

УДК 635.652:631.847:504:631.95

**Цибрій-Сівак Н. В.**

аспірантка,

Заклад вищої освіти «Подільський державний аграрно-технічний університет»  
Кам'янець-Подільський, Україна

**Бахмат М. І.**

викладач,

професор, доктор сільськогосподарських наук  
Заклад вищої освіти «Подільський державний аграрно-технічний університет»  
Кам'янець-Подільський, Україна

*E-mail:* natashathcbrij@gmail.com, mibahmat@gmail.com

*ORCID:* 0000-0001-6316-561X

## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ АЗОТФІКСАЦІЇ КВАСОЛІ ЗВИЧАЙНОЇ

### Анотація

Сучасні світові напрями формування продовольчих ресурсів повинні спрямовуватися на вирішення проблеми білка. Зменшення виробництва високобілкових продуктів харчування тваринного походження, а також висока собівартість їх виробництва зумовлюють необхідність збільшення виробництва білка рослинного походження, у тому числі за рахунок квасолі, попит на яку в останні роки значно зріс. Квасоля сьогодні є однією з найприбутковіших сільськогосподарських культур.

Високі темпи виробництва квасолі звичайної та зростаючий попит на ринку України допоможуть вирішити завдання щодо збільшення виробництва зерна з умістом рослинного білка, а також поповнення запасів ґрунту атмосферним органічним азотом та стабілізації економіки у цілому.

**Ключові слова:** квасоля звичайна, передпосівна обробка насіння, насіння, штами *Rhizobium phaseoli*, урожайність, якість зерна, економічна та енергетична ефективність.

**Вступ.** Сьогодні важливе завдання – забезпечити людей якісним та збалансованим харчуванням за допомогою білкових продуктів рослинного походження. Переважно це пов'язано зі значним скороченням виробництва продуктів тваринного походження з високим умістом білка, тому велику увагу слід приділити проблемі збільшення валового збору протеїну бобових культур, особливо квасолі.

Значний вплив на отримання високого рівня врожайності та використання потенціалу, що біологічно закладений, має вибір нових, перспективних і вдосконалених сортів, а також упровадження сучасних агротехнологій та ресурсозберігаюче й екологічне значення біологічної азотфіксації квасолі звичайної.

Погодні умови також відіграють важливу роль. За кілька років уміст білка в насінні квасолі збільшився на 5% і більше. Погодні умови, що складаються під час зростання та розвитку рослин, більшою мірою впливають на рівень білка, ніж агротехнічні процеси. Даний факт підтвердився й у наших дослідженнях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під час вирощування квасолі тривалість вегетаційного періоду має велике значення, оскільки ріст, розвиток та формування врожаю цієї культури можуть тривати від 60 до 130 діб. Установлено, що тривалість вегетаційного періоду залежить від генетичних особливостей сорту, екологічних умов регіону та застосування конкретних елементів технології вирощування. За тривалістю вегетаційного періоду (від з'явлення сходів до першого збору бобів у технічній стиглості) сорти квасолі поділяють на ранні (до 45 діб), середньостиглі (46–55), середньопізні (56–65) та пізньостиглі (понад 65 діб). Подовження тривалості вегетації рослин квасолі, як правило, негативно впливає на розвиток рослин квасолі звичайної. Учені стверджують, що процес формування квіток, тривалість цвітіння, запліднення і формування бобів повною мірою залежать від кліматичних чинників. Найкращі умови для запліднення спостерігаються за температури повітря 20–27°C і вологості 45–60%. Як правило, тривалість періодів «сходи – цвітіння» і «цвітіння – дозрівання» у квасолі майже однакова, із деякими коливаннями. Цвітіння у дуже ранньостиглих генотипів зазвичай починається на 28–30-ту добу, у пізньостиглих – на 55–57-му. У період цвітіння і на початку наливання бобів надземна маса квасолі починає розвиватися більш інтенсивно і накопичує ще 30% сухої речовини. Хоча ріст рослин після кінця цвітіння майже припиняється, нагромадження сухої речовини триває до повної стиглості насіння, і за цей період ще додається її до 40%. Дощова і прохолодна погода гальмує цвітіння, спричиняє обпадання бутонів і стерильність квіток.

**Мета.** Сучасні сорти квасолі зернової мають досить високий рівень розвитку і за оптимальної системи удобрення можуть забезпечити отримання сталих і високих урожаїв. Тому основним завданням наших досліджень було вивчити вплив удобрення та інокуляції на структуру врожаю квасолі зернової та її продуктивність.

**Методика дослідження.** У статті описано застосування мінеральних добрив та застосування інокуляції насіння квасолі. Дефіцит білка в усьому світі знижується за рахунок використання білків тваринного походження. В умовах реформування агропромислового комплексу України та скорочення виробництва тваринної продукції великого значення набуло виробництво високобілкових продуктів рослинництва. Як наслідок, за останні роки різко виріс попит на насіння зернобобових культур. Технології використання добрив та вирощування квасолі є одним із найбільш ефективних заходів підвищення її врожайності. Установлено, що оптимізована система удобрення з урахуванням потреби рослин у поживних речовинах за етапами органогенезу може забезпечити найвищу врожайність культури. Квасолі відносять до культур, вимогливих до поживного режиму ґрунту. На думку низки вчених, квасоля є найвимогливішою до родючості ґрунту серед зернобобових і досить чутлива до внесення мінеральних добрив. Підтвердження цього висновку знайшло і в наших дослідженнях.

**Результати досліджень.** Вегетаційний період досліджуваних середньостиглих сортів квасолі варіював від 93 до 113 діб залежно від удобрення та інокуляції насіння. Сорт Ластівка досягав раніше за інші, і період вегетації в нього був на 8–10 діб коротший. Застосування інокуляції насіння подовжувало період вегетації сортів квасолі порівняно з варіантами без інокуляції насіння на різному фоні удобрення на 3–5 діб. Збільшення азотних добрив до 60 кг/га подовжувало вегетацію досліджуваних сортів квасолі на 8–13 діб. За внесення азотних добрив у нормі від 45 до 60 кг/га на тлі підвищення РК період вегетації був однаковим як у варіантах із застосуванням інокуляції, так і без неї. Разом із цим внесення азотних добрив у нормі від 45 до 60 кг/га на тлі РК призводило до пригнічення нітрогеназної активності бульбочок на коренях досліджуваних сортів квасолі, і живлення рослин відбувалося виключно за рахунок мінеральних форм добрив.

Основними чинниками, що впливають на природну високу врожайність сільськогосподарських культур, є сприятливі кліматичні умови, родючість ґрунту, структура мікробного комплексу, відсутність збудників захворювань різної етіології тощо. Зокрема, ґрунтознавцями доведено, що на природний потенціал родючості ґрунту суттєво впливає якісний та кількісний склад його мікрофлори. Дослідження у галузі класичної ґрунтової мікробіології показали, що чисельність, біомаса й таксономічна структура мікробного комплексу ґрунту залежать від багатьох чинників. Уведення ґрунту в активне землекористування призводить до значних змін цих показників. За тривалого використання земель ці зміни накопичуються. При цьому вплив даних чинників на формування мікробного комплексу й у цілому на якість ґрунту мало вивчений, хоча від цього залежить система заходів, що забезпечують гомеостаз ґрунтів, а також їхню високу продуктивність. Із вищезазначеного можна дійти висновку, що вирішення питання знаходиться, передусім, у площині вивчення ґрунтових мікроорганізмів і аналізі характеру їх взаємодії з рослинами. Усі механізми управління найважливішими біосферними процесами закладені в природі: азотфіксація, фосфатмобілізація, антагонізм мікроорганізмів до фітопатогенів, синтез багатьма ґрунтовими мікроорганізмами біологічно активних речовин, здатних суттєво впливати на фізіологічний стан рослин та їхній імунітет, викликати епізоотії у шкідників сільськогосподарських культур тощо. Активізація рослинно-мікробної взаємодії є потужним чинником підвищення продуктивності агроценозу, хоча в сільськогосподарській практиці використовується недостатньо [1].

Одним із актуальних напрямів розвитку екологічного землеробства є створення мікробних біотехнологій, що сприяють інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та збереженню родючості ґрунтів. Для сучасної системи землеробства велике значення мають мікробіологічні чинники, використання яких дає можливість істотно підвищити родючість ґрунту і ступінь реалізації генетичного потенціалу культурних рослин. Ґрунтова мікрофлора – обов'язковий компонент будь-якого агрофітоценозу, де між рослинами і мікроорганізмами відбуваються молекулярні взаємодії, суть яких полягає в обміні метаболітами та їх трансформації. Мікроорганізми сприяють формуванню у ризосферній зоні фонду доступних рослині поживних речовин і фізіологічно активних сполук, регулюючих метаболізм та взаємини між партнерами. До складу метаболітів ризосферних мікроорганізмів входять також антибіотичні речовини, які пригнічують розвиток фітопатогенів. Очевидно, що спектр механізмів взаємодії партнерів агрофітоценозу знаходиться під впливом різних екологічних чинників і може ефективно здійснюватися за оптимальних умов [2].

Необхідною умовою розвитку екологічного землеробства є створення методів і технологій формування, підтримки та ефективного функціонування високоінтегрованих мікробно-рослинних систем, що поєднують у собі корисні властивості і рослин, і мікроорганізмів. Перспективним із цього погляду є створення у ґрунті багатокомпонентних систем, що відтворюють оптимальні природні агрофітоценози і забезпечують високу стійкість землеробства. Дослідження, спрямовані на створення високопродуктивних агрофітоценозів шляхом селекції активних комплементарних партнерів (рослина + мікроорганізм), актуальні для рослинництва. Підвищення врожайності сільськогосподарських культур значною мірою залежить від їх забезпеченості елементами мінерального харчування, передусім азотом. Джерелом екологічно безпечного біологічного азоту в ґрунті є мікроорганізми, здатні фіксувати молекулярний азот атмосфери [3].

У практиці сільського господарства біологічних препаратів, створених на основі азотфіксуючих мікроорганізмів і ризобактерій, що стимулюють ріст рослин (plant growth-promoting rhizobacteria – PGPR-бактерій), є одним із технологічних прийомів, що сприяють підвищенню врожаю культурних рослин і накопиченню у ґрунті біологічного азоту. Перспективні також дво-, три- і чотирикомпонентні мікробні препарати, що включають бульбочкові

бактерії, ризобактерії, мікоризні гриби і біологічно активні речовини. PGPR-бактерії характеризуються низкою позитивних (прямих і опосередкованих) ефектів дії на рослини, серед яких визначальними є здатність до фіксації молекулярного азоту атмосфери, синтез речовин гормональної природи, а саме: ауксинової, гіббереллінової, цитокінінової, вітамінів, речовин антибіотичної і антифунгальної природи, здатність до мобілізації важкорозчинних фосфатів ґрунту і розкладання шкідливих хімічних сполук [4].

Багато мікроорганізмів, асоційованих із рослинами, здатні синтезувати речовини фітогормональної природи, необхідні їм як для власного розвитку, так і для встановлення зв'язків із рослинами та іншими ґрунтовими мікроорганізмами. Утворення гормонів – одне з важливих властивостей ризосферних, епіфітних і симбіотичних бактерій, стимулюючих ріст рослин. Стимулююча дія ризосферних мікроорганізмів на ріст рослин пов'язана з активізацією асоціативної і симбіотичної азотфіксації та фізіологічних процесів у рослинах, поліпшенням мінерального, у тому числі азотного, харчування, збільшенням нагромадження біологічного азоту в них [5].

PGPR-штами бактерій стимулюють ріст і розвиток рослин не лише за рахунок утворення біологічно активних речовин, а й за рахунок здатності до азотфіксації, поліпшення водного і мінерального живлення рослин, запобігання або зменшення росту фітопатогенів завдяки можливості синтезувати речовини бактерицидної і фунгіцидної дії. До комплексу позитивних ефектів, наданих PGPR-бактеріями на рослину, належить і їхня здатність трансформувати недоступні сполуки фосфору, що містяться у ґрунті. Мікроорганізми, що розчиняють фосфати, сприяють росту і розвитку рослин. До опосередкованих ефектів впливу PGPR-бактерій на рослини відноситься здатність мікроорганізмів синтезувати речовини, що володіють антибактеріальною і фунгітоксичною дією. Однією із властивостей ризосферних мікроорганізмів є їхня здатність до синтезу екзополісахаридів (ЕПС), що забезпечують в'язкість і дають бактеріям можливість агрегуватися з іншими ґрунтовими мікроорганізмами, утворюючи асоціації, прилипати до різних ґрунтових і рослинних тканин, захищати клітину від дії чинників навколишнього середовища. Азотфіксуючі ризобактерії чинять вплив на стійкість рослин до абіотичних стресових чинників. Комплекс позитивних ефектів впливу PGPR-бактерій на рослини і ґрунт широко використовується у практиці рослинництва, а саме у застосуванні бактеріальної інокуляції насіння або обробці рослин у період вегетації [4].

Позитивний ефект бактеризації насіння залежить від низки чинників: активності штаму мікроорганізму, концентрації суспензії клітин, кількості біологічно активних речовин у суспензії, тривалості обробки насіння, виду рослин, стану аборигенної мікрофлори в момент посіву, особливостей ґрунту, умов агротехнічного комплексу. Установлено, що набагато успішніше відбувається інтродукція штамами, спочатку ізольованими з ризоплани або ризосфери того ж виду рослин. Одним із прийомів, що використовуються для підвищення реалізації біологічного потенціалу рослин і мікроорганізмів агрофітоценозів, є комплексна бактеризація насіння. Препарати полівалентної дії на основі композицій кількох мікроорганізмів за умови індивідуального комплементарного підбору характеризуються більшими стабільністю та ефективністю у різних агрокліматичних умовах. Використання у сільськогосподарському виробництві мінеральних добрив має значний вплив на розвиток мікроорганізмів у ризосфері культурних рослин і ефективність інокуляції насіння ризобактеріями [6].

Уміст азотних добрив у ґрунті впливає на азотфіксуючу здатність мікроорганізмів. Застосування способу інокуляції насіння бактеріальними препаратами на основі азотфіксуючих ризобактерій сприяє збільшенню продуктивності сільськогосподарських культур, зниженню кількості внесених азотних добрив і підвищенню родючості ґрунту за рахунок активного розвитку агрономічно корисної групи ризосферних діазотрофних мікроорганізмів. Для отримання нових штамів ризобактерій використовують традиційні методи аналітичної селекції, проводячи скринінг мікроорганізмів за властивостями, корисними для рослини (наприклад, висока азотфіксуюча активність, здатність синтезувати фітогормони, трансформувати фосфати, здійснювати біоконтроль над розвитком, хвороб та ін.), а також методи хімічного і транспозонового мутагенезу [2].

Різноманітність природних форм ґрунтових мікроорганізмів дає змогу виділяти їхні нові штамми з агрономічно корисними властивостями, адаптовані до кореневих виділень тих чи інших сільськогосподарських рослин, невибагливі до умов існування, з високою активністю зростання, за рахунок чого вони здатні легко інтродукуватися у ризосферу культурних рослин. Пошук і виділення з різних ґрунтів і ризосфери рослин методом аналітичної селекції нових штамів мікроорганізмів, що характеризуються високою азотфіксуючою активністю, і створення на їхній основі бактеріальних препаратів під культури є актуальним напрямом сільськогосподарської біотехнології. Практичне застосування у сільськогосподарському виробництві препаратів асоціативних мікроорганізмів активізує ріст і розвиток рослин, сприяє суттєвому підвищенню врожайності і вмісту білка, дає змогу знизити кількість внесених мінеральних добрив. Продуктивність процесу асоціативної азотфіксації можна значно підвищити цілеспрямованим підбором генотипів рослин, чутливих до інокуляції активними штамми асоціативних діазотрофів, і більш повною реалізацією потенціалу азотфіксації внесенням у ґрунт фізіологічно оптимальних доз мінерального азоту, обробкою мікроелементами і стимуляторами росту рослин [7].

Розрізняють декілька механізмів впливу рістстимулюючих ризобактерій на рослини: збільшення фіксації атмосферного азоту і його надходження у рослини за рахунок функціонування бактеріальної нітрогенази; трансформація важкорозчинних сполук, передусім фосфорних, у легкозасвоювані для рослин завдяки функціонуванню бактеріальних фосфатаз; підвищення асиміляції нітратів за рахунок активності бактеріальної нітратредуктази; синтез мікроорганізмами фізіологічно активних речовин (гормонів, вітамінів, амінокислот та ін.),

що здійснюють пряму гормональну регуляцію росту рослин; здатність мікроорганізмів до синтезу екзополісахаридів природними прилипаками бактерій до рослинних тканин і ґрунтових частинок; колонізація ризосфери і біоконтроль зараження рослин патогенами за рахунок здатності бактерій до синтезу речовин антибіотичної і фунгітоксичної дії; зміна проникності мембран клітин кореневих тканин та збільшення поглинальної здатності коренів рослин. Таким чином, застосування бактеріальних препаратів на основі рістстимулюючих ризобактерій як елемента екологічного землеробства в технологіях вирощування квасолі дає змогу значно знизити хімічне навантаження на екосистеми внаслідок зменшення кількості застосовуваних мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин, призводить до підвищення врожайності і поліпшення якості екологічно безпечної сільськогосподарської продукції [4].

Землеробству приділяється мало уваги у біогенній фіксації атмосферного азоту в різних формах як потужному чиннику підтримання родючості ґрунтів, економії азотних добрив і екологічної безпеки. Провідна роль у цьому належить квасолі звичайній, яка завдяки симбіотичній фіксації азоту формує порівняно високі врожаї, синтезує найдешевший, біологічно повноцінний рослинний білок без азотних добрив [8].

Одним з основних елементів формування врожаю, а також важливим чинником відтворення родючості ґрунтів є азот, тому проблема його балансу та перетворень в агроекосистемах є важливим складником розроблення сучасних енергозберігаючих екологічних технологій у сільському господарстві. Надходження азотних сполук у ґрунт переважно відбувається за рахунок органіки, симбіотичної та несимбіотичної (асоціативної) азотфіксації та у вигляді мінеральних добрив (синтетичного продукту промислового зв'язування молекулярного азоту). У традиційних технологіях головна увага приділялася кількісним показникам забезпечення ґрунту азотомісними речовинами, а тому в агрономічних системах живлення квасолі виняткова роль належала органічним та мінеральним добривам. Такий підхід був і залишається визначальним, оскільки дає змогу оперативно та масштабно впливати на рівень урожайності. При цьому азотфіксація мікроорганізмами є планетарним процесом, який тісно взаємопов'язаний із процесами фотосинтезу, дорівнює йому за масштабом і значенням у природі. Загальна продуктивність біологічної азотфіксації становить 270–330 млн т/рік, у тому числі 160–170 млн т/рік належить суходолу. У глобальному вимірі лише 5% зв'язуваного азоту належить промисловості у перерахунку на аміак [9].

Для розуміння процесу азотфіксації і практичного його використання в агротехнологіях великого значення набуває механізм його дії у природних умовах. Перенесення природної азотфіксації у сферу виробничої діяльності людини наближує її до функціональних властивостей самої природи [10].

У землеробства існує чотири загальновідомі способи отримання ґрунтами зв'язаного азоту: симбіотична фіксація, асоціативна азотфіксація, надходження з опадами і внесення добрив. Інокуляція насіння квасолі звичайної бактеріями, переважно роду *Rhizobium*, створює умови інтенсивної азотфіксації за достатнього мінерального живлення рослин. Явище асоціативної азотфіксації поширене в кореневій системі практично кожного виду рослин. Вільноживучі азотфіксувальні бактерії відносяться до видів асоціативних бактерій, що можуть існувати у ґрунті за рахунок елементів живлення та енергії, що міститься безпосередньо в ґрунті, тоді як симбіотичні – лише в ризосфері бобових культур.

Створити функціональну систему життєдіяльності ґрунту як живого тіла здатна технологія максимального залучення у біологічний кругообіг вторинної продукції рослинництва, сидеральної культури і нового покоління органо-мінеральних біоактивних добрив і біопрепаратів, що забезпечать відтворення процесу синтезу – деструкції органічної речовини ґрунту, які майже суцільно порушені, та максимальне залучення для потреб рослини атмосферного азоту [11].

Джерелом як мінерального, так і біологічного азоту є атмосферний азот. Тому використання біологічного азоту в землеробстві можливе завдяки стабілізації землекористування, оптимізації структури посівних площ та створенню й упровадженню високоефективних ресурсозберігаючих технологій, які спрямовуються на реалізацію природного потенціалу агроекосистем і ґрунтуються на ефективному використанні їхніх біологічних можливостей. У землеробстві приділяється мало уваги біогенній фіксації атмосферного азоту в різних формах як потужному фактору підтримання родючості ґрунтів, економії азотних добрив та екологічної безпеки. Провідна роль у цьому належить квасолі звичайній, яка завдяки симбіотичній фіксації азоту формує порівняно високі врожаї, синтезує найдешевший, біологічно повноцінний рослинний білок без азотних добрив [12].

Азотфіксувальні мікроорганізми можуть засвоювати з повітря від 40 до понад 300 кг азоту на гектар за рік. Цей процес не забруднює довкілля і не потребує значних енергетичних витрат. Про значущість біологічної азотфіксації свідчить той факт, що у світовій практиці сільського господарства щороку в ґрунт із мінеральними добривами вноситься 35 млн т азоту, тоді як за цей самий час рослини поглинають із ґрунту приблизно 75 млн т цього елемента. Різниця між цими кількостями покривається завдяки діяльності мікробів-азотфіксаторів, насамперед бульбочкових бактерій, які зв'язують молекулярний азот у легкозасвоювані для рослин форми. Бульбочкові бактерії селяться на корінні квасолі звичайної, ініціюють утворення корневих бульбочок, після чого між рослиною і бактеріями виникає симбіоз (рис. 1): бактерії зв'язують молекулярний азот атмосфери, передають його рослині, яка, своєю чергою, забезпечує їх іншими поживними речовинами [12].

Вивчення питання біологічної азотфіксації квасолі є досить актуальним у сучасних умовах господарювання і потребує ефективних заходів збільшення виробництва продукції за економії енергетичних ресурсів за рахунок



Рис. 1. Кореневі бульбочки квасолі (*Glycine max* (Merr.))

дешевого природного джерела. Залучення азоту з повітря у кругообіг поживних речовин бобовими фітоценозами забезпечує поліпшення екологічного стану навколишнього середовища. Біологічна азотфіксація існувала на перших стадіях розвитку живої матерії й особливо тісно пов'язана з розповсюдженням на Землі рослинності. Необхідність азоту повітря для росту рослин виявилася тільки з розвитком землеробства. Навряд чи у житті рослин є інший біохімічний процес, подібний до процесу азотфіксації, вивчення якого б мало стільки загадковості й таємниць, широких горизонтів та перспектив у практиці сільськогосподарського виробництва. Незважаючи на дефіцит азоту, від якого потерпають рослини і деякі тварини, із повітря його можуть використовувати лише бактерії, які мають високий коефіцієнт розмноження: швидко пристосовуючись до середовища, вони здатні синтезувати різноманітні хімічні сполуки. Біологічна азотфіксація – найбільш повільноплинний процес у кругообігу азоту в природі. Про це свідчать практично невичерпні запаси газоподібного азоту в атмосфері й відносна нестача сполук азоту в ґрунті. Питання кругообігу та балансу азоту в агроекосистемах є актуальним для різних галузей аграрної науки. Причина полягає у тому, що азот та його сполуки в природі виступають життєво необхідними чинниками існування людини на Землі [13].

Ще донедавна використання агрофітоценозів здійснювалося на основі науково обґрунтованих систем землеробства. При цьому ефективність оцінювалася за величиною акумульованої в урожаї енергії. У сучасних умовах інтенсивного зростання та ускладнення форм впливу екологічних і антропогенних чинників на агроекосистему вчені почали звертати увагу на процеси, які відбуваються у системі «ґрунт – рослина – приземна атмосфера», оцінювати ефективність їх перебігу. Одним із глобальних процесів, що проходить в агрофітоценозах із бобовими культурами, є біологічна фіксація атмосферного азоту у симбіозі з мікроорганізмами. Біологічний азот дає змогу з найменшими ресурсозатратами розв'язати питання підвищення родючості ґрунтів. За даними В.П. Патики, азотфіксація здійснюється за рахунок енергії Сонця і є найбільш ресурсощадним джерелом надходження атмосферного азоту в агроекосистему [14].

Інтерес до проблеми азоту сьогодні пояснюється актуальністю завдань, які стоять перед людством, серед яких – вирішення вічної проблеми білка – важливого складника частини продовольчих ресурсів. Основним надходженням білкових компонентів є квасоля, яка може в симбіозі з бульбочковими бактеріями синтезувати дані білки з вуглекислого газу, води і невеликої кількості неорганічних джерел азоту [15].

Мікроорганізми є необхідною ланкою в кругообігу всіх біогенних елементів, які беруть безпосередню участь у процесах ґрунтоутворення і підтримці родючості ґрунтів. Говорячи про тісну взаємодію мікроорганізмів із культурними рослинами, мається на увазі ризосферні бактерії і мікроскопічні гриби, які розвиваються і функціонують у прикореневій зоні з градієнтом чисельності, що йде від поверхні коріння, де дія рослинного організму на мікроорганізми найсильніша. При цьому здійснюється не лише вплив рослини на розвиток мікроорганізмів, а й дія бактерій та грибів на процеси мінералізації органічних сполук, засвоєння атмосферного азоту, поглинання рослинами поживних речовин, синтез і постачання фітогормонів, вітамінів, антибіотиків та інших фізіологічно активних речовин [16].

Провідна роль у формуванні врожаю рослин належить фотосинтезу як єдиному джерелу синтезу органічних речовин. Тому найважливішим завданням землеробства є розроблення заходів, спрямованих на ефективне використання фотосинтетичної функції рослин, серед яких провідне місце належить ґрунтовому живленню. Особливе значення у цьому контексті набуває забезпеченість рослин азотом. Для порівняння: за нестачі фосфору або калію продуктивність фотосинтезу зменшується на 2%, фосфору і калію – 9%, азоту – на 63% [17].

За рахунок здатності квасолі звичайної вступати в симбіоз зі специфічними для певного виду або групи видів бульбочковими бактеріями вони можуть у ґрунтово-кліматичних умовах України засвоїти за вегетацію близько 125–380 кг/га азоту повітря. Завдяки симбіотичній азотфіксації бобові культури формують високі врожаї дешевого рослинного білка без застосування дорогих, енергоємних та екологічно небезпечних мінеральних азотних добрив. Після збирання врожаю понад 30% біологічного фіксованого азоту залишається у поживних і корневих залишках і використовується наступними культурами. Дослідженнями, проведеними в Україні та за кордоном, встановлено, що бобові культури у симбіозі з бульбочковими бактеріями здатні фіксувати значну кількість азоту: конюшина – 180–670 кг/га, люцерна – 200–460, боби – 100–550, соя – 90–240, горох – 70–160, люпин – 150–450, пасовища з бобовими – 100–260 кг/га [18].

Тому за умов, коли немає можливості виконати один з основоположних законів землеробства – повернути в ґрунт винесені з урожаєм поживні речовини шляхом застосування мінеральних та органічних добрив, виникає потреба у пошуку інших джерел поповнення запасів поживних речовин ґрунту для охорони та відтворення його родючості. Найперспективнішим, урахувавши економічні аспекти, є біологічний азот. Завдяки симбіотичній азотфіксації квасоля звичайна формує високі врожаї дешевого рослинного білка без застосування дорогих, енергоємних та екологічно небезпечних мінеральних добрив [1].

Під час вирощування квасолі поряд із застосуванням мінеральних добрив азотний дефіцит ґрунту значною мірою покривається активізацією біологічних процесів. Сільське господарство, яке має близько 140 млн га ріллі, забезпечує надходження азоту в ґрунти (загалом 29 млн т на рік) із таких джерел (рис. 2):

- мінеральні добрива – близько 9 млн т, що становить 31,0%;
- біологічний азот – близько 13 млн т, що становить 44,8%;
- органічні добрива – 7 млн т, що становить 24,2% [1].



Рис. 2. Джерела збагачення ґрунтів азотом в аграрному секторі

Наявність у сівозміні квасолі дає змогу позитивно вирішувати проблему відтворення родючості ґрунту за рахунок корневих залишків і побічної продукції та поліпшувати азотний режим за її здатністю фіксувати атмосферний азот. За даними літературних джерел, частка біологічно фіксованого азоту всіх бобових культур становить 2/3, або в середньому 67% [9].

Застосування асоціативних азотфіксуючих та фосфатмобілізуючих мікроорганізмів дає змогу рослинам поліпшити живлення завдяки підвищенню коефіцієнта використання мінерального азоту та фосфору з ґрунту, синтезу біологічно активних речовин, які стимулюють як ріст і розвиток кореневої системи, так і рослини у цілому. Біопрепарати на основі азотфіксуючих та фосфатмобілізуючих мікроорганізмів сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур за рахунок трансформації молекулярного азоту атмосфери та нерозчинних фосфорних сполук ґрунту в доступні рослинам форми.

**Висновки.** Для одержання максимальної продуктивності квасолі потрібно використовувати біопрепарати, фітогормони, регулятори росту чи мікроелементи комплексно або послідовно. Коли немає можливості повернути в ґрунт винесені з урожаєм поживні речовини шляхом застосування мінеральних та органічних добрив, виникає потреба у пошуку інших джерел поповнення запасів поживних речовин ґрунту для охорони та відтворення його родючості. Найперспективнішим, урахувавши економічні аспекти, є біологічний азот. Тому активізація процесу азотфіксації є дуже важливою. Він дає змогу економити на внесенні азоту у ґрунт. Використання штамів азотфіксуючих мікроорганізмів для квасолі звичайної стає усе більш доцільним.

#### Список використаних джерел

1. Гриник І.В., Патица В.П., Шкатула Ю.М. Мікробіологічні основи підвищення врожайності та якості зернових культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2011. № 4(63). С. 7–11.
2. Крутило Д.В. Бульбочкові бактерії – гетеротрофний та симбіотрофний способи життя. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2008. С. 147–161.

3. Samavat S., Mafakheri S., Shakouri M.J. Promoting Common Bean Growth and Nitrogen Fixation by the Co-Inoculation of Rhizobium and Pseudomonas Fluorescens Isolates. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012. № 18(3). P. 387–395.
4. Моргун В.В., Коць С.Я., Кириченко Е.В. Рістстимулюючі різобактерії і їх практичне застосування. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2009. Т. 41. № 3. С. 187–207.
5. Leidi E.O., Rodriguez-Navarro D.N. Nitrogen and phosphorus availability as limiting factors of N<sub>2</sub> fixation in common bean. Spain, 1999. P. 1–32.
6. Kouas S., Labidi N., Debez A., Abdelly C. Effect of P on nodule formation and N fixation in bean. *Agron. Sustain. Dev. Tunisia*, 2005. № 25. P. 389–393.
7. Golparvar A.R. Multivariate Analysis and Determination of the Rest Indirect Selection Criteria to Genetic Improvement the Biological Nitrogen Fixation Ability in Common Bean Genotypes (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Genetika*. 2012. Vol. 44. № 2. P. 279–284.
8. Бенцаровський Д.М., Дацько Л.В., Кириченко М.В. Баланс азоту в землеробстві України. *Збірник наукових праць ННЦ «ІЗ УААН». Спецвипуск*. 2006. С. 22–25.
9. Beede S. Improvement of Common Bean for Mineral Nutritive Content at Ciat. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Colombia, 2001. Vol. 1.
10. Дегодюк Е.Г., Дегодюк С.Е. Біологічний азот у землеробстві України. Київ : Інститут землеробства УААН, 2006. С. 13–22.
11. Kjeldahl J. A new method for the estimation of nitrogen inorganic compounds. *Z. Anal. Chem*, 1883. № 22. 366 p.
12. Коць С.Я. Сучасний стан досліджень біологічної фіксації азоту. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2011. Т. 43. № 3. С. 212–225.
13. Кретович В.Л. Біохімія засвоєння азоту повітрям рослин. Москва : Наука, 1994. 167 с.
14. Мікроорганізми і альтернативне землеробство / В.П. Патика та ін. Київ : Урожай, 1993. 174 с.
15. Біологічна фіксація азоту: бобово-різобіальний симбіоз : монографія / С.Я. Коць та ін. Київ : Логос, 2010. Т. 1. 523 с.
16. Грицаєнко З.М., Леонтюк І.Б. Інтенсивність мікробіологічних процесів і врожайність озимої пшениці за дії проділу макі та регулятора росту біолану. Основи формування продуктивності сільськогосподарських культур за інтенсивних технологій вирощування. 2008. 792 с.
17. Шишкану Г.В., Титова Н.В. Фотосинтез плодів рослин. Кишинів : Штиинца, 1985. 232 с.
18. Городній М.М., Бикін А.В., Нагаєвська Л.М. Агрохімія : підручник. Київ : АЛЕФА, 2003. 786 с.

**Tsybryk-Sivak N. V.**

*Post-graduate student*

*Higher Educational Institution «Podillia State University»  
Kamianets-Podilskyi, Ukraine*

**Bakhmat M. I.**

*Professor of the Department of Agriculture, Soil Science and Plant Protection  
Higher Educational Institution «Podillia State University»*

*Kamianets-Podilskyi, Ukraine*

*E-mail: natashathcbrij@gmail.com, mibahmat@gmail.com*

*ORCID: 0000-0001-6316-561X*

## RESOURCE-SAVING AND ECOLOGICAL SIGNIFICANCE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION OF COMMON BEANS

### **Abstract**

*High rates of production of common beans and growing demand on the Ukrainian market will help to solve the problem of increasing the production of grain with vegetable protein content, as well as replenishing soil reserves with atmospheric organic nitrogen and stabilizing the economy as a whole.*

***Introduction.** The selection of new, promising, and improved varieties, as well as the introduction of modern agricultural technologies and the resource-saving and ecological value of biological nitrogen fixation of common beans, have a significant impact on obtaining a high level of yield and using the potential that is biologically embedded.*

***Purpose.** Modern varieties of grain beans have a fairly high level of development and an optimal fertilization system can ensure sustainable and high yields. Therefore, the main task of our research was to study the effect of fertilizer and inoculation on the structure of the grain bean crop and its productivity.*

***Methods.** The article describes the use of mineral fertilizers and the use of bean seed inoculation. Protein deficiency worldwide is being reduced due to the use of proteins of animal origin. In the conditions of reforming the agro-industrial complex of Ukraine and reducing the production of animal products, the production of high-protein plant products has become important. As a result of this, the demand for the seeds of leguminous crops has grown dramatically in recent years. Technologies for the use of fertilizers and the cultivation of beans are one of the most effective measures to increase its yield.*

***Results.** The positive effect of seed bacterization depends on several factors: the activity of the microorganism strain, the concentration of the cell suspension, the amount of biologically active substances in the suspension, the duration of the seed treatment, the type of plant, the state of the native microflora at the time of sowing, the characteristics of the soil, the conditions of the*

agrotechnical complex. It has been established that introduction by strains originally isolated from the rhizoplane or rhizosphere of the same plant species is much more successful. One of the methods used to increase the realization of the biological potential of plants and microorganisms of agrophytocenoses is the complex bacterization of seeds. Preparations of polyvalent action based on compositions of several microorganisms, subject to individual complementary selection, are characterized by greater stability and efficiency in various agro-climatic conditions.

**Originality.** Nitrogen is one of the main elements of crop formation, as well as an important factor in the reproduction of soil fertility. Therefore, the problem of its balance and transformations in agroecosystems is an important component of the development of modern energy-saving environmental technologies in agriculture. Nitrogen compounds enter the soil mainly through organic matter, symbiotic and non-symbiotic (associative) nitrogen fixation, and in the form of mineral fertilizers (a synthetic product of industrial binding of molecular nitrogen). In traditional technologies, the prevailing attention was paid to the quantitative indicators of providing the soil with nitrogen-containing substances, and therefore in the agronomic systems of feeding beans, the exclusive role belonged to organic and mineral fertilizers.

**Conclusion.** Under conditions when it is not possible to return the nutrients removed from the crop to the soil through the use of mineral and organic fertilizers, there is a need to find other sources of replenishment of soil nutrients to protect and reproduce its fertility. The most promising, taking into account economic aspects, is biological nitrogen. Therefore, activation of the process of nitrogen fractionation is very important nowadays. It allows for saving on applying nitrogen to the soil. The use of strains of nitrogen-fixing microorganisms for common beans is becoming more and more appropriate.

**Key words:** Common beans, pre-sowing seed treatment, seeds, *Rhizobium phaseoli* strains, productivity, grain quality, economic and energy efficiency.

### References

- Hrynyk, I.V., Patyka, V.P., Shkatula, Yu.M. (2011). Mikrobiolohichni osnovy pidvyshchennia vrozhaivosti ta yakosti zernovykh kultur [Microbiological foundations of increasing the yield and quality of grain crops]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Potava State Agrarian Academy*, 4 (63), 7–11. [in Ukrainian].
- Krutylo, D.V. (2008). Bulbochkovi bakterii – heterotrofnyi ta symbiotrofnyi sposoby zhyttia [Potato bacteria are a heterotrophic and symbiotrophic way of life]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia. Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk – Agricultural microbiology. Interdepartmental thematic scientific collection*, 147–161. [in Ukrainian].
- Samavat S., Mafakheri S., Shakouri M.J. Promoting Common Bean Growth and Nitrogen Fixation by the Co-Inoculation of *Rhizobium* and *Pseudomonas Fluorescens* Isolates. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. Iran, 2012. 18(No3). P. 387–395.
- Morgun, V.V., Kots', S.Ya., Kirichenko, E.V. (2009). Riststymuliuvachi rizobakterii i yikh prpkytchne zastosuvannia. Fiziolohiia i biokhimiia kult.roslyn. [Growth-stimulating rhizobacteria and their practical application]. *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh roslyn – Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 41 (3), 187–207. [in Ukrainian].
- Leidi E.O., Rodriguez-Navarro D.N. Nitrogen and phosphorus availability as limiting factors of N<sub>2</sub> fixation in common bean. Spain, 1999. P. 1- 32.
- Kouas S., Labidi N., Debez A., Abdely C. Effect of P on nodule formation and N fixation in bean. *Agron. Sustain. Dev. Tunisia*, 2005. No 25. P. 389–393.
- Golparvar A.R. Multivariate Analysis and Determination of the Rest Indirect Selection Criteria to Genetic Improvement the Biological Nitrogen Fixation Ability in Common Bean Genotypes (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Genetika*. Iran, 2012. Vol. 44, No. 2. P. 279–284.
- Bentsarovskyi, D.M., Datsko, L.V., Kyrienko, M.V. (2006). Balans azotu v zemlerobstvi Ukrainy [Nitrogen balance in agriculture of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionaln'ho naukovooho tsentru «Instytut zemlerobstva Natsionalnoi akademii ahrarnykh nauk» – Collection of scientific works of the National Scientific Center «Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences», Special edition*, 22–25. [in Ukrainian].
- Beede S. Improvement of Common Bean for Mineral Nutritive Content at Ciat. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Colombia, 2001. vol. 1.
- Dehodiuk, E.H., Dehodiuk, S.E. (2006). Biolohichniy azot u zemlerobstvi Ukrainy [Biological nitrogen in agriculture of Ukraine]. *Natsionalnyi naukovyi tsentr «Instytut zemlerobstva Natsionalnoi akademii ahrarnykh nauk» – National Scientific Center «Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences»*, 13–22. [in Ukrainian].
- Kjeldahl J. A new method for the estimation of nitrogen inorganic compounds. *Z. Anal. Chem.*, 1883. 22. 366 p.
- Kots, S.Ya., (2011). Suchasnyi stan doslidzhen biolohichnoi fiksatsii azotu [The current state of biological nitrogen fixation research]. *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rasteniy – Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 43 (3), 212–225. [in Ukrainian].
- Kretovych, V.L. (1994). Biokhimiia zasvoiennia azotu povitriam roslyn [Biochemistry of air nitrogen assimilation by plants], 167. [in Ukrainian].
- Patyka, V.P., Tykhonovych, I.A., Filipyeva, I.D. et al (Eds.) (1993). Mikroorganizmy i alternatyvne zemlerobstvo [Microorganisms and alternative agriculture]. Kyiv, 174. [in Ukrainian].
- Kots, S.Ya., Morhun, V.V., Patyka, V.F. et al. (2010). Biolohichna fiksatsiia azotu: bobovo-rizobialnyi symbioz: monohrafiia [Biological nitrogen fixation: legume-rhizobium symbiosis]. Kyiv, 523. [in Ukrainian].
- Hrytsaenko, Z.M., Leontiuk, I.B. (2008). Intensyvniat mikrobiolohichnykh protsesiv i vrozhaivist ozymoi pshenytsi za dii prodilu maksi ta rehulatora rostu biolanu. Osnovy formuvannia produktyvnosti silskohospodarskykh kultur za intensyvnykh tekhnolohii vyroshchuvannia [Intensity of microbiological processes and yield of winter wheat under the action of maxi division and biolan growth regulator. Basics of formation of productivity of agricultural crops under intensive cultivation technologies]. Kyiv, 792. [in Ukrainian].
- Shyshkanu, H.V., Titova, N.V. (1985). Fotosyntezy plodovykh roslyn. Kyshyniv: [Photosynthesis of fruit plants], 232. [in Ukrainian].
- Horodnii, M.M., Bykin, A.V., Nahaievska, L.M. (2003). Ahrokhimiia: pidruchnyk [Agrochemistry: textbook]. Kyiv, 786. [in Ukrainian].