

ЕКОЛОГІЧНЕ РОСЛИННИЦТВО



Харків–2024

**Міністерство освіти і науки України
Державний біотехнологічний університет
Полтавський державний аграрний університет**

**Національна академія аграрних наук
Інститут овочівництва і баштанництва**

ЕКОЛОГІЧНЕ РОСЛИННИЦТВО

Навчальний посібник

За редакцією д-ра с.-г. наук, проф. А.О. Рожкова

Харків–2024

УДК 633/635:631.5](072)

E40

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Державного біотехнологічного університету
(протокол №11 від 26 квітня 2024 р.)

Рецензенти:

П.В. Писаренко, д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля Полтавського державного аграрного університету;

О.Д. Вітанов, д-р с.-г. наук, професор, головний науковий співробітник лабораторії адаптивного овочівництва, зберігання і стандартизації Інституту овочівництва і баштанництва НААН України;

Т.І. Гопцій, д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри генетики, селекції та насінництва Державного біотехнологічного університету

Автори:

А.О. Рожков, М.М. Маренич, М.І. Кулик, О.В. Куц, Л.А. Свиридова

E40 Екологічне рослинництво: навч. посіб. / А.О. Рожков, М.М. Маренич, М.І. Кулик та ін. Харків: ДБТУ, 2024. 177 с.

ISBN 978-617-8231-68-2

Відповідно до навчальної програми подано концептуальні основи екологічного рослинництва, еколого-техногенні проблеми аграрного сектору та шляхи їх вирішення. Розглянуто різні технології обробки ґрунту і їх роль у вирішенні питань відновлення родючості і здоров'я ґрунтів. Проаналізовано екологічні наслідки необґрунтованого внесення мінеральних добрив і пестицидів, розкрито роль ґрунтової біоти в екологізації виробництва рослинницької продукції і відновленні родючості ґрунту. Значну увагу приділено органічним і природним мінеральним добривам, а також біологічним методам захисту рослин.

Рекомендовано для здобувачів другого (магістерського) і третього (освітньо-наукового) рівнів спеціальності 201 «Агрономія» та інших агроекологічних спеціальностей.

УДК 633/635:631.5](072)

ISBN 978-617-8231-68-2

© Державний біотехнологічний університет,
2024

©Рожков А.О., Маренич М.М., Кулик М.І.
та ін., 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОГО РОСЛИННИЦТВА.....	7
1.1. Визначення поняття «екологічне рослинництво».....	8
1.2. Передумови виникнення екологічного рослинництва	9
1.3. Еколого-техногенні проблеми в аграрному секторі....	13
1.4. Загрози вирощування генетично модифікованих організмів.....	15
1.5. Трофічні зв'язки як основа біосфери.....	18
1.6. Ключові аспекти практичного екологічного рослинництва.....	20
1.7. Екологічне рослинництво як складова сталого розвитку людської цивілізації.....	20
<i>Контрольні запитання.....</i>	21
2. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЙ no-till, strip-till і verti-till ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ.....	23
2.1. Система нульового обробітку ґрунту (no-till).....	23
2.2. Технології обробітку ґрунту strip-till і opti-till та їх роль у вирішенні екологічних проблем.....	26
2.3. Ключові аспекти технології verti-till.....	38
2.4. Екологічний no-till: доцільність і перспективи.....	43
<i>Контрольні запитання.....</i>	51
3. ДЖЕРЕЛА ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ В ЕКОЛОГІЧНОМУ РОСЛИННИЦТВІ.....	54
3.1. Екологічні наслідки внесення необґрунтовано високих доз мінеральних і органічних добрив.....	54
3.2. Накопичення поживних елементів у ґрунті.....	56
3.3. Вплив ґрунтової біоти на родючість ґрунту.....	59
3.4. Місце біопрепаратів на основі азотфіксаторів в екологічному рослинництві й особливості їх застосування.....	63
3.4.1. Теоретичні аспекти азотфіксації.....	63
3.4.2. Практичні аспекти застосування біопрепаратів на основі азотфіксаторів.....	75
3.5. Покривні культури, їх роль у відновленні родючості ґрунтів і отриманні високих урожаїв польових культур.....	82

3.5.1. Позитивні і негативні аспекти вирощування покривних культур.....	83
3.5.2. Практичні підходи запровадження покривних культур.....	88
3.6. Мікориза, її характеристика, місце в екосистемі ґрунту і значення в живленні рослин.....	98
3.7. Дощові черв'яки як ключова ланка екосистеми ґрунту та їх значення для відновлення родючості ґрунтів..	110
3.8. Вміст органічного вуглецю в ґрунті і його вплив на родючість.....	115
3.9. Добрива в екологічному рослинництві.....	121
3.9.1. Характеристика органічних добрив і їх місце в екологічних системах вирощування сільськогосподарських культур.....	121
3.9.2. Мікробіологія ґрунтів та роль біопрепаратів на основі грибів і бактерій для оздоровлення ґрунту.....	135
3.9.3. Мінеральні добрива у екологічних технологіях вирощування сільськогосподарських культур.....	143
<i>Контрольні запитання.....</i>	146
4. ЗАХИСТ РОСЛИН В ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.....	151
4.1. Застосування ентомофагів для захисту рослин.....	152
4.2. Місце біологічних препаратів у захисті рослин від шкідників і хвороб в екологічному рослинництві.....	161
4.3. Біологічний захист посівів від бур'янів.....	167
<i>Контрольні запитання.....</i>	173
<i>Список рекомендованих джерел.....</i>	175

ВСТУП

У сільському господарстві України спостерігаються значні зміни, викликані передусім економічною складовою, а саме – значним подорожчанням непоновлюваних джерел і супутніх компонентів: мінеральних добрив, насамперед азотних, пально-мастильних матеріалів, засобів захисту рослин, сільськогосподарської техніки та ін. Відбувається це в умовах значного негативного впливу інтенсивних технологій вирощування на довкілля, спричиненого необґрунтованими нормами застосування синтетичних добрив і пестицидів, а також надмірним обробітком ґрунту, що призводить до погіршення екологічного стану і родючості ґрунту, особливо на фоні глобальних кліматичних змін.

Інтенсивний обробіток ґрунту, необґрунтовано високі дози синтетичних добрив і засобів захисту рослин, орієнтовані насамперед на отримання надприбутків, є причиною прогресуючого зниження родючості ґрунту і погіршення екологічного стану довкілля. Традиційні підходи вирощування, які суперечать принципам збереження екологічної рівноваги, запроваджуються на переважній більшості площ і зазвичай не забезпечують сталого розвитку рослинницької галузі, що призводить до посилення екологічних, економічних і соціальних проблем.

Теоретичні основи екологічного рослинництва вперше в Україні розроблено в 50–70-х рр. ХХ ст. академіком М.М. Кулешовим та його послідовниками на кафедрі рослинництва тодішнього Харківського сільськогосподарського інституту імені В.В. Докучаєва. Сімдесятирічний досвід упровадження основних елементів екологічного рослинництва став неоціненним надбанням та оригінальним новаторським поглядом на сучасні проблеми в галузі рослинництва.

Нова модель розвитку рослинницької галузі, розроблена на принципах гармонійного співіснування з довкіллям, у цілому узгоджується з викликами, які постають перед сільським господарством. Екологічне рослинництво стає невід’ємною

складовою сучасного аграрного сектору, що продиктовано реальним станом ситуації. Його конкурентоспроможність зумовлена суттєвим скороченням виробничих витрат, необхідністю адаптації до кліматичних змін, відновлення природного потенціалу ґрунтів і збереження навколишнього середовища.

Екологічне рослинництво – це стійка система вирощування сільськогосподарських культур, яка передбачає гармонійне співіснування з природою без негативного впливу на довкілля. Однією зі складових цього напрямку є мінімізація обробітку ґрунтів, підтримання стійкого ґрунтового покриву, вкритого шаром рослин і органічних решток, упровадження сівозмін із широким спектром сільськогосподарських культур для збереження природних ресурсів, відновлення родючості й оздоровлення ґрунтів.

Водночас відмова від застосування пестицидів, незважаючи на значний вклад у вирішення екологічних проблем рослинницької галузі і збереження родючості ґрунтів, створює сприятливий фон для розвитку шкідників, хвороб і бур'янів. Саме тому гостро постає питання розробки нових підходів до використання екологічних засобів захисту рослин. У цьому питанні Україна досягла значних успіхів, застосовуючи природні механізми контролю поширення бур'янів, популяцій патогенних мікроорганізмів і шкідників.

Навчальна дисципліна «Екологічне рослинництво» спрямована на формування у майбутніх спеціалістів поняття про основні підходи до вирощування екологічно чистої сільськогосподарської продукції за рахунок використання природного потенціалу ґрунтів, активізації роботи екосистеми ґрунту, використання сучасних біологічних методів контролю збудників хвороб, бур'янів і шкідників за одночасного застосування заходів, спрямованих на відновлення родючості й оздоровлення ґрунтів.

Пропонований навчальний посібник забезпечить формування якісних знань щодо екологічних проблем у сільському господарстві України, пов'язаних з інтенсифікацією технологій вирощування сільськогосподарських культур, шляхів вирішення цих проблем, перспектив використання природних джерел для отримання високих урожаїв.

1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОГО РОСЛИННИЦТВА

Традиційно вважалося, що найбільший негативний вплив на природню рівновагу мають промисловість і транспорт. Водночас, можливий шкідливий вплив сільського господарства на довкілля досить тривалий час недооцінювався. У сучасних умовах розвитку сільського господарства його негативний вплив на природу в багатьох випадках стає значно серйознішим, ніж вплив інших галузей суспільного виробництва. Саме з розвитком сільського господарства пов'язано зростання дефіциту водних ресурсів на великих територіях, зменшення видового різноманіття рослинного й тваринного світу, ерозія, засолення, заболочування та виснаження ґрунтів, накопичення в ґрунтах, ґрунтових водах і культурних рослинах особливо стійких та небезпечних забруднювальних речовин.

Недостатнє зосередження на екологічних проблемах сільськогосподарського виробництва перешкоджає забезпеченню здорового харчування населення й продовольчої безпеки.

Кожна галузь сільського господарства по-різному впливає на довкілля. Зокрема, інтенсивне землеробство призводить до забруднення ґрунтів залишками мінеральних добрив і засобів захисту рослин, досить помітно змінює водний баланс та гідрологічний режим агроландшафтів, активно відбувається ерозія ґрунтів. Створення великих відгодівельних комплексів часто супроводжується забрудненням ґрунтів і вод екскрементами тварин, відходами босень, м'ясопереробних та молочних підприємств.

1.1. Визначення поняття «екологічне рослинництво»

Універсального, загальноприйнятого визначення поняття «екологічне рослинництво» не існує. У цілому під цим поняттям розуміють таке вирощування сільськогосподарських культур, за якого не завдають шкоди довкіллю та отримують екологічно безпечну для здоров'я людини і тварин продукцію.

Близьким до цього поняття є поширена в США так звана *органічна система відновлюваного землеробства*. У Німеччині, Данії та ряді інших країн вирощування рослинницької продукції на екологічних засадах прийнято називати *біодинамічною системою землеробства*, у Франції – *біологічною системою Лемер-Буже*, в Англії – *екологічною безпестицидною системою Говарда-Болфур*, у Швеції та Швейцарії – *замкнутою мікробіологічною системою із циклічним використанням поживних речовин*, в Австрії – *системою ANOQ*. В Україні більш уживаним є поняття *органічне землеробство*. Перспективним напрямом екологізації вирощування рослинницької продукції є *«органічний no-till»*.

Незважаючи на різні формулювання, усі вони вкладаються в поняття «екологічне рослинництво», під яким розуміють таку систему господарювання в агросфері, у якій передбачено заміну хіміко-механічних заходів вирощування рослинницької продукції безпечними біологічними заходами з метою вирощування екологічно чистої продукції і відновлення родючості ґрунтів.

Протягом останніх 15 років за розвитку сертифікації екологічно безпечної продукції рослинництва доведено економічну її доцільність і наразі цей напрям є важливим фактором у розвинених країнах світу. Нині спостерігається тенденція до збільшення площ вирощування рослинницької продукції на екологічних принципах. При цьому валовий збір екологічно чистої продукції щороку зростає на 10–15 %.

Зокрема, ринкова частка екологічно чистої рослинницької продукції в структурі загальних валових зборів становить понад 3,2 %. З-поміж країн Центральної та Східної Європи лідерами за валовими зборами екологічно чистої сільськогосподарської продукції є Угорщина та Польща. За валовим споживанням сертифікованої екологічної продукції рослинництва в ЄС лідером є Німеччина, у якій за рік її споживають на суму понад 2,5 млрд дол.

Під сертифікованою екологічно чистою (органічною) продукцією мається на увазі та, яку отримано в результаті вирощування за сертифікованими екологічно безпечними технологіями (органічне виробництво), які передбачають повну відмову від використання мінеральних добрив і засобів захисту, інших штучних речовин, а також забороняють використання для сівби генетично модифікованого насіння польових культур.

Водночас концепція екологічного рослинництва передбачає не повну і моментальну відмову від хімічних методів (з об'єктивних причин це просто неможливо), а поступове зменшення їх частки шляхом запровадження альтернативних екологічних методів. Завдяки зусиллям науковців у цьому напрямі з кожним роком стає дедалі більше спроб застосування екологічних підходів вирощування рослинницької продукції, що здатні замінити класичні хімічні методи без зниження врожайності сільськогосподарських культур.

1.2. Передумови виникнення екологічного рослинництва

Виникнення і розвиток екологічного рослинництва зумовлені загостренням екологічних проблем, а саме:

- високим рівнем розораності сільськогосподарських угідь і неефективним використанням біопотенціалу родючих земель;
- ростом валових зборів польових культур за рахунок збільшення посівних площ під експортно-орієнтованими культурами;
- необґрунтованим використанням засобів захисту рослин і мінеральних добрив, що забезпечує підвищення врожайності сільськогосподарських культур, однак погіршує родючість ґрунтів, стан докільця, призводить до накопичення в рослинах і потрапляння в організм людини шкідливих хімічних сполук після вживання страв, виготовлених із цих продуктів;
- зниженням родючості ґрунтів та їхньої природної структури через розвиток водної та вітрової ерозії;
- нераціональним використанням води для зрошення земель;
- забрудненням ґрунтових вод через інтенсивне агровиробництво, що призводить до погіршення якості питної води (збільшення вмісту нітратів, фосфору, органічних сполук, спостерігається бактеріологічне забруднення).

Значну роль також відіграє ринковий попит – споживачі бажають бачити на своєму столі страви, виготовлені з екологічно чистих продуктів, оскільки доведено, що в рослинницькій продукції, отриманій із застосуванням традиційних технологій вирощування, міститься певна кількість шкідливих сполук. Вживання протягом тривалого періоду продуктів, виготовлених з такої продукції, матиме негативний вплив на людський організм.

Серйозні проблеми для довкілля виникають у зв'язку з порушенням технологій застосування в сільському господарстві мінеральних добрив. Унесені на поля, вони лише частково поглинаються рослинами. Значна кількість азоту й фосфору вимивається в ґрунті та підземні води, а з них мігрує до річок, озер. Найбільше їх накопичується в слабопроточних водоймах.

За останні 20–40 років значно зросло надходження у водойми стоків, що містять сполуки азоту й фосфору. Це пов'язано зі зливом з полів мінеральних добрив і залишків пестицидів. Унаслідок цього відбувається евтрофікація водойм, спостерігається посилений розвиток фітопланктону, водоростей, цвітіння води та ін. У глибинній зоні посилюється анаеробний обмін, нагромаджуються сірководень, аміак тощо. При цьому порушуються окислювально-відновлювальні процеси й виникає дефіцит кисню, що спричиняє загибель цінних видів риб і рослин, вода стає непридатною не лише для споживання, а й навіть для купання. Тому, сільське господарство є основним джерелом надходження нітратів у водні джерела.

Для боротьби зі шкідниками і хворобами застосовують різні засоби (агрохімікати, сівозміну, агротехніку), але проблема в цілому ще далека від розв'язання в площині екології довкілля.

За даними ЮНЕСКО, засоби захисту рослин у загальному обсязі забруднення біосфери землі стоять на 8–9-му місці після таких речовин, як нафтопродукти, ПАР (поверхнево-активні речовини), фосфати, мінеральні добрива, важкі метали тощо. Потенційна загроза від їх використання полягає як у високій токсичності при потраплянні в організм людини або тварин, так і в хронічній дії, у міграції їх залишків водними і повітряними шляхами на значні відстані.

Ефективність сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від стану ґрунтів, а також від дотримання правил агротехніки і впровадження інноваційних технологій. На сьогодні

стан сільськогосподарських земель України залишається незадовільним. Проведені в країні реформи земельних відносин дещо змінили структуру земельного фонду, але не привели до суттєвого зниження антропогенних впливів на ґрунтовий покрив, що викликають процеси деградації ґрунтів.

Відомо, що для утворення ґрунтового шару завтовшки 1,0 см природі потрібно до 400 років залежно від природно-кліматичних умов. Людина ж здатна виснажити або знищити шар ґрунту такої товщини за один-два сезони. За історичний період у світовому масштабі було втрачено близько 2,0 млрд га земель, одна частина яких була виведена із сівозмін, а інша перетворилася на пустелі.

Надзвичайно негативно впливають на сільськогосподарські території вітрова та водна ерозія, розвиток яких провокують порушення агротехнічних правил обробітку ґрунту. Нині загальна площа еродованих земель в Україні становить майже 13 млн га, або понад 35 % загальних сільськогосподарських площ. Щорічно площа еродованих земель зростає на 80–120 тис. га. На підставі показників річних втрат ґрунту від водної та вітрової ерозії на незахищених землях проведено розрахунок, який показує, що за відсутності протиерозійного захисту щорічно на сільськогосподарських угіддях в Україні втрачається понад 800 млн т ґрунту, у якому міститься близько 26 млн т гумусу, 1,2 млн т азоту, 0,9 млн т фосфору і 13,9 млн т калію. Втрати гумусу і поживних речовин, викликані ерозією ґрунтів, призводять до значного зниження врожаю польових культур.

Зрозуміло, що нарощування рівня хімізації сільськогосподарського виробництва спричинить подальше зниження родючості ґрунтів. Потрібно замість традиційного сільськогосподарського виробництва, яке має за пріоритети максимальний рівень урожайності при найменших затратах праці, запроваджувати методи альтернативного (екологічного) сільського господарства. Ідея екологічного виробництва (землеробства) полягає в повній відмові від застосування генетично модифікованих організмів, засобів захисту рослин, антибіотиків і синтетичних добрив. Це приводить до підвищення природної біологічної активності в ґрунтах, відновлення балансу поживних речовин, посилення відновлювальних властивостей, нормалізації роботи живих організмів, збільшення вмісту гумусу й підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

Вирощування екологічно чистої продукції має ґрунтуватися на сучасних досягненнях фізіології, біохімії, генетики, селекції, мікробіології, ентомології, фітопатології, біотехнології та біоенергетики рослин. При цьому потрібно використовувати знання з рослинництва, екології, землеробства, ґрунтознавства, агрохімії й інших дисциплін. Не можна припускатися крайнощів і примітивного розуміння концептуального визначення напряму екологічного рослинництва. Зокрема, не можна вважати переходом до екологічного рослинництва лише відмову від застосування засобів захисту рослин та мінеральних добрив. Для цього потрібний виважений, збалансований підхід, що забезпечить комплексне вирішення екологічних питань.

Труднощі організаційного та функціонального характеру, проблема результативності навіть у провідних країнах ЄС, попри бажання виробників, спричиняють повільний ріст посівних площ, на яких запроваджено екологічні підходи вирощування сільськогосподарських культур. Поки таке виробництво не має масового характеру, хоча і відзначається великим попитом та перспективами.

На сьогодні у світі близько 1,0 % орних земель використовують для вирощування екологічно чистої продукції. Лідерами за площами, на яких запроваджують ці технології, є Швеція та Швейцарія – до 7,0 %. Обсяги продовольчих товарів, які виробляють в усіх системах альтернативного землеробства, у США становлять 2,4 %, у Західній Європі – 0,1–0,8 %.

Важливо розуміти те, що екологічне рослинництво не можна розглядати як повну заміну традиційному. Вони мають розвиватися поряд, і цьому є ряд причин. Одна з них – менша врожайність при екологічному рослинництві порівняно з традиційними технологіями. Так, у розрізі культур зернової групи зниження врожайності становить близько 15–20 %, зернобобових – 10–15 %, соняшнику – до 20 %, буряків цукрових – до 35 %.

Наступним аргументом на користь традиційного рослинництва, що передбачає інтенсифікацію технології вирощування, є значно більша кількість важелів контролю бур'янів, шкідників і збудників хвороб, які можна оперативіно застосовувати з моментальним результатом. Також є можливість фактично в будь-який час задовольнити потреби рослин у поживних елементах. В екологічному рослинництві таких важелів на порядок менше, до

того ж наявні прийоми зазвичай не забезпечують миттєвого результату, тож їх потрібно впроваджувати заздалегідь, що вимагає доброго розуміння питання.

Численні дані показують, що за повної відмови від застосування мінеральних добрив і пестицидів урожайність польових культур може знизитися на 40 % і більше. Так і буде, якщо інші елементи технології залишити без змін. Однак досвід переконує, що є цілий ряд дієвих способів, застосування яких допоможе не тільки зберегти, але й навіть підвищити врожайність посівів.

З економічного погляду важливим аргументом на користь запровадження екологічних підходів у рослинництві є вища реалізаційна ціна, яка, залежно від культури і напряму використання, може на 15 % і більше перевищувати ціну на продукцію, отриману за традиційних підходів вирощування. Найбільшою є різниця у вартості готових до споживання страв. Зокрема, у ресторанах і кафе ціна страв, вироблених з екологічної продукції, може бути на порядок вищою, ніж зі звичайної.

1.3. Еколого-техногенні проблеми в аграрному секторі

Україна має один з найвищих у світі рівнів освоєння та розораності території. У власності й користуванні аграрних підприємств і господарств сьогодні перебуває 78 % загальної території держави. Із цієї площі на сільськогосподарські угіддя припадає майже 42 млн га, або приблизно 70 % території, з них на ріллю – 32,5 млн га (53,8 %). Найвищий показник розораності території у Степу – 90–95 %, найменший на Поліссі – 35–40 %.

Обробляючи величезні площі земельних угідь, одержуємо невисокі врожаї. При цьому невиправдано розпорошуємо дефіцитні матеріально-технічні, особливо енергетичні ресурси, а природі та суспільству завдаємо значної шкоди.

Площа еродованих земель в Україні сьогодні становить понад 17,0 млн га (41 % від загальної площі сільськогосподарських угідь). У складі еродованих площ 4,7 млн га займають середньо- і сильноеродовані ґрунти, у т. ч. майже 68 тис. га землі, які повністю втратили гумусовий горизонт. Розпаювання земель колективних сільськогосподарських підприємств, недосконалість техніки, запровадження парів, перенасиченість сівозмін просапними культурами призводять до щорічного збільшення площі еродованих земель у середньому на 80–120 тис. га.

Вміст гумусу в чорноземних ґрунтах зменшився на третину, а в окремих областях – майже вдвічі. Сумарні втрати гумусу через мінералізацію та ерозію щорічно становлять 32–33 млн т, що еквівалентно 320–330 млн т гною. Через ерозію щорічно з ґрунту виноситься 500 тис. т азоту, 400 тис. т фосфору, 7 млн т калію.

Площі солонців і солончаків в Україні становлять 4,6 млн га (майже 11 % усіх сільськогосподарських угідь), з яких 2,0 млн га використовується під ріллею. Збільшуються площі заболочених і підтоплених земель. Коефіцієнт використання земельної площі на зрошуваних і осушуваних землях не перевищує 0,8. Крім того, на стан земельних ресурсів України негативно впливають гідрологічні та геохімічні аномалії (неотектонічні процеси, селі, зсуви, карст).

Основну частку в трансформацію ландшафтів вносить сільське господарство внаслідок високої розораності території, використання мінеральних добрив і засобів захисту рослин, що фактично всюди призводить до зміни фізико-хімічного складу ґрунтів і деградації земель. Зокрема, значна розораність території України посилює площинну й лінійну ерозію, інтенсифікує яружну діяльність, спричиняє зниження родючості земель, зменшення площ сільськогосподарських угідь.

Осушення та зрошення призводять до зміни природного водного режиму геосистем і появи або активізації несприятливих фізико-географічних процесів (вивітрювання торфовищ, підтоплення і засолення ґрунтів). У зонах впливу промислових підприємств (у радіусі від 3 до 30 км) сільськогосподарські землі забруднюються промисловими токсикантами.

Зонально-провінційні відмінності природних умов є фактором не лише економічної спеціалізації регіонів, але й диференціації способів ведення господарства, заходів щодо поліпшення стану навколишнього середовища. Проте часто це призводить до негативних наслідків. Зокрема, на Поліссі внаслідок осушувальних меліорацій інтенсифікувалися процеси дефляції ґрунтів (майже 28 % території), зросли втрати родючого шару ґрунтів за рахунок його змиву, скорочення площі лісів і запасів торфу, що спричинило дисбаланс водного режиму не лише поверхневих вод, але й агроландшафтів. Це позначилося на врожайності польових культур.

У лісостеповій зоні в результаті водної лінійної і площинної ерозії зменшився гумусний шар, підвищилася еродованість ґрунтів, агротехнічні заходи спричинили забруднення ґрунтів залишковою

кількістю пестицидів (особливо на Лівобережжі), забруднення промисловими токсикантами, насамперед у зв'язку з розробкою родовищ корисних копалин (нафти і газу).

У Степу погіршення стану земель пов'язане перш за все з вітровою ерозією, забрудненням залишковими кількостями добрив і засобів захисту рослин, захороненням промислових відходів (твердих, рідких, особливо в Донецько-Придніпровському регіоні), зрошенням, забрудненням промисловими токсикантами, промисловими і тваринницькими стоками річкових вод, пиловими бурями, а також вторинним засоленням і заболочуванням, особливо в зонах впливу зрошувальних мереж.

Забрудненість ґрунтів залишками засобів захисту рослин характеризується за умовною дозою останніх з урахуванням здатності ландшафтів до самоочищення. До основних критеріїв самоочищення ландшафтів належать: тип ґрунтів, підстилково-спадний коефіцієнт, енергетичні (інсоляція, сума активних температур, тривалість вегетаційного періоду) і гідрологічні (опади, водний режим, характер і модуль стоку) характеристики.

За здатністю ландшафтів до самоочищення від засобів захисту рослин територія України поділена на п'ять зон: дуже слабка, слабка, помірна, інтенсивна і дуже інтенсивна. Ці показники самоочищення потрібно враховувати при оцінюванні пестицидного навантаження на ґрунти.

1.4. Загрози вирощування генетично модифікованих організмів

Основний виробник продукції із вмістом ГМО – США (68 %). В Аргентині виробляють такої продукції близько 12 %, у Канаді – 6 %; Китаї – 3 %. В країнах ЄС найбільша кількість зареєстрованих повідомлень про використання ГМО належить Франції (28 % від загальної кількості по країнах ЄС), Італії (15 %), Іспанії (14 %), Великобританії (12 %).

Останнім часом Україна привертає особливу увагу провідних біотехнологічних компаній, які зацікавлені в просуванні своєї продукції на нові ринки збуту. Незважаючи на те, що в Україні законодавчо заборонено вирощування та комерційний продаж генетично модифікованих культур, у країні вирощується понад 60 % генетично модифікованої сої, 10–20 % кукурудзи, 5 % ріпака. При цьому ряд дослідників висловлюють припущення, що як

мінімум третина посівних площ засівається генетично модифікованими культурами.

Насіння сільськогосподарських культур, харчові продукти й продовольча сировина, які ввозять в Україну, не реєструють і не перевіряють на вміст ГМО, а це, у свою чергу, має ризик неконтрольованої появи на продовольчому ринку продуктів харчування, що містять ГМО. Такий перебіг подій потребує від України встановлення правил біобезпеки, розробки нормативно-правових актів і державного контролю.

Стрімкий розвиток та поширення сучасних біотехнологічних методів спровокували низку соціальних, економічних, правових, релігійних, етичних та інших проблем і протиріч.

На думку фахівців, запровадження ГМО має бути виваженим. З одного боку, потрібно враховувати переваги, які може забезпечити їхнє промислове використання, з другого – необхідно гарантувати суспільству, що ці технології не завдаватимуть шкоди здоров'ю людини та не забруднюватимуть довкілля. Найважливішим залишається те, що сьогодні немає наукового обґрунтування і гарантій безпечного вживання ГМО людьми й сільськогосподарськими тваринами в довгостроковій перспективі.

Протягом останнього періоду прийнято низку міжнародних угод, які регламентують правила поведінки країн-членів світового співтовариства при вирішенні різних проблем, пов'язаних з використанням біотехнологій. Серед них найважливішими є угода CBD (Convention on biological diversity), Оргуська конвенція та Картахенський протокол з безпеки.

Останній був прийнятий у січні 2000 р. на конференції сторін конвенції про біологічне різноманіття. Документ набув чинності у 2003 р. після ратифікації 50-ма країнами світу. Наразі цей документ ратифікували понад 160 країн, у тому числі Україна.

Він передбачає розробку міжнародних правил для країн, які його ратифікували, з питань безпечного перевезення, обробки та використання «живих змінених організмів», отриманих за допомогою генної інженерії. Усі країни Європейського Союзу у своїй діяльності, що пов'язана зі створенням і використанням ГМО, керуються Директивою 2001/18/ЄС про навмисне вивільнення ГМО в довкілля та Постановою 1829/2003/ЄС, 1830/2003/ЄС, відповідно до яких харчові продукти, до складу яких входить понад 0,9 % ГМО, підлягають обов'язковому маркуванню.

В Україні є низка законів, які регулюють поводження з ГМО, а саме: «Про державну систему біобезпеки при створенні, випробуванні, транспортуванні та використанні генетично модифікованих організмів» від 2007 р. зі змінами від 2010 р.; «Про дитяче харчування» від 2006 р. зі змінами щодо посилення вимог до виробництва та обігу продуктів харчування від 2010 р.; «Про безпечність та якість харчових продуктів» від 1998 р. зі змінами щодо інформування громадян про наявність у харчових продуктах генетично модифікованих організмів від 2009 р.; «Про захист прав споживачів» від 2006 р.; «Про основи національної безпеки України» від 2003 р.; «Про тваринний світ» від 2001 р.; «Про рослинний світ» від 1999 р.; «Про екологічну експертизу» від 1995 р.; «Про охорону навколишнього природного середовища» від 1991 р.

Крім того, питання щодо поводження з ГМО регулюються низкою постанов Кабінету Міністрів України, найважливіша серед яких – «Про затвердження порядку етикетування харчових продуктів, які містять генетично модифіковані організми або вироблені з їх використанням та вводяться в обіг» від 2009 р., а також відповідними наказами Міністерства екології і природних ресурсів, Міністерства аграрної політики та продовольства України та ін.

Оцінювання потенційного негативного впливу на здоров'я людини та стан довкілля від використання ГМО, залежно від специфіки впливу та особливостей їх використання, проводять у трьох таких напрямках:

- ризики потенційного негативного впливу на здоров'я людини від вживання харчових продуктів, які виготовлялися з генетично модифікованих рослин. Можливими негативними наслідками при цьому можуть бути алергічні захворювання, порушення обміну речовин, виникнення стійкості мікрофлори людини до антибіотиків, віддалений канцерогенний та мутагенний ефекти внаслідок безпосередньої дії трансгенних білків;

- ризики потенційного негативного впливу генетично модифікованих рослин на довкілля за їх широкого використання. Основними серед цих ризиків є поширення хвороб через міжвидові байєри, створення стійких до гербіцидів бур'янів, втрата біологічного різноманіття сільськогосподарських культур, більш широке використання хімічних речовин для обробки і, як наслідок, збільшення забруднення води, що призведе до порушення екологічного балансу;

– глобальні ризики соціально-економічного характеру за довготривалого впровадження трансгенних технологій.

1.5. Трофічні зв'язки як основа біосфери

Між тропосферою (атмосферою), гідросферою та літосферою завдяки діяльності організмів існують добре відрегульовані біологічні (харчові – трофічні) зв'язки рослинних і тваринних організмів. Завдяки їм на Землі підтримується життя як стійке планетарне явище, забезпечується система взаємозв'язків рослин, тварин і людини.

Розрізняють три основні екологічні групи рослинних і тваринних організмів, які забезпечують безперервний зв'язок між різними формами життя: продуценти, консументи, редуценти (рис. 1).

Екологічні групи		Продуценти (автотрофи)	Редуценти	Консументи
Характер живлення		Автотрофний	Гетеротрофний	
		Фотосинтез	Абсорбція	Перетравлення
Тип будови	Еукаріоти тканинні	Рослини		Тварини
	Еукаріоти одноклітинні і багатоклітинні	Водорості	Гриби	Найпростіші
	Прокаріоти переважно одноклітинні	Фотобактерії Скотобактерії Архебактерії Прокаріоти		

Рис. 1. Трофічні зв'язки (за І.П. Баб'євою і Г.М. Зеновою)

Продуцентами (лат. *Producens* – який виробляє), або автотрофами, називають організми, які за допомогою сонячної енергії, з неорганічних сполук синтезують органічну речовину – основу життя інших екологічних категорій живих організмів. До

продуцентів (автотрофів) належать вищі й нижчі рослини та хемотрофні – незелені бактерії, які також здатні синтезувати органічну речовину.

Консументи (споживачі) – це організми, які споживають продукцію автотрофів і виділяють у довкілля продукти своєї життєдіяльності (білки, жири, цукри, вуглеводи, безазотисті екстрактивні, амінокислоти та інші речовини). До них належать усі тварини. Вони створюють потужний пласт органічної речовини на Землі.

Розрізняють три групи консументів: первинні (травоїдні тварини і безхлорофільні рослини-паразити), вторинні (хижаки, які полюють на травоїдних) і третинні (організми, що живляться вторинними консументами).

Редуценти – дрібні мікроорганізми, до яких належать гриби, актиноміцети і бактерії). Вони використовують органічну масу відходів життєдіяльності перших двох груп і в процесі обміну розкладають її до неорганічних сполук, які, у свою чергу, знову можуть бути засвоєні продуцентами. За допомогою таких трофічних зв'язків здійснюється кругообіг речовин. Отже, ці три групи рослинних і тваринних організмів і створюють навколишнє природне середовище в біосфері.

Указані екологічні групи рослинних і тваринних організмів відрізняються типом живлення і будови. За типом живлення їх поділяють на автотрофні (фотосинтез) і гетеротрофні організми (абсорбція і перетравлення). За будовою в цих групах виділяють еукаріоти тканинні (рослини, тварини), еукаріоти одноклітинні і багатоклітинні (водорості, гриби, найпростіші); прокаріоти, переважно одноклітинні (фотобактерії, архебактерії).

Залежно від специфіки трофічних зв'язків між рослинними і тваринними організмами виникають різноманітні форми життя. Зокрема, у літосфері після поїдання тваринами певних видів рослин (трав, плодів, насіння) поширюються види, які залишилися, до них також додаються види з насіння, перенесеного птахами, тваринами, комахами. Значний вплив на рослинність мають землерийні тварини, що знищують і порушують рослинний покрив, спричинюючи зміну його ботанічного складу тощо. Проте найбільшою мірою рослинність і тваринний світ змінюються під впливом діяльності людини, тобто за антропогенного впливу.

1.6. Ключові аспекти практичного екологічного рослинництва

Базуючись на принципах екологічного рослинництва, можна виділити його основні концептуальні складові, зокрема такі:

- можливість запровадження екологічного рослинництва на будь-яких ґрунтах;
- запровадження ґрунтозахисних технологій;
- заборона на вирощування генетично модифікованих рослин;
- пріоритет на використання органічних добрив;
- запровадження сидеральних парів і покривних культур;
- використання рослинних решток як елементів боротьби з ерозійними процесами та як джерела органічного добрива;
- поступова відмова від використання синтетичних добрив, при цьому допускається внесення фосфоритного борошна і силівніту.
- використання природних джерел для відновлення балансу поживних елементів: мікоризи; симбіотичних, асоціативних і вільноіснуючих бактерій-азотфіксаторів; мікробіологічних препаратів на основі бактерій-фосфатмобілізаторів та ін.;
- відмова від застосування меліорантів;
- застосування заходів для збільшення вмісту в ґрунті черв'яків;
- проведення захисту від збудників хвороб і шкідників агротехнічними та біологічними методами;
- заборона на застосування фунгіцидів та інсектицидів;
- використання агротехнічних методів для захисту від бур'янів (механічне видалення, правильно організована сівозміна, сімба покривних культур, кореневі виділення яких пригнічують бур'яни);
- використання для знищення бур'янів мікогербіцидів.

1.7. Екологічне рослинництво як складова сталого розвитку людської цивілізації

У вересні 2015 р. в рамках 70-ї сесії Генеральної Асамблеї ООН було сформульовано 17 цілей сталого розвитку, серед яких – забезпечення продовольчої безпеки, поліпшення харчування та сприяння сталому розвитку сільського господарства.

Під сталим розвитком («*sustainable development*») мається на увазі розвиток, який відповідає сучасним вимогам без шкоди майбутнім поколінням. Основною складовою сталого розвитку

сільського господарства є охорона довкілля. В умовах стрімкого зростання населення планети, коли весь час агровиробники прагнуть до збільшення валових зборів продукції, зростає загроза погіршення екологічного стану довкілля, оскільки питання збереження екологічної рівноваги відноситься на другий план.

У 1980 р. відомий американський футуролог, один з авторів концепції «Інформаційної цивілізації» Олвін Тоффлер виклав тезу про те, що людство переходить до третьої хвилі цивілізації – «суперіндустріальної» (постіндустріальної), яка приходить на зміну першій хвилі – «аграрній» цивілізації та другій хвилі – «індустріальній цивілізації».

Перша (аграрна) хвиля характеризувалася повільним економічним зростанням, споживанням продукції на рівні фізіологічного мінімуму. Друга (індустріальна) хвиля асоціювалася з максимізацією обсягів виробництва, зростанням споживання, спеціалізації, стандартизації та централізації.

Третя (постіндустріальна) хвиля характеризується зниженням темпів економічного зростання, при цьому воно стає більш рівномірним, також відмічається перехід від «кількості» до якості життя, від суспільства «масово споживання» до пошуку якісного вдосконалення умов життя людини. З огляду на це екологічне рослинництво є стратегією сталого розвитку та складовою «третьої хвилі» становлення цивілізації.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняття «екологічне рослинництво».
2. Як у різних країнах називають екологічно спрямовані технології вирощування сільськогосподарських культур?
3. Яка частка екологічно чистої рослинницької продукції в структурі загальних валових зборів?
4. Назвіть країни-лідери за валовими зборами екологічно чистої сільськогосподарської продукції.
5. Яку продукцію називають сертифікованою органічною?
6. Що покладено в основу концепції екологічного рослинництва?
7. Назвіть передумови виникнення екологічного рослинництва.

8. Як синтетичні добрива і пестициди впливають на екологічний стан ґрунтів і довкілля?
9. Охарактеризуйте сучасний стан ґрунтів України.
10. Охарактеризуйте масштаби впливу водної і вітрової ерозії на родючість ґрунтів в Україні.
11. Чи можна на сучасному етапі повністю відмовитися від традиційних підходів вирощування рослинницької продукції?
12. Назвіть і охарактеризуйте основні аргументи на користь традиційного рослинництва.
13. Охарактеризуйте стан розораності ґрунтів України.
14. Який наразі екологічний стан ґрунтів в Україні?
15. На які зони поділяють сільськогосподарські угіддя за їх здатністю до самоочищення?
16. Які загрози несе вирощування генетично модифікованих організмів і наскільки вони реальні?
17. Чи є в Україні нормативно-правова база, яка регулює поводження з генетично модифікованими організмами?
18. За якими напрямками оцінюють потенційний негативний вплив генетично модифікованих організмів на здоров'я людини?
19. Назвіть і охарактеризуйте основні екологічні групи рослинних і тваринних організмів, які забезпечують безперервний зв'язок між різними формами життя.
20. Назвіть ключові аспекти практичного екологічного рослинництва.

2. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЙ NO-TILL, STRIP-TILL і VERTI-TILL ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Ураховуючи посилення тенденції до зменшення річної кількості опадів та підвищення температурних показників, аграрії змушені шукати нові підходи вирощування польових культур, здатні в сучасних реаліях забезпечувати формування високої врожайності та якості продукції, зменшуючи при цьому ризики виробництва і власне залежність від них. У таких умовах особливо зростає роль скорочення часу проведення польових робіт, зокрема сівби, щоб повніше використовувати обмежений ресурс вологи, забезпечити кращий старт розвитку культур, їх більш синхронний ріст і розвиток. Сучасні реалії мотивують виробників рослинницької продукції до нових, інноваційних і перспективних рішень.

Нині у світі все більшого поширення набувають технології, які дозволяють проводити сівбу в умовах дефіциту вологи в ґрунті. Зокрема, виробники рослинницької продукції провідних європейських країн на практиці доводять високу ефективність сільськогосподарських агрегатів, здатних забезпечувати менші витрати вологи і проводити сівбу в посушливих умовах. Також вагомим аргументом на користь таких технологій є їх висока ефективність щодо запобігання проявам водної і вітрової ерозії.

2.1. Система нульового обробітку ґрунту (no-till)

В Україні та світі посилюються і набувають загрозливих масштабів процеси деградації ґрунтів, спричинені надмірною розораністю сільськогосподарських угідь, недотриманням науково обґрунтованих систем землеробства, агрономічних та екологічних

норм землекористування, відсутністю належної системи управління процесами родючості ґрунтів. Сьогодні у світі понад 30 % площ, придатних для сільськогосподарської діяльності, деградовані внаслідок нищівного впливу водної та вітрової ерозії, забруднення, ущільнення, засолення, підкислення, дегуміфікації й інших несприятливих процесів, пов'язаних з нераціональним використанням ґрунтів.

Однак значній частині цих негативних явищ можна запобігти шляхом перегляду підходів щодо системи обробітку ґрунту. Саме тому важливо детально проаналізувати й порівняти різні концептуальні підходи щодо обробітку ґрунту, які сьогодні використовуються в сільському господарстві.

Однією із систем обробітку ґрунту, яку сьогодні активно обговорюють і порівнюють з іншими на предмет ефективності проти водної та вітрової ерозії, є технологія no-till, яка передбачає повну відмову не тільки від оранки, а й взагалі від будь-якого механічного втручання. Навіть з англійської «no-till» дослівно перекладається «без обробітку».

Суть цієї технології полягає в тому, що ґрунт вкривають шаром мульчі, який представлений рослинними рештками вирощуваних культур. Природні процеси збагачують ґрунт органічною речовиною, що сприяє його відновленню природним шляхом. Рослинні рештки, рівномірно розподіляючись по поверхні ґрунту, захищають його від руйнівної дії водної та вітрової ерозії, перешкоджають проростанню насіння бур'янів, захищають від руйнівної кінетичної енергії крапель дощу, сприяють розвитку корисної мікрофлори, яка витісняє з екологічних ніш патогенну мікрофлору.

На відміну від традиційного обробітку ґрунту, такий обробіток не травмує верхнього шару ґрунту, не знищує, а навпаки, стимулює розвиток екосистеми ґрунту, не руйнує капілярів ґрунту, а отже, не порушує водної та повітряної циркуляції.

Традиційний обробіток ґрунту може згубно впливати на родючість ґрунту, викликати ерозійні процеси. Розораний шар перекидають, подрібнюють і перемішують. Як наслідок, зростає загроза розвитку водної ерозії і дефляції. Механічне втручання нульового обробітку на верхній шар ґрунту мінімальний, тож його структура фактично не змінюється.

Технологія no-till найбільш необхідна в районах, схильних до розвитку ерозійних процесів, а також у посушливих районах, оскільки сприяє кращому утриманню вологи.

Нульовий обробіток ґрунту передбачає:

- повну відмову від оранки, культивації і т. п.;
- заборону спалювання рослинних решток;
- використання спеціальних сівалок, здатних висівати насіння в непідготовлений ґрунт завдяки конструктивним особливостям. При цьому навіть на твердих ґрунтах, вкритих значною кількістю рослинних решток, такі сівалки забезпечують якісну сівбу насіння.

Крім запобігання розвитку ерозійних процесів, нульові технології мають ще ряд екологічних та економічних переваг, а саме:

- покращується здатність ґрунту утримувати вологу – земля добре поглинає вологу, а мульча уповільнює її випаровування. Більший вміст вологи в ґрунті забезпечує підвищення врожайності вирощуваних культур. Зокрема, кожні 10 мм продуктивної вологи забезпечують підвищення врожайності на 0,1–0,2 т/га;

- з часом відбувається оздоровлення ґрунтів, відновлення популяції черв'яків, мікоризоутворювальних грибів, сапротрофів та ін. За обробітку ґрунту на глибину навіть 5,0 см починає руйнуватися екосистема ґрунту, різко зменшується популяція дощових черв'яків. У випадку проведення оранки мікроорганізми разом з ґрунтом із верхніх насичених киснем шарів переміщуються в нижні шари ґрунту на глибину 15–30 см і внаслідок кисневого голодування гинуть. Без них знижується родючість ґрунту, а відповідно, і врожайність;

- відбувається зменшення емісії CO₂ в атмосферу;

- зменшуються витрати на виробництво рослинницької продукції. Зокрема, витрачається майже вдвічі менше пального, значно зменшується потреба в трудових ресурсах та сільськогосподарських агрегатах. Наприклад, на утримання 1000 га площі за традиційної технології потрібно 25–30 тракторів, тоді як за нульової – достатньо одного потужного трактора, однієї-двох широкозахватних сівалок, одного широкозахватного оприскувача та одного сучасного комбайна;

- більш раціональним є використання мінеральних добрив, оскільки вони вносяться під час сівби безпосередньо в зону рядків і живлять саме рослини, а не бур'яни. Крім того, при цьому значно зменшуються втрати поживних елементів з добрив від промивання

та переходу в нерозчинні форми, оскільки, розміщуючись близько до насінин, швидко ними засвоюються.

Поряд із беззаперечними перевагами нульовий обробіток має ряд недоліків, зокрема: неможливість позиційного розміщення добрив на глибину орного шару, більше пестицидне навантаження, виникнення резистентності, уповільнене прогрівання ґрунту навесні, сприятливі умови для поширення гризунів, можливий активний розвиток паразитної мікрофлори, необхідність підвищення доз добрив при їх поверхневому внесенні, оскільки частина з них потраплятиме на рослинні рештки і не впливатиме на рослину. Також слід брати до уваги зменшення врожайності в перші роки запровадження no-till і тривалу стабілізацію фітосанітарного стану – до 4–5 років.

2.2. Технології обробітку ґрунту strip-till і opti-till та їх роль у вирішенні екологічних проблем

Технологія strip-till з'явилася у 1965 р. в США. Вона бере свій початок з дослідів американського фермера Джима Кінсела, якого не задовольняла технологія no-till через важливий недолік, а саме – повільне прогрівання і просушування ґрунту під шаром рослинних решток, що вимагало зсувати строки сівби на більш пізні. Тож він вирішив поєднати дві відомі технології на той час – традиційну і no-till, щоб досягти вищої ефективності в роботі.

Зараз ця технологія широко розповсюджена в США і Канаді. Серед країн ЄС лідером за її поширенням є Німеччина. В Україні технологію смугового обробітку ґрунту першими почали запроваджувати в більш посушливих регіонах: Одеській, Черкаській, Херсонській і Миколаївській областях, де вона відразу показала високий результат. Тепер ця технологія все більше поширюється в Дніпропетровській, Полтавській і Харківській областях.

Технологія strip-till передбачає смуговий обробіток ґрунту на глибину прикореневого шару з одночасним унесенням добрив на потрібну глибину. Між обробленими смугами залишається необроблена площа, у якій зберігаються капіляри, що покращує доступ вологи (рис. 2).

У необроблених смугах зберігається екосистема ґрунту, яка через певний час «переходить» в оброблені смуги. Кореневі канали

залишаються в попередньому вигляді на більш ніж 50 % площі. На поверхні ґрунту на необробленій площі зберігається мульча з поживних решток, яка зменшує випаровування вологи, звужує діапазон коливання температурних показників, нівелюючи різкі перепади денних і нічних температур. Крім того, рослинні рештки запобігають водній і вітровій ерозії.

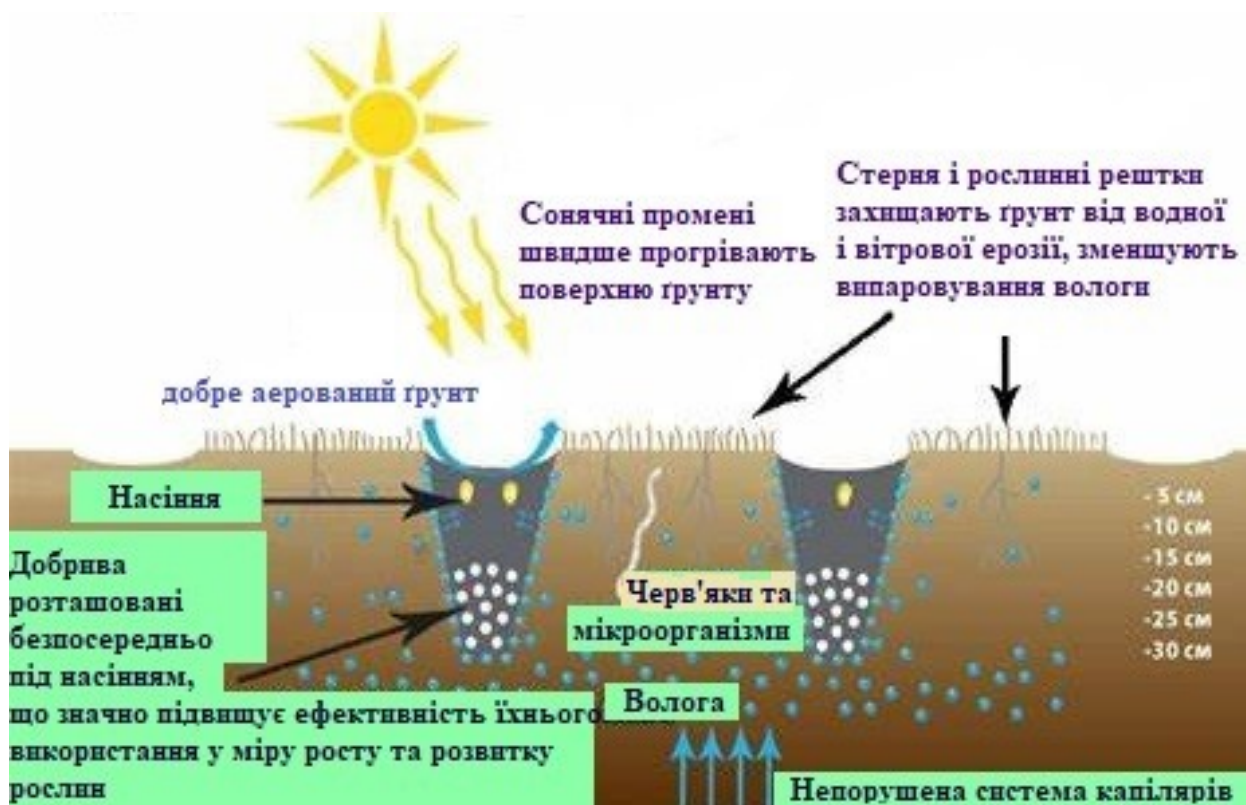


Рис. 2. Переваги смугового обробітку ґрунту

За технології strip-till обробляється лише третина поверхні поля, решта залишається необробленою. У необробленій площі зберігається структура й екосистема ґрунту. Оскільки добрива вносяться локально в зону розміщення коренів, їх використання більш економне, крім того, зменшуються норми їх унесення. Навіть якщо насіння висівають у ґрунт із сухим верхнім шаром і після цього не буде опадів, все одно сходи будуть дружними.

Необроблені смуги взаємодіють з розпушеними смугами, забезпечуючи процеси обміну речовин, нормалізуючи життєдіяльність біоти і відновлюючи родючість ґрунту. Важливою перевагою цієї технології є локальне внесення мінеральних і органічних добрив саме туди, де вони більше потрібні, – у зону розміщення коренів рослин.

Смуговий обробіток ґрунту сприяє розвитку потужної кореневої системи рослин. Використання цієї технології є особливо актуальним у посушливі роки, коли відчувається дефіцит опадів у верхньому шарі ґрунту. Оскільки обробіток ґрунту проводиться локально на глибину до 50 см і лише під висіяним насінням, рослини розвивають потужну кореневу систему, якій легше проникати в нижні, більш насичені вологою шари ґрунту. Це створює умови для кращої вологозабезпеченості посівів протягом усієї вегетації рослин і є запорукою отримання високих урожаїв незалежно від погодних умов.

Тривалий час поширення технології смугового обробітку обмежувалося через неможливість проведення сівби рядковим способом, тож колосові й інші культури, які сіють з міжряддями в діапазоні від 7,5 до 30 см, не можна було вирощувати, застосовуючи смуговий обробіток. Проте протягом останнього періоду світовими лідерами з виробництва сільськогосподарської техніки було розроблено конструктивні рішення, які подолали цю проблему. Таким чином, на сьогодні все більше польових культур рядкової сівби переводять на цю систему обробітку ґрунту.

Технологія strip-till добре себе зарекомендувала для вирощування озимих колосових та ріпака озимого. Крім чистого пару, добрих попередників для озимих культур мало, оскільки після їх збирання залишається дуже мало часу для підготовки ґрунту під сівбу. За традиційного обробітку багато часу витрачається на підготовку поля до сівби. Часто ґрунт не встигає осісти, як наслідок, втрачається найбільш дефіцитний агресурс – волога, порушується капілярність ґрунту, до того ж унаслідок осідання ґрунту можливе випирання коренів рослин, що значно знижує їх зимостійкість. При переході на технологію strip-till ці проблеми вирішують досить просто: після збирання попередника слід лише обробити площу гербіцидами суцільної дії (Раундап, Гліфосат, Ураган та ін.) і через 10–15 днів висіяти насіння прямо по стерні.

Технологія strip-till подібна до технологій no-till і mini-till, оскільки всі вони передбачають відмову від відвальної оранки з обертанням пласта, збереження родючості ґрунту та його захист від водної і вітрової ерозії за рахунок накопиченого шару з рослинних решток. Водночас між ними є і принципові відмінності.

За нульової технології ґрунт не обробляється, а мульчується. Насіння висівають у стерню. Mini-till – це фактично безвідвальний

обробіток ґрунту на глибину до 12 см. При цьому шари ґрунту не перевертаються. Поживні рештки зберігаються на поверхні ґрунту, хоча їх значно менше, ніж за нульового обробітку. Деякі фахівці вважають mini-till перехідним етапом до нульового обробітку.

На відміну від цих технологій, strip-till передбачає формування і розпушування смуг на глибину до 50 см, загальна площа яких становить біля третини від загальної площі поля. Ця технологія поєднує переваги відвальної оранки (швидше прогрівання і просушування ґрунту) та нульового обробітку. Крім того, при цій технології, на відміну від двох інших, можна вносити добрива на потрібну глибину. Технологію смугового обробітку без проблем можна запроваджувати в умовах короткого вегетаційного періоду, на полях з тонким родючим шаром, на малородючих ґрунтах із низьким умістом органіки, а також на недостатньо вирівняних полях. Нульовий обробіток для таких умов запроваджувати недоцільно.

Практикою доведено, що застосування смугового обробітку забезпечує підвищення врожайності більшості польових культур на 15–25 %. Американські фермери через три роки після переходу на strip-till стали витрачати на 40 % менше коштів на засоби захисту рослин і мінеральні добрива. Швидше прогрівання оброблених смуг навесні дає змогу розпочати сівбу на 5–10 днів раніше, тобто оптимізувати строки сівби. Крім того, нещодавні дослідження показують, що ця технологія забезпечує підвищення вмісту гумусу в ґрунті на 2–4 %.

Таким чином, основними перевагами технології strip-till є такі:

- повний обробіток ґрунту за один прохід агрегату;
- економія пально-мастильних матеріалів мінімум на 30 %;
- унесення добрив локально на потрібну глибину. Деякі агрегати для формування смуг дають змогу вносити добрива на три різні глибини одночасно, до того ж є можливість на кожну глибину вносити різні формуляції добрив;
 - економія добрив на 20 % і більше без зниження врожайності;
 - дві третини поля залишаються необробленими, що забезпечує природне відновлення екосистеми ґрунту, його захист від водної і вітрової ерозії;
 - збереження і накопичення вологи протягом усього сезону вирощування;

- поступове покращання структури ґрунту (природне відновлення), знищення плужної підшви і запобігання її утворенню в подальшому;
- формування сприятливого середовища для біоти ґрунту і збільшення вмісту органічної складової в ньому;
- запобігання різкому перепаду температури верхніх шарів ґрунту;
- економія робочого часу;
- можливість унесення під час сівби рідких добрив (РКД, КАС, рідкий гній);
- на відміну від no-till, вже в перший рік застосування технології strip-till урожайність посівів підвищується на 10–15 %.

Поряд із беззаперечними перевагами слід відзначити ряд недоліків цієї технології, а саме:

- складність застосування. Вибір конкретного варіанта залежить від багатьох чинників, тож упроваджувати її повинні висококваліфіковані агрономи;
- ця технологія буде ефективною лише за умови використання потужних тракторів і спеціального обладнання. І перше, і друге коштує чимало, що зумовлено особливостями цієї технології. Наприклад, колтер, який врізається на глибину 25 см і більше, створює велике навантаження і на силовий агрегат, і на культиватор, тож рама має бути підвищеної міцності;
- під час роботи слід застосовувати навігаційні прилади. За їх допомогою можна швидко знаходити раніше оброблені смуги та міжряддя. Точне позиціонування дозволяє вирощувати проміжні культури, які збагачують ґрунт новими мікоризними угрупованнями, мікроелементами й іншими корисними речовинами;
- на дуже щільних і вологих ґрунтах strip-till неефективний;
- ефективність розкидного внесення мінеральних добрив при цій технології низька, оскільки частина гранул добрив потрапляє на поверхню рослинних решток і не спрацьовує. Якщо є волога, добрива розчиняються і просочуються крізь шар мульчі у ґрунт у вигляді розчину. При цьому частина азоту втрачається на мінералізацію рослинних решток. Тому добрива краще вносити спеціальними аплікаторами, щоб мінімізувати їх втрати.

Варто пам'ятати, що для розкриття потенціалу технології strip-till потрібно якісно подрібнювати рослинні рештки (частки

довжиною до 20 см) під час збирання попередника і рівномірно розподіляти їх по поверхні поля.

Технологія смугового обробітку ґрунту за річний цикл польових робіт передбачає виконання чотирьох технологічних операцій:

- формування смуг;
- сівбу;
- догляд за посівами;
- збирання врожаю.

Перші дві операції можна проводити як відокремлено, так і одночасно (комбіновано). У першому випадку смуговий обробіток і сівбу проводять у різний час, у другому – за один прохід агрегату. Вибір того чи іншого варіанта залежить насамперед від складу і фізичних властивостей ґрунту. На важких ґрунтах з високим і середнім вмістом глини кращим є роздільний варіант, за якого формування смуг проводять восени, а сіють навесні. При цьому добрива можна вносити двічі – восени локально в смугу на різну глибину в основне внесення, і навесні разом із сівбою. На піщаних ґрунтах з низьким вмістом глини перевагу віддають комбінованому варіанту, тобто за один прохід агрегату формують смуги, вносять добрива та проводять сівбу.

Під час визначення доз і глибини внесення добрив слід урахувувати склад ґрунту. У легких ґрунтах поживні елементи здатні перерозподілятися вниз по профілю. У структурованих глинистих ґрунтах, а також у ґрунтах із високим вмістом гумусу можлива фіксація поживних елементів.

Агрегати для смугового обробітку залежно від маси окремої секції та глибини обробітку поділяють на три категорії: легкі, середні та важкі. Перші зазвичай використовують для весняного обробітку, середні та важкі – для осіннього.

Легкі агрегати здебільшого призначені для весняного очищення смуг від рослинних решток і помірного поверхневого розпушування ґрунту. Стійок на секціях немає, тому глибоке розпушування не проводять. В обробленій смугі спостерігається помірне висушування ґрунту, що забезпечує краще проростання насіння, а за рахунок збереження вологи – кращі умови для росту та розвитку рослин. При цьому більшість легких агрегатів забезпечують унесення мінеральних добрив на глибину поверхневого розпушування.

Середні та важкі агрегати застосовують для формування та інтенсивного обробітку смуг восени на глибину 20–30 см (середні) і 30–50 см (важкі). Найбільш поширені агрегати для осіннього обробітку на глибину 20–30 см. На середніх агрегатах на кожній секції обов'язково має бути потужна стійка, через яку можуть подаватися рідкі або сипучі добрива на один або два яруси. Другою особливістю середніх агрегатів є те, що стійки розпушувачів, як правило, розміщуються на одній секції на паралелограмній наважці, яка не дає заглибити стійку більш ніж на 25 см у важких умовах обробітку, наприклад, у посуху. Водночас паралелограмна наважка забезпечує рівномірний обробіток по всій ширині агрегату.

Для важких умов і більшої глибини обробітку – 40–50 см, застосовують важкі агрегати на базі глибокорозпушувачів, на яких установлені додаткові органи для очищення рослинних решток і формування смуги. За такої глибини обробітку для руху кожної стійки потребується 40–50 к/с. Тобто шестисекційний комплекс може тягнути трактор потужністю не менше 280–300 к/с.

Основними вузлами секції середніх і важких агрегатів є: колтер, ротаційні диски з шаблеподібними ножами, глибокорозпушувач, турбодиски і коток (рис. 3). На деяких агрегатах замість дисків-розпушувачів установлюють дефлектор.

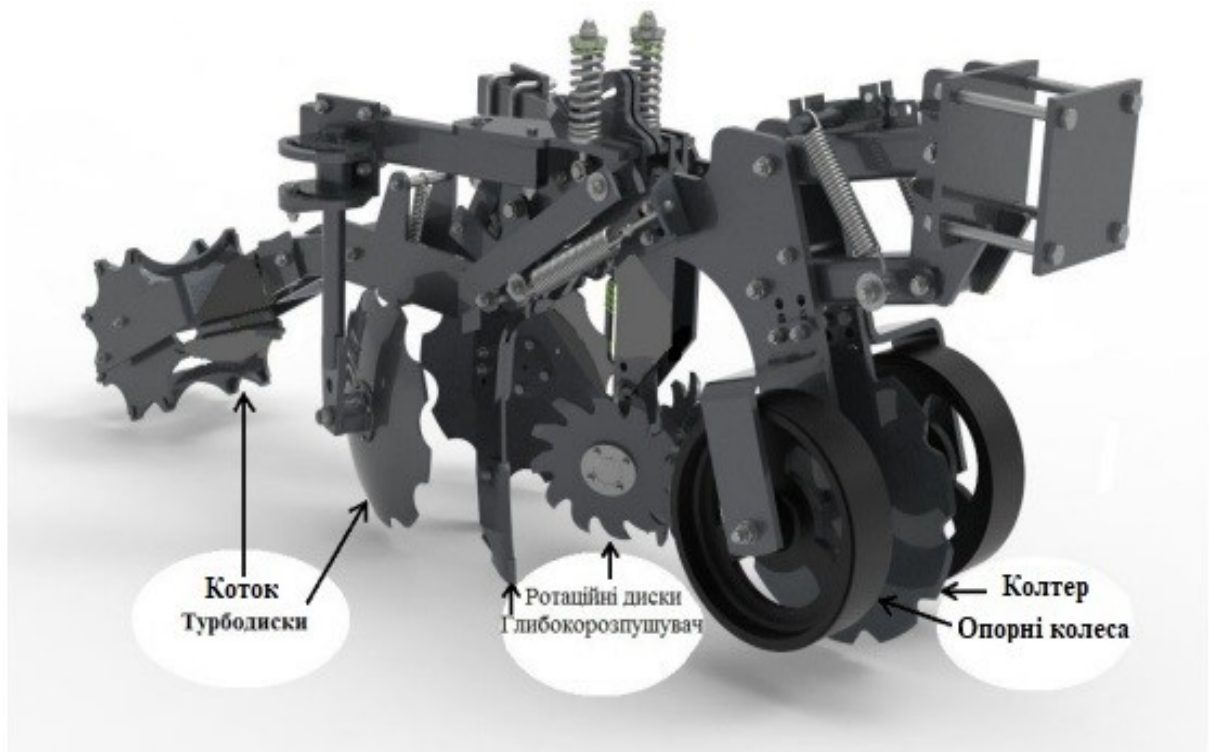


Рис. 3. Типова секція середнього (важкого) агрегату для осіннього обробітку ґрунту

Колтерний диск (колтер) може бути різної форми (рівний, хвилястий) і діаметром зазвичай близько 500 мм. Він призначений розрізати ґрунт і рослинні рештки для зменшення навантаження на глибокорозпушувач. Два ротаційні диски діаметром від 300 до 350 мм призначені для очищення рядка від рослинних решток. На деяких агрегатах їх установлюють попереду колтера (рис. 4).

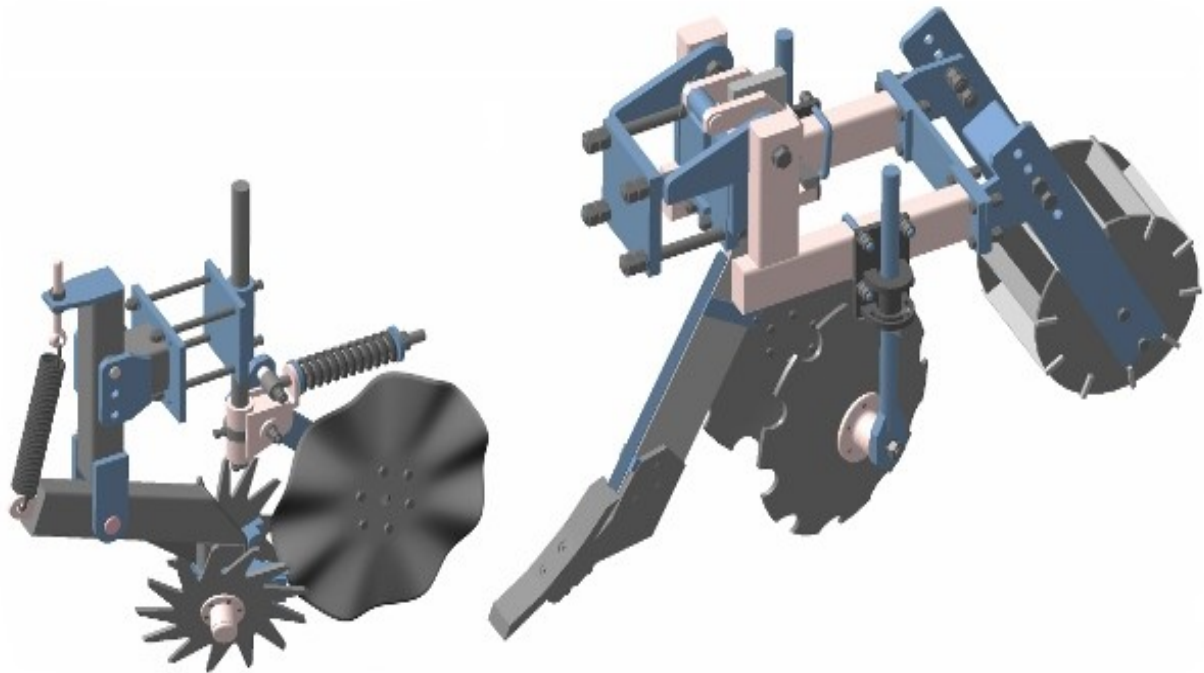


Рис. 4. Секція середнього (важкого) агрегату, де ротаційні диски йдуть попереду колтера

Стійка глибокорозпушувача розрахована на обробіток ґрунту на глибину від 20 до 50 см з одночасним унесенням рідких і гранульованих мінеральних добрив. Залежно від типу ґрунтів робочі секції можна комплектувати стійками різної форми: прямою, кутового типу «бумеранг» і вигнутого типу «банан». Перший тип застосовують для роботи на легких ґрунтах, оскільки така форма мінімально зміщує ґрунт і в такий спосіб зменшує витрати вологи.

Кутовий тип підходить для всіх типів ґрунтів. Така форма стійки забезпечує добре розпушування і більш інтенсивне зміщення ґрунту. Вигнуті стійки у формі банана застосовують на середніх і важких ґрунтах, оскільки вони забезпечують більш інтенсивне розпушування оброблюваної зони.

Одразу за глибокорозпушувачем розташовані два диски (турбодиски), які забезпечують формування чіткої борозни. Ці

диски бувають вирізними (ромашка) і хвилястими. У деяких агрегатів замість цих дисків установлюють дефлектори, які подрібнюють крупні грудки ґрунту і формують борозну.

Останнім вузлом секції є коток, який ущільнює поверхню для формування однорідного посівного ложе. Різні види конструктивних рішень котків забезпечують високу якість роботи залежно від типу ґрунту і потреби в його ущільненні. Прутковий коток призначений для проведення осіннього обробітку важких ґрунтів або весняного нарізання смуг на легких і середніх ґрунтах. Варіант із V-подібною формою котка застосовують для обробітку важких і глинистих ґрунтів. Резинові котки добре підходять для весняної передпосівної підготовки легких ґрунтів.

Базовими вузлами секції агрегатів, які одночасно формують смуги і висівають у них насіння, є: глибокорозпушувач, стійка із сошником і коток (рис. 5). Глибокорозпушувач розпушує ґрунт на глибину до 25 см і одночасно вносить добрива на потрібну глибину. Більшість стійок глибокорозпушувачів передбачають можливість унесення рідких або сипучих добрив на два рівні. Після глибокорозпушувача розміщене колесо, яке прикочує поверхню ґрунту, щоб забезпечити більш вирівняну глибину загортання насіння і розкришити крупні грудки в тій частині смуги, у яку буде висіватися насіння. Далі по ходу секції встановлюють стійку із сошником, який висіває насіння на визначену глибину. За ним установлюють коток, який забезпечує ущільнення ґрунту для покращання контакту з насінням.

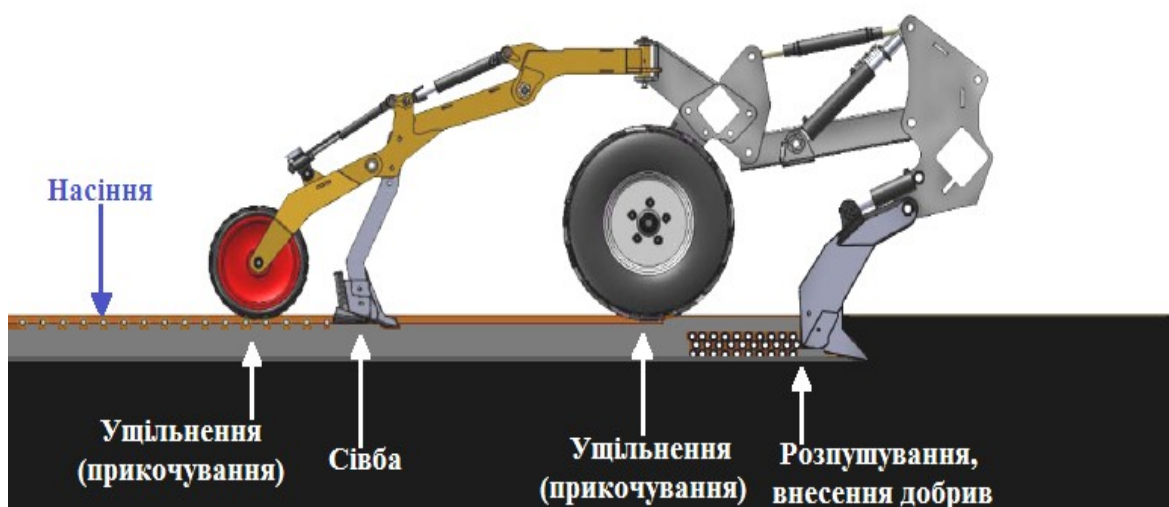


Рис. 5. Базові вузли секції агрегатів для формування та розпушування смуг, унесення добрив і сівби

Світовими брендами з виробництва сільськогосподарської техніки для технології strip-till на сьогодні є: Horsch (Німеччина), SLY (Франція), Mzuri (Великобританія), Orthman, Remlinger, Vulcan Equipment, John Deere, Yetter, Great Plains, Kinze (США), Väderstad (Швеція), Kverneland (Норвегія), Sfoggia (Італія) та ін. Ці компанії постійно працюють над удосконаленням техніки для смугового обробітку, проводять пошук технічних рішень для поліпшення ефективності і якості роботи агрегатів, забезпечення кращої підготовки ґрунту, рівномірності розподілу насіння та добрив за глибиною і в межах рядків, підвищення зносостійкості вузлів тощо.

Донедавна технологічні комплекси для технології смугового обробітку ґрунту на українському ринку були представлені машинами закордонного виробництва. Нещодавно на ринку України з'явилися вітчизняні виробники агрегатів для технології strip-till – Велес Агро, Аверс-Агро, Харвест. Їхні розробки за характеристиками наближені до провідних світових лідерів, однак коштують значно дешевше.

Більшість агрегатів – і для нарізання смуг, і для одночасного формування смуг та сівби – розраховані на сівбу насіння з регульованими міжряддями від 45 до 80 см, що підходить для просапних культур. Наприклад, агрегат Stripcat від компанії SLY (Франція) у своєму складі може мати від 4 до 18 секцій для формування і розпушування смуг з можливістю варіювання відстані між ними в діапазоні від 45 до 80 см. Сівалка Leonardo компанії Sfoggia (Італія) поряд із формуванням смуг забезпечує сівбу насіння рядком з регульованим міжряддям від 45 до 80 см.

Також поширеними є агрегати, що забезпечують формування смуг і сівбу із закріпленими міжряддями. Наприклад, вітчизняний чотирирядний агрегат для смугового обробітку ґрунту СТА-4Н виробництва СТВФ «Агрореммаш», як і комплекс АСОГ-8 виробництва ООО «Краснянське СП «Агромаш»» забезпечують формування й обробку смуг з відстанню між їхніми центрами 70 см, тобто для сівби просапних культур з міжряддями 70 см.

Нині виробникам пропонують дедалі більше різних конструктивних рішень, що забезпечують можливість рядкової сівби з міжряддями в діапазоні від 12 до 30 см. Зокрема, є й агрегати для формування та розроблення смуг з подальшою сівбою спеціальною сівалкою, і комплексні агрегати, які нарізають,

обробляють смуги, вносять добрива та висівають насіння за один прохід (комбіновані агрегати).

Значного прогресу з питань вирощування колосових культур за технологією strip-till досягла англійська компанія Mzuri з майже 40-річним досвідом роботи в сільському господарстві. Сьогодні компанія представляє ряд високотехнологічних агрегатів для обробітку ґрунту з одночасною сівбою всього спектра зернових культур за технологією strip-till – це посівні комплекси Mzuri Pro-Till3T, Mzuri Pro-Till4T і Mzuri Pro-Till6T.

Ці агрегати мають передній ряд масивних органів, які проводять обробіток ґрунту з одночасним унесенням добрив на глибину до 35 см. Вдалі конструктивні рішення дозволяють розподіляти добрива по всій глибині обробітку, а не лише заробляти його в нижню частину, як це роблять більшість інших агрегатів. За ґрунтообробними органами в шаховому порядку розміщений ряд опорних коліс, які ущільнюють ґрунт перед сівбою. Заключною частиною конструкції комплексу є посівна секція, яка обладнана анкерними сошниками різного типу. Сошники мають індивідуальне гідравлічне регулювання глибини сівби, що забезпечує вирівнювану глибину загортання, а отже, – отримання вирівняних і дружних сходів. Анкерні сошники мають вагому перевагу порівняно з дисковими, а саме – при використанні останніх часто проявляється ефект затягування рослинних решток у насінневе ложе. Анкерний сошник позбавлений цього недоліку, що є гарантією надійного контакту насіння з ґрунтом.

Посівні комплекси Mzuri Pro-Till3T і Mzuri Pro-Till4T забезпечують формування й розробку дев'яти та одинадцяти смуг з відстанню між їх центрами 33,3 і 38,4 см відповідно. Ширина оброблюваної смуги – 12 см. Сівалки мають три комплекти сошників для сівби різних культур. Перший комплект сошників дає змогу висівати насіння вузьким рядком, який проходить посередині смуги. Такий варіант прийнятний для сівби ріпака, кукурудзи на силос тощо. Другий комплект сошників забезпечує рівномірну сівбу одразу двох рядів насіння по краю обробленої смуги. Таким чином, відстань між рядками, розміщеними в одній смузі, становитиме 12 см, а між рядками, висіяними на сусідніх смугах, 21 см – після проходження комплексу Mzuri Pro-Till3T і 26 см – після Mzuri Pro-Till4T.

Такі сполучення ширини міжрядь ідеальні для сівби зернових колосових, оскільки кожен рядок має свій крайовий ефект з боку необробленої смуги. Третій комплект сошників також розрахований для сівби зернових колосових культур, оскільки забезпечує рівномірний висів насіння по всій ширині обробленої смуги. Таким чином, насіння висівають смугою 12 см завширшки з відстанню між смугами 21 і 26 см відповідно.

Своє конструктивне рішення для сівби зернових колосових культур за технологією strip-till розробила і німецька компанія HORSCH, яка пропонує аграрному ринку комбінацію машин Focus Pronto для вирощування зернових колосових культур і ріпака. Цей комплекс розробляє смуги 15 см завширшки на глибину від 10 до 30 см з одночасним унесенням добрив. Відстань між стійками глибокорозпушувачів становить 35 см. У подальшому при сівбі можна забезпечити різні варіанти розміщення рослин по площі живлення. Використовуючи для сівби сошники, які формують два рядки по краях смуг, отримуємо комбінований рядковий спосіб сівби з відстанню між рядками в межах оброблюваної смуги 15 см, а між смугами – 20 см. Якщо сівбу проводити сошником, який забезпечує рівномірний розподіл насіння по всій ширині смуги, отримуємо смуговий спосіб сівби із шириною смуги 15 см і відстанню між смугами 20 см. Обидва варіанти добре підходять для сівби насіння зернових колосових культур.

Різновидом технології strip-till є розроблена компанією Claydon Drill технологія opti-till. Вона забезпечує так звану пряму смугову сівбу. Її суть зводиться до того, що глибокорозпушувач, крім власне розпушення ґрунту і внесення добрив, також проводить сівбу насіння. Таким чином, opti-till не передбачає попереднього нарізання смуг, а одразу об'єднує ці операції.

Сівалка Claydon Hybrid-T4 забезпечує якісну сівбу з одночасним розпушуванням смуги і локальним унесенням добрив разом з насінням або в кореневу зону. Ця сівалка забезпечує високоякісну сівбу як в оброблений, так і в необроблений ґрунт.

Робочими органами сівалки є сошники анкерного типу, які здатні висівати насіння навіть на важких і кам'янистих ґрунтах. Насіння можна висівати на глибину від 1 до 7 см. Різні типи лап дозволяють висівати зернові культури з міжряддями 12 і 32 см. Конструкція сошників придатна для внесення добрив разом з насінням безпосередньо в зону його розміщення (рис. 6).



Рис. 6. Лапи агрегату Claydon Hydrid-T4 для одночасного розпушування ґрунту, сівби та внесення добрив у зону висіву насіння

Ураховуючи значне механічне навантаження, спеціальні лапи виготовляють з карбід-вольфраму, що забезпечує зменшення їх зносу під час роботи. Недоліком цього посівного комплексу є обмежена глибина обробітку – максимум 15 см.

2.3. Ключові аспекти технології verti-till

Вертикальний обробіток ґрунту (verti-till) – доволі новий спосіб обробітку ґрунту, який має значні перспективи. З'явився він у США, коли у 2003 р. був представлений перший агрегат для вертикального обробітку ґрунту RTS від компанії Salford. Він поєднав у собі кращі властивості культиватора і дискової борони.

Цей агрегат був здатний працювати з різними рослинними рештками, не забиваючи робочих органів, а також обробляти пересушений, перезволожений та мерзлий ґрунт.

У більшості випадків унаслідок застосування різних знарядь для традиційного обробітку ґрунту утворюються його шари різної щільності (рис. 7).

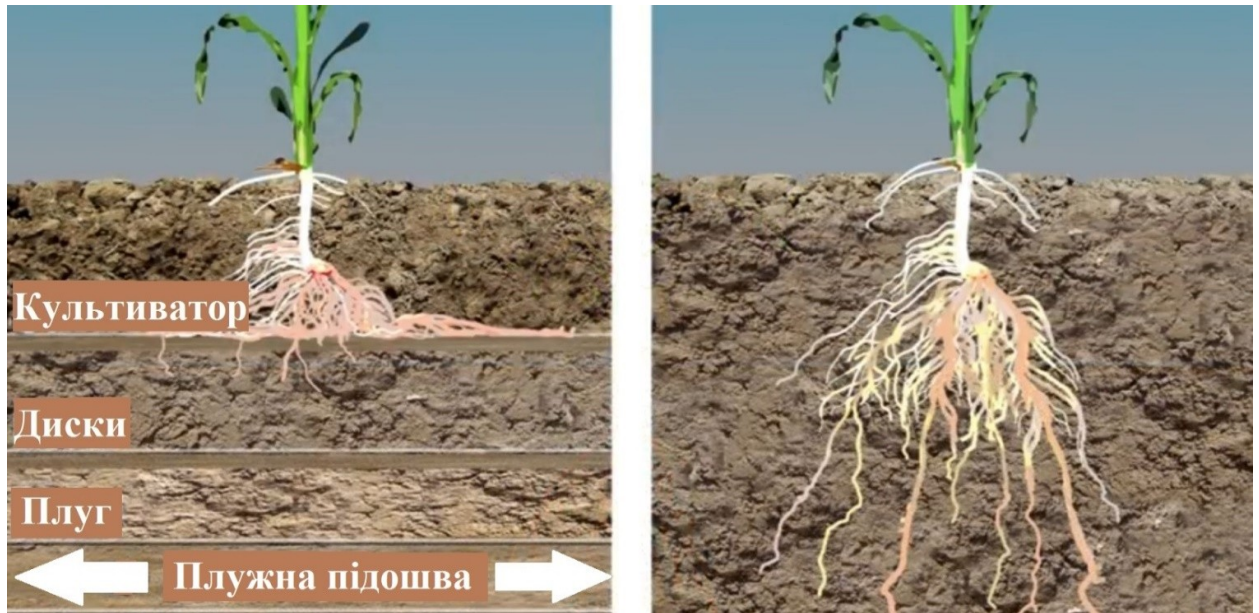


Рис. 7. Ущільнені внаслідок роботи різних агрегатів шари ґрунту і їх негативний вплив на розвиток кореневої системи

Під час руху знарядь для традиційного горизонтального обробітку зсуваються верхні шари ґрунту, що приводить до зменшення щільності лише обробленого шару і до формування ущільнених нижніх шарів ґрунту. Це перешкоджає нормальному росту й розвитку кореневої системи, яка не спроможна проникати глибше від ущільненого шару, як наслідок – рослина не отримує вологу та поживні речовини, зосереджені під цим шаром.

Єдине вирішення цієї проблеми полягає у руйнуванні ущільнених шарів ґрунту. Упоратися з цією проблемою може глибокорозпушувач, який заглиблюється глибше від ущільненого шару і розпушує його за допомогою спеціальних наральників, які розміщені на кінці стійок (рис. 8). Оптимальна робота забезпечується тоді, коли глибокорозпушувач встановлюють на глибину, яка на 5 см глибша від нижнього ущільненого шару. Під час роботи ґрунт перевалюється через наральник, при цьому не виноситься на поверхню ґрунту.

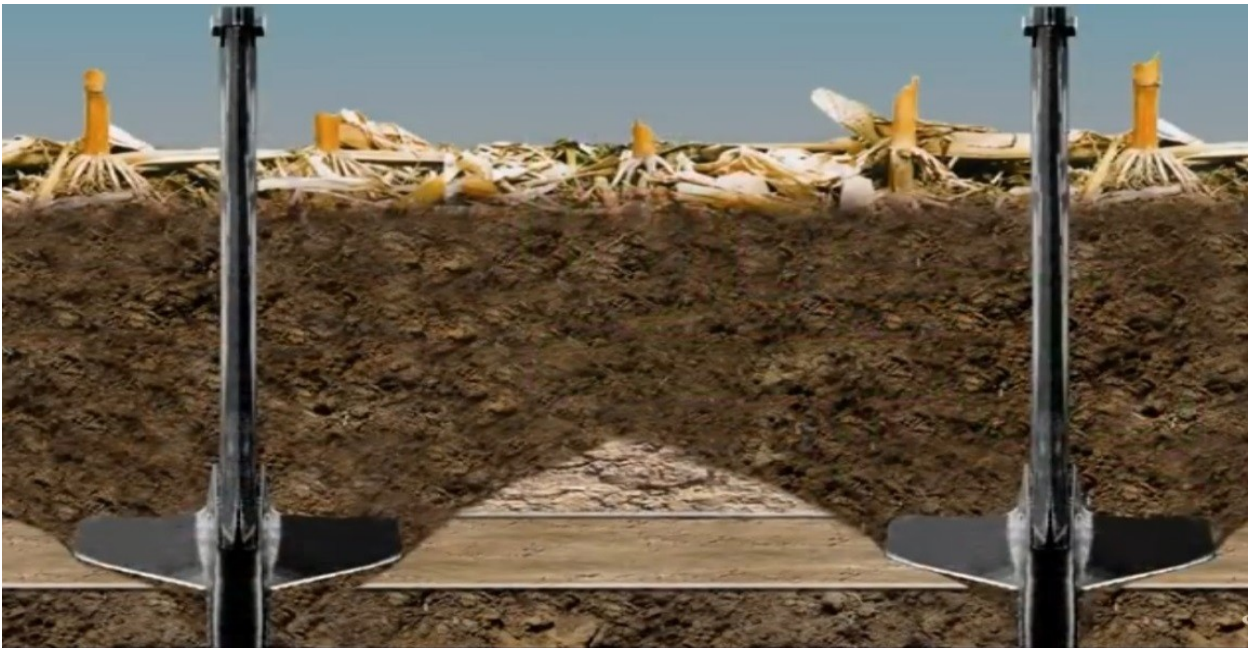


Рис. 8. Руйнування ущільненого шару глибокорозпушувачами

Стійки глибокорозпушувача повинні розташовуватися на одній лінії. Якщо робочі органи розміщені в шаховому порядку, вони не забезпечують однорідного обробітку шару ґрунту у вертикальній площині, хоч це і полегшує роботу агрегату. Також ефективно усуває проблему ущільнених шарів ґрунту комбінований агрегат турбочизель. Він призначений спеціально для вертикального обробітку ґрунту. Під час роботи він розпушує ґрунту на всю глибину обробітку, усуває глибокі ущільнені шари ґрунту і заробляє в ґрунт 50–60 % рослинних решток. Для повного усунення усіх ущільнених шарів ґрунт можна обробити двічі.

Турбочизель є одним з найефективніших знарядь для первинного обробітку ґрунту. Він працює глибше від стандартних чизельних агрегатів, а також дозволяє більш якісно вирівнювати поверхню й обробляти ґрунт, ніж традиційний дисковий розпушувач. Спереду турбочизеля розміщується колтер, який подрібнює рослинні рештки і загортає їх у верхній шар ґрунту на глибину до 12 см. Для вирівнювання поверхні за стійкою чизеля встановлюють причіпну борінку та чопер-коток з різальними секціями, розміщеними під кутом (рис. 9). Це забезпечує якісне подрібнення грудок ґрунту та гребенів після турбочизеля.

Короткі ножі захищають коток від забивання, що вигідно відрізняє його від традиційних котків. Леза, розміщені під кутом, спрямовують ґрунт у порожнини, які утворюються задніми стій-

ками агрегату, що дозволяє якісно вирівнювати поверхню ґрунту. У більшості випадків після такого обробітку достатньо одного проходу фінішним знаряддям, щоб підготувати ґрунт для сівби.



Рис. 9. Чопер-коток (зліва), турбоколтер (у центрі) та аератор ґрунту Aeromaster (справа)

Фінішний обробіток відновленого ґрунтового профілю – це той самий етап, на якому припускаються найбільшій кількості помилок. Коли структура ґрунту відновлена, потрібний особливий догляд, який дозволяє зберегти рівномірну щільність ґрунту. Достатньо одного проходу агрегату, обладнаного культиваторними лапами або чашоподібними дисками, для того, щоб повністю зруйнувати ефект вертикального обробітку ґрунту.

Будь-яке знаряддя, яке виконує горизонтальне переміщення ґрунту, приводить до формування шарів різної щільності. Дія таких машин призводить до ущільнення того шару, який розміщений нижче від рівня роботи агрегату. При цьому відбувається підйом і перевертання верхніх шарів ґрунту. Лише той агрегат, робочі органи якого входять і виходять з ґрунту вертикально, може вважатися справжнім знаряддям для вертикального обробітку ґрунту.

Оптимально підготувати ґрунт для сівби можуть лише ті знаряддя, які об'єднують ключові параметри вертикального обробітку ґрунту і при цьому забезпечують рівномірну глибину обробітку по всій ширині захвату. Для ефективного передпосівного обробітку ґрунту необхідно, щоб усі диски агрегату працювали на

одній глибині, а за ними йшла борінка, яка буде усувати всі нерівності на глибині загортання насіння.

Найякісніший обробіток ґрунту забезпечують агрегати, обладнані одним рядом турбоколтерів, за якими йде ряд турбочоперів. Це забезпечує перехресне подрібнення решток (рис. 10).



Рис. 10. Батарея турбоколтерів із встановленим за нею турбочопером (зліва) і батареї турбоколтерів зі змінним кутом атаки від 0 до 6° (принцип роботи агрегату турбомакс) (справа)

Особливість турбоколтерів полягає у створенні постійної вібрації за принципом відбійного молотка, яка поширюється в більш глибокі шари ґрунту. За рахунок цього в ґрунті залишаються мікросілини, що дає змогу повітрю, воді й корням рослин краще проникати в ґрунту. Турбоколтери якісно подрібнюють рослинні рештки і розміщують їх у шарі ґрунту до 5 см.

Турбоколтери ідеально відповідають концепції вертикального обробітку ґрунту. Їх конструктивні особливості дозволяють реалізувати турбофункцію за рахунок входження вигнутих ножів перпендикулярно до поверхні ґрунту, що гарантує максимальний різальний ефект і постійний контакт з ґрунтом.

Високу ефективність під час передпосівного обробітку ґрунту за концепцією вертикального обробітку також забезпечує агрегат турбомакс (див. рис. 10). Він дозволяє не лише якісно підготувати ґрунт для сівби, а й краще вирівняти поверхню за рахунок функції зміни кута атаки батареї під час руху агрегату.

Поєднання таких властивостей, як видалення бур'янів, покращене подрібнення і якісне загортання рослинних решток робить цей агрегат унікальним для передпосівного обробітку.

Агрегат обладнаний двома батареями з дисками, які розподілені в шаховому порядку, що дозволяє подрібнювати рослинні рештки на шматки розміром до 9,5 см. Кут атаки батареї можна змінювати від 0° до 6°, при цьому диски продовжують працювати у вертикальній площині незалежно від кута атаки батареї.

Під час роботи з турботилом, турбочопером і турбомаксом доцільно використовувати відповідну роторну борінку і коток. Зубці борінки розпушують ґрунт, розбивають грудки і вирівнюють поверхню. Коток, установлений позаду борінки, подрібнює великі грудки й ущільнює поверхню, що забезпечує ефективну підготовку ґрунту для сівби.

2.4. Екологічний no-till: доцільність і перспективи

Перехід на екологічний нульовий обробіток є виправданим з цілого ряду причин. Зокрема, важливим аргументом такого переходу є кон'юнктура ринку, адже населення бажає споживати органічну продукцію. Якщо органічна продукція коштуватиме дорожче від звичайної, зрозуміло, це буде стимулювати аграріїв її виробляти.

Другим аргументом на користь органічної продукції є технології вирощування, розраховані на мінімум з можливого, тобто у випадку, якщо недоцільно витратити кошти на синтетичні добрива і пестициди. Так, одна із співзасновників екологічного землеробства Єва Вальфур науково обґрунтувала та впровадила цю технологію за межами Британії – у Південній Африці та Австралії. Доцільність екологічного землеробства в цих країнах було виправданою, оскільки лімітуючим чинником є волога, якої було недостатньо для отримання високих урожаїв, і природна родючість ґрунту не могла використовуватися повною мірою без неї. Тож у таких умовах не було резону вносити мінеральні добрива, оскільки це призводило лише до зростання витрат на вирощування.

Третім плюсом на користь органічного no-till є контроль шкідників, бур'янів і хвороб. Тобто коли проводять правильно боротьбу зі шкідниками і збудниками хвороб, для них обов'язково залишають рефузії – певні території, де їхні популяції несуть ті гени і ту спадковість, яка ще не зіпсована засобами захисту рослин, тобто вони, так би мовити, перебувають у резервації і несуть гени нестійкості (сприйнятливості) до пестицидів. У подальшому,

змішуючись з популяціями, що вижили після «контакту» і набули резистентності до певних діючих речовин пестицидів, вони знову передають гени нестійкості до цих діючих речовин, і таким чином препарати не втрачають своєї ефективності. У такий спосіб певною мірою вирішується проблема набуття шкідниками і патогенами резистентності. Площами для такої резервації можуть бути поля, на яких запроваджують екологічне землеробство. Такі площі допомагають боротися з резистентністю.

Наступним аргументом на користь органічного землеробства є те, що для боротьби з деякими хворобами і шкідниками ефективних хімічних препаратів просто немає, тому що вони закінчилися або були заборонені в законодавчому порядку. У такому випадку немає сенсу застосовувати засоби захисту рослин, оскільки вони просто не спрацюють.

Є чимало прикладів ефективного контролю збудників хвороб, шкідників і бур'янів, що не передбачають використання пестицидів. Наприклад, є така технологічна система *push-pull*, яка використовується в Африці для захисту рослин кукурудзи одночасно від стеблового метелика та від кореневого паразиту – стриги жовтої з родини *Orobanchaceae*. Стрига (у перекладі – відьма) це той самий варіант вовчка соняшнику, який спеціалізується на кукурудзі та ряді інших зернових культур. Вона схожа з вовчком, однак зі своїми певними особливостями.

Технологічна система *push-pull* вирішує ці дві важливі проблеми шляхом сумісних посівів. Одні рослини стимулюють проростання насіння стриги, однак вона не може на них паразитувати і через деякий час гине, другі – приваблюють корисних комах ентомофагів, які контролюють шкідників, зокрема стеблового метелика, треті – відлякують фітофагів. Деякі рослини які використовуються в системі *push-pull*, є липкими, через що шкідники, потрапляючи на рослину, приклеюються до неї і гинуть.

В Австралії використовують технологію, за якої насіння бур'янів збирають разом з урожаєм зернових культур. Далі на спеціальному обладнанні його відділяють від зерна і вивозять за межі поля або пропускають через млин. Таким чином, насінний банк бур'янів не відновлюється.

Надзвичайно важливе значення для переходу на нульовий обробіток ґрунту відіграють мікроорганізми ґрунту. Вони є носіями корисних речовин, мікроелементів, біологічно активних речовин.

Між культурними рослинами і мікроорганізмами ґрунту існують певні взаємовідносини, які значною мірою впливають на ріст, розвиток рослин, їх стресостійкість до несприятливих погодних умов, здатність протистояти шкідникам і збудникам хвороб.

Сила взаємозв'язку між рослинами і мікроорганізмами, а відповідно, й ефективність впливу мікроорганізмів ґрунту на рослини значною мірою залежить від концентрації корисної мікробіоти в ґрунті, співвідношення корисних і патогенних мікроорганізмів, саме тому ці моменти важливо знати і постійно діагностувати.

Протягом останнього періоду в Україні з'являється все більше спеціалізованих лабораторій, у яких досліджують ґрунт, зокрема діагностують склад, співвідношення й насиченість ґрунту різною мікробіотою. Ідеться не лише про кількість, але й про якісний склад мікроорганізмів ґрунту, тобто які саме види грибів і бактерій у ньому містяться. Зазвичай співвідношення грибів до бактерій у ґрунті за нормальних умов становить близько 1:10. В умовах гострої посухи, екстремальних температур, високої кислотності чи навпаки – лужності ґрунту це відношення змінюється і грибів стає більше, співвідношення досягає 1:3.

За технології no-till виробники сільськогосподарської продукції застосовують ґрунтові гербіциди, інсектициди і фунгіциди, які більшою чи меншою мірою завдають шкоди довкіллю, у тому числі корисним мікроорганізмам, які містяться в ґрунті та на поверхні рослин. Унаслідок застосування фунгіцидів знищуються не тільки патогенні мікроорганізми, а й корисні. Тож знищені корисні мікроорганізми потрібно компенсувати. Вирішити це питання можна шляхом нанесення на поверхню рослин корисних мікроорганізмів, які можна додавати до бакової суміші робочих розчинів добрив. За рахунок великого титру вони будуть залишатися на листках і захищати рослини.

В екологічному no-till особливу увагу слід приділяти обробці насіння. Протруювання насіння дає змогу захистити рослини на ранніх етапах від ураження шкідниками і збудниками хвороб. Водночас, протруйник завдає шкоди і ризосфері навколо насінини. Саме тому для підтримання популяції корисної ризосферної мікробіоти на належному рівні варто поряд з нанесенням протруйників обробляти насіння ризосферними бактеріями, які

стимулюватимуть проростання насіння, а також забезпечуватимуть кращі умови для росту й розвитку рослин.

В екологічному no-till важливу роль відводять саме мікро- та макробіоті ґрунту, яка бере на себе роль «годувальника» рослин, переводячи важкодоступні форми елементів живлення в доступні, стимулюючи розростання кореневої системи рослин, кратно збільшуючи площу поглинальної поверхні коренів за рахунок взаємодії з ендотрофною (везикулярно-арбускулярною) мікоризою, активізуючи фіксацію азоту повітря за рахунок збільшенню вмісту в ґрунті симбіотичних, асоціативних і вільноіснуючих азотфіксаторів.

В екологічному рослинництві однією з альтернатив хімічному захисту рослин від збудників хвороб є мікробіота ґрунту, а також ендofітні асоціації мікроорганізмів, що заселяють поверхню листків і стебел рослин. Значна кількість видів бактерій і грибів ендofітних асоціацій, крім власне захисних функцій, а саме – пригнічення розвитку збудників хвороб, також здатні фіксувати атмосферний азот і «передавати» його рослинам.

Стосовно питання боротьби з бур'янами в екологічному no-till дієвих важелів значно менше, ніж у контролі шкідників і хвороб, однак за правильного підходу (сівозміна, упровадження культур, здатних кореневими ексудатами пригнічувати бур'яни, застосування мікогербіцидів, норма висіву насіння, спосіб сівби, строк сівби, глибина загортання насіння та ін.) це питання також можна успішно вирішувати. В екологічному рослинництві зростає роль культур, здатних пригнічувати бур'яни ексудатами, які рослина виділяє з корневих волосків. Однією з кращих у цьому плані культур є жито озиме, яке за оптимальної густоти рослин ефективно «видавлює» бур'яни і за рахунок корневих виділень, і за рахунок затінення бур'янів потужною надземною вегетативною масою, яка швидко наростає.

В екологічному no-till, як і за традиційного обробітку ґрунту, одним з важелів контролю фітофагів є використання ентомофагів. У цьому плані зростає роль сегетальної рослинності, яка росте навколо поля і може як відлякувати, так і приваблювати хижих комах. Зокрема, для збільшення чисельності ентомофагів у лісосмугах навколо полів доцільно збільшити частку рослин, які тривалий час активно квітнуть і виділяють нектар. Цим вони приваблюють комах, які є природними шкідниками фітофагів. Найкраще для цього використовувати такі культури, як фацелія,

лядвенець, вика, буркун та ін. Водночас ці культури є добрими медоносами.

Перспективним заходом боротьби з бур'янами в системі екологічного no-till може бути ферментація рослинних решток, а відповідно, і насіння бур'янів спеціальними продуктами, здатними суттєво знизити схожість насіння бур'янів та запобігти їх проростанню. Цей захід може посилити боротьбу з бур'янами, крім того, застосовувані для цього препарати є екологічно чистими, тож повністю підходять для екологічного no-till. Проведені в ряді господарств дослідження показали, що після обробки рослинних решток такими препаратами, падалиця була відсутня, окрім того, значно зменшувалася забур'яненість посівів наступних культур сівозміни.

У системі екологічного no-till виникають певні труднощі в питанні заробки рослинних решток і органічних добрив у ґрунт, зокрема стосовно того, як саме уносити. Відповідь на це питання є, проте технологічно це здійснити важко, оскільки потрібна спеціальна техніка, а також додаткові витрати. Зокрема, пташиний послід потрібно гранулювати, після чого в такому вигляді його легко вносити в ґрунт. Компост також можна гранулювати і вносити поверхнево. У США винайшли спосіб унесення органічних добрив у ґрунт за допомогою спеціальних аплікаторів, які не порушують ґрунт.

Уносячи органіку, потрібно усвідомлювати певні ризики, а саме – можливість унесення разом з органікою паразитичних грибів і бактерій, які можуть витіснити з екологічних ніш сапрофітні мікроорганізми. Як наслідок, порушується нормальний цикл розкладання рослинних решток, відбувається мінералізація гумусу, зменшується вміст лабільної речовини в ґрунті, зростає концентрація фітопатогенної мікрофлори в ґрунті та ін. Таким чином, будь-яка органіка, яку вносять на поверхню поля або в ґрунт, обов'язково має пройти цикл ферментації, обробки, компостування.

Витоки екологічного (органічного) землеробства і його концепція сягають ще 30-х років минулого сторіччя. Сутність його базувалася на поверненні органіки в ґрунт. У цей період дослідник Альберт Говард запровадив у Європі індійські технології переробки відходів, тобто компостування різних видів органіки гарячим і холодним методами, які і досі широко використовують не лише в органічному землеробстві.

Власне під поняттям «органічне землеробство» його засновники розуміли не використання виключно органічних продуктів та відмову від неорганічних і обов'язкове повернення органіки в ґрунт, а мали на увазі природний підхід, тобто такий, що органічно вмонтований, інтегрований і займає правильне місце. У ширшому розумінні органічне землеробство – це така система, яка максимально точно вбудована в навколишній світ, є його складовою частиною і не призводить до порушення природних зв'язків екосистеми. Ця система не ставить за мету змінити щось примусово, а передбачає гармонійне співіснування рослин з природною екосистемою і використання її джерел для забезпечення рослин вологою та поживними речовинами, для захисту від збудників хвороб, шкідників і бур'янів. Саме з цього погляду органічне землеробство викликає інтерес.

На відміну від органічного no-till, класичне органічне землеробство передбачає механічний вплив на ґрунт. До того ж механічний обробіток ґрунту – оранка, глибоке розпушування, культивація, дискування тощо – є основним інструментом поліпшення фізичних параметрів ґрунту, боротьби з бур'янами, шкідниками та хворобами. Проте механічний обробіток не є єдиним заходом підтримання належного фітосанітарного стану в посівах. Альтернативою йому є так званий умовно хімічний метод. Зокрема, в органічному землеробстві допускається застосування контактних гербіцидів на основі оцтової або лимонної кислоти, які завдають опіків рослинам і в такий спосіб ефективно борються проти широколистих дводольних бур'янів. Також допускається застосування гербіцидів на основі ефірних олій, однак їх поширення стримується високою вартістю – близько 200 дол./га.

Боротьба з бур'янами, особливо багаторічними, є одним з найважливіших викликів в екологічному no-till, оскільки його концепція не передбачає знищення бур'янів гербіцидами, адже це суперечить філософії «органік». Завдання полягає у вирощуванні здорового врожаю.

У боротьбі з бур'янами в системах органічного no-till перспективним є застосування мікогербіцидів. Доцільність їх використання з погляду ефективності боротьби з бур'янами вивчається вже достатньо довго. За цей час доведено їх високу ефективність, проте поки є ряд перешкод для широкого їх застосування, зокрема – вузький спектр дії, оскільки в широкому

розумінні мікогербіцид – це конкретна грибна хвороба для конкретного виду бур'яну.

Ще у 60-х рр. минулого століття були спроби створення таких препаратів. Напрацювань у цьому питанні дуже багато, однак і досі спектр комерційних продуктів достатньо вузький, крім того, в Україні вони фактично невідомі. Навіть у США, Китаї, Японії і країнах ЄС асортимент мікогербіцидів на ринку обмежується трьома-п'ятьма препаратами, які через вузьку спеціалізацію не здатні ефективно вирішувати проблему забур'яненості. Як правило, знищується один або кілька видів бур'янів, однак інші нормально розвиваються і конкурують з посівами сільськогосподарських культур.

Проблемою є також тривале очікування дії мікогербіцидів, тоді як гербіциди працюють достатньо швидко. Навіть ті з них, які викликають загибель бур'янів через один-два тижні, «паралізують» їх достатньо швидко, після чого бур'яни вже фактично не є конкурентами для культурних рослин, оскільки не здатні поглинати вологу і поживні речовини, або ці процеси значно уповільнені.

У свій час у США намагалися створити спеціалізовані мікогербіциди для боротьби з вовчком. Нині в Китаї і США випускають мікогербіциди для боротьби із цим бур'яном. Однак значним їх мінусом є вузька спеціалізація та ймовірність зміни господаря, тобто об'єкта ураження. У разі відсутності інших бур'янів таким господарем теоретично може стати культурна рослина.

Сьогодні у світі дедалі більшого поширення набувають препарати на основі витяжки різних рослин, які пригнічують ріст і розвиток бур'янів. Поширюється застосування комах-біофагоцидів, які живляться рослинною масою певних бур'янів і в такий спосіб знищують їх. Водночас питання застосування біофагоцидів розглянуто ще недостатньо, тож потрібне їх досконале вивчення, щоб бути впевненим, що комахи за відсутності чи незначної кількості «їжі» не перекваліфікуються на поїдання культурної рослини.

Перспективними в органічному no-till є мікробні препарати на основі патогенів, які уражують бур'яни і викликають їхню загибель. Проте тут є також певна небезпека, оскільки немає гарантії, що певні патогени не будуть уражувати культурні рослини. Тож у світі продовжуються дослідження в цьому напрямі. Є світова асоціація біологічного контролю, яка їх координує.

Одним з ефективних заходів боротьби з бур'янами в системах екологічного no-till є посилена боротьба з ними в перехідний період, тобто під час переходу від класичного до нульового обробітку ґрунту. Тоді проводиться інтенсивне знищення бур'янів за допомогою механічних обробіток. Цей період у середньому триває три роки. Саме в цей час є можливості для цілеспрямованого видалення бур'янів.

Тривалість переходу на no-till, як і вибір видів механічного обробітку залежить від стану конкретного поля. Є поля вирівняні, нормальної щільності, але є і невирівняні поля з ущільненими ґрунтами внаслідок проходження важкої техніки. Звичайно, у першому випадку можна відразу переходити на no-till, а в другому – потрібний певний підготовчий період для вирівнювання поверхні, розпушування ґрунту, руйнування плужної підшви після проходження плуга, дисків, культиваторів. В окремих випадках застосовують навіть глибокорушувач. Протягом перехідного періоду поряд з поліпшенням фізичних показників ґрунту і вирівнюванням поверхні поля потрібно зосередити увагу саме на знищенні багаторічних бур'янів. Після їх «вибивання» поле переходить на no-till.

Проблема ущільнення ґрунту при no-till, особливо на важких ґрунтах, є ключовою. Після проходження техніки, у якій тиск на одну вісь становить близько 5 т, ґрунт ущільнюється на глибину до 50–70 см, і це триває протягом восьми років. У кожному конкретному випадку для вирішення цієї проблеми вживають певних заходів. Перспективним є запровадження технологічних колій для проходження сівалки, оприскувача та комбайна. Наприклад, в Австралії на площах під no-till значного поширення набула система *control-traffic*, суть якої полягає в тому, що вся техніка рухається по одній і тій самій колії, не виходячи за її межі. При цьому втрачається близько 10–12 % площі поля, але інші 88–90 % не переущільнюються.

Покращувати фізичні параметри ґрунту можна також шляхом правильної організації сівозміни, за якої його насичують культурами із стрижневою кореневою системою. Після розкладання коренів у порожнини потрапляє волога, яка в зимовий період під час промерзання ґрунту замерзає, унаслідок чого відбувається природне розпушування ґрунту. За цим же принципом ґрунт розущільнюють дощові черв'яки. У процесі своєї життєдіяльності вони змушені постійно рухатися в ґрунті і пропускати його через

себе, щоб добувати їжу. Один черв'як за сезон переміщується в ґрунті, залишаючи після себе «тунель» завдовжки 10 м. Тож популяція зі 100 дощових черв'яків на 1 м² робить таких «тунелів» загальною відстанню 1 км! У них потрапляє волога, яка періодично замерзає і розмерзається в зимовий період, що забезпечує розпушування ґрунту.

Радикальним заходом розпушування ущільнених ґрунтів за технологією no-till є глибоке їх розпушування. На важких, ущільнених ґрунтах, на яких запроваджується нульовий обробіток ґрунту, іноді вдаються до такого «непопулярного» заходу, щоб на певний період (три-п'ять років) створити необхідні агрофізичні параметри ґрунту для вирощування сільськогосподарських культур.

Оскільки в органічному no-till основну загрозу становлять саме шкідники, хвороби та бур'яни через відмову від проведення механічного обробітку та обробки посівів засобами захисту рослин, потрібно використовувати всі наявні напрацювання в цьому напрямі. Тут важливого значення набуває обробка рослинних решток екологічно безпечними препаратами, які ефективно знищують патогени. Такими препаратами є, зокрема, деструктори стерні, розроблені спеціально для технології no-till. Їх роль полягає не стільки в розкладанні стерні (у системі no-till не стоїть завдання швидко її розкласти), скільки в знищенні збудників хвороб. Наприклад, обробка рослинних решток біодеструктором «Екостерн» забезпечує ефективне знищення збудників сажкових хвороб.

Знищення збудників хвороб, крім поліпшення фітосанітарного стану і зменшення загрози ураження майбутніх посівів, також забезпечує збереження поживних елементів, оскільки патогенні мікроорганізми при переробленні рослинних решток споживають мінеральні елементи, що акумульовані в них, насамперед азот, тоді як корисні сапрофітні мікроорганізми під час розкладання рослинних решток залишають його у ґрунті. Саме тому помилково вважати, що внесення лише азоту в потрібній кількості є альтернативою біодеструктору для мінералізації рослинних решток, оскільки так можна лише стимулювати розвиток патогенної мікрофлори, яка витісняє сапротрофні мікроорганізми і споживає мінеральні елементи, акумульовані в рослинних рештках.

В екологічних технологіях вирощування, зокрема в екологічному no-till, значно зростає роль бактерій-фосфатмобілізаторів для переведення великих запасів нерозчинних сполук фосфору в дос-

тупні. Окремої категорії каліймобілізаторів не існує, але ті ж самі бактерії-фосфатмобілізатори і силікатні бактерії також здатні переводити цей важливий для рослин елемент у доступну форму.

Однією з ключових складових технології екологічного no-till є передпосівна обробка насіння корисними грибами і бактеріями, які забезпечують краще проростання насіння, захист проростків і рослин, постачають рослинам недоступну для них вологу, переводять нерозчинні сполуки фосфору та калію в доступні для рослин форми, фіксують атмосферний азот, віддаючи його рослинам. Крім того, препарати на основі мікоризоутворювальних грибів, бактерій-азотфіксаторів і фосфатмобілізаторів, крім прямої дії на рослини, сприяють покращанню родючості ґрунту, поліпшенню його фітосанітарного стану, підвищенню вмісту гумусу та лабільної речовини ґрунту.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність технології no-till?
2. У яких районах запроваджувати технологію no-till більш доцільно?
3. Що передбачає нульовий обробіток ґрунту?
4. Які екологічні та економічні переваги має нульовий обробіток ґрунту порівняно з традиційним?
5. Назвіть основні мінуси нульового обробітку ґрунту.
6. У чому полягає сутність технології strip-till?
7. Назвіть передумови виникнення технології смугового обробітку ґрунту.
8. У яких країнах світу і регіонах України поширена технологія смугового обробітку ґрунту?
9. Яким чином відновлюється екосистема ґрунту в оброблених смугах?
10. Назвіть основні переваги технології strip-till порівняно з нульовим обробітком ґрунту.
11. Чому смуговий обробіток ґрунту показує високу ефективність для вирощування озимих колосових і ріпака озимого?
12. Назвіть основні ключові аспекти технології mini-till.
13. Назвіть і аргументуйте основні переваги технології strip-till.
14. Які недоліки можна виділити в технології смугового обробітку ґрунту?

15. Які технологічні операції передбачає технологія смугового обробітку ґрунту за річний цикл польових робіт?
16. На які категорії поділяють агрегати для смугового обробітку ґрунту і в яких випадках їх застосовують?
17. Назвіть функції основних вузлів секцій середніх і важких агрегатів для смугового обробітку ґрунту.
18. Які світові бренди спеціалізуються на виробництві сільськогосподарської техніки для технології strip-till?
19. Яким чином вирішують питання запровадження смугового обробітку ґрунту при вирощуванні зернових колосових культур?
20. У чому полягає сутність технології opti-till і чим вона відрізняється від технології смугового обробітку ґрунту?
21. Назвіть ключові аспекти вертикального обробітку ґрунту. Які вона має перспективи до широкого впровадження?
22. Що стає причиною утворення так званої плужної підшви, як вона впливає на рослини та екосистему ґрунту?
23. Які технологічні рішення застосовують для руйнування плужних підшв?
24. Назвіть головні аргументи на користь органічного no-till.
25. Охарактеризуйте технологічну систему *push-pull*.
26. Яку роль відведено біоті ґрунту в екологічному нульовому обробітку ґрунту?
27. Назвіть технологічні рішення боротьби з бур'янами в екологічному нульовому обробітку ґрунту.
28. Що спільного і відмінного між органічними no-till і класичним органічним землеробством?
29. Яким чином можна вирішувати проблему ущільнення ґрунтів у системах нульового обробітку?

3. ДЖЕРЕЛА ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ В ЕКОЛОГІЧНОМУ РОСЛИННИЦТВІ

3.1. Екологічні наслідки внесення необґрунтовано високих доз мінеральних і органічних добрив

Зростання обсягів світового виробництва мінеральних добрив (протягом останнього періоду річна вартість вироблених в усьому світі мінеральних добрив перевищує 130 млрд дол.) зумовлює зміни в біогеоценозах. Більшою мірою ці процеси відзначають у провідних аграрних країнах, де вносять високі норми мінеральних добрив. В Україні щорічно вносять близько 4,5 млн т мінеральних добрив (у 2022 і 2023 рр. – 2,9 і 2,7 млн т відповідно), що в перерахунку на 1 га становить близько 40–45 кг. Світовими лідерами за рівнем унесення мінеральних добрив з розрахунку на 1 га є Японія – понад 300 кг/га, Великобританія – близько 250 кг/га та Німеччина – понад 220 кг/га. Більша частка з цієї кількості припадає на азотні добрива, а саме – на нітрат амонію та КАС.

Унесення незбалансованих норм мінеральних добрив, насамперед азотних, призводить до збільшення вмісту нітратів у ґрунті, підґрунтових водах, поверхневих стоках та у зібраній продукції. Чим більше помилок припускаються при розрахунках доз добрив, виборі їх форм, строків і способів внесення, тим більші непродуктивні їх втрати з відповідними економічними і екологічними наслідками. За підрахунками науковців, лише 55 % азоту використовується за призначенням – споживається рослинами, решта промивається в ґрунт або втрачається через денітрифікацію.

Мінеральні добрива негативно впливають на екосистему ґрунтів, і чим більші їх дози, тим більшим є цей вплив. За високих доз добрив рослини гірше взаємодіють з мікоризою ґрунту, через

що відмічається її гірший розвиток і зменшення популяції. Причиною цього є «небажання» рослин ділитися продуктами фотосинтезу з мікоризою, від якої вона отримує поживні елементи. Добрива віддають рослині елементи мінерального живлення, при цьому, на відміну від мікоризи, нічого не вимагають взамін.

Якщо в господарствах є можливість унесення органічних добрив, потрібно правильно їх уносити у комплексі з мінеральними добривами. Незбалансованість між ними негативно впливає на екосистему ґрунту. Стосовно ризиків від унесення мінеральних добрив відомий науковець, академік М.К. Шикула відмічає, що в разі, якщо на 1 т внесених органічних добрив припадає понад 15 кг діючої речовини мінеральних добрив, починається затухання ґрунотворного процесу й уповільнення гуміфікації, а при співвідношенні понад 20 кг діючої речовини мінеральних добрив на 1 т гною можуть розпочинатися процеси дегуміфікації ґрунтів.

За високого вмісту нітратного азоту коренева система бобових культур повільно вступає в симбіоз із симбіотичними азотфіксаторами, формуються неактивні бульбочки, тобто агропромисловці самі відмовляються від безкоштовного екологічного азоту, якого за рахунок активної роботи бульбочкових бактерій може акумулюватися до 80 кг на 1 га. При цьому у звільнені екологічні ніші «потрапляють» фітопатогенні мікроорганізми, які вражають рослини, знижуючи їхню врожайність і якість продукції.

Серед наявних добрив найбільшу кількість баластних речовин, у тому числі токсичних елементів і сполук, мають фосфорні добрива. При виробництві добрив з фосфорних руд переважна частина токсичних елементів переходить у готовий продукт. Зокрема, при одержанні суперфосфатів у готовий продукт переходить увесь кадмій, а при виробництві фосфорної кислоти – понад 60 % кадмію. Аналогічна ситуація і з фтором. Зокрема, близько 60–80 % цього елемента, що надходить з фосфатною кислотою, залишається в добривах. Одна тонна фосфорних добрив у середньому містить 34 г свинцю, 121 г хрому, 92 г нікелю, 3 г кадмію. У суперфосфаті простому вміст фтору може сягати 1,5 %, а в амофосі – до 3,5 %. Вміст баластних домішок, у тому числі важких металів, в азотних і калійних добривах дещо менший.

Токсичні елементи, які надходять у ґрунт з фосфорними добривами, під впливом комплексу чинників беруть участь в іонообмінних реакціях, переходячи з однієї форми в іншу. Вони

утворюють небезпечні органо-мінеральні сполуки, які у великій кількості різко знижують польову схожість насіння, уповільнюють ріст і розвиток рослин, зумовлюють значне зниження врожайності та якості продукції.

Здоровий ґрунт здатний розкласти токсичні сполуки. Зокрема, відомо, що псевдомонади і кліщі-орібатиди здатні нейтралізувати навіть стійкий хлорорганічний інсектицид – дихлордифенілтрилор-метилметан, більш відомий як ДДТ. Ряд бактерій спроможні розщеплювати хлорофос і фозалон. При цьому ефективність нейтралізації токсичних сполук залежить від умов їхнього існування в ґрунті (кількості органіки, температури ґрунту, вмісту вологи та ін.).

3.2. Накопичення поживних елементів у ґрунті

Накопичення поживних елементів у ґрунті відбувається переважно за рахунок мінералізації органічних складових і рослинних решток (амоніфікація, нітрифікація), азотфіксації та розкладання мінеральних речовин мікроорганізмами. Унесені органічні добрива теж мінералізуються з утворенням солей.

Показником родючості ґрунту є гумус, який являє собою комплекс відносно стійких органічних речовин, що перебувають у тісному зв'язку з мінеральними речовинами. Гумус представлений двома групами сполук – негуміфікованими органічними речовинами і специфічними органічними речовинами.

Основну частину гумусу складають специфічні органічні (гумусові) речовини, вміст яких становить 80–90 %. Гумусові речовини представлені високомолекулярними азотовмісними сполуками, які поділяють на гумінові кислоти, фульвові кислоти і гумін.

Гумінові кислоти містять близько 50–62 % вуглецю, 30–39 % кисню, 2,5–5,8 % водню і 2,6–5,1 % азоту. Також до складу гумінових кислот у незначній кількості входять фосфор, сірка, алюміній, залізо, марганець та інші хімічні елементи, які не є постійними елементами, а приєднуються і від'єднуються в результаті хімічних реакцій.

Гумінові кислоти відіграють надзвичайно важливу роль у процесах ґрунтоутворення, зумовлюючи поглинальні властивості ґрунтів стосовно до катіонів, взаємодію з іншими компонентами гумусу, мінеральними елементами та добривами.

Вступаючи в реакцію з катіонами лужних металів, гумінові кислоти утворюють солі – гумати. Гумати калію, натрію та амонію добре розчиняються у воді і легко промиваються в ґрунті опадами. Гумати лужноземельних металів не розчиняються у воді, тому утворюють водостійкі сполуки і добре закріплюються в ґрунті.

Фульвокислоти є сумішшю менших за розмірами, добре розчинних у воді органічних кислот. Порівняно з гуміновими кислотами, вони містять менше вуглецю – 44–50 %, але значно більше водню – 4,5–6,0 % і майже вдвічі більше кисню – 42–48 %. Вміст азоту варіює від 2,5 до 5,5 %.

Свою назву вони отримали через жовтуватий колір, з латинської *fulvus* перекладається як жовтий. Дійсно, у чистому вигляді вони мають жовтий, рідше помаранчевий або червоний колір. У слабких розчинах вони набувають світло-жовтого забарвлення, а в концентрованих – коричнювато-жовтого.

У теперішній час під фульвокислотами розуміють кислоторозчинну частку гумінових речовин. Вони добре розчиняються у воді, мають дуже кислу реакцію, тому здатні руйнувати мінеральну частину ґрунту і впливати на процеси ґрунтоутворення, а саме – на підзолоутворення. Взаємодіючи з катіонами лужних і лужноземельних металів, фульвокислоти утворюють солі, які легко розчиняються у воді і можуть промиватися крізь шари ґрунту.

Відношення гумінових кислот до фульвокислот у гумусі неоднакове. Родючішими вважаються ґрунти, у гумусі яких міститься більше гумінових кислот. Так, у родючих чорноземах у складі гумусу переважають гумінові кислоти, у дерново-підзолистих ґрунтах – фульвокислоти.

Гуміни – це лужно-нерозчинна фракція органічної речовини ґрунту, що не розчиняється у воді за будь-якого рН. Гуміни складаються з гумінових кислот і фульвокислот, зв'язаних з мінеральною частиною ґрунту, перш за все з глинистими частинками.

Друга група сполук гумусу – *негуміфіковані органічні речовини* – є складовою частиною рослинних решток. До цієї групи належать білки, амінокислоти, лігнін, моносахариди, олігосахариди, полісахариди, карбонові кислоти, жири та інші сполуки. Вміст цих речовин у гумусі становить близько 10–15 %.

Гумусові речовини мають важливе значення і для рослин, і для ґрунтів. Звичайно, більший вміст гумусових речовин у ґрунті свідчить про вищу його родючість. Чим більший вміст гумусу, тим

кращі умови для формування екосистеми ґрунту, тим активніше відбуваються біологічні і біохімічні процеси.

Гумус – важливий фактор ґрунтоутворення. Гумусові речовини покращують фізичні, хімічні і біологічні властивості ґрунтів. Поступово мінералізуючись, вони збагачують ґрунт елементами мінерального живлення, забезпечуючи підвищення його родючості.

Переважає більшість азоту і сірки, а також близько половини фосфору, які є в ґрунті, містяться саме в гумусі. Значна частина представленого в ґрунті кальцію, калію, магнію та заліза також міститься в гумусі. Гумус запобігає ретроградації фосфору, зберігаючи його в доступному для рослин стані. Унаслідок окислення гумусу вуглець вивільнюється у вигляді вуглекислого газу, який сприяє розчиненню ряду мінеральних сполук ґрунту, після чого вони легше засвоюються рослинами.

Вміст гумусу і його склад є показником здоров'я ґрунту. Його роль особливо зростає при переході на екологічні системи вирощування польових культур. Пріоритетним завданням при цьому є вживання заходів для збільшення вмісту гумусу в ґрунті, адже за останні 30 років нам «вдалося» зменшити вміст гумусу з 3,36 до 3,07 %. Частина ґрунтів України з низьким і дуже низьким вмістом гумусу поступово зростає і нині становить майже 18 %. При цьому відновлення гумусу – дуже складний і тривалий процес, який може відбуватися лише за певних умов природним шляхом. Синтезувати його штучними методами в лабораторії неможливо.

Процес гумусоутворення відбувається шляхом трансформації органічної складової ґрунту (рослинних решток, залишків тварин, макро-, мезо- та мікробіоти ґрунту) в гумусові речовини. Тобто компоненти органічної складової ґрунту є першоджерелами хімічних елементів, з яких будуються молекули гумусових кислот.

Характер і швидкість утворення гумусу залежать від ряду чинників, а саме:

- складу органічної речовини. Найшвидше розкладаються корені та листки рослин;
- видового складу мікрофлори; чим різноманітніші та рухливіші ґрунтоутворні мікроорганізми, тим швидше розкладається доступна органіка ґрунту;
- фізико-хімічних властивостей ґрунтів. Оптимальні умови складаються за обмеженого доступу кисню, вологості ґрунту на рівні 60–80 % і температури від 15 до 25 °С.

3.3. Вплив ґрунтової біоти на родючість ґрунту

Крім органічних решток, залишків відмерлих тканин і мінералів, до органічної складової ґрунту відносять ряд дрібних організмів, які також відіграють важливу роль у процесах ґрунтоутворення, впливають на ріст і розвиток посівів сільськогосподарських культур. Залежно від розмірів ці організми поділяють на три таких групи: мікробіота (найдрібніші), макробіота (найкрупніші) і мезобіота (середнього розміру).

Мікробіота ґрунту представлена бактеріями, грибами, найпростішими організмами і ґрунтовими водоростями. До мезобіоти ґрунту належать дрібні личинки комах, кліщі, нематоди, колемболи (подури) й інші дрібні комахи. Макробіота ґрунту представлена дощовими черв'яками, слимаками, комахами та ін.

Здорові родючі ґрунти містять величезну кількість цих живих істот. Лише в 1 г ґрунту може бути 1 млрд різних видів бактерій, 15 млн актиноміцетів, 1 млн грибів, понад 200 тис. ґрунтових водоростей, у перерахунку на 1 га їхня маса може перевищувати 20 т. Кількість дощових черв'яків на 1 м² здорових ґрунтів може становити понад 300 шт. У перерахунку на 1 га – це понад 3,0 млн шт. загальною масою близько 3 т.

Джерелом гумусу є також шкідники і збудники хвороб. Водночас для людини вони небажані елементи, проте в природі таких категорій, як «корисний» або «поганий», не існує. Кожна істота виконує свою певну функцію в складній системі трофічних зв'язків.

Уся ця величезна армія ґрунтових «мешканців», починаючи від бактерій і закінчуючи черв'яками, працює на оздоровлення ґрунтів, виконуючи відповідні функції. При цьому конструктивно працювати вона може в тому разі, якщо зустрічає з нашого боку «розуміння». У разі непоміркованого втручання з боку людини – застосування пестицидів, мінеральних добрив, глибокої оранки з обертанням пласта, спалювання стерні, унесення аміаку тощо, екосистема ґрунту зазнає нищівного удару, чисельність ґрунтової біоти різко зменшується, що призводить до вповільнення ґрунтоутворних процесів. І чим сильніше таке необдумане втручання з боку людини, тим відчутнішим є цей удар.

У шарах ґрунту мікроорганізми розподілені нерівномірно. Найбільша їхня кількість розосереджена в шарі ґрунту 10–20 см. У

верхньому шарі ґрунту 0–10 см їх значно більше, ніж у шарі 20–30 см. Бактерії-аероби розміщуються в самому верхньому шарі до 10 см, анаеробні бактерії здебільшого перебувають у шарі ґрунту 20–30 см, гриби заселяють весь орний шар, причому найбільше їх у шарі 10–30 см. При цьому вища концентрація мікроорганізмів завжди буде навколо коренів рослин.

Коротко ознайомимося з представниками мікробіоти ґрунту і їхніми основними функціями.

Бактерії – найчисленніші представники ґрунтової біоти. На 1 м² в шарі ґрунту 0–30 см їх може бути 300 трлн (3×10^{14}) і більше. Їхня роль полягає в розкладанні безазотистих органічних сполук, білків і сечовини, здійсненні азотфіксації та нітрифікації, переведенні недоступних для рослин сполук фосфору і калію в доступні для засвоювання форми.

Актиноміцети – порядок бактерій, здатних в оптимальних умовах формувати розгалужений міцелій. Вони можуть становити до 30 % усієї мікрофлори ґрунту. Найбільше їх на ґрунтах з великою кількістю рослинних решток. Їх основною функцією є розкладання рослинних решток і залишків тварин. Актиноміцети мають багатий ферментативний апарат, який дозволяє їм мінералізувати важкорозчинні органічні сполуки. Крім того, актиноміцети відіграють важливу роль у підтриманні біологічної рівноваги в ґрунті, а саме – продукують антибіотики, які пригнічують збудників хвороб.

Нижчі гриби – третя за чисельністю «армія» мікроорганізмів ґрунту. На 1 м² у шарі ґрунту 0–30 см їхня кількість може перевищувати 300 млрд (3×10^{11}) шт. Вони становлять до 3 % усієї мікрофлори ґрунту. Гриби переробляють целюлозу і лігнін, виробляють гумусові речовини, окислюють сірку. Надзвичайно важлива роль грибів, здатних вступати в симбіоз з рослинами й утворювати ектотрофну мікоризу, яка стимулює ріст і розвиток рослин, забезпечує їх поживними елементами та вологою, захищає від хвороб.

Дощові черв'яки розпушують і знезаражують ґрунт, поліпшують його водопроникність, структуру й агрегатний склад. У процесі життєдіяльності вони виробляють копроліт, у складі якого міститься до 20 % гумусу.

Ґрунтові водорості – це сукупність різних екологічних груп водоростей: наземних, водно-наземних і власне ґрунтових. За сприятливих умов у поверхневому шарі ґрунту кількість

водоростей в 1 г ґрунту може досягати 200 тис. шт. і більше. Вони беруть активну участь у багатьох біохімічних процесах, покращують фізичні властивості ґрунту. Основними функціями водоростей є накопичення органічної речовини та азоту, деструкція мінералів, перерозподіл і накопичення елементів.

Найпростіші (*Mastigophora, Ciliophora, Sarcodina*) – одноклітинні мікроорганізми діаметром від 5 до 500 мкм, які здебільшого живляться бактеріями, розчинними органічними сполуками, іншими найпростішими і грибами. Основна їх частина міститься в ґрунті на глибині до 15 см. Найпростіші беруть участь у мінералізації поживних елементів, регулюванні кількості бактерій і популяції водоростей, допомагають підтримувати екологічний баланс у ґрунті, пригнічують розвиток фітопатогенів. Крім того, вони самі є джерелом їжі для інших представників ґрунтової біоти.

Коренева система рослин також відіграє важливу роль у процесах ґрунтоутворення, формуючи ризосферу – найбільш активну біологічну зону ґрунтового профілю, у якій створюються оптимальні умови для існування ґрунтової біоти.

Хребетні (миші-полівки, ховрахи, кроти та ін.) подрібнюють рослинні рештки, роблячи їх більш доступними для мінералізації та гуміфікації, поліпшують структурні і фізичні параметри ґрунтів, після смерті самі стають джерелом органіки для ґрунтових мікроорганізмів.

Жуки покращують фізичні параметри ґрунтів, сприяють його розпушуванню та аерації. Після закінчення життєвого циклу забезпечують органікою ґрунтову біоту.

Личинки комах подрібнюють рослинні рештки, поліпшують структуру ґрунту. Їхні відходи є субстратом для мікроорганізмів.

Нематоди (круглі черви) – несегментовані черви з конічними кінцями діаметром близько 50 мкм і завдовжки 1–2 мм. Найбільш поширені біля поверхні ґрунту. Нематоди живляться бактеріями, грибами, рослинами, ґрунтовими водоростями, а також іншими нематодами. Як і найпростіші, нематоди беруть участь у мінералізації поживних елементів. Самі нематоди є джерелом їжі для хижаків вищих рівнів, включаючи хижих нематод і ґрунтових комах.

Колемболи (подури) відіграють важливу роль у ґрунтоутворних процесах. Вони розкладають рештки рослин і залишки тварин з утворенням гумусу та мінеральних сполук.

Слимаки, пересуваючись у ґрунті, насичують його органікою, покращують структуру, водопроникність, аерацію.

Для того, щоб «армія ґрунтових мешканців» ефективно працювала, забезпечуючи активізацію процесів гуміфікації і відтворення родючості ґрунту, їй потрібна достатня кількість органічної сировини. Тож необхідно формувати певні резерви органіки, і це не обов'язково мають бути органічні добрива. По-перше, їх може не бути, по-друге, слід прораховувати фінансову складову, оскільки внесення гною передбачає значних фінансових вкладень.

«Безкоштовним» джерелом органіки є нетоварна частина врожаю: солома, надземні рештки і корені рослин. Вагомим резервом живлення для ґрунтових мікроорганізмів є запровадження сидеральних парів і покривних культур. Крім власне джерела органіки, запровадження сидеральних парів і покривних культур дозволяє вирішувати цілий ряд інших функцій, які сприяють вирішенню питання збереження і підвищення родючості ґрунтів, переходу на екологічні форми вирощування польових культур.

Сидеральні пари і покривні культури є постійно поновлюваним джерелом надходження органіки в ґрунт. Для росту й розвитку вони забирають з ґрунту не більше 10 % поживних речовин, а все інше отримують у результаті поглинання сонячної енергії. За своєю ефективністю сидерати і покривні культури перевершують аналогічну масу перепрілого гною. Отримати врожайність біомаси рослин на рівні 20 т/га – це рівнозначно внесенню 30 т/га гною. При цьому витрати на таке внесення значно менші.

Поряд з безперебійним забезпеченням ґрунтової біоти органікою потрібно вживати заходів для підвищення коефіцієнта гуміфікації органічної складової. Цей процес залежить від ряду чинників, а саме – від глибини розміщення джерела органіки в ґрунті, температури, вмісту вологи в ґрунті, видового складу мікроорганізмів ґрунту, реакції ґрунтового середовища.

З найбільшою віддачею гуміфікація відбувається в нейтральних ґрунтах, при розміщенні рослинних решток не глибше 10 см. Індикатором активності ґрунту є співвідношення маси органіки і маси ґрунтової біоти. За надмірної кількості органічної речовини мікробіота ґрунту не встигає її переробляти в гумус. У ґрунтах з порушеною природною екосистемою гуміфікація уповільнюється або взагалі відсутня. Основними «порушниками» природної екосистеми ґрунту є пестициди (особливо фунгіциди),

необґрунтовано високі дози мінеральних добрив, глибокий обробіток ґрунту, особливо з обертанням пласта, оскільки в цьому випадку органіка, яка розміщена на поверхні ґрунту, переноситься в шар ґрунту 20–30 см, у якому ефективність процесів гуміфікації істотно уповільнюється. У цьому шарі ґрунту аеробам, які інтенсивно дихають, не вистачає кисню, через що вони стають неактивними і гинуть. Анаеробна біота ґрунту, навпаки, під час оранки з нижнього орного шару виноситься на поверхню ґрунту і також гине, оскільки такі умови (багато кисню, сонячне світло, температура тощо) для неї є згубними.

3.4. Місце біопрепаратів на основі азотфіксаторів в екологічному рослинництві й особливості їх застосування

3.4.1. Теоретичні аспекти азотфіксації

До ХХ ст. основним джерелом поживних елементів для рослин були органічні добрива. А ХХ ст. було епохою мінеральних добрив. Логічно припустити, що ХХІ ст. буде епохою біодобрив. Досвід кращих господарств, де практикують їх застосування, свідчить про можливість повної відмови від мінеральних добрив без зниження врожайності сільськогосподарських культур. При цьому значно поліпшується якість продукції, покращується екологічний стан ґрунтів і довкілля. Тож важливого значення набуває застосування біопрепаратів на основі бактерій-азотфіксаторів.

Для кращого розуміння азотфіксації доцільно розглянути тему кругообігу азоту в природі. Повітря, яким ми дихаємо, на 78 % складається з азоту, проте цей азот не доступний для рослин. І лише втручання мікроорганізмів дозволяє рослинам його засвоювати. Є ряд мікроорганізмів, які здатні переводити азот повітря в доступну для рослин форму. Після відмирання рослин усі азотовмісні речовини, що містяться в рослинних рештках, переробляються мікроорганізмами. За впливу мікроорганізмів білки та амінокислоти переходять в аміак і амонійні сполуки, які далі перетворюються на нітрити й нітрати і споживаються рослинами. При цьому частина нітратів денітрифікується. Цей процес також відбувається в присутності мікроорганізмів. У результаті нітрат переходить у газоподібний азот і повертається в атмосферу. На цьому цикл завершується.

Також азот може потрапляти в ґрунт у результаті грози, під час якої під дією високих температур кисень з'єднується з азотом, утворюючи оксид азоту. Далі оксид азоту з'єднується з повітряною вологою і у вигляді розчинів азотної та азотистої кислоти з дощем потрапляє на поверхню ґрунту і може бути джерелом азоту для рослин. Крім цього, оксид азоту утворюється при виверженні вулканів, а також під час пожеж.

Джерелом азоту також є антропогенна діяльність людини, а саме – викиди в атмосферу об'єктів промисловості і транспорту. Азот, що є складовою цих викидів, у повітрі вступає в реакцію і у вигляді розчину азотної та азотистої кислоти разом із дощем випадає на поверхню ґрунту, порушуючи в такий спосіб кругообіг азоту в природі. З одного боку, додаткове джерело азоту – це добре, оскільки підвищується вміст азоту в ґрунті, однак оскільки у викидах, крім азоту, є багато небажаних сполук, вони також разом з опадами потрапляють у ґрунт, забруднюючи та підкислюючи його.

Азотфіксацію без перебільшення можна назвати дивом природи. Якщо людина під час виробництва азотних добрив перетворює атмосферний азот в аміак за дії високих температур і високого тиску, витрачаючи значну кількість енергії, у природі за дії мікроорганізмів-азотфіксаторів цей процес відбувається в звичайних умовах, тобто за нормальної температури і відповідного атмосферного тиску. До того ж таке виробництво безкоштовне. У такий спосіб – фіксація азоту ґрунтовими мікроорганізмами – природним шляхом фіксується близько 90 % усього азоту. Блискавки та ультрафіолетові промені забезпечують біля 10 % природної азотфіксації.

Механізм азотфіксації полягає в трансформації слабоактивного атмосферного азоту (N_2) у високоактивні компоненти, зокрема нітрати (NO_3^-), нітрити (NO_2^-) або амоній (NH_4^+). Хімічна реакція фіксації атмосферного азоту означає розщеплення потрійного зв'язку в молекулі N_2 до аміаку (NH_3) чи амонію (NH_4^+). Процес азотфіксації іноді ще називають діазотфіксацією, акцентуючи увагу на тому, що молекула складається з двох атомів азоту.

Усі азотфіксатори поділяються на три основні групи: симбіотичні азотфіксатори; асоціативні азотфіксатори і несимбіотичні (вільноіснуючі) азотфіксатори (рис. 11).

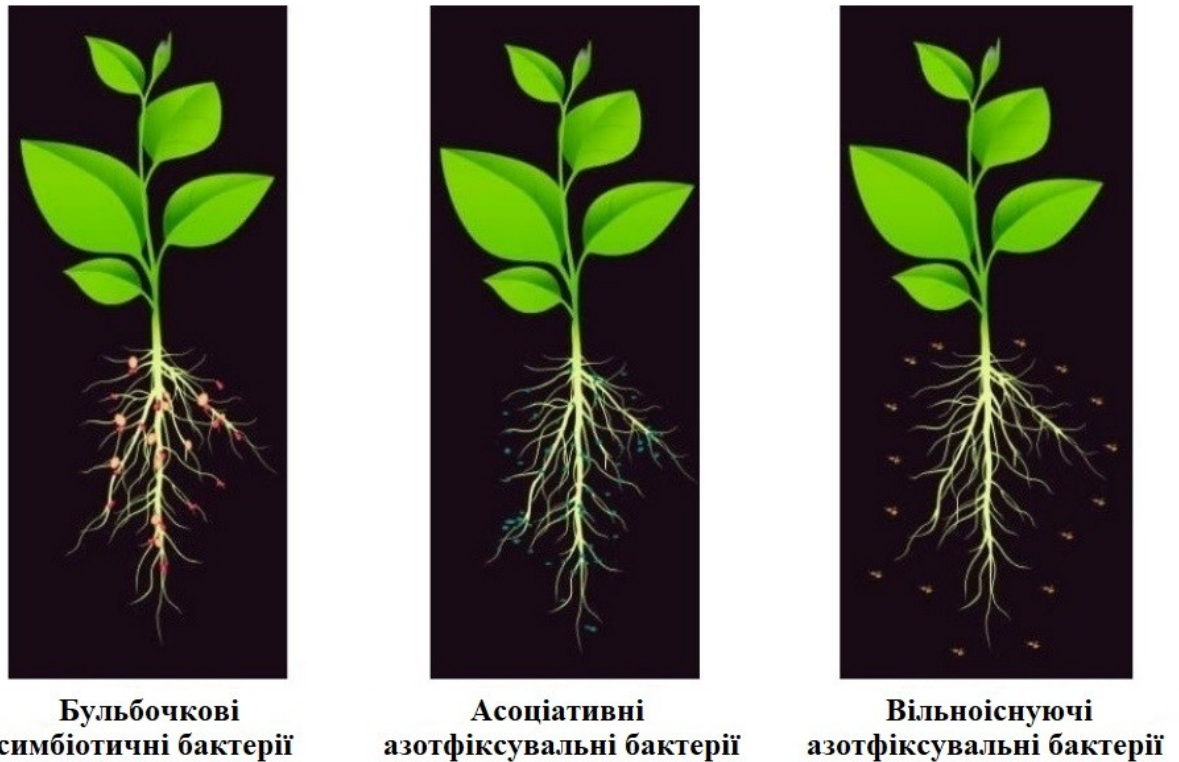


Рис. 11. Розміщення різних груп бактерій-азотфіксаторів навколо коренів рослини

Симбіотичні азотфіксатори взаємодіють з культурними рослинами, вступаючи з ними в симбіоз і утворюючи на коренях додаткові органи. У бобових культур такі утворення називають бульбочками. У сільському господарстві найбільший інтерес становить симбіоз між бобовими культурами і бульбочковими бактеріями, оскільки після збирання бобових культур залишається значна кількість доступного азоту для наступних культур. Залежно від роду бобових культур у ґрунті після їх збирання залишається від 50 до 300 кг/га діючої речовини азоту, що еквівалентно внесенню від 150 до 1000 кг/га нітрату амонію.

Ефективність симбіотичних систем «рослина-бактерія» характеризує вірулентність і активність симбіонта. У загальному розумінні вірулентність (від. лат. *virulentus* – отруйний) – це ступінь здатності конкретного інфекційного агента (штаму мікроорганізму або вірусу) заражати певний організм. Зокрема, вірулентність бульбочкових бактерій – це конкурентоспроможність штамів бактерій, яка значною мірою визначається здатністю проникати в тканини коренів бобових культур через кореневі волоски і формувати бульбочки на поверхні коренів рослин. Перша стадія прояву вірулентності – здатність формувати бульбочки на

коренях бобових рослин. Істинно вірулентні штами бактерій здатні формувати повноцінні бульбочки на коренях рослин.

Взаємодія коренів рослин із симбіотичними азотфіксаторами відбувається в такий спосіб: при проростанні насіння бобових культур бульбочкові бактерії крізь кореневі волоски проникають всередину коренів і утворюють на них бульбочки, які є «домівкою» для бульбочкових бактерій (рис. 12). Ці бактерії здатні перетворювати атмосферний азот в аміак, який культура використовує для свого росту, а саме – для синтезу білків, амінокислот тощо. Замість цього від рослини бульбочкові бактерії отримують продукти живлення у вигляді вуглеводів, органічних кислот і вітамінів, які вона виробляє в результаті фотосинтезу.

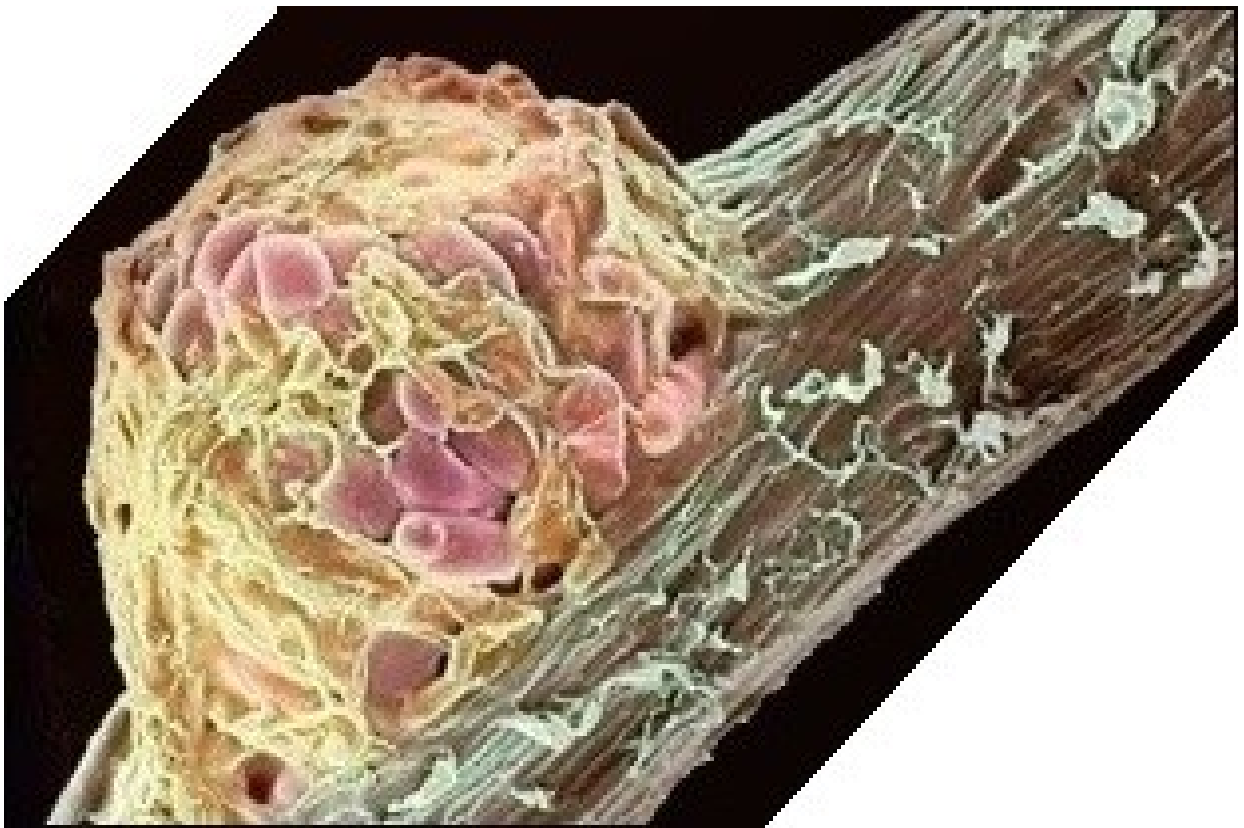


Рис. 12. Мікрофотографія бульбочки на корені сої

Перетворення азоту повітря в аміак у бульбочкових бактерій, як і в будь-яких інших азотфіксаторів, відбувається за допомогою ферменту нітрогенази. Цей фермент складається з двох білків, один з яких містить молібден і залізо, а другий – тільки залізо. Саме тому ці два мікроелементи вкрай важливі для нормального перебігу процесів азотфіксації.

У кислих ґрунтах вміст молібдену низький, тож при вирощуванні бобових на підкислених ґрунтах насіння перед сівбою слід обробляти молібдатом амонію. Низький вміст заліза характерний для лужних ґрунтів. Тож при вирощуванні бобових на лужних ґрунтах насіння перед сівбою варто опудрювати сірчанокислим залізом, яке ще називають залізним купоросом. Крім цих мікроелементів, для нормально протікання азотфіксації потрібна достатня кількість фосфору, калію, кальцію, магнію та сірки.

Перетворення азоту повітря на аміак за допомогою ферменту нітрогенази є анаеробним процесом, тобто відбувається без доступу кисню. Обмежити процес азотфіксації у бульбочках від доступу кисню допомагає фермент лемоглобін, який регулює надходження кисню в бульбочки. Саме цей фермент фарбує бульбочки в рожевий колір. Якщо на розрізі бульбочка має сіре забарвлення, це свідчить про те, що в ній азотфіксація відсутня або відбувається дуже повільно. Якщо бульбочка у розрізі має рожеве або яскраво-червоне забарвлення, це означає, що азотфіксація в ній відбувається активно.

На практиці важливо створити умови для посилення азотфіксації в бобових культур. Цього можна досягти рядом агрозаходів, першим з яких є забезпечення рослин достатньою кількістю елементів живлення, насамперед фосфором і калієм. Азотні добрива варто вносити в нормі не більше 30–40 кг/га діючої речовини. Вищі норми внесення здатні пригнічувати утворення бульбочок і, як наслідок, призводити до погіршення азотфіксації. Водночас невеликі стартові дози азоту для бобових культур вкрай важливі, оскільки від початку зараження до початку утворення бульбочок все живлення, яке рослина отримала завдяки фотосинтезу і поживним елементам ґрунту, витрачається на формування бульбочкових бактерій. У цей період бобові культури зупиняються в рості і для того, щоб нівелювати так зване «просідання» з живлення, доцільно вносити стартові азотні добрива.

Важливе значення мають також позакореневі підживлення, оскільки вони поліпшують процес фотосинтезу за рахунок покращання живлення та зняття різних стресів. І чим активніше відбувається фотосинтез, тим більше поживних речовин надходить до бульбочок, відповідно, посилюється азотфіксація.

Другим фактором, який дозволяє покращити азотфіксацію, є передпосівна обробка насіння біопрепаратами, які містять

бульбочкові бактерії. У ґрунтах є певна кількість бульбочкових бактерій, однак її зазвичай недостатньо для швидкого зараження ними коренів. Крім того, слід ураховувати, що кожна бобова культура вступає в симбіоз далеко не з усіма бульбочковими бактеріями. Штами-аборигени, властиві для конкретних ґрунтів, здебільшого не вступають у симбіоз із рослинами. Таким чином, якщо на конкретному полі певна бобова культура тривалий час не вирощувалася, кількість бульбочок у ґрунті, що вступають з нею в симбіоз, є недостатньою, через це перед сівбою її насіння варто інокулювати.

Якщо бобову культуру починають вирощувати вперше, кращим варіантом буде не обробка насіння, а внесення біопрепарату в розчиненому вигляді безпосередньо в ґрунт під час сівби. При цьому обробку слід проводити тими штамми, які максимально ефективно працюють з конкретною бобовою культурою. За ефективністю штамми-аборигени не матимуть переваги над спеціально виведеним у лабораторних умовах.

Інокуляція насіння та обробка ґрунту спеціальними штамми бульбочкових бактерій забезпечує поліпшення росту й розвитку бобових культур, а також підвищення їх урожайності та якості зерна. Найбільшою мірою на цей захід реагує горох. В окремих випадках передпосівна інокуляція насіння гороху забезпечує підвищення врожайності зерна на 0,5–0,7 т/га. Соя меншою мірою реагує на інокуляцію. На практиці найвищі прирости врожайності зерна сої від інокуляції становлять до 0,3 т/га.

Третім фактором, від якого залежить інтенсивність азотфіксації, є кислотність ґрунту. Оптимальною є нейтральна кислотність з активним рН від 6,5 до 7,2 од. На кислих ґрунтах з рН менше 5,5 од. заселеність ґрунту штамми бульбочкових бактерій дуже низька, тож на таких ґрунтах інокуляція насіння бобових культур забезпечує найвищий результат.

Значний вплив на активність азотфіксації бульбочковими бактеріями також мають температура і вміст вологи в ґрунті. Мінімальна температура для азотфіксації становить 10 °С, оптимальна – від 20 до 25 °С. За температури ґрунту вище 30 °С ефективність азотфіксації за допомогою бульбочок значно знижується. Оптимальна вологість ґрунту для азотфіксації становить 60–70 % від повної вологості ґрунту. За вологості ґрунту менше 20 % азотфіксація не відбувається. Надмірна зволоженість ґрунту також

негативно впливатиме на азотфіксацію, оскільки в цьому випадку коренева система бобових культур не отримує кисень.

Асоціативні азотфіксатори містяться або на поверхні, або всередині рослин, або живуть на поверхні коренів. Вони працюють за таким самим принципом, як і симбіотичні азотфіксатори. Від рослин вони отримують продукти живлення у вигляді вуглеводів, органічних кислот і вітамінів, а замість того віддають рослині азот, засвоєний у результаті азотфіксації. Небобові культури за допомогою асоціативних азотфіксаторів здатні задовольняти свої потреби в азоті на 20–50 %. Перетворення азоту повітря в аміак у асоціативних азотфіксаторів відбувається так, як і в симбіотичних азотфіксаторів – за допомогою ферменту нітрогенази.

Асоціативні азотфіксатори поділяються на ендofітні, епіфітні та ризосферні. *Ендofітні бактерії* містяться всередині самої рослини, зазвичай у міжклітинному просторі, не завдаючи шкоди рослині. *Епіфітні азотфіксувальні бактерії* (мікроби філосфери) зосереджуються на поверхні рослини. Вони не паразитують на рослині, а розвиваються, живлячись виділеннями листків і стебел рослин, а також незначними кількостями забруднень органічної природи (пил, виділення комах та ін.). Самі ж бактерії діляться з рослиною акумульованим азотом. *Ризосферні азотфіксатори* заселяють поверхню коренів і живляться корневими виділеннями, які містять вуглеводи, органічні кислоти, вітаміни, а також захищають бактерії від надмірного доступу кисню.

Епіфітна мікрофлора – особлива екологічна група, здатна жити на поверхні рослин, не проникаючи всередину тканин, і живитися органічними виділеннями рослин. Епіфіти характеризуються підвищеною стійкістю до летючих фітонцидів рослин. Вони належать до типових оліготрофів, оскільки спроможні використовувати поживні елементи при їх малих концентраціях і задовольняти потреби мізерними запасами поживних елементів, зосереджених на поверхні рослин, що властиве не всім мікроорганізмам. Саме тому склад епіфітної мікрофлори рослин доволі ексклюзивний.

Асоціативна азотфіксація у філоплані (на поверхні рослин) характерна для всіх небобових рослин, при цьому її ефективність відрізняється і визначається насамперед генотипом рослин.

Переважає більшість усього угруповання епіфітних мікроорганізмів представлена клітинами бактерій *Erwinia herbicola*

з родини *Enterobacteriaceae*. Їх частка становить близько 80 % від загальної кількості епіфітів. У меншій кількості на поверхні рослин також є інші бактерії, у тому числі ті, які фіксують молекулярний азот. До асоціації епіфітної мікрофлори часто входять дріжджі, молочнокислі та оцтовокислі бактерії. Крім бактерій, серед епіфітів трапляються також спори грибів (*Penicillium*, *Fusarium* та ін.).

Епіфітні мікроорганізми розвиваються і фіксують азот, використовуючи органічні та мінеральні сполуки (здебільшого вуглеводи, органічні кислоти, летючі органічні сполуки), незначну кількість яких рослина виділяє крізь спеціальну провідну систему на поверхню листків і стебел.

У філосфері фіксується близько 15 % всього азоту, який отримують небобові культури за допомогою асоціативних і неасоціативних (вільноіснуючих) азотфіксаторів. Ефективність роботи епіфітної мікрофлори, яка характеризується кількістю фіксованого азоту, залежить як від виду рослин, так і від зовнішніх чинників, а саме – температури, вологості повітря та сонячної інсоляції.

Кількісний та якісний склад епіфітної мікрофлори значною мірою залежить від факторів довкілля. В умовах гострої посухи, високих температур і надмірної сонячної інсоляції і кількісний склад, і ефективність роботи епіфітів різко знижується. Дослідженнями встановлено, що більша кількість епіфітних мікроорганізмів на одиницю площі розміщується на нижній стороні листків, тобто у більш затінених місцях.

Аналіз динаміки чисельності епіфітів у різні пори року показав, що, незважаючи на зовнішні чинники, найбільша їх кількість на рослинах спостерігається в другій половині літа, далі вона поступово зменшується, досягаючи найнижчих показників узимку.

Епіфіти «мешкають» не лише на поверхні листків, стебел та інших вегетативних органів рослин, а й на поверхні плодів і насінин. Рівень «заселення» епіфітними мікроорганізмами генеративних органів різних культур відрізняється. Він залежить від індивідуальних біологічних особливостей рослин і морфологічних ознак генеративних органів. Так, на опушеній та шорсткій поверхні плодів і зернівок (насінин) буде міститися більше епіфітних мікроорганізмів, ніж на гладенькій. Борозенки на поверхні зернівок зернових культур також сприяють більшій концентрації на ній пилу і мікроорганізмів. Саме тому на зернівках пшениці, жита, ячменю або тритикале концентрація епіфітної

мікрофлори буде значно вищою, ніж, наприклад, на зернівках сої, гороху або кукурудзи з гладенькою поверхнею.

Вплив епіфітів на рослину дуже різноманітний і визначається умовами довкілля. Під час проростання насіння його епіфітна мікрофлора активно розмножується, переходить на корені та проросток. За низьких температур активніше розвивається холодостійка епіфітна мікрофлора, а саме – мікроскопічні гриби, серед яких є і факультативні, й облигатні паразити. Як наслідок, різко знижується польова схожість насіння, інфікуються проростки рослин. Передпосівна обробка насіння фунгіцидними протруйниками значною мірою вирішує цю проблему, пригнічуючи патогени, але при цьому вони «давлять» і корисну біоту ґрунту.

Епіфітні мікроорганізми відіграють значну роль при зберіганні зерна і насіння. На поверхні лише однієї зернівки пшениці може міститися до 8–9 млн мікробних клітин. Концентрація епіфітної мікрофлори великою мірою визначається якістю зерна і ґрунтово-кліматичними умовами його формування. Залежно від цього кількість і видовий склад значно відрізняються. На зерні під час зберігання зазвичай домінують бактерії родів *Erwinia*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Streptococcus*, *Sarcina*, *Xanthomonas*. Серед мікроміцетів поширені гриби родів *Cladosporium sp.*, *Bipolaris sp.*, *Alternaria sp.*, *Fusarium sp.*

При намоканні зерна і насіння характерна для них епіфітна мікрофлора «видавлюється» іншими бактеріями та мікроміцетами. Серед бактерій починають активно ділитися мікрококи, які поступово витісняють основних епіфітів – *Erwinia herbicola*. Згодом з'являються різноманітні неспороносні палички, а за підвищеної температури – грам-позитивні бактерії з класу *Bacilli* (*Bacillus mesentericus*, *Bacillus subtilis* та ін.). Серед мікроміцетів починають активно розмножуватися міцеліальні гриби (плісняви), переважно представники родів *Aspergillus* і *Penicillium*. За температури понад 25 °С зазвичай переважають гриби роду *Aspergillus*. З огляду на це склад мікрофлори на поверхні зерна і насіння значною мірою є індикатором умов їхнього зберігання.

У перекладі з англійської термін «*endopt*» означає «всередині рослини». У класичному формулюванні ендofітами називають мікроорганізми, які колонізують внутрішні тканини здорових рослин, але не завдають їм будь-якої шкоди. Ендofітна мікрофлора представлена бактеріями, грибами, актиноміцетами і включає як

коменсалів, так і мутуалістичних симбіонтів. З удосконаленням молекулярно-біологічних методів вивчення мікроорганізмів відомості про біорізноманіття ендofітів постійно поповнюються.

Ендofітні бактерії зосереджуються в рослинних тканинах, міжклітинних просторах і судинах. Уся ендofітна мікробіота краще захищена від негативного впливу біотичних і абіотичних стресів, ніж ризосферна та епіфітна. Крім того, всередині здорових клітин і тканин рослин не буває дефіциту їжі, яка, крім того, повністю збалансована. Переважна більшість ендofітних бактерій належить до групи асоціативних мікроорганізмів. Зокрема, до цієї групи належать види, які не є обов'язковими для рослин, однак вони допомагають їм адаптуватися до умов довкілля, підвищують стійкість до збудників хвороб, інтенсифікують фотосинтез, що в результаті забезпечує підвищення продуктивності рослин.

Протягом останнього часу у світовій практиці розроблено ряд біопрепаратів, активна основа яких представлена корисними штамми ендofітних і ризосферних бактерій з родів *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Herbaspirillum*, *Acetobacter* та ін. Нині широко застосовуються біофунгіцидні мікробні препарати, що містять і ендofітні бактерії, і ризобії. Однак питання сумісності цих двох груп вивчено недостатньо, хоча об'єднання корисних властивостей рістстимулюючої, азотфіксувальної та протекторної дії є перспективним з господарського погляду. Розробка таких комплексних препаратів на основі корисних ендofітних бактерій сприятиме екологізації вирощування рослинницької продукції, створюючи більше важелів для управління процесами росту і розвитку рослин, поліпшенню живлення, захисту від несприятливих факторів довкілля та збудників хвороб.

Ризобії є ендofітами не лише зернобобових, а й інших видів рослин, виконуючи функції ризобактерій без утворення бульбочок. Американська компанія *Adaptive Symbiotic Technologies* (Адаптивні симбіотичні технології) нещодавно створила біологічний препарат на основі ендofітних бактерій, який використовують для передпосівної обробки насіння кукурудзи та рису. Найвищі прирости врожайності препарат забезпечує в більш посушливих районах з підвищеними температурами.

Ендofітна мікрофлора формується в результаті інфікування рослин крізь тріщини в епідермісі, які виникають під час утворення і розростання бічних коренів. Це основний механізм проникнення

мікрофлори всередину рослинного організму. Тож найбільша її кількість потрапляє саме через корені рослин. Далі мікроорганізми по провідних судинах поступово потрапляють у надземні органи рослин. Частина мікроорганізмів потрапляє до рослин через надземну масу крізь продихи, де приєднується до складу мікрофлори, що потрапила через коренів рослин. Крім того, ендofітна мікрофлора потрапляє напряду з насіння, а також інтродукується завдяки безхребетним та грибам, які проникають у рослину.

Крім безпосередньої азотфіксації, асоціативні бактерії виконують ряд важливих функцій у рослині. Протягом свого життя вони виробляють фітогормони, амінокислоти, вітаміни, а також речовини, які стимулюють розвиток кореневої системи рослини, у такий спосіб покращуючи мінеральне живлення і доступ до вологи. Також асоціативні азотфіксатори синтезують антибіотичні речовини, які пригнічують розвиток патогенної мікрофлори на коренях рослин. Крім того, вони виробляють речовини, які мають антистресову дію на бобові рослини, допомагаючи рослинам пережити несприятливі умови – посуху, перезволоження ґрунту, високі та низькі температури, підвищену засоленість тощо.

Важливу роль у підвищенні азотфіксації відіграють органічні добрива та сівба покривних культур. У процесі перегнивання органічних добрив і покривних культур відбувається мінералізація та вивільнення поживних речовин, які споживаються як самими рослинами, так і ґрунтовою мікрофлорою. Це позитивно позначається на кількості бактерій, зокрема азотфіксаторів. Крім того, під час перегнивання в атмосферу виділяється вуглекислий газ, який підсилює фотосинтез, а чим інтенсивніше відбувається фотосинтез, тим більше поживних речовин отримують азотфіксатори, які, у свою чергу, утворюють більше азоту. Практикою встановлено, що за рахунок застосування асоціативних азотфіксаторів додатково можна отримувати від 30 до 50 кг/га діючої речовини азоту.

Несимбіотичні, або вільноіснуючі, азотфіксатори не взаємодіють з вищими рослинами, вони вільно живуть у ґрунті й перетворюють азот в аміак. Джерелом живлення для таких мікроорганізмів є будь-яка органіка. Вони здатні засвоювати вуглеводи навіть зі спиртів та ацетонів. Джерелом азотного живлення для несимбіотичних азотфіксаторів можуть бути нітрати, нітрити, солі амонію та азотної кислоти, амінокислоти й інші

азотовмісні сполуки. За відсутності азоту вони засвоюють атмосферний азот. Незначні дози азотних добрив не зупиняють процес фіксації молекулярного азоту, а в окремих випадках можуть навіть стимулювати його. Однак високі дози азотних добрив пригнічують цей процес або здатні повністю зупинити його.

Найбільш поширеними вільноіснуючими азотфіксаторами є бактерії родів *Clostridium* і *Azotobacter*. Серед видів бактерій роду *Clostridium* більшу кількість азоту засвоюють бактерії виду *Clostridium pasteurianum*, крім того, саме цей вид вільноіснуючих бактерій-азотфіксаторів був відкритий першим. Фіксувати атмосферний азот здатні й інші види роду *Clostridium* – *Clostridium butyricum*, *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium pectinovorum*, *Clostridium felsineum* тощо. Бактерії цих видів у систематичному відношенні подібні з видом *Clostridium pasteurianum*, але відрізняють від нього ферментативними властивостями.

Серед вільноіснуючих бактерій роду *Azotobacter* найбільш вивченими є такі види: *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter beijerinckii*, *Azotobacter vinelandii* і *Azotobacter paspali*. Бактерії цих видів належать до аеробів. Серед них у ґрунтах більш поширені бактерії *Azotobacter chroococcum*. Саме цей вид був відкритий першим серед роду *Azotobacter* ще в 1901 р.

Крім роду *Azotobacter*, до родини *Azotobacteriaceae* відносять і інші роди вільноіснуючих азотфіксувальних бактерій, а саме – *Beijerinckia* (вид *Azotobacter indicum*), *Derxia* і *Azomonas*. Близькими до азотобактера є бактерії роду *Beijerinckia*. При цьому вони краще пристосовані до кислих ґрунтів, але дуже негативно реагують на кальцій, тобто не витримують нейтральних і лужних ґрунтів.

До групи вільноіснуючих азотфіксаторів, крім бактерій родини *Azotobacteriaceae* і роду *Clostridium*, належить цілий ряд інших мікроорганізмів: деякі види аеробних бактерій *Pseudomonas fluorescens* (родина *Pseudomonadaceae*), більшість фототрофних бактерій, бацили (рід *Paenibacillus*), грам-негативні бактерії роду *Klebsiella*, ціанобактерії, метаногені й інші бактерії.

У підсумку всі вільноіснуючі бактерії-азотфіксатори здатні продукувати максимум до 80 кг/га діючої речовини азоту за рік. На практиці цифра на порядок менша – 10–15 кг/га. Таким чином, їхній вклад у кругообіг азоту в природі значно менший порівняно з іншими групами азотфіксаторів.

3.4.2. Практичні аспекти застосування біопрепаратів на основі азотфіксаторів

В інтенсивних технологіях вирощування азот потрапляє в ґрунт шляхом унесення мінеральних добрив, що забезпечує отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур, однак це призводить до погіршення екологічної ситуації. Біологічна азотфіксація, навпаки, сприяє відновленню родючості і здоров'я ґрунтів та не завдає шкоди довкіллю. Саме тому, створюючи умови для активізації природної азотфіксації і «довіряючи» азотфіксувальним мікроорганізмам вирішувати питання забезпечення рослин азотом, можна зменшити дози азотних добрив або навіть узагалі повністю відмовитися від них.

У зв'язку із цим набуває актуальності насичення сівозмін польовими культурами, здатними співпрацювати із симбіотичними азотфіксаторами. Такі культури потребують відносно невеликих витрат на вирощування і водночас є важливим джерелом азоту.

Ефективність застосування симбіотичних азотфіксаторів значно вища порівняно з асоціативними і несимбіотичними азотфіксувальними мікроорганізмами. Бульбочкові бактерії передають фіксований азот безпосередньо рослині-господарю, що робить ці рослини більш конкурентоспроможними порівняно з іншими організмами, які також споживають азот.

Отримання додаткового азоту в ґрунті найбільш ефективно при вирощуванні бобових культур. Їх можна вводити в сівозміну як самостійні одиниці, вирощувати в бінарних посівах або як покривні культури.

Інокуляція насіння бобових культур спеціальними штамми азотфіксаторів дозволяє підвищити врожайність як самих бобових, так і наступних культур сівозміни, оскільки бобові культури залишають після себе різну кількість азоту.

При введенні в сівозміну бобових як самостійної культури після їх збирання потрібно висівати покривні культури, крім того, у суміші покривних культур акцент слід робити на культури, які більш ефективно споживають азот. До таких культур належать озимі пшениця, ячмінь та ріпак. Це пов'язано з тим, що мінералізація рослинних решток після збирання бобових культур протікає дуже швидко, через що в ґрунті залишається багато нітратів, які втрачаються через вимивання та денітрифікацію. Тож

якщо після збирання бобових одразу висівають озимі культури, то вони (озимі) встигають спожити більшу частину нітратного азоту. Тобто він принесе користь, а не промиється в ґрунтові води і не випарується внаслідок денітрифікації.

Ефективність інокуляції бобових культур значною мірою залежить від виду бактерій, які містяться в препаратах. Зокрема, для сої найкраще підходить вид *Bradyrhizobium japonicum*, для гороху – вид *Rhizobium leguminosarum*, для квасолі – *Rhizobium phaseoli*, для нуту – *Mesorhizobium ciceri*, для конюшини – *Rhizobium trifolii*, для люцерни – *Sinorhizobium metiloti*.

Біопрепарати для інокуляції виготовляють на різній основі, від чого залежить строк їх придатності. Це може бути стерильний торф, вермикуліт (подрібнена слюда), графіт, рідина з екстендером (стабілізатором-прилипачем) чи без нього.

Якісного стерильного торфу вкрай мало, оскільки під час обробки він втрачає свої властивості, стає грудкуватий, погано розсипається. Лише деякі найвідоміші у світі компанії виготовляють бактеріальні препарати для інокуляції насіння на основі високоякісного торфу.

Зауважимо, що в препаратах на основі торфу бактерії живуть довше, тож такі препарати краще застосовувати в менш сприятливих погодних умовах, оскільки у разі стресу рослини будуть не в змозі швидко прийняти бактерії. На деяких інших основах бактерії можуть загинути до того моменту, поки корені рослини «пустять» їх до себе.

Бактеріальні препарати на рідкій основі є зручнішими, до того ж їх можна застосовувати в бакових сумішах з іншими препаратами, у тому числі із засобами захисту рослин. Рідкі препарати поділяють на дві групи – ті, які слід застосовувати не пізніше ніж за 24 години до сівби, і ті, які не втрачають ефективності після обробки насіння до 90 діб. До другої групи відносять препарати, у складі яких є екстендер-стабілізатор.

Основною перевагою препаратів на основі слюди і графіту є їхня дешевизна та відсутність дефіциту. Головними недоліками є досить обмежена тривалість життя бактерій – до 4 міс. на основі вермикуліту і до 8 міс. – на основі графіту, тоді як на основі торфу або в рідкому середовищі бактерії зберігаються до двох років. Таким чином, для інокуляції краще застосовувати біопрепарати на

торф'яній основі або в рідкій формі, яка краще підходить для бакових сумішей разом із засобами захисту рослин.

При виборі біопрепарату слід брати до уваги його титр (концентрацію розчину). Чим він вищий, тим більше бактерій міститься в одиниці об'єму, тим менші витрати препарату. Добре, коли на одну насінину потрапляє близько 1 млн бактерій. У такому разі інокуляція буде якісною.

Інокулянти розрізняються за кількістю штамів. Є одноштамові і двоштамові інокулянти. Наприклад, такі поширені інокулянти, як Хайкот Супер, Хайстік компанії BASF, Легум Фікс компанії Legum Technology LTD містять один штам бактерій – *C₅₃₂*, інокулянт Ризофікс компанії Lalemand містить два штами – *U₁₃₀₁* і *U₁₃₀₂*. Сучасний топовий інокулянт Атува від компанії Syngenta містить два штами бактерій виду *Bradyrhizobium japonicum* – 5079 і 5080.

Одноштамові інокулянти добре підходять для оптимальних умов вирощування, якщо ж умови вирощування несприятливі (високі температури, посуха, неоптимальний показник рН та ін.) краще застосовувати двоштамові інокулянти, оскільки якщо одні бактерії будуть гинути і їх титр зменшуватиметься, то друга група зможе їх замінити. Тобто вищою буде ймовірність того, що інокуляція спрацює.

Інокулянти також розрізняють за видом бактерій. Є препарати, які містять лише азотфіксувальні бактерії, а є препарати, у складі яких, крім власне азотфіксувальних, є інші бактерії, наприклад фосфатмобілізатори чи рістстимулятори. Зокрема, такі препарати, як БіоБуст Плюс і БіоБуст Ліквід, крім азотфіксувальних бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, містять бактерії виду *Delfia acidovorans*, які характеризуються здатністю мобілізувати фосфор, а також стимулювати ріст і розвиток рослин.

На практиці агрономи доволі часто припускаються помилок під час роботи з інокулянтами, через що активність інокуляції значно знижується. Розглянемо основні помилки, які можливі під час проведення інокуляції насіння:

1. Велика кількість робочого розчину – понад 8 л/т. У такому разі насіння починає залипати, неякісно інокулюється та висівається. Насіннева оболонка достатньо ніжна, і коли на неї потрапляє багато розчину, вона сильніше набрякає, стає менш еластичною і сильніше пошкоджується. Як наслідок, знижується польова

схожість насіння, через механічні розриви до неї потрапляють патогени. Оптимальною нормою робочого розчину є 5–6 л/т.

2. Обробка насіння за мінусових температур. У цьому разі насіння обробляється нерівномірно, злипається. Інокуляцію слід обов'язково проводити лише за плюсової температури.

3. Нерівномірне подання робочої рідини на насіння, при цьому частина насіння буде злипатися, а частина отримає менше розчину, через що на нього потраплять бактерії. Щоб уникнути цієї проблеми, слід ретельно регулювати подачу робочого розчину, щоб насіння оброблялося рівномірно.

4. Додавання молібденовокислого амонію. Молібден входить до ферменту нітратредуктази, без якого неможлива фіксація молекулярного азоту, проте він негативно впливає на життєздатність бактерій, унаслідок чого їх титр різко падає. Зокрема, без молібдену титр бактерій на одній насініні може становити 1 млн шт., тоді як з молібденом – 100 шт. і менше. Щоб підвищити ефективність азотфіксації і при цьому не знизити кількість бактерій на насінні, як варіант можна внести молібденовокислий амоній під час вегетації у той період, коли відбувається активне утворення бульбочок (у фазі двох-трьох листків). Молібденом можна обробити і насіння, але для цього він має бути в хелатній формі. У такій формі він не завдає шкоди бульбочковим бактеріям. Добрим хелатизуючим агентом є гумати, у складі яких містяться фульвові та ульмінові кислоти, які хелатизують метали і роблять їх нейтрально зарядженими. Для обробки 1 т насіння достатньо до робочого розчину додати 1,0–1,5 л препарату на основі гуматів.

5. Зберігання обробленого насіння за мінусових температур, тобто коли температура після обробки опускається нижче нуля. У цьому разі різко зменшується титр бактерій на насінні і чим довше оброблене насіння буде зберігатися при мінусових температурах, тим менше залишиться на ньому живих бульбочкових бактерій.

6. Використання для приготування робочого розчину хлорованої води. Бактерії не переносять хлор, тож у хлорованій воді їх титр буде різко знижуватися. Щоб не допустити зниження титру бульбочкових бактерій, слід використовувати лише нехлоровану воду.

7. Ігнорування особливостей засобів захисту рослин при виготовленні бакових розчинів з інокулянтами. Негативний вплив

на бактерії чинять не стільки самі діючі речовини фунгіцидів чи інсектицидів, скільки робочі формуляції, які застосовують для їх виготовлення. У фунгіцидах досить часто наявні антимікробні добавки, які пригнічують бульбочкові бактерії і різко знижують їх титр. Щоб уникнути негативного впливу на бульбочкові бактерії, варто використовувати лише перевірені та рекомендовані засоби захисту рослин.

8. Додавання в інокулянт нерозведеного фунгіциду. Бактерії можна додавати лише в приготовлений розчин.

9. Розміщення обробленого насіння під світлом. Бульбочкові бактерії погано переносять світло, тож оброблене насіння слід накривати темною тканиною або брезентом. Використовувати для цього поліетиленову плівку не варто, оскільки під нею насіння без доступу кисню може запрівати.

10. Механічне пошкодження насіння під час його навантаження і транспортування. Досить часто після наповнення біг-бегів їх необережно ставлять на тверду підлогу, через що насіння б'ється одне об одне і механічно пошкоджується. В окремих випадках після таких ударів польова схожість може знижуватися на 5–10 % і більше. Щоб уникнути таких ситуацій, біг-беги або іншу тару з обробленим насінням слід обережно ставити на піддони.

Найефективніший метод інокуляції – унесення робочого розчину в посівну смугу одночасно із сівбою насіння. За такого внесення інокулянт не контактує з протруювачем і не потрапляє під дію світла, крім того, відсутнє зневоднення. Доза внесення інокулянта залежить від ширини міжрядь. Зокрема, доза внесення топового препарату ХайКот Супер разом з біопротектором за міжрядь 15 см становить близько 3,3 л/га, за міжрядь 45 см – близько 1,4 л/га і за міжрядь 70 см – близько 0,7 л/га. Загальний обсяг робочого розчину води з розбавленими в ній інокулянтом і біопротектором становить 45–50 л/га.

Другий метод інокуляції – під час завантаження насіння через шнек у день сівби. Рідкий інокулянт подають над отвором, через який насіння потрапляє до шнеку. Інокулянт застосовують як з екстендером, так і без нього. До інокулянтів з низьким титром (менше 2×10^9 живих КОЕ на 1 г препарату) екстендер не додають.

Третій метод – інокуляція рідкими інокулянтами з екстендерами разом з протруювачами і стимуляторами

спеціальними машинами для протруювання насіння типу G31100DS, які забезпечують якісне нанесення робочого розчину на насіння і не травмують його.

Четвертий метод – волога інокуляція насіння торф'яними інокулянтами. Препарат у вигляді суспензії наносять на насіння за допомогою спеціального обладнання типу ПСШ 3-02, яке забезпечує якісну інокуляцію насіння.

Наступний метод – обробка сухими препаратами на основі торфу, графіту або вермикуліту (подрібненої слюди). Найбільш надійні інокулянти на основі торфу, хоча їх дещо важче застосовувати порівняно з рідкими. Крім того, у рідкій формі можна робити суміш інокулянта з протруйниками чи стимуляторами росту.

Існує кілька варіантів обробки насіння сухими інокулянтами: 1 – розсипати насіння на брезенті або плівці, додати сухий препарат і перемішати лопатою; 2 – засипати насіння в бункер сівалки, додати сухий препарат і перемішати (за цього способу важко досягти високої рівномірності обробки насіння); 3 – перемішати насіння із сухим інокулянтом у бетонозмішувачі. При цьому, щоб покращити процес змішування, насіння можна попередньо зволожити (2 л води на 1 т насіння) або попередньо розвести інокулянт у воді у пропорції 2:1.

Високі результати показує обробка насіння сумішшю інокулянтів зі стимуляторами росту, до того ж переважна більшість інокулянтів нормально переносить таке «сусідство». Як стимулятори краще використовувати гумінові речовини, які, крім того, можуть виконувати роль хелетуєчих агентів у разі додавання до робочого розчину мікроелементів. Серед стимуляторів росту на основі гуматів одним з кращих є БлекДжек, у якому містяться всі чотири фракції гумінових речовин: гумінові кислоти, фульвові кислоти, ульмінові кислоти та гумін. Саме фульвові і ульмінові кислоти виконують роль хелатуєчих агентів.

Крім гумінових, добре додати препарати, що містять фітогормон ауксин, який позитивно впливає на ріст коренів рослин. Одним з кращих продуктів цієї групи є стимулятор росту іспанського виробництва – *Razer*, у складі якого, крім ауксину, є також амінокислоти, які значно підвищують ефективність ауксину, тобто відмічається їх синергізм.

Щоб максимально використати потенціал інокулянтів, потрібно дотримуватися правильного змішування різних препаратів. Так, якщо, крім інокулянта, застосовують екстендер, то спочатку змішують їх, а потім додають води. Конкретний приклад: змішуємо інокулянт Хайкоут Супер Соя з екстендером Хайкоут Екстендер з розрахунку 1,42 л/т насіння кожного препарату, після чого до розчину додаємо воду з розрахунку 3,0 л/т. Таким чином, кількість робочого розчину становитиме близько 5,8 л/т насіння.

Якщо разом з інокулянтом планується обробляти насіння засобами захисту рослин (фунгіцид + інсектицид), то їх додають до робочого розчину в останню чергу. Тобто спочатку змішують інокулянт з екстендером (якщо передбачено додавати екстендер), далі до суміші інокулянта з екстендером додають воду, розчин перемішують, після чого додають спочатку фунгіцид, а потім інсектицид.

Важливим практичним моментом підвищення ефективності азотфіксації є також забезпечення оптимального показника кислотності ґрунту за допомогою вапнування чи гіпсування ґрунтів. Більш небезпечною для бульбочкових бактерій є кисла реакція ґрунтового середовища. Спостерігається й певна екологічна адаптація видів і штамів бульбочкових бактерій до кислотності ґрунту. Наприклад, бульбочкові бактерії конюшини більш стійкі до підвищеної кислотності ґрунту, ніж бульбочкові бактерії люцерни, яка зазвичай висівають на нейтральних і слаболужних ґрунтах.

Також ефективність азотфіксації значною мірою залежить від фізичних параметрів ґрунту. Зокрема, краще цей процес відбувається на легких структурованих ґрунтах. На переущільнених ґрунтах ефективність бульбочкових бактерій значно знижується. Зробити ґрунт більш пухким можна двома способами: за допомогою механічного обробітку і за рахунок правильно складеної сівозміни, у якій чергуються культури з мичкуватою і стрижневою кореневими системами, що забезпечує так звану «біологічну оранку». Звичайно, другий спосіб з екологічного погляду набагато кращий, оскільки сприяє розвитку екосистеми ґрунту. До того ж того він менш енерговитратний.

При вирощуванні небобових культур ефективним рішенням є внесення асоціативних азотфіксуювальних бактеріальних інокулянтів, які є реальною альтернативою синтетичним азотним добривам. А користь від цих мікроорганізмів не обмежується лише здатністю фіксувати молекулярний азот, оскільки паралельно з цим

вони поліпшують структуру ґрунту, збагачують його екосистему, сприяють виведенню важких металів.

Для підвищення чисельності асоціативних аборигенних азотфіксаторів важливо, щоб на полі постійно була рослинність. Тому оптимальним рішенням буде запровадження покривних культур.

Ефективним рішенням збільшення кількості асоціативних азотфіксаторів є застосування комплексних препаратів для обробки насіння та обприскування ґрунту, до складу яких входять різні групи асоціативних азотфіксаторів – ендofітні, епіфітні й ризосферні, а також збалансований комплекс макро- й мікроелементів.

Біопрепарати на основі вільноіснуючих бактерій-азотфіксаторів доцільно застосовувати в тому випадку, якщо солону зернових культур або рослинні рештки інших польових культур не вивозять з поля після збирання, оскільки вони є основним джерелом живлення для бактерій.

3.5. Покривні культури, їх роль у відновленні родючості ґрунтів і отриманні високих урожаїв польових культур

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), у світі деградовано понад 1,2 млрд га земель. Більшість цих площ деградували внаслідок впливу водної ерозії – 61,6 %, понад 20,0 % зазнали впливу вітрової ерозії, 12,1 % – хімічної і 3,2 % – фізичної деградації.

Конфлікт між землеробством і тваринництвом, різними системами землекористання, трудовими витратами, технологіями вирощування та ринком змушує країни звертатися до стійких ґрунтозахисних систем землеробства.

Розробляючи стратегії розвитку сільського господарства, які максимально враховують складність реальної ситуації в землекористуванні, слід ґрунтуватися на цілісному підході, який базується на потребах господарств і особливостях соціально-економічного середовища. При цьому особливу увагу необхідно приділяти технологіям вирощування, які дозволяють господарствам підтримувати й розвивати їх соціальний статус за одночасної підтримки та розвитку ресурсної бази виробництва. Пріоритетними мають бути проблеми швидкого зупинення процесу деградації ґрунту, скорочення трудових витрат, збереження ґрунтової вологи, покращання доступності поживних речовин для рослин,

підвищення врожайності рослин і сталого сільськогосподарського виробництва. Усі ці проблеми є основною перешкодою для гарантованого виробництва екологічних продуктів харчування.

Під час розвитку ґрунтозахисного землеробства спеціалісти і керівники господарств розуміють важливість таких процесів, як сівба покривних культур, збереження поживних решток із використанням сівозмін, сівба в міжряддях та відмова від оранки. Пошук технологій, що інтегрують ці процеси, привів до мінімального, нульового, смугового, вертикального обробітків ґрунту, які набувають дедалі більшого поширення в усьому світі.

Усі ці способи обробітку ґрунту забезпечують поліпшення ґрунтового покриву, зупиняють ерозійні процеси, підвищують вміст у ґрунті органічної речовини, позитивно впливають на регіональні системи землеробства.

Одним з найбільш ефективних заходів зниження деградації ґрунту є вирощування покривних культур у сівозмінах з мінімальним і нульовим обробітком ґрунту з метою створення бар'єру, що насамперед запобігає розвитку водної ерозії і дефляції. Крім того, покривні культури забезпечують підвищення якості ґрунту за рахунок збільшення в ньому органічної речовини і поживних елементів, підвищення стабільності, зменшення вилуговування.

Покривні культури також висівають для створення рослинного покриву, живого мульчування, зелених органічних добрив, пригнічення бур'янів, отримання кормів для тварин або продуктів харчування. Вони бувають однорічними і багаторічними, можуть включати бобові, зернові, хрестоцвіті й інші культури.

3.5.1. Позитивні і негативні аспекти вирощування покривних культур

Передусім розглянемо ключові відмінності між покривними і сидеральними культурами. Радянська школа агрономії, яка сформувалася ще в 60-70-ті рр. минулого сторіччя, проміжні культури, які вирощуються між основними, називала сидеральними (від лат. *sidere* – осідати, залишатися лежати на місці). Американська школа агрономії такі культури називає покривними. Незважаючи на, здавалося б, однакову мету вирощування цих культур, – джерело органіки, між поняттями «сидерати» і «покривні культури» є

важлива принципова відмінність – сидеральні культури заорюють у ґрунт, а покривні залишають на поверхні.

Таким чином, сидеральні культури розглядають суто як джерело органіки, тоді як у покривних культур функцій більше: джерело органіки, захист ґрунтів від ерозії, створення мікроклімату в приповерхневому шарі, збільшення різноманіття мікоризоутворювальних грибів та ін. Співзасновник напряму американської школи екологічного рослинництва професор Вільям Альбрехт, який займався вивченням ефективності застосування покривних культур, вбачав ключову роль вирощування покривних культур саме в живленні і створенні сприятливих умов для розвитку біоти ґрунту.

Покривні культури є головним пунктом концепції так званого регенеративного сільського господарства, тобто такого, яке самовідновлюється і не суперечить розвитку природи. Запровадження покривних культур відповідає чотирьом з п'яти основних принципів здорової екосистеми ґрунту, розроблених професором Гейбом Брауном, а саме: захист поверхні ґрунту, мінімізація хімічного і фізичного впливу, різноманіття живих форм, максимум живих коренів у ґрунті протягом року.

У США масове вирощування покривних культур розпочалося ще 30 років тому. У країнах ЄС їх вирощування всіяко заохочується, зокрема, за це фермерам нараховують дотації. Крім того, в окремих країнах на законодавчому рівні виробників зобов'язують вирощувати покривні культури, тож практика вирощування в ЄС також дуже поширена.

В Україні ще до початку повномасштабного вторгнення також було розроблено програму, яка передбачала ряд заходів щодо заохочення аграрних підприємств до вирощування покривних культур, у тому числі за рахунок покриття витрат на їх вирощування.

У період відсутності основної культури покривні культури захищають поле від водної і вітрової ерозії. Рослинні рештки захищають ґрунт від дощових крапель, які під час потрапляння на непокритий ґрунт руйнують ґрунтові частки і роблять їх ерозійно-небезпечними. Поверхневий стік води також уповільнюється покривними культурами, що забезпечує кращу інфільтрацію вологи. Ґрунтозахисні функції виконує не лише надземна частина покривних культур, а й їх коренева система.

Покривні культури зменшують вимивання поживних елементів і засобів захисту рослин, перешкоджаючи їх потраплянню в ґрунтові води. Вони також дають змогу раніше розпочати весняно-польові роботи в полях за рахунок несучої здатності ґрунту і покращання тягових властивостей тракторів.

При застосуванні покривних культур відбувається збільшення органічної речовини в ґрунті, складаються сприятливі умови для росту популяцій мікоризи й біоти в цілому. Так само, як і органічні добрива, покривні культури сприяють підвищенню вмісту органічної речовини в ґрунті. Роль цих культур особливо зростає у випадку, коли з поля збирають усю надземну вегетативну масу рослин (наприклад, при вирощуванні кукурудзи на силос або зелений корм) і поле залишається тривалий час «відкритим».

Збільшення вмісту органічної речовини в ґрунті підвищує якість його обробітку та продуктивність. Під час розкладання органічної речовини і рослинних решток у ґрунті утворюються речовини, які склеюють частки ґрунту в агрегати, завдяки чому поліпшується його структура. Ці агрегати забезпечують кращу повітропроникність, аерацію, водну інфільтрацію, покращують вологоутримувальну здатність ґрунту, полегшують проростання насіння, сприяють росту й розвитку кореневої системи рослин.

Покривні бобові культури забезпечують збільшення вмісту азоту за рахунок симбіотичної асоціації з азотфіксувальними бульбочковими бактеріями. Залишки бобових культур після розкладання залишають у ґрунті азот і інші поживні речовини, які можуть бути використані наступними культурами. За даними служби поширення знань Вісконсинського університету (США), залишена на полі маса конюшини червоної, залежно від густоти рослин, може залишати для наступної культури 50–90 кг/га азоту. Цю кількість визначено з урахуванням вегетативної маси і кореневої системи рослин.

Чим більше азоту утворюють рослини природним шляхом, тим менше його потрібно вносити під наступну культуру. Доступність поживних речовин залежить від кількості, якості, розташування і часу розкладання решток покривних культур. Для конюшини червоної відношення вуглецю рослин до азоту коливається в межах від 11:1 до 17:1 і є недостатнім для швидкого розкладання рослинних решток, під час якого утворюється доступний для рослин азот.

Розрахунки науковців Вісконсинського університету показують, що близько 70 % від загальної кількості азоту доступно для рослин у перший рік після вирощування конюшини червоної.

Розміри симбіотичної азотфіксації залежать від багатьох факторів: від типу і віку рослин, їх густоти, способу обробітку ґрунту, однак основним фактором є вид рослини. Так, найвищого показника азотфіксації – до 500 кг/га азоту, досягають при вирощуванні люцерни, насамперед у південних помірно зволжених регіонах. Поряд з люцерною велику кількість азоту накопичує багаторічний люпин – до 400 кг/га. Серед бобових культур найменшу кількість азоту фіксують горох, вика, соя.

Невикористаний азот, що залишається в ґрунті, у кінці сезону вирощування має тенденцію до вилуговування протягом осені, зими та весни і може потрапляти в ґрунтові води. Деякі покривні культури мають властивість рециркуляції або накопичення надлишку поживних речовин. Вони акумулюють невикористаний азот, а після розкладання повертають його у ґрунт і наступні культури сівозміни будуть повторно його використовувати.

Вилуговування ґрунтів є однією з найбільш гострих проблем ХХІ ст., оскільки воно призводить до величезних і здебільшого невідновних втрат поживних речовин. На вилуговування ґрунту впливає ряд чинників, причому вирішальний вплив на цей процес мають технології вирощування польових культур.

На процеси вилуговування впливає ряд взаємопов'язаних факторів різної природи, які мають неоднакову тривалість у часі. Ними важко керувати і їх важко контролювати. Застосування покривних культур у сівозмінах з мінімальним і нульовим обробітком ґрунту є одним з головних заходів, які зменшують чи повністю зупиняють процеси вилуговування.

Аналіз досліджень вітчизняних і закордонних авторів показує, що застосування покривних культур у сівозмінах є стратегічно ефективним заходом захисту й відновлення ґрунтової родючості в різних агроєкосистемах світу.

У цілому можна визначити такі основні *позитивні аспекти вирощування покривних культур*:

- захист ґрунтів від водної і вітрової ерозії;
- використання живого мульчування в ролі ґрунтового покриву, який може слугувати фізичним бар'єром, що пригнічує сходи насіння бур'янів і їхній ріст;

- пригнічення росту деяких бур'янів унаслідок конкурентної боротьби з покривними культурами за світло, вологу, поживні елементи та площу живлення;

- поліпшення вологоутримувальної здатності й водної інфільтрації ґрунтів;

- зменшення температури ґрунту і діапазону температурних перепадів на його поверхні;

- покращання циркуляції поживних речовин;

- збільшення вмісту азоту в ґрунті за рахунок фіксації атмосферного азоту (якщо в покривних сумішах є бобові культури);

- збільшення кількості макро-, мезо- і мікробіоти ґрунту, яка забезпечує підвищення родючості ґрунту та його поживності за рахунок прискорення розкладання органічної речовини і рослинних решток;

- потужна коренева система деяких покривних культур руйнує підорні, ущільнені ґрунти, сприяє розвитку ґрунтової біоти;

- поліпшення фізичних властивостей ґрунту (агрегація ґрунтових часток, інфільтрація, пористість, проникна здатність);

- сівозміна із застосуванням різних видів покривних культур забезпечує баланс ґрунту і сприяє зменшенню проблем з комахами-шкідниками та хворобами;

- запобігання вилугованню ґрунтів;

- створення сприятливих умов для поглинання води і поживних елементів рослинами.

Поряд із беззаперечними перевагами є і ряд *негативних аспектів вирощування покривних культур*, зокрема такі:

- збільшення витрат на проведення сівби покривних культур: вартість насіння, оплату праці, амортизацію техніки, однак у разі застосування розкидного способу сівби витрати незначні;

- взаємодія з основною культурою – у разі безконтрольного вирощування покривних культур вони можуть проявляти властивості бур'янів і конкурувати з основною культурою за світло, вологу і поживні речовини;

- у посушливий сезон покривні культури можуть відбирати частину вологи в основній культурі;

- для більшості сівозмін з покривними культурами рекомендовано використовувати стартові дози азотних добрив у процесі сівби основної культури для компенсації поглинання азоту покривними культурами на початку їх росту;

– проблеми, пов'язані зі шкідниками і хворобами покривних культур, наявністю бур'янів, які є притулком для шкідників, хвороб та нематод. А вся ця біота може негативно впливати не лише на покривні культури, але й на наступні основні культури.

Урахування позитивних і негативних моментів запровадження покривних культур дозволяє оптимізувати їх вирощування поряд з основними культурами.

3.5.2. Практичні підходи запровадження покривних культур

Ефективність запровадження покривних культур значною мірою зумовлена тим, якими саме сумішами вони представлені. Стосовно цього навіть пропонують розробляти систему землеробства покривних культур, так само як у свій час було розроблено систему нульового, смугового, вертикального обробітку та ін. У такій системі мають бути свої правила, умови і рекомендації.

Вчення про алелопатію рослин говорить про те, що їх сумісність слід визначати за принципом – «партнер» або «конкурент». Розроблено різні матриці алелопатії, які для кожної сільськогосподарської культури показують рослини, з якими вона може нормально співіснувати, а з якими – ні.

Наразі відсутні практичні рекомендації щодо сумісності і правильного складання сумішей покривних культур. Зазвичай аграрії вирішують ці питання з виробниками покривних культур. Нічого поганого в такій співпраці немає, однак має бути певна складова, яка б регулювала ці процеси, робила аналіз і науково обґрунтовувала практичні напрацювання.

Єдиного, універсального рецепту щодо правильного вибору компонентів покривних культур немає і бути не може. Вибір культур повинен ґрунтуватися на показниках родючості конкретних ґрунтів, погодних умов, урахуванні складу вирощуваних культур, послідовності їх розміщення в сівозміні, запровадженій системі обробітку ґрунту (традиційний, мінімальний, нульовий тощо), експозиції поля та ін. І тільки на основі конкретних показників має визначитися конкретний склад покривних культур та їх співвідношення.

Мексиканський професор Річчі Рапту розробив концепцію підбору сумішей покривних культур, яка базується на визначенні активності ґрунтової біоти. Науковець пропонує поділяти поле на

частини з різним рівнем активності, яка напряду пов'язана з біотою, і вже знаючи ці рівні активності, підбирати конкретні компоненти для складання сумішей покривних культур.

Підбираючи компоненти сумішок покривних культур, слід дотримуватися загальних правил, серед яких основними є такі:

- сіяти потрібно незалежно від погодних умов, навіть якщо відмічається дефіцит вологи в ґрунті;
- суміш має включати 8–12 культур;
- норма висіву – від 3 до 10 кг/га (максимум до 20 кг/га);
- глибина висіву насіння – до 3,0–4,0 см;
- насіння не протруювати;
- добрива не вносити.

Часто в агрономів виникають сумніви щодо доцільності сівби покривних культур у районах нестійкого зволоження, тобто там, де волога є основним лімітуючим чинником урожайності. Дійсно, покривні культури випаровують певну кількість вологи, зменшуючи її вміст у ґрунті, проте більш детальне вивчення цього питання показує, що на відкритій площі після збирання комерційної культури теж відбувається інтенсивне зменшення запасів вологи внаслідок її видування після випаровування за тим же принципом, що і під час висушування волосся феном. Тож якщо навіть не запроваджувати покривні культури, волога все одно буде випаровуватися.

Коли ж поле вкрите рослинністю, волога, яка акумулюється у верхньому шарі, захищена від видування. І чим більше виповнений стеблостій і краще заповнені приземні яруси, тим менше її втрачається. У цих ярусах формується свій мікроклімат і встановлюється рівноважна вологість між ґрунтом та приземним повітрям, завдяки чому інтенсивність випаровування значно зменшується.

До того ж якщо не висіяти покривні культури, їхнє місце займуть бур'яни, які також будуть випаровувати вологу, але в більшій кількості. Основне завдання бур'янів – швидко сформувати потомство, тобто швидко отримати насіння. Вони генетично не спрямовані на те, щоб розвивати кореневу систему, яка збагачуватиме мікроорганізми ґрунту, тож бур'яни швидко забирають з ґрунту поживні речовини і вологу. Крім того, через корені вони виділяють у ґрунт токсини, щоб розчистити для себе площу. При цьому пригнічують культурні рослини, а також корисну біоту ґрунту.

Практикою доведено, що для росту й розвитку покривних культур потрібно не менше 30 мм вологи в період з липня по жовтень. Зазвичай таку кількість вологи за цей період гарантовано можна отримати фактично в усіх ґрунтово-кліматичних зонах.

Правило щодо оптимальної суміші покривних культур у кількості 8–12 видів підтверджено на практиці шляхом численних спроб. У покривної монокультури є ряд важливих недоліків. Зокрема, монокультура вступає у внутрішньовидову конкуренцію, рослини забирають одна в одній одні й ті самі поживні елементи і вологу з одного горизонту.

На коренях певних культур розвиваються певні мікроорганізми, тобто є певна спеціалізація. Саме тому чим більше культур буде представлено в покривній суміші, тим багатшою і різноманітнішою буде ґрунтова біота. Тобто покривна монокультура забезпечуватиме розвиток однієї групи мікроорганізмів ґрунту, суміш з двох покривних культур стимулюватиме розвиток двох груп мікроорганізмів, суміш трьох покривних культур – трьох груп і т. д. Тож щоб урізноманітнити біоту ґрунту, потрібно висівати суміші покривних культур.

Є рослини, які активно вступають у симбіоз з мікоризоутворювальними грибами, а є такі, які взагалі не формують мікоризу – ті ж самі хрестоцвіті (табл. 1), інші рослини своїми кореневими виділеннями сприяють розвитку бактерій, при цьому чітко виділяється певна спеціалізація зв'язків рослин з конкретними бактеріями та грибами. Тому щоб зробити більш повноцінний симбіоз і баланс біоти в ґрунті, потрібно широке представництво покривних культур.

Правильно складена суміш покривних культур, у якій є рослини з різними типами кореневої системи, на відміну від покривної монокультури, вигідніша також з погляду поліпшення структури і фізичних властивостей ґрунту. Рослини з мичкуватою кореневою системою розуцільнюють верхній шар ґрунту, тоді як рослини зі стрижневою кореневою системою здебільшого розуцільнюють середній і нижні горизонти. Саме тому суміш покривних культур з різною біологією і морфологією, зокрема з різними типами кореневої системи і глибиною їх проникнення, сприяють формуванню оптимальної структури та щільності ґрунтів. Серед покривних культур найкраще розпушує ґрунт суміш редьки з вівсом.

1. Рівень мікоризної колонізації покривних культур

Активність співпраці покривних культур з мікоризою		
висока	середня	відсутня
Пелюшка	Пшениця	Ріпак
Вика звичайна	Жито	Гірчиця
Вика волохата	Соняшник	Редька
Льон	Овес	Гречка
Кукурудза	Тритикале	Люпин білий
Люцерна	Райграс	Дайкон
Конюшина	Кротолярія	
Соя	Сорго	
Чина посівна	Суданська трава	
Сочевиця	Сафлор	
Пажитник		
Кінські боби		

Грунтова мікориза разом з дощовими черв'яками в процесі життя синтезують і виділяють у ґрунт природний клей – гломалін. При цьому лєвова частка виробленого гломаліну припадає саме на мікоризу. Гломалін (глікопротеїн) виявили не так давно – у 1996 р. Ця речовина відіграє надзвичайно важливу роль у формуванні агрегатного складу ґрунту. Гломалін склеює дрібні мулисті частинки ґрунту, збільшуючи завдяки цьому частку агрономічно-цінної фракції ґрунту, представлену водоутримувальними агрегатами діаметром від 0,25 мм до 1,0 см. Склеєні гломаліном мулисті частинки у природних умовах зберігають стійкість від семи до сорока років, механічно ж їх можна зруйнувати швидко.

Вирощування сумішей покривних культур ефективніше вирішує проблему забур'яненості. Кількість бур'янів, у тому числі падалиці, що залишається після комерційної культури, завжди буде меншою, ніж у полях із покривною монокультурою. Цього досягають насамперед за рахунок кращого заповнення всіх ярусів і коренями рослин, і їх надземною масою.

Одна з вимог, яку висувають до покривних культур, – це накопичення поживних речовин і формування більшої врожайності вегетативної маси – джерела органіки. У цьому плані також переважають суміші покривних культур, оскільки на практиці

доведено, що вони акумулюють більше поживних елементів і формують вищу врожайність фітомаси.

Усі покривні культури залежно від морфобіологічних особливостей і функціональності об'єднують у чотири групи: бобові, злакові, хрестоцвіті й інші (табл. 2). Щоб суміш покривних культур виконувала всі функції, максимально заповнювала і використовувала всі підземні та надземні яруси, важливо, щоб до неї входили представники всіх груп. Крім того, доцільно дотримуватися рівномірного співвідношення всіх груп. Як варіант, можна обрати суміш з восьми або 12-ти покривних культур, тобто по дві і три культури з кожної групи відповідно. Практичний досвід показує, що для досягнення бажаної ефективності з кожної групи потрібно обрати мінімум по дві культури.

Складаючи суміш покривних культур, у межах зернової і бобової груп варто обирати культури, які висувають різні умови до температурного режиму. Тобто якщо з групи обирати по дві культури, краще брати одну холодостійку, а другу теплолюбну.

Включення в покривну суміш холодостійких культур значно розтягує період ефективного розвитку мікроорганізмів ґрунту, оскільки при настанні холодів теплолюбні культури відмирають, при цьому вони перестають передавати через кореневу систему продукти фотосинтезу, як наслідок – активність біоти знижується. Більшою мірою це стосується мікоризи. Холодостійкі культури зберігаються довший час (озимі взагалі за м'якої зими фактично не зупиняють вегетацію), тож довше тримають ґрунтову біоту «в тонусі». Тобто ідеальний варіант, коли на полі щось має постійно рости.

Однією з основних функцій покривних культур є вкриття ґрунту. При цьому важливою умовою їх ефективної роботи є норма висіву насіння. За низьких норм висіву покривні культури добре кущаться й галузяться і досить легко справляються із цією функцією. Важливою перевагою незагущених посівів покривних культур також є те, що в них значно легше навесні висівати основні культури – вони достатньо легко пригинаються й розрізаються дисковими сошниками сівалки.

У загущених посівах між рослинами посилюється внутрішньо-видова боротьба, вони сильніше тиснуть одна на одну, гірше кущаться і галузяться, унаслідок чого недостатньо повно реалізують потенціал продуктивності, особливо в умовах дефіциту вологи.

2. Характеристика покривних культур за морфобіотипом і напрямом дії (функціями)

Культури	Ознаки	Функції
Бобові (<i>Fabaceae</i>), стрижнева коренева система		
Соя	Ш/Т	Накопичення азоту; розселення мікоризи; формування агрегатів; пригнічення бур'янів
Нут		
Вика	Ш/Х	
Конюшина		
Пелюшка		
Люцерна		
Сочевиця		
Чина посівна		
Люпин білий		
Кінські боби		
Злакові (<i>Poaceae</i>), мичкувата коренева система		
Пшениця	В/Х	Накопичення органічної речовини; накопичення рослинних решток; розселення мікоризи; формування агрегатів; пригнічення бур'янів
Ячмінь		
Тритикале		
Овес		
Жито		
Кукурудза	В/Т	
Просо		
Сорго		
Суданська трава		
Хрестоцвіті (<i>Brassicaceae/Cruciferae</i>), стрижнева коренева система		
Ріпак	Ш/Х	Вивільнення недоступних поживних елементів; пригнічення бур'янів
Гірчиця		
Редька		
Дайкон		
Інші родини, стрижнева коренева система		
Фацелія	Ш/Х	Формування агрегатів; вивільнення недоступних поживних елементів
Соняшник	Ш/Т	
Сафлор		
Гречка		
Льон		Розвиток мікоризи

Примітка. Ш – широколиста культура, В – вузьколиста культура; Х – холодостійка культура, Т – теплолюбна культура.

Практичний досвід у різних ґрунтово-кліматичних районах свідчить про доцільність сівби покривних культур з нормою висіву насіння в діапазоні від 3 до 10 кг/га. У районах з достатньої кількістю вологи її можна підвищувати, але не більше 20 кг/га.

Такі норми висіву насіння рекомендовано для сумішей покривних культур. Якщо ж практикується монокультура, то її норма висіву варіює в ширшому діапазоні і визначається морфобіотипом конкретної культури (табл. 3).

3. Орієнтовні норми висіву та глибина загортання насіння покривних культур

Культура	Норма висіву насіння, кг/га	Глибина загортання насіння, см	Конкурентоспроможність культури
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Пшениця	40–120	4,0–5,0	Висока
Жито			
Тритикале		3,0–5,0	
Ячмінь			
Овес	4–15	4,0–5,0	Середня
Кукурудза	5–10		
Просо	4–14	2,0–3,0	
Сорго	3–10	2,0–4,0	
Соняшник	3–7	3,0–6,0	
Сафлор	2–5	1,0–3,0	
Фацелія	8–12	0,5–3,0	Висока
Дайкон	9–15		
Редька олійна	4–6		
Гірчиця біла	5–10		
Ріпак	3–7		
Чина посівна	5–15	3,0–4,0	Середня
Сочевиця	20–35	2,0–3,0	Низька
Люпин білий	30–40	4,0–5,0	
Пелюшка	10–55		
Конюшина александрійська	14–16	1,0–2,0	Середня

Продовження табл. 3

1	2	3	4
Конюшина багряна	14–16	1,0–2,0	Низька
Конюшина повзуча	6–10	0,5–1,0	Висока
Пажитник	25–35	2,0–4,0	низька
Кінські боби	80–120	2,0–5,0	Середня
Вика звичайна	60–100		Висока
Вика волохата	15–35	1,0–5,0	Середня
Льон	25–35	0,5–2,0	
Гречка	40–60	2,0–3,0	Висока

Те ж саме стосується і глибини загортання насіння. Насіння різних сумішей покривних культур варто висівати на глибину 3–4 см. Будь-яка культура, навіть конюшина повзуча, проросте з цієї глибини. Це так звана середня глибина, яка в цілому враховує «інтереси» всіх покривних культур.

Якщо вирощується покривна монокультура, глибину загортання насіння слід обирати з урахуванням її морфобіологічних особливостей. Зокрема, насіння конюшини повзучої варто висівати на глибину 0,5–1,0 см, пелюшки – на глибину 3–4 см, соняшнику – на 3–5 см і т. д. (див. табл. 3). При цьому слід враховувати вміст вологи в ґрунті і прогноз опадів. Зокрема, якщо волога є на глибині 3,5–4,0 см, то будь-яку покривну монокультуру варто висівати на цю глибину. Після дощу або якщо шар ґрунту 0–10 сухий, варто сіяти на рекомендовану для кожної культури глибину.

При виборі суміші покривних культур важливо також брати до уваги район вирощування, зокрема кількість опадів за рік. У більш посушливих районах до складу суміші слід включати культури, які економніше витрачають і краще зберігають вологу. Серед покривних культур у цьому плані кращою є вика.

При складанні суміші покривних культур слід враховувати:

- 1 – мету вирощування (накопичення азоту, отримання вегетативної маси, розвиток мікоризи та ін.);
- 2 – основну культуру, яку висіватимуть після покривних;
- 3 – строк сівби і час знищення покривних культур;
- 4 – спосіб сівби (сівалкою, розкидачем та ін.);
- 5 – час і метод знищення.

Залежно від часу сівби покривні культури поділяють на три групи: літні, осінні та зимові. Літні покривні культури (різні види гірчиці, фацелія, гречка, соняшник та ін.) є найбільш ефективними, якщо їх висівають відразу після збирання колосових.

Осінні покривні культури (різні види конюшини, дракон, кінські боби та ін.) висівають пізніше від літніх. Вони вибагливі до тепла, тож гинуть з настанням морозів у листопаді або грудні. За потреби їх знищують хімічним способом.

До третьої групи належать зимові покривні культури (пшениця, тритикале, жито, вика та ін.). Їх висівають в останню чергу. Вони можуть перезимовувати і відновлювати вегетацію навесні. Під час вибору зимових культур важливо враховувати конкуренцію за вологу з основною культурою.

В умовах виробництва практикують різні варіанти сівби покривних культур, серед яких:

- сівба розкидачем перед збиранням комерційної культури;
- сівба розкидачем під час збирання врожаю;
- пряма сівба відразу після жнив;
- сівба розкидачем під поверхневий обробіток ґрунту;
- сівба відразу після проведення поверхневого обробітку.

Серед запропонованих варіантів сівби не можна виділити кращий або гірший. Кожен з них має свої переваги й недоліки й обирається залежно від конкретних завдань (табл. 4).

З першими двома варіантами варто діяти обережно, оскільки за нестачі вологи насіння покривної культури поглине доступну вологу і далі може засохнути. У такій ситуації краще зачекати і провести сівбу в сухий ґрунт. Після дощу насіння проросте.

У разі, якщо планується пряма сівба покривних культур одразу після жнив, щоб не допустити потрапляння соломи в насіннєве ложе, варто залишати високу стерню – 35–40 см.

Одним з правил вирощування покривних культур є сівба непротруєним насінням, що узгоджується з п'ятьма основними принципами здорового ґрунту. Це потрібно для того, щоб не знищувати ґрунтову біоту, яка працюватиме навколо проростаючого насіння. Саме з цієї причини не слід вносити добрива. Сама стратегія покривних культур передбачає, щоб за період їх вирощування були запуснені механізми оздоровлення ґрунту і максимально активно розвивалася біота, оскільки саме вона відновлює здоров'я ґрунту.

4. Переваги та недоліки варіантів сівби покривних культур

Пор. №	Варіант сівби	Переваги	Застереження
1	Сівба розкидачем перед збиранням комерційної культури	<ul style="list-style-type: none"> • Рання сівба; • незначні витрати; • перевага від використання залишкової вологи 	<ul style="list-style-type: none"> • Ризик поїдання насіння шкідниками; • поверхня поля має бути зволоженою; • можна сіяти лише дрібнонасінневі культури (наприклад редьку)
2	Сівба розкидачем під час збирання врожаю	<ul style="list-style-type: none"> • Рання сівба; • незначні витрати; • перевага від використання залишкової води; • відсутність додаткових обробок поля 	<ul style="list-style-type: none"> • Низька швидкість; • ризик поїдання насіння шкідниками; • можна сіяти лише дрібнонасінневі культури
3	Пряма сівба одразу після жнив	<ul style="list-style-type: none"> • Можна висівати будь-яке насіння; • рання сівба; • управління витратами; • перевага від використання залишкової вологи; • проростання бур'янів 	<ul style="list-style-type: none"> • Ризик потрапляння соломи в насінневе ложе; • ризик поїдання насіння шкідниками
4	Сівба розкидачем під поверхневий обробіток	<ul style="list-style-type: none"> • Якісна робота з рослинними рештками; • управління витратами 	<ul style="list-style-type: none"> • Пересихання верхнього шару; • проростання бур'янів; • нерівномірне розміщення насіння
5	Сівба одразу після поверхневого обробітку	<ul style="list-style-type: none"> • Якісна робота з рослинними рештками; • усі види насіння; • добрий контакт насіння з ґрунтом 	<ul style="list-style-type: none"> • Проростання бур'янів; • пересихання верхнього шару ґрунту; • швидкість роботи; • більші витрати

Необхідно пам'ятати, що ефект від запровадження покривних культур не буде проявлятися миттєво. На відміну від синтетичних добрив, які діють дуже швидко, це тривалий процес, який запускає механізм відновлення ґрунтової родючості. Результатом цього процесу є оздоровлення ґрунту, відновлення і розвиток його екосистеми, поліпшення агрегатного складу і фізичних показників.

3.6. Мікориза, її характеристика, місце в екосистемі ґрунту і значення в живленні рослин

Мікориза (грец. *μύκης* – гриб і *ρίζα* – корінь) – це взаємовигідна співпраця коренів рослин з певними видами ґрунтових грибів. Симбіоз між рослинами і грибами настільки успішний, що переважна більшість рослин у світі – понад 95 % – утворює мікоризні відносини в їхніх природних середовищах перебування. Виняток складають лише хрестоцвіті (ріпак, гірчиця, рижій, капуста броколі, редька), амарант, шпинат, буряки і люпин.

За місцем розташування гіфів гриба на коренях рослин розрізняють три варіанти мікоризи: ектотрофну, ендотрофну та ектоендотрофну. Варіант перший: досягши коренів, гіфи грибів утворюють на їхній поверхні присоски, з яких проростають усередину клітин коренів, утворюючи арбускули (рис. 13). Цей тип взаємодії називається ендотрофним, а мікориза – арбускулярною. Ендотрофний тип взаємодії характерний для більшості трав'янистих рослин, а це понад 95 % усіх видів рослин. Гриб при цьому живиться цукрами, які постачає йому рослина, а рослина отримує від гриба вологу й необхідні для неї поживні елементи.

Другий варіант взаємодії грибів з коренями рослин полягає в такому: досягши коренів рослин, гіфи грибів проникають не всередину клітин, а в міжклітинний простір, при цьому на поверхні коренів вони формують захисний чохол. Науковці назвали цей вид мікоризи ектотрофним. За такого типу взаємодії гриб також отримує від рослини цукри, а ектотрофна мікориза виробляє певні гормони, які примушують молоді корінці інтенсивно галузитися. Важливе практичне значення ектотрофної мікоризи полягає в тому, що вона відбирає надлишки вологи, допомагаючи при цьому озимим культурам краще перезимувати.

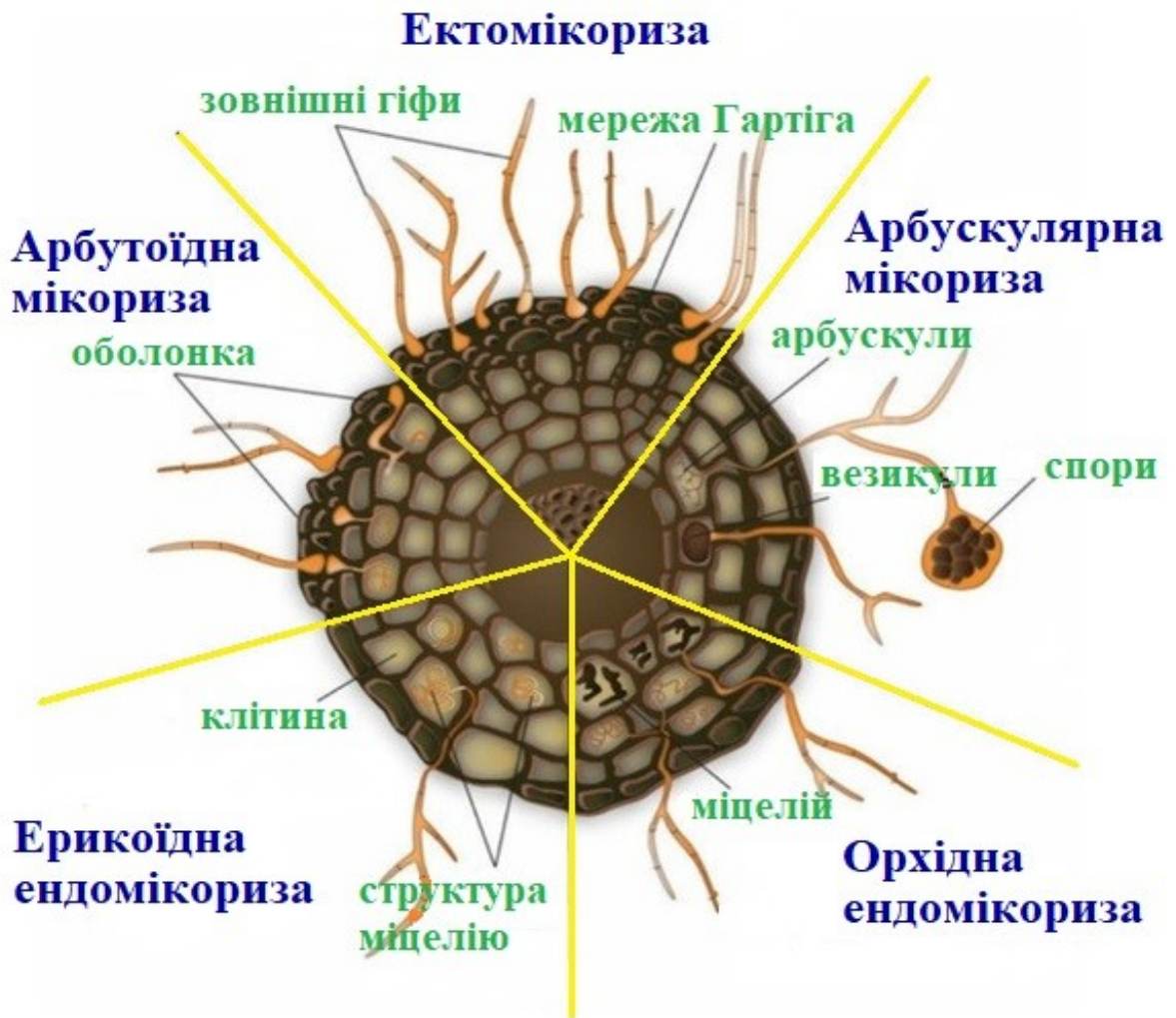


Рис. 13. Варіанти взаємодії мікоризи з коренями рослин

Зараження ектотрофною мікоризою характерне для дерев, зокрема для хвойних (ялина, сосна, модрина) і листяних (береза, бук, дуб та ін.). Серед чагарників ектотрофну мікоризу утворює верба. На поверхні ґрунту ектотрофна мікориза утворює плодові тіла – гриби. У ґрунті ектотрофна мікориза з'єднує між собою всі дерева одного або кількох видів у єдину мережу. І по цій єдиній мережі дерева можуть розподіляти елементи мінерального живлення, віддаючи їх молодшим рослинам. Цю дивовижну здатність науковці довели за допомогою мічених атомів.

Третій варіант взаємодії грибів з коренями рослин – екто-ендотрофний, або змішаний. За цього варіанта гіфи гриба проникають і в міжклітинні проміжки, і в самі клітини, а на поверхні кореня формують захисний чохол. Такий тип мікоризи характерний для орхідних, це одна з найцікавіших взаємодій між грибом і кореневою системою. Гриб проникає всередину клітин

коренів, але, на відміну від арбускулярної мікоризи, не рослина «годує» гриб, а навпаки, – гриб «годує» рослину. Це зумовлено тим, що при проростанні орхідні рослини в листках не утворюють хлорофіл, через що листовим апаратом не здатні виробляти цукри за допомогою фотосинтезу. Тож гриб на ранніх етапах розвитку орхідних рослин змушений сам їх «годувати».

Виникає логічне запитання – яким чином гриб виробляє цукри? Крім взаємодії з орхідними, гриб взаємодіє з кореневими системами інших рослин, які розміщуються недалеко від орхідних. Від них він отримує цукри, частину з яких перенаправляє орхідним. Далі, коли листовий апарат орхідних накопичує хлорофіл, вже вони перенаправляють частину цукрів у гриб.

За комплексом анатомічних і морфологічних ознак виділяють сім типів мікоризи: арбускулярну, ектомікоризу (найпоширеніші в природі), арбутоїдну, ектендомікоризу, ерикоїдну, монотропоїдну та орхідну.

Арбутоїдна мікориза схожа на ектомікоризу, відрізняючись лише тим, що гіфи гриба проникають також і всередину епідермальних клітин кореня. Цей тип мікоризи виконує фактично ті самі функції, що й ектомікориза.

Ектендомікоризу формують деякі аскомікотові гриби з порядків *Pezizales* і *Leotiales*. Для неї характерне як формування гіфального кореневого чохла та сітки Гартіга (як в ектомікоризи), так і проростання всередину клітин. Крім покращання живлення рослин, така мікориза захищає їх від важких металів у ґрунті.

Наступний тип взаємодії – ерикоїдний. Сама мікориза при цьому називається ерикоїдна, або вересова. Така мікориза утворюється при взаємодії гриба з рослинами з родини вересоцвітих, до яких належать азалії, рододендрони, верес, чорниця, брусниця, лохина, журавлина тощо, а також з представниками мохоподібних.

Ерикоїдна мікориза відрізняється від інших здатністю розвиватися всередині спеціалізованих, дуже тоненьких, волосоподібних та нерозгалужених коренів. Вона особливо сприяє постачанню рослині азоту, що важливо на бідних ґрунтах в екстремальних умовах.

Монотропоїдну мікоризу утворюють гриби деяких родів порядків *Agaricales* (*Tricholoma*), *Boletales* (*Rhizopogon*), *Russulales* (*Russula*) та *Thelephorales* (*Hydnellum*). Гіфи гриба утворюють багатопартийний чохлак навколо кореня і сітку Гартіга навколо його

епідермісу, а особливі відростки гіфів проникають в епідермальні клітини. Цей тип мікоризи формують безхлорофільні рослини, тож гриб постачає їм поживні речовини та цукор, отриманий від сусідніх дерев і чагарників, у яких він є ектомікоризним партнером.

Орхідна мікориза характерна для орхідних рослин з родини *Orchidaceae*. Гіфи гриба проникають у клітини кори кореня, усередині яких формують бульбочки гіфів, які називають пелотонами. Мікориза постачає рослинам азот, а безхлорофільним видам ще й вуглецеві сполуки. Важливо відзначити, що насіння орхідних здатне проростати лише в присутності відповідних грибів, а проростки рослин не здатні розвиватися без грибів-симбіонтів.

У ґрунтах найбільше розповсюджені гриби, які з рослинами утворюють арбускулярну мікоризу. Вони є найдавнішими мешканцями ґрунту, які з'явилися навіть раніше від самих рослин.

У науковців є дві гіпотези стосовно того, як гриби почали взаємодіяти з рослинами. Згідно з першою гіпотезою гриби, які формують арбускулярну мікоризу, при виході рослин на поверхню ґрунту спочатку паразитували на них, однак у подальшому ця взаємодія стала взаємовигідною.

Згідно з другою гіпотезою між арбускулярною мікоризою і рослинами одразу були встановлені взаємовигідні відносини, а оскільки в рослин від самого початку не було коренів, арбускулярна мікориза їх заміняла. У подальшому в рослин почала з'являтися коренева система, однак цей взаємовигідний симбіоз між рослинами і грибами зберігається й досі.

Гіфи грибів тонші, ніж корені рослин, тому вони здатні проникати туди, куди не може проникати коренева система рослин. Гіфи гриба, з'єднуючись з кореневою системою рослин, є мовби її продовженням, збільшуючи при цьому площу засвоєння елементів живлення в десятки разів. При цьому маса гриба на коренях може перевищувати масу власного кореня рослини у 5–8 разів.

Гіфи грибів виділяють у ґрунт органічні кислоти, які перетворюють елементи мінерального живлення з недоступної форми в доступну і переспрямовуються по гіфах у кореневу систему рослин. Дослідами було доведено, що мікориза забезпечує постачання фактично всіх макро- і мікроелементів мінерального живлення в рослину. Крім того, гіфи грибів здатні засвоювати вологу з тієї глибини, на яку не здатна проникати коренева система

рослин. Саме тому в посушливий період рослини з добре розвинуеною мікоризою менше потерпають від дефіциту вологи.

Гіфи грибів здебільшого складаються з азотовмісного полісахариду – хітину, до складу якого входить близько 30 % вуглецю. Крізь безлічі тоненьких волосків, які у 20 разів тонші за людське волосся, синтезовані гіфами травні ферменти виділяються в ґрунт, а назад всмоктуються вивільнені поживні елементи й волога, які провідними каналами передаються рослині (рис. 14).

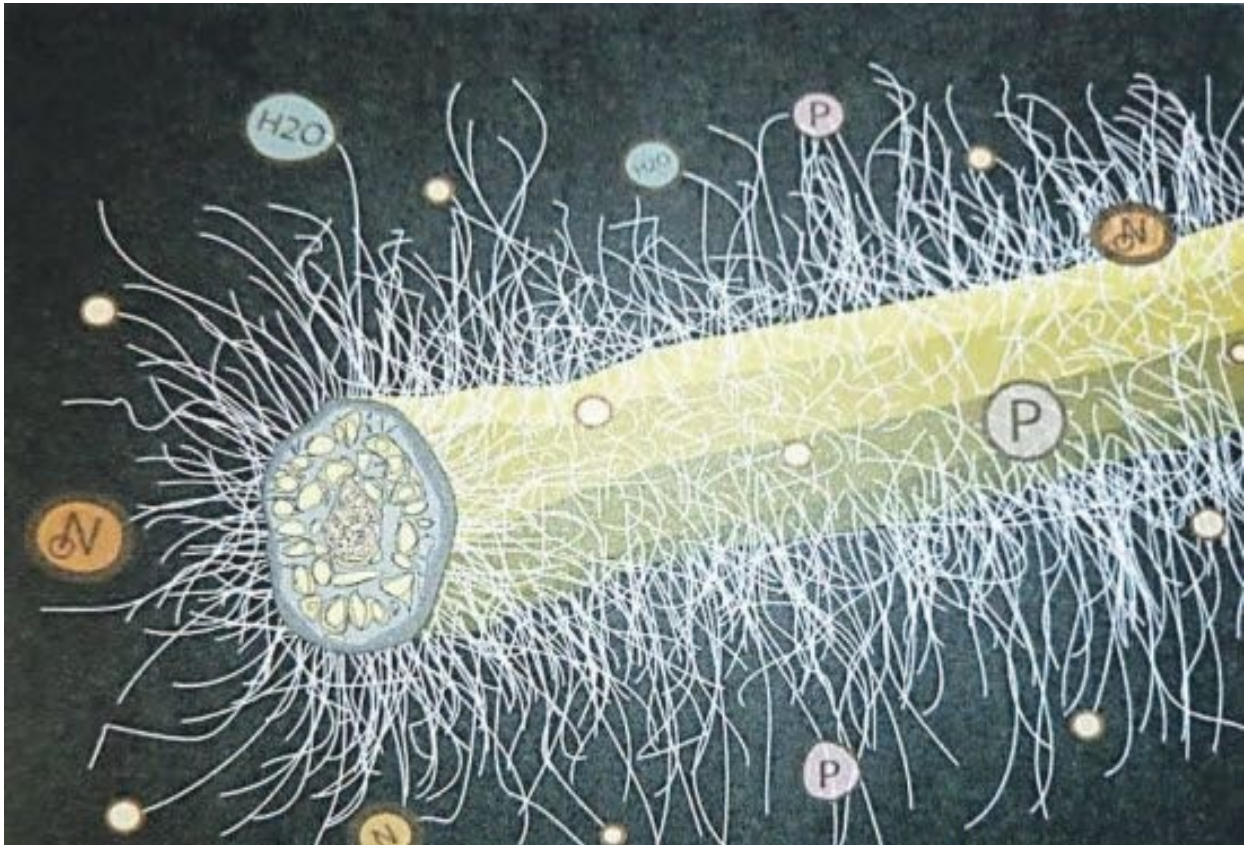


Рис. 14. Мікрофотографія кореня з нитками грибокоре́ня

Мікоризні гриби виробляють травні ферменти, які розривають міцні хімічні зв'язки більшості важкорозчинних сполук і передають вивільнені елементи живлення та вологу рослинам. Крім того, вони також здатні виробляти і передавати рослинам антибіотики, фітогормони і фунгіциди.

Мережа гіфів ефективно діє як ультратонкі адсорбувальні корені. Вода і поживні елементи, які поглинаються цієї грибовою мережею, а також вироблені гіфами антибіотики і фунгіциди доставляються в корені рослин. Маючи достатній запас води та поживних елементів, а також будучи захищеними від корневих і

деяких інших видів нематод, посіви рослин інтенсивно ростуть, виробляючи при цьому більше вуглеводів, продовжуючи ділитися ними зі своїм партнером – грибом. І рослина, і гриб отримують вигоду від такого партнерства, яке зветься симбіозом, або мікоризою.

Крізь кореневі волоски гіфів мікориза виділяє в ґрунт частину вуглеводів, які отримує від рослини й утворює симбіоз із корисними регенеративними мікробами, забезпечуючи їх нарощування в гіфосфері. Також міцелій гриба синтезує і виділяє в ґрунт речовини, які пригнічують патогени.

Мікориза формує на коренях рослин дуже щільну мережу гіфів, охоплюючи весь профіль ґрунту, і росте в напрямі найбільшого градієнта поживних речовин у ґрунті. При цьому близько 50 % мікоризи розташовується у верхньому шарі ґрунту – 0–7 см.

Основні напрями росту гіфів – межа між ґрунтом і приґрунтовим повітрям, де містяться відмерлі рослинні рештки; верхній шар ґрунту, у якому містяться відмерлі корені, ґрунтові мікроорганізми; глибший шар ґрунту разом з коренями рослин; поверхня повітряних ніш, які залишилися від відмерлих коренів.

До ризосфери навколо власних коренів рослин додаються гіфосфери навколо численних гіфів у всьому профілі ґрунту, у якому відбувається вивільнення елементів живлення, які стають доступними для рослин (рис. 15). Мікоризні гіфи формують спеціалізовані осередки для накопичення і збереження води на випадок надзвичайного її дефіциту.

Величезна кількість мікроорганізмів, яка міститься в здоровому ґрунті, функціонує як крихітна одиниця добрива з постійним вивільненням поживних речовин, забезпечуючи при цьому нормальний ріст і розвиток рослин та підтримуючи родючість ґрунту.

Завдяки швидкому розмноженню і короткому періоду життя багатьох мікробів (близько 20 хв.) у результаті їх життєдіяльності вивільнюється велика кількість поживних елементів. Один гектар кореневої зони гіфосфери здорового ґрунту може містити 3 т і більше мертвих мікроорганізмів, що становить понад 300–350 кг азоту, близько 165–175 кг фосфату, 65–70 кг оксиду кальцію і стільки ж оксиду магнію, 13–15 кг сульфату.

Завдяки потужному ферментативному апарату мікориза здатна перетворювати з гумусу елементи мінерального живлення з недоступних у доступні для рослин форми, чого не можуть зробити

корені рослин. Однак робить це мікориза в крайньому випадку, коли в ґрунті недостатньо лабільної речовини. Звичайно, це не кращий варіант, оскільки вміст гумусу в ґрунті при цьому зменшується.

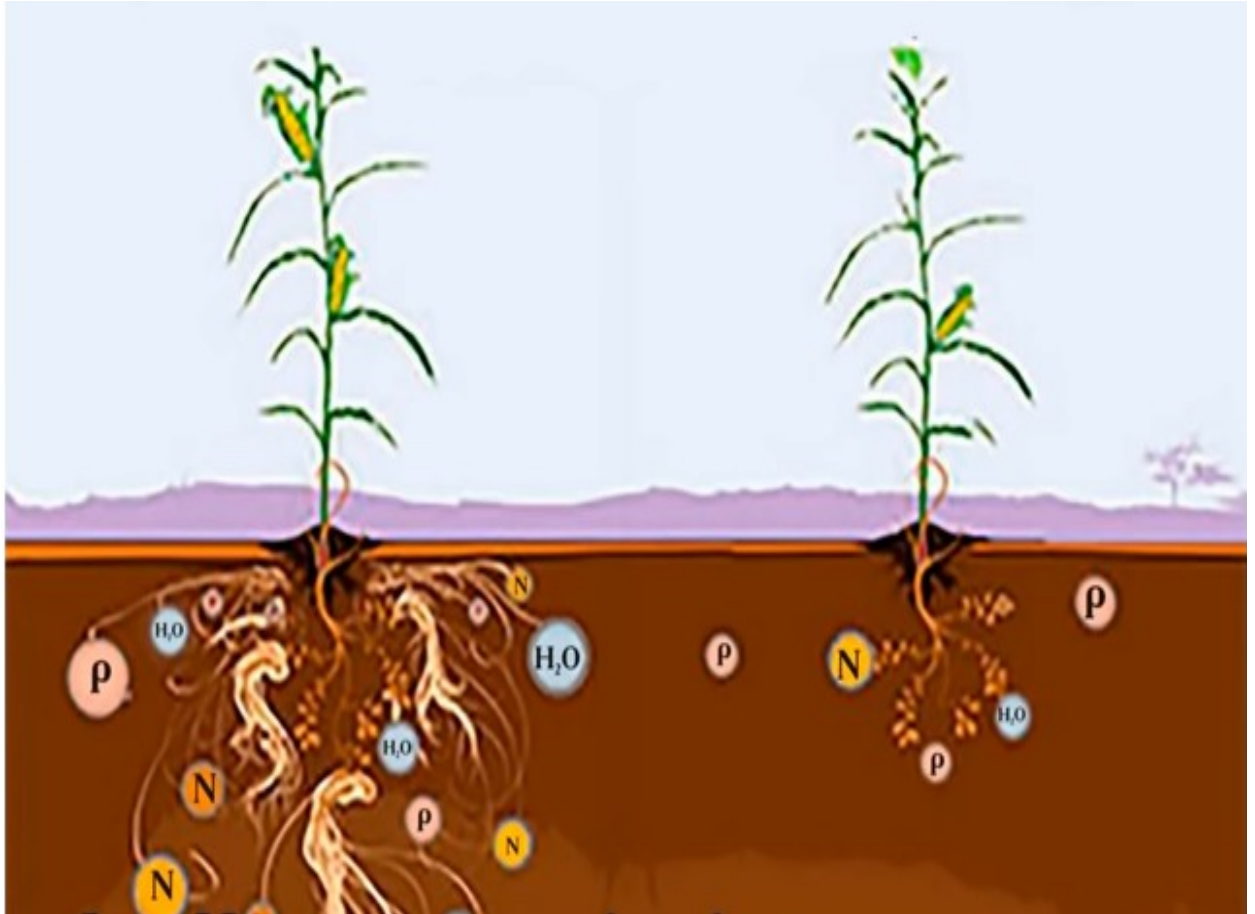


Рис. 15. Можливості рослини з розвиненою мікоризою (зліва) і без неї (справа)

Мікориза допомагає рослинам витримати посуху. І тут є одразу кілька механізмів впливу. По-перше, мікориза впливає на розвиток коренів рослин, забезпечуючи їх видовження, збільшення щільності і діаметра, кількості бічних розгалужень. Більш розвинена коренева система рослин разом з гіфами грибів поглинає з ґрунту набагато більше вологи. По-друге, мікоризовані рослини за допомогою гіфів отримують більше елементів живлення, таких як фосфор, калій, цинк і мідь, адже саме ці елементи підвищують посухостійкість рослин. По-третє, мікориза впливає на витрати вологи під час транспірації, тобто мікоризовані рослини втрачають значно менше вологи.

Мікориза також покращує ріст рослин на засолених ґрунтах за рахунок блокування надходження в кореневу систему іонів натрію і підвищення надходження іонів азоту, фосфору, калію, міді, цинку, заліза та ін. Ефективність мікоризи на засолених ґрунтах є значно вищою за дефіциту вологи.

Арбускулярна мікориза, так само як і ектотрофна, здатна між рослинами одного або кількох видів рослин утворювати мережу за допомогою гіфів. За допомогою цієї мережі рослини обмінюються між собою елементами живлення, а також передають один одному сигнали. Тобто теоретично, якщо на краю поля з'явиться шкідник і почне знищувати рослини, то інші рослини включатимуть внутрішні захисні механізми проти цього шкідника.

Унікальною особливістю мікоризи є її здатність виробляти гломалін. Уперше гломалін було відрито в 1996 р. професоркою Сарою Ерайт (США). Ця білкова, водостійка, склеювальна речовина містить близько 30 % вуглецю і може синтезуватися тільки гіфами арбускулярно-мікоризних грибів. Назву «гломалін» вона отримала за назвою симбіотичних грибів роду *Glomus* родини *Glomeraceae*. Цей рід грибів найкрупніший серед арбускулярних мікоризних грибів. Він налічує 85 видів, і всі вони здатні утворювати симбіотичні відносини з коренями рослин. Серед усіх видів найбільш поширені *Glomus aggregatum* і *Glomus intraradices*.

У пошуках елементів живлення та вологи для рослин, у міру розростання по поверхні ніш, гіфи синтезують і виділяють гломалін, який склеює часточки ґрунту й органічні рештки в агрегати, далі агрегати склеює між собою та з коренями рослин, тим самим структуруючи ґрунт (рис. 16). Структурований ґрунт, у якому міститься більше макроагрегатів, менше потерпає від водної ерозії і дефляції, є більш аерованим, інтенсивніше поглинає вологу, тож у таких ґрунтах кореням набагато краще рости.

Щоб ґрунт не втрачав своєї структури, у нього повинен постійно надходити гломалін, а для цього на поверхні ґрунту постійно має щось рости, тобто в ґрунті мають постійно бути живі корені рослин, на яких розвивається мікориза.

Другою важливою складовою підтримання ґрунтом належного структурного стану є відсутність обробітку. Обробіток ґрунту є головним ворогом грибів, і чим частіше й на більшу глибину обробляють ґрунт, тим менше мікоризи утворюється на коренях рослин і тим менше виробляється гломаліну.



Рис. 16. Гломалін, синтезований гіфами грибів

У довготривалих дослідженнях, проведених Інститутом Родейла (США, Пенсільванія) у різних кліматичних зонах і на різних ґрунтах, урожайність культур, вирощених за традиційною технологією, поступалася екологізованій технології, яка включала відмову від обробітку ґрунту, унесення добрив і пестицидів, натомість передбачала вирощування покривних культур, а також обробку насіння препаратами на основі мікоризних грибів і внесення їх у ґрунт. Перевагу від застосування мікоризних препаратів відзначали насамперед у роки з менш сприятливими погодними умовами.

Мікориза сприяє нормалізації ґрунтових процесів, завдяки чому відбувається вирівнювання кислотності ґрунту – рівень рН зміщується в бік нейтрального, за якого більшість елементів є максимально доступними для рослин (рис. 17). Мікориза адаптує рослини до кислотності ґрунту, тож при вирощуванні з мікоризою рослини формують високий урожай у розширеному діапазоні показників кислотності.

Рослини з розвинуеною мікоризою також краще адаптуються до низьких температур. Вони стають більш морозостійкими як у зимовий період, так і під час весняних заморозків. Цьому сприяють більші запаси цукру в ґрунті, які формує мікориза, виділяючи частину цукрів через кореневі волоски в ґрунт.

Мікориза забезпечує також інші необхідні вимоги для нормального росту й розвитку рослин, а саме – сприяє відновленню біологічної активності ґрунту і його здатності до регенерації, забезпечує вибіркоче живлення і поліпшує імунітет рослин, захищає від шкідників і хвороб, покращує цвітіння, підвищує ефективність використання добрив. Крім того, мікоризні гриби мають унікальну здатність поглинати органічний азот до того, як він перетвориться в неорганічні форми або вимийється в нижні шари.

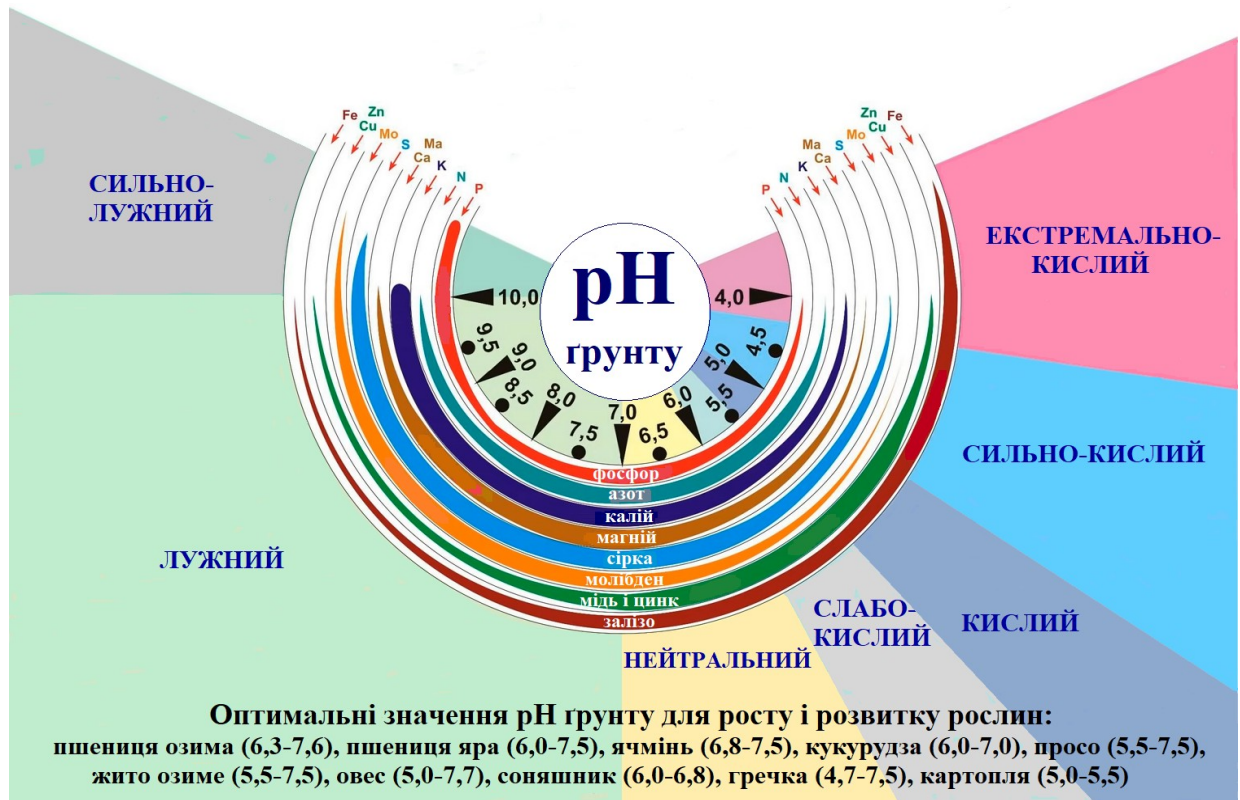


Рис. 17. Доступність мінеральних елементів і оптимальні значення рівня рН для основних польових культур

Близько 85 % злакових бур'янів не здатні утворювати мікоризу, тож вони не можуть конкурувати з товарною культурою, яка завдяки мікоризі має вигідніші умови щодо живлення і забезпечення вологою.

Заселення коренів мікоризою починається на перших етапах росту й розвитку рослин. Відразу після проростання насіння рослина через кореневу систему починає виділяти в ґрунт цукри, органічні кислоти, вітаміни, а також певні речовини, які «пробуджують» спори грибів. Після цього гіфи гриба починають рухатися в напрямі коренів і зв'язуються з ними.

Мікориза достатньо пристосована до температурних коливань і «працює» в температурному діапазоні від 0 до 58 °С. При цьому найбільш сприятливі умови для неї складаються за температури ґрунту 15–30 °С.

На популяцію мікоризних грибів у ґрунті впливає ряд факторів. Перший – це обробіток ґрунту. У ґрунтах, порушених обробітком, бактерій набагато більше, ніж грибів. За умови відмови від обробітку в ґрунті залишаються проходи від коренів попередніх культур, і коли молода рослина починає проростати, корінці рухаються в бік цих проходів. Таким чином, для вкорінення потрібно значно менше енергії. До того ж навколо цих проходів зібрана значна кількість спор грибів, які здатні формувати мікоризу. Саме тому молоді корінці в цьому разі максимально швидко заселяються спорами мікоризних грибів і набагато раніше отримують від мікоризи все необхідне для подальшого росту рослин.

Другий фактор – сівба покривних культур або сидератів у проміжках між товарними культурами. Краще, щоб у суміші покривних культур були й озимі, які через корені виділяють необхідні для мікоризи цукри.

Третій фактор – наявність на поверхні поля захисного шару з рослинних решток, а також висока стерня. Рослинні рештки захищають ґрунт від перепадів температури і вповільнюють випаровування вологи з ґрунту, що позитивно відображається на популяції мікоризи в ґрунті. Висока стерня взимку затримуватиме більше снігу, який не даватиме ґрунту сильно промерзати.

Четвертий фактор – хімічний захист посівів і внесення високих доз мінеральних добрив. Мікоризні гриби гинуть від фунгіцидів, які застосовують для протруювання насіння. Також мікориза буде пригнічуватися у випадку внесення великої кількості мінеральних добрив. Маючи навколо «готові» елементи живлення добрив, для отримання яких не потрібно ділитися цукрами, рослина віддаватиме перевагу саме добривам. Тому вона зменшить виділення цукрів коренями, що призводитиме до погіршення розвитку мікоризи.

І останній фактор – вміст вуглецю в ґрунті. На утворення мікоризи на коренях рослин дуже сильно впливає вміст цього хімічного елемента в ґрунті. Чим менше ґрунт міститиме органічної речовини, тим гірше коренева система буде взаємодіяти з грибами і тим гірше відбуватиметься утворення мікоризи.

Таким чином, головними умовами для нормального існування мікоризи ґрунту є:

- відмова від використання пестицидів;
- постійна наявність ґрунтового покриву (солону слід залишати на полі, подрібнюючи і рівномірно розподіляючи по поверхні);
- запровадження покривних культур, у тому числі зимуючих;
- відмова від обробітку ґрунту або мінімальний обробіток не глибше ніж на 5–6 см;
- скорочення до мінімуму використання синтетичних добрив.

Усі ці складові відповідають принципам екологічного рослинництва.

Щільність спор мікоризних грибів у ґрунті достатньою мірою накопичується на третій рік після внесення спеціалізованих грибних препаратів і запровадження заходів із забезпечення сприятливих умов для її існування. Цих спор буде достатньо для інфікування насіння наступної мікоризної культури, якщо мікориза перейшла в спори. Це саме той випадок, коли в сівозміні присутня немікоризна культура (ріпак, гречка, різні види гірчиці та ін.), а за нею в сівозміні знову йде мікоризна культура.

При використанні мікоризи дуже ефективні бінарні посіви. Наприклад, сімба люцерни під покрив ячменю. При переході на технологію з використанням мікоризи спорами обробляють насіння ячменю. При цьому рослини люцерни інфікуються гіфами мікоризи від ячменю. Після збирання ячменю люцерна стає новим хазяїном мікоризи. Інший приклад – сімба буркуну білого під покрив соняшнику. Спорами грибів обробляється насіння соняшнику. Буркун фактично не впливає на врожайність соняшнику і після його збирання стає новим господарем мікоризи.

Ефективність передпосівного обробітку насіння препаратами на основі грибів, здатних формувати на рослинах мікоризу, значною мірою залежить і від самої культури, і від сортових особливостей. Сучасні інтенсивні сорти польових культур менше реагують на цей захід. Тож можна зробити висновок, що такі сорти, які розраховані на вирощування із застосуванням великої кількості мінеральних добрив і пестицидів, частково або повністю втратили здатність утворювати мікоризу.

3.7. Дощові черв'яки як ключова ланка екосистеми ґрунту та їх значення для відновлення родючості ґрунтів

Всесвітньо відомий науковець Чарльз Дарвін, який першим почав вивчати життєдіяльність дощових черв'яків і присвятив їм цілу монографію, називав їх не оголошеними воїнами людства, а давньогрецький філософ Аристотель у свій час називав їх кишківником землі, підкреслюючи цим їхню важливу роль для підтримання родючості ґрунту.

Дощових черв'яків іноді небезпідставно називають біоплугом. Дійсно, вони роблять значний вклад у розпушування ґрунту, поліпшуючи його фізичні показники. Популяція зі ста дощових черв'яків на 1 м² за сезон може зробити ходів загальною протяжністю близько 1 км.

Тіло черв'яка вкрито слизом, і коли він робить проходи в ґрунті, слиз цементує стінки цих проходів. Таким чином, він «прокладає труби», по яких у ґрунт потрапляє волога, повітря і по яких коренева система рослин легко проникає у боки та вниз у пошуках поживних елементів і води (рис. 18).



Рис. 18. Ходи дощових черв'яків

У ґрунті черв'яки живляться органічною речовиною. Серед них є певна ієрархія – одні види харчуються органічною речовиною лише в ґрунті, не виходячи на поверхню ґрунту, інші – споживають органічну речовину, яка розміщена на поверхні ґрунту.

Відбувається це в такий спосіб: хвіст черв'яка розміщений у нірці, а голова міститься на поверхні ґрунту і починає шукати їжу. Знайшовши їжу, черв'як зтягує її до себе в нірку. Частина органіки (залишків листків і стебел) витрачається на формування підстилки, щоб черв'яку було «комфортно» в житлі, частина йде на закупорювання житла для збереження тепла, а решта з'їдається. Тож за рахунок життєдіяльності дощових черв'яків відбувається перерозподіл органічної речовини по шарах ґрунту.

Крім органіки, черв'яки пропускають через свій шлунок ґрунт, у якому містяться мікроорганізми (бактерії, актиноміцети, гриби, спори грибів, нематоди та ін.), які, у свою чергу, також є джерелом білка для черв'яків. Тож, пропускаючи через кишківник органіку і ґрунт, черв'яки отримують повноцінне живлення.

Продуктом життєдіяльності дощових черв'яків є копроліт (черв'яковий гній), зовні схожий на гранульований чай діаметром від 1 до 5 мм. Поживні речовини вивільнюються з копроліту поступово, забезпечуючи живлення рослин тривалий період. Склад копроліту унікальний. У ньому міститься до 15 % гумусу (у спеціально виведених черв'яків досягає 35 %). Причому якщо в ґрунтових мікроорганізмів на створення гумусу йдуть роки, черв'яки це роблять швидко, щоденно виробляючи гумус, маса якого становить 15–25 % від маси черв'яка, адже їм властива дуже висока активність споживання рослинних решток. Черв'яки прискорюють утворення гумусу у 52–56 разів. Учені підраховали, що в здоровому ґрунті частка гумусу, виробленого черв'яками, становить понад 70 %. Решта продукується мікроорганізмами.

Крім гумусу, у копроліті містяться макро- та мікроелементи, причому склад такого органічного добрива настільки збалансований, що він підходить для всіх культур. Черв'яки в ґрунті – це по суті «мінізавод» з виробництва добрив, за які не потрібно платити. Таким чином, чим більша популяція черв'яків у ґрунті і чим більше органіки, тим більше виробляється безкоштовних добрив.

У копроліті також містяться ферменти і природні антибіотики, які пригнічують розвиток ґрунтової патогенної мікрофлори. Тобто по суті дощові черв'яки виробляють біофунгіциди. Крім цього, у копроліті містяться вітаміни, амінокислоти, гумати, фульвати, які стимулюють ріст рослин. Зі шлунку разом із копролітом у ґрунт виділяються також корисні для рослин бактерії.

Дошові черв'яки дуже корисні для мікроорганізмів ґрунту, оскільки не перероблену в шлунку органіку вони виділяють у ґрунт у легкій для засвоювання мікроорганізмами субстанції.

Через кишківник за добу дошові черв'яки пропускають таку кількість органіки і ґрунту, яка дорівнює масі власного тіла. Середня маса тіла одного черв'яка становить пів грама. Тож якщо в ґрунті на 1 м² перебуває популяція зі 100 черв'яків, то, відповідно, за добу вони продукуватимуть 50 г копроліту. Таким чином, 100 дошових черв'яків за сезон за умови, що їхня активність становитиме 200 днів, продукують 10 кг копроліту, що в перерахунку на 1 га становитиме 100 т. А враховуючи, що ефективність 1 т копроліту черв'яків прирівнюють до 6–10 т гною, можна зробити логічний висновок щодо їхнього внеску в підвищення родючості ґрунтів. До того ж, на відміну від гною корів, копроліт не містить патогенів і насіння бур'янів.

Дошові черв'яки сприяють розкисленню ґрунтів, оскільки в процесі життєдіяльності через спеціальні залози травного тракту виробляють вуглекислий кальцій, який нейтралізує кислотність, поступово змінюючи її в бік нейтральної. Цим пояснюється підвищення показника рН ґрунтів на полях після переходу з традиційного на нульовий обробіток, оскільки популяція дошових черв'яків за умови відмови від оранки різко зростає. Серед переваг дошових черв'яків є також здатність нейтралізувати важкі метали в ґрунті, які є токсичними для рослин та екосистеми ґрунту.

Для відновлення популяції дошових черв'яків у ґрунті важливо дотримуватися ряду вимог, головною з яких є відмова від обробітку ґрунту, оскільки вона знищує їх. Помилковою є думка, що якщо розрізати черв'яка навпіл, то вийде два черв'яки. Якщо у черв'яка відрізати хвіст, то, можливо, він і виживе, якщо ж його розрізати навпіл, то з ймовірністю 99 % він загине.

У спеку зораний ґрунт швидко висихає і черв'яки гинуть від зневоднення. Під час оранки з обертанням пласта значна частина черв'яків вивертається на поверхню і знищується птахами. За пізньої осінньої оранки черв'яки вивертаються з підготовлених до перезимівлі нірок і гинуть від холоду. Зораний ґрунт, у якому не залишилося черв'яків, складається з брил, які погано подрібнюються навіть після боронування і більше нагадують каміння без ознак життя.

Таким чином, ураховуючи те, що під час обробітку ґрунту значна частина дощових черв'яків механічно знищується, його можна обробляти на глибину максимум до 5 см. Повна відмова від обробітку ґрунту – кращий варіант для швидкого відновлення їх популяції у ґрунті.

Другим ключовим фактором відновлення популяції дощових черв'яків є достатній вміст органіки як у ґрунті, так і на його поверхні у вигляді стебел, листків і коренів попередніх у сівозміні культур. При цьому важливе значення має вміст у пожнивних рештках вуглецю й азоту, а точніше, співвідношення між ними. Для дощових черв'яків ідеальний баланс між азотом і вуглецем у рослинних рештках має становити 1:15–1:20. У цьому плані кращими є бобові культури, у рослинних рештках яких співвідношення між азотом і вуглецем найкраще для черв'яків. У соломі зернових культур азоту міститься значно менше, і його відношення до вуглецю в середньому становить 1:40–1:50.

Сприятливим фактором для стрімкого росту популяції дощових черв'яків також є сівба покривних культур і сидератів, які є важливою складовою раціону для черв'яків. На чистих парах їх популяція буде різко зменшуватися, оскільки на них дуже мало їжі.

Також потрібно слідкувати за кислотністю ґрунту. Ідеальний діапазон рН ґрунту для росту й розмноження черв'яків – від 6,5 до 7,5 а поріг виживання – від 5,0 до 9,0. Щоб швидко підняти популяцію дощових черв'яків на кислих ґрунтах, їх потрібно раз у два-три роки з осені вапнувати з розрахунку 0,5–1,0 т/га вапна.

Наступним фактором, що впливає на популяцію дощових черв'яків, є дози мінеральних добрив. Велика кількість унесених добрив призводитиме до скорочення популяції черв'яків, і чим вищі дози добрив, тим більш помітним воно буде. Однак це не означає, що потрібно повністю відмовитися від внесення мінеральних добрив. Тут потрібний розумний підхід. Якщо рослинам не буде вистачати мінерального живлення, вони гірше ростимуть, формуватимуть меншу надземну і підземну біомасу. Таким чином, кормова база для черв'яків буде зменшуватися.

Фосфорно-калійні добрива в прийнятних дозах можна вносити разом із сівбою насіння, азотні добрива слід уносити в кілька етапів, при цьому краще частину азоту вносити по листю, щоб зменшити контакт розчину мінеральних добрив з черв'яками.

Для росту популяції дощових черв'яків потрібні також певні умови щодо вологості і температури ґрунту. Однією з найважливіших умов виживання дощових черв'яків є саме вологість ґрунту. Якщо її рівень нижчий від 35 %, то ріст чисельності черв'яків гальмується, а за вологості нижче ніж 22 % черв'яки живуть у ґрунті менше тижня. Оптимальний діапазон вологості ґрунту для існування черв'яків – від 70 до 85 %, оскільки цей показник близький до вмісту вологи в тілі черв'яка.

Оптимальна температура ґрунту для росту дощових черв'яків коливається в діапазоні від 15 до 20 °С. За температури понад 35 °С і нижче 0 °С черв'яки гинуть. Коли температура ґрунту опускається нижче від позначки 5 °С, вони впадають у сплячку. З настанням холодів черв'яки опускаються в нижні горизонти на глибину до 1 м, адже там температура не опускається нижче від позначки 0 °С.

Щоб створити більш комфортні умови для черв'яків, на поверхні ґрунту потрібно залишати мульчу з рослинних решток. Мульча відіграє роль ковдри, яка не дає швидко випаровуватися воді, та захищає ґрунт від перегрівання. Улітку некритий ґрунт може прогріватися вдень до 45 °С і вище, що унеможливило існування черв'яків у приповерхневому шарі.

Щоб створити такі умови, варто переходити на нульовий обробіток ґрунту, запроваджувати покривні культури між комерційними культурами та сидерати. Також високу ефективність забезпечує збирання врожаю на високому зрізі або за допомогою методу очісування (*stripper header*) спеціальними жатками.

Якщо не вдається накопичити достатній шар соломи для мульчі, то потрібно переглянути сівозміну і ввести додаткову культуру, яка залишає після себе високовуглецеві післяжнивні рештки (жито, пшениця, тритикале, ячмінь). Наприклад, можна поспіль посіяти дві зернові культури або цілий рік висівати лише покривні культури, не даючи їм зацвісти. Усе це дозволить накопичити достатній шар мульчі.

Останній фактор, який заважає росту популяції дощових черв'яків, – це забруднення ґрунтів пестицидами. Є навіть спеціальний біометод для оцінювання токсичності ґрунту. Його сутність полягає в тому, що в досліджуваний ґрунт підселяють дощових черв'яків і через певні проміжки часу стежать за ростом їх популяції, а також за тим, якою є їхня реакція на сонячне світло. Дощові черв'яки його сильно бояться й одразу заглиблюються в

грунт. Якщо відзначається позитивна тенденція росту популяції дощових черв'яків і вони активно реагують на сонячне світло, то, відповідно, грунт чистий, а якщо популяція черв'яків зменшується і вони слабо реагують на сонячне світло, це значить, що грунт токсичний.

Досить часто технологію *no-till* звинувачують у тому, що вона збільшує рівень забруднення ґрунту хімікатами. Водночас популяція дощових черв'яків у ґрунті, який не обробляють, значно більша, ніж у ґрунтах з традиційним обробітком. Зокрема, у полях, де запроваджується нульовий обробіток, популяція дощових черв'яків може сягати 300 шт./м², а там, де запроваджується традиційний обробіток ґрунту з оранкою – трохи більша за нуль.

Щоб зрозуміти весь масштаб проблеми, зауважимо, що за останні 100 років людина через обробіток ґрунту, нерозумний підхід до мінерального живлення і застосування засобів захисту рослин з десяти черв'яків знищила вісім. Якщо брати умовно, то живим залишився лише кожен п'ятий черв'як.

Поряд зі збільшенням популяції дощових черв'яків прискорити процес відновлення родючості ґрунтів можна шляхом унесення вермикомпосту (біогумусу), виробленого черв'яками в контрольованих умовах. Ця практика більш поширена в овочевих господарствах і на присадибних ділянках.

Для виробництва вермикомпосту використовують спеціальних штучно виведених черв'яків, оскільки дикі менш ефективні і менше живуть. Черв'яків годують органікою у вигляді соломи, гною (ідеальний варіант), харчових відходів тощо, а на виході отримують вермикомпост, який вносять раз на два-три роки з розрахунку 3–4 т/га, що за ефективністю рівноцінно внесенню 25–30 т/га гною.

Сьогодні науковці почали детальніше вивчати користь дощових черв'яків для ґрунту, тож цілком можливо, що найближчим часом родючість ґрунту визначатимуть не за вмістом гумусу або доступного азоту, фосфору та калію, а саме за кількістю черв'яків на одиниці площі.

3.8. Вміст органічного вуглецю в ґрунті і його вплив на родючість

Вміст вуглецю в ґрунті безпосередньо впливає на його родючість, тобто чим більше вуглецю міститься в ґрунті, тим більш родючим він буде.

Вуглець – це ключовий хімічний елемент на нашій планеті. М'язи на 2/3 складаються з цього елемента, кістки – на 1/3, вміст вуглецю в рослинах становить близько 50 %. Тобто вуглець – це один з головних будівельних матеріалів усього живого на планеті.

У повітрі вуглець міститься у вигляді вуглекислого газу – CO_2 . За останні 200 років його вміст в атмосфері помітно зріс, і цей процес не зупиняється. Зокрема, на початку XIX ст. вміст вуглецю в атмосфері у середньому становив 280 мг/л, на початку XX ст. – близько 290 мг/л, на сьогодні його вміст перевищує 370 мг/л.

Стрімке збільшення вмісту вуглецю в атмосфері спричинено діяльністю людини. Сюди належить неконтрольоване масштабне вирубування лісів – основного споживача вуглекислого газу під час фотосинтезу, спалювання викопного палива у вигляді нафти, газу, вугілля тощо. Також однією з причин підвищення концентрації CO_2 в повітрі є непоміркований підхід до вирощування сільсько-господарських культур.

Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері є основною причиною глобального потепління. І ці зміни вже реально відчуються. Глобальну проблему збільшення концентрації CO_2 в атмосфері корінним чином можна вирішити за допомогою переходу на зелену енергетику, тобто – не спалювати викопне паливо, а отримувати енергію від вітру, сонця, термальних джерел та ін. Також людина має змінювати підхід до вирощування польових культур.

Якщо в найближчі 100–200 років людство не вирішить ці проблеми, то цілком можливо, що виживання людини як виду буде під великим питанням. І якщо на перехід на зелену енергетику аграрії вплинути не можуть, то переглянути і змінити підходи до вирощування сільськогосподарських культур цілком реально.

Грунтовий вуглець поділяються на органічний і неорганічний. Неорганічний вуглець входить до складу різноманітних мінералів, а органічний потрапляє в ґрунт за допомогою рослин. У процесі фотосинтезу рослини поглинають вуглекислий газ і виробляють вуглецевмісні органічні сполуки – цукри (моносахариди, олігосахариди та ін.). Дві третини цих цукрів рослина залишає собі для росту надземної частини і коренів, а решту через кореневу систему передає у ґрунт у вигляді корневих виділень. Цими виділеннями живиться коренева біота, яка, у свою чергу, передає рослинам усе необхідне для їхнього росту й розвитку. Зокрема, мікориза переводить у рослину елементи мінерального живлення і вологу,

бактерії-азотфіксатори передають азот, фосфатмобілізатори – фосфор тощо.

Також під час дихання коренева система рослин споживає кисень і назад виділяє вуглекислий газ, який при взаємодії з ґрунтовою вологою перетворюється у вугільну кислоту. Далі вона опускається нижче від кореневої системи і розчинює мінерали, вивільнюючи в такий спосіб додаткове живлення для рослин.

Після того як рослини і тварини гинуть, у ґрунті їх переробляють мікроорганізми. У ході розкладання частина органічної речовини мінералізується, вивільнюючи при цьому поживні елементи для наступних культур, а частина органічної речовини переходить або в гумус, або в торф (у болотистій місцевості).

Утворення гумусу – це тривалий процес, тому оцінювати родючість ґрунту за вмістом гумусу не зовсім коректно. Найбільш точний метод оцінки родючості ґрунту базується на визначенні вмісту в ґрунті органічної речовини, або органічного вуглецю. Чим вищий вміст органічного вуглецю, тим вища родючість ґрунту.

Серед елементів технології вирощування найбільше знижує вміст вуглецю в ґрунті глибока відвальна оранка. Після її проведення значно зростає аерація ґрунту, тобто надходить більше кисню, який вступає в хімічну реакцію з вуглецем, у результаті чого утворюється вуглекислий газ, який вивільнюється в атмосферу, тобто відбувається втрата вуглецю.

Через дефіцит вуглецю ґрунтові мікроорганізми, щоб не зменшити свою популяцію, змушені шукати джерело цього елемента, вони починають мінералізувати гумус, вивільнюючи при цьому азот. Як наслідок, після обробітку ґрунту може відбуватися підвищення врожайності рослин, проте одночасно відбувається зниження родючості ґрунту.

Наступний агрозахід, який впливає на вміст вуглецю в ґрунті – унесення мінеральних добрив. Надмірні дози азотних добрив призводять до зменшення вмісту вуглецю в ґрунті, оскільки коли баланс азоту до вуглецю зміщується в бік азоту, мікрофлорі ґрунту починає не вистачати вуглецю, тож вона починає мінералізувати гумус з вивільненням додаткового азоту.

За правильно складеної сівозміни, якщо в ній наявні бобові культури, а також коли запроваджують покривні бобові культури, унесення азотних добрив можна звести до мінімуму, що позитивно відобразиться на балансі вуглецю в ґрунті.

Підвищити вміст органічного вуглецю в ґрунті можна шляхом запровадження покривних культур у проміжках між основними культурами. Перш за все покривні культури залишають після себе органічну речовину, яка потім переходить в органічний вуглець. По-друге, покривні культури запобігають розвитку ерозії, через яку втрачається найродючіший верхній шар ґрунту. Вклад покривних культур у відновлення родючості ґрунту і підвищення вмісту вуглецю в ґрунті приблизно такий самий, що й відмова від парів.

Роль покривних культур особливо зростає, якщо комерційна культура фактично повністю видаляється з поля, наприклад кукурудза на силос або на зелений корм. Високу ефективність покривних культур відзначають також після картоплі, буряків та інших корене- і бульбоплодів, оскільки в цьому випадку рослини також фактично повністю видаляють з поля.

Останній агрозахід, який може збільшувати чи зменшувати вміст органічного вуглецю в ґрунті, – це післяжнивні рештки й органічні добрива. Якщо солону після збирання врожаю вивозити з поля, то вміст вуглецю в ґрунті буде помітно зменшуватися. Унесення органічних добрив у вигляді гною, компосту тощо підвищуватиме вміст вуглецю в ґрунті за умови відмови від обробітку ґрунту. Якщо немає можливості внести органічні добрива, то кращим рішенням буде знов-таки сівба покривних культур.

Вуглець разом із гломаліном бере участь у створенні структурних агрегатів ґрунту. Добре структурований ґрунт схожий на губку, яка добре поглинає й утримує вологу. Між вмістом вуглецю в ґрунті і вологоутримувальною здатністю ґрунту існує прямий тісний зв'язок. У цілому 1 % вуглецю в ґрунті здатний утримувати до 200 т води на гектарі. Крім того, структурований за допомогою органічного вуглецю та гломаліну ґрунт краще протистоїть проявам водної ерозії і дефляції. Тож заходи, спрямовані на підвищення вуглецю в ґрунті, особливо актуальні для степових районів, а також для районів з легкими піщаними ґрунтами.

Наступна важлива функція вуглецю в ґрунті полягає в тому, що він є джерелом живлення для ґрунтових мікроорганізмів. Вуглець у складі цукрів рослини через корені передають ґрунтовим мікроорганізмам, отримуючи натомість макро-, мікроелементи й вологу. При цьому кожний вид рослин, навіть кожний сорт одного виду рослин годує свою ґрунтову біоту, тож чим більш

різноманітний склад культур у сівозміні та в сумішах покривних культур, тим різноманітніший склад біоти ґрунту.

Додатковий плюс від цього полягає в тому, що чим більш різноманітна популяція мікроорганізмів, тим менше буде патогенної мікрофлори. Як наслідок, у такому ґрунті рослини менше уражуються грибними хворобами.

Ідеальним співвідношенням вуглецю й азоту в ґрунті є 25:1. Це співвідношення значною мірою залежить від типу ґрунту і способу його обробітку. У разі відмови від обробітку ґрунту (перехід на *no-till* або *mini-till*) і введення покривних культур суттєво змінюється співвідношення між бактеріями і грибами в бік збільшення останніх, при цьому підвищується співвідношення між вуглецем і азотом (зростає частка вуглецю), оскільки в грибах вміст вуглецю значно вищий, ніж азоту. Зокрема, у тілі бактерії співвідношення між вуглецем і азотом становить 5:1, а в тілі гриба – 12:1.

Під час переходу на нульовий обробіток ґрунту в перші роки слід уносити підвищені дози азоту, оскільки в цей період у ґрунті збільшується чисельність бактерій і грибів, через три-чотири роки починає змінюватися співвідношення між бактеріями і грибами в бік останніх, відповідно, змінюється і балансовий показник вуглецю, наприклад від 25:1 до 30:1.

Змінювати співвідношення між вуглецем і азотом можна також за допомогою культур, що входять у сівозміну, і за допомогою різних добрив. Кожна культура залишає після себе післяжнивні рештки з різним співвідношенням вуглецю й азоту (табл. 5).

Якщо на полі, наприклад, вирощують ячмінь, у якого співвідношення між вуглецем і азотом становить 80:1, а баланс потрібно довести, наприклад, до 30:1, як варіант можна внести азот під час сівби наступної культури, або після ячменю посіяти покривні культури, у складі яких є бобові компоненти, або наступного року посіяти комерційну бобову культуру.

Високу ефективність у регулюванні балансу між вуглецем і азотом у ґрунті показують бінарні посіви, зокрема сполучення бобової і небобової культури. У цьому випадку на виході отримуємо більш-менш збалансоване відношення вуглецю до азоту в ґрунті.

Зрозуміло, що на різних етапах росту й розвитку рослин баланс між вуглецем і азотом у них буде неоднаковий. Чим молодша рослина, тим менше відношення вуглецю до азоту. Тож,

наприклад, у покривних культур, які загинули від морозу ще до настання цвітіння, відношення вуглецю до азоту буде меншим.

5. Співвідношення між вуглецем і азотом у рослинних рештках різких культур та в органічних добривах

Органічні добрива	Співвідношення C:N	Рослинні рештки	Співвідношення C:N
Пташиний послід	8:1	Вика	30:1
Гумус	10:1	Соя	30:1
Гній	10:1	Горох	30:1
Свіжоскошена трава	19:1	Люпин	40:1
Перегній	20:1	Кукурудза	50:1
Бур'яни на ранніх фазах	25-30:1	Ріпак	55:1
Бадилля	25-30:1	Ячмінь	80:1
Торф	60-70:1	Пшениця озима	80:1
Солома	80:1	Жито озиме	85:1

Таким чином, слід відзначити:

- з переходом від традиційного обробітку ґрунту до нульового або мінімального відбувається підвищення вмісту вуглецю в ґрунті, відповідно, зростає родючість ґрунту;

- при вирощуванні бобових культур або запровадженні покривних сумішей, які включають бобові культури, унесення азотних добрив варто звести до мінімуму або взагалі відмовитися від них;

- відмова від парів дозволяє підвищити вміст вуглецю в ґрунті оскільки пари – один з «ворогів» родючості ґрунту;

- для відновлення оптимального балансу між вуглецем і азотом у ґрунті потрібно правильно вибудувувати сівозміну з погляду співвідношення вуглецю й азоту в рослинах;

- щоб швидко підвищити вміст вуглецю в ґрунті, потрібно в нього вводити збалансовані суміші покривних культур.

3.9. Добрива в екологічному рослинництві

3.9.1. Характеристика органічних добрив і їх місце в екологічних системах вирощування сільськогосподарських культур

Органічні (біологічні) добрива є продуктом життєдіяльності живих організмів. Вони мають багатосторонню дію на агрономічно важливі функції ґрунту і дозволяють повторно залучити в господарсько-біологічний кругообіг елементи мінерального живлення та вуглець. Фактично всі органічні добрива є комплексними, оскільки до їх складу входять майже всі макро- і мікроелементи в легкій для засвоєння рослинами формі, вітаміни, фітогормони тощо.

Органічні добрива можна вносити під будь-яку культури. Вони є одним з кращих способів відновлення родючості ґрунту. Їхня дія полягає в підвищенні врожайності і якості продукції, поліпшенні структурного складу ґрунтів, їх аерації і водопроникності, а також кращому засвоєнню мінеральних добрив за рахунок поліпшення структури ґрунту.

За походженням і способом виробництва органічні добрива поділяють на чотири групи:

- органічні добрива тваринного походження: гній, пташиний послід, кісткове борошно та ін.;
- органічні добрива рослинного походження: торф, солома, леонардит, сидерати, покривні культури та ін.;
- комплексні органічні добрива промислового виробництва: біогумус, гумінові добрива та ін.;
- компости.

Гній займає перше місце за значущістю та внесеною кількістю серед органічних добрив. Його частка в загальній масі внесених органічних добрив в Україні становить 75–80 %. Зокрема, під урожай 2022 р. було внесено 9,720 млн т гною, що в загальній масі усіх внесених органічних добрив становило 77,12 % (рис. 19).

Нині гною в Україні вносять дуже мало. Причиною цього стало різке скорочення поголів'я великої рогатої худоби в 1990–2000 рр. Зокрема, якщо в 1990 р. на 1 га ріллі в середньому вносили 6,2 т гною, то в протягом останніх років – лише 250–280 кг (рис. 20), чого вкрай недостатньо. Наприклад, у 80-х рр. минулого сторіччя, за часів колишнього СРСР, щорічно в Україні вносили 160–180 млн т гною, зараз – не більше 10 млн т.

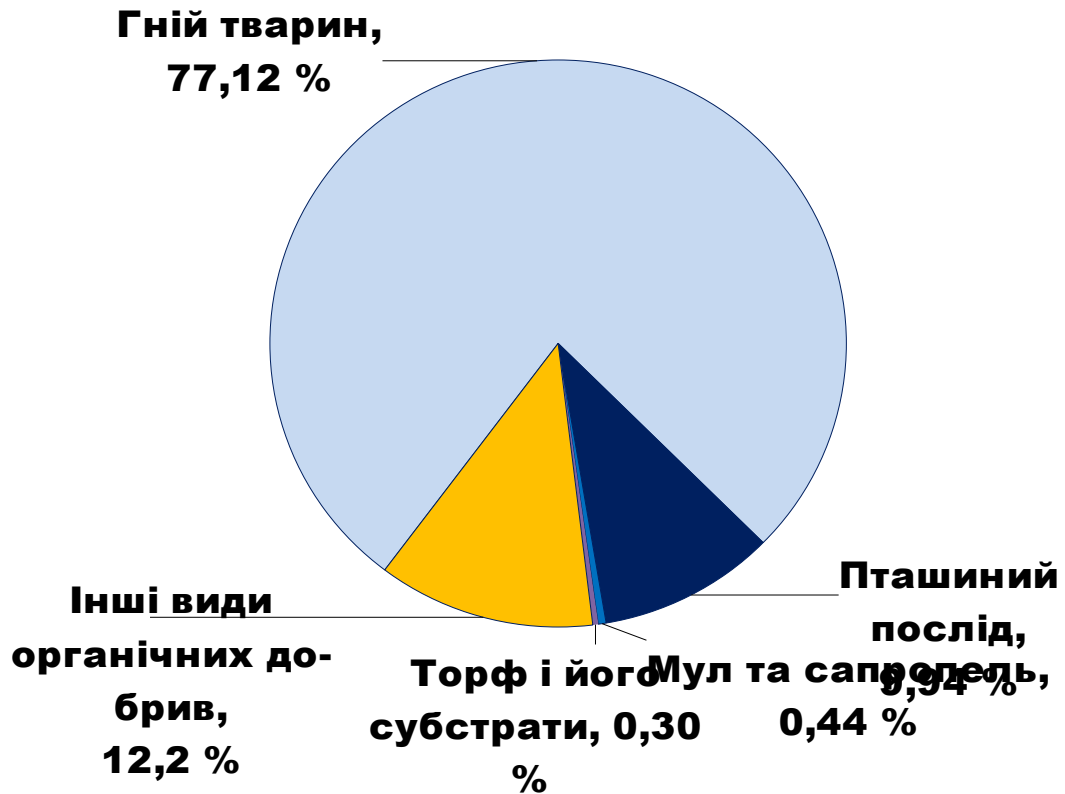


Рис. 19. Частка внесених під урожай 2022 р. різних видів органічних добрив у загальній їх масі

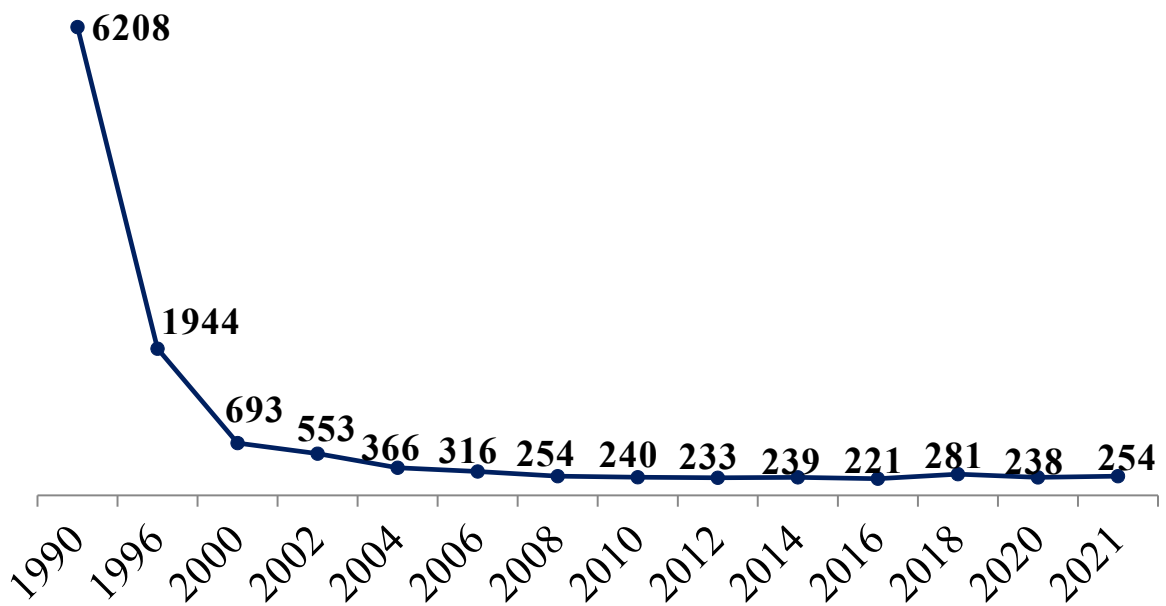


Рис. 20. Унесення гною великої рогатої худоби на 1 га орних земель в Україні в різні роки, кг/га

З елементів живлення, що містяться в кормах тварин, у складі гною до ґрунту повертається близько 40–50 % органічної речовини, стільки ж азоту, 60–65 % фосфору і 60–70 % калію від їх вихідного вмісту в кормах.

У результаті повільного вивільнення поживних елементів з гною в ґрунті не утворюється їх високих концентрацій, характерних для мінеральних добрив, що мінімізує ризики їх токсичного впливу на рослини та більш рівномірно забезпечує їх елементами живлення протягом вегетації, що особливо важливо для культур з тривалим періодом росту.

За ступенем розкладання гній поділяють на чотири групи: свіжий, напівперепрілий, перепрілий і перегній. *Свіжий гній* являє собою тваринні екскременти, які зазнали слабого розкладання. Солома в такому гної має типовий колір і міцність. *Напівперепрілий* – це свіжий гній, який втратив від 10 до 30 % органічної речовини від початкової маси. Солома в ньому стає темно-коричневою, менш пружною, легше розривається. *Перепрілий гній* являє собою однорідну консистенцію чорного кольору, яка містить близько 50 % початкової маси органічної речовини і в якій не спостерігається елементів підстилки. *Перегній* – пухка темна однорідна маса, яка містить не більше чверті початкової маси гною.

Удобрювальна цінність гною залежить від концентрації елементів мінерального живлення і їх доступності для рослин. До складу гною великої рогатої худоби входить близько 0,50 % загального азоту, 0,23–0,25 % загального фосфору, 0,58–0,60 % оксиду калію, 0,39–0,41 % кальцію і близько 20,3 % органічної речовини. У незначній кількості гній містить також бор, кобальт, магній, мідь та цинк. На хімічний склад гною впливає як харчовий раціон, так і вік тварини. Зокрема, гній від дорослої корови містить на 15 % більше корисних речовин, ніж від однорічного теляти.

Серед усіх видів гною найбільший вміст азоту, фосфору та калію має пташиний підстилковий послід – 39 кг/т. Далі йдуть: напіврідкий пташиний послід – 21 кг/т, підстилковий гній великої рогатої худоби – 11,5 кг/т, рідкий пташиний послід – 6,5 кг/т, рідкий гній великої рогатої худоби – 5,3 кг/т.

Пташиний послід – найбільш цінне і концентроване органічне добриво. Більш якісний послід виробляють кури. Підстилковий пташиний послід – це сипуча маса з низькою вологістю, у складі якої міститься близько 1,6 % азоту, 1,5 % фосфору і 0,9 % калію.

Застосовують його так, як і звичайний гній. Безпідстилковий курячий послід – липка маса з неприємним запахом, яка за вмістом поживних елементів переважає підстилковий курячий послід. Поживні елементи, які містяться в курячому посліді, легкодоступні для рослин. Також у ньому наявні личинки мух і насіння бур'янів.

У свіжому курячому посліді зазвичай відсутній аміачний азот, але під час зберігання у великих кучах послід розігрівається і внаслідок перетворення сечовини на летючі аміачні сполуки азот випаровується. За півтора-два місяці зберігання його втрати можуть становити 30–60 %. Цього можна уникнути, якщо свіжий послід прокомпостувати із соломою або торфом.

Найменший вміст NPK у рідких свинячих стоках – 3,0 кг/т, однак переважна більшість азоту в них (до 90 %) представлена в амонійній формі. Наприклад, частка амонійної форми в загальній кількості азоту в підстилковому гної становить 20–30 %, у рідкому гної великої рогатої худоби – 50–70 %. Амонійна форма азоту добре засвоюється рослинами в перший рік, а органічно зв'язана частина цього елемента стає доступною у міру мінералізації органічної речовини. Саме тому рідкий гній (гноївка) з погляду впливу на врожайність рослин буде ефективнішим у рік унесення, тоді як тверді форми гною відрізняються пролонгованою дією, забезпечуючи підвищення врожайності рослин до семи років.

Щоб ефективність застосування гною була високою, варто дотримуватися ряду вимог. По-перше, слід правильно заготовляти і зберігати гній, забезпечуючи його знезараження, втрату схожості насіння бур'янів і зберігаючи сприятливі фізичні властивості органічної маси при несуттєвих втратах летючих форм азоту. Якщо нехтувати правилами збереження, разом з гноем у ґрунт потраплятимуть патогени, гельмінти та ін.

По-друге, гній краще вносити в літньо-осінній період, оскільки внесення під час сівби ярих культур підвищує напруження під час проведення весняно-польових робіт, негативно відображається на рівномірності розподілу по полю та загортанні гною, спричиняє переущільнення ґрунтів і запізнення зі строками сівби.

Третє – важливо дотримуватися рекомендованих доз унесення і рівномірно розподіляти гній по поверхні поля. Занадто високі дози гною призводять до накопичення нітратів у продукції, збільшення строкатості ґрунтової родючості, забруднення довкілля. Середні

норми внесення гною становлять 30–40 т/га. Курячий послід у сухому вигляді вносять у дозі 0,4–0,7 т/га, у рідкому – 4–8 т/га.

Рідкий гній уносять восени під оранку, навесні під культивування, а також для підживлень багаторічних трав. Тверді форми гною та інших органічних добрив найбільш ефективні при внесенні під просапні та озимі зернові культури. Для кращої ефективності й доступності поживних елементів гній потрібно якомога раніше загортати в ґрунт. На четвертий день після внесення користь незаробленого в ґрунт гною для підвищення врожайності сільськогосподарських культур знижується на 45–55 %.

Рідкий гній вносять під культури, які потребують значної кількості елементів живлення від самого початку вегетації, наприклад, під кукурудзу в дозі 200–250 т/га або під однорічні трави в дозі від 80 до 100 т/га. Також високу ефективність рідкий гній показує на ярових культурах за умови рівномірного розподілу по полю. Рекомендована доза внесення під ярові культури становить 40–60 т/га.

Кісткове борошно, або фосфоазотин, – продукт переробки кісток тварин – переважно свиней і великої рогатої худоби, у якому міститься до 35 % фосфору і 24 % кальцію. Крім фосфору і кальцію, до складу кісткового борошна також входять магній, залізо, сірка, йод та інші хімічні елементи. Вміст азоту в цьому добриві мізерний.

Залежно від способу виготовлення розрізняють кісткове борошно трьох видів: звичайне, парене і знежирене. У звичайному кістковому борошні вміст фосфору найменший – 14–15 %. У пареному він досягає 25 %, у знежиреному – 35 %.

Важливою особливістю кісткового борошна є його тривала пролонгована дія. Це пов'язано з тим, що подрібнені частки кісток довго розкладаються в ґрунті, поступово вивільнюючи елементи мінерального живлення. Унесення кісткового борошна забезпечує також зниження кислотності ґрунту.

Торф – це особливий тип ґрунту, який утворюється внаслідок природного відмирання і неповного розкладання болотної рослинності в умовах підвищеної вологості й нестачі кисню. Торф складається з органічних речовин і мінеральних елементів, має щільну структуру, а його кольорова гама варіює від світло-коричневого до майже чорного відтінку – чим більше у його складі перегною, тим темніший і більш насичений колір.

Залежно від горизонту залягання і ступеня розкладення торф поділяють на три групи:

- 1 – верховий;
- 2 – низинний;
- 3 – перехідний.

Верховий торф утворюється внаслідок розкладання болотистої рослинності, у тому числі моху, пухівки, багна, вересу та сосни. У ньому міститься мало кальцію, тож він має кислу реакцію. У верховому торфі міститься невелика кількість зольних елементів і перегною, ступінь розкладання якого не перевищує 20 %.

Низинний торф утворюється внаслідок розкладання рослин і дерев, що ростуть у ярах і навколо русел річок. Ступінь розкладання органіки становить близько 40 %, можуть траплятися розкладені рослинні рештки. Він містить до 60 % вуглецю, 5 % водню, 3 % азоту, 1–3 % кисню, до 2 % сірки й калію та 1 % фосфору. За рахунок підвищеного вмісту кальцію низинний торф має нейтральну реакцію, тож його можна вносити під будь-які культури.

Унесення торфу в чистому вигляді малоефективне, у його складі мало азоту, до того ж він не може швидко засвоюватися, а процес його переведення в доступну форму повільний. Саме тому низинний торф краще застосовувати у вигляді компостів.

Перехідний торф умовно розміщується між верховим і низинним. Порівняно з низинним торфом, перехідний характеризується меншим ступенем розкладання органіки і може мати слабокислу або кислу реакцію. Як самостійне добриво фактично не застосовується. Здебільшого його використовують для виготовлення компостів.

Цінним джерелом органічного добрива є солома. Вміст поживних елементів у ній змінюється залежно від ґрунтових і погодних умов вирощування рослин. У середньому в соломі міститься 0,5 % азоту, 0,25 % фосфору, 0,8 % калію і від 35 до 40 % вуглецю у формі різноманітних органічних сполук. Також у соломі міститься певна кількість сірки, кальцію, магнію, бору, міді, марганцю, молібдену, цинку й інших поживних елементів (рис. 21).

При середній урожайності зерна колосових культур 3–4 т/га і за умови співвідношення між зерном і соломою 1:1 в ґрунт повертається 15–20 кг азоту, 7–10 кг фосфору та 24–32 кг калію. Якщо ж урожайність становитиме 5,0–6,0 т/га, у ґрунт із соломою

надійде від 25 до 30 кг азоту, 12–15 кг фосфору і 40–48 кг калію. При цьому увесь калій і близько половини фосфору в соломі містяться в легкій для засвоювання рослинами формі.



Рис. 21. Основні функції соломи як добрива

Солома є важливою сировиною для утворення гумусу і підвищення біологічної активності ґрунту. Великий вміст вуглецю має значний вплив на її розкладання в ґрунті. Солома постачає ґрунтовій мікрофлорі легкодоступний вуглець, для вивільнення якого мікроорганізмам, які розкладають целюлозу, потрібний азот. Однак якщо азоту в ґрунті недостатньо, процес розкладання соломи уповільнюється. Потрібний для розкладання соломи азот мікроорганізми отримують з ґрунту, тобто має місце імобілізація азоту.

Щоб цього не сталося, потрібно вносити азот у дозі, яка забезпечуватиме оптимальне співвідношення між вуглецем і азотом, а саме – 20–30:1. Щоб підтримати це співвідношення і не допустити імобілізації мінерального азоту ґрунту, потрібно на 1 т гною вносити 7–8 кг діючої речовини азоту. Тобто за врожайності соломи 3,0–4,0 т/га для її розкладання потрібно додати 20–30 кг/га діючої речовини азоту.

Проте використання для цього азотних добрив у чистому вигляді – не кращий варіант, і не лише тому, що це суперечить філософії екологічного рослинництва. Адже в розкладанні соломи можуть брати участь не лише сапротрофні мікроорганізми, а й паразити, які теж споживатимуть унесений азот і розкладатимуть солому, але гуміфікації органічної речовини при цьому не відбуватиметься. Така ситуація часто спостерігається саме в системах екологічного вирощування польових культур.

Для прискореного розкладання рослинних решток, утворення гумусу, мінералізації поживних елементів і знищення патогенів, які перебувають на соломі, їх потрібно обприскувати баковою сумішшю азотних добрив з екологічно чистими деструкторами стерні. При цьому дози азоту з розрахунку на 1 т соломи можна зменшити на 30–50 %. Наприклад, за врожайності соломи 3,0 т/га для її розкладання вистачить 15 кг/га діючої речовини азоту в баковій суміші з біодеструктором у дозі 1,5–2,0 л/га (для більшості біодеструкторів рекомендовані дози внесення збігаються).

На ринку представлено широкий асортимент біодеструкторів стерні, які можна застосовувати в екологічному рослинництві. Поряд з продуцентами целюлози й іншими ферментами, які розкладають рослинні рештки, до складу більшості біодеструкторів входять природні азотфіксувальні бактерії, фунгіцидні бактерії із широким спектром дії, що нейтралізують патогенні мікроорганізми, фосфор- і каліймобілізувальні ґрунтові бактерії, молочнокислі бактерії, інша корисна мікрофлора, а також рослинні фітогормони, вітаміни, амінокислоти, макро- й мікроелементи.

Азот добрив знижує депресуючу дію соломи на зернові культури. Імобілізований у присутності соломи азот добрив характеризується більшою рухливістю, меншою стійкістю до кислотного гідролізу і мінералізується швидше, ніж азот, імобілізований без соломи, особливо азот гумусу. У подальшому посилюються процеси мобілізації азоту в ґрунті, підвищується використання рослинами як іммобілізованого азоту добрив, так і азоту ґрунту, що й визначає її позитивну дію на врожайність наступних культур.

Швидкість мікробного розкладання соломи залежить також від типу ґрунту, його окультурення, температури, вологості, щільності, твердості, аерації та ін. Оптимальною для розкладання клітковини є температура 28–30 °С і вологість ґрунту 60–70 % від повної вологоємності. Інтенсивність розкладання соломи у

верхньому шарі ґрунту помітно вища, що пов'язано з вищим вмістом кисню та більшою чисельністю і різноманіттям видового складу ґрунтових мікроорганізмів.

Унесення соломи особливо ефективно під час вирощування зернобобових культур. Тож їх слід розміщувати насамперед на площах, удобрених соломною. Заздалегідь унесена в ґрунт солома стимулює азотфіксувальну здатність бобових культур і суттєво підвищує їхню врожайність.

Існує кілька способів використання соломи як органічного добрива.

1. Подрібнену і рівномірно розкидану по полю солому заорюють восени або в районах достатнього зволоження навесні. Це доцільно робити в поєднанні із зеленим добривом, що дозволяє в більшості випадків виключити внесення мінеральних азотних добрив і створює сприятливі умови для утворення гумусу в ґрунті після заорювання.

2. На ґрунтах з важким гранулометричним складом і у вологих кліматичних умовах розкидану по полю солому не заорюють, а заробляють поверхнево луцильниками або дисковими боронами. Це забезпечує кращий ефект порівняно із заорюванням. Там, де це можливо, після поверхневого загортання соломи бажано посіяти проміжну післяжнивну культуру, краще бобову.

3. Солому використовують як мульчу для запобігання проявам водної і вітрової ерозії. Мульчування створює сприятливі умови для вбирання вологи в ґрунт, зменшує, а іноді й повністю усуває небезпеку поверхневого стоку, забезпечує більш рівномірний розподіл води по поверхні поля, зменшує її випаровування, поліпшує структуру орного шару.

4. На полях після збирання колосових культур, у випадку заміни звичайного обробітку ґрунту безвідвальним, швидкість вітру на поверхні ґрунту зменшується на 40–60 %, через що зменшується загроза вітрової ерозії. Саме тому в районах поширення вітрової ерозії, де запроваджують безвідвальний обробіток ґрунту, заробляти солому в ґрунт не рекомендовано.

5. Систематичне внесення високих доз азотних добрив у сівозміні, особливо при вирощуванні просапних культур, як правило, повністю забезпечує потребу в цьому елементі і для рослин, і для мікроорганізмів. Тож унесення додаткового азоту при удобренні соломною не обов'язкове.

6. Ефективність унесення соломи значно зростає при додаванні зелених добрив – сидератів, пожнивних чи підсівних культур. Навіть при підсіві під зернові культури конюшини й осінньому заорюванні її разом із соломою відпадає потреба у внесенні мінерального азоту, оскільки його в достатній кількості акумулює конюшина. Якщо ж на зелене добриво вирощують небобову культуру, то потрібно вносити азот разом з біодеструктором у дозі, яка залежить від маси соломи. В усіх випадках найвищий результат від поєднання соломи і зеленого добрива отримують за високої врожайності культур, які висівають на зелене добриво.

Біогумус (вермикомпост) – концентроване, екологічно чисте органічне добриво пролонгованої дії, продукт переробки органіки (як правило, гною великої рогатої худоби) дощовими черв'яками. У його формуванні бере участь уся біота, що входить до екосистеми компостувальної сировини. У біогумусі в легкозасвоюваній формі містяться фактично всі необхідні для рослин елементи мінерального живлення, а також гумінові речовини, ферменти, рослинні гормони, вітаміни, ґрунтові антибіотики й інші речовини.

Біогумус містить багату мікрофлору, яка на повітрі швидко розмножується. Слиз і камедисті речовини, які виділяються в шлунку дощових черв'яків, сприяють більшій стабільності копроліту, запобігаючи швидкому його руйнуванню під впливом води та вітру. На відміну від гною, біогумус не містить патогенів, яєць гельмінтів, насіння бур'янів і важких металів. Гумінові речовини, які входять до складу біогумусу, розчиняють і утримують у ґрунті важкі метали, не дозволяючи їм потрапляти в рослину.

Біогумус значно перевершує гній за вмістом корисних бактерій. Зокрема, в 1 г гумусу міститься близько 2 млрд колоній бактерій, тоді як у такій самій масі гною – 150–350 млн. За вмістом гумусу (від 17 до 35 %) біогумус перевершує гній великої рогатої худоби в 7–8 разів, а за ефективністю – у 8–10 разів.

Гранулярна структура біогумусу має різносторонній вплив на ґрунт, сприяючи поліпшенню його структурності, нівелюванню ефекту закислення, спричиненого внесенням мінеральних добрив. Вона забезпечує покращання водо- і газообмінних процесів. Один грам біогумусу акумулює близько 7 г вологи і поступово виділяє її для рослин. Унесення біогумусу оздоровлює ґрунт, активізує в ньому біохімічні процеси, значно підвищує кількість корисної біоти

в ґрунті, покращує його фізичні й агрохімічні властивості, забезпечує підвищення врожайності і якості продукції сільськогосподарських культур.

Біогумус має підвищену концентрацію поживних речовин, які краще використовуються рослинами у випадках, якщо вони розподілені в ґрунті рівномірно. Його позитивний вплив проявляється протягом усього життєвого циклу рослин, починаючи з проростання насіння. На відміну від гною, біогумусу не притаманна інертність, тож рослини одразу на нього реагують.

Передозування при внесенні біогумусу неможливе – чим більше внести, тим краще. При рівномірному внесенні на всю площу поля під поверхневий обробіток його норма становить 3–5 т/га.

Біогумус є сировиною для виготовлення *вермісолу* – рідкої витяжки з нього, яку отримують за особливою технологією. У вермісолі містяться розчинні природні гумати, повний набір макро- і мікроелементів, комплекс корисних мікроорганізмів, амінокислоти, вітаміни, фунгіциди, а також природний фермент – хитиназа, який відлякує шкідників.

Вермісол застосовують для проведення позакореневих підживлень з метою активізації біологічних процесів у рослинах – поліпшення їх дихання, вироблення вітамінів та цукрів, захисту від шкідників і збудників хвороб.

Важливою перевагою вермісолу, як і біогумусу, є те, що в будь-яких дозах він не шкодить рослині. Рослина візьме з нього все, що їй потрібно, у необхідній кількості і тоді, коли це буде потрібно. Саме тому суворих рекомендації щодо доз його застосування немає і агрономи діють на власний розсуд щодо доз, видів і строків унесення вермісолу залежно від економічних можливостей господарства.

Добрива на основі гумінових речовин – гумати – являють собою солі гумінових кислот. Вони належать до нового класу засобів агрохімії, які мають корисний вплив на рослини, тож їх використовують у ролі добрив, активаторів росту і загальнозміцнювальних препаратів, які посилюють імунітет рослин.

Уперше факт позитивного впливу гуматів на рослини відзначено ще в 60-ті роки минулого століття, а пізніше численні польові експерименти й лабораторні дослідження довели ефективність їх застосування.

Гумінові кислоти разом з фульвокислотами відносять до групи гумусових (перегнійних) кислот (рис. 22). Гумінові кислоти включають три фракції: власне гумінові (сірі) кислоти, ульмінові (бурі) кислоти і розчинні в етанолі гіматомеланові кислоти.

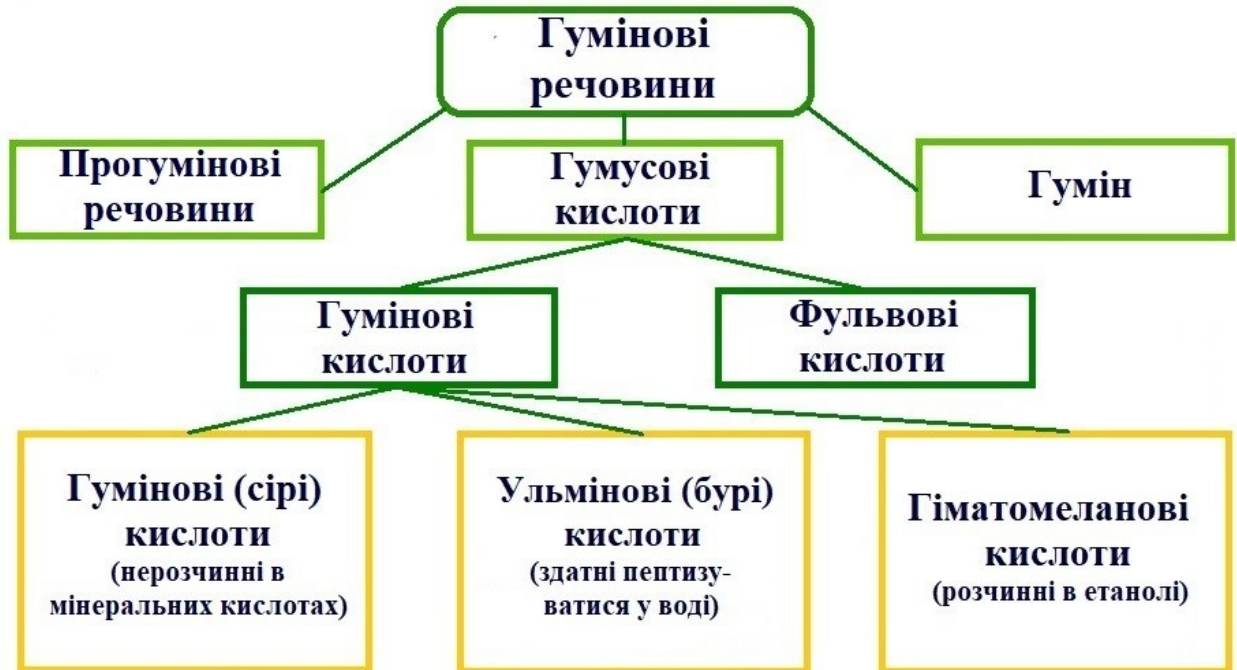


Рис. 22. Загальна структура гумінових речовин

Переважає більшість гумінових добрив (гуматів) включає дві фракції гумусових кислот: гумінові і фульвові. Крім них, до складу гуматів також входять: збалансований комплекс макро- та мікроелементів, амінокислоти, полісахариди, моносахариди, вуглеводи, вітаміни, рослинні гормони та ін. У різних комерційних продуктах їхній склад і співвідношення відрізняється.

Гумінові кислоти – це найбільша група гумусових кислот, які розчинні в лугах і нерозчинні в мінеральних кислотах. Вони являють собою високомолекулярні азотовмісні органічні кислоти. Солі гумінових кислот (гумати) сприяють прискореному поділу клітин рослин, зміцнюють їхній імунітет, підвищують проникність мембран кореневої системи. Передпосівна обробка насіння препаратами на основі гумінових кислот підвищує їхню польову схожість, стимулює швидше їх проростання, захищає від шкідників і патогенів.

Фульвокислоти – це група гумусових кислот, розчинних у воді, лугах і кислотах. Солі фульвокислот називають фульватами.

Молекулярна маса фульвокислот значно менша, ніж гумінових кислот, а вміст кисню вдвічі вищий. Через відносно невеликий розмір молекул фульвокислоти здатні легко проникати до коренів, листків і стебел рослин, переносячи із собою елементи мінерального живлення. Тобто фульвокислоти виступають хелатуючим агентом для швидшого введення мінеральних елементів у тканини рослин.

Рістстимулююча активність фульвокислот проявляється лише в сполученні з гуміновими кислотами. Крім того, застосування фульвокислот у чистому вигляді може приводити не до стимуляції, а навпаки – до пригнічення ростових процесів.

Оскільки гумінові кислоти є найбільшою фракцією гумусових кислот, до яких належать також і фульвокислоти, препарати на їх основі прийнято називати гуматами, вважаючи, що фульвокислоти є їх невід'ємною частиною.

Щоб гумусові речовини стали доступними для рослин, вони повинні перейти у водорозчинну форму. Цей процес відбувається у присутності лужних металів і деяких інших елементів та сполук з утворенням водорозчинних солей – гуматів. Серед усіх гуматів водорозчинними є лише гумати калію, натрію та амонію. Вони проявляють усі позитивні властивості гумусових речовин, але завдяки високій розчинності у воді їхня біологічна активність зростає в рази, а природне походження визначає повну екологічну безпеку.

Усі гумати поділяють на дві групи: промислові (отримують у результаті переробки відходів целюлозно-паперових комбінатів) і природні. Екологічно чистими є природні гумати. Сировиною для їх виробництва є викопна сировина: торф, буре вугілля, леонардит та ін. Промислові гумати зазвичай мають вигляд твердих сухих гранул сірого відтінку, а природні представлені у вигляді вологої, в'язкої суспензії чорного або темно-коричневого кольору.

Гумати належать до четвертого класу небезпеки, а це свідчить про їх повну нешкідливість. При цьому вони поліпшують структуру ґрунту, створюють сприятливі передумови для екосистеми ґрунту. Вони також пришвидшують транспортування поживних речовин усередині рослин, активізуючи окислювальні й відновні процеси і перешкоджаючи відкладанню нітратів. Крім того, природні гумати завдяки вмісту активованого вугілля спроможні за рахунок сорбційної здатності нейтралізувати іони важких металів (Hg^- , Cd^- , Pb^-) і навіть радіонукліди.

Переважну більшість гуматів, представлених на ринку України, виробляють із торфу, який має високі показники ефективності, при цьому його видобуток пов'язаний з найменшими витратами. Він покращує властивості ґрунтів, відновлюючи деградовані і забруднені ґрунти, підвищує їхню водоутримувальну здатність і мікробіологічну діяльність.

Найпоширенішими у виробництві є гумати калію, які мають слаболужну реакцію ($\text{pH} \approx 8,0$) і відрізняються широким спектром дії. На думку більшості експертів, Гумат калію може сприяти підвищенню врожайності сільськогосподарських культур до 30 %. Найбільша ефективність застосування проявляється за комплексного внесення – проведення передпосівної обробки насіння і позакореневих підживлень.

Також широкої популярності серед аграріїв набув Гумат натрію. Оскільки він має лужну реакцію ($\text{pH} \approx 10,0$), його не рекомендовано застосовувати на лужних ґрунтах. Гумат натрію значно посилює стійкість рослин до різних стресів, протидіє їх передчасному старінню.

Особливий інтерес у виробничників мають гумати нового покоління, які, крім гумінових і фульвокислот, містять гумін, ульмінові та (або) гіматомеланові кислоти. Завдяки цьому ефективність таких препаратів є вищою. Зокрема, на відміну від гумінових і фульвових кислот, які мають так звану «непряму дію», виступаючи в ролі активаторів ґрунту і стимулюючи метаболізм ґрунтових мікроорганізмів, ульмінові кислоти і гумін, навпаки, прямо впливають на рослини, активуючи обмін речовин, гормональні та ферментативні процеси. Крім того, ульмінові кислоти мають властивість іонізувати метали, виступаючи в ролі природних хелатуючих агентів. На відміну від класичних гуматів, такі препарати показують високу ефективність при позакореневих підживленнях. Важливою перевагою гуматів нового покоління також є їх кисла реакція ($\text{pH} = 3,5-5,0$), що вирішує проблеми під час формування бакових сумішей з мінеральними добривами, пестицидами та ін.

Зараз дедалі більшого поширення набувають органо-мінеральні добрива, які можна поділити на такі групи:

- розчинні мінерально-органічні добрива;
- розчинні мінерально-органічні добрива з корисними живими бактеріями;

- органічно-мінеральні швидкорозчинні гранульовані добрива;
- органічно-мінеральні важкорозчинні гранульовані добрива;
- органічно-мінеральні важкорозчинні гранульовані добрива з корисними живими бактеріями.

Найбільший інтерес становлять органічні мінеральні важкорозчинні добрива з корисними живими бактеріями. Такі добрива вирішують проблему не тільки сучасного живлення рослин, а й мають цілий комплекс різних механізмів запуску природних процесів гумусоутворення, поліпшення структури і фізико-хімічних показників ґрунту.

Зараз на ринку з'являється дедалі більше таких продуктів, які відрізняються складом та співвідношенням активних основ добрив. Органічною складовою цих добрив здебільшого є торф, діатоміт і леонардит, до яких додається збалансований комплекс макро- й мікроелементів та агрономічно корисні живі бактерії.

До деяких продуктів також додають модифіковані кремнієвмісні мінерали, діючою основою яких є активний кремній. Цей елемент є будівельним матеріалом для корисних бактерій, які вибудовують з нього екосистему для своєї життєдіяльності. Також активний кремній здатний утримувати вологу і не давати їй випаровуватися навіть за високих температур.

3.9.2. Мікробіологія ґрунтів та роль біопрепаратів на основі грибів і бактерій для оздоровлення ґрунту

Згідно з визначенням ФАО, здоров'я ґрунту – це здатність ґрунту постійно функціонувати як жива система в межах екосистем і сільськогосподарських площ, підтримувати біологічну продуктивність, поліпшувати якість повітряного та водного середовища, а також підтримувати здоров'я рослин, тварин і людей.

Рослини завдяки кореневій системі постійно виділяють у ґрунт цукри, якими живляться ґрунтові мікроорганізми. У відповідь на це мікроорганізми передають рослинам атмосферний азот, фосфор, калій, мікроелементи, воду, амінокислоти, вітаміни, рослинні гормони та ін. Вони зацікавлені в тому, щоб рослина мала більшу вегетативну масу, а відповідно, і більше цукрів. Саме тому мікроорганізми забезпечують рослини всім необхідним.

Корисні мікроорганізми конкурують зі шкідливими за доступ до культурних рослин. Рослина, у якої коренева система оточена

корисними мікроорганізмами, є захищеною від контакту з патогенами. Тож якщо ми маємо здоровий ґрунт, заселений корисною різноманітною ґрунтовою біотою, рослини будуть добре «нагодовані», простимульовані та здорові.

У ґрунті насіння контактує передусім з мікроорганізмами. І саме від людини значною мірою залежить, які це будуть мікроорганізми – корисні або шкідливі (патогенні). Рослини зацікавлені оточити себе корисними мікроорганізмами. Для цього вони коренями виділяють спеціальні молекули, які їх приваблюють.

Гумус і органічна речовина ґрунту були створені бактеріями ще кілька мільйонів років тому, і вони продовжують цю роботу. Вони можуть створювати органіку в ґрунті, однак якщо технологія вирощування не забезпечує дбайливого використання ґрунтів, то бактеріям не буде вистачати ресурсів, щоб це робити.

На природних ґрунтах, які не використовують для ведення сільського господарства, усе, що рослина акумулювала в результаті фотосинтезу, залишається в ґрунті. Якщо людина виносить урожай з поля, вона повинна щось повертати в ґрунт. І тут буде недостатньо лише мінеральних добрив.

У цьому плані значною є перевага технологій нульового обробітку ґрунту, за яких на полі залишається значна біомаса рослинних решток і не знищуються бактерії та гриби, які з ними «працюють» у ґрунті, оскільки не відбувається механічного його вивертання внаслідок технологічних операцій і, відповідно, не знищуються ґрунтові мікроорганізми. У такий спосіб накопичується органічна біомаса, яку мікроорганізми перетворюють у гумус і відновлюють ґрунт. Однак для цього потрібно, щоб у ґрунті була постійно присутня здорова, різноманітна мікробіота.

За останні 40–50 років інтенсивного обробітку ґрунту і внесення необґрунтовано високих доз мінеральних добрив була втрачена значна частина корисної мікробіоти ґрунту, а її місце зайняли патогенні види, краще пристосовані виживати в екстремальних умовах. Тож у край важливо відновлювати вміст корисної мікоризи в ґрунті шляхом унесення відповідних препаратів і при цьому вживати заходи для мінімізації їх знищення та для забезпечення їх їжею. У цьому напрямі кращим є нульовий обробіток ґрунту і сівба покривних культур, які є джерелом живлення мікробіоти ґрунту. Непоганий результат також показує технологія смугового обробітку ґрунту, оскільки необроблені

смуги, площа під якими становить близько 70 %, є резервуарами мікробіоти ґрунту, з яких у подальшому вона поступово заселює оброблені смуги.

Мікроорганізми виживали мільярди років, пережили льодовикові періоди, вони весь цей час створювали родючий шар ґрунту. Тобто проблем з мікроорганізмами не буде і вони працюватимуть на різних ґрунтах. При цьому інтенсивність роботи ґрунтових мікроорганізмів, насамперед бактерій, залежить від типу ґрунтів. На одних ґрунтах вони можуть працювати активно, на інших – дуже повільно.

Для так званого «запуску» механізмів відновлювання родючості ґрунту найкращим є нульовий обробіток ґрунту і застосування певних мікробних препаратів. Нульовий обробіток зберігає умови існування мікроорганізмів, тож у таких умовах вони будуть працювати більш ефективно.

Час застосування мікроорганізмів залежить від мети, якої необхідно досягти. Наприклад, якщо необхідно утворити мікоризу на коренях рослин, то потрібно обробити насіння спеціальними мікоризними препаратами. Для поліпшення забезпечення рослин фосфором і калієм під передпосівний обробіток ґрунту або разом із сівбою вносять спеціалізовані бактеріальні препарати, які містять певні види бактерій, здатні переводити важкорозчинні форми фосфорних і калійних сполук у доступні для засвоювання рослинами форми. Для кращого ефекту їх потрібно вносити в борозну на відстані від насіння 3–5 см.

Застосовуючи біопрепарати для передпосівної обробки насіння, можна повністю відмовитися від хімічних протруйників, однак спочатку ґрунт слід попередньо очистити від збудників хвороб. Для цього на поверхню ґрунту вносять препарати, які містять гриби і бактерії, що забезпечують оздоровлення ґрунту. До таких бактерій, зокрема, відносять бактерії роду *Bacillus subtilis*, гриби родів *Trichoderma* і *Coniothyrium minitans* та інші мікроорганізми, які пригнічують збудників хвороб у ґрунті і на рослинних решках.

Певним індикатором здоров'я ґрунту є бактерії з роду *Azotobacter*. Низький їх уміст свідчить, що в ґрунті накопичено багато токсичних речовин, на які бактерії зреагували і загинули.

Значний вплив на здоров'я ґрунту має технологія вирощування, зокрема, обробіток ґрунту, сівозміна, система

живлення і захисту посівів та ін. Чим більша глибина обробляння ґрунту, тим менший вміст корисних мікроорганізмів у ньому. Також їх сильно пригнічує внесення аміачної води та безводного аміаку. При внесенні цих азотних добрив корисні мікроорганізми зазвичай гинуть. З пестицидів найбільш негативно впливають гербіциди і фунгіциди.

Більшість корисних мікроорганізмів мають певну специфічність стосовно до культури господаря, тож для різних рослин характерний певний мікробний ценоз ґрунту. Це можуть бути як корисні, так і патогенні мікроорганізми, які адаптуються до рослини господаря.

Восени і навесні чисельність мікроорганізмів у ґрунті є найбільшою через більший вміст вологи в ґрунті і сприятливий температурний режим. У ґрунті мікроорганізми розподілені нерівномірно, і в кожному його шарі спостерігають різні їх види. Це зумовлено їхньою специфікою. Деякі серед них є аеробами, для них потрібне повітря, тож вони розміщуються переважно у верхніх шарах. Анаероби, яким не потрібне повітря, можуть зберігатися в нижніх шарах, де відзначають менший вміст кисню. Ряд мікроорганізмів має специфічні пігменти, завдяки яким вони можуть бути на поверхні ґрунту і не гинути під прямими сонячними променями.

Численні дослідження показали, що за нульового обробітку ґрунту загальна чисельність мікроорганізмів є набагато вищою, ніж за традиційного обробітку. Значно більшою є кількість оліготрофів, тобто мікроорганізмів, які завершують мінералізацію органічних сполук. Індекс оліготрофності за обох систем обробітку ґрунту, як правило, менший від одиниці, що є нормою, а якщо він перевищує одиницю, це свідчить про несприятливі деградаційні процеси в ґрунті. Індекс педотрофності, який характеризує швидкість відновлення гумусу, значно вищим є на варіантах з нульовим обробітком ґрунту, що свідчить про кращі умови для життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів.

Грибна складова на полях з нульовим обробітком також є значно вищою як за чисельністю, так і за деякими групами мікроорганізмів. Сапротрофних грибів, що живляться органічними рештками, за традиційного обробітку майже вдвічі менше, а токсиноутворювальних видів грибів на 20–30 % більше. За нульового обробітку ґрунту кількість грибів-антагоністів, які за

рахунок виділення певних речовин відлякують і знищують патогени, захищаючи рослини, зазвичай значно більша, ніж за традиційного. За щорічної глибокої оранки з обертанням пласта цих грибів взагалі може не бути.

За усередненими даними, частка грибів-сапрофітів у загальній кількості грибів за технології no-till перевищує 50 %. Частка грибів-патогенів є найменшою і становить 5,0 %. Близько 8,0 % від загальної кількості грибів представлена грибами-антагоністами (рис. 23).



Рис. 23. Частка різних груп грибів у ґрунтах, на яких запроваджено нульовий обробіток

За нульового обробітку ґрунту спостерігається підвищення його кислотності порівняно з традиційним обробітком, що є позитивним для грибів. Тож у мікробному ценозі за нульового обробітку грибів, ніж бактерій, оскільки для бактерій кращими є нейтральні та слаболужні ґрунти.

За узагальненими даними, на рослинних рештках у системах нульового обробітку ґрунту переважають облигатні сапрофіти – у середньому 46 %. Частка патогенних видів грибів, які в подальшому негативно впливатимуть на рослини і спричинять різні захворювання, становить близько 44 %, антагоністів-патогенів – 10 %.

Мікроорганізми живуть не лише в ґрунті та рослинних рештках, а й на самих рослинах. Найбільше таких мікроорганізмів на рослинах, які не обробляються пестицидами. Без застосування пестицидів на рослинах перебуває значна кількість ентомофагів, які захищають рослини від шкідників і патогенів. Тож, не завдаючи шкоди корисним бактеріям, господарства можуть економити на засобах захисту рослин і отримувати більш якісну продукцію.

Рослина, як і ґрунт, – це певна екологічна ніша, яка завжди за своєю природою має бути заселена. І якщо на ній відсутні антагоністи, їхнє місце займуть патогени. Фунгіцидними препаратами можна знищити частину патогенних організмів, однак їхнє місце займуть інші патогени, більш стійкі до фунгіциду, оскільки в будь-якому разі ця екологічна ніша буде заселена.

Якщо посіви не обробляти інсектицидами, на поверхні листків і стебел рослини можуть жити ентомофаги, які знищують шкідників. Також рослини можуть заселити паразитичні організми, які здатні уражувати шкідників, викликаючи в них різні хвороби. Наприклад, відома бактерія *Bacillus thuringiensis* може жити на листках рослин і шкідники, з'їдаючи їх, гинуть. Спори цих бактерій, розчиняючись під дією шлункових соків шкідників, отруюють їх, тому через деякий час ці шкідники гинуть.

Бактерії відіграють значну роль у нейтралізації негативного впливу гербіцидів. За сильного гербіцидного навантаження, яке насамперед характерне для нульової технології обробітку ґрунту, певні види бактерій здатні відновити рослини після стресу та стимулювати їх подальший ріст і розвиток. Зазвичай для цього використовують бактерію *Azotobacter chroococcum*, оскільки вона здатна синтезувати фітогормони, які виводять рослину з гербіцидного стресу (табл. 6). Також для зняття гербіцидного стресу використовують бактерії *Poenibacillus polymyxa*, які виділяють більше амінокислот, ніж фітогормонів, при цьому вони також забезпечують виведення рослин з гербіцидного стресу.

Значну роль біопрепарати можуть відігравати для обробки насіння, забезпечуючи кращу стимуляцію проростання і підвищення посухостійкості рослин. Для цього можуть бути використані бактерії *Bradyrhizobium japonicum*. Це найбільш використовувана бактерія у світі, яку застосовують для інокуляції насіння сої. Також для передпосівної обробки насіння широко використовують гриби роду *Glomus*, які формують мікоризу на коренях рослин, завдяки

чому значно збільшується поглинальна площа кореневої системи і забезпечується краще поглинання поживних речовин. Крім цього, передпосівну обробку насіння проводять бактеріями роду *Bacillus subtilis* і грибами роду *Trichoderma harzianum*, які ефективно захищають насіння від хвороб.

6. Активна основа біопрепаратів для нейтралізації стресів рослин та підвищення родючості ґрунту

Технологічне завдання	Активна основа біопрепаратів
Нейтралізація післядії гербіциду	Бактерії: – <i>Azotobacter chroococcum</i> ; – <i>Poenibacillus polymyxa</i>
Підготовка насіння до сівби, підвищення посухостійкості рослин	Бактерії: – <i>Bradyrhizobium japonicum</i> ; <i>Bradyrhizobium elkanii</i> ; – <i>Bacillus subtilis</i> . Гриби: – рід <i>Glomus</i> ; – <i>Trichoderma harzianum</i>
Знезараження рослинних решток	Гриби: – <i>Trichoderma</i> ; – <i>Bacillus subtilis</i>
Підвищення родючості ґрунту	Бактерії: – <i>Bacillus megaterium</i> var. <i>phosphaticum</i> ; – <i>Bacillus muciloginosus</i> ; – <i>Achromobacter album</i> ; – <i>Bacillus subtilis</i> ; – <i>Azotobacter chroococcum</i> ; – <i>Enterobacter</i> sp.; – <i>Poenibacillus polymyxa</i>
Оздоровлення ґрунтів	Бактерії: – <i>Bacillus subtilis</i> . Гриби: – <i>Coniothyrium minitans</i> ; – <i>Trichoderma</i>

Бактеріальні препарати також ефективні для знезараження рослинних решток. Для цього використовують гриби роду *Trichoderma* і бактерії *Bacillus subtilis*. Ці мікроорганізми є і сапрофітами, тобто вони займають екологічну нішу факультативних патогенів або факультативних сапротрофів, тобто мікроорганізмів, які можуть розвиватися на рештках. Також вони активно борються з патогенами.

Надзвичайно важливу роль бактерії відіграють у підвищенні родючості ґрунту. Підбір активних основ для цього проводять залежно від аналізу ґрунту. Можна застосовувати бактерії *Bacillus subtilis*, які дозволяють захистити ґрунт від хвороб, або бактерії *Bacillus megaterium*, які забезпечують переведення нерозчинних сполук фосфору в доступні. Також для цього можна використовувати бактерії *Azotobacter chroococcum*, які, крім синтезу фітогормонів, фіксують і накопичують у ґрунті атмосферний азот, або застосовувати бактерії родів *Enterobacter* та *Poenibacillus polytuxa*, які позитивно впливають на засвоєння фосфору і калію.

В екологічних системах захисту для контролю ґрунтових шкідників найбільше використовують гриби *Beauveria bassiana* і *Metarhizium anisopliae*. Ці гриби є збудниками інфекційної хвороби комах – мускардинозу, яка проявляється у вигляді нальоту на шкідниках. При ураженні грибом *Beauveria bassiana* цей наліт білий, а при ураженні грибом *Poenibacillus polytuxa* – зелений. Ці гриби не завдають шкоди дощовим черв'якам і корисним ґрунтовим мікроорганізмам, тож широко використовуються в екологічних технологіях.

Для оздоровлення ґрунтів використовують гриб *Coniothyrium minitans*, який може житися склероціями білої гнилі (*Sclerotinia sclerotiorum*). Також із цією метою застосовують гриби роду *Trichoderma*. Ці гриби є активними хижаками, які живляться великою кількістю різноманітних збудників хвороб, у тому числі збудниками фузаріозів, які досить часто викликають кореневі гнилі.

Зазвичай гриби роду *Fusarium* вважаються паразитами, проте вони також можуть виконувати функцію сапрофітів, тобто розкладати рослинні рештки. Досить часто, коли технологія вирощування не порушена, вони живуть у ґрунті і при цьому не завдають шкоди рослинам, до того ж деякі види грибів роду *Fusarium* своїми кореневими виділеннями інколи навіть стимулюють проростання насіння сільськогосподарських культур.

У плані оздоровлення ґрунтів від патогенів найширше використовують бактерії роду *Bacillus subtilis*. Це унікальна бактерія, яка найпоширеніша в системах біологічного захисту рослин від збудників хвороб, оскільки синтезує величезну кількість антибіотичних речовин – понад 200 сполук. Бактерія починає синтезувати певні антибіотичні речовини у відповідь на контакт з певним збудником. Тобто коли бактерія відчуває та ідентифікує мікроорганізм, який є поряд з нею, вона знає, які саме антибіотичні речовини слід виділяти для його знищення.

3.9.3. Мінеральні добрива в екологічних технологіях вирощування сільськогосподарських культур

При переході на екологічні технології вирощування сільськогосподарських культур фосфор і калій у перші роки компенсується за рахунок збільшення частки розчинних форм цих елементів унаслідок активізації роботи ґрунтових мікроорганізмів, які здатні переводити важкорозчинні їх форми у доступні рослинам. Однак у подальшому потрібно використовувати природні джерела для поповнення запасів фосфору, калію та інших поживних елементів у ґрунті.

Основою мінеральних добрив, які можна застосовувати в екологічних системах вирощування сільськогосподарських культур, є подрібнені природні гірські породи (агроруди), у яких елементи мінерального живлення містяться у важкодоступній для рослин формі. Тобто можна застосовувати несинтетичні мінеральні добрива. Важкорозчинна форма дає змогу вносити ці добрива без шкоди рослинам, оскільки добрива, які містять легкозасвоювані форми поживних речовин, можуть порушувати життєдіяльність мікроорганізмів ґрунту, зменшувати їхню чисельність, а також призводити до незбалансованого живлення рослин.

Інколи використання природних джерел мінеральних елементів може бути невиправданим, оскільки їх збір, перевезення, подрібнення і власне внесення – це доволі енерговитратний процес.

Для поповнення запасів елементів мінерального живлення в екологічному рослинництві можна вносити такі гірські породи, як фосфоритне борошно, каїніт, сильвініт та ін. Серед цих руд більше використовують фосфоритне борошно, яке видобувають шляхом дрібного помелу фосфоритів – мінеральних гірських порід з групи

апатитів. До складу фосфоритного борошна входить значна частина фосфору (19 %) і кальцію (40 %) та незначна кількість калію (1,9 %) і магнію (1,5 %). Завдяки майже повній відсутності ознак гігроскопічності фосфоритне борошно має фактично необмежений ресурс зберігання. Для прискорення переходу поживних речовин у доступну для засвоювання рослинами форму фосфорити вносять у вигляді добре розмеленого борошна.

Фосфоритна мука не розчиняється у воді, однак добре розчиняється в кислотах, у тому числі слабких, які містяться в кислих і закислених ґрунтах. Наявність у ґрунтах природного розчинника зумовлює позитивний ефект від застосування цього добрива.

Застосування фосфоритного борошна сприяє відновленню родючості ґрунтів, підвищенню врожайності, зменшенню забруднення рослинницької продукції нітратами і радіонуклідами. Фосфоритне борошно доцільно використовувати як меліорант на кислих ґрунтах з низьким і середнім вмістом фосфору.

Вищу ефективність показує передпосівне внесення фосфоритного борошна, оскільки в цьому випадку його вносять на більшу глибину, де, взаємодіючи з кислотами, воно трансформується в дигідрофосфат, який краще засвоюється рослинами.

Перед унесенням фосфоритне борошно доцільно перемішати з гноєм або з окисленим торфом. За рахунок цього підвищується засвоюваність мінеральних елементів. Небажано вносити фосфоритне борошно разом із попелом або вапняними добривами, оскільки при цьому різко знижуватиметься розчинність фосфоровмісних сполук і, як наслідок, зменшуватиметься їх засвоєння рослинами.

Високу ефективність забезпечує поєднання фосфоритного борошна із «зеленим добривом». При цьому потрібно пам'ятати, що фосфоритне борошно показує ефективність лише на здорових, нейтральних ґрунтах з високою мікробіологічною активністю. Як на кислих, так і на нейтральних ґрунтах фосфор міцно зв'язується у першому випадку із залізом та алюмінієм, у другому – з кальцієм і стає недоступним для рослин.

Фосфоритне борошно майже не застосовують під час вирощування зернових культур, оскільки їх коренева система фактично не виділяє кислих ензимів, здатних переводити важкорозчинні фосфорні сполуки в доступні для рослин форми. Це добриво широко використовують для передпосівного внесення під коренеплоди в дозі від 300 до 500 кг/га.

Як джерело калію в ґрунт вносять дрібно розмелені гірські породи, такі як каїніт, сильвініт, карналіт та ін. Як і у фосфоритному борошні, у цих рудах елементи живлення відрізняються малою рухливістю, через що їх можна вносити високими дозами один раз на чотири–шість років, розраховуючи на поступове вивільнення і споживання рослинами поживних елементів. Тож рекомендовані дози внесення цих добрив становлять 200–300 кг/га у перерахунку на діючу речовину фосфору/калію.

При виборі доз унесення цих добрив слід ураховувати тип ґрунтів. Наприклад, для суглинків доза внесення фосфоритного борошна становить 1000–1200 кг/га, для піщаних ґрунтів – 250–350 кг/га, для супісків – 700–800 кг/га.

Щоб усунути дефіцит калію, на легких ґрунтах уносять деревний або рослинний попіл безпосередньо під рослини або в компост. У рослинному попелі міститься близько 7 % калію, 1,5 % фосфору і в меншій кількості інші зольні елементи. Рослинний попіл здатен нейтралізувати кислу реакцію ґрунту, оскільки має лужну реакцію, тож більш підходить для удобрення кислих ґрунтів. Джерелом калію та інших мінералів також є розмелені на борошно граніт і базальт, однак їх використання передбачає значні витрати.

Широкого розповсюдження в екологічних технологіях вирощування сільськогосподарських культур набуло кам'яне борошно, яке, залежно від походження руди, містить різні хімічні елементи. До того ж препарати з кам'яного борошна активно використовуються як екологічні пестициди, оскільки згубно діють на ряд шкідників і збудників хвороб, при цьому воно безпечне для будь-яких рослин і довкілля.

Для поповнення запасів мінеральних елементів у ґрунті в екологічному рослинництві також можна вносити водоростевий вапняк – донні морські відкладення, які утворюються червоними морськими водоростями. До його складу входить багато вуглекислого кальцію та кремнію, значна кількість калію, магнію, заліза, а також у меншій кількості інші мікроелементи. Крім насичення ґрунту елементами мінерального живлення, водоростевий вапняк поліпшує фізичні та водоутримувальні властивості ґрунтів. Це добриво рівномірно розкидають по поверхні ґрунту або додають до компостів.

Мелений вапняк також можна віднести до мінеральних добрив, хоча його передусім прийнято вважати меліорантом для

нейтралізації кислих ґрунтів. Його також уносять у ґрунт у чистому вигляді або в складі компостів. Альтернативою йому може бути мелений мінерал доломіт або доломітове борошно, яке також нейтралізує кислотність і збагачує ґрунт кальцієм та магнієм.

Природні мінеральні добрива, рекомендовані для застосування в екологічних технологіях вирощування, не вимагають точного дозування, тож, визначаючи дози їх унесення, агрономи дотримуються загальних рекомендацій. Їх вносять і восени, і навесні або додають у компости.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте сучасний ринок мінеральних добрив. Які країни є лідерами за рівнем їх унесення з розрахунку на 1 га?
2. Які негативні екологічні наслідки незбалансованих норм унесення мінеральних добрив?
3. Які мінеральні добрива містять найбільшу кількість баластних, у тому числі токсичних, елементів і сполук?
4. До чого призводить потрапляння токсичних елементів і баластних речовин у ґрунт?
5. Чи здатний ґрунт розкласти токсичні сполуки?
6. Яким чином відбувається накопичення поживних елементів у ґрунтах?
7. Дайте визначення поняття «гумус». Чим він представлений?
8. Охарактеризуйте роль гумінових речовин у процесах ґрунтоутворення.
9. Дайте визначення поняття «гумати». Як вони утворюються?
10. Охарактеризуйте фракції гумусових кислот і назвіть основні відмінності між ними.
11. Яку роль відіграють гуміни в процесах ґрунтоутворення?
12. Яке значення має гумус у процесах ґрунтоутворення?
13. Охарактеризуйте динаміку вмісту гумусу в ґрунтах України?
14. Як відбувається процес гумусоутворення і від яких факторів залежить характер та швидкість його протікання?
15. Що належить до органічної складової ґрунту?
16. Якими організмами представлена мікро-, мезо- і макробіота ґрунту?
17. Який вміст мікробіоти може бути в здорових ґрунтах?

18. Охарактеризуйте роль ґрунтової біоти в оздоровленні і підвищенні родючості ґрунтів.
19. Як мікроорганізми розподілені по шарах ґрунту?
20. Розкрийте роль ґрунтових бактерій, актиноміцетів і нижчих грибів у процесах оздоровлення та відновлення родючості ґрунтів.
21. Які функції виконують ґрунтові водорості і найпростіші одноклітинні організми в ґрунтотворних процесах?
22. Яке значення в ґрунтотворних процесах мають представники ґрунтової макробіоти?
23. Назвіть основні джерела їжі для ґрунтової біоти.
24. Які фактори впливають на процеси гуміфікації?
25. За яких умов гуміфікація відбувається з найбільшою віддачею?
26. Охарактеризуйте кругообіг азоту в природі.
27. Як азот потрапляє в ґрунт у результаті грози та антропогенної діяльності людини?
28. У чому полягає сутність азотфіксації?
29. Назвіть основні групи азотфіксаторів.
30. У чому полягає суть симбіотичної азотфіксації?
31. Що розуміють під вірулентністю бульбочкових бактерій?
32. Як відбувається взаємодія коренів рослин із симбіотичними азотфіксаторами?
33. Як впливає реакція ґрунтового середовища на процеси симбіотичної азотфіксації?
34. Які ферменти регулюють процеси перетворення азоту?
35. Які агротехнічні заходи спрямовані на посилення симбіотичної азотфіксації?
36. За якої температури і вологості ґрунту азотфіксація відбувається найбільш активно?
37. У чому полягає принцип дії асоціативних азотфіксаторів?
38. Яка різниця між ендofітними, епіфітними та ризосферними азотфіксаторами?
39. Які бактерії складають групу епіфітних мікроорганізмів?
40. Від яких факторів залежить кількісний та якісний склад епіфітної мікрофлори?
41. Охарактеризуйте вплив епіфітної мікрофлори на рослину?
42. Якими мікроорганізмами представлена ендofітна мікрофлора?

43. Бактерії яких родів відносять до ендоситів?
44. Як ендоситна мікрофлора потрапляє всередину рослинного організму?
45. Які функції виконують асоціативні бактерії, крім безпосередньої азотфіксації?
46. Яку роль відіграють органічні добрива і сівба покривних культур у процесах азотфіксації?
47. Внесок вільноіснуючих азотфіксаторів у загальну кількість фіксованого азоту повітря.
48. Назвіть найбільш поширені вільноіснуючі види бактерій.
49. Як підвищити ефективність використання рослинами акумульованого азоту?
50. Які види бактерій найкраще застосовувати для конкретних родів зернобобових культур?
51. На якій основі виготовляють біопрепарати для інокуляції насіння бобових культур?
52. Яка основа є найкращою для виготовлення бактеріальних препаратів з погляду зберігання життєздатності бактерій?
53. Назвіть переваги препаратів на рідкій основі.
54. Яким чином можна подовжити ефективність бактеріальних препаратів на рідкій основі?
55. Назвіть основні переваги і недоліки бактеріальних препаратів на основі сльоди і графіту.
56. Що показує титр бактеріального препарату?
57. У яких випадках краще застосовувати одноштамові бактеріальні препарати, а в яких – двоштамові?
58. Як розрізняють біопрепарати за видом бактерій?
59. Яких помилок часто припускаються під час проведення інокуляції насіння?
60. Назвіть основні методи інокуляції насіння рідкими інокулянтами. Який серед цих методів більш ефективний?
61. У чому полягає складність «сухої» інокуляції насіння?
62. У який спосіб проводять обробку насіння бобових культур сухими інокулянтами?
63. Яких правил слід дотримуватися при змішуванні різних препаратів, щоб максимально використати їх потенціал?
64. Як залежить ефективність азотфіксації від фізичних показників ґрунту? У яких ґрунтах цей процес відбувається краще?
65. Що розуміють під поняттям «біологічна оранка»?

66. Як можна збільшити кількість аборигенних азотфіксаторів?
67. Яку роль відіграють покривні культури в боротьбі з проявами водної і вітрової ерозії?
68. Які ключові відмінності між покривними і сидеральними культурами?
69. Дайте визначення поняття «регенеративне сільське господарство».
70. Назвіть основні принципи здорової екосистеми ґрунту, розроблені Гейбом Брауном.
71. Що розуміють під рециркуляцією і яке її значення для підвищення використання азоту?
72. Назвіть основні позитивні і негативні аспекти запровадження покривних культур.
73. У чому полягає перевага висівання сумішей покривних культур порівняно з монокультурою?
74. Які складові слід урахувувати при складанні сумішей покривних культур?
75. Чи є якісь обмеження щодо сівби покривних культур залежно від вмісту вологи в ґрунті?
76. Скільки культур доцільно включати в покривну суміш?
77. Які серед покривних культур мають високу активність співпраці з мікоризою, а які – низьку?
78. Назвіть основні правила складання сумішей покривних культур.
79. Назвіть основні групи покривних культур і охарактеризуйте їхні ознаки та функції.
80. Яка норма висіву насіння покривних культур? Що слід урахувувати при визначенні норми висіву насіння?
81. Назвіть основні правила вибору глибини загортання насіння покривних культур.
82. Які покривні культури відносять до групи літніх, які – до осінніх і які – до зимових?
83. Назвіть можливі варіанти висіву покривних культур. Які вони мають переваги і недоліки?
84. Що розуміють під поняттям «мікориза» (грибокорінь)?
85. Яку мікоризу називають ектотрофною, яку – ендотрофною, а яку – ектоендотрофною? Яка принципова різниця між ними?
86. На які типи поділяють мікоризу за комплексом анатомічних і морфологічних ознак?

87. Які функції виконують гіфи грибів?
88. Як мікориза допомагає пережити рослинам посуху?
89. Що називають гломаліном і яке його значення для поліпшення агрегатного складу ґрунту?
90. Назвіть оптимальні і допустимі температурні діапазони для функціонування мікоризи.
91. Які фактори впливають на популяцію мікоризних грибів?
92. Назвіть і охарактеризуйте головні умови для нормального існування мікоризних грибів у ґрунті.
93. У чому полягає роль дощових черв'яків для відновлення й оздоровлення ґрунтів?
94. Як живляться дощові черв'яки?
95. Що називають копролітом і який його склад?
96. Скільки копроліту може утворити популяція дощових черв'яків у кількості 100 шт.?
97. Які фактори призводять до зниження популяції черв'яків?
98. Назвіть оптимальні й допустимі діапазони температури і вологості ґрунту для дощових черв'яків.
99. Назвіть співвідношення C:N у рослинних рештках різних культур. Яке воно має значення при їх розкладанні?
100. На які групи поділяють рослинні рештки залежно від походження і способу виробництва?
101. На які групи поділяють гній за ступенем розкладання?
102. Назвіть хімічний склад гною.
103. У яких нормах вносять різні види гною?
104. Назвіть і охарактеризуйте різні групи торфу.
105. Розкрийте значення соломи як органічного добрива.
106. Що називають біодеструкторами стерні і яку роль вони виконують?
107. Назвіть і охарактеризуйте основні способи використання соломи як джерела органіки.
108. Що називають біогумусом і який його склад?
109. Охарактеризуйте загальну структуру гумінових речовин.
110. З якої сировини виробляють гумати?
111. На які групи поділяють органо-мінеральні добрива і яке їх практичне значення?
112. Які є активні основи препаратів для нейтралізації стресів?
113. Які мінеральні добрива використовують в екологічних системах вирощування сільськогосподарських культур?

4. ЗАХИСТ РОСЛИН В ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Згідно з дослідженнями китайських і австралійських науковців, загальна маса комах на Землі щорічно зменшується в середньому на 2,5 %. Причому серед найбільш постраждалих є бджоли, кількість яких за останнє десятиріччя скоротилася принаймні на третину. За прогнозами вчених, через 50 років видове розмаїття комах реально може зменшитися наполовину, а якщо нічого не змінювати, через 100 років комахи можуть взагалі зникнути, що спровокує катастрофічний екологічний колапс, який може покласти край існуванню людства.

Комахи мають життєво важливе значення для екосистеми в цілому, оскільки вони запилюють рослини і є ланкою харчового ланцюга, забезпечуючи їжею птахів, земноводних і деяких тварин. І якщо ця ланка зникне, то зникне все, що знаходиться далі. Тобто не буде земноводних, не буде тварин, і, зрештою, не стане й людини.

Причинами стрімкого скорочення кількісного і видового різноманіття комах є глобальні кліматичні зміни, розширення міст, через що комахи витісняють з їх природного місця існування, а також надмірне використання засобів захисту рослин і синтетичних добрив, причому найбільшої шкоди комахам завдає саме використання пестицидів.

Засоби захисту рослин завдають значної шкоди комахам, оскільки не мають вибіркової дії. А найбільше шкодять комахам інсектициди. Обробляючи посіви, наприклад, фосфорорганічними препаратами або піретроїдами, людина по суті знищує не тільки шкідливих, а й усіх комах, які є на полі. Хоч на деяких препаратах є і маркування – «безпечно для бджіл» або «безпечно для корисних комах», все одно більшою чи меншою мірою вони завдають

комахам значної шкоди. Суцільні обробки полів, насамперед інсектицидами, знищують комах, тому їх чисельність падає.

Для вирішення цього надскладного завдання людство має переосмислити те, як воно використовує пестициди й інші хімічні речовини. Щоб не допустити знищення посівів шкідниками, з одного боку, і не завдавати шкоди корисним комахам – з другого, слід поширювати біологічний метод контролю шкідників. Перевага біометоду полягає в тому, що за правильного підходу він гарантує збереження врожаю посівів при дотриманні екологічної чистоти довкілля.

У цілому під біометодом розуміють регулювання чисельності шкідників рослин їхніми природними ворогами: хижаками, паразитами, антагоністами і продуктами їх життєдіяльності (антибіотиками, ферментами, феромонами, гормонами), а також за допомогою використання методів гібридизації, променевої та хімічної стерилізації та ін. Тобто біометод базується не лише на застосуванні ентомофагів, а й передбачає застосування інших методів, зокрема методів гібридизації. Наприклад, уже створені і поширюються у виробництво гібриди соняшнику, насіння яких містить міцний алейроновий шар, і такий поширений шкідник, як бавовникова совка не здатний його прокусити, тому залишає посіви такого соняшнику.

4.1. Застосування ентомофагів для захисту рослин

Біометод передбачає використання для захисту рослин корисних безхребетних (паразитичних та хижих комах і кліщів), а також біопрепаратів на основі живих мікроорганізмів і вірусів. Класичний біометод передбачає інтродукцію і випуски на поля ентомофагів або акарифагів з розрахунком на їх натуралізацію і подальший самостійний вплив на конкретних шкідливих комах. Цей метод отримав свій розвиток у 60-х рр. минулого століття. Також практикують метод сезонної колонізації, за якого в сезон вегетації періодично повторюються випуски корисних комах (ентомофагів), коли вони особливо потрібні, а їх або недостатньо, або вони взагалі відсутні. Прикладом може бути щорічне заселення полів ентомофагами, які не здатні перезимувувати.

У ряді випадків для контролю окремих фітофагів практикують метод наводнення, відповідно до якого ентомофагів заводять у поля

хвилями, через певний проміжок часу. Цей метод доречно використовувати для контролю лучного метелика, особливістю якого є тривалий період яйцекладки – близько місяця. Ентомофаг, у цьому випадку трихограма, має бути на полі весь цей період, а враховуючи короткий цикл її життя – 5-6 днів, разове внесення трихограми малоефективне. Значно ефективнішим буде поділити всю норму внесення трихограми (200 тис. шт./га) на певну кількість випусків і зробити ці внесення так, щоб на полі постійно був ентомофаг. Наприклад, зробити чотири випуски трихограми через кожні 6-7 днів у разовій нормі 50 тис. шт./га.

Для приваблення ентомофагів до суміші покривних культур слід додавати нектароносні квітучі культури, кращими серед яких є фацелія, буркун, кріп, морква, лядвенець рогатий та ін. Нектаром і пилом цих рослин люблять харчуватися численні ентомофаги, які знищують шкідників.

Також практикують висівання смуг нектароносних культур вздовж лісосмуг на ширину сівалки. Такі культури виступають своєрідним бар'єром для фітофагів. Останні після перезимівлі з ползахисних смуг переміщуються в посіви сільськогосподарських культур і, переходячи через смуги нектароносних трав, частково знищуються ентомофагами, які заселяють ці смуги. Шкідники, які змогли подолати цей бар'єр, влітку знов прямують до лісосмуг для лялькування і, перетинаючи смуги нектароносів, знову «проріджуються» хижими комахами.

Усіх ентомофагів поділяють на дві групи: хижаки, які знищують шкідників, і паразити, які живуть за рахунок фітофагів. Серед найбільш поширених ентомофагів до першої групи належать: сонечко, жужелиця (турун), фітосейулюс, золотоочка звичайна. Найпоширеніші представники другої групи (паразити): трихограма і габробракон.

За правильного підходу ентомофаги можуть виконати більшу частину роботи із захисту посівів замість людини. Для того, щоб використовувати їх цілеспрямовано, потрібно:

- 1) визначити, які корисні організми присутні в агроценозі;
- 2) зрозуміти їхні індивідуальні біологічні цикли та потребу в ресурсах;
- 3) вживати заходи для підвищення кількості корисних видів.

Серед ентомофагів у природі найпоширеніше сонечко, яке в Україні ще називають зозулька або бездрик (рис. 24). Це дуже

ненажерливий хижак, личинки якого харчуються переважно попелицями і за добу спроможні з'їдати до 100 попелиць. Дорослі жуки також активно поїдають цього шкідника. Крім попелиць, сонечко харчується щитівками й іншими дрібними комахами.



Рис. 24. Сонечко семикрапкове

Існує близько 5200 видів родини сонечок (*Coccinellidae*), серед яких найбільш ненажерливим є сонечко семикрапкове. Практичний досвід свідчить, що популяція сонечка значно зростає, якщо на полі вирощують покривні культури. Також домівкою для сонечка, як і інших ентомофагів, може бути стерня, солома і навіть бур'яни.

Іншим поширеним ентомофагом є хижа жужелиця, або турун, з поширеного класу жужелиць (*Carabus nemoralis*) (рис. 25). За різними оцінками, він налічує від 25000 до 50000 видів, причому більшість із них відносять до фітофагів. Хижу жужелицю легко відрізнити від шкідливої за блискучим панциром із вм'ятинками, а також за надвисокою рухливістю.

У пошуках їжі хижа жужелиця здатна здолати не один кілометр. За сезон (весна-літо-осінь) одна родина (самка і самець жужелиць) можуть знищити до кількох тисяч різноманітних фітофагів. Саме тому важливо вживати заходи щодо їх збереження на полях.

Коллірія (*Colliria coxator*) – паразит яєць і личинок хлібного пильщика (рис. 26). Цей ентомофаг належить до величезної родини їздців-іхневмонідів, яка, за різними оцінками, налічує від 60 до

100 тис. видів. Взагалі існує чотири види паразитів хлібного пильщика, які відносять до різних родин ряду перетинчастокрилих, серед яких найбільше практичне значення має саме коллірія.



Рис. 25. Хижі жужелиці

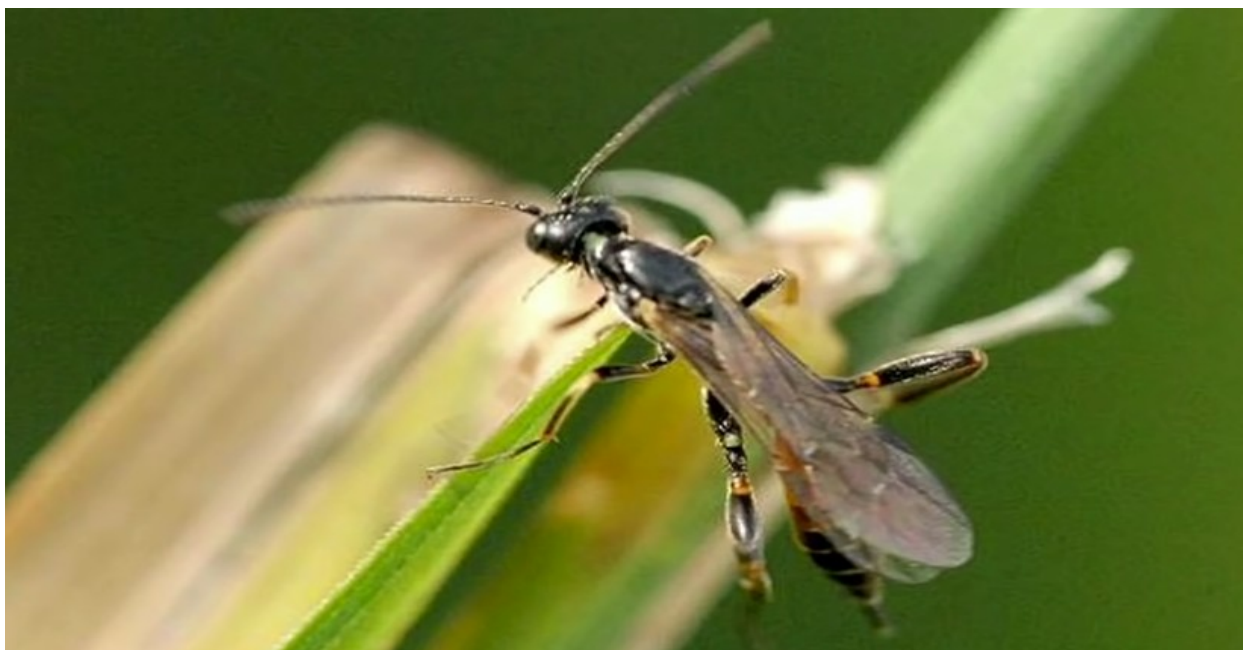


Рис. 26. Коллірія

У багатьох господарствах великої шкоди посівам зернових колосових завдає хлібний пильщик, який підгризає рослини біля поверхні ґрунту, після чого вони вилягають. Особливо ця проблема

проявляється при повторному вирощуванні колосових культур. Тому зловживати цим не можна, адже правильно організована сівозміна значною мірою вирішує проблему пильщика. Водночас випуск коллірії на поля, заселені цим фітофагом, може повністю вирішити цю проблему. Поряд з контролем пильщика коллірія також виконує функцію запилювача, що важливо для нормального розвитку перехреснозапилюваних зернових колосових культур.

У практиці сільського господарства для знищення шкідливих комах широке розповсюдження отримала трихограма (рис. 27). Це дрібний паразит-яйцеїд, який ефективно знищує яйцекладки совок і вогнівок. Трихограма ефективна для знищення великої кількості шкідників, зокрема, – кукурудзяного (стеблового) і лучного метеликів, бавовникової совки, підгризаючих і листогризучих совок, молей, листовійок, вогнівок, американського білого метелика та ін.



Рис. 27. Трихограма

У цілому трихограма захищає рослини від більш ніж 200 видів шкідників. Для вищої ефективності потрібно правильно підбирати раси трихограми, оскільки одні з них краще контролюють вогнівок, а інші – совок і т. д.

Важливими перевагами трихограми є чітка вибіркова дія, тож крім певних фітофагів, більше від неї ніхто не постраждає, до того ж у неї дуже добре налаштований механізм пошуку шкідника. Так,

самка трихограми по запаху шукає самку метелика білянки, сідає їй на холку і подорожує на ній до моменту, доки метелик не зробить яйцекладку. Після цього трихограма покидає білянку й уражує яйцекладку. У подальшому з яєць не вийде жодна гусениця, оскільки всередині яєць міститься личинка, яка виїдає яйця зсередини. За добу самка відкладає близько 80 яєць в личинки фітофагів.

Трихограма здатна знешкоджувати яйця фітофагів навіть у стеблах і під землею, тобто там, куди не може потрапити пестицид. Перевагою трихограми є також тривала захисна дія, зумовлена високою частотою розмноження трихограми. Вона швидко себе відтворює, відроджуючись за два тижні. На відміну від переважної більшості інсектицидів, трихограма показує високу ефективність у боротьбі зі шкідниками при високих температурах.

Вносити трихограму неважко. Для цього слід знати, коли, скільки і як саме її вносити. Строки слід обирати на основі моніторингу посівів. Вищу ефективність відзначають у разі випуску трихограми до масового льоту фітофагів. Трихограму слід уносити на посіви під час відкладання яєць шкідників до моменту, поки з них не вийшли личинки. Норма внесення варіює від 200 до 250 тис. шт./га.

Випускають трихограму вручну або за допомогою невеликих літаків і дронів. За ручного внесення трихограму розкидають у 50-ти точках на 1 га – через кожні 13–15 м по довжині і ширині поля для більш рівномірного її розподілу по поверхні. При внесенні літаками або дронами трихограму випускають рівномірно по всій площі поля з висоти 8–12 м.

Унесення трихограми набагато вигідніше з економічного погляду завдяки порівняно невисокій її вартості. Зокрема, за середньої ціни трихограми 50 грн за 100 тис. особин витрати на 1 га, без урахування витрат на внесення, становлять лише 100–125 грн (2,5–3,5 дол.). Якщо порівняти з пестицидами, переваги очевидна.

Для захисту рослин від павутинних кліщів (звичайного, садового, атлантичного та ін.) і трипсів ефективним є використання хижого кліща фітосейулюса (*Pytoseiulus persimilis*) з родини паразитоформних кліщів. Фітосейулюс – невеликий за розмірами (довжина до 0,6 мм) кліщ-хижак яскраво-червоного кольору (рис. 28).

Це дуже ненажерливий хижак, справжній фахівець у боротьбі з павутинними кліщами, які є для нього основним джерелом їжі. За

весь період життя кожна самка фітосейулюса відкладає в середньому 50–80 яєць і щоденно знищує до 30 яєць або 25 дорослих особин фітофагів. Хижак починає інтенсивно харчуватися за температури понад 15 °С.



Рис. 28. Кліщ фітосейулюс

Фітосейулюса здебільшого використовують у теплицях і відкритому ґрунті для захисту від шкідників овочевих (томати, капуста, картопля та ін.) і плодово-ягідних культур (малина, ожина та ін.), однак випускають його й на посівах польових культур.

Практикують локальне внесення фітосейулюса, тобто не на все поле, а в місця концентрації павутинних кліщів. Це дозволяє зменшити витрати на його закупівлю та внесення. Звичайно, такий підхід вимагає проведення моніторингу посівів.

Якщо заселеність рослин павутинними кліщами невисока, норму випуску фітосейулюса встановлюють з розрахунку 10–20 особин на рослину. У разі середньої заселеності кліщами норму випуску фітосейулюса визначають з розрахунку 30–50 особин на одну рослину. А в разі сильної заселеності павутинними кліщами співвідношення випущених особин фітосейулюса і кількості фітофага має становити від 1:10 до 1:20 на осередках розселення шкідника.

Серед природних ентомофагів високу ефективність у боротьбі зі стебловим метеликом, листовійками, вогнівками, бавовниковою

та іншими видами совок показує ектопаразит – габробракон (*habrobracon*). Це комаха завдовжки до 3,5 мм з родини браконид (*Braconidae*) (рис. 29). Загалом цей ентомофаг заражає понад 75 видів комах шкідників рослин.



Рис. 29. Габробракон

Самка габробракона знаходить гусениць виду-господаря насамперед старших віків, вприскує в них нервово-паралітичну отруту. Після цього відкладає до 20 яєць безпосередньо на гусеницю або неподалік від неї. Приблизно через 12 год з яєць виходять личинки, які вгризаються в тіло гусениці і з'їдають її зсередини. Певний час гусениця залишається живою, але харчується значно менше і невдовзі гине. За весь час самка габробракона відкладає 100–150 яєць, а в окремих випадках – до 800 шт.

Самки габробракона характеризуються так званим лабіринтним інстинктом, тобто мають здатність проникати в різні отвори, тріщинки й інші місця, у яких концентруються гусениці фітофагів. Зокрема, це стосується гусениць стеблового кукурудзяного метелика і совок, які концентруються всередині стебел, плодів та в інших укриттях. Ця здатність є дуже важливою перевагою габробракона, адже період інтенсивного живлення гусениць кукурудзяного метелика припадає на той час, коли обробка

хімічними препаратами технічно не можлива. Залежно від стану заселеності шкідниками, на 1 га вносять 100–200 дорослих особин.

У системах екологічного захисту застосовуються й інші ентомофаги: хижі клопи (клопи-мисливці, хижаки-крихітки, щитники, сліпняки), жуки-красотіли, жуки-стафіліни, теленомуси, мухи фазії, апантелеси, хомопоруси, золотоочки та ін. Природа доволі багата на ентомофагів, хоча їх кількість порівняно зі шкідниками значно менша, і це логічно, адже інакше їм не залишиться їжі.

Скептики біологічних методів захисту рослин наполягають на низькій ефективності застосування ентомофагів, однак практичний досвід показує, що їх ефективність не тільки не поступається інсектицидам, а в певних показниках перевершує їх (табл. 7). Наприклад, трихограма за правильного регламенту застосування має ефективність до 85 %, теленомус – до 90 %, габробракон – до 95 %. Такі високі показники забезпечує далеко не кожний інсектицид.

7. Ефективність застосування основних ентомофагів

Ентомофаг	Ефективність застосування
Трихограма	Знищує 67–85 % яєць шкідника
Габробракон	Ефективність у польових умовах досягає 85–95 %, тобто вище від рівня хімічного захисту
Сонечко	Доросла особина за сезон знищує понад 1300 комах; личинка за час свого розвитку з'їдає близько 250 особин тлі
Золотоочки	Ефективність застосування від 70 до 98 %
Теленомуси	Уражують від 55 до 90 % яєць
Мухи фазії	Личинки знищують від 45 до 55 % яйцекладок шкідника

Як і будь-який інший метод, біологічний метод контролю шкідників шляхом застосування ентомофагів має свої переваги і недоліки. До недоліків слід віднести:

- дефіцит інформації;
- недостатньо розвинену базу (невелика кількість спеціалізованих біолабораторій);
- певні труднощі в організації внесення;
- повільнішу роботу ентомофагів порівняно з інсектицидами;
- банальний скептицизм.

До основних переваг застосування ентомофагів слід віднести:

- зниження пестицидного навантаження;
- поліпшення якості продукції;
- відсутність резистентності;
- високу вибіркочу дію;
- відсутність негативного впливу на довкілля.

Застосування ентомофагів для захисту рослин є важливою складовою інтегрованого захисту посівів, який передбачає боротьбу зі шкідливими організмами з урахуванням економічного порогу їх шкодочинності, використання природних обмежувальних факторів, значне поширення біологічного методу боротьби і – лише в разі необхідності (якщо нічого не допомогло) – використання пестицидів. Саме тому інтегрований захист рослин є важливим кроком у напрямі екологізації технології вирощування сільськогосподарських культур.

Також важливим кроком зменшення залежності від засобів захисту рослин є біодиверсифікація, тобто насичення полів різними культурами. Вона допомагає зробити рослини менш помітними для фітофагів, на відміну від монокультури. Великі площі однієї культури можуть бути занадто помітними для шкідників і здатні постраждати під їхнім тиском. Шкідникам значно легше відшукати культуру, якщо її одну вирощують на полі, ніж коли вона представлена в суміші з іншими культурами.

4.2. Місце біологічних препаратів у захисті рослин від шкідників і хвороб в екологічному рослинництві

Протягом останнього часу все більшого поширення набуває біозахист рослин на основі застосування мікроорганізмів-антагоністів шкідників і хвороб. Біопрепарати, виготовлені на їх основі, мають ряд переваг порівняно зі звичайними засобами захисту, а саме: низьку ймовірність виникнення резистентності до мікроорганізмів; накопичувальний ефект; безпечність для ентомофагів та комах-запилювачів; відсутність фітотоксичності і впливу на смакові якості продукції; безпечність для теплокровних тварин та людини; відсутність загрози накопичення токсичних речовин у ґрунті.

Залежно від природи активної основи, біопрепарати поділяють на чотири групи: *грибні, бактеріальні, вірусні та протозойні*. За призначенням біопрепарати поділяють на *інсектицидні, фунгіцидні,*

бактерицидні, акарицидні, нематицидні і зооцидні. Комплексні біопрепарати виготовляють на основі двох або більшої кількості мікроорганізмів, які належать до різних систематичних груп.

При виготовленні біопрепаратів необхідно вживати заходів для стабілізування вихідних властивостей мікроорганізмів і продуктів їхньої життєдіяльності. Також важливо передбачити можливість доброго контакту цих препаратів з тими шкідливими організмами, проти яких їх застосовують. Щоб досягти цього, застосовують допоміжні речовини: *наповнювачі, консерванти, активатори, протектанти, емульгатори, змочувачі, прилипачі та піноутворювальні речовини.*

Наповнювачі біопрепаратів поділяють на рідкі (вода, гліцерин, рослинні олії та ін.) і тверді (знежирене борошно соєвих бобів, насіння соняшнику або бавовнику, кізельгур, спеціальні сорти глини). Усі вони зазвичай біологічно інертні.

Консерванти мають важливе значення насамперед під час виготовлення вологих препаратів, оскільки в такому середовищі створюються сприятливі умови для росту сапрофітів, які призводять до зниження ефективності або до повної втрати активності корисних мікроорганізмів.

Активатори вводять до складу біопрепаратів для ослаблення шкідливих мікроорганізмів і кращого проникнення корисних мікроорганізмів до їх внутрішнього середовища.

Роль *протектантів* полягає в захисті корисних мікроорганізмів і біологічно активних компонентів, що входять до складу біопрепаратів, від згубних чинників довкілля, насамперед від ультрафіолетових променів та кисню.

Емульгатори (змочувачі, прилипачі та піноутворювальні речовини) додають для забезпечення стабільності робочих сумішей, оптимізації розподілу біопрепарату по оброблюваній поверхні та подовження контакту з нею.

Обов'язковою вимогою до різних допоміжних речовин є відсутність зниження біологічної ефективності активної основи біопрепаратів. Усі біопрепарати мають бути безпечними для довкілля та забезпечувати високу ефективність проти певних шкідників і патогенів.

Біологічні препарати для захисту сільськогосподарських культур випускають у формі *дустів, гранул, капсул, змочуваних порошків, паст, концентратів масляних емульсій* та ін.

Дусти – це препаративна форма біопрепаратів у вигляді тонкоподрібнених порошків, представлених активною основою, наповнювачем і різними добавками. Їх використовують для опилення насіння або рослин. Оптимальний розмір часток дусту, активною основою якого є гриби, становить 30–50 мкм. У разі, якщо до складу біопрепаратів входять грибні спори великих розмірів (у деяких ентомофторових грибів вони досягають діаметра 20–30 мкм), розмір часток має бути більшим, для того щоб мінімізувати механічне пошкодження спор. Розміри часток дустів, активною основою яких є бактерії та віруси не перевищують 3 мкм.

Біопрепарати у вигляді *гранул* і *капсул* зазвичай застосовують проти ґрунтових шкідників та ґрунтових патогенів. Гранульована і капсульована форма препаратів захищає активну основу біопрепаратів від шкідливого впливу факторів довкілля. Відмінність між ними полягає в тому, що в гранулах активна речовина розосереджена рівномірно, а в капсулах вкрита захисною оболонкою. У ролі захисних матеріалів зазвичай використовують полімери. Розмір гранул становить 0,2–1,0 мм.

У біологічному захисті рослин найбільше поширення отримали біологічні препарати у вигляді *змочуваних порошків*. До їх складу обов'язково додають змочувачі і стабілізатори для швидшого утворення суспензії й повільного осадження твердих часток.

У формі *паст* зазвичай виготовляють біопрепарати, активною основою яких є мікроорганізми. Для запобігання розвитку небажаної мікрофлори до складу паст часто вводять консерванти. Паста характеризується високим вмістом активної основи – 50–60 %.

Біопрепарати, активною основою яких є віруси і бактерії, можуть виготовляти у вигляді *масляних емульсій*. Вміст активної основи у таких біопрепаратах становить не менше 30 %. Масляні емульсії містять емульгатори і соляріві дистиляти нафти.

Додавання до складу біопрепарату піноутворювальної речовини забезпечує краще розтікання крапель по поверхні рослини та знижує інактивацію активної основи. Білий колір піни зручний для коригування її розподілу по оброблюваній поверхні. Застосування біопрепаратів із додаванням піноутворювальної речовини потребує спеціального обладнання.

Поряд із загальною рецептурою більшості біопрепаратів, які отримують на основі мікроорганізмів, кожна їхня група має специфічні особливості, зумовлені природою активної основи (табл. 8).

8. Найбільш поширені активні основи біопрепаратів

Класифікація біопрепаратів	Активна основа
Біоінсектициди на основі грибів	1 – <i>Beauveria bassiana</i> ; 2 – <i>Metarhizium anisopliae</i> ; 3 – <i>Verticillium lecanii</i>
Біоінсектициди на основі бактерій	1 – <i>Bacillus thuringiensis subsp. galleriae</i> ; 2 – <i>Bacillus thuringiensis subsp. dendrolimus</i> ; 3 – <i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i> ; 4 – <i>Bacillus thuringiensis subsp. thuringiensis</i> ; 5 – <i>Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis</i> ; 6 – <i>Pseudomonas auerofaciens</i> ; 7 – <i>Pseudomonas carnea</i> ; 8 – <i>Bacillus pumilus</i>
Біозооциди на основі бактерій	1 – <i>Salmonella enteritidis</i> var. <i>Issatchenko</i> ; 2 – <i>Salmonella enteritidis</i> var. <i>Mereschkovski</i>
Біоінсектициди на основі БАР	1 – Авермектини груп В ₁ , В ₂ і С, які продукуються різними штамми актиноміцету <i>Streptomyces avermitilis</i> ; 2 – екстракт алкалоїду матрину з рослин роду <i>Sophora</i> , родини <i>Fabaceae</i>
Біофунгіциди на основі грибів	1 – <i>Trichoderma lignorum</i> ; 2 – <i>Trichoderma harzianum</i> ; 3 – <i>Trichoderma koningii</i> ; 4 – <i>Chaetomium cochliodes</i> ; 5 – <i>Gliocladium catenulatum</i> ; 6 – <i>Fomes fomentarius</i> ; 7 – <i>Streptomyces kasugaensis</i> ; 8 – <i>Ampelomyces quisqualis</i> ; 9 – <i>Coniothyrium minitans</i> ; 10 – <i>Arthrobotrys</i>
Біофунгіциди на основі бактерій	1 – <i>Pseudomonas auerofaciens</i> ; 2 – <i>Bacillus subtilis</i> ; 3 – <i>Pseudomonas fluorescens</i> ; 4 – <i>Pseudomonas putida</i>
Біофунгіциди на основі БАР	1 – <i>Trichothecium roseum</i> ; 2 – антибіотик фітобактеріоміцин, що продукується ґрунтовими актиноміцетами <i>Streptomyces griseus</i> або <i>Streptomyces lavendulae</i> ; 3 – комплекс макролідних антибіотиків (Тилозин А, В, С, D) на основі ґрунтового актиноміцету <i>Streptomyces fradiae</i> ; 4 – хітозан; 5 – бурштинова і глютамінова кислоти

Широке розповсюдження отримали біопрепарати, активною основою яких є гриби. Вони відрізняються від інших механізмами патогенної дії, спектрами активності, шляхами проникнення в патогени. Серед грибних біопрепаратів є препарати із широким і вузьким спектром дії. Зокрема, гриби роду *Trichoderma* активно пригнічують значну кількість фітопатогенних грибів, так само гриби роду *Beauveria bassiana* є антагоністами понад 200 видів комах. Серед грибів із вузьким спектром дії можна виділити ентомофторові гриби, які є патогенними для незначної кількості видів фітофагів і кліщів.

Гриби відрізняються від бактерій повільнішим ростом і розвитком. До того ж міцелій грибів і спори характеризуються меншою життєздатністю, що визначає коротший час зберігання біопрепаратів на їх основі. Гриби проявляють захисні функції зазвичай у стадії спор, для формування яких потрібні певні умови. Більш сприятливі умови для цього складаються за поверхневого культивування, що є основною проблемою, оскільки цей спосіб малопродуктивний і не забезпечує отримання достатньої кількості біопрепаратів.

Вирішенню цієї проблеми сприятиме пошук можливостей глибинного вирощування грибів. Однак успіхи тут поки що незначні, оскільки на патогенність грибів значною мірою впливає склад живильного середовища та умови аерації, які визначають з урахуванням видових і штамових особливостей мікроорганізмів.

У промислових масштабах серед грибних біопрепаратів виготовляють поки що інсектицидний препарат Боверин (активна основа – гриб *Beauveria bassiana*). Асортимент таких препаратів, виготовлених у біолабораторіях, достатньо широкий, це, зокрема, Метаризин (основа – гриб *Metarhizium anisopliae*), Вертицилін (основа – гриб *Verticillium lecanii*) тощо, проти збудників хвороб – Триходермін (основа – гриб *Trichoderma lignorum*), Коніотириин (основа – гриб *Coniothyrium minitans*) та ін.

Великого значення набуло виробництво і використання грибів-антагоністів та гіперпаразитів фітопатогенів. Найбільше поширення серед них отримали гриби роду *Trichoderma*, а саме – види *Tr. lignorum*, *Tr. harzianum*, *Tr. koningii*. Також у цій ролі використовують види грибів з родів *Ampelomyces quisqualis*, *Coniothyrium minitans*, *Gliocladium catenulatum* та ін.

Оскільки бактерії, як правило, здатні рости на штучних живильних середовищах, виготовлення біопрепаратів на їхній основі значно простіше і швидше. Хоча поряд з бактеріями, які легко культивувати і для яких розроблені рецепти живильного середовища, є також форми, для яких ще не розроблено відповідних штучних живильних середовищ, через що значно ускладнене промислове виробництво біопрепаратів на їхній основі.

Серед біопрепаратів для захисту рослин від шкідників найпоширенішими є препарати на основі бактерій *Bacillus thuringiensis*, які добре ростуть на штучних живильних середовищах. Нині випускають десятки біоінсектицидів, у складі яких є ці бактерії. Залежно від активної основи їх поділяють на три групи:

- біопрепарати, які містять спори бактерій і кристали ендотоксину;
- біопрепарати, які поряд зі спорами бактерій та кристалами ендотоксину містять ще й термостабільний екзотоксин;
- біопрепарати, активною основою яких є очищені токсини.

Ендотоксини за своєю хімічною структурою є ліпополісахаридами, вони являють собою структурні компоненти бактерій і вивільнюються лише внаслідок розпадання (лізису) бактеріальної клітини. *Екзотоксини* є розчинними білковими сполуками, які бактерій секретують (виділяють) у довкілля в процесі життєдіяльності.

Вірусні біологічні препарати виготовляють на основі ентомопатогенних вірусів. Висока специфічність цієї групи біопрепаратів зумовлює їхню дію переважно на одного шкідника.

Віруси продукуються лише в живих клітинах відповідних організмів, чим і визначаються способи їх отримання під час виробництва вірусних препаратів. Є кілька способів отримання вірусного матеріалу:

- зараження хазяїна і подальше виділення з нього інфекційного матеріалу;
- використання ізольованих органів тварин;
- культивування і зараження клітин, чутливих до того чи іншого вірусу в стерильних умовах (*in vitro*);
- конструювання безклітинних систем.

Біопрепарати, у яких активною основою є віруси, виготовляють у рідкій та сухій формах. У рідкій формі наповнювачем виступає гліцерин, у сухій – метилцелюлоза й інші речовини.

Біоінсектициди на основі вірусів зазвичай називають *віринами*. Їх додатково позначають першими буквами українських або латинських назв комах-хазяїнів. Наприклад, назва препарату «Вірин-ОС» означає, що його створено на основі вірусу гранульозу та ядерного поліедрозу озимої совки. Назва препарату «Вірин-АБМ» означає, що його основою є віруси ядерного поліедрозу та гранульозу американського білого метелика. Якщо активна основа вірину представлена лише вірусом збудником гранульозу, то перед першими буквами комахи-хазяїна ставлять літеру Г. Наприклад, назва біопрепарату «Вірин-ГЯП» означає, що його створено на основі вірусу збудника гранульозу яблуневої плодожерки.

Вірусні включення досить стійкі до несприятливого впливу факторів довкілля і в сухому стані можуть зберігатися кілька років. Щоб захистити вірини від інактивзації під сонцем, до них додають 1,0 % сухого збираного молока й інші домішки. Найкраще вірини зберігаються у формі суспензій у воді, гліцерині та фізіологічному розчині з нейтральною реакцією (рН 6,0–7,0).

Метод вакцинації є різновидністю інфекційного імунітету, оскільки ефект вакцинації пов'язаний з постійною присутністю і розмноженням у рослині вакцинних штамів патогенів. Для цього використовують спеціальні препарати.

Серед біологічно активних речовин, які продукуються мікроорганізмами, у практиці найбільш поширені антибіотики. В Україні дозволено до застосування в біологічному землеробстві два антибіотики: Трихоцетин і Фітобактеріоміцин. Викликає інтерес розробка на основі мікробіологічного синтезу біологічно активних речовин, які можуть діяти як атрактанти, репеленти й антифіданти.

4.3. Біологічний захист посівів від бур'янів

Прогрес у створенні екологічних препаратів для захисту посівів від бур'янів значно скромніший, порівняно з досягненнями в питаннях боротьби зі шкідниками і хворобами. Хоча протягом останніх 30 років було досягнуто значних успіхів у цих напрямках – було запропоновано нові підходи біологічного контролю бур'янів, а саме – використання комах-фітофагів, патогенних мікроорганізмів, мікогербіцидів та ін.

Нині можна виділити такі основні напрями використання біологічного методу для боротьби з бур'янами:

1. Контроль чисельності окремих груп бур'янів за рахунок уведення в сівозміну культур, здатних пригнічувати їх ріст і розвиток. До таких культур належать жито, пшениця і тритикале озимі, злаково-бобові суміші на зелений корм, гірчиця, гречка тощо.

2. Застосування вузькоспеціалізованих гербіфагів, тобто шкідників, які харчуються конкретними видами бур'янів.

3. Контроль окремих груп бур'янів шляхом їх ураження фітопатогенними організмами і вірусами.

4. Використання мікогербіцидів.

Важливою складовою біологічного методу в захисті рослин від бур'янів є сівба алелопатичних антагоністів і сидератів. Кращими в цьому плані є хрестоцвіті культури: ріпак, гірчиця біла, редька олійна. Зокрема, післяжнивні та проміжні посіви цих культур як сидератів знижують рівень забур'яненості наступних культур сівозміни на 35–40 %.

Водночас виявлено чимало видів польових культур, кореневі ексудати яких є отрутою для багатьох видів бур'янів. «Рекордсменом» тут є жито озиме, кореневі виділення якого здатні повністю знищити такий злісний бур'ян, як пирій повзучий. Це саме стосується таких поширених бур'янів, як берізка польова, осот, щиріця та ін. Близькими до жита за здатністю «душити» ці види бур'янів є коноплі та овес. Такі рослини по суті є природними «мінізаводами», які безкоштовно синтезують і вносять у ґрунт екологічно безпечні гербіциди широкого спектра дії.

Одним з методів біологічного контролю бур'янів є використання архітектоніки культурних рослин, а також стартового «спринту» деяких культур. Зокрема, ті ж самі зернові культури характеризуються інтенсивним ростом на початкових етапах, завдяки чому перебувають у кращих умовах, ніж бур'яни.

У цьому аспекті важливе значення мають норми висіву насіння і способи сівби, від яких залежить заповненість земельної площі, а відповідно, і рівень конкурентної здатності посівів. Зрозуміло, що в розріджених посівах проблема забур'яненості буде більш гострою. Саме тому перспективним селекційним напрямом є виведення сучасних сортів сільськогосподарських культур, архітектоніка яких дозволяє їм сильніше пригнічувати бур'яни.

Останнім часом все більшу увагу привертає використання вузькоспеціалізованих гербіфагів. Так, практичний досвід показує, що амброзію полинолисту достатньо ефективно знищують

амброзієва совка (*Tarochidia candefacta Hubn*) і амброзієвий листоїд (*Zygogramma saturalis*), які зовні схожі на колорадського жука. Цих шкідників спеціально розводять і випускають на посіви, забур'янені амброзією. У більш посушливих умовах інтенсивніше харчується рослинами амброзії амброзієвий листоїд. Він спроможний безкоштовно повністю очистити поле від цього шкідника.

Харчуватися амброзією люблять також деякі види кліщів та інші комахи. Зокрема, личинки несправжнього слоника розвиваються тільки на насінні амброзії, живляться на чоловічих суцвіттях і тут же заляльковуються. Дорослі жуки живляться пилком. Крім несправжнього слоника, у суцвіттях амброзії також розвивається слоник тригоноринуса, у стебла «заселяються» галиці, а на листках, суцвіттях і точках росту живуть совки тарахидії, які дають за весь літній період до чотирьох поколінь. Гусениці цього гербіфага здатні повністю з'їсти всі листки амброзії.

Природним ворогом берізки польової є дорослі жуки і личинки рудого беріzkового щитника. Жуки прогризають отвори в листках, а личинки виїдають їх м'якоть, не зачіпаючи нижньої шкірки. Найбільшу активність шкідник проявляє в першій половині літа в умовах достатнього освітлення та вологи.

Велику небезпеку для соняшнику становить вовчок кумський, і боротися з ним важко, а хімічні методи боротьби мають тривалу негативну післядію. Водночас такий гербіфаг, як вовчкова мушка фітоміза (*Phytomyza orobanchia*) доволі успішно вирішує цю проблему. Вона відкладає яйця в стебла та квітки вовчка, після чого він гине. Рослини, що вижили, не плодоносять або дають несхоже насіння. Плодючість мушки фітомізи висока – за сезон самка відкладає близько 200 яєць.

Для розведення мушки фітомізи восени вовчок викопують, після обтрушування ґрунту підсушують і зберігають у прохолодному (2,0–3,0 °С) та сухому приміщенні. Навесні, коли температура прогріється до 22–24 °С, рослини вовчка кладуть у поліетиленові чи паперові відкриті мішечки і розвішують на полях.

Молоді листки осоту польового, будяка і лопуха павутинистого охоче поїдають личинки зеленого щитника. Пошкоджені рослини зупиняються в рості, споживають менше поживних елементів і вологи, зацвітають на 1,5–2,0 міс. пізніше, ніж нормальні. Шкідник дає одне покоління на рік, зимує в стадії імаго в рослинних рештках на краях полів і в лісосмугах.

У США будяк виводять з полів за допомогою довгоносика, якого спеціально завозять з Європи. В Австралії в посівах сільськогосподарських культур звіробій виводять за допомогою коренеїдів і деяких листогризучих комах, яких завозять з Франції та Великобританії. Американські науковці у боротьбі з в'юнком польовим перспективним визнали використання молі *Noctuella floralis*, яка харчується його кореневищами.

Англійські науковці довели високу ефективність застосування довгоносика – *Smicronyx umbrinus* для боротьби зі стригною, яка паразитує на зернових культурах, здебільшого на кукурудзі. Уражуючи стригу, довгоносик може знизити вихід її насіння більш ніж на 90 %.

Канадські науковці встановили високу ефективність ураження осоту багаторічного галовою мухою – *Cystiphora sonchi*, яка акліматизувалася в окремих регіонах країни і сильно «проріджує» осот у посівах сільськогосподарських культур.

Важливим інструментом біологічного методу контролю бур'янів є використання фітопатогенів і вірусів. Ще понад 100 років тому відзначали загибель осоту польового, ураженого іржастим грибом пукцинією. Цей грибок викликає відмирання переважної більшості (близько 80 %) пагонів осоту польового.

Науковці Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного виявили хворобу амброзії полинолистої, збудником якої є мікроскопічний грибок *Phyllachora ambrosiae*. Плодові тіла цього грибка розвиваються на листках і стеблах амброзії, приводячи до повного її засихання.

Токсичні штами грибка фузаріум вовчковий (*Fusarium orobanche*) здатні уражувати вовчок на ранніх стадіях розвитку. Повищену уражує грибок *Alternaria*. Обприскування рослин спорами цього патогена ефективно тоді, коли на рослинах тривалий час зберігаються краплини зі спорами грибка.

Гірчак звичайний уражує гірчачою іржа. На рослинах з'являються білі плями – міцелії, які через кілька днів перетворюються на невеликі нарости, з яких висипаються спори і заражують інші рослини. Висока вологість і помірна температура повітря створюють сприятливі умови для розвитку хвороби. Уражені рослини гірчака звичайного затримуються в рості і формують неповноцінне насіння. За високого ступеня ураження іржею насіння взагалі не утворюється.

Пирій повзучий, стоколос безостий і молочай уражуються деякими видами іржі. Сажкою уражуються суцвіття гумаю, мишію, свинорію, вівсюга, пажитниці п'янкої і льонової, бромусу житнього й інших бур'янів. Результати досліджень також свідчать про можливість ураження сажкою гірчака шорсткого і мишію сизого.

Перспективним є вивчення можливостей ураження бур'янів вірусами. Зокрема, відзначають пошкодження вірусами суцвіть ромашки непахучої, осоту рожевого та чистцю болотного, яке проявляється в їх позеленінні й утворенні наростів. Віруси передаються і через кореневу систему, і через надземну масу рослин. Мозаїчним вірусом уражуються деякі види лободи та кропиви.

Протягом останнього періоду вивчають можливість знищення бур'янів продуктами обміну окремих видів грибів і бактерій, які не завдають шкоди культурним рослинам і живим організмам.

Перспективним напрямом у боротьбі з бур'янами є використання *мікогербіцидів* – препаратів, активною основою яких є гриби-фітопатогени. Цей напрям тільки почав розвиватися, тож асортимент мікогербіцидів поки невеликий – не більше 15 препаратів. Певних успіхів у цьому напрямі досягли в Китаї, Австралії і США.

У США у боротьбі з гірчаком витким використовують мікогербіцид Коллего, який на 15 % складається з життєздатних спор гриба *Colletotrichum gloeosporioides* і на 85 % – з наповнювача. Ефективність препарату досягає 95 %, тобто на рівні високої дії гербіциду. Мікогербіцид Девін (розроблений у США) уражує стебла і корені моренії, що паразитує на цитрусових.

Компанія «Монсанто» разом з фірмою «Мікоген» на основі грибів випускають мікогербіцид Каст, призначений для обмеження чисельності бур'яну касії в посівах сої. Проїшов випробування і випускається мікогербіцид Мікоген, призначений для знищення бур'яну канатника Теофраста.

Колекція чистих культур мікроміцетів, які уражують бур'яни, перевищує 100 видів, тож у перспективі при належному дослідженні вони здатні здійснити прорив у сільському господарстві.

Сучасні досягнення в біотехнології привертають усе більшу увагу до мікроорганізмів як потенційних джерел природних речовин, які характеризуються можливістю пригнічувати бур'янисті рослини, а також створюють основу для розробки промислових технологій отримання цих речовин.

На основі похідних амінокислот, продукованих актиноміцетами, у Німеччині налагоджено промислове виробництво Глюфосинату – препарату з широким спектром дії проти бур'янів, а в Японії – його аналога – Біалофосу. З метаболіту анісоміцину вдалося синтезувати інший препарат із широким спектром дії – Кайаметон, який вже показує високу ефективність у сільському господарстві.

У США довели гербіцидну дію ряду речовин, що беруть участь у синтезі хлорофілу. За певних умов вони здатні знищувати окремі види бур'янів. У складі біогербіцидів, які порушують процес фотосинтезу, є дельта-амінолевулінова кислота – природна речовина, яка входить до складу рослинних і тваринних клітин та бере участь у синтезі тетрапіролів. Власне тетрапіроли і викликають загибель бур'янів. Їх ще називають «лазерні речовини», оскільки вони проявляють свої властивості лише за дії сонячного світла. У звичайних умовах тетрапіроли синтезуються рослинами таким чином, що всі вони йдуть на утворення хлорофілу. За їх надлишку під дією світла відбувається реакція, у якій кисень трансформується в надактивний радикал, який пошкоджує стінки клітин рослин, що приводить до їх загибелі.

Посіви обробляють біогербіцидами на основі дельта-амінолевулінової кислоти до настання темряви. Уночі діюча речовина гербіциду, проникаючи всередину рослин, синтезує зайву кількість тетрапіролів, частина з яких наступного дня бере участь в утворенні хлорофілу, а решта вступає в реакцію, що окислює тканини. Це приводить до руйнування стінок клітин, витікання клітинного соку, знебарвлення і повної загибелі рослин протягом 3–4 год.

Розглянуті біологічні методи боротьби з бур'янами, незважаючи на їхню достатньо високу ефективність, поки не отримали широкого застосування у виробництві і не є основним засобом боротьби з бур'янами, оскільки в полях спектр бур'янів доволі широкий, і навіть якщо знищити певний бур'ян, проблему забур'яненості не буде вирішено. Водночас біометоди можуть з успіхом інтегруватися в системи захисту посівів, даючи простір для пошуку шляхів нестандартного сполучення біологічних і хімічних методів захисту.

Контрольні запитання

1. Розкрийте причини стрімкого скорочення кількісного і видового різноманіття комах.
2. У чому полягає сутність біометоду контролю шкідників?
3. Розкрийте нюанси класичного біометоду, методу сезонної колонізації і методу наводнення.
4. Назвіть основні шляхи приваблювання ентомофагів на посіви сільськогосподарських культур.
5. На які групи поділяють ентомофагів? Назвіть їх основних представників.
6. Назвіть найпоширеніших ентомофагів і розкажіть, як саме вони контролюють чисельність фітофагів.
7. Якими методами проводять випуск трихограми?
8. Назвіть строки і норми випуску трихограми.
9. Опишіть, яким чином знищує шкідників ектопаразит габробракон. Що мають на увазі під поняттям «лабіринтний інстинкт»?
10. Який рівень ефективності застосування ентомофагів?
11. Назвіть основні переваги застосування ентомофагів.
12. Що стримує поширення біологічного методу контролю шкідників?
13. Як біодиверсифікація може сприяти зменшенню ураження посівів сільськогосподарських культур шкідниками?
14. На які групи поділяють біопрепарати для захисту рослин від шкідників і хвороб залежно від природи активної основи?
15. Які бувають біопрепарати за призначенням?
16. Які допоміжні речовини використовують для виготовлення біопрепаратів і які функції вони виконують?
17. Назвіть наповнювачі, які використовують у біопрепаратах.
18. У якій формі випускають біопрепарати для захисту сільськогосподарських культур від шкідників і хвороб?
19. Назвіть найбільш поширені активні основи біопрепаратів для захисту рослин на основі грибів і бактерій.
20. З якими проблемами стикаються при виготовленні біопрепаратів з активною основою грибів?
21. Назвіть поширені біопрепарати для захисту рослин від шкідників і хвороб на основі грибів і вкажіть їх активні основи.

22. На які групи поділяють біоінсектициди залежно від їх активної основи?
23. Якими способами отримують вірусний матеріал для виготовлення віринів?
24. Назвіть основні напрями використання біологічного методу для боротьби з бур'янами.
25. Охарактеризуйте роль гербіфагів у контролі бур'янів.
26. Які перспективи має використання для боротьби з бур'янами фітопатогенів і вірусів?
27. Мікогербіциди і їхня роль у контролі бур'янів.
28. Опишіть механізм дії біогербіцидів на основі дельта-амінолевулінової кислоти.
29. Вкажіть причини незначного поширення біологічних методів боротьби з бур'янами.
30. Роль біометоду в інтегрованих системах захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бегей С.В. Екологічне землеробство: підручник / С.В. Бегей, І.А. Шувар. – Львів: Новий Світ–2000, 2007. – 429 с.
2. Беляєва Н.В. Сучасний стан виробництва органічної продукції в Україні та світі / Н.В. Беляєва // Інноваційна економіка. – 2013. – № 1. – С. 151–155.
3. Білик М.О. Біологічний захист рослин від шкідливих організмів: підручник / М.О. Білик. – Харків: Майдан, 2022. – 356 с.
4. Біологічне рослинництво: навч. посіб. / за ред. О.І. Зінченко. – Київ: Вища школа, 1996. – 239 с.
5. Герасько Т.В. Еколого-біологічне (органічне) рослинництво: навч. посіб. / Т.В. Герасько. – Мелітополь: Люкс, 2013. – 124 с.
6. Гомес И. Учебное пособие по органическому сельскому хозяйству [Электронный ресурс] / И. Гомес, Л. Тивант. – Будапешт: Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединённых наций. – 2017. – 120 с. – Режим доступа: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/03489d93-2d7e-4225-810b-a740863576e0/>
7. Динамічні процеси розвитку органічного виробництва в Україні: монографія / І.В. Гончарук, С.Я. Ковальчук, Я.Г. Цицюра, С.М. Лутковська. – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 478 с.
8. Еко та ГМО-продукти: навч. посіб. / Г.О. Бірта, Ю.Г. Бургу, Л. В. Флока та ін. – Полтава, 2020. – 265 с.
9. Забродоцька Л. Ю. Основи агрономії: навч. посіб. / Л. Ю. Забродоцька. – Луцьк, 2019. – 360 с.
10. Кисіль В.І. Біологічне землеробство в Україні: проблеми і перспективи / В.І. Кисіль. – Харків: Штрих, 2000. – 161 с.
11. Кобець М.І. Органічне землеробство в контексті сталого розвитку [Електронний ресурс] / М. І. Кобець // Аграрна політика для людського розвитку: проєкт. – Київ, 2004. – 22 с. – Режим доступу: http://www.undp.org.ua/agro/pub/ua/P2004_01_051_04.pdf.
12. Консервативное земледелие: учебник для сельскохозяйственных производителей и их инструкторов / Б. Боинчан, Л. Волощук, М. Рурак [и др.]; координатор: Ю. Хурмузаки; Unitatea Consolidată pentru Implementarea Programelor IFAD. – Кишинэу: Б. и., 2020 (Tipogr. „Print-Caro”). – 216 с.
13. Лагутенко О.Т. Агроэкология: навч. вид. / О.Т. Лагутенко. – Київ, 2012. – 206 с.

14. Лихочвор В.В. Біологічне рослинництво: навч. посіб. / В.В. Лихочвор – Львів: НВФ «Українські технології», 2004. – 312 с.
15. Новітній асортимент засобів захисту рослин від шкідливих організмів: навч. посіб. / В.П. Туренко, М.О. Білик, В.І. Мартиненко та ін.; за ред. д-ра с.-г. наук, проф. В.П. Туренка. – Харків: Майдан, 2021. – 356 с.
16. Покривні культури [Електронний ресурс]: довідник. – Режим доступу: https://www.soufflet-agro.com.ua/media/filer_public/30/ad/30ad6456-a305-4547-83e2-572c68a68a90/sa_cover_crop_guide_ua_web.pdf
17. Про виробництво та обіг органічної сільськогосподарської продукції та сировини [Електронний ресурс]: Закон України від 03.09.2013, № 425-VII / Верховна Рада України. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/425-18>.
18. Сокол Л.М. Екологічне (органічне) землеробство – складова сталого сільського господарства/ Л.М. Сокол, Т.Р. Стефановська, В.В. Підліснюк // Екологічна безпека. – 2008. – № 3-4. – С. 102–109.
19. Шикула М.К. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: монографія / М.К. Шикула. – Київ, 2000. – 389 с.
20. Шкуратов О.І. Органічне сільське господарство: еколого-економічні імперативи розвитку: монографія / О.І. Шкуратов, В.А. Чудовська, А.В. Вдовиченко. – Київ: ТОВ «Діа», 2015. – 248 с.

Навчальне видання

РОЖКОВ Артур Олександрович
МАРЕНИЧ Микола Миколайович
КУЛИК Максим Іванович
КУЦ Олександр Володимирович
СВИРИДОВА Людмила Андріївна

ЕКОЛОГІЧНЕ РОСЛИННИЦТВО

Навчальний посібник

Комп'ютерний набір і верстка – Л. А. Свиридова

Підпис. до друку 10.05.2024.

Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 10,3.

Наклад 100 прим. Замовлення 2024-28

Видавництво ПП «Астрая»

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4

Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694

E-mail: astraya.pl.ua@gmail.com, веб-сайт: astraya.pl.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5599 від 19.09.2017 р.

Друк ПП «Астрая»

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4

Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694

Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР

14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089