т соломи вже через 3 міс утворюється близько 50 кг гумусу, через 2 роки його утворення завершується, досягнувши максимального значення – 90-100 кг. Новоутворені гумусові речовини належать до класу так званого поживного гумусу. За 4 роки їх кількість зменшується до 70 кг.

Органічні речовини рослинних решток розкладаються тим швидше, чим більший у них вміст азоту і чим менше співвідношення азоту і вуглецю. Якщо соломі використовують як добриво, потрібно також вносити азотні добрива з розрахунку 10-12 кг д. р. на кожен тону соломи. Активність мікроорганізмів можна підвищити, якщо замість мінерального азоту добрив до соломи додавати безпідстилковий гній, гноївку або інші органічні добрива. Ефективним також є

застосування біо-деструктора стерні - комплексного за складом і багатofункціонального за дією мікробного препарату промислового виробництва, розчином якого обприскують ґрунт і післязбиральні рештки рослин.

Основні агротехнологічні вимоги до використання соломи як добрива:

1. Солому насамперед варто вносити на бідних, виораних ґрунтах, на полях, віддалених від тваринницьких ферм більш як на 5 км, а також якщо в господарстві бракує гною.
2. Солому можна вносити під усі сільськогосподарські культури. Найліпше вона розкладається у разі загортання її при основному обробітку ґрунту на полях, призначених для вирощування просапних культур.
3. Рівномірність розподілу подрібненої соломи завдовжки 5-10 см має становити не менш як 75 % безпосередньо під час обмолоту зерна.
4. Подрібнену солому можна залишати в полі впродовж 1-2 тижнів після збирання врожаю. У такому разі вона є мульчею, яка запобігає висушуванню ґрунту.

Після розкидання соломи потрібно внести азотні добрива із розрахунку 10-12 кг д. р. на 1 т соломи та обробити поле дисковою бороною на глибину 8-12 см.

Оранку зазвичай проводять в оптимальні строки.

Лише тривале систематичне застосування соломистих добрив може так само впливати на ґрунт і рослини, як і добре сидеральне добриво в короткий строк. Тому доцільно чергувати або комбінувати застосування цих добрив.

Післязбиральні рештки рослин (стерня і коріння) - важлива стаття надходження в баланс органічних речовин і трансформації елементів живлення у ґрунті. Кількість і якість післязбиральних решток залежить від культури, сорту та врожайності і змінюється в широких межах, т/га: люпин багаторічний – 2-3, конюшина – 3-7, люцерна - 4-9, горох - 1,5-3, озимі жито і пшениця - 2,2-6,5, ячмінь – 2-4,5, кукурудза - 1,5-6, картопля – 1-1,2, буряк цукровий – 1-1,5, жито на зелений корм – 1-2, гірчиця - 0,4-1,0, багаторічні злакові трави – 5-11.

Слід зазначити, що разом із поліпшенням балансу органічних речовин післяжнивнио-кореневі рештки бобових і зернобобових культур унаслідок азотфіксації поліпшують також і баланс азоту. Вміст азоту в коренях бобових культур досягає 2-2,5 %, тоді як в інших культур - не перевищує 0,5-1 % у розрахунку на суху речовину. Тому післязбиральні рештки люцерни за вмістом у них сухої речовини та азоту на 1 га можуть бути еквівалентні 40 т/га гною, конюшини – 20-25 т/га гною.

Злакові багаторічні трави за масою післязбиральних решток серед усіх культур посідають перше місце, але містять мало азоту (0,5-0,7 %), що створює широке співвідношення C:N. Тому під час їх мінералізації мікроорганізми використовують з ґрунту і добрив значну кількість азоту, приблизно таку саму, як і при заорюванні соломи на добриво.

Зелені добрива (сидерати) - свіжа рослинна маса спеціально вирощуваних культур, частково або повністю зароблена в ґрунт для підвищення його родючості й поліпшення живлення наступних рослин азотом та іншими елементами. Ці культури називають *сидератами*, а сам захід - *сидерацією*, тобто під зеленим добривом розуміють заробляння в ґрунт ще не змертвілої зеленої соковитої біомаси рослин, багатой на цукри, крохмаль, білок та азот, а також їх коріння, яке ще функціонувало на час обробітку ґрунту.

Заробляння сидератів, як і інших органічних добрив, збагачує ґрунт органічними речовинами, знижує його кислотність, забур'яненість полів, підвищує буферність, поліпшує структуру ґрунту, активізує життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів, їх вирощування запобігає втратам елементів живлення внаслідок ерозії та міграції по профілю ґрунту. Сидерацію застосовують на віддалених від ферм полях, куди економічно не вигідно завозити гній, а також у господарствах з малим виробництвом органічних добрив, у спеціалізованих господарствах без тваринництва.

Сидерати мобілізують елементи живлення нижніх шарів ґрунту і переміщують їх в орний шар. Якщо внесення гною - це повернення в ґрунт елементів живлення, що були використані рослинами для створення врожаю, то

застосування зеленого добрива - це мобілізація поживних речовин із сонячної енергії, атмосфери та нижніх шарів ґрунту, які мало використовуються.

У світовій практиці на зелене добриво вирощують турнепс, капусту кормову, люпин, фацелію, гречку, багаторічні трави (люцерну, конюшину, буркун, еспарцет), зернобобові (вику, горох, боби кормові), капустяні (ріпак, редьку олійну, гірчицю, суріпицю), злакові (жито, тритикале, райграс, суданську траву).

Сидерацію потрібно запроваджувати з відповідною алелопатичною узгодженістю між культурами. Ефективність її значно зростає, коли сумішки складаються з правильно підібраних культур, як от: гірчиця + ріпак ярий; еспарцет + райграс однорічний; овес + вика + гірчиця; вика + овес; солома попередника + гірчиця; солома + редька олійна тощо. Дуже популярними є суміші озимих - вики і жита, ярих - вики і вівса, гороху і вівса, пелюшки і кормових бобів, вики ярої, пелюшки й ріпаку.

У регіонах з достатнім зволоженням слід висівати люпин, конюшину, вико-вівсяні суміші, райграс, капустяні культури, у більш посушливих умовах - вико-житню, вико-вівсяну та горохово-вівсяну суміші, горох, буркун, еспарцет. За низьких запасів азоту в ґрунті та на бідних землях сидерація капустяними культурами неефективна.

Вибираючи сидеральну культуру, зважають на вартість насіння, яке потрібно висіяти на 1 га посівної площі. При використанні на зелене добриво злакових культур доцільно третину або половину норми азоту і всю норму фосфору й калію, призначену для основної культури, внести під сидерат. Біомаса сидерату в такому разі може збільшуватися майже вдвічі.

Застосовуючи на сидерацію капустяні культури, слід мати на увазі, що біомаса редьки олійної, ріпаку, суріпки та інших визначається наявністю в ґрунті азоту та рівнем ґрунтової родючості взагалі. За низьких запасів азоту і на бідних ґрунтах капустяні сидерати зазвичай не вдаються зовсім. Тому для отримання високого врожаю зеленої маси капустяних потрібно обов'язково вносити мінеральні добрива у нормах 60-90 кг/га д. р., доцільно висівати бобові

сидерати, які можуть мобілізувати 100-200 кг/га біологічного азоту, якого вистачає для вирощування не лише першої, а й наступних культур.

В одиниці рослинної маси бобових сидератів міститься така сама кількість азоту, як і в одиниці гною, але фосфору і калію менше, тому останні додатково вносять з мінеральними добривами. В ґрунті зелені добрива розкладаються значно швидше, ніж інші органічні добрива.

Розрізняють такі способи застосування зелених добрив: *підпокривний, само-стійний, проміжний, або вставний, укисний, отавний, укисно-отавний*. За **підпокривного** під покрив основної культури насамперед висівають еспарцет, люпин, конюшину, буркун, або, наприклад, вику мохнату висівають як озиму культуру з осені, а навесні в посів сіють кукурудзу. Потім, коли вика досягне висоти 30 см, її знищують гербіцидами. За **самостійного** культура займає все поле впродовж вегетаційного періоду або навіть кілька років підряд (сидеральний пар, «екопар»). Це запобігає водній і вітровій ерозії, пригнічує розвиток бур'янів, сприяє іммобілізації поживних речовин ґрунту. За **проміжного, або вставного** способу культура займає поле у період між збиранням однієї і сівбою іншої культури. Залежно від строків сівби сидерату він може бути підсівним (наприклад, люпин навесні підсівають під жито озиме на зелений корм, а після скошування жита сидерат відростає, після чого його приорють) і пожнивним (люпин сіють після збирання ярих або озимих культур). Це найпоширеніший спосіб застосування сидератів. Критерієм можливого використання культур на сидерат у поукісних посівах є температура, за якої припиняється вегетація. Найчастіше сидератом слугують горох, вика, гірчиця біла, райграс, фацелія, ріпак, суріпиця.

Укисне зелене добриво. Сидерат вирощують на одному полі, а йде на іншому у вигляді скошеної, подрібненої маси, яку розкидають по полю й заорюють. Найчастіше для цього вирощують люпин багаторічний у запільних клинах.

Отавне, або укисно-отавне, зелене добриво. Перший укис сидератів використовують на корм худобі, а отаву, що відростає, заорюють у ґрунт.

Азот у зеленій масі заораних у ґрунт рослин знаходиться переважно у формі білкових сполук. У процесі її мінералізації спочатку відбувається амоніфікація, потім нітрифікація й азот зелених добрив переходить у сполуки, доступні для живлення рослин.

Швидкість розкладання заробленої сидеральної маси залежить від низки умов. Мають значення вид і вік сидерату, гранулометричний склад і вологість ґрунту, глибина заробляння. Чим старша рослина, важчий гранулометричний склад і більша глибина заробляння добрива, тим повільніше воно розкладається. Отже, для пришвидшення розкладання й отримання елементів живлення в доступній для рослин формі глибина заробляння сидерату в ґрунт має бути меншою. І навпаки, якщо ставиться мета підвищити вміст гумусу в ґрунті, заробляти його потрібно глибше. Глибоке заорювання особливо важливе на ґрунтах легкого гранулометричного складу. За добавляння гною або гноївки, навпаки, розкладання зеленого добрива пришвидшується.

У перший рік дії коефіцієнт використання азоту зеленого добрива зазвичай вищий, ніж гною. Крім того, бобові сидерати мають добре розвинену кореневу систему, що глибоко проникає в ґрунт, тому вони засвоюють поживні речовини з нижніх шарів ґрунту, а також фосфор та інші елементи живлення з важкорозчинних сполук. У зв'язку з цим під час розкладання заробленої рослинної маси верхній шар ґрунту збагачується не лише органічними речовинами та рухомими сполуками азоту, а й фосфором, калієм, кальцієм та іншими елементами.

Особливо велике значення має фаза росту й розвитку заорюваних рослин. Заробляння сидератів у фазу до цвітіння бобових або колосіння злакових активізує мікробіологічні процеси в ґрунті, підвищує врожайність наступних культур, але не впливає на кількість і якість гумусу. Це пояснюють тим, що ніжна зелена маса сидерату бідна на лігнін, швидко мінералізується і в гумусних сполуках не закріплюється. Слід зазначити, що заробляння сидератів у ранні строки може спровокувати мінералізацію органічних речовин ґрунту та висушувати його орний шар. Тому сидерати подрібнюють і загортають перед замерзанням ґрунту восени. Крім того, можна проводити кулісну сидерацію для снігозатримання в

зимовий період із загортанням маси рослин навесні дисковими боронами з наступним заорюванням. За ступенем впливу на врожайність культур сидерати наближаються до підстилкового гною в нормі 20-30 т/га, причому витрати на їх виробництво та застосування в 2-4 рази нижчі.

Отже, сидерація крім поповнення вмісту органічних речовин і азоту в ґрунті має такий різнобічний позитивний вплив на ґрунт: дещо знижується кислотність ґрунту, підвищується буферність і ємність поглинання катіонів; усувається ерозія ґрунту; регулюються ґрунтово-мікробіологічні процеси внаслідок розмноження мікроорганізмів; поліпшується структура, значно збільшується водопроникність і вологоємність ґрунту; знижується ураженість рослин хворобами; підвищується ефективність добрив і вапнування.

Контрольні питання

1. Яке значення органічних добрив у живленні рослин?
2. Як застосовують добрива в живленні рослин?
3. Які основні причини втрати гумусу з ґрунту Вам відомі?
4. Які основні заходи до компенсації мінералізованого гумусу в ґрунті?
5. Який метод використовують для балансових розрахунків запасів гумусу в зарубіжних країнах?
6. Що аналізує коефіцієнт гуміфікації?
7. Які альтернативні джерела відновлення гумусу можуть бути?
8. Який гній має найбільшу удобрювальну цінність?
9. Як розраховують вихід гною?
10. Які відомі способи зберігання гною?
11. Який розподіл застосування гною у сівоzmінах?
12. Від чого залежить внесення норми гною?
13. Скільки рослини використовують азоту, фосфору і калію у перший рік внесеного у ґрунт гною?

Тема 3: МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА В ЖИВЛЕННІ РОСЛИН

- 1. Особливості застосування азотних добрив.**
- 2. Особливості застосування фосфорних добрив.**
- 3. Особливості застосування калійних добрив.**
- 4. Особливості застосування мікродобрив.**

1. Особливості застосування азотних добрив

За інтенсивного сільськогосподарського виробництва азотні добрива - основний засіб забезпечення рослин азотом. Однією з негативних властивостей цих добрив є їх висока рухливість. Азот мінеральних добрив майже повністю витрачається в рік його внесення. Для підвищення ефективності азотних добрив слід максимально знизити фізичні втрати азоту та запобігати виділенню в атмосферу його газоподібних сполук, що утворюються в процесі нітрифікації та денітрифікації.

На ефективність застосування азотних добрив значно впливають такі чинники: географічні закономірності їх дії; комплекс агрохімічних і меліоративних заходів, які використовують у сівозміні або під певну культуру; технологія внесення азотних добрив, тобто строки, способи, форми і т. д.; удосконалення форм азотних добрив і застосування інгібіторів нітрифікації; використання найефективніших методів встановлення норм і доз азотних добрив.

Азотні добрива найефективніші на дерново-підзолистих ґрунтах за достатнього зволоження та на ґрунтах у південних районах в умовах зрошення. На сірих лісових ґрунтах, чорноземах опідзолених і вилужених без зрошення азотні добрива менш ефективні. Так, на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся половину приросту врожаю пшениці озимої та ячменю ярого забезпечують азотні добрива. У Лісостепу провідну роль також відіграють азотні добрива. На чорноземах звичайних у Степу приріст врожаю озимої пшениці лише на 1/3 пов'язаний із дією азотних добрив. У формуванні врожаю с.-г. культур під

впливом азотних добрив простежується загальна закономірність: зниження їх ефективності з півночі на південь та із заходу на схід.

Підвищення ефективності азотних добрив пов'язане зі своєчасним і високоякісним застосуванням комплексу агрономічних, меліоративних і ґрунтозахисних заходів із поліпшенням культури землеробства (відсутність забур'яненості, сприятливі водний, повітряний і температурний режими ґрунту, оптимальний вміст рухомих сполук елементів живлення в ґрунті, вирощування високопродуктивних культур, що добре реагують на внесення азотних добрив, застосування інтегрованої системи захисту рослин проти шкідників, хвороб.

Поєднання органічних і мінеральних добрив особливо важливе в разі застосування високих норм азоту. Органічні добрива запобігають негативній дії мінерального азоту, сприяють ліпшому й ефективнішому їх засвоєнню.

Ефективність азотних добрив підвищується після вапнування кислих ґрунтів, що пояснюється ліпшим засвоєнням азоту, підвищенням іммобілізації азоту ґрунтом, поліпшенням фосфорного живлення рослин. У засушливих степових районах позитивна дія азотних добрив посилюється в разі зрошення.

У зв'язку з тим, що різні сорти й гібриди сільськогосподарських культур мають неоднакові біологічні особливості розвитку і по-різному реагують на родючість ґрунту, попередники, гідротермічні умови, норми добрив, строки і способи їх застосування диференціюють залежно від запланованої врожайності на кожному полі. Чим вищий урожай заплановано і чим нижча родючість ґрунту, тим більше потрібно вносити азотних добрив. В умовах недостатнього зволоження їх норми мають бути менші, ніж за достатнього зволоження та в умовах зрошення.

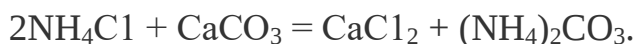
Внесення підвищених норм азотних добрив, особливо на ранніх стадіях росту зернових культур, спричинює вилягання рослин, зниження врожаю і погіршення умов його збирання. За вилягання пшениці озимої у фазу цвітіння врожай зерна зазвичай знижується на 40 %, через 15 діб після цвітіння - на 30 і через 30 діб після цвітіння - майже на 20 %. За надмірного азотного живлення зернових культур у рослинах підвищується вміст азоту, амінокислот і різних

цукрів, що призводить до ушкодження їх попелицями, борошнистою росою та іржею. Тому під час визначення норм азотних добрив для зернових потрібно ретельно враховувати ґрунтові й погодні умови, дію попередників та інших агротехнологічних чинників.

Упродовж вегетації сільськогосподарські культури мають різні періоди найінтенсивнішого використання азоту. Тому залежно від біологічних особливостей культур і сортів наближення строків застосування азотних добрив до періоду активного засвоєння азоту рослинами є одним із засобів підвищення ефективності добрив.

Цінність різних форм азотних добрив, внесених завчасно до початку використання азоту рослинами, однакова. Ефективність аміачних і нітратних добрив залежить від умов їх використання. Особливу увагу приділяють добору форм мінеральних добрив в умовах зрошення.

Нітратні та аміачно-нітратні азотні добрива вносять у рядки під час сівби в дозі 7-10 кг азоту/га, а також для підживлення (за потреби). Підживлення проводять у період найбільшої потреби рослин в азоті. Азотні добрива можна також вносити восени під час зяблевого обробітку ґрунту (за винятком районів з достатнім зволоженням і штучним зрошенням). Азот амонійних добрив добре вбирається ґрунтом, але в разі завчасного внесення за оптимальних умов зволоження і температури ґрунту відбувається його нітрифікація. Нітратний азот, що при цьому утворюється, вимивається з орного шару ґрунту осінньо-зимовими опадами та зазнає денітрифікації. За поверхневого внесення амонійних добрив, зокрема на лужних ґрунтах, можливі втрати азоту внаслідок таких хімічних перетворень:



Карбонат амонію, що утворився, легко розкладається з виділенням аміаку:



Рідкі азотні добрива використовують для основного удобрення та для підживлення. Найліпше їх вносити у ґрунт наприкінці березня на початку травня. Амоній при цьому майже без втрат нітрифікується до кінця червня. За

ефективністю рідкі азотні добрива рівноцінні твердим, але мають деякі переваги: дають змогу майже повністю механізувати всі роботи з їх застосування; вносити разом з мікроелементами, пестицидами, інгібіторами, поєднувати внесення з іншими агротехнологічними заходами із дотримання встановлених правил техніки безпеки і гігієни праці. Щоб запобігати втратам газоподібного аміаку, рідкі аміачні добрива вносять на достатню глибину, а амонійні та амідні після поверхневого розбризкування негайно заробляють у ґрунт. Ефективним є також пізньоосіннє їх внесення, коли температура ґрунту знижується до 10-5 °С і процеси нітрифікації пригнічуються. Більша частина азоту взимку зберігається в ґрунті у формі амонію, що зводить до мінімуму його втрати.

Рідкі азотні добрива мають такі переваги перед твердими: висока продуктивність під час внесення; оптимальна точність розподілу по площі; точне дозування під час внесення малих доз добрив; швидке поглинання листками; комбінування з засобами захисту рослин, деяке поліпшення дії останніх; підвищення змочувальної здатності деяких препаратів; зменшення випаровування робочого розчину; поліпшення поглинання діючих речовин; економія робочого часу. Поряд з цим вони мають і деякі недоліки: можливість втрати аміаку; ушкодження опіками листків під час або після вологої погоди, коли тканина листків м'яка, під час сильної інсоляції, за розбавлення водою від 1:1 до 1:3; вищі грошові витрати на зберігання; на ґрунтах з нейтральною і лужною реакцією необхідність негайного заробляння в ґрунт.

Ефективність азотних добрив можна також підвищити запровадженням локальних способів внесення, використанням інгібіторів нітрифікації і застосуванням азотних добрив тривалої дії. Локальне внесення рідких і амонійних форм добрив сприяє утворенню висококонцентрованих зон мінерального азоту в ґрунті внаслідок низької міграції амонійного азоту, що закріплюється в обмінному й необмінному станах. Висока концентрація азоту також пригнічує процес нітрифікації.

Ефективність азотних добрив обернено пропорційно залежить від запасів мінерального азоту в кореневмісному шарі ґрунту. Тому всі методи встановлення

оптимальних норм азотних добрив, які нині застосовують, зводяться до обліку вмісту мінерального азоту в ґрунті перед сівбою або в ранні фази росту й розвитку рослин. Значно ускладнюють практичну діагностику дуже швидкі порівняно з іншими елементами мінерального живлення рослин зміни азотного режиму ґрунту в часі та просторі.

Теоретичну норму азотних добрив розраховують так:

$$H_N = (\text{Кількість азоту на запланований врожай} + \text{Мінеральний азот } N_{\text{мін}} \text{ у профілі ґрунту під час збирання врожаю}) - (N_{\text{мін}} \text{ перед сівбою чи садінням} + \text{Кількість } N_{\text{мін}}, \text{ що утворюється у процесі мінералізації органічних речовин упродовж вегетаційного періоду}).$$

За цим методом азот мінеральних сполук ґрунту визначають на глибині до 60-90 см. Його кількість (від 20 до 100 кг/га і більше) сильно змінюється залежно від умов (ґрунт, погода, сівозміна, удобрення, обробіток ґрунту і т. д.).

Вважають, що кількість азот мінеральних сполук у профілі ґрунту 0-60 см після збирання врожаю залежно від культури не має перевищувати 30-50 кг/га.

Ефективність азотних добрив обумовлена прямою дією їх азоту як безпосереднього джерела азотного живлення. Це виявляється в ступені використання елемента, підвищенні врожаю й окупності ним витрат на добрива.

Кількість додатково використаного рослинами азоту ґрунту під впливом внесених азотних добрив назвали «екстра»-азотом. Існує багато пояснень його утворення, але найбільше визнання отримала концептуальна модель, згідно з якою поява «екстра»-азоту зумовлена підвищенням ступеня мінералізації органічних речовин ґрунту на фоні поліпшення азотного живлення. Проте існує й думка (И.Н. Шарков), що утворення «екстра»-азоту під впливом азотних добрив обумовлено не інтенсифікацією процесів мінералізації органічних речовин ґрунту, а іншими причинами: 1) підвищенням фізіологічної активності кореневої системи; 2) зменшенням іммобілізації ґрунтового азоту мікроорганізмами; 3) дією азотних добрив на ґрунт подібно хімічним агентам.

Цей процес відбувається з різною інтенсивністю залежно від типу ґрунту, форм гумусу (здатності до розкладання), погодних умов, доз азотних добрив,

еродованості ґрунту, застосування засобів хімізації тощо. Частка азоту, який додатково надходить у рослину з ґрунту під впливом азотних добрив, може сягати 20 % загального виносу.

2. Особливості застосування фосфорних добрив

Ефективність фосфорних добрив залежить від їхніх властивостей, способів внесення, зональних особливостей ґрунтів та встановлених оптимальних норм. Майже на всіх типах ґрунтів України фосфорні добрива дають значні прирости врожаю сільськогосподарських культур, але найефективніші вони на дерново-підзолистих ґрунтах і чорноземах

У разі використання фосфорних добрив спостерігається така залежність: що вищий вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті, то нижча їх ефективність. Проте така закономірність виявляється лише до певної межі. Так, у результаті узагальнення даних численних дослідів з удобренням пшениці озимої в Україні було встановлено, що її продуктивність після внесення фосфору понад 120 кг/га не зростала навіть тоді, коли норми азотних і калійних добрив підвищували в 1,2-2 рази.

Норми фосфорних добрив встановлюють з урахуванням рівня запланованої врожайності, біологічних особливостей сільськогосподарських культур, типу, гранулометричного складу й агрохімічних властивостей ґрунту, попередників, наявності інших видів добрив. В основне удобрення зазвичай вносять від 40 до 120 кг/га P_2O_5 . Вищі норми застосовують під плодові, овочеві й технічні культури, зокрема на малородючих ґрунтах, середні - під картоплю, кормові та інші культури.

Якщо довести вміст рухомих фосфатів у ґрунті до оптимального рівня, то в подальшому фосфорні добрива можна вносити лише для компенсації фосфору, вилученого рослинами та втраченого внаслідок ерозії, й отримувати стабільні врожаї сільськогосподарських культур. Пересичення ґрунтів фосфором неефективне та економічно невиправдане.

Проте навіть за досить високих запасів рухомих сполук фосфору в ґрунті концентрація фосфат-іонів у ґрунтовому розчині для повного забезпечення на перших етапах росту й розвитку молодих рослин може бути недостатньою. Тому обов'язковим агротехнологічним заходом на всіх типах ґрунтів є стартове (рядкове) внесення фосфорних добрив у дозі 7-20 кг P_2O_5 /га. Проте насіння деяких культур (кукурудза, соняшник) дуже пригнічується від контактування з добривами. Тому між ними має бути прошарок ґрунту, а доза добрив - мінімальною (P_{10}). Під час сівби можна вносити різні форми фосфорних добрив: суперфосфати, суперфос, амофос, амофосфат тощо.

Нині мало уваги приділяють рядковому способу внесення фосфорних добрив. Проте слід зазначити, що більшість ґрунтів України в природному стані містить доступні форми фосфору в недостатній для оптимального живлення рослин кількості. Крім того, нині різко скоротилося застосування фосфорних добрив у сільському господарстві України. Це також важливий чинник, оскільки лише за регулярного внесення фосфорних добрив у великих кількостях не спостерігається реакція рослин на їх рядкове внесення.

В живленні рослин важливим є також питання поглинання фосфатів добрив ґрунтом і міцності їх зв'язування, від якого залежить доступність фосфору для рослин. За локального застосування добрив фосфор із ґрунтом взаємодіє лише на периферії стрічки внесених добрив, тому рослини краще його засвоюють.

На початку розвитку рослини створюють резерв фосфору, який потім перерозподіляється між органами залежно від потреби їх у цьому елементі живлення для синтезу органічних речовин.

На початку росту рослини живляться фосфором переважно за рахунок поживних речовин насіння. Коренева система молодих рослин слабо засвоює важкорозчинні сполуки фосфору з ґрунту, тому на початку вегетації потрібно мати резерв добре розчинних сполук цього елемента. Тому за низької розчинності добрив і значних відстанях між їх гранулами в ґрунті виникає ймовірність позиційної недоступності засвоєння фосфору рослинами, оскільки цей процес відбувається лише внаслідок дифузії у невеликій зоні навколо кореня. Збільшен-

ня розміру гранул і вмісту фосфору в добриві може також негативно впливати на його ефективність. За локального внесення добрив зменшується площа їх контакту з ґрунтом, що ускладнює перехід фосфору у важкодоступний стан і сприяє його повнішому засвоєнню рослинами.

Отже, поняття доступності фосфору добрив на початку вегетації рослин потрібно більше розглядати в просторовому, а не в хімічному аспекті. Це свідчить про те, що доступність фосфору для рослин переважно залежить від їх індивідуальних особливостей, типу та інтенсивності утворення кореневої системи, що є спадковими ознаками. Потреба внесення фосфорних добрив у рядки значно зростає в разі збільшення товщини шару удобрюваного ґрунту. Горох і кукурудза після внесення під них суперфосфату гранульованого в рекомендованих дозах рядкового удобрення фосфором не потребують, тоді як у пшениці озимої та ячменю ярого ця потреба зростає зі збільшенням глибини обробітку ґрунту в разі внесення невисоких доз фосфорних добрив. Особливу увагу цьому агрозаходу треба приділяти під час вирощування буряку цукрового. Навіть після внесення під нього 4 ц/га суперфосфату гранульованого в шар ґрунту 0-10 см виникає потреба в рядковому внесенні фосфору, а під оранку на глибину 30 см недостатнім є внесення навіть 13 ц/га суперфосфату гранульованого.

Внесення 1 ц/га суперфосфату гранульованого в рядки забезпечує підвищення врожайності зернових на 5-6 ц/га, тоді як за розкидного - на 1-2 ц/га.

В умовах нестійкого і недостатнього зволоження ефективність добрив значно залежить від глибини загортання їх у вологий ґрунт. Фосфор із добрив найліпше засвоюється тоді, коли вони зароблені в шар ґрунту 10-20 см. У зв'язку з малою рухливістю фосфатів у ґрунті перенесення частини фосфору з основного удобрення для підживлення або заміна ним основного удобрення недоцільна навіть тоді, коли використовують його легкодоступні форми. Так, після внесення суперфосфату на глибину 0-8 і 16-24 см фосфору з верхнього шару ґрунту в початкові фази росту рослин засвоювалося в 10 разів більше, ніж із нижнього; наприкінці вегетації спостерігалися переваги глибокого внесення добрив. В

умовах зрошення і достатнього зволоження значних відмін у використанні фосфору із суперфосфату за глибокого і мілкового внесення не виявлено. Отже, рядкове удобрення використовують для поліпшення умов живлення рослин фосфором на початку вегетації, а основне - для забезпечення їх цим елементом упродовж усього вегетаційного періоду.

Ступінь розчинності фосфорних добрив не завжди збігається з їх удобрювальною цінністю. Напіврозчинні та нерозчинні фосфорні добрива використовують насамперед під такі культури, як люпин, гречка, жито, горох, гірчиця, що засвоюють фосфор краще, ніж інші культури. Ефективність фосфорних добрив підвищується за внесення їх на фоні органічних добрив.

Ефективність фосфорних добрив пов'язана також з реакцією ґрунтового розчину. На дерново-підзолистих ґрунтах позитивна дія фосфорних добрив, внесених під пшеницю озиму, посилюється зі зменшенням кислотності ґрунту до рН 5,6, а на більш лужних ґрунтах вона ослаблюється. Тому вапнування кислих ґрунтів є одним із заходів підвищення ефективності фосфорних добрив. На слабкокислих і лужних ґрунтах ефективність малорозчинних фосфорних добрив порівняно із суперфосфатом знижується. Тому фосфорні добрива насамперед потрібно вносити на кислих ґрунтах, щоб використати кислотність ґрунтового середовища для підвищення їх розчинності. Суперфосфати на кислих ґрунтах доцільно вносити локально до сівби або під час сівби сільськогосподарських культур, оскільки вони швидко переходять у важкорозчинні форми. Рядкове удобрення забезпечує розміщення добрив біля насіння рослин і скорочує тривалість їх взаємодії з ґрунтом до періоду активного засвоєння. У дослідженнях з Р встановлено, що за рівномірного перемішування фосфорних добрив з ґрунтом близько половини фосфору поглинається впродовж перших 2 год, а решта - впродовж кількох діб. Отже, рослини використовують фосфор уже зі сполук, що утворюються в результаті взаємодії фосфорних добрив з ґрунтом та притаманних такому типу ґрунтів. Тільки цим можна пояснити однакову ефективність суперфосфату, внесеного за рік до сівби й перед сівбою сільськогосподарських культур. На швидкість поглинання фосфору ґрунтом

можна впливати двома способами: насиченням ґрунтових колоїдів фосфатами та локалізацією фосфорних добрив. За розкидного внесення фосфорних добрив для повного насичення ґрунтових колоїдів потрібні дуже високі норми фосфорних добрив. За локального внесення фосфати поглинаються тільки по периферії стрічки добрив, усередині ж осередку вони залишаються в легкодоступній для рослин формі. Це сприяє кращому забезпеченню рослин фосфором упродовж вегетації, причому зростають і врожай, і коефіцієнт використання фосфору добрив. Локальне внесення фосфорних добрив під зернові, картоплю та інші культури на 20-25 % підвищує їх ефективність. На ґрунтах, достатньо забезпечених рухомими формами фосфору, а також при вирощуванні культур, які інтенсивно його засвоюють (люпин, горох, гречка та ін.), різна розчинність форм мінеральних добрив не має великого значення. Проте на ґрунтах слабкокислих або близьких до нейтральних, із низьким вмістом рухомих фосфатів, зокрема при вирощуванні культур, які потребують багато фосфору на початку росту, перевагу потрібно віддавати легкорозчинним формам фосфорних добрив.

Для ліквідації дефіциту фосфору в землеробстві слід більше застосовувати фосфоритне борошно. На значних площах ґрунтів фосфоритне борошно може бути доволі ефективним, що підтверджено численними дослідженнями наукових установ і виробничою практикою. Його також застосовують для фосфоритування ґрунтів (до 300 кг/га P_2O_5) під найчутливіші до добрив культури (плодові, ягідні, підпокривні багаторічні трави, буряк цукровий, картоплю та ін.). Наступні культури використовують його післядію, що дає змогу швидше створювати оптимальний рівень забезпеченості ґрунтів фосфором.

Підживлення фосфорними добривами, що містять водорозчинні сполуки фосфору, за міжрядного обробітку просапних культур дає позитивний результат лише тоді, коли з певних причин вони були в недостатній кількості внесені в основне удобрення. Перенесення частини фосфору в підживлення недоцільне.

Позакореневі підживлення фосфорними добривами економічно не виправдані, оскільки доводиться застосовувати низькоконцентровані розчини,

щоб не спекти листки, і їх майже не використовують у виробничих умовах, за винятком сумісного внесення з іншими агрохімікатами.

Нині фіксується значний дефіцит фосфору в землеробстві України, тому внесення основних норм фосфорних добрив потрібно сконцентрувати на орних ґрунтах з недостатнім вмістом рухомих сполук фосфору (менш як 100 мг/кг ґрунту). На ґрунтах із підвищеним вмістом рухомих фосфатів (100-150 мг/кг) потрібно передбачати рядкове внесення фосфорних добрив під найцінніші культури - пшеницю озиму, кукурудзу, зернобобові, ріпак, буряк цукровий, льон. На ґрунтах із високим їх вмістом (150 мг/кг і більше) фосфорні добрива тимчасово (впродовж кількох років) можна не застосовувати. Такий підхід дає змогу отримати найвищу окупність цих дорогих туків у господарстві.

3. Особливості застосування калійних добрив

Застосуванню калійних добрив в Україні поки що не надається належна увага. Це пояснюється високим природним вмістом калію в більшості ґрунтів і значно кращою забезпеченістю його рухомими сполуками. Площі з середнім і низьким вмістом рухомих сполук калію становлять 30 %. Переважно це ґрунти піщаного і супіщаного гранулометричного складу. Насамперед калійних добрив потребують дерново-підзолисті ґрунти Полісся та опідзолені ґрунти Лісостепу. Ґрунти південної частини Лісостепу і практично всі ґрунти Степу характеризуються підвищеним і високим вмістом рухомих сполук калію.

Калійні добрива найефективніші на легких дерново-підзолистих ґрунтах Полісся, на осушених торф'яниках, сірих лісових ґрунтах і чорноземах вилужених Лісостепу. У Степу, де природний вміст калію високий, калійні добрива доцільно вносити насамперед на незасолених чорноземах, передусім на зрошуваних полях. Калійні добрива в солонцюваті й засолені ґрунти не вносять.

На піщаних ґрунтах, що потребують вапнування, за внесення калійних добрив посилюється необхідність нейтралізації ґрунтової кислотності, оскільки калій витісняє в розчин іони H^+ , Al^{3+} і Mn^{2+} , які знижують рН. Ще більшого значення калійні добрива набувають під час вапнування кислих ґрунтів.

Чорноземні ґрунти Лісостепу і Степу містять значну кількість доступного для рослин калію. Вони також багаті на необмінний калій, який активно переходить у рухомі форми, тому ефективність калійних добрив на цих ґрунтах незначна. Навіть культури, що споживають велику кількість калію (просапні й технічні), слабо реагують на внесення калійних добрив. Особливо чітко це простежується на ґрунтах важкого гранулометричного складу.

Необмінному поглинанню калію у верхніх шарах чорноземів сприяють такі чинники: мінералогічний склад - гідроліти і високодисперсні мінерали, здатні активно фіксувати одновалентні катіони, висока насиченість ГВК основами, значна кількість органічних речовин, майже повна відсутність основного конкурента калію - поглиненого амонію, незворотна коагуляція колоїдів у разі періодичного підсихання верхнього шару. В зв'язку з цим калій на відміну від фосфору можна вносити про запас лише на 2-3 роки, але цей спосіб внесення калійних добрив для луків і пасовищ не рекомендується, оскільки підвищений вміст калію в кормах негативно впливає на їх якість.

Для більшості сільськогосподарських культур середні норми калійних добрив становлять 45-60 кг/га K_2O . Під культури, які виносять з урожаєм багато калію (буряк, картопля, тютюн, соняшник, плодові та деякі овочеві), норми добрив збільшують до 90-120 кг/га K_2O . Оптимальний вміст обмінного калію в ґрунті для калієфільних культур порівняно із зерновими, зернобобовими, однорічними і багаторічними травами вищий. Закономірна дія калійних добрив виявляється тоді, коли вміст рухомих сполук калію становить 60-100 мг/кг, тобто для більшості орних земель ефективність калійних добрив нестійка.

Незважаючи на те що оптимальні рівні вмісту рухомих сполук калію в ґрунті встановлено, вони потребують уточнення і диференціації, оскільки залежать від багатьох причин та умов.

1. Баланс калію в ґрунтах України різко дефіцитний, проте сільськогосподарські культури слабо або взагалі не реагують на застосування калійних добрив.

2. Внесення калійних добрив сприяє поповненню всіх форм калію в ґрунті. В ґрунтах дерново-підзолистого типу більше накопичується обмінних форм калію, в чорноземах - необмінних, які можуть досягати 60 % внесеного калію.

В усіх випадках доступні форми калію в міру їх використання поповнюються за рахунок необмінних його форм. Тому їх потрібно враховувати як потенційно доступні форми.

1. Калій за рухомістю в ґрунті займає проміжне положення між азотом і фосфором, тому за спроби створення оптимального калійного рівня за одноразового внесення високих доз калійних добрив у ґрунтах важкого гранулометричного складу калій переходить у необмінно-фіксовану, менш доступну для рослин форму, але в ґрунтах легкого гранулометричного складу він у значній кількості мігрує по його профілю.

2. У зв'язку з антагонізмом кальцію і калію під час вапнування кислих ґрунтів вміст рухомих сполук калію має бути вищим. Для цього норму калійних добрив збільшують на 30-50 %.

3. Культурні рослини по-різному реагують на рівень калійного живлення, тому в сівозміні необхідний диференційований підхід щодо його оптимізації. Калійна недоступність існує на різних типах ґрунтів і більше всього прив'язана до окремих сільськогосподарських культур. Насамперед удобрюють калієфільні культури- буряк, картоплю, соняшник тощо.

4. Зазвичай сільському господарству постачають хлоровмісні калійні добрива. Негативну дію хлору усувають оптимізацією норм, строків і способів внесення добрив.

Ефективність деяких форм калійних добрив виявляється залежно від ґрунтово-кліматичних умов і біологічних особливостей культур. На формування врожаю с.-г. культур та його якості крім калію впливають також інші елементи, що містяться в калійних добривах - натрій, магній, сірка, хлор тощо.

На легких за гранулометричним складом ґрунтах важливе значення мають калійно-магнезіальні добрива (калімагнезія, калімаг та ін.), які крім калію містять ще й магній. На чорноземних ґрунтах усі форми калійних добрив за

ефективністю майже рівноцінні. Майже всі вони підкислюють ґрунт, тому на кислих ґрунтах їх застосування потрібно поєднувати з вапнуванням.

На ґрунтах середнього і важкого гранулометричного складу калійні добрива вносять під час осіннього обробітку ґрунту. Добрива при цьому потрапляють у вологий шар ґрунту, де локалізована основна маса коренів, і краще засвоюються рослинами. Внаслідок адсорбції калій утримується в орному шарі ґрунту, а хлор під дією атмосферних опадів переміщується (вимивається) вниз по профілю ґрунту. На легких за гранулометричним складом ґрунтах в умовах достатнього зволоження калійні добрива краще застосовувати навесні під час передпосівного обробітку ґрунту. Для підживлення калійні добрива менш ефективні, ніж за разового внесення всієї норми до сівби, оскільки коренева система рослин розвивається в пошуках вологи у глибших шарах ґрунту. Лише в умовах зрошення на ґрунтах легкого гранулометричного складу частину норми калію іноді доцільно застосовувати для підживлення просапних культур.

Невеликі дози калійних добрив (10-15 кг/га K_2O) вносять у рядки під час сівби сільськогосподарських культур. Особливо ефективне рядкове внесення калійних добрив одночасно з фосфорними під час сівби озимих культур, що сприяє підвищенню їх зимостійкості. Проте підвищенні дози рядкового внесення калійних добрив знижують схожість насіння.

4. Особливості застосування мікродобрив

Внесення мікродобрив у ґрунти з низькою забезпеченістю мікроелементами дає змогу підвищити врожайність на 10-15%. При вирощування високоінтенсивних сортів і гібридів застосування мікродобрив ефективно не лише на ґрунтах з низькою забезпеченістю, а й середньозабезпечених однойменним мікроелементом. Ефективність мікроелементів помітно зростає за достатнього забезпечення рослин макроелементами, з підвищенням рівня застосування макродобрив. Так, при внесенні високих норм азоту збільшується потреба рослин у молібдені, міді, борі, кобальті. Ефективність фосфорних добрив зростає при внесенні цинку, молібдену, мангану. Після вапнування

кислих ґрунтів зменшується доступність для рослин бору, міді, мангану, цинку, кобальту, але підвищується рухомість молібдену.

З підвищенням норм макродобрих зростає рухомість мікроелементів у ґрунтах, що призводить до вимивання їх із шару ґрунту, де розміщені корені. Тому мікродобрива потрібно застосовувати на ґрунтах не лише з недостатнім, а й з помірним вмістом мікроелементів.

Найчастіше на практиці визначають вміст рухомих сполук мікроелементів у ґрунтах. При цьому за вимогами до них виділяють три групи рослин. До першої належать культури невисокого виносу мікроелементів з порівняно високою засвоювальною здатністю (зернові хліба, кукурудза, зернобобові, картопля); до другої - культури підвищеного виносу мікроелементів з високою і середньою засвоювальною здатністю - коренеплоди, овочі, трави (бобові, злакові, різнотрав'я), соняшник, сади і виноградники; до третьої - культури високого виносу мікроелементів - усі перелічені вище культури за інтенсивного вирощування (зрошення, високі норми добрив, застосування високоінтенсивних сортів, належного догляду за ґрунтом і рослинами тощо).

Норми, способи і строки застосування мікродобрив залежать від багатьох чинників: хімічних і фізичних властивостей мікродобрив, типу ґрунтів, забезпеченості їх рухомими формами макро- й мікроелементів, видів сівозмін, біологічних особливостей культур, сумісності мікродобрив з іншими засобами хімізації (макро-добривами, пестицидами, регуляторами росту), рівня механізації і технології застосування інших засобів хімізації. Тому єдиного стандарту із застосування мікродобрив у різних ґрунтово-кліматичних умовах для різних культур бути не може.

На практиці нестачу мікроелементів для рослин за їх зовнішніми ознаками виявити досить складно. Найчастіше стикаються з нестачею того чи іншого мікроелемента тоді, коли зовнішні ознаки чітко не виявляються, але ріст і розвиток рослин затримується, а продуктивність їх знижується. Мікродобрива під різні культури сівозміни розподіляють із використанням агрохімічних

картограм вмісту рухомих форм мікроелементів у ґрунтах та розроблених рекомендацій.

Завищені норми мікродобрих призводять до негативних наслідків, а занижені не дають бажаного ефекту. Застосовуючи мікроелементи як добрива, слід дотримуватися певного співвідношення між ними та враховувати, що вплив мікроелементів на рослини виявляється лише за умови повного забезпечення рослин макроелементами.

Внесення в ґрунт мікродобрих потребує вищих доз мікроелементів порівняно з іншими способами, так як значна кількість розчинних солей поглинається ґрунтом і не засвоюється рослинами. Проблема застосування мікродобрих полягає в тому, що їх доза значно нижча, ніж мікродобрих, а вимоги до рівномірності внесення вищі. Тому раціональніше застосовувати мікроелементи у складі мікродобрих.

Оскільки мікроелементи можуть засвоюватися рослинами через листки, позакореневі підживлення є одним з ефективних способів забезпечення ними рослин. Цей прийом особливо важливий на ґрунтах з низьким вмістом рухомих форм мікроелементів. При позакореневих підживленнях, які проводять 2-4 рази впродовж вегетації рослин у комбінації з іншими агротехнологічними заходами, мікроелементи наносять безпосередньо на листки, звідки вони засвоюються. Особливо важливо провести позакореневі підживлення в ранні фази розвитку рослин при достатньо сформованій листовій поверхні.

Позакореневі підживлення добривами, в яких мікроелементи перебувають у хелатній або органо-мінеральній формі - найперспективніший спосіб ліквідації дефіциту мікроелементів. Унаслідок ліпшого засвоєння рослинами, норми їх внесення значно нижчі порівняно з мінеральними солями. Коефіцієнт використання елементів живлення підвищується на 90-95 %.

Мікроелементи у вигляді неорганічних солей доступні для рослин лише на кислих ґрунтах (до рН 6). У ґрунтах, близьких до нейтральних, карбонатних і лужних, доступність мікроелементів із солей наближається до нуля.

Отже, диференційоване використання мікродобрив має бути невід'ємною складовою системи удобрення.

Внесення мікродобрив у ґрунт у поєднанні з іншими способами забезпечення рослин мікроелементами дає найвищі прирости врожаю. Внесення їх у ґрунт створює певний рівень кореневого живлення рослин мікроелементами впродовж вегетації. Передпосівне оброблення насіння забезпечує рослини мікроелементами на початку росту, зумовлює певну перебудову процесів життєдіяльності зародка. Позакореневі підживлення поліпшують живлення рослин мікроелементами у відповідні періоди їх вегетації.

Контрольні питання

1. На яких ґрунтах найефективніші азотні добрива?
2. За яких умов підвищується ефективність азотних добрив?
3. Що спричинює внесення підвищених норм азотних добрив на зернових культурах?
4. Як і скільки вносять нітратні та аміачно-нітратні азотні добрива?
5. Як використовують рідкі азотні добрива?
6. З врахуванням чого встановлюють норми фосфорних добрив?
7. Під які культури застосовують вищі норми фосфорних добрив?
8. Що передбачає стартове (рядкове) внесення фосфорних добрив?
9. Під які культури насамперед використовують напіврозчинні та нерозчинні фосфорні добрива?
10. Які ґрунти насамперед потребують калійних добрив?
11. Які культури вимагають велику кількість калію?
12. Які норми калійних добрив становлять для більшості культур?

Тема 5: ФІЗІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНІ ПРИЙОМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЖИВЛЕННЯ

1. Інгібітори нітрифікації.
2. Мікробні препарати.
3. Функціональні та хелатні добрива.
4. Дефоліанти, десиканти і сениканти.

1. Інгібітори нітрифікації

Інгібітори нітрифікації - це хімічні сполуки, що пригнічують життєдіяльність нітрифікувальних бактерій і забезпечують збереження азоту ґрунту і добрив в амонійній формі. Застосування інгібіторів нітрифікації з аміачними, амонійними й амідними добривами сприяє підвищенню коефіцієнта використання їх азоту рослинами. Пригнічуючи процеси нітрифікації, інгібітори зменшують втрати азоту внаслідок зменшення вимивання нітратів і виділення газоподібних сполук в атмосферу. Азот при цьому залишається у верхніх шарах ґрунту, що збільшує його доступність для рослин. Тривалість дії інгібіторів нітрифікації залежить від різних чинників (типу ґрунту, його температури, вологості, біологічної активності, кислотності, вмісту органічних речовин, гранулометричного складу, доз і способів внесення добрив та інгібіторів) і в середньому становить 4-8 тижнів.

Поєднання інгібіторів нітрифікації з пізньоосіннім внесенням азотних добрив підвищує їх ефективність, тоді як внесення навесні виправдане лише під культури з тривалим вегетаційним періодом.

Як інгібітори нітрифікації використовують похідні піридинів, пірамідонів, триазолів, ціанамідів. Так, у США і деяких країнах широко застосовують N-Serve нітрапирин (2-хлор-6-трихлорметилпіридин), що затримує перетворення амонійного азоту на нітратний, пригнічує активність нітрифікувальних бактерій *Nitrosomonas*. Основним недоліком цього препарату є висока леткість, тому його не можна завчасно вводити до складу твердих азотних добрив,

наприклад карбаміду, або наносити на поверхню їх гранул. Водночас такі препарати, як амінітризол, ціанпиримідин, діандіамід, можна вводити до складу твердих азотних добрив або безпосередньо наносити на поверхню гранул.

Нітрапірин - нестійка сполука, що зазнає фотолізу й хімічного розкладання. Він менш токсичний, ніж більшість пестицидів, які нині застосовують. Стійкі проти нього - злакові (за винятком рису), чутливі - двосім'ядольні рослини, зокрема люцерна і соя.

Дози інгібіторів нітрифікації на основі нітрапірину мають становити близько 1 % внесеного азоту, але не більш як 1 кг/га д. р. У зв'язку з високою леткістю інгібітори вносять безпосередньо в ґрунт на глибину 10-16 см. Застосовують дві технологічні схеми внесення інгібіторів нітрифікації. За першою їх вносять у ґрунт разом з добривами в одному агрегаті, за другою - безпосередньо в ґрунт окремо від добрив.

Інгібітори нітрифікації підвищують коефіцієнт використання азоту з добрив на 10-15 % і більше. Втрати азоту з добрив при цьому зменшуються в 1,5-2 рази.

2. Мікробні препарати

У сучасних системах землеробства пріоритетними мають бути екологічно безпечні природоохоронні технології вирощування сільськогосподарських культур. У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають мікробні препарати на основі агрономічно-корисних мікроорганізмів. Поряд з органічними добривами їм належить важлива роль у підвищенні продуктивності сільськогосподарських культур і родючості ґрунтів. Мікробні препарати - це високоефективні корисні мікроорганізми, які цілеспрямовано поліпшують умови живлення рослин. Крім того, відносно низька вартість, висока окупність, простота застосування, безпечність для навколишнього природного середовища зумовлюють їх значне поширення. Так, у країнах Євросоюзу мікробні препарати використовують на третині площ, зайнятих сільськогосподарськими культурами.

Перші спроби використання мікроорганізмів для підвищення врожаю сільськогосподарських культур стосувалися бульбочкових бактерій. Застосовували

такий метод: при переході на нову ділянку для вирощування бобових культур насіння перемішували з ґрунтом попередньої ділянки або збирали бульбочки, подрібнювали їх і обробляли насіння. Перший мікробний препарат, що містив культури кількох видів бульбочкових бактерій, був виготовлений наприкінці ХІХ ст. в Німеччині й отримав назву нітрагін, а процес оброблення насіння було названо *нітрагінізацією*.

Мікробні препарати, що застосовуються в рослинництві, умовно поділяють на групи: препарати для оптимізації живлення рослин (на основі азотфіксувальних і фосфатмобілізувальних мікроорганізмів), рістстимулювальні препарати на основі мікроорганізмів - продуцентів біологічно активних речовин, фітогормонів (ауксини, гібереліни), препарати для захисту рослин від хвороб і шкідників (фунгіциди, інсектициди та ін.).

Бактерії, що заселяють кореневу систему, утворюють своєрідний біологічний «чохол» - ризосферу і є посередниками між ґрунтом і рослинами у забезпеченні їх поживними речовинами. Саме мікроорганізми перетворюють деякі складні сполуки на прості, доступні для живлення рослин, беруть участь у складних біохімічних процесах, що відбуваються в ґрунті. Вони є основою для виробництва бактеріальних препаратів, які після внесення в ґрунт створюють у зоні кореневої системи осередки корисної мікрофлори. В оточенні повноцінного комплексу мікроорганізмів рослини отримують необхідне кореневе живлення і, як наслідок, підвищують свою продуктивність. Крім того, бактеризовані рослини значно стійкіші до розвитку і прояву хвороб унаслідок поліпшення їх імунного стану.

Діяльність корисних мікроорганізмів багатогранна. Особливо актуальним є широке використання здатності мікроорганізмів до засвоєння молекулярного азоту з атмосфери. Це дає змогу вирішити важливу проблему - створення достатньої кількості білка.

Мікробіологічна фіксація атмосферного азоту - екологічно чистий спосіб забезпечення ним рослин. Він потребує відносно невеликих енергетичних витрат. Він майже недоступний для більшості вищих рослин. Молекули азоту

хімічно інертні, а хімічні зв'язки між його атомами досить стійкі. Потрібні великі зусилля, щоб їх розірвати і фіксувати азот. На відміну від промислових установок, де відновлення молекулярного азоту до аміаку здійснюється за високих температури і тиску, в біологічних системах зв'язування газоподібного азоту відбувається за звичайних тиску і температури.

За джерелами доступної енергії азотфіксувальні мікроорганізми умовно поділяють на дві групи: авто- та гетеротрофи. Автотрофи (ціанобактерії і фотосинтезувальні анаеробні бактерії) мають істотне значення лише на перезволожених ґрунтах, де фіксують до 20-50 кг/га азоту за рік. Проте в природі найпоширеніші гетеротрофні фіксувальні організми. Азотфіксувальну активність у фітоплані - ризосфері (прикореневій зоні) і філосфері (на поверхні листків) небобових рослин називають **асоціативною азотфіксацією**. Першою розпочала роботу в цьому напрямі бразильська вчена Ж. Доберейнер із мікроорганізмами, у складі яких переважали бактерії роду *Azospirillum*. Пізніше було встановлено, що крім азоспірили до групи асоціативних азотфіксаторів належить велика кількість гетеро- й автотрофних бактерій *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Klebsiella* та ін. Застосування препаратів на їх основі сприяє зростанню активності азотфіксації в кореневій зоні рослин у 2-3 рази. Звісно, масштаби фіксації атмосферного азоту в ризосфері небобових культур навіть за умов передпосівної бактеризації не можна порівняти з масштабністю цього процесу в агроценозах з бобовими. Продуктивність азотфіксації злаковими культурами може становити лише 20-40 кг/га азоту, що недостатньо для формування повноцінного врожаю. Проте якщо врахувати, що фіксований бактеріями азот надходить безпосередньо до рослин, то його ефективність значно перевищить користь аналогічної дози внесеного в ґрунт азоту мінеральних добрив.

Обсяги фіксації азоту асоціативною мікрофлорою досить значні – 30-40 кг/га азоту за рік.

Відомо понад 200 видів небобових рослин, в яких відбувається азотфіксація в прикореневій зоні. Таким шляхом, мабуть, відбувається поповнення запасів азоту в ґрунті у більшості природних екосистем.

Українські вчені на чолі з В.П. Патиною виділили з ризосфери деяких сільськогосподарських культур високоактивні штами асоціативних мікробів-азотфіксаторів і на їх основі розробили низку бактеріальних препаратів: ризоагрін (для оброблення насіння пшениці й рису); ризоентерин (для передпосівного оброблення насіння ячменю й рису); флавобактерин (для пшениці, буряку кормового, трав); агрофіл (для огірка, помідора, перцю, салату та інших овочевих культур).

На поверхні листків рослин також відбувається несимбіотичне гетеротрофне зв'язування мікроорганізмами атмосферного азоту. Внесок його у загальний баланс азотонакопичення в системі рослина-мікроорганізми не перевищує 1,5 %. Найпродуктивнішим є симбіоз бульбочкових бактерій (*Rhizobium*) з бобовими рослинами. За оптимальних умов біологічна фіксація азоту досягає 300 кг/га і більше за рік.

У зв'язку з великими енерговитратами на виробництво мінеральних азотних добрив, виникає потреба у підвищенні частки біологічного азоту в урожаї сільськогосподарських культур.

У ґрунті полів зазвичай поширені бульбочкові бактерії тих бобових культур, які на них перед цим вирощували. У дуже малих кількостях вони можуть переноситися у мікротріщинах насіння, куди потрапляють з ґрунту за комбайнового збирання врожаю. Застосування підвищених доз мінеральних добрив і пестицидів негативно впливає на життєдіяльність корисної ґрунтової мікрофлори, зокрема на бульбочкові бактерії. Тому застосування препаратів бульбочкових бактерій є важливим агротехнологічним заходом для вирощування бобових культур. Якщо на полі в останні роки вже вирощувалась культура, позитивна дія біопрепарату на формування врожаю зменшується, оскільки частина бульбочок на коренях рослин утворюватиметься за рахунок

ґрунтових малоактивних мікроорганізмів. Якість біопрепарату в цьому разі має бути особливо високою.

Бактеріальні препарати розрізняють за препаративною формою: *сухі, рідкі, желеподібні*. Рідкі форми застосовувати простіше і зручніше, але торф'яні препарати ефективніші, особливо за сумісного використання з пестицидами, оскільки зменшується площа контакту торф'яної мікрочасточки з насінною. Форма інокулянту також прямо залежить від типу висівного механізму сівалки: якщо він пневматичний - ліпше застосовувати рідкий препарат.

Сухі препарати виготовляють на основі торфу. Вони забезпечують стабільність і життєдіяльність ризобіальних тканин до 2 років. Залежно від препарату торф'яний субстрат може бути стерильним. Нестерильні інокулянти дешевші й, відповідно, менш ефективні, ніж препарати на основі стерильного торфу. Сухі препарати змішують із зерном вручну безпосередньо у кузові зерноавантажувача або в сівалці перед сівбою. Проте якість такої інокуляції низька, бо дуже важливо рівномірно розподілити препарат по всій масі насіння.

Якість оброблення препаратом підвищується, якщо насіння заздалегідь зволожити. Для цього використовують різні засоби - від совкової лопати, ранцевого обприскувача і бетонозмішувача (для невеликих площ) до механічних протруйників насіння і зерноавантажувачів. Недолік останніх - часткове травмування насіння.

Важливий показник якості бактеріального препарату - *штам*, який є відселектованою культурою азотфіксувальних бактерій (аналогія сорту в рослинництві). Зазвичай інокулянти містять у своєму складі кілька штамів бактерій. Іншим важливим показником якості препарату є *титр*. Він відображає кількість життєздатних бактерій в одиниці об'єму препарату (млрд/г або млрд/мл). Цей показник можна перевірити лише в умовах лабораторії. До показників, що впливають на якість препарату, належать *термін придатності* та *умови його зберігання* (як передпродажного, так і в господарстві до початку застосування). Для кожного виду бобових рослин характерні свої

групи бактерій, які утворюють бульбочки. Тому біопрепарат використовують для оброблення насіння лише тієї культури, назву якої зазначено на упаковці.

Мікробні препарати на основі азотфіксуючих бактерій. Нині препарати на основі бульбочкових бактерій під різними торговими назвами виготовляють і широко застосовують у рослинництві багатьох країн: у США - нітрагін і даблноктин, у Мексиці - нітрагін і парадор, в Уругваї - нітросоїл і нітрум, у Новій Зеландії - ризокоут, в Австралії - нодолейт і нітроджерм, в Угорщині - ризоніт-торфе.

В Україні нині виробляються бактеріальні препарати для бобових культур на основі вискоєфективних симбіотрофних азотфіксуючих бактерій під торговими марками нітрагін (нітрофікс), ризобофіт, ризогумін та ін. їх використовують для підвищення азотонакопичувальної здатності бобових рослин. До складу препаратів входять бульбочкові бактерії ризобіум, що живуть у симбіозі з бобовими культурами. Поглинаючи вуглеводи, що надходять з листків до кореневої системи, бульбочкові бактерії фіксують молекулярний азот з повітря, який надалі засвоюється бобовими та іншими рослинами, що після них вирощують. Для кожного виду бобових характерні свої групи бактерій, які утворюють бульбочки. Тому ризобофіт використовують для оброблення насіння лише тієї культури, назву якої зазначено на етикетці препарату. Тобто для кожної культури застосовують вузько-спеціалізовані бульбочкові бактерії:

В окремих випадках спостерігається не тільки видова, а й сортова специфічність бульбочкових бактерій. Крім специфічності, раси бульбочкових бактерій різняться за вірулентністю та активністю. *Вірулентність* - здатність бульбочкових бактерій проникати через кореневі волоски в корінь бобової рослини й утворювати бульбочки. *Активністю* бульбочкових бактерій називають їх здатність до засвоєння азоту атмосфери. Лише активні штами цих бактерій забезпечують бобові рослини азотом. Неактивні ж - пригнічують рослину-хазяїна. У разі зараження коренів вірулентними, але неактивними бульбочковими бактеріями, бульбочки утворюються, але фіксація азоту не відбувається. Бульбочкові бактерії, які використовуються для виготовлення

бактеріальних препаратів, можуть бути високоактивними і виявляти значну вірулентність. Якщо вірулентність бульбочкових бактерій препарату вища за вірулентність менш активних бактерій, які знаходяться в ґрунті, то бульбочкові бактерії препарату проникають у корінь швидше і в більшій кількості.

Ризобофіт - селекціоновані штами бульбочкових бактерій залежно від виду бобової культури, розмножені у стерильному торфі з часточками розміром 0,25 мм. Дрібні часточки сприяють ліпшому прилипанню до насіння. За зовнішнім виглядом - це маса темного кольору вологістю 40-50 %, збагачена вуглеводами, вітамінами, макро- і мікроелементами. Ризобофіт випускають у поліетиленових пакетах, які не рекомендується відкривати до початку застосування. В 1 г ризобофіту має міститися не менш як 2,5 млрд бульбочкових бактерій. Незалежно від об'єму насіння, яке висівають, доза препарату становить 200 г/га. Зберігають бактеріальний препарат не довше, ніж 6 міс з дня виготовлення в сухому темному прохолодному приміщенні окремо від пестицидів за плюсової температури. Термін придатності рідкого препарату - до 20 діб.

Щеплення бульбочкових бактерій бобовим культурам називають *інокуляцією*. Зазвичай інокуляція досягається прямим нанесенням матеріалу з ризобіями на насіння (перед сівбою) або його дозованим внесенням у насінневе ложе під час сівби.

Однією з основних вимог до передпосівного оброблення насіння біопрепаратами є забезпечення рівномірного їх розподілу по кожній насініні, а також максимальне скорочення часу від оброблення до висівання насіння в ґрунт. Інокуляцію проводять в день сівби або напередодні. Традиційна технологія інокуляції подібна до протравлювання насіння вологим способом: насіння обробляють водною суспензією препарату. Суспензію готують з розрахунку на відповідну масу насіння і без відстоювання перемішують з ним вручну або механічним способом.

Слід враховувати, що оптимальне співвідношення води і насіння має істотне значення. За надмірної кількості води може бути порушена норма висіву насіння, а насіння деяких культур, наприклад сої, має тонку і ніжну оболонку, яка швидко

набрякає і може бути травмована. Для оптимального зволоження до насіння додають певну норму води або суспензії.

На насінні окремих культур з гладенькою поверхнею водна суспензія утримується погано. Цей недолік можна виправити застосуванням прилипливих речовин. Ці речовини утримують часточки препаратів на поверхні насіння, не виявляють негативного впливу на життєдіяльність і активність бактерій, а також на схожість насіння.

Спочатку у воді розчиняють клейку речовину, а потім додають біопрепарат. Оброблення цим розчином насіння можна поєднувати з обробленням його мікродобривами чи стимуляторами росту вручну або в машинах для протравлювання, заздалегідь ретельно очищених від пестицидів, безпосередньо в сівалці. Бактеризацію проводять лише у день сівби в місцях, захищених від прямих сонячних променів, під дією яких бактерії гинуть. Незалежно від способу її проведення, насіння має бути сипким. Оброблене насіння відразу висівають. Слід зазначити, що через 4-5 год після оброблення насіння близько 50 % клітин ризобіуму гине, а не висіє в день оброблення насіння потрібно переінокулювати. Різні форми бактеріальних препаратів можуть мати свої особливості застосування (строки проведення інокуляції, норми витрати, поєднання з пестицидами тощо), про які слід дізнаватися з етикетки їх упаковки або рекомендацій виробника.

Вищу ефективність препарату встановлено на ґрунтах легкого гранулометричного складу, що пов'язано з меншою активністю природних популяцій азот-фіксаторів. Ефективність інокуляції підвищується після вапнування ґрунту та внесення мікроелементів, насамперед молібдену і бору.

Встановлення оптимального поєднання біологічного азоту та азоту мінеральних добрив у живленні рослин дає змогу збалансувати його колообіг у землеробстві. Обсяг симбіотичної азотфіксації залежить від забезпечення рослин азотом та інтенсивності фотосинтезу. Невелика стартова доза азоту мінеральних добрив (20-40 кг/га), особливо на бідних ґрунтах, сприяє кращому розвитку бульбочок на початку вегетації рослин.

Інокуляція насіння бобових культур має бути обов'язковим агротехнологічним заходом. Витрати на його проведення не перевищують 3-5 % отриманого прибутку, а врожайність бобових культур збільшується на 10-15 %. При цьому також значно зменшуються потреби внесення азоту мінеральних добрив.

Потрібно зазначити, що при внесенні мінерального азоту рослини починають його засвоювати і бульбочки не утворюються. *Азот мінеральних добрив є інгібітором азотфіксації.* Проте невисокі стартові дози азотних добрив (20-30 кг/га д. р.) сприяють активнішому розвитку рослин на початку вегетації і зазвичай не знижують, а навіть поліпшують природну здатність бобових культур до симбіозу.

Використання бактеріальних препаратів має велике агрономічне значення в підвищенні продуктивності бобових культур для сівозміни. Так, після збору врожаю бобових на полі залишаються післяжнивні рештки рослин з високим вмістом азоту. Це не лише сприяє його накопиченню, а й пришвидшує мінералізацію останніх, підвищує доступність елементів живлення та збільшує врожай наступних культур.

Для виробництва бактеріальних препаратів використовують також асоціативні азотфіксатори-діазотрофи, здатні в асоціації з небобовими рослинами поліпшувати їх азотне живлення. Фіксація атмосферного азоту таким способом на порядок нижча, ніж бобовими культурами, і не може бути достатньою для повноцінного формування врожаю. За літературними даними, обсяги асоціативної азотфіксації різні. Залежно від виду рослин і ґрунтово-кліматичних умов вони можуть становити від 3-50 кг/га азоту за рік у регіонах з помірним кліматом до 200-600 кг/га у регіонах з тропічним кліматом.

Активність несимбіотичної азотфіксації залежить від забезпеченості ґрунту легкодоступними органічними речовинами, його вологості, температури, гранулометричного складу, аерації, концентрації вуглекислого газу, наявності доступних сполук макро- і мікроелементів. На думку Є.Н. Мишустіна,

використавши на добриво 1 т соломи, можна додатково отримати 5 кг фіксованого азоту.

Позитивну дію асоціативних азотфіксаторів можна звести до чотирьох основних чинників: збільшення кількості доступного біологічного азоту, що становить 30-50 кг/га на рік; створення бактеріями стимулювальних речовин гормональної природи, зокрема з корневих виділень; збільшення поверхні кореневої системи, що сприяє підвищенню використання інших елементів живлення та захисту від патогенної ґрунтової мікрофлори. Поліпшується також якість врожаю (збільшення вмісту цукру в коренеплодах буряків; крохмалю в бульбах картоплі; знижується вміст нітратів в овочах) і скорочуються строки його досягання.

Нині створено низку мікробних препаратів на основі азотфіксувальних бактерій для різних видів сільськогосподарських культур. Це зокрема *ризогумін* - для передпосівної інокуляції насіння сої і гороху; *ризобофит* - для широкого спектра бобових культур; *діазобактерин* - для бактеризації жита, гречки, злакових трав; *азотофит* тощо.

Для деяких культур обробка мікробними препаратами - незамінний агрозахід. Крім бобових культур мікробні препарати застосовують для гречки, оскільки вона має певні особливості азотного живлення. За надмірного азотного живлення рослини починають «жирувати», формують велику вегетативну масу і знижують зернову продуктивність. При використанні бактеріальних препаратів азот надходить у рослини в оптимальних кількостях відповідно до фаз їх росту й розвитку, що сприяє підвищенню продуктивності рослин.

На основі групи азотфіксувальних бактерій *Azoarcus* створено бактеріальний препарат для передпосівного оброблення насіння. Застосування його в дослідях з кукурудзою, проведених у Німеччині, сприяло накопиченню близько 60 кг/га азоту порівняно з ділянками без внесення азотних добрив.

Мікробні препарати на основі фосфатмобілізувальних мікроорганізмів. Ці бактерії здатні збільшувати доступність фосфору для

рослин, що міститься у важко-доступних сполуках ґрунту. Фосфатмобілізувальні мікроорганізми ферментативно гідролізують органічні форми фосфатів, кількість яких у ґрунтах іноді досить велика, тому це може значно поліпшувати фосфорне живлення інокульованих рослин. Крім того, мікробні метаболіти активно розчиняють мінералофосфати, залучаючи їх із неактивної частини ґрунту до обмін, речовин у рослинах. Фосфатмобілізувальні бактерії роду *Pseudomonas sp.* також характеризуються високим продукуванням гормонів, сприяють повнішому розвитку кореневої системи внаслідок специфічної дії: ауксинів, які збільшують інтенсивність адсорбції нею речовин; гіберелінів, які сприяють подовженню клітин кореня; цитокінінів, що активують поділ і гальмують процеси старіння кореня.

Особливістю фосфорного живлення інокульованих рослин є здатність використовувати елементи живлення з нижніх шарів ґрунтового профілю, куди проникає їх коренева система. При цьому фосфор переміщується також у верхній шар ґрунту і залишається в ньому з післязбирально-кореновими рештками, його в подальшому можуть використати наступні культури.

Інокульовані рослини є своєрідною біологічно помпою, за допомогою якої відбувається перенесення фосфатів у верхні шари ґрунту. Існує думка, що виснаження запасів фосфору за умови застосування мікробіологічних препаратів не можливе оскільки ґрунти сформовані на материнських породах, які містять природні фосфати, що поступово трансформуються у вторинні мінерали і є невичерпним джерелом фосфору.

В Україні зареєстровано мікробні препарати на основі фосфатмобілізувальних мікроорганізмів *поліміксобактерин* та *альбобактерин* - для інокуляції буряку цукрового, кукурудзи, льону, пшениці, ріпаку, соняшнику.

Мікробні препарати-деструктори - призначені для пришвидшеної переробки різних органічних решток у цінні органічні добрива. Нині застосовують дві групи таких препаратів. 1. Ферментативні препарати, які

пришвидшують хімічні реакції розкладання рослинних решток; мають швидку, але короткочасну дію.

2. Біопрепарати на основі живих мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності. Препарати нового покоління поєднують властивості обох груп.

Біодеструктор рослинних решток - слугує для оброблення післязбиральних решток урожаю зернових, технічних та інших культур. Це комплексний за складом і багатофункціональний за дією препарат. Його діючою основою є активні ґрунтові мікроорганізми - продуценти целюлозолітичних та інших ферментів, бактерії-антагоністи патогенних для рослин грибів і бактерій, фосфат- та азотомобілізувальних бактерій, продукти життєдіяльності мікроорганізмів (ферменти, вітаміни, гормони). Препарат пришвидшує розкладання післязбиральних решток, нейтралізує негативний вплив рослин-попередників (алопатія) і токсинів, які можуть утворюватися під час їх розкладання, пригнічує розвиток патогенних мікроорганізмів. Вносять його за допомогою обприскувачів і негайно заробляють у ґрунт. Оскільки бактерії гинуть під дією сонячного проміння, вносити біодеструктор краще в нічні години.

У перспективі використання біопрепаратів розширюватиметься, бо зв'язування азоту хімічними методами енергоємне і дороге, а запаси сировини для виробництва фосфорних добрив обмежені. Поряд з органічними добривами біопрепарати посідають важливе місце в «біологізації» землеробства. Такий спосіб підвищення родючості ґрунтів і продуктивності сільськогосподарських культур значно дешевший, сприяє збереженню в чистоті навколишнього природного середовища.

3. Функціональні та хелатні добрива

Створення збалансованого ґрунтового живлення рослин є запорукою їх оптимального росту і розвитку. Проте в реальних виробничих умовах це не завжди вдається забезпечити через низку причин - економічних, екологічних, погодних тощо. У цьому разі виникає потреба проведення позакореневих

підживлень, які дають змогу вплинути на рослини в потрібному напрямі з мінімальними витратами. Зазвичай для цього використовують комплексні добрива, що містять у своєму складі повний набір поживних речовин для проведення корекції живлення рослин у критичні періоди їх розвитку, якщо необхідно забезпечити швидке засвоєння елементів. Ці препарати є композиціями макро- і мікроелементів, збагачених комплексом біологічно активних речовин: амінокислотами, гуматами, фітогормонами тощо. Таке поєднання забезпечує істотне підвищення ефективності підживлення рослин, особливо за наявності стресових чинників (заморозки, посуха, незбалансоване живлення тощо). При цьому необхідно проводити кілька підживлень у критичні фази розвитку рослин.

Функціональні добрива - це добрива специфічної спрямованої дії, що містять у своєму складі поживні речовини, за рахунок співвідношення і форми яких вони чинять на рослину певний позитивний вплив крім безпосереднього живлення.

Виділяють групи функціональних добрив, спрямованих на:

- 1) розвиток певної частини рослин, наприклад кореневої системи;
- 2) профілактику або боротьбу з різними захворюваннями і (або) шкідниками, наприклад добрива з фунгіцидною дією;
- 3) зниження шкідливих речовин у плодах (наприклад, нітратів) або збільшення вмісту корисних (наприклад вітамінів, цукрів, білків);
- 4) поліпшення специфічних механічних властивостей рослин (наприклад, зміцнення стебла проти вилягання, поліпшення механічної міцності трави);
- 5) адаптацію рослин до різних несприятливих умов, наприклад, надання морозо- та (або) посухостійкості;
- 6) зміцнення імунітету рослин та їх стійкості до стресів.

Для мікроелементів відомі різні форми добрив, таких як хелати, фріти, металоамонійні комплекси і гумати. В якості неорганічних солей мікроелементів у виробництві добрив застосовують солі металів (нітрати, сульфати, хлориди), борати, карбонати, молібдати і оксиди.

Нижче наведено найчастіше застосовувані солі: H_3BO_3 - борна кислота (В - 17,1-17,3 %), $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - бура (В - 11,3 %), $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - молібдат амонію (Мо - 51-53 %), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - сульфат міді, мідний купорос (Си - 23,4-24,9 %), $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - сульфат кобальту (Со - 21 %), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - сульфат цинку (Зн - 21,8-22,8 %), $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - сульфат мангану (Мп - 20-22 %). Зазвичай вони ефективні на кислих ґрунтах ($\text{pH} < 6$). За дуже слабо кислої та нейтральної реакції ґрунтового розчину ефективність мікроелементів у вигляді неорганічних солей зменшується в десятки разів. У нейтральних, слабколужних і карбонатних ґрунтах неорганічні солі не можуть утримувати мікроелементи в доступній для рослин формі. Тому нині широко поширені добрива на основі природних і синтетичних органічних кислот. Отримують їх у наслідок реакції металів з молекулами органічних кислот з утворенням стійких сполук - *хелатів* (від грецького «chele» - клешня). Це стійкі комплексні сполуки. Вони розчинні у воді, добре засвоюються рослинами, нетоксичні. Умовно можна уявити, що метал захоплюється «клешнею» органічної молекули. Мембрана клітини ідентифікує цей комплекс, як природно біологічну структуру і легко пропускає через кутикулу, не зважаючи на значний розмір, порівняно з іонами. Потім мікроелемент засвоюється рослиною, а органічна кислота розкладається на простіші сполуки.

Хелатування - це не просте добавляння солей металів до органічних кислот. Хелатування відбувається в результаті реакції сполучення між хелатувальним агентом і позитивно зарядженим іоном мікроелемента що створює «молекулярне скупчення». Це сприяє утриманню та захищає мікроелемент від зв'язування із негативно зарядженими часточками та від випадання в осад у резервуарі обприскувача, у сумішах з іншими добривами або складовими. Сила зчеплення визначає тривалість і здатність хелатованого мікроелемента розчинятися у воді та сприяти його доступності для коренів або листків рослин.

Як добрива використовують комплексонати заліза, цинку, міді, мангану, кальцію і магнію та інших елементів. Найбільш перспективними з біологічного погляду для створення комплексонатів металів є: етилендіамінтетраацетат

(ЕДТА); діетилентриамінпентаацетат (ДТПА); дигідрокси бутилен діамін тетраацетат (ДБТА); етилен діамін ди бурштинова кислота (ЕДДБ); оксі етилен денди фосфонова кислота (ОЕДФ); нітрилтриметиленфосфонова кислота (НТФ). Вміст металів у синтетичних і органічних хелатах становить 5-14 %.

Єдиної відповіді на питання, який комплексон слід застосовувати для отримання біологічно активних сполук мікроелементів, немає. Це пояснюється тим, що самі комплексони майже інертні. Основне значення має катіон металу, а комплексон є лише транспортним засобом, що забезпечує переміщення катіону в рослину та його стійкість у поживних розчинах і ґрунті.

Карбоксильні групи мають ЕДТА, ДТПА, ДБТА, ЕДДБ, а кислоти ОЕДФ і НТФ є комплексонами на основі фосфонової кислоти.

Хелатувальні агенти мають різну силу зв'язування іонів металів. Тобто за стабільністю. Для практичного застосування у різних умовах (рН розчину) це необхідно враховувати. Таку інформацію надає виробник добрив.

Нині перевагу віддають виробництву мікродобрив на основі ЕДТА (торгова назва Трилон Б), що переважно пов'язано з її доступністю і відносно низькою вартістю. Проте хелатувальні властивості добрив на її основі виявляються лише за рН розчину $< 6,5$, що потрібно враховувати під час виготовлення робочих розчинів і внесення в ґрунт. Хелатувальна дія, наприклад, етилендіаміни(2-гідроксифеніл)діацетату (ЕДОФА) виявляється за рН середовища 3,5-10, але добрива на її основі значно дорожчі.

Для забезпечення ефективності всіх видів хелатів мікроелементів необхідно підтримувати оптимальне значення рН на всіх етапах застосування: від виготовлення маточного розчину до засвоєння рослинами. Хелати, на відміну від іонів, інертні (до розщеплення сполуки всі заряди збалансовані), тому вони не створюють антагонізму в розчинах порівняно з простими солями. При цьому вони не руйнують пестицидів, що дає можливість виготовляти ефективні комплексні добрива (NPK + мікроелементи), а також поєднувати підживлення з пестицидним обробленням насіння чи рослин.

Добрива у вигляді хелатів вносять у ґрунт та використовують для позакореневого підживлення і вирощування овочів гідропонним способом. Вони розчинні у воді, що полегшує їх застосування, не руйнуються мікроорганізми ґрунту, не вступають у реакції з ґрунтом і не перетворюються на недоступні для рослин сполуки, тому довго зберігаються в ґрунтовому розчині. Крім того, введення комплексонатів у ґрунт дає змогу мобілізувати мікроелементи, що знаходяться в ньому в недоступних для рослин формах.

Хелати значно ефективніші за солі неорганічних кислот. Елементи живлення у вигляді хелатних сполук набагато швидше включаються у фізіологічні процеси і реакції. Коефіцієнт їх засвоєння при позакореновому підживленні сягає 95 %, тоді як із солей неорганічних сполук - 20-30 %. Крім того, солі металів токсичні для рослин при перевищенні дози внесення, а також зумовлюють опіки листків у місцях прямого контакту. Мікроелементи, внесені позакоренево у вигляді хелатів, є профілактичним засобом для запобігання захворюванням і фізіологічним стресам рослин.

Ефективність дії мікроелементу на рослину значно залежить від форми, в якій він перебуває. Нестача мікроелементів для рослин зазвичай пояснюється перебуванням їх у ґрунті в нерозчинній, недоступній для рослин формі.

Відмінність між формами мікроелементів наступна:

- мікроелементи у вигляді неорганічних солей ефективні лише на ґрунтах зі слабкокислим і кислим середовищем, на нейтральних і лужних ґрунтах їх ефективність знижується в десять разів у зв'язку з переходом у важкорозчинні форми (гідрооксиди, карбонати);
- комплексонати металів стійкіші на всіх типах ґрунтів і ефективніші звичайних солей металів. їх можна застосовувати в якості профілактичних засобів для запобігання захворювання рослин.

Натуральні органічні комплекси мікроелементів синтезують реакцією солей металів з органічними продуктами, які отримують як побічні в різних виробничих процесах. їх зазвичай маркують як «органічні хелати». Структуру

таких сполук вивчено ще недостатньо. Вважається, що вони менш стабільні, ніж синтетичні хелати тому і менш ефективні.

Препаративні форми мікродобрив - рідини, гранули, кристали, пасти. Рідкі форми препаратів мають такі переваги:

- завдяки швидкому розчиненню немає потреби готувати маточний розчин, тобто можна вливати добриво в бак обприскувача;
- легко визначити необхідну кількість за допомогою об'ємного вимірювального посуду;
- більша ефективність препарату завдяки повній розчинності.

До недоліків рідких форм можна віднести низьку (3-6 %) концентрацію діючої речовини; менший строк зберігання та замерзання за низьких температур. Переваги сухих препаратів, із вмістом металів 6-15 %, у кращому зберіганні і транспортуванні

4. Дефоліанти, десиканти і сениканти

Хімічне регулювання росту та розвитку рослин можна проводити не лише на ранніх етапах онтогенезу і в основні періоди формування врожаю. Урожай деяких культур не встигає досягнути до настання осінньої несприятливої погоди, що призводить до зменшення його кількості та зниження якості. Для пришвидшення досягання в передзбиральний період застосовують агрохімічні препарати: дефоліанти, десиканти і сениканти.

Дефоліація - це штучне передзбиральне видалення листків рослин. Після її проведення хімічними речовинами - *дефоліантами* поживні речовини переміщуються з вегетативних органів у генеративні - плоди й насіння. За анатомофізіологічними ознаками дія дефоліантів подібна до природного обпадання листків. При цьому біля основи черешка листка утворюється віддільний шар клітин, що й зумовлює листопад.

Широко застосовують дефоліанти у виноградарстві для підготовки плантацій до механізованого збирання врожаю, в розсадниківництві - для

видалення листків саджанців і на маточниках підщеп. Найпоширенішими дефоліантами є ціанамід кальцію, хлорат магнію, хлорат-хлорид кальцію.

Десиканти. *Десикація* - передзбиральне підсушування рослин з метою пришвидшення досягання і поліпшення механізованого збирання врожаю. Для цього застосовують хімічні речовини - *десиканти* місцевої (контактної) дії, які обпалюють рослини, незворотно пошкоджують протоплазму, що різко зменшує водоутримувальну здатність клітин і посилює випаровування. Це призводить до швидкого висушування не лише листків, а й стебел без ушкодження достигаючого насіння, коренеплодів і бульб, що поліпшує механізоване збирання врожаю, його переробку, зменшує пошкодження під час зберігання. Десикація особливо ефективна за несприятливої вологої осінньої погоди, високих фонів удобрення і в умовах зрошення, якщо можливе подовження вегетаційного періоду.

Десикацію широко використовують для передзбирального висушування бадилля картоплі. Її застосовують на насіннєвих посівах багаторічних трав, насінниках буряку, соняшнику, сої. Десикацію проводять лише після формування врожаю, якщо вона вже не може негативно впливати на його величину та якість.

Для проведення десикації можна застосовувати різні речовини, але найчастіше рекомендують хлорат магнію, хлорат-хлорид кальцію і реглон, які наносять з допомогою неземного обприскування, а на великих площах - авіації. Щоб запобігти стіканню препарату з обробленої поверхні, краплі мають бути дрібними, з нормою витрати робочого розчину для наземного застосування – 250-400, авіаційного - 50-70 л/га.

Сениканти. Сеникацію проводять для поліпшення умов досягання зерна. При цьому поліпшуються його насіннєві якості в межах норми реакції генотипу. Відомо, що на останніх етапах розвитку рослин конкурентні відношення в системі вегетативні органи-плоди зміщуються на користь останніх і пластичні речовини переміщуються до них. Цілеспрямоване регулювання відтоку пластичних речовин із листків і стебел у генеративні органи є важливою ланкою

керування продукційним процесом у рослин. Зазвичай пластичні речовини не повністю транспортуються в досягаючі зерна і плоди, значна їх частина залишається у відмираючих вегетативних органах. Тому сеникацію проводять для інтенсивнішого «викачування» зі старіючих листків пластичних речовин. Найбільшого поширення вона набула на зернових культурах.

Сеникація подібна до десикації, але не зумовлює загибелі листків і стебел, а лише пришвидшує обмін речовин у рослині. Як сениканти використовують фізіологічно активні суміші, що складаються з мікронорми гербіциду й азотного добрива (або лише останнього), яка значно посилює гідролітичні процеси у рослинах і є додатковим джерелом азоту. Це по суті пізнє позакореневе підживлення рослин макро- і мікроелементами з метою пришвидшення переміщення пластичних речовин у зерно і плоди, що забезпечує їх якісніше наливання та стислі терміни досягання.

Контрольні питання

1. Що таке інгібітори нітрифікації?
2. Які мікробні препарати?
3. Які хелатні добрива Вам відомі?
4. Що таке дефоліанти, десиканти, сениканти?

Тема 6: ЕФЕКТИВНІ ПРИЙОМИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ

- 1. Строки застосування добрив.**
- 2. Способи внесення добрив.**
- 3. Технології зберігання, підготовки і застосування добрив.**
- 4. Оцінка якості підготовки і внесення добрив.**

1. Строки застосування добрив

Основне завдання технології внесення добрив - забезпечити для рослин оптимальні умови живлення впродовж усієї вегетації. При цьому розрізняють три прийоми внесення добрив:

- 1) основне (допосівне, передпосівне);
- 2) припосівне (рядкове);
- 3) і підживлення (післяпосівне).

При виборі прийому внесення добрив важливо враховувати потребу культур в елементах живлення за фазами росту й розвитку та можливість розміщення їх у зоні найбільшої доступності для кореневих систем рослин. На вибір прийому внесення добрив значно впливають властивості самих добрив, їх взаємодія з ґрунтом, рухомість у ґрунтовому розчині, наявність у добривах баластних речовин та відношення до них сільськогосподарських культур.

Під час вибору строків, прийомів і способів внесення добрив за мету ставлять вирішення таких завдань:

- 1) створити умови максимальної доступності для рослин елементів живлення з добрив;
- 2) забезпечити їх елементами живлення впродовж усієї вегетації й особливо у критичні періоди (найбільшої потреби в елементах живлення);
- 3) звести до мінімуму втрати добрив від вимивання, ерозії та звітрювання; зменшити перехід елементів у ґрунті в недоступні для рослин форми.

Крім того, потрібно враховувати особливості розвитку кореневої систем рослин по шарах ґрунту та особливості їх зволоження впродовж вегетації.

Добрива мають знаходитися в зоні функціонування коренів рослин і водночас не переходити в ґрунті в недоступні форми. У разі глибокого заробляння у вологий орний шар вони залишаються доступними для рослин упродовж усієї вегетації. На ґрунтах легкого гранулометричного складу добрива потрібно заробляти глибше.

Азотні добрива (нітрати) можуть вимиватися, що негативно впливає на навколишнє природне середовище. Це явище найпоширеніше в умовах достатнього зволоження на ґрунтах легкого гранулометричного складу та на парових полях.

Вимивання нітратів характерне для пізньої осені та ранньої весни, зокрема на полях, не зайнятих рослинами. Тому важливо правильно обрати строки внесення азотних добрив, врахувавши, що найбільше азоту вимивається з нітратних їх форм.

За поверхневого або мілкого внесення твердих амонійних і амідних добрив втрати азоту внаслідок звітрювання аміаку залежать від їх доз внесення, кислотності й вологості ґрунту.

Фосфорні добрива навіть на ґрунтах легкого гранулометричного складу зберігаються у місцях їх внесення і майже не мігрують по профілю ґрунту. Калій на таких ґрунтах може частково вимиватися.

На ґрунтах важкого гранулометричного складу за осіннього внесення ступінь закріплення фосфору і калію майже однаковий. За мілкого заробляння добрив унаслідок дуже слабкої рухомості в сухому ґрунті вони не використовуватимуться рослинами. Після підживлення культиватором-рослинопідживлювачем фосфорні й калійні добрива також часто потрапляють у сухий шар ґрунту і дають менший ефект, ніж при зароблянні плугом до початку сівби в зону розміщення основної маси коренів рослин.

Отже, добираючи прийоми, строки, способи і технологію внесення добрив, можна значно підвищити їх оплату приростом урожаю культур та поліпшити якість рослинницької продукції.

Основне удобрення

Основне (передпосівне) внесення добрив проводять до початку сівби з метою забезпечення стабільного живлення рослин упродовж усього періоду вегетації. При цьому вносять гній та інші органічні добрива, зазвичай більшу частину загальної норми мінеральних добрив восени або навесні залежно від ґрунтово-кліматичних умов, форм добрив, їх наявності та інших причин.

Основне внесення фосфорних і калійних добрив проводять восени під зяблевий обробіток ґрунту, щоб добрива потрапили в шар ґрунту з гарантованим зволоженням, де розміщена основна частина кореневих систем рослин.

Плуг з передплужником значну частину добрив заробляє в нижню частину орного шару ґрунту, звідки вони засвоюватимуться добре розвиненою кореневою системою. Проте на початку вегетації рослини можуть відчувати нестачу елементів живлення, що потребує додаткового внесення добрив для забезпечення оптимального живлення рослин.

Строки основного внесення добрив залежать від типу, гранулометричного складу і вологості ґрунту та властивостей добрив. *Азотні добрива зазвичай вносять навесні, щоб зменшити втрати азоту, їх найчастіше заробляють культиваторами, оскільки нітратний азот перемішується по профілю ґрунту з опадами.*

На ґрунтах середнього і важкого гранулометричного складу рідкі аміачні добрива (аміак безводний і водний) можна вносити восени під глибоку культивування, коли середньодобова температура ґрунту нижча за 10 °С.

Калійні добрива вносять навесні лише за достатнього зволоження на ґрунтах легкого гранулометричного складу або під час переорювання зябу.

Гній і компости вносять під оранку зябу або навесні. Весняне внесення їх практикують, якщо за зиму вони накопичилися в господарстві.

Припосівне удобрення

Припосівне (рядкове), або присадивне, удобрення застосовують для задоволення потреб рослин в елементах живлення у перший період їх росту і розвитку. Це перший обов'язковий прийом внесення мінеральних добрив під усі культури в усіх ґрунтово-кліматичних умовах. Під час сівби насамперед вносять переважно легкорозчинні фосфорні добрива, оскільки фосфор потрібний для живлення рослин у перші дні життя.

Припосівне внесення добрив завжди проводять локально, що значно підвищує їх використання. Сучасні комбіновані сівалки дають змогу одночасно з висіванням насіння вносити добрива локально у вигляді стрічки збоку на відстані 2-3 см, інколи з використанням однієї стрічки добрив для кожної пари посівних рядків.

Хімічний склад і концентрація ґрунтового розчину - один із постійно діючих на висіяне насіння і сходи. Насіння в ґрунтовому розчині набухає повільніше, ніж у чистій воді. Тому в рядки потрібно вносити добрива - вапняно-аміачну селітру замість аміачної селітри, сульфат калію замість калію хлористого. Вапняно-аміачна селітра чинить меншу підкислювальну дію на ґрунт, а сульфат калію - має менший показник сольового опіку рослин, ніж калій хлористий.

Отже, важливо, щоб добриво не контактувало з насінням. Проведення меліорації невеликого об'єму ґрунту в зоні розміщення насіння, а також його дражування сприяють підвищенню продуктивності рослин.

Припосівне удобрення, розраховане на початковий період живлення рослин, має велике значення для всього подальшого їх життя.

Найчастіше в рядки вносять фосфорні добрива, рідше - азотні, а калійні добрива не дають ефекту (за винятком калієфільних культур) і навіть можуть пригнічувати посіви, зокрема дрібнонасінних рослин. Доцільність припосівного внесення того чи іншого виду добрив визначають з урахуванням родючості ґрунту і доз добрив, внесених у передпосівне удобрення.

Для припосівного внесення застосовують суперфосфати і складні добрива (амофос, діамфос, амофосфат, нітроамофоску та ін.). Недоцільно вносити

суміш однокомпонентних добрив, оскільки вони можуть розшаровуватися, зволожуватися, що ускладнює їх висівання.

Підживлення

Підживлення проводять для задоволення потреб рослин (найчастіше в азоті, іноді в калії) у період інтенсивного росту, коли вони поглинають багато елементів живлення. Значення цього агрозаходу для всіх культур зростає на зрошуваних землях, ґрунтах легкого гранулометричного складу з підвищенням вологозабезпеченості ґрунтів і тоді, коли в основне удобрення внесли недостатню кількість добрив або їх взагалі не вносили. Підживлення є прийомом, який доповнює або поліпшує дію основного удобрення. Особливо ефективно ранньовесняне підживлення азотними добривами озимих культур.

Для підживлення застосовують легкорозчинні форми добрив. Вносять їх на поверхню ґрунту врозкид (підживлення озимих, багаторічних трав) або в міжряддя просапних і овочевих культур (з наступним зароблянням під час міжрядного обробітку ґрунту), або культиваторами-рослинопідживлювачами.

В умовах недостатнього зволоження переносити частину норми з основного удобрення для підживлення як з агрономічного, так і з економічного погляду недоцільно.

Позакореневі підживлення найефективніші на добре окультурених ґрунтах і за високих норм внесення добрив, де обмежувальним чинником росту продуктивності культур може бути один з макро- чи мікроелементів.

Позакореневе підживлення необхідне в таких випадках:

- як доповнення до основного удобрення за нестачі елементів живлення або низького рівня засвоєння їх із ґрунту (перезволоження, посуха, низькі температури, порушення оптимального співвідношення та антагонізм іонів, високий і низький рівні рН розчинів ґрунтового середовища);
- при порушенні нормального функціонування кореневої системи (ущільнення ґрунту, слабка його аерація, низькі температури, пошкодження кореневої системи рослин шкідниками і хворобами);

- у фазу максимальної потреби рослин в елементах живлення, коли їх засвоєння відстає від темпів росту рослин, що особливо часто спостерігається за прохолодної погоди;

- для подолання стресу рослинами (під час інтенсивного росту, за невідповідності властивостей ґрунту потребам рослин, за поганих погодних умов - посуха чи надмірне зволоження, температурний режим);

- одночасно із засобами захисту рослин (для поліпшення якості робочого розчину і стану рослин унаслідок зняття стресу від дії засобів захисту);

- для стимулювання засвоєння рослинами елементів живлення з ґрунту;

- для підвищення якісних і кількісних показників урожаю.

У багатьох випадках позакореневе підживлення має низку переваг над корневим.

1. Дає змогу в потрібний час забезпечити рослини необхідними речовинами, при чому доставити поживу в органи, які їх потребують.

2. Елементи живлення, внесені в ґрунт, рослинами засвоюються далеко не повністю (азот - близько 50 %, фосфор - 25, калій - 65 %). Частина їх перетворюється на недоступні для рослин сполуки. Цього не відбувається при позакореновому підживленні.

3. Позакореневе підживлення можна проводити в різні періоди росту і розвитку рослин.

4. У періоди з малою кількістю опадів ефективність корневих підживлень низька, оскільки добрива вносяться в сухий ґрунт.

Найліпшим азотним добривом для позакорневих підживлень є карбамід. Амідна форма азоту швидко проникає через листову поверхню. Позакореневе підживлення карбамідом доцільно поєднувати з внесенням мікроелементів і пестицидів, якщо немає застережень у регламенті їх застосування. Об'єм робочого розчину має бути не меншим за 250-300 л/га.

Магній дуже добре поглинається через листки. Він засвоюється у 15 разів швидше, ніж фосфор, й у 10 - ніж калій. Додавання до робочого розчину карбаміду у 2-3 рази пришвидшує проникнення магнію через кутикулу листків.

У сучасних технологіях вирощування сільськогосподарських культур для вирішення питання швидкої компенсації нестачі магнію і сірки широко застосовують сульфат магнію.

Отже, під час проведення позакореневого підживлення потрібно враховувати цілу низку чинників, які можуть значно впливати на його ефективність.

1. *Агротехнологічні*: оптимальна реакція ґрунтового середовища, достатня кількість внесених добрив, захист рослин від шкідливих організмів, рівномірна густота стояння рослин.

1. *Рослина*: молоді листки швидше засвоюють біогенні елементи.

2. *Погодні умови*: оптимальна вологість повітря і ґрунту, нижча температура (обприскування проводять увечері або вранці, а після приморозків - через 2-3 доби).

3. *Здатність елементів до проникнення в листки*: найшвидше проникають мобільні елементи (азот, калій, магній, натрій), повільніше - сірка. Вони можуть рухатися згори вниз від місця поглинання до тих органів рослин, яким вони більше всього необхідні.

4. *Добавляння карбаміду*: наявність у розчині карбаміду поліпшує пропускну здатність кутикулярного шару листка, що збільшує обсяги засвоєння елементів живлення, підвищує ефективність дії пестицидів.

5. *У разі добавляння листових добрив до розчину гербіциду* можливі опіки листків. Селективна дія багатьох гербіцидів обумовлена дуже тонким балансуванням норм і концентрацій: не обпекти рослини та знищити бур'яни.

6. *Строки внесення*: для кожної рослини характерна певна динаміка засвоєння елементів живлення.

7. *Особливості обприскування*: оптимальна концентрація розчину відповідно до виду рослини та фази її розвитку, застосування поверхнево-активних речовин (якщо мікродобриво їх не містить) для ліпшого прилипання крапель до листка, дрібнокраплинисте розпилення робочого розчину.

9. *Стан рослин.* Відсутність стресу. Здорова рослина засвоює елементи живлення швидше і в більшій кількості, ослаблена чи уражена хворобами - захищається від подальшої втрати води та проникнення інфекцій, тому має щільну зашкарублу структуру поверхні листка, що значно обмежує можливість проникнення біогенних елементів крізь листки.

10. *Форма добрива.* З азотних добрив найліпшим є карбамід, який спричиняє найменше опіків на листовій поверхні порівняно з аміачною селітрою чи КАС. Спеціальні добрива для позакоренових підживлень відрізняються за складом і ціною.

11. *Для зменшення ймовірності опіку листків і поліпшення живлення рослин сіркою та магнієм,* до бакової суміші разом з карбамідом рекомендується додавати 5 кг $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (5%-й розчин) на 100 л води або 3 кг $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (3%-й розчин).

12. *Робочий розчин* готують безпосередньо перед внесенням. Бак обприскувача наповнюють на 2/3 водою і за увімкненої мішалки засипають потрібну кількість карбаміду. Після цього добавляють сульфат магнію, пестициди і мікродобрива. За потреби останні заздалегідь розчиняють у воді в окремій посудині, тобто готують маточний розчин, і заливають цей розчин в обприскувач.

Важливе значення має послідовність завантаження препаратів у бак: спочатку додають водорозчинні гранули та змочувальний порошок, потім - рідкі суспензії, водні розчини або водні концентрати, останніми - концентрати емульсії.

Періодичне (запасне) удобрення

Одночасне внесення кількох норм мінеральних добрив на два і більше років називається періодичним. Реакція рослин на фосфор і калій добрив визначається багатьма чинниками: агрохімічною характеристикою ґрунту, видами і сортами культур, що вирощуються, рівнем їх урожаю, кліматом, взаємодією з іншими елементами живлення, балансом поживних речовин, способом внесення добрив, обробітком ґрунту та іншими чинниками.

З питань періодичності внесення фосфорних добрив накопичений значний експериментальний матеріал як в нашій країні, так і за кордоном. Отримані дані неоднорідні і потребують уточнення відносно конкретних ґрунтово-кліматичних умов і агрокультури. Це пояснюється тим, що у досліджах здебільшого використовували легкорозчинні фосфорні добрива, які є дорогими.

Не можна вносити калійні добрива про запас на піщаних і супіщаних ґрунтах, з яких калій вимивається. Внесення високих норм калію, крім того, підвищує його вміст в урожаї (понад 3 % K_2O в сухій речовині), що шкідливо для тварин, а в разі використання хлоровмісних добрив може погіршуватися і якість рослинницької продукції. Азотні добрива періодично не вносять унаслідок їх вимивання і втрат у газоподібному стані.

2. Способи внесення добрив

Розширене відтворення родючості ґрунтів і забезпечення сільськогосподарських культур елементами живлення відповідно до їх біологічних потреб у певних ґрунтово-кліматичних умовах потребує застосування різних способів внесення добрив. **Способи внесення добрив** - це прийоми їх застосування під сільськогосподарські культури. Розрізняють такі способи внесення добрив: **основне (допосівне, передпосівне)** - внесення основної маси добрив у ґрунт до сівби або садіння; **рядкове (припосівне)** - внесення добрив під час сівби або садіння; **підживлення** - внесення добрив у період вегетації рослин; **позакореневе підживлення** - підживлення рослин розчинами добрив обприскуванням їх надземних частин.

Основне внесення фосфорних і калійних добрив проводять переважно восени під зяблеву оранку, щоб вони потрапили у постійно зволожений шар ґрунту, де розміщується основна маса коренів. Дози рядкового удобрення невисокі, оскільки розраховані на дію впродовж короткого терміну. Під час сівби в рядки насамперед вносять фосфорні добрива, значно рідше - азотні, а калійні часто не дають ефекту (за винятком посівів калієфільних рослин) і навіть можуть знижувати врожай, зокрема дрібнонасінних культур.

Внесення мінеральних добрив упродовж вегетаційного періоду називають *роздрібним*.

За характером розміщення мінеральних добрив під час їх внесення розрізняють поверхнєве і внутрішньогрунтове внесення

Поверхнєве внесення - розсіювання добрив на поверхні ґрунту з наступним загортанням їх ґрунтообробними знаряддями або без загортання, коли добрива вносять на сінокосах, пасовищах чи посівах сільськогосподарських культур. Поверхнєве внесення добрив здійснюють розкидним (суцільним) або локальним способом.

Розкидне (суцільне) внесення - суцільний розподіл добрив по поверхні ґрунту. Його проводять розкидачами добрив, сівалками та машинами для внесення рідких добрив. Добрива при цьому можуть залишатися на поверхні ґрунту або загортатися в нього ґрунтообробними знаряддями.

Поверхнєво-локальне внесення - розміщення мінеральних добрив на поверхні ґрунту концентрованими осередками, переважно у вигляді стрічок різних завширшки. Добрива загортають у ґрунт з максимальним збереженням стрічок під час наступного його обробітку.

Внутрішньогрунтове внесення - внесення добрив з одночасним загортанням їх у ґрунт. Здійснюють переважно локальним способом або суцільним перемішуванням добрив з певним об'ємом ґрунту комбінованими ґрунтообробними знаряддями.

Локальне внутрішньогрунтове внесення - внесення добрив з розміщенням їх у ґрунті осередками різних форм і розмірів (суцільними або окремими стрічками і проміжками, екраном, гніздами тощо), орієнтованими відносно рослин або поверхні ґрунту.

Калій добрив за локального їх внесення менше піддається необмінній фіксації. Ґрунт навколо стрічки добрив дуже насичується, різко змінюється концентрація ґрунтового розчину, підвищується осмотичний тиск. За таких умов припиняється життєдіяльність мікроорганізмів, менше зв'язується елементів живлення. Азот, фосфор і калій по-різному переміщуються зі стрічки добрив. Найактивніше

рухається нітратний азот, значно менше - амонійний азот і калій, дуже слабо - фосфор.

Узагальнивши дані літератури, С. М. Крамарьов (2010) виділив основні чинники, згідно з якими локальний спосіб внесення добрив має такі переваги:

- дія добрив на ґрунт обмежена його шаром, що безпосередньо контактує зі стрічкою добрив;
- знижується вимивання кальцію і розчинних у воді органічних речовин, що пов'язано з обмеженим об'ємом ґрунту, який контактує з добривами, й ослабленням дії на ГВК одновалентних катіонів;
у стрічці добрив підвищується кислотність ґрунтового розчину;
- навколо стрічки добрив збільшується вміст гумінових кислот з одночасним зменшенням умісту фульвокислот, які більше піддаються мінералізації та є основним джерелом доступного азоту;
- підвищення концентрації поживних речовин у стрічці добрив і зниження рН ґрунтового розчину пригнічує активність мікроорганізмів, у тому числі нітрифікаторів і бактерій, які використовують органічний і мінеральний азот, що знижує непродуктивні його втрати внаслідок перебігу денітрифікаційних процесів;
- підвищення кислотності ґрунтового розчину інгібує процеси нітрифікації і денітрифікації, а перемішування з малим об'ємом ґрунту знижує газоподібні втрати азоту добрив;
- інгібування нітрифікації та інших мікробіологічних процесів сприяє пролонгованій дії азотних добрив і поліпшенню живлення рослин цим елементом;
- зменшення площі контакту фосфорних добрив з ґрунтом підвищує рухомість фосфатів і доступність їх для рослин;
- у чорноземах основне значення у фіксації калію має органо-мінеральний комплекс, тому зменшення перемішування калійних добрив з ґрунтом, знижує перехід калію в необхідну форму і, відповідно, поліпшується калійне живлення рослин;

- поряд з поліпшенням забезпеченості рослин калієм, він активує поглинання інших елементів живлення;
- добрива, внесені в 1,5-2 рази глибше від глибини висівання насіння, знаходяться в зоні гарантованого зволоження, швидше перехоплюються кореневими системами і триваліший час засвоюються рослинами.

3. Технології зберігання, підготовки і застосування добрив

Технологія внесення добрив - це комплекс послідовних виробничих операцій, що здійснюються при застосуванні добрив. Залежно від відстані перевезення добрив, наявності машин, доз добрив, організації роботи з підготовки, транспортування і внесення туків найчастіше використовують безперевальну, перевантажувальну та перевальну технології.

Безперевальна (прямоточна): *склад - навантаження - машина для внесення добрив - поле.*

Перевантажувальна: *склад - навантаження - транспортний засіб - перевантаження - машина для внесення добрив - поле.*

Перевальна: *склад - навантаження - транспортний засіб - розвантаження - тимчасовий майданчик на полі - навантаження - машина для внесення добрив - поле.*

Перед внесенням добрив поле розбивають на загінки з урахуванням його рельєфу та напрямку вітру, відбивають поворотні смуги, проводять лінію першого проходу агрегата, після чого починають вносити добрива. Основним показником якості внесення добрив є дотримання заданих норм і співвідношення між елементами живлення, рівномірність розподілу їх по всьому полю.

Хімічні меліоранти. За фізичними властивостями їх умовно поділяють на:

- пильні (доломітове борошно, сланцева зола, цементний пил тощо);
- непильні (вапняне і доломітове борошно, дефекат).

Пильні меліоранти вносять за прямоточною і перевальною схемами. Для їх транспортування і внесення застосовують спеціальні машини на автомобільній і тракторній тязі.

Прямоточну технологічну схему доцільно застосовувати за відстані від прирейкового складу або заводу до поля до 20-30 км. Меліоранти завантажують пневматично зі складів баштового типу в цистерни, якими доставляють їх на поле і розподіляють по його поверхні.

За *перевантажувальної* технології меліоранти пневматичним насосом із баштових складів подають у цистерни, якими транспортують до поля, де їх перекачують у резервуари агрегатів для внесення.

Непильні вапнякові матеріали (дефекат, карбонатний сапропель тощо) вносять за трьома технологічними схемами: *прямоточною*, *перевантажувальною* і *перевальною*.

Тверді мінеральні добрива. Залежно від відстані транспортування добрив, наявності машин, доз внесення добрив, особливостей організації робіт з підготовки, навантаження, перевезення і внесення добрив використовують всі три технологічні схеми: *безперевальну*, *перевальну* і *перевантажувальну*.

За *безперевальної* схеми добрива завантажують в автомобільні або тракторні розкидачі, якими їх транспортують і розкидають по полю. Вона ефективна за невеликого віддалення полів від складу, а також за використання автомобільних розкидачів.

Перевантажувальну і *перевальні* схеми передбачають використання для перевезення транспортні засоби, а для внесення - спеціальні машини. *Перевальна* технологія ще й потребує місць перевантаження (обладнаних або тимчасових майданчиків на полі).

За *перевантажувальної* технології завантажені на складі добрива доставляють до поля транспортно-перевантажувальними засобами (автомобілями-самоскидами, тракторними причепами тощо), потім їх перевантажують у машини (розкидачі, комбіновані сівалки тощо), якими лише вносять добрива у ґрунт.

Перевальну технологію застосовують як виняток, за сприятливих погодних умов у разі масового завезення добрив у господарство. Добрива транспортують

автомобілями-самоскидами до поля, і вивантажують на спеціальні або тимчасові майданчики, звідки їх завантажують в технологічні машини і вносять у ґрунт.

Рідкі мінеральні добрива. Роботи з внесення РКД і КАС також можуть бути організовані за безперевальною, перевантажувальною і перевальною технологічними схемами. При цьому прямоточна технологія доцільна, якщо відстань перевезення не перевищує 25 км. Перевантажувальна технологія передбачає перевезення рідких мінеральних добрив транспортними засобами і заправку з них техніки для їх внесення. Для перевальної технології необхідні польові стаціонарні сховища з яких заправляють машини для внесення добрив.

Тверді органічні добрива від місць накопичення до поля доставляють за безперевальною (ферма-поле) і перевальною (ферма-бурт-поле) технологічними схемами. За безперевальної технології добрива транспортують і вносять на поле одними і тими ж машинами для внесення органічних добрив. Таку схему застосовують лише за невеликого обсягу роботи і малої відстані перевезення (до 10 км від сховища до поля).

Внесення добрив сільськогосподарською авіацією

Правом на використання авіаційної діяльності в Україні користуються, незалежно від форми власності та відомчої належності, всі експлуатанти хімічної авіації здійснюють експлуатацію цивільних повітряних суден згідно з вимогами правил сертифікації експлуатантів.

Авіаційно-хімічні роботи проводять застосуванням ультрамалооб'ємного обприскування з дозуванням 2-10 л/га. Таким способом вносять рідкі комплексні добрива, стимулятори росту рослин, обприскують сільськогосподарські угіддя для захисту від бур'янів, шкідників і хвороб.

Застосування авіаційних технологій має певні переваги перед наземними:

- висока продуктивність: один літак здатен замінити 7-12 наземних обприскувачів; денне напруження одним літаком може становити 500-3000 га;
- дрібнокрапельне розпилення препарату дозволяє знизити його норму витрати на 20-30 %;

- можливість за висоти польоту 1,5-5 м проводити агротехнологічні заходи і біологічно сприятливі терміни та дотримання оптимальних строків обробки в складних метеоумовах;

- виключення ущільнення ґрунту та пошкодження посівів колесами наземних обприскувачів;

- зазвичай літальні апарати не потребують спеціальних майданчиків для зльоту і посадки.

Технології застосування добрив з поливною водою

Внесення мінеральних добрив з поливною водою називають *фертигацією*. Цей захід проводять як до сівби, так і в період вегетації рослин. Висока ефективність методу досягається внаслідок збільшення коефіцієнта використання елементів живлення добрив, зниження концентрації ґрунтового розчину та підтримання його на певному рівні, надходження елементів живлення в доступній формі відповідно до біологічних потреб рослин.

Ефективність фертигації при дощуванні залежить від правильності вибору машини. Особливу увагу треба звертати на відповідність інтенсивності дощу і водопроникності ґрунту за встановлених поливних норм. Машини з високою інтенсивністю дощу застосовувати не слід, бо удобрювальний розчин не встигає поглинатися ґрунтом і стікає з ділянки, забруднюючи навколишнє природне середовище. Крім того, знижені частини рельєфу перезволожуються і надмірно збагачуються елементами живлення, а підвищені, навпаки, отримують недостатню їх кількість. Це спричиняє строкатість посівів і, відповідно, зниження ефективності фертигації. Удобрювальний полив дощуванням без утворення калюж і стоків забезпечує сприятливий поживний режим ґрунту і високу продуктивність культур.

Нині технологія краплинного зрошення містить у собі кілька більш вузьких технологій: - підготовки води до зрошення; внесення добрив; сама технологія поливу; обслуговування системи крапельного зрошення.

До позитивних чинників краплинного зрошення належать: високі економічна й технологічна ефективності, економне використання водних

ресурсів (50-90 %) порівняно з традиційним зрошенням дощуванням, можливість регулювання глибини зволоження, зниження ризику ураження рослин хворобами, відсутність ґрунтової кірки, можливість одночасного з поливанням внесення мінеральних добрив в оптимальних нормах і співвідношеннях елементів живлення у відповідні фази росту й розвитку рослин. При цьому економлять 15-35 % добрив у перерахунку на одиницю продукції, запобігають забрудненню ґрунтових вод і повторному засоленню ґрунтів.

Технології диференційованого (точного) застосування добрив

Міжнародний досвід показує, що такий підхід забезпечує значну економічну ефективність і, головне, дозволяє відтворювати і вирівнювати родючість ґрунту по площі поля. Наприклад, впровадження елементів точного землеробства в Німеччині сприяло підвищенню врожаю сільськогосподарських культур на 30 % за одночасного зниження витрат на мінеральні добрива на 30 %.

Точне землеробство складається з складових, які умовно можна розділити на три етапи: - збір інформації про регіон, господарство, поле, культуру;

- аналіз інформації і формування задачі;
- вирішення задачі - проведення агротехнологічних операцій.

Для реалізації технології точного землеробства необхідна сучасна сільськогосподарська техніка, що управляється бортовим комп'ютером і здатна диференційовано проводити агротехнологічні операції, прилади точного позиціонування на місцевості (GPS-приймачі), технічні системи для виявлення неоднорідності поля (автоматичні пробовідбірники, сенсори і вимірювальні комплекси, збиральні машини з автоматичним обліком урожайності, прилади дистанційного зондування посівів тощо).

4. Оцінка якості підготовки і внесення добрив

Вологість і гранулометричний склад добрив мають відповідати встановленим вимогам, не містити домішок і грудочок діаметром понад 5 мм. Злежані мінеральні добрива завчасно подрібнюють. Фосфорні добрива можна подрібнювати за 30 діб до внесення, калійні - за 10, азотні - за 3 доби. Для

контролю за якістю подрібнення добрив періодично відбирають 2-3 проби масою близько 1 кг з буртів подрібнених добрив і просівають крізь сито з отворами 5 мм. За наявності у добривах часточок розміром понад 5 мм машини для подрібнення потрібно регулювати.

Для виготовлення однорідних за хімічним складом сумішей добрив вихідні компоненти повинні мати однаковий або близький гранулометричний склад; часточок розміром 1-4 мм має бути не менш як 95 %, зокрема 2-3 мм - понад 50 %, < 1 мм - не більш як 1 %. Фактичне співвідношення компонентів у сумішах не має відрізнятись від заданого більш як на 8 %. Співвідношення компонентів у суміші визначають за допомогою лабораторного аналізу. Для цього із різних місць бурту суміші (або кузова транспортного засобу) відбирають 10 проб по 0,2 кг і в кожній пробі визначають кількість компонентів та їх співвідношення. Потім підраховують середнє співвідношення в 10 пробах і порівнюють з допустимим. Завантаження агрегатів різними добривами без попереднього змішування не допускається.

Оцінювання якості основного удобрення. Контроль та оцінювання якості робіт потрібно проводити під час налагодження агрегатів (періодично), під час виконання роботи, приймання і здачі її після закінчення за такими показниками: дотримання заданих доз і співвідношення окремих елементів живлення, рівномірність розподілу добрив по полю, глибина їх загортання.

Під час руху агрегата тракторист має дотримуватися прямолінійності (викривлення шляху виправляється під час наступного проходу), правильно керувати агрегатом на поворотах (повороти агрегата і подача його назад здійснюються лише після вимкнення дозувальних пристроїв та підняття робочих органів), дотримуватися постійної поступальної швидкості і рівномірного завантаження добрив. Суміжні проходи агрегата мають відповідати робочій ширині його захвату. Перекриття суміжних проходів машин має становити не більш як 5 % ширини їх захвату, або не більш як 10 см (машини для внутрішньогрунтового внесення добрив).

Під час внутрішньогрунтового внесення добрив забивання робочих органів рослинними рештками і ґрунтом не допускається. Глибину внесення добрив визначають лінійкою, відкриваючи борозни. Середнє значення кількох замірів приймають за фактичну глибину внесення добрив. Відхилення від заданої величини має не перевищувати $\pm 1,5$ см. Під час роботи агрегатів контролюють відповідність заданої дози внесення добрив фактичній. Згідно з агротехнологічними вимогами, вона має не перевищувати 10 %. Контроль зазвичай здійснюють одним із двох способів.

Перший спосіб. У машин, в яких привід для внесення добрив здійснюється від ходового колеса до тукопроводів або до висівних напрямних (розкидні диски вимкнені), підв'язують мішечки і проходять певну відстань на робочій передачі трактора. Після цього зважують зібрані в мішечках добрива, вимірюють пройдену агрегатом відстань і розраховують фактичну дозу:

$$D_{\phi} = 10^4 Q/L \cdot B_p,$$

де Q - маса зібраного добрива, кг; L - пройдена агрегатом відстань, м; B_p - прийнята ширина робочого захвату машини.

Ширину робочого захвату машини вимірюють рулеткою й остаточно визначають дозу внесення добрив за результатами 15-20 вимірювань.

Другий спосіб. У машину завантажують певну кількість добрив. Після їх внесення вимірюють оброблену площу і визначають фактичну дозу внесення добрив, поділивши масу внесених добрив на площу обробленого поля.

Після закінчення внесення мінеральних добрив на полі не має бути просівів, необроблених ділянок і поворотних смуг. Лише після усунення виявлених недоліків приймають та оцінюють якість виконаної роботи.

Оцінювання якості підживлення. До різних способів підживлення сільськогосподарських культур встановлені відповідні вимоги. Контроль за їх дотриманням проводять за такими показниками: правильний вибір форм добрив, строків і способів їх внесення; підготовка добрив до внесення, дотримання заданих дози і рівномірності їх розподілу.

Контрольні питання

1. Які основні принципи технології внесення добрив?
2. Які завдання вирішуються під час вибору строків, прийомів і способів внесення добрив?
3. Що характерно для основного удобрення?
4. Які основні особливості припосівного удобрення?
5. З якою метою проводять підживлення і які форми добрив використовують?
6. Коли найефективніше проводити позакореневе (листяне) підживлення?
7. Які чинники впливають на кореневе підживлення?
8. Який стан питань періодичності (запасного) удобрення?
9. Які способи внесення добрив Вам відомі?
10. Що характерно для основного внесення фосфорних і калійних добрив?

Тема 7: ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ДОБРИВ

- 1. Забруднення навколишнього природного середовища добривами**
- 2. Забруднення с.-г. продукції**
- 3. Екологічні функції живлення рослин**

1. Забруднення навколишнього природного середовища добривами

Упродовж історичного часу вплив людини на навколишнє природне середовище безперервно зростає. Нині вважають за необхідне ведення нормування антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, що виключає істотні й тривалі структурно-функціональні зміни екосистем. Основне завдання - вивчити склад та властивості відходів і забруднювачів, поведінку їх у системі ґрунт-рослина, щоб керувати їх долею. Важливо керувати створенням продуктів харчування людини і кормів для тварин із необхідним елементарним складом.

Ґрунт є найчутливішим індикатором забруднення ландшафтів. Всі екологічні ланцюги, з якими пов'язане життя людини, проходять через Ґрунт. Ґрунт - порівняно тонка органо-мінеральна мембрана Землі. В ній відбувається процеси обміну речовин і енергії між атмосферою, гідросферою, літосферою і всіма живими організмами суходолу.

Аналізувати ґрунти досить складно, бо це багатofазна гетерогенна полідисперсна термодинамічна відкрита система, в якій не просто визначити і врахувати вплив усіх природних і антропогенних чинників, що визначають рівень концентрації різноманітних сполук хімічних елементів. Якщо контроль за станом атмосферного повітря, підземних і поверхневих вод базується на широкій мережі пунктів спостереження та аналітичних лабораторій, то контроль за станом і забрудненням ґрунтів не організований і проводиться лише на окремих полігонах.

Нині в Україні простежується прогрес у проведенні природоохоронної політики. Суспільство дедалі частіше повертається до цінності природи як незаперечного й фундаментального чинника людського життя.

Забруднення ґрунту - це будь-яка дія, що призводить до порушення нормального його функціонування через фізичне, хімічне чи біологічне руйнування або зменшення родючості, яке виявляється зниженням урожаїв та їх якості.

Забруднення повітря і води як простіших й однорідніших компонентів означає проникнення в їх масу деяких речовин та елементів, які токсично діють на рослину і навколишнє природне середовище. Після видалення забруднювача склад повітря і води швидко повертається в початковий природний стан. Зовсім інші особливості забруднення має ґрунт. Це комплексна система, де основні чинники знаходяться в певній рівновазі, що досягалась упродовж тривалого періоду еволюції. Вона не може відновлюватися так швидко, навіть після усунення причин, які викликали забруднення.

Основні причини забруднення навколишнього природного середовища добривами, шляхи їх втрат і непродуктивне використання такі: недосконалість технології транспортування, зберігання, підготовки і внесення добрив; порушення технології (норм, доз, строків і способів) їх застосування; ерозія ґрунту; незадовільна якість добрив; інтенсивне використання різних промислових і побутових відходів на добрива без контролю їх хімічного складу; погіршення властивостей ґрунтів; вторинне засолення ґрунтів.

Значним джерелом непродуктивних витрат мінеральних добрив і зниження їх ефективності є нерівномірний розподіл по площі поля та їх розшарування (сегрегація) під час транспортування і внесення. Недобір урожаю від цього збільшується при використанні висококонцентрованих добрив, підвищенні їх норм, за високої реакції культур на добрива. Негативна дія нерівномірного внесення найчастіше виявляється на бідніших за родючістю ґрунтах.

Нерівномірність розподілу добрив під час їх внесення у виробничих умовах іноді у 2-3 рази перевищує допустимі межі. Саме тому ефективність азотних добрив знижується на 40-50 %, фосфорних - на 35-40, калійних і складних - на 15-20 %. Різко загострюється екологічний стан унаслідок утворення в ґрунті осередків з надмірно високим вмістом елементів живлення для рослин.

Неправильне застосування добрив погіршує агрохімічні показники ґрунтів, знижує їх родючість. Значна кількість елементів живлення втрачається унаслідок ерозії, зокрема за поверхневого внесення добрив. Забруднення добривами водних джерел спричинює евтрофікацію природних вод - посилений розвиток водоростей та утворення планктону.

Унаслідок денітрифікації оксиди азоту, що виділяються в повітря, з'єднується з молекулами води та утворюють азотну й азотисту кислоти, які випадають з атмосферними опадами на суходіл і поверхню океану. У разі незбалансованого застосування добрив знижується врожай, погіршується якість сільськогосподарської продукції, у ній накопичуються шкідливі для здоров'я людей речовини, продукція рослинництва може стати причиною отруєння людини і тварин.

У зв'язку з цим та з урахуванням інших причин як один з альтернативних шляхів розвитку сільського господарства пропонується повна відмова від застосування мінеральних добрив - біологічне, або альтернативне, землеробство. Як добриво при цьому радять використовувати рослинні рештки, гній, сидерати, широко практикувати вирощування бобових трав, застосовувати біологічні препарати для поліпшення азотфіксації, підвищення доступності елементів живлення з ґрунту, захисту від хвороб і шкідників.

Хімічні речовини за ступенем безпеки розміщуються у такій спадній послідовності: пестициди, важкі метали, оксиди вуглецю і сірки. Ф. КORTE передбачив, що важкі метали в недалекому майбутньому за своєю безпекою в цій послідовності перемістяться на перше місце.

Негативна дія мінеральних добрив часто перебільшена. З погляду екології їх не можна ставити в один ряд із пестицидами, оскільки перші - це синтезовані речовини, другі - продукти, ідентичні природним.

За надмірного внесення добрив, насамперед азотних, неправильного їх застосування водойми і ґрунтові води забруднюються нітратами та іншими сполуками.

Втрати азоту від вимивання нітратів можна звести до мінімуму наближення строків внесення оптимальних доз азотних добрив до періоду найінтенсивнішого засвоєння їх рослинами, науково обґрунтованим чергуванням культур із залученням у сівозміну рослин, які мають глибокопроникну кореневу систему (багаторічні трави та ін.). Це сприяє ліпшому використанню елементів живлення, вимитих у глибокі шари ґрунту.

Підвищення у водоймах концентрації елементів живлення спричинює їх евтрофікацію.

Евтрофікація - це збагачення вод елементами живлення, насамперед азотом і фосфором, антропогенним або природним шляхом.

Найнебажаніша післядія цього явища - сильний розвиток водоростей («цвітіння»), заболочування внаслідок розростання прибережної флори, що поступово скорочує площу водойми.

Для запобігання забрудненню природних об'єктів потрібно чітко регламентувати і дотримуватись правил використання засобів хімізації. У водоохоронній зоні малих річок забороняється розміщувати склади для зберігання пестицидів і добрив, зокрема гною, будувати тваринницькі ферми тощо.

Разом із фосфорними й деякими складними добривами в ґрунт потрапляє фтор. У середньому з десятима одиницями фосфору в ґрунт надходить одна одиниця фтору. Допустимий вміст фтору в ґрунті - 3 мг/кг. У разі перевищення цього рівня він накопичується в токсичних кількостях у кормах, мігрує по профілю ґрунту і потрапляє в ґрунтові води.

Джерелами забруднення фтором є також підприємства з виробництва скла, алюмінію, металургійні та цегельні заводи.

Надмірна кількість фтору пригнічує діяльність ферментів, процеси фотосинтезу і дихання, ріст рослин. Найбільше накопичують фтору петрушка, цибуля, щавель. Добова норма фтору для людини - 3 мг. За його нестачі розвивається карієс зубів, тому в регіонах з низьким вмістом фтору в ґрунті

фосфорні добрива можуть слугувати його джерелом. За надмірної кількості фтору розвиваються флюороз та інші хвороби.

З калійними добривами (калій хлористий, калійна сіль змішана та ін.) в ґрунт надходить хлор. У невеликих кількостях він потрібний для рослин. Проте високі його концентрації в ґрунті негативно впливають на врожай і якість картоплі, льону, гречки, винограду, інших культур. У місцях водозабезпечення ГДК хлору встановлено на рівні 0,25-0,50 мг/л. Крім того, надмірне внесення калійних добрив порушує баланс магнію, натрію, кальцію і бору в ґрунті, що може негативно позначитися на живленні рослин.

Добрива - основне джерело забруднення водойм калієм. Проте він не спричинює їх евтрофікації. Підвищений вміст калію в кормах може зумовити отруєння тварин. Збільшена концентрація катіонів калію в ґрунтовому розчині може призвести до утворення хлорорганічних сполук, витіснення з ГВК кальцію й магнію та переміщення їх по профілю ґрунту. Цей процес ще більше посилюється після внесення фізіологічне кислих добрив.

Застосовуючи мікродобрива, слід пам'ятати, що більшість мікроелементів є важкими металами, їх сполуки досить стійкі й довго зберігають свої токсичні властивості, тому важливо знати темпи накопичення мікроелементів у ґрунті, кількість їх надходження і чинники, що посилюють ці процеси.

Накопиченню мікроелементів у ґрунті можуть сприяти: 1) застосування органічних добрив із ферм, де в корм тварин добавляють мікроелементи; 2) застосування як добрива промислових, міських і побутових відходів без систематичного і чіткого контролю їх хімічного складу; 4) порушення технології застосування мікродобрив; 5) недосконалі якість і властивості мікродобрив. При накопиченні в ґрунті в значних кількостях вони токсично впливають на рослини, а через них по харчовому ланцюгу можуть потрапляти в організм тварин і людини.

Мінеральні добрива можуть містити домішки солей важких металів, органічних сполук та радіоактивних речовин. Важкі метали - одні з

найшкідливіших забруднювальних речовин навколишнього природного середовища. Вони легко накопичуються в ґрунті й повільно вилучаються з нього.

Термін «важкі метали» нині значно поширений, але трактують його по-різному. Як критерії належності хімічного елемента до важких металів використовують численні характеристики: атомну масу, щільність, токсичність, поширеність у природному середовищі, ступінь залучення в природні й техногенні цикли.

Отже, при включенні в цю категорію враховують не тільки хімічні та фізичні властивості елемента, а й його біологічну активність та токсичність. До важких металів належать елементи, які містяться в природних середовищах у невеликих кількостях - близько 10-3 %, які, за визначенням В. І. Вернадського, прийнято називати мікроелементами. Це більш як 40 металів періодичної системи елементів Д.І. Менделєєва з атомною масою понад 40. За Н.Реймерсом, серед цієї групи виділяють благородні і рідкісноземельні метали, а важкими вважають елементи зі щільністю понад 8 г/см³: Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. Оскільки в об'єктах навколишнього природного середовища й особливо в ґрунтах серед важких металів найпоширеніші біогенні елементи Cu, Zn, Ni, Co, Mo, Mn, а також Pb, V, Cr, Sn, учені приділяють їм основну увагу.

2. Забруднення сільськогосподарської продукції

Мікроелементи є невід'ємною частиною біосфери. Вони мають дуже вузький оптимальний і нешкідливий інтервал концентрацій. У цьому їх шкідливість. Однак повна відмова від мікродобрив призведе до різкого зниження їх ефективності і недобору врожаю, бо переважна більшість ґрунтів не містить необхідної кількості рухомих сполук мікроелементів.

Деяка кількість важких металів надходить у ґрунт з гноєм та іншими органічними добривами, а також при використанні як добрива відходів промисловості, осадів стічних вод. Одне з джерел забруднення навколишнього природного середовища - втрати під час виробництва, транспортування та неналежного зберігання добрив. Важкі метали зв'язуються з органічними

речовинами ґрунту, що уповільнює розкладання останніх і порушує повторне використання поживних речовин. Іони металів також можуть чинити прямий токсичний вплив на мікроорганізми - редуценти або ферменти, які вони виробляють. Тому вважають, що найперше важкі метали токсично впливають на мікроорганізми і ґрунтову фауну.

За вмістом мікроелементів у певних частинах рослин (корені, листки, насіння) також можна робити висновок про здатність рослин і ґрунту захищати харчові ланцюги від елементів-забруднювачів і про здатність мікроелемента долати цей захист.

Найбільше домішок важких металів як за набором, так і за концентрацією, містять фосфорні добрива й добрива, добуті з використанням екстракційної ортофосфорної кислоти (амофос, амофоска, нітрофоска, суперфосфат подвійний). До складу фосфорних добрив у невеликих кількостях входять радіонукліди: уран, радій, торій та ін.

Ґрунт не лише акумулює забруднювальні речовини, а й є природним буфером, який значно знижує токсичність важких металів. Він також регулює надходження елементів живлення в рослини і, як наслідок, в організми людини і тварин. На відміну від атмосферного повітря і водних джерел, які періодично самоочищуються від важких металів, ґрунт майже не має такої здатності. Важкі метали з ґрунту вилучаються повільно - внаслідок вимивання, ерозії, виносу з урожаєм рослин.

Валовий вміст важких металів у природних ґрунтах зумовлений вмістом елементів у материнській породі й визначається генезисом, петрографією, процесами ґрунтоутворення.

Необхідною складовою сучасного сільськогосподарського виробництва є органічні добрива. Вони активно впливають на біогеохімічні цикли обміну речовин, екологічну рівновагу природних систем. До складу гною і посліду крім поживних речовин входять віруси, бактерії, личинки і яйця гельмінтів та інших мікроорганізмів, у тому числі збудників інфекційних хвороб людини і тварин. Ці збудники зберігаються в органічних добривах улітку - від 7 до 20 діб, в осінньо-

зимовий період від 20 до 60 діб. Розбавлення гною водою подовжує період їх виживання більш як у 3 рази. Яйця гельмінтів у рідкому гною, який складають у відстійниках відкритого типу, зберігають життєздатність від 4 до 12 і більше місяців залежно від пори року. Тому безсистемне використання безпідстилкового гною, гноївки та інших відходів тваринництва може завдавати значної шкоди навколишньому природному середовищу.

Неправильне зберігання і використання безпідстилкового гною здебільшого негативно впливає на атмосферу. Так, під час його зберігання відкритим виділяються і надходять в атмосферу аміак, молекулярний азот та інші сполуки. Органічні речовини розкладаються, з них виділяються газоподібні продукти з неприємним запахом, що погіршує навколишнє природне середовище. Продукти розкладання гною і птишиного посліду викликають алергічні й серцеві захворювання, запалення слизових оболонок у людей і тварин.

Найістотнішими порушеннями технології застосування органічних добрив є:

- 1) порушення співвідношення між поголів'ям тварин та удобрюваною площею, що призводить до внесення надмірної кількості добрив;
- 2) недостатнє використання чи неякісна підстилка й недосконала система гноєвидалення приводять до втрати рідкої фракції;
- 3) нерівномірне внесення гною та інших органічних добрив унаслідок недосконалості конструкції гноєрозкидачів;
- 4) недостатнє забезпечення тваринницьких комплексів спорудами та обладнанням для заготівлі, зберігання і транспортування гною;
- 5) недооцінювання ефективності застосування безпідстилкового гною в поєднанні з подрібненою соломою і сидерацією полів.

Для запобігання втратам біогенних елементів, зокрема азоту, при застосуванні органічних добрив у сівоzmінах навколо тваринницьких комплексів потрібно вводити проміжні посіви на корм худобі, широко застосовувати сидерацію полів (більший термін зайнятості землі сільськогосподарськими культурами сприятиме інтенсивному засвоєнню нітратів рослинами,

запобігатиме їх втратам унаслідок вимивання). Внесення безпідстилкового гною восени слід поєднувати із заорюванням соломи або зелених добрив, що сприятиме біологічній іммобілізації азоту та значно знизить його втрати.

Істотним недоліком багатьох мінеральних добрив є їх фізіологічна кислотність та вміст кислот, що залишаються після їх виробництва. Систематичне застосування високих норм таких добрив може призводити до значного підкислення ґрунтів, створення несприятливих умов для росту рослин. У цьому разі зростає потреба у вапнуванні ґрунтів.

Хімічна меліорація - важливий захід для поліпшення властивостей ґрунтів. На сильно- та середньокислих ґрунтах отримати високі врожаї культур без вапнування майже неможливо. Проте останнім часом цьому важливому агрохімічному заходу не приділяють належної уваги.

Агрохімічні засоби значно впливають на стійкість рослин до хвороб і шкідників. Це виявляється у прямій або побічній дії на культурні рослини чи патоген. Вони стимулюють або інгібують розвиток останнього. Часто голодування рослин через нестачу того чи іншого елемента живлення одночасно спричинює розвиток патогену, наприклад гниль сердечка буряку за дефіциту бору.

Макроелементи по-різному діють на розвиток патогену. Так, за надмірного азотного живлення часто інтенсифікується розвиток багатьох грибних хвороб. Оптимізація норм і доз добрив з урахуванням виду, сорту і віку рослин, форм азотних добрив, рівня окультуреності ґрунту та інших чинників може значно знизити або й запобігти розвитку патологічного процесу.

Поліпшення фосфорного живлення здебільшого знижує шкідливість захворювання, що пояснюють посиленням розвитку кореневої системи і, як наслідок, підвищенням стійкості рослин до несприятливих умов їх росту. Крім того, фосфор посилює синтез органічних сполук, зокрема і склеренхімних тканин, що підвищує стійкість рослин до ураження паразитом (насамперед борошнистою росою

3. Екологічні функції живлення рослин

Земельні, рослинні й тваринні ресурси, вода і повітря є найбільшою цінністю для людини на нашій планеті. Тому не можна обійти увагою той факт, що нині антропогенний тиск на природне навколишнє середовище істотний. Зокрема застосування агрохімікатів як складової інтенсифікації сільськогосподарського виробництва породжує чимало нових проблем, основною з яких є екологічна. Тому метою концепції сталого розвитку аграрного виробництва має бути гармонізація економічних потреб суспільства з екологічними можливостями природи.

На основі аналізу історичного розвитку світового землеробства - позитивної й негативної дії агрохімічних засобів в агроєкосистемі, взаємовпливу і взаємодії чинників у ній, насамперед ґрунту, клімату, добрив і рослин В. Г. Минєєв сформулював і конкретизував основні екологічні функції живлення рослин.

1. Забезпечення оптимального колообігу біогенних елементів в агроценозі з додатним їх балансом.

Ще у 1840 р. німецький учений Ю. Лібіх чітко визначив ідею доцільності повернення в ґрунт з добривами елементів живлення, винесених з урожаями. В ґрунті потрібно збільшувати вміст рухомих сполук елементів живлення за рахунок додатного їх балансу або хоча б повертати ту їх кількість, яку було вилучено з ґрунту для утворення врожаю. Це основа продуктивності агроєкосистем.

В. В. Ковальський запровадив поняття «порогові концентрації елементів живлення у середовищі», вище і нижче від яких настає певна біологічна реакція (зокрема і захворювання). Тому, регулюючи біологічний колообіг речовин, створюючи їх оптимальний баланс, вміст у ґрунтах і рослинах, агрохімія виконує важливу екологічну функцію.

1. Окультурення, поліпшення властивостей і гумусового стану ґрунту. Це завдання вирішують раціональним застосуванням органічних і мінеральних добрив у поєднанні з хімічною меліорацією з метою оптимізації показників родючості ґрунту та його основних хімічних і фізико-хімічних властивостей.

2. Оптимізація живлення культурних рослин біогенними макро- і мікроелементами. Забезпечення рослин під час росту оптимальними кількістю і співвідношенням елементів живлення посилює діяльність фізіологічних бар'єрів, запобігає надходженню токсичних елементів у рослини, зокрема у генеративну їх частину, яка здебільшого є продуктом харчування людини. Знаючи механізми і регулюючи надходження елементів у рослини, розподіл їх у органах рослин, можна значно знизити накопичення токсикантів у продукції рослинництва.

Оптимізація живлення рослин посилює їх екологічні функції: безпосередньо поліпшує ріст культур, забезпечує реалізацію їх потенційної продуктивності, побічно підвищує стійкість культурних рослин за екстремальних умов росту й розвитку (посуха, низькі температури, ураження хворобами, пошкодження шкідниками тощо).

1. Зниження негативних наслідків від глобального і локального техногенного забруднення агроєкосистем важкими металами та іншими токсичними елементами. Ця екологічна функція агрохімії з часом ставатиме актуальнішою, оскільки зростає як глобальне, так і локальне забруднення навколишнього природного середовища.

2. Поліпшення радіоекологічного стану агроєкосистеми. У цьому відношенні внесення органічних добрив, хімічні меліорації ґрунтів, застосування підвищених норм фосфорних і калійних добрив є істотними важелями іммобілізації радіоактивних елементів у ґрунті та зниження надходження їх у рослини.

3. Створення оптимальних культурних агроландшафтів для різних природних регіонів відповідно до їх спеціалізації. Створення ландшафтів аграрного типу зумовлює значні зміни в природних комплексах. Так, тривале систематичне застосування агрохімічних засобів змінює хімічний склад ґрунту, рослин, ґрунтових вод, й отже, колообіг речовин у певному ландшафті. Цей вплив може мати як позитивний, так і негативний характер. Знаючи оптимальні параметри хімічного складу ланок агроландшафту, обґрунтованим

застосуванням агрохімічних засобів його можна регулювати та значно поліпшувати.

4. Добрива і хімічні меліоранти - важлива ланка в системі протиерозійних заходів. На ерозійнонебезпечних ділянках негативну дію водної ерозії можна значно знизити збільшенням біомаси рослин на удобрених посівах і ліпшим закріпленням ґрунту добре розвиненою кореневою системою рослин, поліпшенням його фізичних властивостей.

5. Підвищення біологічної активності та поліпшення структури мікробіоценозу ґрунту. Дія агрохімічних засобів на різні біологічні властивості агроєкосистеми буває безпосередньою або побічною внаслідок зміни умов життя рослин і біоти ґрунту.

Безпосередньо добрива значно впливають на процеси біологічної фіксації азоту, симбіотрофне живлення рослин фосфором, загальну біологічну і ферментативну активність ґрунту.

9. Підвищення стійкості культурних рослин до грибних та інших хвороб. Оптимізація живлення рослин підвищує їх стійкість до грибних патогенів. Крім того, встановлено позитивну роль мінеральних добрив у зниженні розвитку фітопатогенів, зокрема сапрофітних грибів у культурообороті. Отже, це біологічний аспект екологічної функції агрохімії.

10. Поліпшення хімічного складу і поживної цінності продукції рослинництва. Регулюванням умов живлення рослин можна не лише підвищувати їх урожай, а й значно поліпшувати основні показники якості продукції.

Отже, агрохімічні засоби виконують численні функції в агрофітоценозах, а агрохімія є не лише прикладною, а й фундаментальною біолого-екологічною наукою.

Постійне вдосконалення середовища проживання - одне з основних завдань людства. Важлива роль у цьому процесі належить розумному застосуванню засобів хімізації. Нині екологічні проблеми перед людством дедалі загострюється, їх діапазон доволі широкий - від локального забруднення

земельних ділянок до загрози локальних катастроф. Тому людству потрібно навчитися раціонально втручатися у природні цикли біосфери, якомога менше їх порушувати. Нині до 90 % енергії, яку людина отримує з їжею, продукується на оброблюваній землі, решту вона отримує з природних кормових угідь, лісів, морів і океанів. Тому хлібороб мусить мати глибокі знання взаємодії рослин з навколишнім природним середовищем на певному полі, у господарстві, в кожному регіоні. Це дасть йому змогу екологічно грамотно вести сільськогосподарське виробництво.

Порушення зв'язків, які склалися в природі за тисячі й мільйони років, може спричинити різкі зміни в навколишній природі, значно змінити середовище проживання людини. Нині людство має великі енергетичні й технічні можливості змінювати природу з метою поліпшення умов життя, часто не думаючи про наслідки. Провідні вчені вважають, що людство вже увійшло в екологічну кризу, коли стан навколишнього природного середовища почав негативно впливати на якість життя людини.

Екологічне живлення рослин, за визначенням Б.О. Ягодіна, наука про постійно зростаючий колообіг речовин в агроценозах, яка вивчає на молекулярному, елементарному, клітинному, організменному, популяційному і біосферному рівнях хімічну взаємодію рослин з ґрунтом і навколишнім природним середовищем.

Завдання екологічного живлення рослин:

- розробити методи та організувати точне застосування добрив з метою максимального використання їх елементів живлення рослинами, що сприятиме підвищенню продуктивності культур, зниженню непродуктивних витрат елементів живлення, забруднення навколишнього природного середовища, підвищенню родючості ґрунту;
- розробити методи визначення і регулювання умов живлення рослин з метою отримання рослинницької продукції заданого елементного складу з урахуванням генетичних законів спадкового засвоєння елементів живлення;

- вивчити регуляторні функції мікроелементів, механізм їх надходження в рослини, встановити їх роль у реалізації адаптивного потенціалу різних сільськогосподарських культур та формуванні якості врожаю;

- здійснювати постійний регіональний моніторинг вмісту макро- і мікроелементів у добривах, ґрунті, повітрі, воді, рослинних і тваринних організмах, вивчати елементний склад продуктів харчування для людей різного віку з урахуванням спадковості та місця проживання;

- встановлювати зв'язки між зміною зовнішнього середовища і виникненням у рослинах небажаних біохімічних та фізіологічних змін, які знижують якість продукції, її кількість;

- визначити оптимальний елементарний склад різних культур у біогеохімічних провінціях, організовувати територіальний принцип вирощування культурних рослин з метою отримання продукції з оптимальним елементарним складом;

- виявити штучні потоки елементів живлення, що надходять з опадами, добривами, насінним матеріалом, оцінювати вплив промислової і господарської діяльності людини на зміну елементарного складу сільськогосподарських об'єктів господарств і регіонів;

- коригувати елементарний склад сільськогосподарської продукції до оптимальних значень з урахуванням справжнього екологічного стану.

Учені Л. А. Лебедева та І. Л. Едемська рекомендують підходити до проектування системи удобрення з позицій екологічної агрохімії. Вони довели, що обґрунтована система удобрення вирішує триєдине завдання:

- створення оптимальних умов живлення рослин з метою реалізації генетичного потенціалу вирощуваних культур за кількістю та якістю отримуваної продукції;

- підвищення агрономічної та економічної окупності витрат на застосування агрохімічних засобів з метою відновлення родючості ґрунту й отримання високої продуктивності сільськогосподарських культур;

- реалізація екологічних функцій агрохімічних засобів у конкретних агроекосистемах.

Колективом учених під керівництвом В.В. Медведєва проведено агроекологічне оцінювання земель України з метою раціонального розміщення сільськогосподарських культур. Для реалізації цієї концепції було використано такі показники: товщина гумусового шару ґрунту; гранулометричний склад ґрунту; щільність ґрунту; реакція ґрунтового розчину; вміст гумусу; вміст елементів живлення (фосфору, калію) в ґрунті; теплозабезпеченість; гідротермічний коефіцієнт; рівень мінералізації ґрунтових вод; хімічне забруднення.

Отже, хімізм середовища - причина багатьох паталогічних проявів. Тому перед агрохіміками стоїть відповідальне завдання не лише вирощувати високі врожаї, а й постійно стежити за складом ґрунту, який безпосередньо впливає на здоров'я не лише тварин, а й людини.

Зазвичай природний надлишок мікроелементів у ґрунті трапляється рідко і поширений на невеликій площі. На великих територіях здебільшого виявлено нестачу йоду, кобальту, мангану, міді, селену, цинку, фтору.

Небезпека техногенного забруднення ґрунтів повною мірою ще не усвідомлена. Це пояснюється тим, що техногенна деградація має прихований характер, тобто властивості ґрунтів, забруднених важкими металами, погіршуються не відразу, а через тривалий час. Насамперед це стосується чорноземних ґрунтів, які мають високу вбирну здатність і значний вміст органічних речовин.

Незважаючи на високий вміст у ґрунті важких металів, у рослини вони зазвичай не надходять або надходять у дуже малих кількостях. Цьому запобігає захисний механізм кореневої системи рослин. Тому найбільша кількість важких металів в умовах техногенної дії на ґрунти накопичується в коренях, менше - в стеблах і листках, зовсім мало або взагалі не накопичується - в репродуктивних органах. Крім того, припускають, що на останніх етапах органогенезу рослин метали подібно до калію транспортуються з вегетативних органів у кореневу систему.

Сучасна не виважена діяльність людини може швидко змінити елементарні хімічні потоки в навколишньому природному середовищі, до яких не встигають адаптуватися живі організми. Виникають нові хвороби, спостерігається нетиповий перебіг уже відомих, часто вони виявляються у молодшому віці, зникають цілі види живих організмів. Отже, екологічна агрохімія, активно впливає на колообіг хімічних елементів і близько підходить до проблеми охорони здоров'я людини. Використання в їжу продукції сільського господарства з оптимальним хімічним складом значно безпечніше, ніж надходження елементів в організм за медикаментозного лікування. Тому основним завданням екологічної агрохімії безперечно є виробництво продуктів харчування для людини і кормів для тварин із заданим елементарним складом. Це зумовлено несприятливими змінами умов проживання і необдуманим втручанням людини в колообіг хімічних елементів у біосфері.

На сучасному етапі розвитку людства, коли порушено зв'язок природи і суспільства, коли більшість людей живе у містах (не має агрономічної освіти) і досконало не знає вимог природи, взаємовідносини людини і природи мають бути відрегульовані на законодавчо-нормативній основі.

Проблема всебічної охорони ґрунтів, збереження й відтворення їхньої родючості, раціоналізації (оптимізації) та екологізації аграрного землекористування - це проблема продовольчої, економічної, екологічної і загалом національної безпеки багатьох держав.

Усі відомі міжнародні декларації й угоди з проблем використання та охорони ґрунтів, такі як Всесвітня ґрунтова Хартія, Основи світової ґрунтової політики, Хартія Європейської асоціації охорони ґрунтів, міжнародні громадські організації - ISTRO (Міжнародна організація з обробітку ґрунту), IUSS (Міжнародний союз ґрунтознавців), Soil and Society (Ґрунт і суспільство), ICJEI NETWORK (Асоціація провінцій Європи), що об'єдналися з метою здійснення акцій щодо захисту ґрунтів, підкреслюють їх значення як основного надбання людства, раціонально використовувати й охороняти яке мають усі люди Землі задля майбутніх поколінь.

Отже, майбутнє за екологічною агрохімією, яка дасть змогу завдяки раціональному застосуванню добрив значно підвищити продуктивність сільськогосподарських культур, вивести значні площі земель з обробітку, створити комфортні умови для життя людини, яка користуватиметься і дарами природи, і надбаннями цивілізації, гармонійно поєднуватиме, а не протиставлятиме ці два поняття. У вирішенні питань охорони навколишнього природного середовища необхідний тісний взаємозв'язок геохіміків, ґрунтознавців, агрохіміків, біологів і медиків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агроекологічні властивості добрив: підручник / Марчук І.У., Ященко Л.А. - К.: Копмринт, 2016 - 268 с.
2. Агрохімія / М. М. Городній та ін. - К.: Алефа, 2003. - 778 с
3. Лихочвор В. В. Мінеральні добрива та їх застосування. - Львів: НВФ «Українські технології», 2008. - 312 с
4. Добрива та їх використання / І.У. Марчук, В.М. Макаренко, В. Є. Розстальний, А. В. Савчук. - К.: Юнівест Маркетинг, 2002. - 246 с
5. Лопушняк В.І., Шевчук М.Й., Полюхович М.М., Пархуць Б.І., Пархуць І.М. 555 запитань та відповідей з агрохімії та агрохімсервісу: навч. - довідниковий посібник / за ред. В. І. Лопушняка. - Львів: Простір-М, 2018. 488 с.
7. Господаренко Г. М. Агрохімія: Підручник - К.: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2018. – 560 с.
8. Господаренко Г.М. Система застосування добрив: Навч. посібник / К.: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2015. – 332 с.
9. Господаренко Г.М. Мікроелементи і добрива в живленні рослин: навч. посібник / Г. Господаренко, О. Карнаух, А. Александер / за заг. ред. Г. Господаренка. – Кам'янець-Подільський : ТОВ Друкарня «Рута», 2020. – 348 с.
10. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин. Київ: Логос, 2005.
11. Лопушняк В. І. Агрохімічні та агроекологічні аспекти систем удобрення в Західному Лісостепу України. Львів: Ліга-прес, 2015.
12. Марчук І. У., Бикіна Н. М., Бордюжа Н. П. Діагностика живлення рослин. Київ: Видавничий центр НУБІП України, 2016.
13. Марченко О. В. Агроекономічне та екологічне обґрунтування рівня живлення сільськогосподарських культур / О. В. Марченко, В. І. Прасол, О. В. Єльченко. – Суми: Університ. книга, 2009.
14. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях (наук.-практ. реком.) / За ред. В. В. Волкогона. Київ, 2015.

15. Фатєєв А. І. Оптимізація мікроелементного живлення сільськогосподарських культур: рекомендації. Харків: ТОВ «АРТ-ПРОЕКТ», 2012.
16. Шевчук М. Й., Лопушняк В. І., Вислободська М. М. та ін. 500 запитань і відповідей з агрохімії: навч.-довід. посібник. За ред. В. І. Лопушняка. Львів: ЛНАУ, 2016.
17. Агрохімічний аналіз: Підручник / М.М. Городній, А.В. Бикін та ін. / За ред. М.М. Городнього. – К.: Арістей, 2007. – 624
18. Лісовал А.П. Система застосування добрив / Лісовал А.П., Макаренко В.М., Кравченко С.М. . – К.: Вища шк., 2002. – 318 с.
19. Марчук І.У. Добрива та їх використання / Марчук І.У., Макаренко В.М., Розстальний В.Є.. – К.: Арістей, 2014. –263 с.
20. Лісовал А.П. Методи агрохімічний досліджень: навч. посіб / А.П. Лісовал. – К.: Видавничий центр НАУ, 2001. – 247 с.
21. Добрива - каталог <http://pestacidov.net/pesticidu/dobrivo/>
22. Екологічні дослідження застосування мінеральних добрив // Збірник матеріалів II-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/2vze/zb_m/0140_zb_m_2VZE.pdf
23. Карта ґрунтів України [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://geomap.land.kiev.ua/agrochemical.html>
24. Лісовал А.П., Макаренко В.М., Кравченко С.М. Система застосування добрив. -К.: Вища школа., - 2002. - 217 с.

