

ПЕТРИЧЕНКО
Василь Флорович —
академік НААН України,
науковий директор Інституту
кормів та сільського
господарства Поділля
НААН України

КОЦЬ
Сергій Ярославович —
доктор біологічних наук,
професор, завідувач відділу
симбіотичної азотфіксації
Інституту фізіології рослин
і генетики НААН України,
kots@ifrg.kiev.ua

УДК 581.557:631.527:631.461.5:635.6

СИМБІОТИЧНІ СИСТЕМИ У СУЧАСНОМУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Статтю присвячено проблемі біологізації сільськогосподарського виробництва, зокрема питанням біологічного азоту, ролі мікроорганізмів у поповненні його запасів у ґрунті та підвищення продуктивності рослин завдяки використанню бактеріальних препаратів. Розглянуто внесок українських учених у вирішення цієї проблеми, зокрема, представлено розроблену ними екологічно чисту технологію отримання рослинного білка на основі використання симбіотичної взаємодії високоефективних мікроорганізмів із сучасними сортами бобових рослин. Доведено економічний ефект від впровадження вказаної технології у виробництво.

Ключові слова: біологічна азотфіксація, симбіоз, бактеріальні препарати, бобові, селекція, виробництво білка.

Вступ

Тривала хіміко-техногенна інтенсифікація сільськогосподарського виробництва поглибила екологічні, економічні та енергетичні проблеми і спонукала до пошуку нового, науково обґрунтованого підходу до створення сучасних систем господарювання, які б забезпечували виробництво екологічно чистої рослинницької продукції.

У зв'язку з цим індустріально розвинені країни, незважаючи на значні можливості щодо застосування мінеральних добрив, особливого значення надають біологізації сільськогосподарського виробництва. Слід зазначити, що біологічне землеробство — це не повна відмова від мінеральних добрив, а розумне і збалансоване застосування агротехнічних, агрохімічних та біологічних заходів у комплексі із системою інтегрованого захисту рослин та науково обґрунтованим чергуванням культур у сівозміні [1, 2]. У світовій практиці спостерігається тенденція до зниження доз застосовуваних добрив і зростає роль їх

використання (з економічних та екологічних міркувань) у поєднанні з агротехнічними прийомами, метою яких є збереження родючості ґрунтів. Вони передбачають, зокрема, науково обґрунтовані сівоzmіни та заходи, спрямовані на підвищення біорізноманіття корисної ґрунтової мікрофлори.

Сучасна агротехніка не допускає масового ураження рослин патогенними мікроорганізмами й обмежує розвиток і масове поширення комах. Вона полягає у відборі продуктивних і стійких до хвороб сортів сільськогосподарських рослин, своєчасному посіві якісним насінням, правильному чергуванні культур у сівоzmінах, внесенні необхідної кількості добрив, особливо органічних, вирощуванні сидеральних культур. Створення сприятливих умов для росту і розвитку рослин підвищує їх продуктивність і стійкість до різних негативних факторів довкілля, у тому числі фітопатогенів і комах-шкідників [3–5]. Прикладами таких перспективних напрямів у агропромисловому виробництві є широке використання бобово-ризобіальних систем у сівоzmінах і розроблення комплексних мікробних препаратів, завдяки чому можна зменшити собівартість сільськогосподарського виробництва (без зниження його рівня) і шкідливий вплив на навколишнє середовище, а також досягти екологічної чистоти продукції [6, 7].

У статті розглянуто результати багаторічних досліджень, виконаних ученими Національної академії наук України та фахівцями інших наукових установ, які було покладено в основу циклу робіт «Бобово-ризобіальні системи в сучасному землеробстві», відзначеного Державною премією України в галузі науки і техніки за 2012 р.

Біологічний азот і роль мікроорганізмів у поповненні його запасів

Серед основних елементів живлення рослин азоту належить одне з чільних місць. Невичерпним його джерелом є атмосфера, 78% складу якої становить саме цей елемент. У повітрі над 1 га земної поверхні міститься понад

80 тис. т молекулярного азоту [8]. Проте ні люди, ні тварини, ні більшість рослин не здатні засвоювати його в такій формі.

Промислове зв'язування азоту атмосфери в аміак є досить дорогим процесом — на 1 кг виробленого і доставленого в господарство азоту витрачається як мінімум 1,5 кг рідкого палива, нераціональне використання якого призводить до відчутного погіршення стану довкілля: підвищується кислотність ґрунтів, зменшується сума поглинутих основ, порушується співвідношення різних мінеральних елементів живлення — калію, кальцію, заліза, магнію та ін., підвищується рухливість важких металів та їх засвоюваність рослинами. Особливо небезпечним є накопичення в ґрунті й рослинах надлишкової кількості нітратів, які спричинюють утворення в організмі людини небезпечних для її здоров'я канцерогенних нітрозосполук [9].

Процес біологічної фіксації молекулярного азоту прокаріотами — ґрунтовими мікроорганізмами-азотфіксаторами — відіграє важливу роль у збагаченні ґрунтів азотом і має вирішальне значення для землеробства. Ці мікроорганізми поділяють на несимбіотичні й ті, що живуть у симбіозі з рослиною. У свою чергу, несимбіотичні поділяють на вільноіснуючі, які безпосередньо не пов'язані з кореневою системою рослин, та асоціативні, що живуть у ґрунті безпосередньо біля коренів (у ризосфері), на поверхні коренів, листків, а іноді й усередині рослини [9].

Азотфіксуючі мікроорганізми здатні щороку засвоювати з повітря від 40 до більш як 300 кг азоту на гектар. Цей азот не забруднює довкілля і не потребує значних енергетичних затрат на виробництво. Про значущість процесу біологічної азотфіксації свідчить той факт, що у світовій практиці сільського господарства щороку в ґрунт з мінеральними добривами вносять 35 млн т азоту, тоді як за цей самий час рослини поглинають із ґрунту приблизно 75 млн т цього елемента. Різницю між зазначеними величинами компенсує діяльність мікробів-азотфіксаторів, насамперед бульбочкових бактерій, що зв'язують молекулярний азот у легкозасвоювані для рослини форми.

Бульбочкові бактерії ініціюють утворення спеціалізованих органів — бульбочок — на коренях бобових культур (див. рис.), після чого між рослиною і бактеріями виникає симбіоз: бактерії зв'язують молекулярний азот атмосфери, передають його рослині, яка, у свою чергу, забезпечує їх поживними речовинами. Потенційні розміри симбіотичної азотфіксації можуть сягати від 130 до 390 кг фіксованого азоту на 1 га для зернобобових культур і від 270 до 550 кг азоту — для багаторічних бобових трав [10–12].

Біологічний азот, який накопичується в ґрунтах у результаті фіксації з атмосфери бактеріями-діазотрофами при взаємодії з рослинами, забезпечує збільшення врожайності основних сільськогосподарських культур при збереженні родючості ґрунтів та поліпшенні їх екологічного стану.

Підвищення продуктивності рослин при використанні бактеріальних препаратів

Теоретичним і практичним розробкам, спрямованим на значне підвищення наявного рівня біологічного перетворення азоту атмосфери в органічні азотовмісні сполуки мікроорганізмами-азотфіксаторами, передусім, бульбочковими бактеріями, відводиться особлива роль [13]. Адже ризобії в симбіозі з бобовими рослинами здатні фіксувати молекулярний азот повітря, забезпечувати потребу в ньому макросимбіонта і накопичувати його у верхньому шарі ґрунту. Актуальним також є пошук нових азотфіксуючих мікроорганізмів і розроблення на їх основі ефективних симбіотичних асоціацій, які можна було б використовувати для підвищення врожайності сільськогосподарських культур, уникаючи водночас забруднення навколишнього середовища синтетичними сполуками [14–16].

Слід зазначити, що позитивний вплив мікроорганізмів-азотфіксаторів на рослину не обмежується поліпшенням її азотного живлення. Бактеризація сприяє трансформації важкорозчинних сполук ґрунту, в тому числі фосфор-



Бульбочки на корені сої

них, у форми, що легко засвоюються рослинами. Крім того, бактеріальні препарати містять фізіологічно активні речовини (гормони, вітаміни, амінокислоти, стимулятори росту рослин та ін.), які здійснюють пряму регуляцію росту рослин, зокрема, істотно, на 20–30%, поліпшують використання добрив завдяки розростанню кореневої системи й підвищенню її поглинальних властивостей. При цьому корисні мікроорганізми, заселивши корені, не допускають інфікування рослини патогенними мікроорганізмами, збільшуючи її стійкість до хвороб. Показано, що застосування біопрепаратів підвищує якість посівного матеріалу: зростає енергія проростання та схожість насіння, а також сприяє інтенсифікації фотосинтезу в бактеризованих рослинах [8, 17, 18].

Концептуальним напрямом розвитку біотехнологій у сільському господарстві є створення оригінальних комплексних композицій багатофакторної дії, що поєднують властивості регуляторів росту рослин, елементів живлення, засобів стійкості рослин до стресів і хвороб, безпечність для довкілля. Прикладом цього є використання мікробних біотехнологій і регуляторів росту рослин природного походження.

У відділі симбіотичної азотфіксації Інституту фізіології рослин і генетики НАН України проводять роботу зі створення та дослідження ефективності дії комплексних композицій на основі компонентів природного (рослинного й бактеріального) походження з метою підвищення продуктивності стратегічних для України сільськогосподарських культур (бобові й пшениця) та збереження родючості ґрунтів. В основу створення таких композицій покладено принцип індивідуального добору та максимальної комплементарності складових. Вони можуть містити культуру ґрунтових азотфіксуючих мікроорганізмів (бульбочкові бактерії або ризосферні діазотрофи), які забезпечують рослину екологічно безпечним біологічним азотом, є джерелом біологічно активних речовин (гормонів, вітамінів, амінокислот тощо) і речовин фунгістатичної та антибактеріальної дії, а також біологічно активні речовини рослинного або бактеріального походження, що мають широкий спектр біологічної активності, позитивно впливають на розвиток бактеріальної культури в композиції, підвищуючи таким чином інокуляційне навантаження кінцевого препарату і забезпечуючи максимальний ступінь реалізації потенціалу рослинно-бактеріальних систем завдяки активізації важливих симбіотичних властивостей мікроорганізмів. Способи посилення симбіотичних властивостей мікроорганізмів, покладені в основу створення комплексних композицій, захищено патентами України [19, 20].

Таблиця 1. Урожайність насіння сої за біологічної взаємодії з симбіотичними мікроорганізмами *V. japonicum*

Варіант (штами-інокулянти)	Урожай насіння (середній за 3 роки), ц/га	Порівняно з виробничим штамом 6346	
		ц/га	%
6346 (контроль, штам-стандарт)	24,7	—	—
646	25,1	+0,4	+1,6
9—2	28,4	+3,7	+15,0
17—2	29,8	+5,1	+20,6
21—2	30,5	+5,8	+23,5

Бактерії, що є основою бактеріальних добрив, відбирають тривалою селекцією великої кількості мікроорганізмів, типових для ґрунтів нашої країни. Тому вони добре приживаються у ґрунті чи на коренях сільськогосподарських рослин, вирощуваних в Україні, і сприяють їхньому росту та розвитку. Завдяки цьому вітчизняні препарати мають значну перевагу над широко розрекламованими дорогими імпортованими аналогами, які проте не завжди ефективні в наших ґрунтово-кліматичних умовах. Для людини і тварин такі мікроорганізми абсолютно безпечні, а при внесенні у ґрунт істотно підвищують його родючість. Бактеріальні добрива виробляють на основі спеціально створених високоефективних конкурентоздатних штамів. З метою забезпечення високої активності таких штамів їхню селекцію спрямовують на стійкість до низьких плюсових температур і підвищеного вмісту азоту.

У процесі виділення ризобій із різних ґрунтово-кліматичних зон науковці НАН України отримали ряд штамів, які не лише виявляють високі симбіотичні властивості, а й вирізняються стійкістю до посухи, хлоридно-сульфатного засолення та дії важких металів. Виявлено, що такі штами здатні вступати в симбіоз із соєю та горохом за значних рівнів забруднення, а отже, використання їх як інокулянтів посилить екологічну роль бобово-ризобіального симбіозу в оздоровленні довкілля.

За останні роки отримано понад 40 штамів азотфіксуючих мікроорганізмів, які характеризуються високими симбіотичними властивостями та стійкістю до несприятливих умов довкілля і є основою сучасних препаратів для передпосівного оброблення насіння. Нові штами захищено авторськими свідоцтвами й патентами. Переконливим доказом ефективності використання цих бактеріальних добрив у вирощуванні бобових культур є результати багаторічних випробувань, проведених науковцями в різних ґрунтово-кліматичних умовах України. Завдяки бактеризації посівного матеріалу комплементарними активними штамми бульбочкових бактерій було отримано суттєве підвищення зернової продуктивності рослин:

сої — на 15–23 %, гороху — на 11–20 %, люпину — на 13–19 %, насіння люцерни — на 11–30 %, а також приріст зеленої маси конюшини й люцерни на 12–25 % (табл. 1).

Показано, що передпосівна інокуляція насіння бактеріальними культурами (моноінокуляція) в умовах польових досліджень сприяє підвищенню врожайності бобових культур у середньому на 12–15 %, пшениці — на 10 %. У разі використання комплексної бактеріальної композиції, що містить кілька мікроорганізмів (поліінокуляція), для інокуляції насіння пшениці ярої та озимої зернова продуктивність культур підвищується в середньому на 12–18 %. При цьому мінеральні добрива застосовують у межах фізіологічного оптимуму для культур.

Використання передпосівного оброблення насіння рослинно-бактеріальними і бактеріальними композиціями як технологічного прийому при вирощуванні сої та пшениці не чинить негативного впливу на ґрунт і сприяє розвитку агрономічно корисної групи азотфіксуючих мікроорганізмів, що поліпшує мікробіологічні показники ґрунту.

Використання бобово-ризобіальних систем у сівозмінах

Перенасичення сівозмін зерновими культурами зумовлює гостру потребу в розширенні площ під бобовими рослинами для інтенсифікації виробництва білка в Україні. Оптимальна норма бобових культур у сівозмінах становить 20–30 %, однак на сьогодні в Україні зернобобові вирощують на площі 1,8 млн га, а багаторічні бобові трави, яким належить провідна роль у відновленні ґрунтової родючості, займають близько 1 млн га, що істотно менше оптимуму [21].

Таке становище змушує для отримання високих урожаїв зернових і технічних культур вносити підвищені й екологічно шкідливі дози мінеральних азотних добрив, що в умовах економічної кризи призводить до деградації ґрунтів. Водночас у світовому землеробстві бобові культури посідають чільне місце завдяки уні-

кальному хімічному складу, поєднанню високого вмісту білка з підвищеними кількостями жирів і вуглеводів. Їм відводять провідну роль у подоланні труднощів, зумовлених енергетичною кризою, дефіцитом білка та необхідністю зниження антропогенного навантаження на довкілля. У зв'язку з цим стратегічним завданням у вирішенні проблеми харчового й кормового білка, а також відновленні родючості українських ґрунтів є оптимальне розширення площ посівів традиційних і нетрадиційних бобових культур. Потрібно також забезпечити ефективний симбіоз рослин із відповідними мікроорганізмами.

У ґрунтово-кліматичних умовах нашої країни бобово-ризобіальні системи здатні щороку фіксувати з атмосфери 40–300 кг азоту на 1 га посіву (табл. 2). Крім того, зернобобові та багаторічні бобові трави є добрими попередниками для всіх сільськогосподарських культур у сівозміні — їх позитивна післядія триває 2–5 років. Чергування культур у сівозміні з бобовими сприяє підтриманню та оновленню видового складу мікроорганізмів у ґрунті, у результаті діяльності яких формується й підтримується родючість.

Одержано також вагомі фундаментальні результати стосовно функціонування мікробного комплексу ґрунту в умовах сільськогосподарського виробництва, вивчено біологічне різноманіття прокаріотичних форм, полімор-

Таблиця 2. Можливі розміри симбіотичної фіксації азоту та його надходження в землеробстві України

Культура	Середні розміри азотфіксації, кг/га	Залишок азоту в ґрунті, кг/га	Еквівалент дози мінеральних добрив, кг/га
Зернобобові (горох посівний, вика яра)	50–90	10–20	25–35
Соя	90–150	35–50	70–100
Багаторічні бобові трави (люцерна посівна, конюшина лучна, еспарцет піщаний)	120–350	60–120	150–200

фізм довжин рестрикційних фрагментів *tRFLP*, які відображують таксономічну структуру й генетичне різноманіття ґрунтової мікрофлори [22, 23]. Дослідження особливостей впливу застосування різних способів формування бобово-ризобіальних систем на чисельність основних таксономічних груп ґрунтової мікробіоти довели, що ротація культур у ланці сівозміни з бобовими сприяє збереженню та оновленню видового складу мікроорганізмів, які роблять значний внесок у формування й підтримання родючості ґрунтів.

Слід зазначити, що взаємодія мікро- і макросимбіонтів не завжди характеризується високою ефективністю фіксації молекулярного азоту. Багатьом сортам зернобобових культур властива недостатньо висока сприйнятливість до інокуляції активними штамми бульбочкових бактерій, унаслідок чого їх кореневу систему заселяють спонтанні малоактивні місцеві раси. Частково це зумовлено тим, що основою інтенсивних технологій сільського господарства, які переважали донедавна, було керування розвитком рослин за допомогою штучних прийомів, зокрема використання агрохімікатів. Відповідно до цього проводили й селекцію рослин, наприклад, спрямовану на здатність до ефективного використання добрив. Такі підходи дозволили різко підвищити продуктивність основних сільськогосподарських культур, однак, на жаль, їх застосуванню не передувало належне оцінювання генетичних та екологічних наслідків.

Водночас сформована наприкінці ХХ ст. концепція адаптивного сільського господарства (*sustainable agriculture*), яка ґрунтується на отриманні продукції з використанням біологічних можливостей культивованих організмів за антропогенного навантаження [24], у разі застосування в рослинництві означає, що основні екологічні завдання рослин — живлення та стійкість до шкідників — мають виконуватися за мінімального внесення добрив і засобів захисту, а функції агрохімікатів можуть бути здійснені в рамках симбіотичних зв'язків рослин із мікроорганізмами [25–27]. На жаль, використання такого підходу обмежується тим,

що сучасні сорти інтенсивного типу, як правило, не здатні через свої генетичні особливості до повноцінної взаємодії з корисною мікрофлорою. Так, у більшості бобових потенціал симбіотичної азотфіксації, визначений в оптимальних умовах, у 3–4 рази перевищує рівень, якого реально досягають у виробництві [28]. Водночас аналіз енергетичного й азотно-вуглецевого балансу рослин підтверджує, що за допомогою селекції бобових і вдосконалення технологій застосування мікробних препаратів інтенсивність симбіотичної азотфіксації можна збільшити не менш як у 3 рази [29].

Для реалізації потенціалу бобово-ризобіальних симбіозів потрібна серйозна перебудова селекції і генної інженерії рослин — перехід від створення сортів інтенсивного типу, орієнтованих на використання мінеральних добрив і хімічних засобів захисту, до конструювання «адаптивних» сортів, які розвивають не менш високу продуктивність завдяки потенціалу симбіотичних зв'язків, що сформувалися впродовж тривалої коеволюції рослин з організмами, що їх оточують. Причому це завдання можна вирішувати на різних рівнях: а) відтворення в умовах агровиробництва природних біоценотичних (симбіотичних) зв'язків між рослинами і корисною мікрофлорою; б) якісне поліпшення природних рослинно-мікробних систем, надання їм додаткових адаптивних функцій; в) конструювання принципово нових симбіотичних комплексів.

Відомо [30], що рівень ефективності бобово-ризобіального симбіозу визначається генотипами обох партнерів — бульбочкових бактерій і бобових рослин-хазяїв. Узагальнення даних, отриманих на різних видах бобових, показало, що адитивні дії генотипів рослин і бактерій у середньому приблизно однакові, і кожна з них становить близько чверті від загального варіювання симбіотичної активності.

Генетичне контролювання з боку рослини-хазяїна виявляється, по-перше, у виборі специфічного для певного виду рослин штаму бульбочкових бактерій. При цьому рослина може змінити його конкурентоздатність [31], а специфічність взаємодії між ними передба-

чає існування комплементарності генів у цих симбіонтах. По-друге, гени рослини-хазяїна зумовлюють початок утворення бульбочок, їхню кількість і загальний об'єм бактероїдної тканини на одну рослину [32]. По-третє, рослина визначає кінцеву ефективність симбіотичної азотфіксації. Так, у конюшини виявлено два гени, що сприяють утворенню неефективного симбіозу незалежно від властивостей використаного штаму бульбочкових бактерій [33]. По-четверте, бобова рослина, як і бактерії, бере участь у синтезі леггемоглобіну бульбочок [34], який, зв'язуючи кисень, виконує функцію захисту чутливої до нього нітрогенази; по-п'яте, хоча синтез нітрогенази генетично детермінований у бактеріях, рослина несе генетичну інформацію, що сприяє синтезу цього ферменту [35].

Сила впливу генотипів партнерів на показники активності симбіозу значною мірою залежить від комплементарності сортів рослин і штамів бактерій. Важливість комплементарності рослинно-мікробних асоціацій при формуванні симбіотичних відносин для підсилення поліпшення росту і розвитку бобових рослин було показано в ряді досліджень. Так, різні комбінації чотирьох сортів сої і чотирьох штамів бульбочкових бактерій *V. japonicum* мали суттєві відмінності у формуванні бульбочок, їх азотфіксуючій активності, наростанні вегетативної маси, інтенсивності процесів фотосинтезу й дихання, а також урожайності рослин сої. Ці результати підкреслюють значущість сорто-штамової взаємодії в системі рослина — мікроорганізм, оскільки саме такий тип зв'язку робить найбільший внесок у варіювання параметрів активних систем [36]. Було отримано дані, що свідчать про вагомий вплив генотипу рослини-хазяїна на результат конкуренції між штамми ризобій за утворення бульбочок [37].

Застосування в симбіозі з сучасними сортами зернобобових культур високоефективних штамів бульбочкових бактерій сприяє підвищенню їх продуктивності на 20—30% і збільшенню вмісту білка в зерні на 2—6%, навіть за наявності в ґрунті аборигенних і/або раніше

інтродукованих ризобій. У процесі селекції бобових рослин, здатних вступати в ефективний симбіоз із ризобіями, основну увагу приділяють виявленню джерел і донорів з певними ознаками — продуктивність, тривалість періоду вегетації, стійкість до найпоширеніших хвороб та вилягання, високий вміст білка й жиру, стійкість проти знижених температур у період сходів та формування генеративних органів, посухостійкість, нейтральність до тривалості світлового дня, висока азотфіксуюча активність. По можливості, намагаються досягти якнайбільшого їх поєднання в одному зразку. Вивчаючи колекції сортозразків, відбирають форми за цими ознаками, в тому числі й за інтенсивністю симбіотичної азотфіксації, а потім використовують їх у схрещуванні згідно з розробленими програмами.

Учені Національної академії аграрних наук України встановили сортові відмінності бобових рослин за інтенсивністю біологічної азотфіксації і на їх основі з використанням сучасних методів біотехнології, генетики та селекції створили понад 70 сортів бобових культур, у тому числі 44 сорти нового покоління, занесені до Реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, які характеризуються

Таблиця 3. Кількість сортів бобових культур, внесених до Реєстру сортів рослин України (станом на 2012 р.)

Культура	Роки реєстрації				Усього по культурах
	1991—1995	1996—2000	2001—2005	2006—2012	
Горох	2	—	1	—	3
Вика яра	—	—	1	1	2
Боби кормові	—	2	1	1	4
Квасоля	—	—	1	2	3
Соя	4	9	15	16	44
Люцерна	1	2	—	1	4
Конюшина	—	6	1	1	8
Лядвенець рогатий	1	1	2	—	4
Буркун білий	1	—	—	—	1

підвищеною інтенсивністю біологічної фіксації азоту в основних землеробських регіонах (табл. 3) [16].

Нові сорти не поступаються, а за низкою ознак навіть перевершують зарубіжні аналоги, вдало поєднуючи високу врожайність і вміст білка. При цьому селекцію зернобобових культур, зокрема сої, було спрямовано на підвищення частки рослин, здатних повноцінно розвиватися завдяки симбіотрофному живленню азотом при взаємодії з бактеріальним штамом. Впровадження нових високопродуктивних сортів сої гарантує збільшення врожаю на 2,5 ц/га і на площі майже 500 тис. га забезпечує економічний ефект на рівні 0,4–0,5 млрд грн.

Висновки

У результаті глибокого вивчення біологічних механізмів функціонування такого унікального явища, як симбіотична азотфіксація, спільними зусиллями вітчизняних фахівців з низки наукових установ — Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН України, Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, ННЦ «Інститут землеробства НААН», Національного університету біоресурсів і природокористування України та Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна» — розроблено екологічно чисту технологію виробництва рослинного білка з використанням симбіотичної взаємодії мікроорганізмів із бобовими росли-

нами. Її ефективність зумовлено такими складовими:

- вдосконалена схема виробництва препаратів на основі симбіотрофних азотфіксаторів завдяки введенню в поживне середовище невеликих доз рослинного лектину, флавоноїдів, деяких регуляторів росту рослин або високодисперсних матеріалів, що істотно збільшує вихід бактеріальної біомаси за одночасного зменшення витрат сировини та електроенергії;
- використання нових штамів азотфіксуючих мікроорганізмів, здатних утворювати ефективний симбіоз за несприятливих умов довкілля (низьких температур, недостатнього зволоження, хлоридно-сульфатного засолення ґрунтів та забруднення їх важкими металами);
- залучення в сівозміни нових сортів та ліній бобових рослин (соя, горох) із підвищеною здатністю до симбіозу.

Розроблена технологія має широкомасштабне впровадження. Доведено, що використання симбіотично фіксованого азоту сприяє здешевленню білка в 10 разів порівняно із внесенням мінеральних азотних добрив. Ефективне використання бобово-ризобіальних систем із застосуванням передпосівної бактеризації насіння дає змогу економити до 90 кг/га мінерального азоту, отримувати екологічно чисту продукцію, сприяє збереженню родючості ґрунтів, забезпечує прибуток до 2100 грн/га залежно від культури, а загальний економічний ефект від впровадження результатів цієї роботи становить близько 1 млрд грн на рік.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Петриченко В.Ф., Панасюк Я.Я.* Агробіологічні основи оптимізації сівозмін та їх продуктивність в Україні: підруч. — Вінниця: Рогальська І.О., 2012. — 200 с.
2. *Патика В.П., Тихонович І.А., Філін'єв І.Д. та ін.* Мікроорганізми і альтернативне землеробство / за ред. В.П. Патики. — К.: Урожай, 1993. — 176 с.
3. *Манько К., Музафаров Н.* Вплив нетрадиційних попередників на сучасні сорти і гібриди жита озимого // *Агрон. — 2012. — № 3. — С. 86–91.*
4. *Квітко Г.П.* Наукове обґрунтування і розробка інтенсивних агротехнічних прийомів підвищення кормової продуктивності люцерни в Лісостепу України: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук. — К., 1999. — 33 с.
5. *Марков І.* Агротехнічні прийоми попереджають хвороби // *Агробізнес сьогодні. — 2013. — № 9. — С. 26–28.*
6. *Толкачев Н.З.* Симбіотическая азотфиксация — экологически безопасный путь повышения продуктивности земледелия // *Вісн. ОНУ. — 2001. — Т. 6, вип. 4. — С. 309–312.*
7. *Петриченко В.Ф., Тихонович І.А., Коць С.Я. та ін.* Сільськогосподарська мікробіологія і збалансований розвиток агроєкосистем // *Вісн. аграр. науки. — 2012. — № 8. — С. 5–11.*

8. Патики В.П., Коць С.Я., Волкогон В.В. та ін. Біологічний азот / за ред. В.П. Патики. — К.: Світ, 2003. — 424 с.
9. Коць С.Я., Моргуни В.В., Патыка В.Ф. и др. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобиальный симбиоз. Т. 1. — К.: Логос, 2010. — 508 с.
10. Кожемяков А.П. Продуктивность азотфиксации в агроценозах // Микробиол. журн. — 1997. — Т. 59, № 4. — С. 22–28.
11. Коць С.Я., Маліченко С.М., Кругова О.Д. та ін. Фізіолого-біохімічні особливості живлення рослин біологічним азотом. — К.: Логос, 2001. — 271 с.
12. Минеральный и биологический азот в земледелии СССР / отв. ред. Е.Н. Мишустин. — М.: Наука, 1985. — 270 с.
13. Моргуни В.В., Коць С.Я. Симбіотична азотфіксація та її значення в азотному живленні рослин: стан і перспективи досліджень // Физиология и биохимия культ. растений. — 2008. — Т. 40, № 3. — С. 187–205.
14. Коць С.Я. Сучасний стан досліджень біологічної фіксації азоту // Физиология и биохимия культ. растений. — 2011. — Т. 43, № 3. — С. 212–225.
15. Коць С.Я. Использование современных методов генетической инженерии для получения эффективных штаммов клубеньковых бактерий // Физиология и биохимия культ. растений. — 2012. — Т. 44, № 1. — С. 23–40.
16. Petrychenko V., Babych A., Ivanyuk S. et al. Soybean: State and perspective of the development in the Ukraine // Legume Perspectives. — 2013. — N 1. — P. 37.
17. Волкогон В.В. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур. — К.: Аграр. наука, 2007. — 144 с.
18. Молекулярные основы взаимоотношений ассоциативных микроорганизмов с растениями / отв. ред. В.В. Игнатов. — М.: Наука, 2005. — 262 с.
19. Патент № 55620А СО5F11/08. Спосіб підвищення симбіотичних властивостей повільнорослих бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium* / О.В. Кириченко, С.М. Маліченко. — Опубл. 15.04.03. Бюл. № 4.
20. Патент № 62819А СО5F11/08. Спосіб підвищення симбіотичних властивостей бульбочкових бактерій сої / О.В. Кириченко, Л.В. Титова, С.Я. Коць. — Опубл. 15.12.03. Бюл. № 12.
21. Коць С.Я., Моргуни В.В., Патыка В.Ф. и др. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобиальный симбиоз. Т. 2. — К.: Логос, 2011. — 523 с.
22. Патыка Н.В., Круглов Ю.В. *tRFLP* профиль комплекса прокариотических микроорганизмов подзолистых почв // Докл. РАСХН. — 2008. — № 6. — С. 21–23.
23. Patyka N.V., Kruglov Yu.V. TRFLP Profile of the Assemblage of Prokaryotic Microorganisms in Podzolic Soils // Rus. Agric. Sci. — 2008. — V. 34, N. 6. — P. 386–388.
24. Googley F., Baudry J., Berry R.J. et al. What is the road of sustainability? // INTECOL Bull. — 1992. — V. 20. — P. 15–20.
25. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Пути использования адаптивного потенциала систем «растение—микроорганизм» для конструирования высокопродуктивных агрофитоценозов // С.-х. биология. — 1993. — № 5. — С. 36–46.
26. Шумный В.К., Сидорова К.К. Биологическая фиксация азота. — Новосибирск: Наука, 1991. — 271 с.
27. Vance C.P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in the world of declining renewable resources // Plant Physiol. — 2001. — V. 127. — P. 390–397.
28. Кожемяков А.П., Тихонович И.А. Использование инокулянтов бобовых и биопрепаратов комплексного действия в сельском хозяйстве // Докл. РАСХН. — 1998. — № 6. — С. 7–10.
29. Вэнс К. Симбиотическая азотфиксация у бобовых: сельскохозяйственные аспекты // *Rhizobiaceae*. Молекулярная биология бактерий, взаимодействующих с растениями / под ред. Г. Спайнка, А. Кондороши, П. Хукаса. — СПб.: 2002. — С. 541–563.
30. Проворов Н.А., Ситаров Б.В. Генетический полиморфизм бобовых культур по способности к симбиозу с клубеньковыми бактериями // Генетика. — 1992. — Т. 28, № 6. — С. 5–14.
31. Robinson A.C. Host selection for effective *Rhizobium trifolii* by red clover and subterranean clover in the field // Austr. J. Agric. Res. — 1969. — V. 20. — P. 1053–1060.
32. Desai A. Rhizobial haemoglobin and aminolevulinic and synthetase activity in *Rhizobium japonicum* // Indian J. Exp. Biol. — 1977. — V. 15, N 17. — P. 528–530.
33. Nutman P.S., Bergersen F.J. Symbiotic effectiveness in nodulated red clover // Heredity. — 1957. — V. 11. — P. 157–173.
34. Мильто Н.И. Клубеньковые бактерии и продуктивность бобовых растений. — Минск: Наука и техника, 1982. — 296 с.

35. Коць С.Я., Моргул В.В., Тихонович И.А. и др. Биологическая фиксация азота. Генетика азотфиксации, генетическая инженерия штаммов. Т. 3. — К.: Логос, 2011. — 404 с.
36. Коць С.Я., Береговенко С.К., Кириченко Е.В., Мельникова Н.Н. Особенности взаимодействия растений и азотфиксирующих микроорганизмов. — К.: Наук. думка, 2007. — 315 с.
37. Khurana A.L., Sharma P.K., Dudeja S.S. Influence of host, moisture and native rhizobial population on nodule occurrence in chickpea (*Cicer arietinum*) // Zentralbl. Mikrobiol. — 1991. — V. 146, N 2. — P. 137–141.

Стаття надійшла 27.11.2013

В.Ф. Петриченко¹, С.Я. Коць²

¹ Інститут кормів і сільськогосподарського господарства Поділья Національної академії аграрних наук України
проспект Юності, 16, Вінниця, 21100, Україна

² Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
ул. Васильківська, 31/17, Київ, 03022, Україна

СИМБИОТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Статья посвящена проблеме биологизации сельскохозяйственного производства, в частности, вопросам биологического азота, роли микроорганизмов в пополнении его запасов в почве и повышения продуктивности растений за счет использования бактериальных препаратов. Рассмотрен вклад украинских ученых в решение данной проблемы, в частности, представлена разработанная ими экологически чистая технология получения растительного белка на основе использования симбиотического взаимодействия высокоэффективных микроорганизмов с современными сортами бобовых растений. Доказан экономический эффект от внедрения данной технологии в производство.

Ключевые слова: биологическая азотфиксация, симбиоз, бактериальные препараты, бобовые, селекция, производство белка.

V.F. Petrychenko¹, S.Ya. Kots²

¹ Institute of Feed and Agriculture of Podillya of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
16 Yunist Prospect, Vinnytsa, 21100, Ukraine

² Institute of Plant Physiology and Genetics of National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

SYMBIOTIC SYSTEMS IN MODERN AGRICULTURAL MANUFACTURE

The paper is devoted to problem of biologization of agricultural manufacture, in particular to issues of biological nitrogen, the role of microorganisms in resupply its stocks in the soil and increasing of plant productivity through the use of bacterial preparations. The contribution of Ukrainian scientists to solving this problem was considered, in particular it was presented the environmentally friendly technology provided by them to obtaining of plant protein through the use of symbiotic interaction of high effective microorganisms with modern cultivars of legume plants. It was proved the economic effect of implementing of this technology into manufacture.

Keywords: biological nitrogen fixation, symbiosis, bacterial preparations, legumes, selection, protein production.