



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 579.663:631.427.4:619
© 2012

*В.В. Волкогон,
член-кореспондент НААН
Інститут сільсько-
господарської мікробіології
та агропромислового
виробництва НААН*

МІКРОБІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ

Окреслено актуальні питання ґрунтової мікробіології, зокрема забезпечення позитивного балансу гумусу через оптимізацію мікробіологічних процесів деградації-синтезу, активізацію процесу азотфіксації в агроценозах, застосування мікробних препаратів нового покоління, оптимізацію біологічної трансформації азоту в ґрунтах за використання показників напруженості процесів малого азотного колообігу.

З часу закладення основ мікробіології у XIX ст. сформувалося кілька самостійних розділів цієї науки, серед яких особливе місце займає ґрунтова мікробіологія. Результати досліджень науковців, що працюють над розв'язанням проблем у цьому напрямі (одержані зокрема і вітчизняними мікробіологами), сприяють найповнішій реалізації потенціалу аграрного виробництва. Водночас суперечливі для природного перебігу окремих біологічних процесів способи господарювання висувають перед мікробіологами нові завдання. Сьогодні чи не найважливішими для країни є питання відтворення родючості ґрунтів, що передбачає насамперед забезпечення позитивного балансу гумусу через оптимізацію мікробіологічних процесів деградації-синтезу органічної речовини, застосування мікробних препаратів нового покоління, активізацію процесу азотфіксації в агроценозах та застосування мінеральних азотних добрив у межах фізіологічного оптимуму.

1. Оптимізація процесів деградації-синтезу органічної речовини. У наявних системах землеробства біологічна суть виникнення родючості ґрунтів, на жаль, практично не береться до уваги. Сьогодні, коли йдеться про родючість ґрунтів, ми надто спрощено підходимо до цієї проблеми і передусім маємо на увазі забезпечення їх сполуками азоту, фосфору і калію. Однак оптимальність показників родючості ґрунтів не вичерпується ліквідацією дефіциту поживних речовин. Не менш важливим є створення умов гармонійного засвоєння культурними рослинами необхідних елементів, що

неможливо без активної участі мікроорганізмів, які забезпечують перебіг біохімічних процесів у ґрунті. Ще роботами класиків ґрунтознавства В.В. Докучаєва і П.А. Костичева [11, 13] у XIX ст. було доведено, що формування родючості ґрунту є комплексним процесом — одночасно геологічним і біологічним.

Розглядаючи особливості утворення родючих ґрунтів наприкінці 20-х років минулого століття, академіки Д.І. Прянишников і К.К. Гедеройц при цьому наголошували на важливості біологічних факторів, називаючи їх чинниками «біологічної меліорації ґрунтів». Зайве стверджувати, що роль біологічного вектора у ґрунтоутворенні сьогодні виходить на перше місце, оскільки, крім фізико-хімічної деградації ґрунтів, спостерігаємо значне погіршення їхнього біологічного стану. За відсутності надходження органічної речовини, ігнорування сівозмін, зведення до мінімуму площ вирощування бобових культур, спалювання соломи тощо в ґрунтах активізуються деградаційні процеси. Застосування при цьому високих доз азотних добрив підсилює мінералізацію гумусу, оскільки ґрунтові мікроорганізми, ініційовані надходженням до ґрунту сполук азоту, використовують для свого розвитку гумус як джерело вуглецю та енергії. Наявні способи господарювання сприяють істотному збідненню складу біоценозів ґрунтів, спостерігається зведення до мінімуму і навіть випадання з них окремих видів корисних організмів, що призводить до небажаних змін у співвідношенні між корисною і патогенною біотою. Багато агроценозів перетворили-

ся у резерватори збудників хвороб. Зазначена вище ситуація демонструє не лише загострення проблеми родючості ґрунтів, а й цілої низки питань екологічного характеру, що особливо тривожить, адже екологічні функції ґрунтів є визначальними для існування людства.

Оскільки всі біохімічні процеси в ґрунтах, зокрема й ті, що зумовлюють родючість, залежать від інтенсивності розвитку та функціональної активності мікроорганізмів, які, у свою чергу, лімітує доступний вуглець, або органічна речовина, коли йдеться про біологічну активність ґрунтів та про родючість, слід мати на увазі передусім забезпечення їх вуглецем такою мірою, щоб синтетичні процеси домінували над деградаційними. Тому питання системного надходження у ґрунти агроценозів органічної речовини має стати одним з найважливіших у землеробстві.

Це твердження підкріплюється сучасними дослідженнями щодо участі гумусу в живленні рослин. Так, показано, що гумусові сполуки є не лише запасним джерелом поживних речовин у ґрунті й відображенням стану потенційної родючості. Вони здатні засвоюватися рослиною без проходження етапу мінералізації і за умови недостатнього функціонування фотосинтетичного апарату бути чи не єдиним джерелом вуглецю для забезпечення метаболізму [15]. Це свідчить про статус рослин як факультативних органотрофів (на відміну від уявлень про їх облігатну автотрофію), а також про участь гумусу у формуванні ефективної родючості ґрунтів.

Серед агроприйомів, спрямованих на забезпечення ґрунтів вуглецем, підвищення їх біологічної активності, оптимізацію складу мікроценозів, переорієнтацію біологічних процесів на відновлення родючості, зокрема синтез гумусових речовин, передусім слід назвати внесення гною. Особливе значення гною в тому, що він сприяє поверненню в ґрунт як органічної речовини, так і сполук біогенних елементів, які засвоїли з нього рослини. З гноєм також вноситься велика кількість корисних мікроорганізмів, необхідних як для нормального ґрунтоутворного процесу, так і для забезпечення культурних рослин необхідною мікробіотою. Ще в 1897 р. В.В. Докучаєв писав: «Несомненно, вместе с навозом вносятся в почву и бактерии, роль которых, по всей вероятности, не меньше вносимых удобрительных веществ» [11].

В Україні сьогодні через відсутність розвинутого тваринництва спостерігається дефіцит гною. Водночас активно розвивається птахівництво, відходи якого практично не використовуються в сільськогосподарському виробництві, створюючи при цьому серйозну загрозу довкіллю. Біоконверсія відходів птахівництва

змогла б частково розв'язати проблему забезпечення ґрунтів органічною речовиною і поживними речовинами. У цьому питанні особливе місце належить розробкам мікробіологів. Нині вже створено технології біокompостування [1, 18], зокрема із залученням селекціонованих мікроорганізмів, що дає змогу контролювати процес і робити його керованим [8, 9]. Подальші дослідження в цьому напрямі, активне впровадження наукових розробок у виробництво сприятимуть відтворенню родючості ґрунтів агроценозів та поліпшенню стану довкілля.

Потужним чинником надходження вуглецю в ґрунти є також органічна речовина міських відходів, проте її залучення (фактично, повернення) до ґрунтоутворних процесів є доволі проблемним через низку причин. Для вирішення цього питання, крім відпрацювання біотехнологічних аспектів компостування зазначених відходів, слід забезпечити здійснення низки організаційних заходів.

Недорогим методом забезпечення ґрунтів агроценозів органічною речовиною є сидерати. Використання їх для покращення біологічних процесів у ґрунтах та підтримки родючості є одним з основних регуляторних чинників у сучасному землеробстві. Сидеральні культури збагачують ґрунт поживними речовинами, захищають його від ерозії, створюють умови так званого біодренажу. Сидерація, передусім за використання бобових, як складова частина системи удобрення і поповнення ґрунту біологічно зв'язаним азотом забезпечує стабільну й високу врожайність у зонах достатнього зволоження і на зрошуваних землях. Проте слід зазначити, що при цьому в ґрунті зберігаються запаси гумусу, але обмежується перебіг процесів його синтезу через відсутність у сидеральній масі достатньої кількості лігніну й ароматичних сполук (субстратних попередників гумусу). Особливо актуальним це є за використання сидеральних культур у фазах, що передують цвітінню. Фактично, при цьому сидерація активно впливає на ефективну родючість ґрунту, забезпечуючи підвищення урожайності лише першої в сівозміні культури. Тому для оптимізації процесів синтезу гумусу (і, відповідно, підсилення потенційної родючості) слід застосовувати внесення рослинних решток, зокрема подрібненої соломи, з компенсацією на азот з наступним вирощуванням сидеральної культури. За цих умов ініціюється розвиток мікроорганізмів і відбувається забезпечення їх субстратом для синтезу гумусових сполук, тобто формується як ефективна, так і потенційна родючість ґрунту.

Для оптимізації процесів деструкції-синтезу слід передбачити максимальне використання органічної маси післяжнивних решток і побічної

продукції рослинництва за відчуження останньої з поля не більше 20–30% [16]. Залучення достатньої кількості енергетичного матеріалу, підвищення біологічної активності ґрунту при цьому та наявність відповідних субстратів створюють оптимальні умови для перебігу процесів синтезу гумусу.

Баланс поживних речовин і гумусу (а також санітарний стан агроценозів та їхня продуктивність) значною мірою визначається дотриманням науково обґрунтованих сівозмін. Склад та співвідношення культур у сівозміні зумовлюють вихід органічної речовини рослинних решток на одиницю сівозмінної площі та кількісні показники відтворення гумусу. Неврахування сівозмінного чинника призводить як до спотворення ґрунтоохоронних функцій агроценозу, так і до формування специфічних мікробних угруповань у ґрунті, домінантними видами в яких стають патогенні мікроорганізми та продуценти фітотоксичних речовин. Розвивається явище ґрунтовтоми. За цих умов навіть підвищене внесення мінеральних добрив не може забезпечити реалізації потенціалу продуктивності сільськогосподарських культур [2].

Особливим аспектом функціонування сучасних сівозмін, який має безпосередній стосунок до діяльності мікроорганізмів як чинника формування родючості ґрунтів, є вирощування трав. Злакові трави забезпечують ґрунти значною кількістю органічної речовини й оптимізують процеси гумусоутворення. Не менш важливим є вирощування бобових трав, що дає змогу отримати, крім достатньої кількості органічної речовини кореневих решток, також і азот, фіксований з повітря у симбіозі з бульбочковими бактеріями.

Дотримання комплексу зазначених вище агроприйомів ведення землеробства дасть можливість стабілізувати мікробіологічні процеси деградації-синтезу органічної речовини й отримати позитивний баланс гумусу в ґрунтах.

2. Застосування новітніх мікробних препаратів у сучасних технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Сьогодні на підставі численних досліджень можна стверджувати, що симбіози й асоціації мікроорганізмів з рослинами є основою життєдіяльності останніх. Доведено, що адсорбційна здатність кореневої системи рослин збільшується до 15 (і більше) разів при гармонійному формуванні мікробно-рослинних асоціацій та симбіозів. За цих умов поживні речовини, адсорбовані на ґрунтових агрегатах, надходять до коріння через ланцюжки бактеріальних клітин, гіфи та міцелій мікроскопічних грибів. За виразом М.О. Красильникова, роль організмів, що заселяють ризосферу, нагадує функції органів травлення тварин. За вирощування сіль-

ськогосподарських культур на біологічно активних ґрунтах рослини забезпечуються необхідним комплексом мікроорганізмів, одержують при цьому повноцінне живлення і, як наслідок, реалізують свій генетичний потенціал щодо врожайності. Оскільки значна кількість ґрунтів є деградованими в біологічному плані, коріння сільськогосподарських культур заселяють нетипові для ботанічного виду мікроорганізми, які не здатні забезпечувати культурні рослини поживними речовинами [7]. Це велика екологічна і народногосподарська проблема. Одним зі способів виходу з цієї ситуації є забезпечення агроценозів корисною мікробіотою за використання мікробних препаратів. Власне, застосування біопрепаратів на основі селекціонованих штамів мікроорганізмів є одним із найвпливовіших способів корекції біологічного стану агроценозів.

Інтродуковані застосуванням препаратів мікроорганізми сприяють відновленню природного мікробіоценозу, засвоюють азот з повітря, сприяють розчиненню сполук фосфору в ґрунті. Крім того, за біологічної активізації ризосферного ґрунту істотно зростають коефіцієнти використання поживних речовин і, зокрема, з мінеральних добрив. Як відомо, засвоюваність сільськогосподарськими культурами діючої речовини з азотних добрив не перевищує 35–50%, фосфорних — 18–20, калійних — 25–60% залежно від типу ґрунту [12]. На нашу думку, саме недостатня увага до мікробіологічного фактора трансформації сполук основних елементів живлення рослин значною мірою призвела до низької ефективності використання добрив та забруднення довкілля. Традиційно проблеми мінерального живлення рослин розглядалися виключно як проблеми агрохімії та фізіології рослин. Сьогодні до їх розв'язання потрібно підійти комплексно й обов'язково з урахуванням розробок у ґрунтовій мікробіології.

Українськими мікробіологами створено відповідну методичну, експериментальну та інформаційну базу для розв'язання проблеми підвищення коефіцієнтів використання діючої речовини з добрив. Деякі з порушених питань значною мірою розроблені. Так, встановлено, що окремі з мікробних препаратів позитивно впливають на перебіг процесів біологічної трансформації азоту і мобілізації фосфору. В серії дослідів за використання методу ізотопного (^{15}N) розбавлення і польових експериментів показано, що поєднане застосування мінеральних добрив та біопрепаратів сприяє економії 30–60 кг/га мінерального азоту й 30–40 кг/га P_2O_5 залежно від сільськогосподарської культури та умов вирощування. Лізіметричними дослідженнями показано, що при цьому на 22–30% зменшується вимивання водороз-

Продуктивність симбіотичної азотфіксації в агроценозах з бобовими культурами

Культура	Кількість фіксованого азоту, кг/га за рік	
	без бактеризації	з бактеризацією
Горох	40–60	55–80
Вика	40–65	60–90
Соя	60–90	95–150
Люпин	80–120	100–150
Люцерна	140–210	230–330
Козлятник	130–220	240–330
Конюшина	120–180	170–250
Еспарцет	130–160	190–220

чинних сполук гумусу по ґрунтовому профілю [4–7].

Чим пояснюється зазначений ефект? Наприкінці минулого століття серією досліджень різних наукових шкіл було показано, що об'єм кореневих виділень (за вуглецем) сягає 35–45% від усієї кількості вуглецю, асимільованого рослиною в процесі фотосинтезу [20, 22, 23]. Екологічний сенс такого масштабного спрямування вуглецю в зону коріння зводиться до підтримки життєдіяльності ризосферної мікробіоти [20], яка, у свою чергу, оптимізує кореневе живлення рослин. Інтродукуючи агрономічно цінні мікроорганізми з підвищеною специфічною активністю, наприклад, фітостимулювальною, можемо на певний час оптимізувати співвідношення між корисними й патогенними мікроорганізмами на користь перших (тим самим «перехопити» потік вуглецю) й істотно збільшити коефіцієнти використання діючої речовини з добрив за рахунок надходження до рослин фітогормонів бактеріального походження в оптимальній кількості і в збалансованому вигляді, та їх впливу на ризогенез, абсорбційну здатність коріння і додатковий синтез окремих ферментів.

За відповідного розвитку цих досліджень є перспектива втілення в сільськогосподарське виробництво нової стратегії застосування добрив — разом з біопрепаратами і в рекомендованих дозах. Зрозуміло, що мікробіологи самі не створять системи оптимального застосування добрив у сівоzmінах з міркувань як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру. Отже, ця робота потребує комплексного підходу за участю як агрохіміків та фізіологів рослин, так і мікробіологів.

3. Оптимізація процесів біологічної трансформації азоту в ґрунтах; визначення екологічно доцільних доз добрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Одним з лімітувальних чинників

продуктивності агроценозів і необхідним елементом для оптимізації колообігу вуглецю є азот. І якщо в природних екосистемах азот не обмежує продуктивності агроценозів завдяки збалансованості всіх ланок його біогеохімічного циклу, то в ґрунтах агроекосистем цей цикл є не лише порушеним, а й розірваним унаслідок впливу низки антропогенних факторів та відчуження урожаю сільськогосподарських культур.

Одним з компенсаторних чинників ліквідації дефіциту азоту в ґрунтах агроценозів є вирощування бобових культур. У зв'язку з цим К.А. Тимирязев писав: «Навряд чи в історії знайдеться багато відкриттів, які були б таким благодіянням для людства, як уведення конюшини і взагалі бобових рослин у сівоzmіну, що так вражаючи підвищило продуктивність праці хлібороба».

Найкращими накопичувачами біологічного азоту, як відомо [14, 16, 17], є бобові трави. Однак через різке зниження поголів'я худоби в Україні вирощувати трави стало економічно не вигідним. Проте за цих умов можна культивувати зернобобові культури, продукція яких високо цінується і водночас вони є добрими попередниками для злакових та інших культур. Орієнтація землеробства на ґрунтозбагачення чітко простежується в США, де кожний другий гектар засівається бобовими культурами. В Україні площа земель під бобовими культурами не перевищує 5% за бажаної кількості на рівні хоча б 25–30% [16].

Слід зазначити, що кількість зв'язаного атмосферного азоту в ґрунтах агроценозів з бобовими культурами можна як мінімум подвоїти (таблиця), застосовуючи мікробні препарати на основі активних штамів бульбачкових бактерій [14, 19]. Однак аналіз ситуації показує, що, за винятком сої, посіви якої в Україні бактеризуються приблизно на 50% площ, бактеризація всіх інших бобових культур не перевищує 1% від потреби.

Цілком зрозуміло, що забезпечити високий рівень продуктивності агроценозів за використання лише біологічного азоту непросто. Проте можна істотно знизити норми застосування мінерального азоту в сівоzmіні, тим самим зекономивши ресурси та позитивно вплинувши на стан довкілля, вміло поєднавши зазначені джерела азотного живлення культурних рослин. На цю обставину звертав увагу академік Д.Н. Прянишников: «Азот технический и биологический представляют два могучих рычага поднятия урожая, только согласованное использование их может разрешить проблему азота в земледелии».

Іншим вектором компенсації втрат азотних сполук із ґрунту (а також інтенсифікації виробництва) є азот мінеральних добрив. Однак у

ґрунтах агроценозів природний колообіг поживних речовин розбалансований, а біологічні процеси розвиваються хаотично. Внаслідок цього внесені мінеральні добрива не завжди використовуються доцільно з погляду оптимізації розвитку біогеоценозу. Окремі ланки процесів біологічного колообігу отримують перевагу перед іншими, що негативно позначається на екологічному стані агроценозів, родючості ґрунтів і призводить до значних економічних втрат. Водночас можемо констатувати, що незважаючи на найширше застосування способів оптимізації біологічної активності ґрунтів та відтворення їхньої родючості всіма вище охарактеризованими прийомами в майбутньому, сільське господарство не зможе відмовитися від застосування мінеральних добрив. Проте необхідна їх кількість має бути визначена не лише з економічних міркувань, а й з екологічної та фізіологічної доцільності використання. З огляду на це виникає необхідність наукового обґрунтування допустимої межі антропогенного впливу на ґрунтовий покрив, зокрема й на мікробіоту та перебіг біологічних процесів у ґрунтах.

Існують різні агрохімічні й фізіологічні способи визначення оптимальності доз добрив. Проте критерію істини — яка кількість азоту потрібна рослинам для покриття їхніх фізіологічних потреб, — на жаль, немає. Визначити цей критерій стало можливо з появою нових методів досліджень в мікробіології та відкриттям явища асоціативної азотфіксації. Як відомо, процес азотфіксації є раціональним з погляду енергетики. За надходження до ґрунту мінерального азоту активність асоціативної азотфіксації знижується пропорційно до внесених доз; зі збільшенням рівня азотного живлення азотфіксуювальні бактерії «переходять» на засвоєння зв'язаних сполук азоту (оскільки це енергетично вигідніше), здійснюючи, зокрема, й процес біологічної денітрифікації. Природа «боїться» надлишку азоту і «скидає» його в повітря. Активність азотфіксації буде зниженою протягом певного часу, поки не зникне репресувальна дія азотних добрив. Визначивши продуктивність азотфіксації в кореневій зоні культурних рослин за впливу різних доз мінерального азоту в динаміці, можемо вибрати фізіологічно (й екологічно) оптимальну дозу як таку, що не знижує активності процесу порівняно з показниками контрольного (безазотного)

варіанта. При цьому оптимальні показники активності бактерій, просторово й функціонально тісно асоційованих з рослиною, відображатимуть потребу в сполуках азоту досліджуваної сільськогосподарської культури. Додатковим тестом екологічної доцільності удобрення є встановлення такої дози мінерального азоту, за внесення якої в ґрунт активність процесу біологічної денітрифікації буде мінімальною серед можливих.

Сьогодні за використання згаданих методологічних підходів значною мірою досліджено особливості процесів азотфіксації й денітрифікації в ґрунтах агроценозів за впливу біогенних та абіогенних чинників у технологіях вирощування окремих сільськогосподарських культур. Оскільки за інтенсивної денітрифікації з ґрунту може втрачатися до 2/3 внесених азотних добрив, на цю проблему звернено особливу увагу [3, 4, 10, 21]. На основі проведених досліджень розроблено методику інструментального (газохроматографічного) визначення екологічно доцільних доз мінерального азоту в технологіях вирощування сільськогосподарських культур, застосування яких оптимізує перебіг процесів біологічної трансформації азоту в ґрунті [10]. Методика апробована в польових дослідках з пшеницею озимою, ячменем ярим, кукурудзою, картоплею та іншими культурами. Узгодження біологічних і методологічних підходів з наявними агрохімічними дасть змогу рекомендувати виробництву оптимальні для забезпечення належної урожайності культур та безпечні для довкілля дози добрив, передусім азотних. Застосування фосфорних і калійних добрив можна здійснювати, розраховуючи їх оптимальну кількість збалансовано з азотними.

Для реалізації цього положення обов'язковим заходом також має стати надійне і якісне відображення питання під час підготовки студентів (показовим є запровадження в Московському державному університеті ім. М.В. Ломоносова нової дисципліни, яка має назву «Агрохімія і мікробоценози в почвах агроэкосистем»; дисципліна передбачає вивчення таких питань, як «Значение микроорганизмов в оптимизации питания культурных растений в агроэкосистемах», «Микробиологические подходы к решению проблемы повышения эффективности применения минеральных и органических удобрений» та ін.).

Висновки

Аграрні технології мають передбачати відтворення родючості ґрунтів за рахунок створення позитивного дисбалансу між процесами мікробіологічної деструкції і синтезу

органічної речовини, що досягається внесенням гною, компостів, використанням сидератів, дотриманням науково обґрунтованих сівозмін, розширенням площ вирощування бо-

бових культур. Ґрунти сучасних агроценозів потребують біологічної корекції. Крім агроприйомів, що сприяють додатковому надходженню органічної речовини, у технологіях вирощування сільськогосподарських культур необхідно передбачати використання мікробних препаратів, що сприяє збагаченню ґрунтів корисними формами мікроорганізмів та пози-

тивно впливає на коефіцієнти засвоєння культурними рослинами діючої речовини з добрив та стан довкілля.

Азотні мінеральні добрива слід використовувати в межах фізіологічної доцільності, що сприяє оптимізації перебігу мікробіологічних процесів і є економічно й екологічно вигідним.

Бібліографія

1. Архипченко И.А. Биотехнология компостирования навоза/И.А. Архипченко//Земледелие. — 1991. — № 1. — С. 68–69.
2. Берестецкий О.А. Биологические основы плодородия почв/О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доросинский и др. — М.: Колос, 1984. — 287 с.
3. Волкогон В.В. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур/В.В. Волкогон. — К.: Аграр. наука, 2007. — 144 с.
4. Волкогон В.В. Удобрення кукурудзи за інтенсивністю біологічної трансформації азоту ризосфери/В.В. Волкогон//36. наук. праць «ННЦ ІЗ УААН», 2008. — Спецвипуск. — С. 112–119.
5. Волкогон В.В. Вивчення особливостей азотного ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$) живлення ячменю методом ізотопного розбавлення при застосуванні регулятора росту рослин, мінеральних добрив та інокуляції/В.В. Волкогон, О.В. Гусев, О.Є. Давидова та ін.//Физиология и биохимия культ. растений. — 2004. — 36, № 5. — С. 444–450.
6. Волкогон В.В. Вплив мікробних препаратів на засвоєння культурними рослинами поживних речовин/В.В. Волкогон, С.Б. Дімова, К.І. Волкогон та ін./Вісн. аграр. науки. — 2010. — № 5. — С. 25–28.
7. Волкогон В.В. Мікробні препарати в землеробстві. Теорія і практика/В.В. Волкогон, О.В. Надкернична, Т.М. Ковалевська та ін. — К.: Аграр. наука, 2006. — 312 с.
8. Гаценко М.В. Мікробіологічні аспекти біокомпостування гною ВРХ з фосфоритами за впливу фосфатмобілізуювальних бактерій/М.В. Гаценко, В.В. Волкогон, Л.М. Токмакова, Н.В. Луценко//С.-г. мікробіологія. — 2010. — № 11. — С. 75–89.
9. Гаценко М.В. Оптимізація вермикомпостування органіки, збагаченої фосфоритами, за впливу фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів/М.В. Гаценко, В.В. Волкогон//Мікробіол. журн. — 2010. — № 3. — С. 14–19.
10. Гриник І.В. Визначення фізіологічно (екологічно) доцільних доз мінерального азоту в технологіях вирощування сільськогосподарських культур (науково-методичні рекомендації)/І.В. Гриник, А.С. Заришняк, В.В. Волкогон та ін. — К., 2010. — 33 с.
11. Докучаев В.В. К вопросу об открытии при русских университетах кафедр почвоведения и учение о микроорганизмах/В.В. Докучаев//Избр. соч. — М.: Гос. ид. с.-х. лит.-ры, 1948. — Т. 2. — С. 290–318.
12. Кореньков Д.А. Вопросы агрохимии азота и экология/Д.А. Кореньков//Агрохимия. — 1990. — № 11. — С. 28–37.
13. Костычев П.А. Состав органических веществ почвы в связи с низшими организмами/П.А. Костычев//Тр. С.-Петербург. об-ва естествоиспытателей, отд. ботаники, 1890. — Т. XXI. — С. 6–9.
14. Патица В.П. Біологічний азот/В.П. Патица, С.Я. Коць, В.В. Волкогон та ін.; за ред. В.П. Патики. — К.: Світ, 2003. — 424 с.
15. Попов А.И. Органическое вещество почв агроценозов и его роль в функционировании системы почва — растение//Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. д-ра с.-х. наук. — СПб. — Пушкин: СПбГАУ, 2006. — 48 с.
16. Сайко В.Ф. Проблеми і шляхи нагромадження та використання біологічного азоту в сучасному землеробстві України/В.Ф. Сайко//36. наук. праць ННЦ «ІЗ УААН», 2006. — Спецвипуск. — С. 8–13.
17. Сайко В.Ф. Землеробство на шляху до ринку/В.Ф. Сайко. — К.: Ін-т землеробства УААН, 1997. — 48 с.
18. Терещенко Н.Н. Эколого-микробиологические аспекты вермикомпостирования/Н.Н. Терещенко. — Новосибирск: СО РАСХН, 2003. — 116 с.
19. Тихонович И.А. Микробиологические аспекты плодородия почвы и проблемы устойчивого земледелия/И.А. Тихонович, Ю.В. Круглов//Плодородие. — 2006. — № 5(32). — С. 9–12.
20. Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация/М.М. Умаров. — М.: МГУ, 1986. — 136 с.
21. Умаров М.М. Методы изучения азотфиксации и денитрификации в почве/М.М. Умаров, Н.Г. Куракова, Л.Д. Зуева//Микроорганизмы как компонент биогеоценоза. — М., 1984. — С. 107–119.
22. Sauerbeck D. Root formation and decomposition during plant growth/D. Sauerbeck, B. Johnen//Soil Org. Matter Stud. — 1977. — № 1. — P. 141–147.
23. Smith W. Release of organic materials from the roots of free seedling/W. Smith//Ecology. — 1976. — № 57. — P. 324–327.