



## Найактуальніше

УДК 579.64:631.461:631.  
461.5:631.847

© 2012

*В.Ф. Петриченко,*

*академік НААН  
Національна академія  
аграрних наук України*

*І.А. Тихонович,*

*академік НААН і РАСГН  
Всеросійський науково-  
дослідний інститут  
сільськогосподарської  
мікробіології (Росія)*

*С.Я. Коць,*

*доктор біологічних наук  
Інститут фізіології рослин  
і генетики НАН України*

*М.В. Патика,*

*доктор сільсько-  
господарських наук  
Національний  
університет біоресурсів  
і природокористування  
України*

*Т.М. Мельничук,*

*кандидат сільсько-  
господарських наук  
Інститут сільського  
господарства Криму  
НААН*

*В.П. Патика,*

*академік НААН  
Інститут  
мікробіології і вірусології  
ім. Д.К. Заболотного  
НАН України*

Сучасне сільськогосподарське виробництво стає дедалі залежнішим від факторів, що змінюються під впливом екологічних чинників. Це стосується не лише фермерських господарств, розташованих у різних частинах одного й того ж ландшафту або в елементарних ландшаф-

### **СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА МІКРОБІОЛОГІЯ І ЗБАЛАНСОВАНИЙ РОЗВИТОК АГРОЕКОСИСТЕМ**

*Найважливіша роль у формуванні збалансованих агроecosистем належить мікроорганізмам як потужному геохімічному фактору, що зумовлює інтенсифікацію міграції хімічних елементів у біосфері. Основою сільськогосподарської мікробіології є вивчення мікробних спільнот, що мешкають у ґрунтах, рослинах і тваринах. Тому знання про властивості мікроорганізмів дають можливість створювати системи екологічно збалансованого агровиробництва, що передбачає підвищену продуктивність рослин і тварин завдяки зміні складу та властивостей їхніх мікробних партнерів, повне або часткове заміщення екологічно небезпечних агрохімікатів препаратами мікроорганізмів, знижену енергоємність виробництва та підвищену якість продукції.*

тах (елювіальних, транс-елювіальних, елювіально-аккумулятивних), а й спільнот товаровиробників у різних географічних регіонах Землі з огляду на формування спрямованих потоків товарної продукції, пестицидів, добрив, меліорантів. У зв'язку з цим нині набуває особливого значення оптимізація стратегії природокористування, постійне її вдосконалення для запобігання негативним наслідкам. Однією з найважливіших ланок у розв'язанні цієї проблеми є оптимізація біологічних процесів у ґрунті [7, 27, 37].

Показано, що природне землеробство, засноване на насиченні сівозміни (не менше 25%) бобовими культурами, а також розвиненому тваринництві, забезпечує господарство органічними добривами, дає змогу інтенсифікувати природні процеси біологічної фіксації азоту

повітря, іммобілізації важкорозчинних фосфатів ґрунту тощо і внаслідок цього істотно зменшити використання мінеральних (зокрема особливо енергозатратних азотних) добрив та ін. хімічних меліорантів [21, 37].

Найважливіша роль у формуванні збалансованих агроecosистем належить мікроорганізмам як потужному геохімічному фактору, що зумовлює інтенсифікацію міграції хімічних елементів у біосфері. Водночас мікробне угруповання є найчутливішим біотичним компонентом агроecosистем [1, 8, 36]. Під впливом антропогенних і природних факторів мікробіоценоз зазнає перетворень, що проявляються у послідовній зміні адаптивних зон, для кожної з яких характерний певний інтервал навантаження і відгуку на неї. Допустимим навантаженням для мікробного угрупован-

ня є таке, що не виводить системи зі збалансованого й стало-го розвитку. Нині встановлено величезну роль мікробіоти у ґрун-тотворенні та продуктивності ґрунтів, розпізнано основні процеси, що здійснюються ґрунто-вими мікроорганізмами, з'ясо-вано їхню роль у кругообігу ре-човин, у гумусоутворенні та структуроутворенні, визначено основні фізіологічні процеси, зумовлені ґрунтовими організмами (мінералізація органічних речовин, азотфіксація, амоніфікація, нітрифікація, денітрифікація, метаногенез, перетворення сполук фосфору, сірки, заліза і ряду ін. елементів). Установлено, що складний комплекс мікроорганізмів будь-якого ґрунту здатний розкласти всі природні органічні речовини аж до лігніну та нафти. Більшість фізіологічних функцій мікроорганізмів відома. Докладно вивче-но таксономічний склад ґрунто-вих мікроорганізмів, з'ясовано, що гомеостаз в екосистемах забезпечується за рахунок велетнього мікробного пулу (тонни й десятки тонн біомаси, величезна мікробна різноманітність, багатий генофонд). Кожний процес дублюється ба-гатьма видами мікроорганізмів, що, природно, забезпечує ста-більність системи. Мікроби в ґрунті за відсутності джерел живлення переходять в анабіотичний стан, в якому можуть перебувати дуже тривалий час (роки й десятки років), а потім, якщо гомеостаз порушений, швидко й масово відновлюють активну життєдіяльність і по-вертають систему (мікро-, ме-зонну або всю масу) в стабіль-ний стан. Відомості щодо зазна-чених вище процесів отрима-но за допомогою використання як класичних, так і моле-кулярно-генетичних методів [2, 3, 9, 23, 34].

Сільськогосподарська мікро-біологія стала особливо актуаль-ною з огляду на необхідність екологізації агропромисловості. Інтенсивні агротехнології, за-

безпечивши «зелену револю-цію» середини ХХ ст., призвели до непередбачуваних наслід-ків — глобального забруднення біосфери, несприятливих змін клімату, втрати біорізноманіття у більшості природних екосис-тем і, зрештою, до зниження якості життя населення Землі. Тому нині дедалі більша увага приділяється розвитку екологіч-но збалансованих агросистем, в яких продуктивність рослин і тварин забезпечується завдяки використанню їхніх біологічних (адаптивних) можливостей за мінімального застосування еко-логічно небезпечних агрохімі-катів — мінеральних добрив, пестицидів, регуляторів росту [26, 50, 56]. Один з основних способів досягнення цієї мети — часткова або повна заміна агрохімікатів препаратами симбі-отичних мікроорганізмів, які в природі успішно постачають своїм живителям поживні рече-вини і захищають їх від біотич-них та абіотичних стресів [33, 34, 41]. Сільськогосподарське виробництво залежить від ак-тивності різноманітних мікроор-ганізмів, які забезпечують хар-чування та розвиток рослин і тварин, біоконтроль за шкідни-ками (комахами-фітофагами, гризунами) та бур'янами, а та-кож родючість ґрунту тощо [36].

Підвищення продуктивності сільськогосподарських культур у 2-й пол. ХХ ст. досягнуто пе-реважно завдяки широкому за-стосуванню мінеральних доб-рив, оскільки впровадження ви-соковрожайних сортів рослин висуило вимогу наявності у ко-ренивмісному шарі ґрунту ви-соких концентрацій поживних речовин. Проте подальше збіль-шення випуску туків та їх ефек-тивне використання зумовлено розв'язанням ряду проблем, серед яких особливо гостро по-стають екологічна та енергетич-на. Екологічна проблема засто-сування азотних добрив спри-чинена передусім низьким кое-фіцієнтом використання їх рослинами і, як наслідок, масо-

вим надходженням легкороз-чинних азотнокислих та амо-нійних солей у водоймища, на-громадження їх у ґрунті й рос-линах. Це призводить до по-гіршення біологічного стану водного середовища і знижен-ня господарської цінності води, а також до небажаних змін у хімічному складі рослин [4, 5, 12, 21]. Ця проблема також по-в'язана з високою енергоємні-стю виробництва азотних доб-рив за обмежених запасів енер-горесурсів на планеті.

З огляду на це невідкладним є створення альтернативних екологічно чистих і ресурсо-ощадних агротехнологій у рос-линництві. Створення таких технологій має передбачати передусім виведення сортів рослин із високою здатністю до забезпечення біологічним азо-том. Ця властивість, на жаль, була втрачена деякими сорта-ми, оскільки їх селекція прово-дилась на високих агрофонах і, до того ж, без урахування здат-ності сорту забезпечувати ін-тенсивний розвиток азотфіксу-вальних мікроорганізмів у ко-ренивій зоні [24, 29, 35].

Створюючи новітні агротех-нології, потрібно оптимально вирішувати питання трансфор-мації азоту в ґрунті. Ця пробле-ма має розв'язуватися комплекс-но — з погляду особливостей рослин, умов їх вирощування та фізіологічної активності мікро-організмів, які відповідають за такі процеси, як амоніфікація, нітрифікація, азотфіксація, де-нітрифікація. Недостатня увага до мікробіологічного фактора трансформації азоту значною мірою призвела до низької ефективності використання міне-ральних азотних добрив, що своєю чергою спричинило над-мірне накопичення нітратів у рослинній продукції та масове забруднення біосфери окисла-ми азоту. Оскільки не можна «відмінити» застосування міне-ральних азотних добрив як ос-нови високих врожаїв, потрібно внесення добрив зменшити до

**1. Розрахунок норм мінеральних добрив з урахуванням симбіотрофного живлення сої під урожаєм зерна 2,5 т/га [5]**

Показник	Азот, що легко гідролізується	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> за ДЕСТ
Вміст в орному шарі:		
мг/100 г ґрунту	6,2	1,5
кг/га	186,0	45,0
Коефіцієнт використання з ґрунту, %	75,0	25,0
Використання з ґрунту за вегетацію, кг/га	139,5	11,2
Винос на 1 т зерна, кг/га	85,0	28,5
Використання посівом за вегетацію, кг/га	212,5	71,3
Нестача для одержання планового врожаю, кг/га	73,0	60,1
Засвоєння азоту за рахунок симбіозу:		
%	50,0	—
кг/га	106,2	—
Засвоєння фосфору за рахунок фосфатмобілізувальних мікроорганізмів:		
%	—	25,0
кг/га	—	17,8
Нестача мінеральних добрив для запланованого врожаю, кг/га	—	42,3

фізіологічного оптимуму. У ґрунтовій мікробіології нині відомий цілий комплекс тестів для визначення фізіологічного оптимуму азоту за вирощування сільськогосподарських рослин. Зокрема, враховуючи літературні [1, 18, 34, 35] та власні дослідження, а також показники (параметри) родючості ґрунту, можна приблизно розрахувати норми азотних і фосфорних мінеральних добрив, необхідних для одержання запланованого врожаю у конкретних зональних умовах України, зокрема й для конкретного поля [5, 12–14].

Як приклад нижче наведено приблизні розрахунки норм мінеральних добрив з урахуванням симбіотрофного живлення сої. У розрахунках слід враховувати показник біологічної фіксації азоту, коефіцієнти використання азоту, фосфору тощо. Наприклад, у господарстві планують одержувати урожай зерна сої 2,5 т/га (табл. 1).

Для формування 1 т зерна соя використовує 85 кг азоту. ґрунт поля — чорнозем типо-

вий суглинковий, рН — 6,8–7, вміст азоту, що легко гідролізується, — 6,2 мг на 100 г ґрунту. В орному шарі ґрунту міститься 186 кг/га азоту. Коефіцієнт використання азоту з ґрунту становить 60–75%. Отже, з ґрунту рослини можуть засвоювати 139,5 кг/га азоту. Для одержання запланованого врожаю рослинам необхідно мати додатково ще 73 кг/га азоту. Нестачу цього елемента живлення можна поповнити завдяки симбіотичній фіксації азоту з повітря в кількості 106,2 кг/га, що з надлишком задовольняє потребу рослини.

Рослини і тварини формують симбіози з різноманітними мікроорганізмами, що забезпечують харчування своїх живителів. Значущість цих симбіозів визначається тим, що більшість вищих організмів не може повністю забезпечити своє повноцінне харчування, відчуваючи дисбаланс основних його елементів: рослини і тварини-фітофаги отримують надлишок вуглецю, проте зазнають дефіци-

ту ін. макроелементів, передусім азоту й фосфору [34]. Найкращими моделями для вивчення трофічних симбіозів слугують двокомпонентні рослинно-мікробні системи [44]. Їхня мутуалістична природа ґрунтується на позитивних зв'язках партнерів: наприклад, рослини постачають продукти фотосинтезу переважно в ті частини кореня, з яких активно надходить азот (бульбочки) або фосфор (мікоризовані ділянки кортекса). Встановлення таких зв'язків базується на системній регуляції, яка в разі бобово-ризобіального симбіозу містить елементи як спільні з системами захисту від патогенів (наприклад, саліцилову і жасмонову кислоти), так і такі, що не беруть участі в цьому захисті (гени групи CLAVATA, контролювальні формування меристем, ген HAR1, що бере участь в утворенні бічних коренів) [40]. Важливо відзначити, що в бобових культурах система відповідь, яка регулює утворення бульбочок, формується в листках [43], що відображає залежність енергоємних симбіотичних процесів від фотосинтезу. Водночас регуляція засвоєння зв'язаного азоту (нітратів) переважно обмежена коренем [34, 40].

Оскільки рослини і тварини утворюють на своїх поверхнях, у тканинах, внутрішніх порожнинах, а іноді й у клітинах, різноманітні ніші для розміщення мікробних партнерів, гени господаря, відповідальні за розвиток цих ніш, можуть розглядатися як найважливіші детермінанти екологічних функцій мікосимбіонтів. Вивчення двокомпонентних симбіозів дало змогу російським дослідникам під керівництвом академіка РАСГН і НААН І.А. Тихоновича описати феномен генетичної інтеграції неспоріднених організмів, що призводить до утворення надорганізованих систем спадковості — симбіогеномів [32, 33].

Одним зі способів оптимізації умов функціонування симбіозу є застосування в інокуляції насіння одночасно із ризобіями інших штамів мікроорганізмів, здатних мобілізувати фосфати та пригнічувати розвиток фітопатогенних грибів [6, 20, 21]. Практичне застосування такого комплексу штамів мікроорганізмів здійснюється через змішування препаратів безпосередньо під час інокуляції [33, 34] або виготовлення препаратів [18, 21, 34]. В Україні розроблено експериментальні комплекси мікробні добрива, які містять інокуляційний матеріал бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, асоціативні азотфіксувальні та фосфатомобілізувальні ризосферні бактерії у вигляді рідкого препарату [18].

Екологічно найважливіша форма трофічного симбіозу — арбускулярна мікориза (АМ), яку наземні рослини утворюють з гломусовими грибами (*Glomeromycota*). Завдяки цьому симбіозу переважна більшість (до 90%) наземних рослин отримують основну частину мінерального (передусім фосфорного) живлення [7, 21, 54]. Більше того, АМ — еволюційний попередник для більшості корневих симбіозів: рослинні гени, гомологічні генам регуляції АМ, беруть участь у розвитку бульбочок, формуванні ризосферних асоціацій, а також у захисті рослин від патогенів [28]. До таких генів належать фактори сигнальної взаємодії, наприклад гени рецепторних кіназ, які відіграють важливу роль практично в усіх типах мікробно-рослинного симбіозу [39]. Важливо відзначити, що в природі гломусові гриби колонізують рослини в тісній кооперації з сателітними бактеріями, які населяють поверхні гіф та їхню цитоплазму, що робить АМ багатокомпонентною симбіотичною системою [34, 38]. Деякі види ризобій є продуктами еволюції цих сателітів, що зумовила набуття ними власної, незалежної від

гриба симбіотичної функції — забезпечення рослин азотом [48].

Не менше значення має нині й асоціативна азотфіксація, яка є масштабнішою, ніж симбіотична [22, 34, 55]. Багаторічні дослідження застосування діазотрофів у вирощуванні злакових культур дають можливість стверджувати, що в сучасних умовах завдяки азотфіксації можна одержати приріст урожаю на рівні внесення 30 кг/га і більше мінерального азоту [7, 19, 22, 35].

Інтродукція діазотрофів у ризосферу пшениці озимої сприяє підвищенню вмісту загального азоту в ґрунті ризосфери та у фітомасі, але не повністю покриває потребу рослини в цьому елементі [16]. Препарати на основі діазотрофів сприяють підвищенню врожайності пшениці озимої на 0,16–0,43 т/га, вмісту сирого протеїну в насінні — на 0,2–0,5% та загального збору його на 2–13%. Препарат діазофіт рекомендований для вирощування пшениці, рису, ріпаку, а ризоентерин — для ячменю [8, 21].

Важливо підкреслити, що асоціативні азотфіксувальні бактерії мають стимулювальний ефект завдяки здатності синтезувати рістрегулювальні речовини (ауксини, гібереліни, цитокініни тощо) у кількостях, зумовлених біорегуляторними механізмами рослини [34, 46]. У цьому полягає значна їх перевага перед синтетичними стимуляторами росту.

Утворюючи велику кількість С-сполук, рослини приваблюють численних шкідників — патогенів та рослиноїдних тварин. Для нейтралізації цих антагоністів рослини підтримують різноманітних захисних симбіонтів, які виконують свої біоконтрольні функції завдяки двом механізмам — прямому придушенню шкідників (синтез токсинів, антибіотиків, літичних екзоферментів; конкуренція за

поживні субстрати) та індукції захисних реакцій живителя.

У захисних симбіонтів здатність до придушення шкідників рослин могла виникнути до початку активної взаємодії із самими рослинами — в процесі коеволюції мікроорганізмів з фітопатогенами або фітофагами, тобто рослини культивують уже сформованих «ворогів своїх ворогів». Наприклад, *Pseudomonas* і *Serratia* здатні до мікофагії, лізуючи гіфи фузаріуму позаклітинними хітиназами [30, 34]. Багато штамів аскоміцетів роду *Cordyceps* є безсимптомними ендоепіфітами рослин і проходять повний розвиток у тілі комахи-жертви [58]. Непряме придушення патогенів часто пов'язане з малоспецифічними ефектами: значна кількість симбіотичних організмів (ризобії, мікоризні гриби, ризосферні бактерії) проникають у рослини без утворення некротичних зон, викликаючи системну стійкість до патогенів [57].

Захисні ендоепіфіти, як й азотфіксувальні, зазвичай проникають у рослину-живителя за допомогою організмів-векторів, які є постійними співмешканцями рослин. Прикладом може слугувати бактерія *Clavibacter toxicus*: вона проникає в рослину разом із нематодою *Anguina*, колонізуючи утворені нею гали, звідки потім системно розповсюджується по всій рослині [51]. Наявність цих ендоепіфітів робить рослину токсичною для тварин, і таким чином *Clavibacter* «охороняє» її як зручну нішу для нематоди-вектора. Фактично при цьому формується багатокомпонентна система, в якій різні організми (бактерії, нематоди, тварини-фітофаги) конкурують за С-метаболіти господаря, а той, у свою чергу, завдяки динамічним зворотним зв'язкам забезпечує розподіл С-ресурсів на користь найвигідніших симбіонтів.

Природні антагоністи шкідників рослин можуть бути використані для біоконтролю неза-



лежно від того, чи мають вони здатність бути симбіонтами рослин. Один із засновників сільськогосподарської мікробіології С.С. Мережковський [17] для придушення гризунів (мишей, щурів, ховрахів) запропонував застосовувати вид *Salmonella enteritidis*, небезпечний для людини та сільськогосподарських тварин. Зауважимо, що деякі бактерії, які традиційно використовуються для вибіркового придушення шкідників, виявилися носіями дуже широкого спектра біоконтрольних функцій. Так, *Bacillus thuringiensis* — вид, широко застосовуваний для придушення шкідливих комах [10, 11, 25, 45, 52], активний також і проти багатьох фітопатогенних грибів [31]. Інший приклад поліфункціональних симбіонтів рослин — штами *Streptomyces*, які використовуються проти фітопатогенів, але часто вони виявляють активність і проти павутинних кліщів [10, 49].

Створення мікробних препаратів — це лише перший етап використання сільськогосподарсько цінних мікроорганізмів [16, 21, 34]. Надалі потрібно переходити до біоінженерії складних поліфункціональних систем. Початком таких робіт може бути створення багатокомпонентних інокулянтів — аналогів природних мікробіомів рослин. Наприклад, перспективним є поєднання симбіонтів, що постачають рослинам азот і фосфор та забезпечують збалансоване їх живлення. Універсальні *Symb*-гени бобових, які відповідають за моніторинг симбіотичних бактерій, *спочатку*, можливо, були факторами контролю за багатокомпонентними ендосфитними спільнотами. Проте умовою для одночасного підтримання великої кількості мікроорганізмів є створення генотипів рослин, здатних забезпечувати енергією високу метаболітичну активність одночасно у кількох типів ендосимбіонтів [34].

Розвиток сільськогосподарської мікробіології має враховувати екологічні та генетичні ризики широкого розповсюдження інтродукованих мікроорганізмів в агроєкосистемах. Один із таких ризиків — наявність в рослинах бактерій і грибів, патогенних для людини (зокрема таких видів, як *Burkholderia*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Staphylococcus*). На щастя, було з'ясовано, що рослини люцерни або арабідопсису слабо колонізуються патогенними для людини штамми бактерій, хоча активно заселяються непатогенними формами, позбавленими флагелл і систем екскреції білків [34, 53]. Проте до колонізації деяких рослин ентеробактеріями можуть бути залучені поверхневі структури, які беруть участь в інфікуванні людини [34], що вказує на необхідність ретельного моніторингу ендосфитних спільнот, особливо в тих рослинах, які людина вживає в їжу в сирому вигляді.

## Висновки

Стрімке розширення знань про взаємозв'язки мікроорганізмів з рослинами й тваринами створює можливість переходу до сталих агроєкосистем, екологічно безпечного землеробства, в яких виробництво продукції є економічно вигіднішим, ніж у системах інтенсивного землеробства, і здійснюється за мінімального навантаження на навколишнє середовище.

Ефективне управління симбіотичними спіль-

нотами має бути засноване на цілісності мікробного населення агроєкоценозу, пов'язаній з його циркуляцією в системі ніш, що надаються рослинами, тваринами і ґрунтом [15, 34, 47]. Аналіз механізмів цієї циркуляції дасть можливість не тільки ефективно використовувати мікроорганізми в сільському господарстві, а й контролювати еколого-генетичні наслідки їхньої широкомасштабної інтродукції в агроценозах.

## Бібліографія

1. Аристовская Т.В. Микробиология подзолистых почв. — М.: Наука, 1965. — 187 с.
2. Аристовская Т.В. Теоретические аспекты проблемы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов//Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. — Л.: 1972. — С.7–20.
3. Биорегуляция микробно-растительных систем: Монография/Иутинская Г.А., Пономаренко С.П., Андреюк Е.И. и др.; под общ. ред. Г.А. Иутинской, С.П. Пономаренко. — К.: Ничлава, 2010. — 464 с.
4. Волкогон В.В. Микробиологические аспекты оптимизации азотного удобрения сельскохозяйственных культур: Монография. — К.: Аграр. наука, 2007. — 144 с.
5. Гриник І.В., Патица В.П., Шкатула Ю.М. Микробиологические основы підвищення врожайності та якості зернових культур//Вісн. Полтав. ДАА. — 2011. — № 4 (63). — С. 7–11.
6. Гуляев Б.И., Патыка В.П. Фосфор как энергетическая основа процессов фотосинтеза, роста и развития растений//Агроэколог. журн. — К.: Нора-друк, 2004. — № 2. — С. 3–9.

7. *Землеробство з основами екології, ґрунтознавства та агрохімії: навчальний посібник*/В.Ф. Петриченко, М.Я. Бомба, М.В. Пати́ка, Г.Т. Пері́г, П.В. Іващук. — К.: Аграр. наука, 2011. — 492 с.
8. *Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія: навч. посіб.* — К.: Арістей, 2006. — 284 с.
9. *Иутинская Г.А., Патыка В.Ф. Биология почв: проблемы и перспективы//Агрохимия і ґрунтознавство. Міжвід. наук. зб. Спецвипуск (У надзаг.: «ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського»), Кн. 1.* — Житомир: Рута, 2010. — С. 45–55.
10. *Кандыбин Н.В. Биопестициды: теория и практика//Защита растений.* — 1991. — № 1. — С. 5–6.
11. *Кандыбин Н.В., Патыка Т.И., Ермолова В.П., Патыка В.Ф. Микробиоконтроль численности насекомых и его доминанта *Bacillus thuringiensis*/под ред. Н.В. Кандыбина.* — СПб., Пушкин: изд-во ВИЗР, 2009. — 252 с.
12. *Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф., Даченко В.К., Кругова Е.Д., Кириченко Е.В., Мельникова Н.Н., Михалкив Л.М. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобийный симбиоз: [моногр. в 4-х т.]Т. 1.* — К.: Логос, 2010. — 508 с.
13. *Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф., Маличенко С.М., Маменко П.Н., Киричий Д.А., Михалкив Л.М., Береговець С.К., Мельникова Н.Н. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобийный симбиоз: [моногр. в 4-х т.]*. — Т. 2. — К.: Логос, 2011. — 523 с.
14. *Коць С.Я., Моргун В.В., Тихонович И.А., Проворов Н.А., Патыка В.Ф., Петриченко В.Ф., Мельникова Н.Н., Маменко П.Н. Биологическая фиксация азота: генетика азотфиксации, генетическая инженерия штаммов: [моногр. в 4-х т.]*. — Т. 3. — К.: Логос, 2011. — 404 с.
15. *Куприянов А.А., Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К. Перемещение энтеропатогенных и сапрофитных бактерий в цикле экониз: животные — экскременты — почва — растения — животные. Сер. биол.* — Изв. РАН, 2010. — № 3. — С. 318–323.
16. *Курдиш І.К. Інтродукція мікроорганізмів у агроєкосистеми.* — К.: Наук. думка, 2010. — 255 с.
17. *Мережковский С.С. Результаты полевых опытов истребления мышей бациллом, выделенным из сусликов//Архив вет. наук, 1895.* — 1–23.
18. *Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур*/В.В. Волкогон, А.С. Заришняк, І.В. Гриник, О.М. Бердніков, Л.В. Центи́ло та ін. — К.: Аграр. наука, 2011. — 156 с.
19. *Молекулярные основы взаимоотношений ассоциативных микроорганизмов с растениями/ [отв. ред. В.В. Игнатов]; Ин-т биохимии и физиологии растений и микроорганизмов.* — М.: Наука, 2005. — 262 с.
20. *Новые технологии производства и применения препаратов комплексного действия/под ред. А.А. Завалина, А.П. Кожемякова.* — СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. — 64 с.
21. *Пати́ка В.П., Тихонович І.А., Філі́п'єв І.Д., Гамаюнова В.В., Андрусенко І.І. Мікроорганізми і альтернативне землеробство/за ред. В.П. Пати́ки.* — К.: Урожай, 1993. — 176 с.
22. *Пати́ка В.П., Коць С.Я., Волкогон В.В., Шерстобосєва О.В., Мельничук Т.М., Капініченко А.В., Гриник І.В. Біологічний азот.* — К.: Світ, 2003. — 424 с.
23. *Пати́ка В.П. Мікроорганізми і сталий розвиток агроєкосистем//X з'їзд Товариства мікробіологів України. Тези доповідей. 15–17.09.2004.* — Одеса: Астропринт, 2004. — С. 13.
24. *Пати́ка В.П., Пати́ка М.В. Біопрепарати в біоорганічному землеробстві//Сільськогосподарська мікробіологія. Міжвід. темат. наук. зб. — Чернігів, 2006. — Вип. 4. — С. 7–19.*
25. *Патыка В.Ф., Патыка Т.И. Экология *Bacillus thuringiensis*.* — К.: ПГАА, 2007. — 216 с.
26. *Пати́ка В.П., Омелянець Т.Г., Гриник І.В., Петриченко В.Ф. Екологія мікроорганізмів (за ред. В.П. Пати́ки).* — К.: Основа, 2007. — 192 с.
27. *Петюх Г.П., Пати́ка В.П. Сучасні агротехнології в Україні: проблеми та перспективи//Агроєкол. журн.* — К.: Нора-друк, 2005. — № 1. — С. 3–7.
28. *Проворов Н.А., Борисов А.Ю., Тихонович И.А. Сравнительная генетика и эволюционная морфология симбиозов растений с микробами-азотфиксаторами и эндомикоризными грибами//Журн. общ. биол.* — 2002. — № 63. — С. 451–472.
29. *Сайко В.Ф. Наукові основи стійкого землеробства в Україні//Вісн. аграр. науки.* — 2011. — № 1. — С. 5–12.
30. *Смирнов В.В., Киприанова Е.А. Бактерии рода *Pseudomonas*/Отв. ред. Б.Е. Айзенман.* — К.: Наук. думка, 1990. — 264 с.
31. *Смирнов О.В., Гришечкина С.Д. Изучение действия биопрепаратов на основе *Bacillus thuringiensis* на фитопатогенные грибы//Вестн. защиты растений.* — 2010. — № 1. — С. 27–35.
32. *Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиогенетика микробно-растительных взаимодействий// Экологич. генетика.* — 2003. — № 1. — С. 36–46.
33. *Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агроэкобудущего.* — СПб., 2009. — 211 с.
34. *Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты//Сельскохозяйственная биология: сер. биология растений.* — 2011. — № 3. — С. 3–9.
35. *Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве.* — М.: ГЕОС, 2007. — 138 с.
36. *Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження*/К.І. Андру́к, Г.О. Іутинська та ін. — К.: Обереги, 2001. — 240 с.
37. *Шапиро Я.С. Агроэкоэистемы. Уч. пособ.* — СПб.: ЭЛБИ — СПб., 2005. — 264 с.
38. *Artursson V., Finlay R.D., Jansson J.K. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth//Environ. Microbiol.* — 2006. — № 8. — P. 1–10.
39. *Dardick C., Ronald P. Plant and animal pathogen recognition receptors signal through non-RD kinases//PLOS Pathogens.* — 2006. — № 2. — P. 14–28.
40. *Ferguson B.J., Indrasumunar A, Hayashi S. e.a. Molecular analysis of legume nodule development*

- and autoregulation//J. Integr. Plant Biol. — 2010. — № 52. — P. 61–76.
41. Higa T., Part J.F. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. Intern//Nature Farming Research Center, Atami, Japan, 1994. — P. 1–16.
42. Karg T., Reinhold-Hurek B. Global changes in protein composition of N<sub>2</sub>-fixing *Azoarcus* sp. strain BH72 upon diazosome formation//J. of Bacteriology. — 1996. — № 178. — P. 5748–5754.
43. Kinkema M., Scott P.T., Gresshoff P.M. Legume nodulation: successful symbiosis through short- and long-distance signaling//Funct. Plant Biol. — 2006. — № 33. — P. 707–721.
44. Lugtenberg B.J.J., de Weger L.A., Bennett J.W. Microbial stimulation of plant growth and protection from disease//Curr. Opin. Microbiol. — 1991. — V. 2. — P. 457–464.
45. Mohammed S.H., Seady M.A., Enan M.R. e.a. Biocontrol efficiency of *Bacillus thuringiensis* toxins against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* //J. Cell. Moï. Biol. — 2008. — № 7. — P. 57–66.
46. New plant growth regulators: basic research and technologies of application. Monograph. Editors S.P. Ponomarenko, H.O. Iutynska. — K.: Nichlava, 2010. — 211 p.
47. Popova L. Yu., Lobova T.I., Krylova T. Yu. e.a. Population dynamics of microorganisms in the different microecosystem conditions//Adv. Space Res. — 2001. — № 27. — P. 1571–1579.
48. Provorov N.A., Vorobyov N.I. Evolutionary genetics of plant-microbe symbioses/LA. Tikhonovich (ed.). N.Y., 2010. — P. 314.
49. Putter I., Mac Connell J.G., Preiser F.A. e.a. Avermectins: novel insecticides, acaricides and nematocides from a soil microorganism//Experientia. — 1981. — № 37. — P. 963–964.
50. Reganold J.P., Papendick R.I., Page J.F. Sustainable agriculture//Sci. Amer. — 1990. — № 262. — P. 112–120.
51. *Rhizobiaceae*. Молекулярная биология бактерий, взаимодействующих с растениями/под ред. Г. Спайнка, А. Кондорози, П. Хукаса/Рус. перевод под ред. И.А. Тихоновича, Н.А. Проворова. — М.: СПб., 2002. — 567 с.
52. Romeis J., Meissle M., Bigler F. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control//Nat. Biotechnol. — 2006. — № 24. — P. 63–71.
53. Rosenblueth M., Martinez-Romero E. Bacterial endophytes and their interactions with hosts. Moï//Plant-Microbe Interact. — 2006. — № 19. — P. 827–837.
54. Smith S.E., Read D.J. Mycorrhizal symbiosis. — London, 2008. — 286 p.
55. Steenhoudt O., Vanderleyden J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects//FEMS Microbiol. Rev. — 2000. — V. 24. — P. 487–506.
56. Vance C.P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorous acquisition. Plant nutrition in the world of declining renewable resources//Plant Physiology. — 2001. — № 127. — P. 390–397.
57. Whipps J.M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere//J. Exper. Bot. — 2001. — № 52. — P. 487–511.
58. White J.F., Sullivan R.F., May M. e.a. Evolution of *Epichbe/Neotyphodium* endophytes and other Clavicipita- cean biotrophs. In: Symbiosis: mechanisms and model systems Д. SecRbach (ed.)/ Dordrecht, Boston, L, 2002. — P. 413–424.