

УДК 579.64: 631.461.5

**В. П. Пати́ка, доктор біологічних наук**

**Т. Т. Гнатюк, Н. М. Булеца, провідні інженери**

*ІНСТИТУТ МІКРОБІОЛОГІЇ І ВІРУСОЛОГІЇ ім. Д.К. ЗАБОЛОТНОГО НАН*

**Л. В. Кириленко, аспірант**

*ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

## БІОЛОГІЧНИЙ АЗОТ У СИСТЕМІ ЗЕМЛЕРОБСТВА

*Висвітлюються основні підходи щодо активізації рослинно-мікробної взаємодії, зокрема біологічної фіксації азоту. Біологічна фіксація азоту є потужним фактором у системі збереження й відтворення родючості ґрунтів, підвищення продуктивності агроценозів. Показано, що стабілізуючою основою більшості технологій вирощування зернових культур є бобові рослини, частка яких у структурі посівних площ повинна складати 25-40%. Значна увага приділяється питанню дослідження мікрофлори ґрунту під посівами рослин, які є реагентами на вплив зовнішніх чинників та індикаторами стану екосистеми і сукцесійних процесів, що в ній відбуваються. Широкомасштабне застосування екологічно доцільних технологій з використанням мікробних препаратів азотфіксуючих мікроорганізмів та зниження хімізації є важливою перспективою одержання високоякісної конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції, збереження родючості ґрунту та навколишнього середовища.*

**Ключові слова:** *рослинно-мікробна взаємодія, біологічна азотфіксація, мікроорганізми-азотфіксатори, симбіотична і асоціативна азотфіксація, мікробні препарати.*

Джерелом азоту для синтезу рослинами амінокислот і білків слугують нітрати ґрунту й води. Рослини поїдаються тваринами, які в свою чергу використовують амінокислоти рослинних білків для синтезу своїх власних амінокислот, білків і інших сполук азоту. Коли тварини і рослини вмирають, гнильні бактерії руйнують ці сполуки; при цьому азот, що в них міститься, виділяється у вигляді аміаку (рис. 1, [7]).

Азот є одним із основних біогенних елементів планети Земля, головним компонентом живої матерії, що відіграє найважливішу роль у житті рослин і тварин. Потужний резервуар азоту – земна атмосфера, де його запаси становлять приблизно 4 трлн тонн. Над кожним гектаром землі в повітрі міститься в середньому близько 80 тис. т молекулярного азоту, який є єдиним джерелом поповнення зв'язаного азоту в ґрунті.

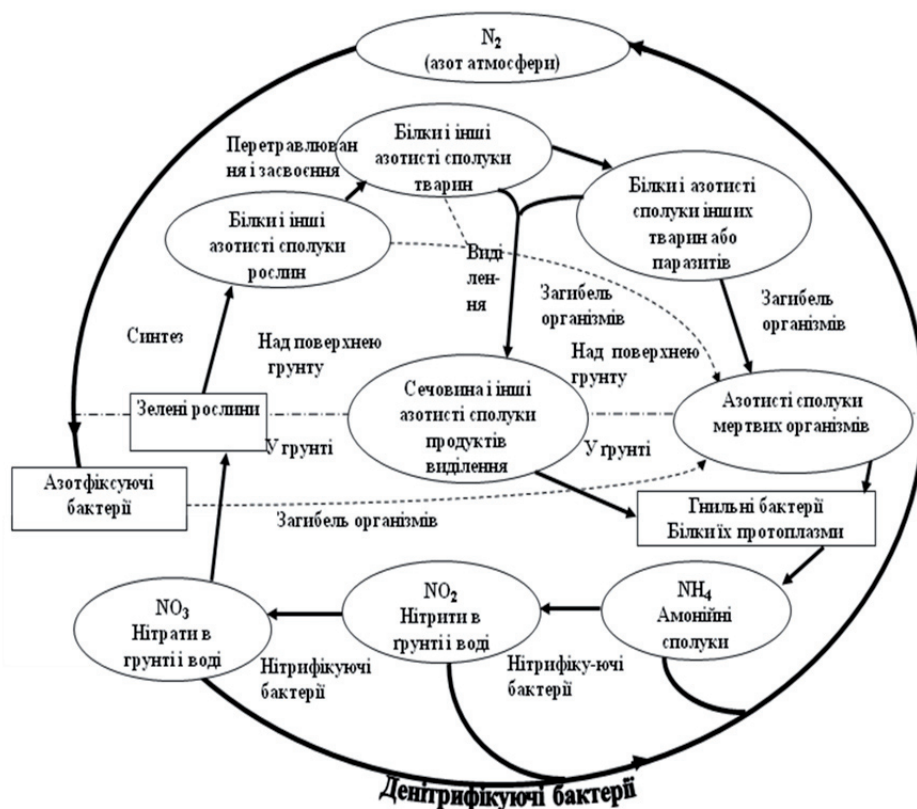
Біологічна продуктивність наземних та водних екосистем, а також біосфери в цілому істотно залежить від джерел зв'язаного азоту. Задоволення потреб зелених рослин в азоті – досить складне завдання, оскільки вищі рослини не здатні використовувати вільний азот як джерело азотного живлення через відсутність у них механізмів, що долають сили зчеплення атомів у його молекулі. Найбільший парадокс полягає в тому, що всі без винятку живі організми планети Земля, в тому числі й рослини, постійно потребуючи доступних форм азоту і не маючи способів його резервування, знаходяться в “океані” молекулярного азоту. З усієї біорізноманітності живої матерії лише незначна кількість організмів здатна більшою чи меншою мірою забезпечувати себе азотом, тоді як мікроорганізми-азотфіксатори забезпечують не тільки себе, але і всю біосферу біологічним азотом, а також - його резервування у вигляді різних азотовмісних сполук. При цьому єдиним способом створення запасів азоту є його перетворення в специфічну органічну речовину ґрунту – гумус. Тільки ґрунти мають здатність до накопичення (імобілізації) зв'язаного в ході

біологічної фіксації азоту і відіграють роль єдиного в біосфері довготривалого депо цього елемента. Невипадково за значимістю для живої природи явище азотфіксації, здійснюване мікроорганізмами в симбіозі і асоціаціях із рослинами, прийнято порівнювати з іншим глобальним процесом планети Земля – фотосинтезом [7,10].

Найважливіша роль ґрунтових мікроорганізмів полягає у формуванні та підтримці протягом тисячоліть біогеохімічного циклу азоту, в тому числі і за рахунок його біологічної азотфіксації [6, 23]. Серед біогенних елементів азот виділяється високою рухливістю і великою швидкістю метаболізації, чим пояснюється відсутність помітних покладів цього елемента в природі у вигляді мінералів і агрономічно цінних руд. Менша рухливість характерна для азоту органічної речовини ґрунтів, в основному ґрунтового гумусу і рослинних залишків, що є головним його резервуаром в біосфері. Необхідно враховувати, що не весь азот ґрунту, що перебуває в доступній для рослин формі, використовується ними повністю. Під впливом ряду біотичних і абіотичних чинників у ґрунті втрачаються рухомі форми азотних сполук, у результаті чого і без того їх невеликі запаси ще більше виснажуються. Очевидно, що життя на Землі в сучасній формі підтримується завдяки існуванню джерел поповнення запасів зв'язаного азоту, якими є:

- мікроорганізми, що здійснюють асиміляцію молекулярного азоту;
- органічні добрива (залишки живої матерії);
- мінеральні добрива.

При цьому перші два джерела – екологічно безпечні, не порушують рівноваги природних екосистем, тоді як третє – високоенергозатратне і екологічно небезпечне, хоча досить ефективне в досягненні швидких результатів отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур, однак надзвичайно негативний як антропогенний чинник забруднення навколишнього середовища та продуктів харчування, а також – мутаген і канцероген [14].



Кругообіг азоту в природі [7]

Рис. 1.

Зважаючи на гостру необхідність вирішення вже сьогодні нагальних питань відновлення і збереження ґрунтової родючості, одержання екологічно безпечної продукції, безпечної для здоров'я людини, цілком зрозумілим є постійно зростаючий інтерес дослідників різних областей біології до питань, пов'язаних із процесом біологічного перетворення молекулярного азоту, здійснюваного діазотрофними мікроорганізмами в симбіозі і асоціаціях із рослинами в природних екосистемах та агрофітоценозах, створених людиною. За останні десятиліття відбувся значний прогрес в області біологічної азотфіксації, пов'язаний з розробленням інструментальних методів, що дозволяють здійснювати комплексні дослідження, які охоплюють різні рівні організації та функціонування рослинно-мікробних систем – генетичний, молекулярний, клітинний, організменний, системний. При цьому нові методи молекулярної біології, біотехнології та генетичної інженерії поряд із класичними методами мікробіології, фізіології рослин, генетики й агрохімії дозволяють як вирішувати фундаментальні питання, що стосуються виявлення особливостей формування та функціонування фітобактеріальних систем різної ефективності, так і розкривають практичні шляхи корекції взаємин симбіотичних партнерів із метою створення високоефективних симбіозів, спрямованих на підвищення існуючого рівня біологічного перетворення азоту атмосфери в органічні азотомісні сполуки [7-12, 14].

Структура посівів в Україні у 2015 р. передбачає такі зміни: посівні площі зернових культур становлять 16,2 млн га. Посіви пшениці озимої

оптимізуються на рівні 5 млн га. В озимому кліні збільшилися площі тритикале до 500 тис. га, жито озиме висівається майже на площі 300 тис. га переважно в Поліській зоні, ячмінь озимий займає площу 1,2 млн га здебільшого в південному і західному регіонах, де сприятливі умови для його перезимівлі. Завдяки скороченню посівів пшениці озимої після непарових попередників суттєво розширено посіви кукурудзи на зерно (до 5 млн га) і сорго в південному регіоні – до 500 тис. га [13].

У світлі викладеного стає зрозумілим дефіцит поживних речовин у землеробстві, особливо азоту і фосфору. Баланс поживних речовин у землеробстві України, який обчислено за показниками виносу і надходження поживних речовин, є негативним. Дефіцит основних елементів живлення (NPK) становить 50 кг д. р./га, що зумовлено низьким рівнем внесення фосфору (табл. 1). Крім того, в Україні щорічно змивається 15 т / га ґрунту, з яким втрачається понад 100 кг д. р. і вкрай неефективним використанням біологічного азоту і фосфору.

Значення біологічної фіксації азоту в основному визначається її внеском у родючість ґрунтів, розроблення енергозберігаючих екологічно безпечних для довкілля та споживачів технологій вирощування якісної сільськогосподарської продукції.

Аналізуючи основні показники зернового господарства України в умовах інтенсифікації виробництва (табл. 2), слід зазначити, що відбуваються значні зміни в пріоритетах вирощування зернових культур. На перше місце виходить кукурудза, друге – пшениця, третє – соя, на четверте – ячмінь.

Таблиця 1.

## Баланс поживних речовин у землеробстві України (кг/га д.р.), 2011 р.

Зона	Азот (N)	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Калій (K <sub>2</sub> O)	Разом(NPK)
Полісся	- 17,3	- 7,2	- 21,9	- 46,4
Лісостеп	- 30,2	- 13,0	- 17,1	- 60,3
Степ	- 21,4	- 11,6	- 6,1	- 39,1
<b>Україна</b>	<b>- 24,8</b>	<b>- 11,8</b>	<b>- 13,6</b>	<b>- 50,2</b>

Таблиця 2.

## Зміни пріоритетності культур у землеробстві України [13]

Місце	1990 р.	2011 р.	2012 р.
1-е	Пшениця озима	Пшениця озима	Кукурудза
2-е	Ячмінь ярий	Кукурудза	Пшениця озима
3-е	Кукурудза	Ячмінь ярий	Соя
4-е	Горох	Соя	Ячмінь ярий

Структуру виробництва зерна в 2011 і 2012 рр. наведено в табл. 3.

Як видно з табл. 3, і в 2011 і в 2012 рр. валові збори кукурудзи на зерно перевищували такі озимої пшениці: відповідно 22837,8 - 22323,6 і 20961 - 15762,6 тис. т. Збір зернобобових культур без сої становив 491,1 і 473,4 тис. т. [5, 6]. Безумовно, низький відсоток насичення сівозміни

(2,1%) зернобобовими культурами позначається на біологічній фіксації азоту і втрати попередника під озимі зернові культури, яким є горох. Збільшення посівів сої (насичення 9,5% сівозміни) дещо підвищує рівень біологічної фіксації азоту. На використану в сільському господарстві України площу вносилися певні кількості добрив (табл. 4). Разом із тим, матеріали табл. 4 вказують на чітко виражену не-

Таблиця 3.

## Виробництво зерна в Україні 2011-2012 рр. [4,5]

Культури	2011				2012			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Зернові і зернобобові культури, всього	15321,3	56746,8	100	2837,3	14792,1	46216,2	100	2310,8
Зернові і зернобобові культури (без кукурудзи)	11777,6	33909,0	76,9	1695,4	10420,2	25254,9	70,4	1262,77
Пшениця (озима і яра)	6657,3	22323,6	43,5	1406,4	5629,7	15762,6	38,1	88,1
Ячмінь (озимий і ярий)	3684,2	9097,7	24,0	309,3	3293,0	6936,4	22,3	235,8
Зернобобові культури (без сої), всього	336,1	491,1	2,2	34,3	303,4	473,4	2,1	33,1
Соя	1110,0	2264,4	7,2	158,5	1412,4	2410,2	9,5	168,7
Кукурудза на зерно	3543,7	22837,8	23,1	1278,9	4372,0	20961,3	29,6	1173,8

Примітка: 1 – загальна зібрана площа, тис. га; 2 – валовий збір урожаю, тис. т; 3 – % до загальної кількості; 4 – середній винос азоту з урожаєм з ґрунту, тис. т.

рівномірність внесення добрив під різні культури [2,3]. Зазначені в табл. 4 низькі дози добрив під зернові культури неспроможні відшкодувати природну втрату родючості цих ґрунтів при середній врожайності 2,8 т/га. Тому значна кількість азоту виноситься їхнім урожаєм із фонду ґрунту, що призводить при цьому до різкого зниження родючості ґрунтів. Ряд авторів [12,14] вказують, що стабілізація гумусу і підвищення родючості ґрунтів настає при щорічному внесенні разом із мінеральними добривами високих норм гною (15 т/га) залежно від рівня родючості і типу ґрунту. Однак, зіставляючи дані табл. 3 і 4, бачимо, що і зазначені норми не можуть відновити втрати.

Закономірно виникає питання про родючість ґрунтів України і насамперед про баланс азоту в землеробстві держави, а також пайову участь у ньому біологічного азоту.

Найбільше практичне значення в збагаченні ґрунтів азотом за рахунок його засвоєння з повітря мають бульбочкові бактерії, які фіксують молекулярний азот у симбіозі з бобовими рослинами, широко розповсюджені в ґрунтах різноманітні вільноживучі азотфіксуючі бактерії й виявлені в останні роки нові форми мікроорганізмів, що здатні засвоювати молекулярний азот в асоціаціях із кореневою системою небобових рослин.

**Симбіотична азотфіксація.** Заслуга відкриття бульбочкових бактерій належить російському вченому Михайлові Степановичу Вороніну (1838–1903) – основоположнику мікології і фітопатології в Росії. Азотфіксуючі симбіози різні за складом організмів, що входять до них, але володіють однією загальною властивістю – тісним сполученням біогеохімічних циклів азоту та вуглецю [6-12, 15,17, 23]. Така інтеграція азотного і вуглецевого метаболізму найбільш характерна для симбіозів бактерій і рослин. Симбіотичні мікроорганізми рослин найширше досліджуються у зв'язку з процесами фіксації атмосферного азоту бульбочкових бактерій бобових рослин (ризобії). До останніх належать грамнегативні

бактерії родів *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Allorhizobium* [6,7,12,14,18].

Завдяки здатності бобових рослин вступати в симбіоз із специфічними для певного виду або групи видів бульбочковими бактеріями вони можуть у ґрунтово-кліматичних умовах України засвоїти за вегетацію до 125-380 кг/га азоту повітря (табл. 5) [6,14,18]. Завдяки симбіотичній азотфіксації бобові культури формують високі урожаї дешевого рослинного білка без застосування дорогих, енергоємних і екологічно небезпечних мінеральних азотних добрив. Після збирання урожаю більше 30% біологічно фіксованого азоту залишається в післяжнивних і корневих залишках та використовується наступними культурами.

Інокуляція насіння високоефективними штамми бульбочкових бактерій, одержаними в процесі селекційного відбору, дозволяє реалізувати до 15-50% симбіотичного азотфіксуючого потенціалу, а решта резерву може бути використана при оптимізації умов функціонування симбіозу.

У розпорядженні мікробіологів України та виробників мікробіологічних препаратів на основі відібраних бактерій є повний набір виробничих й резервних штамів бульбочкових бактерій. Їх ефективність на різних бобових культурах наведена в табл. 6.

Дослідження мікрофлори ґрунту під посівами сої і попередників, які реагують на вплив зовнішніх чинників та слугують індикаторами стану екосистеми і сукцесійних процесів, що в ній відбуваються, є надзвичайно актуальним. Показано, що співвідношення різних еколого-трофічних груп ґрунтових мікроорганізмів змінюється залежно від рослини. Так, чисельність амоніфікаторів зі зміною культури (соя ► люпин ► пшениця ► ріпак) зменшувалась з  $18,7 \cdot 10^6$  до  $4,4 \cdot 10^6$ , аналогічна закономірність спостерігається для оліготрофів і педотрофів (табл.7).

Таблиця 4.

Внесено мінеральних і органічних добрив під основні зернові культури в Україні 2011-2012 рр.

Основні сільсько-господарські культури	Органічні добрива				Мінеральні добрива			
	тис. т		т/га		NPK, тис. ц		N, кг/га	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Внесено в поживних речовинах – всього	9845,7	9636,9	0,5	0,5	12633,1	13430,0	8/48	72/50
В тому числі: зернові і зернобобові культури (без кукурудзи)	2916,8	2825,3	0,3	0,4	5449,9	5267,2	64/45	71/50
з них під пшеницю	2067,0	2061,9	0,4	0,5	4015,4	3828,7	78/55	88/62
кукурудзу на зерно	2618,0	2143,0	0,6	0,6	2618,0	3406,0	93/65	96/67
сою	214,1	236,7	0,2	0,2	489,3	602,7	47/12	46/12

Примітка: чисельник – NPK на 1 га посівної площі, кг; знаменник – азотних добрив на 1 га посівної площі, кг

Таблиця 5.

## Розміри симбіотичної фіксації азоту ґрунту і надходження біологічного азоту в Україні

Культури	Розміри азотфіксації, кг азоту/га/рік	Залишається азоту в ґрунті, кг/га	Еквівалентно нормі азотних добрив, кг/га
Зернобобові (горох, соя, вика тощо)	50-90	10-20	25-35
Багаторічні бобові трави (люцерна, конюшина, еспарцет, буркун тощо)	90-380	60-120	120-250

Таблиця 6.

## Вплив нітрогенізації на урожай і розмір азотфіксації у бобових рослин (дані Географічної сітки дослідів)

Культур	Середня прибавка, % до контролю	Додаткове нагромадження протеїну, кг/га	Збільшення азотфіксації, кг/га	Приріст азотфіксації, %
Горох	10,5	102	15–20	30–35
Вика	12,4	120	20–25	30–35
Соя	18,0	225	35–60	40–60
Люпин	16,6	170	35–55	35–50
Конюшина	12,0	240	50–70	30–40
Еспарцет	15,5	260	60–80	40–60
Люцерна	16,8	460	90–120	50–70
Козлятник	27,8	620	110–150	50–80

Таблиця 7.

## Чисельність різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів у ґрунті під посівами сої та інших сільськогосподарських культур

Культура	Чисельність ґрунтових мікроорганізмів (КУО на 1 г абс. сухого ґрунту)					%
	Мікрміцети *10 <sup>3</sup>	Амоніфікатори *10 <sup>6</sup>	Оліготрофи *10 <sup>6</sup>	Педотрофи *10 <sup>6</sup>	Бактерії, що симілюють мінеральний азот *10 <sup>6</sup>	
Соя	21	18,7	14,4	11,8	6,2	120
Люпин	28	13,5	12,1	9,4	8,5	101
Пшениця	30	8,6	6,3	7,0	9,1	60
Ріпак	31	4,3	3,1	4,0	9,4	51
НІР <sub>05</sub>	1,5	1,6	1,9	1,5	1,0	10

Примітка: середні значення за роки досліджень

Як видно з табл.7, для сої вміст амоніфікаторів був в 4,4 раза вищим ніж при вирощуванні хрестоцвітої культури (ріпаку) і складав 18,7 млн КУО/г абс. сухого ґрунту, що свідчить про значне збагачення ґрунту органічною речовиною рослинного походження та забезпечення амонійним азотом за рахунок його фіксації з повітря. Відповідні зміни чисельності спостерігались у випадку з бактеріями, що

використовують для свого живлення мінеральний азот. Максимальна чисельність цих мікроорганізмів у ґрунті зазначена при вирощуванні пшениці й ріпаку і становила відповідно 9,1 і 9,4 млн КУО/г абс. сухого ґрунту. Це свідчить про значне використання цими культурами мінерального азоту. Позитивний баланс був і для азотобактера. Що стосується мікроміцетів, то слід зазначити, що коливання їх чисель-

ності не було таким значним, як бактеріальної флори, але в агроценозах пшениці, люпину, ріпаку вона була вищою, ніж в ґрунті під соєю.

Для того, щоб оцінити спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті під посівами сої та інших сільськогосподарських культур здійснювався розрахунок коефіцієнтів оліготрофності, педотрофності та коефіцієнта мінералізації-імобілізації (табл. 8).

Як видно з табл. 8, показники оліготрофності та педотрофності ґрунту зростали зі зміною культури у такому порядку (соя ► люпин ► пшениця ► ріпак) і свого максимального значення сягали при вирощуванні ріпаку та становили відповідно 1,20 і 2,40. Підвищення показника педотрофності свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук, а збільшення оліготрофності ґрунту вказує на зниження вмісту у ґрунті поживних речовин, зокрема доступного азоту.

Мінімальними ці показники були при вирощуванні сої і становили: коефіцієнт оліготрофності – 0,30, коефіцієнт педотрофності – 0,45, що в 4 рази та в 5,3 разів менше порівняно з максимальними значеннями цих показників при вирощуванні ріпаку. Напруженість мінералізаційних процесів у ґрунті теж збільшувалась пропорційно, від сої до ріпаку, і максимального значення сягала для ріпаку, коефіцієнт мінералізації-імобілізації складав 1,42, що в 2,4 рази вище, ніж при вирощуванні сої. Сукцесійно-динамічні зміни мікробного угруповання ґрунту пов'язані в першу чергу з впливом на біоценоз вирощуваних культур та абіотичних чинників, таких як температура та вологість.

Результати з вивчення біологічної активності при вирощуванні сої та інших сільськогосподарських культур наведені у табл. 9. Дані таблиці свідчать, що вирощування сої у порівнянні з іншими рослинами, зокрема ріпаком, призводить до збільшення виділення CO<sub>2</sub> у 2,4 рази. Ці дані виявляють, що при вирощуванні сільськогосподарських культур у ґрунті порівнянно з посівами сої складаються менш сприятливі умови для життєдіяльності мікроорганізмів, у результаті чого знижується її біологічна активність.

У ґрунтовій мікробіології на сьогодні є цілий комплекс тестів для визначення фізіологічного оптимуму азоту при вирощуванні сільськогосподарських рослин. Зокрема, враховуючи дані інших дослідників, а також показники родючості ґрунту, можна наближено розрахувати дози азотних і фосфорних мінеральних добрив, необхідних для одержання запланованого врожаю у конкретних зональних умовах України, у томі числі і для певного поля.

Нижче наводяться наближені підрахунки доз мінеральних добрив із урахуванням симбіотрофного живлення сої. У розрахунках необхідно враховувати показник біологічної фіксації азоту, коефіцієнти використання азоту, фосфору тощо. Наприклад, у господарстві планують одержувати урожай зерна сої 2,5 т/га (табл.10).

Для формування 1 т зерна соя використовує 85 кг азоту. Ґрунт поля – чорнозем суглинковий, рН – 6,8-7,0, вміст азоту, що легко гідролізується – 6,2 мг/100 г ґрунту. В орному шарі ґрунту міститься 186 кг/га азоту. Коефіцієнт використання азоту з ґрунту дорівнює 60-75%. Отже, з ґрунту рослини можуть засвоювати 139,5 кг/га азоту. Для одержання планового врожаю рослинам необхідно додатково

Таблиця 8.

Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті під посівами сої та інших сільськогосподарських культур

Варіант (культура)	Коефіцієнт оліготрофності	Коефіцієнт педотрофності	Коефіцієнт мінералізації-імобілізації
Соя	0,30	0,45	0,60
Люпин	0,41	0,56	0,84
Пшениця	0,94	1,27	1,07
Ріпак	1,20	2,40	1,42

Таблиця 9.

Інтенсивність виділення CO<sub>2</sub> при вирощуванні сої та інших сільськогосподарських культур

Варіант	Інтенсивність виділення CO <sub>2</sub> /мкг/г година
Соя	7,5
Люпин	6,9
Пшениця	4,3
Ріпак	3,1

Примітка:  $x/P = 0,05$ ;  $t_{st} = 2,99$

Таблиця 10.

**Розрахунок норм мінеральних добрив із урахуванням симбіотрофного живлення сої під урожай зерна 2,5 т/га**

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, г/га	73,0	60,1
Засвоєння азоту за рахунок симбіозу:		
%	50,0	—
кг/га	106,2	—
Засвоєння фосфору за рахунок фосфатмобілізуючих мікроорганізмів:		
%	—	25,0
кг/га	—	17,8
Нестача мінеральних добрив для запланованого урожаю, кг/га	—	42,3

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.

Однак, незважаючи на високу ефективність азотфіксації в симбіозі, в масштабах біосфери їх внесок у загальний баланс «біологічного» азоту порівняно невеликий, що обумовлено обмеженістю поширення таких спільнот. Навіть у агроекосистемах частка бобових культур не перевищує 10% загальної площі посівів сільськогосподарських культур, а в природних фітоценозах бобові рослини присутні лише на перших етапах сукцесій і їх практично немає в кліматичних екосистемах [15].

Найбільшої уваги тут заслуговують шляхи управління мікроорганізмами, що населяють прикореневу і кореневу зону рослин. Цей напрям став інтенсивно розвиватися в провідних країнах світу понад 40 років, тому отримав назву *асоціативної*

*азотфіксації*, яка є масштабніша, ніж симбіотична [10,17]. Проведені багаторічні дослідження застосування діазотрофів при вирощуванні злакових культур дозволяють стверджувати, що в сучасних умовах за рахунок азотфіксації можна одержати приріст врожаю на рівні застосування 30 кг/га мінерального азоту і більше [20,21, 28].

Інтродукція діазотрофів у ризосферу озимої пшениці сприяє підвищенню вмісту загального азоту у ґрунті ризосфери і у фітомасі, але не повністю покриває потребу рослини у цьому елементі [1,10,22]. Препарати на основі діазотрофів сприяють підвищенню врожайності озимої пшениці 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 Діазофит рекомендований при вирощуванні пшениці, рису, ріпаку, а для ячменю – Ризоентерін (табл.11).

Важливо підкреслити, що асоціативні азотфіксуючі бактерії володіють стимулюючим ефек-

Таблиця 11.

**Ефективність діазофіту у різних ґрунтово-кліматичних зонах**

Країна	Культура	Приріст врожаю, т/га	% приріст до контролю
Китай	Пшениця	1,1	24
В'єтнам	Рис	0,75	27
Індія	Пшениця	0,6	22
Росія	Пшениця	0,25	11
Україна	Пшениця	0,36	14

том, завдяки здатності синтезувати рістрегулюючі речовини (ауксини, гібереліни, цитокініни тощо) в кількостях, обумовлених біорегуляторними механізмами з рослиною [26, 27]. У цьому полягає велика перевага їх перед синтетичними стимуляторами росту.

Інтенсифікація сільського господарства призводить до накопичення фітопатогенного комплексу мікроорганізмів у ґрунті, які знижують азотфіксуєнню спроможність сільськогосподарських культур [8], тому інтродукція у агроєкоценози агрономічно цінних мікроорганізмів є одним із шляхів вирівнювання природної рівноваги, необхідної для забезпечення оптимальних умов реалізації продуктивного потенціалу рослин [26].

У системі контролю чисельності фітопатогенів важлива роль відводиться мікроорганізмам, які проявляють антагонізм до збудників хвороб рослин, проте не пригнічують розвиток агрономічно цінних штамів. Здатність бактерій пригнічувати фітопатогени може бути зумовлена як високою швидкістю зайняття своєї екологічної ніші в ризосфері [26], так і біосинтезом антибіотиків чи інших антифунгальних метаболітів. Біосинтез антифунгальних факторів може індукуватись у ризосфері рослин, які екскретують велику кількість органічних кислот.

З іншої боку, фітопатогенні бактерії виявляють полівалентну чутливість щодо пестицидів, які також є інгібіторами азотфіксуючого потенціалу рослин. Адаптивні препарати інсектицидного та фунгіцидного спрямування не лише зменшують загальну чисельність азотфіксаторів [11], а й інгібують гени, що обумовлюють азотфіксуєнню здатність [24].

Дослідження інсектицидів та гербіцидів, що дозволені до використання в Україні [16], за умов внесення їх в агаризоване поживне середовище

продемонструвало відсутність чіткої антибактеріальної дії стосовно збудників бактеріозів пшениці, особливо з роду *Pseudomonas*. Дієвими відносно них є препарати фунгіцидного спрямування Делан, Полірам, Ридоміл Голд причому, як у рекомендованій, так і десятиразово зменшеній дозі. Такі фунгіциди як Карамба, Шавіт та Альєт пригнічують ріст фітопатогенних бактерій лише у дозі, збільшеній в десять разів від рекомендованої. Інші фунгіциди впливають слабо або ж взагалі не діють на збудники бактеріозів пшениці. Проте у рідкому поживному середовищі фітопатогенні бактерії виявляють більшу чутливість до досліджених пестицидів, наприклад, збудник чорного бактеріозу пшениці *X. translucens* 3164. Збудники базального бактеріозу (*P. syringae* pv. *atropaciens* PDDCC 4394), бактеріального опіку чи плямистості (*P. syringae* pv. *syringae* NCPPB 281) в умовах рідкої фази середовища є чутливими до препаратів Фалькон, Фолікур, Твікс і менш чутливими до інсектициду Альфа супер та гербіциду Гранстар, а епіфітний штам *P. agglomerans* ПЗ24 чутливий до всіх досліджених пестицидів, крім Гранстара. Тобто, за нашими даними, більшість досліджених пестицидів не повністю пригнічують розвиток збудників бактеріозів пшениці. У зв'язку з цим необхідно враховувати порушення екологічної рівноваги мікробіоти, що оточує рослину при використанні хімічних засобів захисту.

#### Висновки.

Широкомасштабне застосування екологічно доцільних технологій з використанням мікробних препаратів азотфіксуючих мікроорганізмів, зменшення агрохімічного навантаження є важливою перспективою одержання високоякісної конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції, збереження родючості ґрунту та навколишнього середовища.

#### Література

1. Волкогон В.В. Ассоциативные азотфиксирующие микроорганизмы // В.В.Волкогон. – Микробиологический журн. – 2000. – Т. 62, № 2. – С. 51–68.
2. Державна служба статистики України. Внесення мінеральних та органічних добрив під урожай сільськогосподарських культур у 2011 р. / відп. за випуск О.М. Прокопенко. – К., 2012. – 52 с.
3. Державна служба статистики України. Внесення мінеральних та органічних добрив під урожай сільськогосподарських культур у 2011 р. / відп. за випуск О.М. Прокопенко. – К., 2013. – 52 с.
4. Державна служба статистики України. Збір урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України за 2011 р. / відп. за випуск О.М. Прокопенко. – К., 2012. – 136 с.
5. Державна служба статистики України. Збір урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України за 2012 р. / відп. за випуск О.М. Прокопенко. – К., 2013. – 136 с.
6. Коць С.Я. Біологічна фіксація азоту та її значення в азотному живленні рослин // С.Я.Коць, В.П. Патица. – Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку: т. 1. / НАН України, Ін-т фізіології рослин і генетики, Укр. т-во фізіологів рослин; голов. ред. В.В. Моргу́н. – К.: Логос, 2009. – С.344–386.
7. Коць С.Я. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобияльный симбиоз: // С.Я.Коць, В.В.Моргу́н, В.Ф.Паты́ка, [та ін.], монографія: в 4-х т. / том 1/. – К.: Логос, 2010. – 508 с.
8. Коць С.Я. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобияльный симбиоз: // С.Я.Коць, В.В.Моргу́н, В.Ф.Паты́ка, С.М.Маличенко, [та ін.], монографія: в 4-х т. – Т. 2. – К.: Логос, 2011. – 523 с.
9. Коць С.Я. Биологическая фиксация азота: генетика азотфиксации, генетическая инженерия штаммов: // С.Я.Коць, В.В.Моргу́н, В.Ф.Паты́ка, С.М.Маличенко, [та ін.], монографія: в 4-х т. – Т. 3. – К.: Логос, 2011. – 404 с.
10. Коць С.Я. Биологическая фиксация азота: ассоциативная азотфиксация // С.Я.Коць, В.В.Моргу́н, В.Ф.Паты́ка, С.М.Маличенко, [та ін.], монографія: в 4-х т. – Т. 4. – К.: Логос, 2011. – 412 с.
11. Круглов Ю.В. Микрофлора почвы и пестициды // Ю.В.Круглов. – М.: Агрпромиздат, 1991. – 127 с.
12. Мишустин Е.Н. Биологическая фиксация атмосферного азота // Е.Н.Мишустин, В.К. Шильникова. – М., 1968. – 530 с.
13. Нова стратегія виробництва зернових та олійних культур в Україні / В.Ф. Петриченко, М.Д. Безуглий, В.М. Жук, О.О. Іващенко. – К.: Аграр. Наука, 2012. – 48 с.



14. Патица В.П. Біологічний азот // В.П.Патица, С.Я.Коць, В.В.Волкогон, О.В.Шерстобоева, [та ін.]. – Київ: Світ, –2003. – 424 с.
15. Патыка В.Ф. Биологический азот и новая стратегия производства продукции растениеводства в Украине // В.Ф. Патыка– Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка: Серія біологія. – 2014. – №3 (60). – С.10-15.
16. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. – К.: Юніверст Медія, 2014. – 832 с.
17. Петриченко В.Ф., Сільськогосподарська мікробіологія і збалансований розвиток агроєкосистем // В.Ф.Петриченко, І.А.Тихонович, С.Я.Коць, М.В.Патица, [та ін.]. – Вісник аграрної науки. – 2012. – №8. – С.5-11.
18. Тихонович І.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агроєкосистем будущего / И.А.Тихонович, Н.А.Проворов. – СПб, 2009. – 211 с.
19. Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация // М.М. Умаров. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 132 с.
20. Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве // М.М.Умаров, А.В.Кураков, А.Л. Степанов. – М.: ГЕОС, 2007. – 138 с.
21. Dobereiner J. Dinitrogen fixation in rhizosphere and phyllosphere association // Dobereiner J. – Inog. Plant Nutr. Berlin e.a. – 1983. – P.330-350.
22. Eckert B. *Azospirillum dobereineriae* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with the C<sub>4</sub>-grass *Miscanthus* // Eckert B., Weber O.B., Kirchhof G., Halbritter A., Stojfels M., Hartmann A. – Intern. J. Syst. Evol. Microbiol. – 2001. – Vol. 51, N 1. – P. 17-26.
23. Frans J. de Bruijn (Editor) *Biological Nitrogen Fixation, 2 Volume Set.*, Wiley-Blackwell. // Frans J. de Bruijn– 2015. – 1260 p. <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118637046.html>.
24. Kapulnik Y. Plant growth promoting by rhizosphere bacteria // Plant Roots. The Hidden Hals / Kapulnik Y., Eds. Waisel Y., Eshel A., Kafkafi U. New York: Marcel Dekkers, – 1996. – P.769-781.
25. Khudhur A. M., Askar K. A. Effect of some pesticides on growth, nitrogen fixation and nif-genes in *Azotobacter chroococcum* and *Azotobacter vinelandii* isolated from soil / Aras Mohammed Khudhur and Kasim Abass Askar // Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences – 2013 – Vol. 5(9), September – pp. 166-171.
26. Lugtenberg B.J.J., de Weger L.A., Bennett J.W. Microbial stimulation of plant growth and protection from disease // Lugtenberg B.J.J., de Weger L.A., Bennett J.W. – Curr. Opin. Microbiol. –1991. – V.2. – P.457-464.
27. Manabu Itakura. Mitigation of nitrous oxide emissions from soils by *Bradyrhizobium japonicum* inoculation // Manabu Itakura, Yoshitaka Uchida, Hiroko Akiyama, Yuko Takada Hoshino, Yumi Shimomura, Sho Morimoto, Kanako Tago, Yong Wang, Chihiro Hayakawa, Yusuke Uetake, Cristina Sónchez, Shima Eda, Masahito Hayatsu & Kiwamu Minamisawa. – Nature Climate Change. – 2013. – №3. – P.208-212.
28. 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.

**Патыка В.Ф., Гнатюк Т.Т., Булеца Н.М., Кириленко Л.В.**

#### **Биологический азот в системе земледелия**

Освещаются основные подходы к активизации растительно-микробного взаимодействия, в частности биологической фиксации азота. Биологическая фиксация азота является мощным фактором в системе сохранения и воспроизводства плодородия почв, повышения продуктивности агроценозов. Показано, что стабилизирующей основой большинства технологий выращивания зерновых культур являются бобовые растения, доля которых в структуре посевных площадей должна составлять 25-40%. Значительное внимание уделяется вопросу исследования микрофлоры почвы под посевами растений, которые являются реагентами на воздействие внешних факторов и индикаторами состояния экосистемы и сукцессионных процессов, в ней происходящих. Широкомасштабное применение экологически целесообразных технологий с использованием микробных препаратов азотфиксирующих микроорганизмов и снижение агрохимической нагрузки является важной перспективой получения высококачественной конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции, сохранения плодородия почвы и окружающей среды.

**Ключевые слова:** растительно-микробное взаимодействие, биологическая азотфиксация, микроорганизмы-азотфиксаторы, симбиотическая и ассоциативная азотфиксация, микробные препараты

**Patyka V.P., Gnatiuk T.T., Buletsa N.M., Kyrylenko L.V.**

#### **Biological nitrogen in the farming system**

Highlights key approaches to stimulate plant-microbe interactions, in particular biological nitrogen fixation. Biological nitrogen fixation is a powerful factor in the preservation and reproduction of soil fertility, increase productivity agrotocenozov. It is shown that stabilizing the foundation of most technologies for growing crops are legumes, which share in the structure of sown areas should be 25-40%. Considerable attention is paid to the study of the microflora of the soil under the sowing of the plants, which are the agents of the effect of external factors and indicators of ecosystem status and succession processes taking place in it. The widespread use of environmentally safe technologies using microbial preparations nitrogen-fixing microorganisms is an important prospect of obtaining high-quality competitive agricultural production, soil conservation and the environment.

**Keywords:** plant-microbe interactions, biological nitrogen fixation, nitrogen-fixers microorganisms, symbiotic, and associative nitrogen fixation, microbial preparations.

**Рецензенти**

Дегодюк Е.Г. – д. с.-г. н.

Драч Ю.О. – к. с.-г. н.

Стаття надійшла до редакції 05.06.2015 р.