

УДК 635.655:631.5

DOI: 10.37128/2707-5826-2023-3-6

**БІОЛОГІЧНА АЗОТФІКСАЦІЯ,  
ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ  
ВРОЖАЙНОСТІ СОЇ**

**Т.А. ЗАБАРНА**, кандидат с.-г.

наук, старший викладач,

**В.В. ЧЕРЕШНЮК**, аспірант

Вінницький національний аграрний  
університет.

У статті висвітлено значення сої як однієї з головних сільськогосподарських культур для життєзабезпечення суспільства продовольством. Загальновідомо, що за останній період для багатьох світових аграріїв, зокрема України, основною високомаржинальною культурою є соя. Зацікавленість цією культурою не перестає зростати, оскільки відкриваються нові можливості для її реалізації за кордоном, і особливо це стосується такої країни-гіганта як Китай – найбільшого імпортера сої у світі. Вдало підібраний сорт становить понад 50% успіху у виробництві. Важливо визначити та створити оптимальні умови для реалізації потенційної азотфіксуючої активності сої кожного сорто типу у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Науковцями вказано, що головними причинами, які значно обмежують симбіотичну фіксацію для наших умов це відносно посушливіші умови культивування сої, особливо в умовах різких змін клімату. Проте одночасно зазначають, що стартові норми азотних добрив + симбіотично фіксований азоту, можуть нівелювати лиш частину від потреби рослин сої для формування урожаю на рівні на рівні 4,0 т/га. В атмосферному повітрі міститься близько 76% азоту в формі газу  $N_2$ , недоступного для живлення рослин. Проте завдяки унікальній здатності бобових формувати симбіотичні відносини з бактеріями роду *Bradyrhizobium* і *Rhizobium* газ  $N_2$  конвертується в амонійну форму азоту, придатну для використання рослинами. Ця взаємо-дія відбувається в бульбочках, де містяться відповідні бактерії. За встановленими даними, до 70% загального споживання азоту соя отримує за рахунок біологічної фіксації його з повітря завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями.

На основі проведеного аналізу наукових публікацій по симбіотичній продуктивності посівів сої в Україні та світі наведено показники біологічної фіксації посівами сої в розрізі основних країн виробників сої та доведено важливість вирощування сої в Україні. Підтверджено, що в Україні соя є важливою стратегічною культурою, яка впливає на стабілізацію землеробства, підвищення родючості та запасів азоту ґрунту, ліквідує дефіцит білка та допомагає в розв'язанні продовольчої проблеми. Збільшення валового збору сої відбувається не тільки за рахунок розширення площ посіву, а й завдяки підвищенню її врожайності. Для підвищення ефективності виробництва цієї культури запропоновано впровадити комплекс інноваційних рішень на різних стадіях виробництва, а також використовувати нові, продуктивні сорти. У багатьох публікаціях автори наголошують, що 30–35 % успіху під час вирощування сої залежить від правильного вибору сорту та оптимально підібраних технологічних прийомів вирощування цієї культури.

**Ключові слова:** соя, сорт, азотфіксація, бульбочкові бактерії, симбіотична продуктивність, інокуляція.

**Табл. 1. Рис. 1. Літ. 22.**

**Постановка проблеми.** Соя як азотфіксуюча культура потребує оптимізації системи живлення, а це відповідно створення сприятливих умов для проходження процесів фіксації з повітря азоту, проходження фотосинтетичних процесів, які залежать від кількості у ґрунті доступних елементів живлення [1].

Головним аспектом підвищення урожайності сої є використання поживного ґрунтового потенціалу, за умови оптимального підбору сортів сої враховуючи умови навколишнього середовища. Серед багатьох інших культур соя вирізняється специфікою живлення, вона більшу за інші культури потребує на формування врожаю кількість поживних речовин, відрізняється також нерівномірністю споживання елементів живлення по фазах протягом вегетаційного періоду, крім того може використовувати із ґрунту фосфор і калій у важкорозчинних сполуках та реутилізувати їх запаси від стебел до насіння і споживати протягом тривалого періоду на власні потреби. Відомо, що всі фізіологічні та біохімічні процеси протікають значно енергійніше в рослинах, які відносно краще забезпечені продуктивною вологою [1].

Перш за все, потреба сої в елементах живлення, окреслюється саме біологічними особливостями цієї культури. І як зазначалось вище, протягом вегетаційного періоду, соя поживні речовини засвоює нерівномірно, найінтенсивніше у період початку цвітіння–початку наливу насіння – N 57–61 %, P 60–67 %, K 65–75 %.

В умовах сьогодення відсоток в азотному балансі рослинництва біологічного азоту знаходиться на досить низькому рівні та становить у межах 4-6 %. Але за умови формування сприятливих умов для симбіозу бульбочкових бактерій вона може зрости до 35 % [2].

В Україні на сьогодні на основі бульбочкових бактерій створено та апробовано ряд біотехнологічних препаратів. Успішно розроблені, удосконалені та впроваджені у агровиробництво новітні в Україні сучасні технології вирощування сої, які передбачають передпосівну інокуляцію насіння активними штамми бульбочкових бактерій, що добре знані на ринку та поміж аграріїв як біоактивні препарати Нітрагін, Ризотрофін, Ризоактив, Ризобофін, Ризогумін, Азотофін, Азорхіс, Екограну та інші. Вивчення впливу інокуляції та мінеральних добрив на продуктивність сої дало можливість науковцям дійти висновку, що правильна система удобрення сої лише підсилює симбіотичну фіксацію азоту та є пріоритетним заходом залучення цього найбільш дефіцитного елемента живлення рослин в біологічний кругообіг. Багатьма експериментами науковців доведено, що їх внесення за вирощування бобових культур забезпечує зростання збору протеїну, підвищення стійкості рослин до хвороб, сприяє підвищенню урожайності зеленої маси на 50,0–54,0 %, зерна – на 11,0–40,0 %, та сприяє формуванню активного симбіотичного апарату.

**Аналіз останніх наукових публікацій і досліджень.** Мінеральні добрива відіграють головну роль при вирощуванні усіх сільськогосподарських культур. Але коефіцієнт використання рослиною добрив доволі низький становить на рівні не більше 40-50%. Частина елементів живлення вивітрюється, вимивається та виноситься з ґрунту, а ті що залишаються становлять значну небезпеку для здоров'я людини та є загрозою для екології. Усі ці недоліки використання хімічних азотних добрив спонукають до внесення корективів при формуванні технології вирощування сої. Біологічна азотфіксація є надійним

методом для збагачення рослин азотом, який не впливає на навколишнє середовище. Такий спосіб дозволяє значно зменшити витрати сировини і енергії на виробництво азотних добрив, знизити техногенне навантаження на екологію і енерговитрати на сільгосппродукцію. Біологічний азот широко застосовується в органічному землеробстві, де він є беззаперечним постачальником азоту та стабільним джерелом рентабельних урожаїв.

Питаннями фіксації азоту у посівах сої займались та присвятили свої дослідження такі науковці, як Заболотний Г.М., Дідур І.М., Циганська О.І., Панцирева Г. В. вони внесли свій внесок у вирішення пріоритетних завдань, і щорічно вказували на їх актуальність, щоб рухатись з урахуванням нових світових і національних тенденцій при культивуванні цієї культури в Україні. [3].

З огляду на високі ціни на газ і застарілу технологію виробництва азотних добрив в Україні біологічна азотфіксація має велике значення. Проте незважаючи на чималу кількість плюсів, біологічна азотфіксація має ряд аспектів, які можуть обмежити ефективність цього методу. Скажімо, для кожної окремо сільськогосподарської культури мають бути розроблені свої інокулянти. Один із недоліків, точне дотримання співвідношення суспензії насіння і робочого розчину; не менш важливим фактором є погодні умови, які теж мають вплив на використання симбіотичних систем. Отже, обробка насіння інокулянтами, це процес інфікування насіння, який у рослині інтенсифікує усі захисні системи [4].

Найкращі умови для формування на рослинах сої бульбочок - температура на рівні 10-24 градуса і показник рН в межах 5,5-6,5. За умов зниження температури та зміни показника рівня рН бульбочки будуть утворюватися, але процес азотфіксації не відбуватиметься.

Підбір інокулянта для сої проводиться шляхом дослідження та співставлення показників, які на високому забезпечують ефективність проходження процесу азотфіксації. Симбіотична продуктивність сої залежить від наявності у бульбочкових бактерій специфіки до рослини-господаря, їх конкурентоздатність і вірулентність, азотфіксуюча активність і ефективність взаємодії з різними гібридами певної рослини. Залежить симбіотична азотфіксація і від терміну зберігання препарату. До прикладу, в умовах стерильності бульбочкові бактерії можуть рости. При досягненні максимальної концентрації бактерії гинуть, виділяючи при цьому токсини, а препарати з терміном зберігання від 1 року стають менш активними [5].

Ефективна азотфіксація можлива тільки при використанні системи захисту культур від хвороб і шкідників, значна частина яких передається через насіння і ґрунт. Тому передпосівне протруювання насіння є екологічно доцільним і економічно вигідним. Додавання інсектицидів і фунгіцидів забезпечує захист насіння і проростків від хвороб і шкідників. Протруювання має відповідати таким вимогам: мати високу біологічну ефективність; необхідно забезпечити рівномірне покриття; повинно не знижувати посівних якостей насіння [2].

Одним із пріоритетних завдань при вирощуванні сої є пролонгація симбіотичної фіксації азоту у другій половині вегетації. Внесення фунгіцидів, особливо які мають яскраво виражені фізіологічні ефекти та застосування позакоренових підживлень карбамідом дозволяють підтримати фотосинтез на достатньо високому рівні. При цьому, фунгіциди захищають листову поверхню від хвороб, а їх поєднання з амідним азотом підвищує концентрацію хлорофілу, що забезпечує надходження асимілянтів не тільки до насінини, а й до кореневої системи. У результаті рослини сої довший період підтримують симбіоз з бульбочковими бактеріями і не абортують їх до завершення наливу насіння. У результаті маємо краще забезпечення азотом у найбільш критичний період вегетації, що сприяє формуванню вищої урожайності сої та підвищує вміст білка та олії [5].

Отже процес інокуляції важливий для підтримки азоту в рослині, що призводить до значного збільшення врожайності. Особливо, при вирощуванні сої на новому місці, потрібно обов'язково проводити інокуляцію для заселення мікрофлори даного поля бульбочковими бактеріями відповідного штаму.

Підбір хорошого та якісного інокулянта має важливе значення, адже забезпечують найкращий розподіл і виживаність бактерій на інокульованому насінні, максимізуючи біологічну фіксацію азоту. Аграрії повинні уважно дотримуватися технічних рекомендацій, зазначених на кожному продукті та зосереджуватися на методиці проведення інокуляції.

Аналіз та оцінка літературних наукових джерел, як вітчизняних [1-5], так і закордонних [17-22] публікацій звертає увагу на значимість досліджуваної культури насамперед – біологічні особливості, сорти, реакцію на біотичні та абіотичні чинники, особливості формування симбіотичної продуктивності.

**Матеріали та методи досліджень.** Написання публікації супроводжувалось аналізом та оцінкою досліджень по кількості фіксованого азоту рослинами сої в Україні та світі, застосовувалися методи математичної статистики, кореляційного аналізу, для прогнозування майбутніх показників. Дослідження проводилося згідно за використання методики наукових досліджень в агрономії. Автор використовував матеріали власних досліджень, дані наукових видань та показники державних статистичних матеріалів [6]

**Виклад основного матеріалу.** У першу чергу формування потужного симбіотичного апарату сої залежить від ефективної взаємодії сорту та симбіотрофного мікроорганізму в конкретних ґрунтових зонах та умовах вирощування, але доведено, що на його інтенсивність симбіотичного апарату сої можна чинити певний вплив за рахунок застосування окремих елементів технології вирощування цієї культури. Насамперед, сюди відносять, обробку сої бактеріальними препаратами, відмінностями норм мінеральних добрив та способів застосування різноманітних мікродобрив, використання стимуляторів росту рослин тощо. Сьогодення аграрної науки не може забезпечити вичерпну відповідь стосовно використання азотних добрив та особливо під бобові культури. Деякі науковці звертають увагу та рекомендують внесення високих

доз азотних добрив, для того, щоб отримувати стабільно високі врожаї навіть незважаючи на його безпосередній вплив на розвиток симбіотичного апарату, проте є ряд дослідників та науковців, які стверджують про доцільність внесення невеликих «стартових» доз азотних добрив саме до 30 кг/га [8].

Поряд з азотним живленням значну роль відіграє і фосфорне живлення бобових рослин для проходження симбіотичної азотфіксації у рослинах сої. Зокрема відомо, що при низькому показнику забезпечення ґрунту фосфором, бактерії не здатні проникати у корені рослин і тим більше не формують на коренях бульбочок [9].

Унікальністю сої є біологічні особливості, які роблять ще її привабливішою для використання в багатьох системах землеробства. У тому числі ефективність біологічної азотфіксації в результаті дій бактерій з *Bradyrhizobium* на кореневих бульбочках сої. Саме завдяки чому соя може задовольнити власні потреби у азоті, що дає змогу на значному рівні замінити підживлення мінеральними добривами. Частка фіксованого азоту варіює залежно від кліматичних умов протягом вегетаційного періоду, ґрунтових умов, застосованої технології вирощування та сортових особливостей цієї культури. Між часткою азоту, отриманого шляхом фіксації азоту, і кількістю азоту спожитого соєю, існує велика різниця, і це імовірно пов'язано з різноманітністю умов вирощування сої в різних країнах.

Таблиця 1

**Дольова частка азоту отриманого шляхом азотфіксації та частка азоту спожитого соєю в різних країнах, кг/га\***

Країна	Діапазон кількості фіксованого азоту, %	Середній показник, %	Діапазон кількості спожитого азоту, кг/га	Середній показник, кг/га
Австралія	73-90	83	246-488	371
Нігерія	84-87	85,5	14-188	87
Бразилія	70-85	70	70-250	90
Швейцарія	24-54	38	150-260	205
США	0-96	57	0-185	84

Джерело: сформовано на основі даних сайту <https://www.agro.basf.ua/uk/News-Events/BASF-Agro-News/actual-reccomendation-soybean.html>

До того ж, методи та методики досліджень, які використовуються для встановлення кількості азоту, що споживається цією сільськогосподарською культурою, також відрізняються. Кожен метод та кожна методика визначення має свої переваги та недоліки. Однак усі ці звіти зробили явнішим той беззаперечний факт, що біологічна азотфіксація при вирощуванні сої має велике значення. Біологічна азотфіксація є сприятливою для навколишнього середовища і є важливим джерелом азоту в сільському господарстві. Потенціал цього явища потребує додаткового розкриття за допомогою агрономічних заходів та мікробіологічних засобів, а також селекції рослин.

Соя здатна фіксувати велику кількість атмосферного азоту. І хоча сьогодні реалізація біологічної азотфіксації вивчена недостатньо, існують перспективи для її поліпшення.

Під час проведення різноманітних досліджень та національних конкурсів у США було зареєстровано дуже високу врожайність насіння сої (6000–8600 кг/га). І оскільки соєве насіння багате на білок, вірогідно, що отримання таких високих урожаїв вимагатиме високого рівня азотного живлення. Звісно, ця потреба може бути задоволена за рахунок ґрунтового азоту та за використання азотних добрив. Однак роль біологічної азотфіксації стає все актуальнішою у зв'язку з високими витратами, пов'язаними з застосуванням азотних добрив.

Інокуляція насіння сої бактеріями *Bradyrhizobium* значно збільшує врожай культури. Утворення більшої кількості бульбочок, підвищення врожаю насіння та вмісту азоту в насінні можливо лише за ефективної інокуляції насіння відповідною кількістю бульбочкових бактерій. Суттєве зниження життєздатності мікроорганізмів (94,0–99,9 %) може виникнути в період між інокуляцією та посівом, тому методи інокуляції мають бути такими, щоб звести втрати бульбочкових бактерій до мінімуму і навіть до нуля.

Застосування передпосівної обробки насіння у рослинництві біопрепаратами, або так звана інокуляція насіння, має на меті підвищення врожайності бобових культур, у тому числі й сої, і може трактуватися з огляду активності процесів азотфіксації. Ефективність цього агротехнічного прийому окреслюється здатністю бульбочкових бактерій продукувати рістстимулюючі з'єднання. А біологічно активні речовини, як гормони координатори, функціонуючи можуть забезпечувати ростові процеси та метаболічну регуляцію рослин, а за правильної агротехніки, дотримання усіх технологічних вимог забезпечать надвисоку ефективність бобово-ризобіального симбіозу рослин сої.

Вміст азоту в більшості ґрунтів, що використовуються для вирощування сої, має становити за рекомендаціями р різних джерел на рівні 5-10 мг/кг на 0-30 см глибини. Однак вищі показники вмісту азоту в ґрунті (30 мг/кг N на 0-30 см глибини) затримують початок формування бульб, гальмують їх розвиток, скорочують межі їх поширення і, отже, погіршують фіксацію азоту. Тому, науковці вказують умову для досягнення високого рівня фіксації азоту - не слід вибирати для посіву сої ґрунти з високим вмістом азоту, або ж його вміст повинен бути вичерпаний до посіву сої за рахунок включення в сівозміну культур з високою потребою в цьому елементі.

Як зазначалось раніше, ефективність біологічної азотфіксації залежить від наступних факторів:

- 1) кліматичних (температура та фотоперіод);
- 2) взаємодії факторів навколишнього середовища та рослини сої, таких як здатність сорту сої до фіксації атмосферного азоту, родючість ґрунту та постачання макро- та мікроелементами;

3) конкурентоспроможності бактеріального штаму, кількості та якості бактеріального розчину, дотримання вимог щодо його використання та відмови від застосування несумісних з насінням агрохімікатів.

Соя в більшій мірі, порівняно з іншими зернобобовими культурами має здатність завдяки спонтанному аборигенному інокулюванню до досить незначного бульбочкоутворення. Відповідно й тому, азотфіксуючий потенціал симбіозу сої з наявними у ґрунті ризобіями переважно обмежений невисокою азотфіксувальною активністю бактерій ґрунтових бактерій. Саме тому одним із важливих технологічних прийомів та рушійною силою формування симбіотичної продуктивності є передпосівна обробка насіння біопрепаратами, до складу яких входять селекціоновані штами специфічних ризобій, а це і аргументує подальше підвищення продуктивності сої. Слід зазначити, що утворення бульбочок та накопичення їх маси у сортів сої відбувається залежно від фази розвитку рослин, на це звертають увагу практично усі науковці [2,3,4,10,12].

Серед науковців та аграріїв утвердилася думка, що під бобові культури, зокрема й сою не варто вносити азотні добрива, оскільки свою потребу вони здатні задовольнити за рахунок симбіотичної фіксації азоту з атмосфери. Тому прийнято вважати, що основна частка добрив, яку вносять під сою представлена насамперед комплексними добривами або ж карбамідом, які вносять в рядок при сівбі або під передпосівну культивуацію. За твердженнями наукових джерел для формування 4.0 т/га насіння з відповідною часткою побічної продукції соя може використовувати  $N_{260-300}P_{52-68}K_{72-88}$ . Звісно, що основним джерелом надходження азоту є симбіотична азотфіксація.

Якщо провести аналіз інтенсивності біологічної фіксації азоту посівами сої в різних країнах світу, то варто відмітити, що середньозважені показники інтенсивності біологічної фіксації азоту з повітря соєю, досить відрізняються, знову ж таки причиною є вищевказані фактори.

З огляду рисунка 1, рівень використання біологічного азоту в Україні майже вдвічі нижчий порівняно із передовими соєвирощуючими країнами. Одними із основних причин, які значно лімітують симбіотичну фіксацію у нас це порівняно посушливіші умови культивування сої. Але варто зазначити, що стартові норми азотних добрив + симбіотично фіксований азоту, в змозі покрити лише половину рослин сої від потреби для формування урожаю на рівні 4,0 т/га [7].

Варто зазначити й умови за яких симбіотична фіксація азоту соєю відбувається найбільш ефективно:

1. наявність бактерій активного штаму *Bradyrhizobium japonicum* і наростання бульбочок. Вважається, що для збору оптимального врожаю сої;
2. достатня кількість бульбочок на одній рослині сої має становити не менше 25–50 бульбочок;
3. достатнє надходження продуктів фотосинтезу до кореневої системи і бульбочок. Активна вегетація рослин сої;

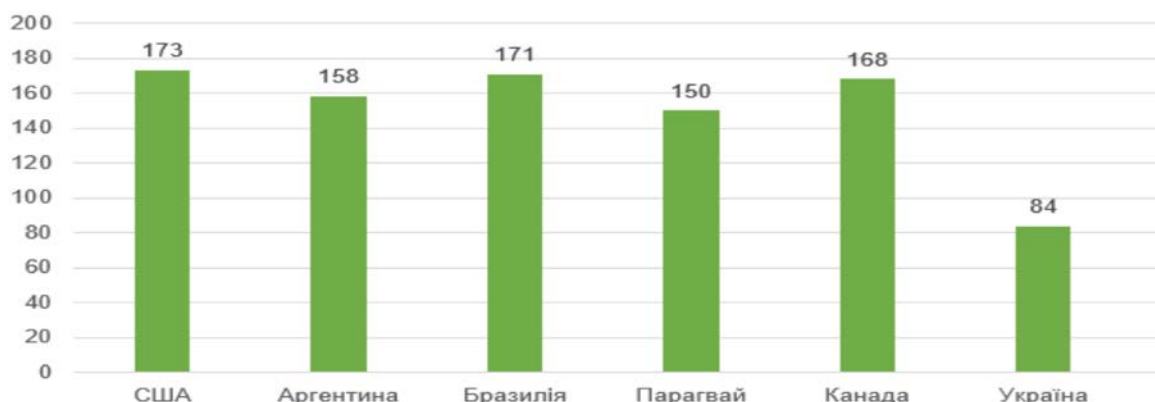


Рис.1. Інтенсивність біологічної фіксації азоту посівами сої, кг\*

Джерело: сформовано на основі даних сайту <https://www.agro.basf.ua/uk/News-Events/BASF-Agro-News/actual-recommendation-soybean.html>

4. рівень зволоження ґрунту – 60-70% від повної вологості ґрунту;
5. оптимальна температура ґрунту +25...+27°C;
6. оптимальна аерація і щільність ґрунту (1,0-1,1 г/см<sup>3</sup>);
7. реакція ґрунтового розчину: близька до нейтральної – нейтральна рН 5,5-7,0.

Не менш важливі аспекти - аерація ґрунту та рівень забезпечення вологою. Бульбочкові бактерії не утворюються в сухому ґрунті, якщо на момент початку вегетації вологість складає менше 50-60% від повної ґрунтової вологості. На більш пізніших стадіях розвитку рослин недостатня кількість води може навіть викликати зникнення бульбочок. Тому для вирощування сої деяке перезволоження (крім довгих затоплень) є менш шкідливим, ніж дефіцит вологи.

Найважливішою умовою за твердженням Анатолія Бабича є одержання високих урожаїв сої за умови достатньої кількості у ґрунті азотфіксуючих бульбочкових бактерій, доступних елементів живлення, *оптимальних показників* вологи і температурного режиму. Тому важливим аспектом є встановити і сформулювати оптимальні умови середовища для повної реалізації потенційно можливої азотфіксуючої активності сої кожного окремо взятого сорту та в певних ґрунтово-кліматичних умовах [10].

Також науковцями відзначено, що у сої фіксація азоту бульбочковими бактеріями та подальше його транспортування в рослину найбільш інтенсивно відбуваються у фазі цвітіння та формування і наливання бобів при температурі повітря біля 24–29 °C та при відносній вологості повітря на рівні 50–80 %. Максимальні значення маси активних бульбочок у дослідженнях проведених в умовах Вінниччини відмічено на момент фази повного цвітіння – початок наливання зерна, далі відмічено зниження ризобіальної активності [11]. Найбільша залежність продуктивної сої була від азотфіксуючої активності

бульбочкових бактерій, висока – від кількості бульбочок, середня – від маси бульбочок [12].

Багато джерел свідчать про те, що найбільш поширений і доступний спосіб підвищення ефективності симбіотичної фіксації азоту соєю є інокуляція насіння високоактивними, відселектованими штамми бульбочкових бактерій. Велике значення відіграє і вибір інокулянта, це є запорукою правильного виконання власне процесу інокуляції [13,17].

Біологічна фіксація азоту та фотосинтез найважливіші два процеси у рослинах сої, які поєднуються циклічно та слугують фундаментом для використання енергії Сонця у процесах синтезу білків, ізофлавоноїдів, ферментів, жирів, вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин у співвідношенні цих речовин яке є корисним для людини і тварин. Завдяки поєднанню цих двох процесів фотосинтезу і біологічної фіксації азоту соя здатна сформувати зерно з високим вмістом білка, що суттєво відрізняє її від багатьох інших видів рослин.

Фіксувати молекулярний азот спроможні лише ті бульбочки на коренях сої, які мають у своєму складі леггемоглобін. Саме формування цього елемента розпочинається одночасно із початком біологічної фіксації  $N_2$  [8].

За твердженням Чинчика О.С. на ефективність проходження біологічної азотфіксації у дослідженнях на чорноземах вилужених глибоких малогумусних важкосуглинкових на лесовидних суглинках впливали саме сортові особливості. Серед сортів сої, що вивчались автором, максимальну кількість бульбочок (64,2 шт./рослину) сформував сорт Хуторяночка. Проте зазначається, що сорт сої Хуторяночка також забезпечив формування великої кількості, але значно мілкіших бульбочок. Максимальну ж сиру масу ризобій на ділянках без використання комплексних добрив забезпечив сорт сої Феміда – 0,720 г/рослину активних бульбочок, а найефективнішими показниками симбіотичної азотфіксації були на дослідному посіві дані у сої сорту Феміда. Застосування комплексних добрив підвищувало ефективність біологічної фіксації азоту рослинами цього сорту і максимальними показник АСП та кількість фіксованого азоту були на варіанті з використанням Вуксалу – 31,8 тис. кг·діб/га та 194,7 кг/га [14].

Також відзначено позитивний вплив фосфору й іншими дослідженнями. Незважаючи на те, що в різних типах ґрунтів здебільшого міститься достатня кількість сполук цього елемента, вони дуже часто акумулюються у недоступних формах є для рослин. У ґрунті значна кількість фосфору перебуває в формі органічних сполук, або у вигляді важкорозчинних мінеральних форм (фосфати кальцію, алюмінію, заліза). За допомогою можливо мікроорганізмів можна зробити придатним для засвоєння рослинами цей елемент. Серед різних видів мікроорганізмів найвідомішими є арбускулярно-мікоризні гриби, які заселяють ризосферу багатьох видів сільськогосподарських рослин, у тому числі й зернобобових культур та сої в цілому. Вони взаємодіють із кореневою

системою на принципах симбіозу, тобто як рослина-господар, так мікроорганізми одержують користь від такого співіснування. Доведено, що мікоризні гриби живляться продуктами фотосинтезу рослин і приносять їм значну користь. За допомогою дуже розвинутих гіфів, які проникають у клітини, ендомікоризні гриби колонізують близько 80% довжини коріння, постачаючи рослинам фосфор, а також такі мікроелементи, як залізо, мідь і цинк, до того ж, їх мікориза конкурує з фітопатогенами, оздоровлюючи ризосферу та навколишні шари ґрунту [15].

За спостереженнями дослідників, мікориза має досить розгалужену сітку міцелію, яка в сотні разів перевищує площу контакту з ґрунтом порівняно з кореневою системою рослини. А це в свою чергу дає змогу більшою мірою забезпечити рослини елементами живлення та водою, особливо за несприятливих умов довкілля [15].

Нещодавно вчені виявили, що ендомікоризні гриби виділяють специфічну сполуку – гломалін, яка сприяє формуванню ґрунтових агрегатів, що підтримують пористість ґрунту, його аерацію, захищають органічні речовини від шкідливих мікроорганізмів. Наявність значної кількості макроагрегатів (розмір > 250 мкм) у ґрунті поліпшує його структуру, знижує об'ємну щільність, зберігає частки ґрунту від ущільнення.

На жаль, мікоризні гриби дуже вибагливі під час вирощування в чистій культурі за лабораторних умов. Тому сьогодні практично немає вітчизняних препаратів, які можна було б застосовувати у виробничих умовах подібно до азотфіксуючих [15].

Важливість інокуляції відмічено у дослідженнях в умовах Полісся України на ясно-сірих ґрунтах з рН - 5,6–5,9, оброблення насіння інокулянтном Оптімайз в дозі 280 г/1 ц., внесення мінеральних добрив у нормі  $N_{60}P_{60}K_{60}$  і проведення у фазу утворення бобів, позакореневого підживлення забезпечує отримання врожайності ультрараннього сорту Устя 4,05 т/га і збагачує ґрунт біологічно фіксованим азотом повітря у кількості 122 кг/га [16].

Наостанок варто було б вказати про взаємозв'язок симбіотичної продуктивності та фотосинтезу. Одержаний азот у результаті симбіозу рослин і мікроорганізмів має значну чисельність переваг порівняно із азотом мінеральним, крім того, біологічна азотфіксація відіграє пріоритетну роль у наповненні ґрунтів легким та швидким азотом. За результатами аналізу літературних джерел як українських, так і зарубіжних науковців, відомо, що щорічно у світі з мінеральними добривами вноситься 40–50 млн. т потрібного азоту для забезпечення потреб рослин, тоді як завдяки мікробіологічній фіксації цей показник досягає до рівня 150–190 млн. т.

За своїм масштабом азотфіксацію можна виставити на одну лінію із фотосинтезом, зв'язок з яким дуже тісно пов'язаний між собою: азотфіксація забезпечує постачання рослині легкодоступні азотовмісні сполуки, а процес фотосинтезу постачає її енергетичний матеріал в якості вуглеводів, які безперечно доєднуються в обмін речовин [21, 22].

Усіма науковцями підкреслено, що в рослин зернобобових культур, де добре розвинені та функціонують бульбочки, завжди підвищена активність фотосинтетичних процесів. Глюкоза й сахароза, які локалізуються та синтезуються в листках, переносяться флоемою до бульбочок, де врешті-решт засвоюються відповідними бактеріями. Зворотний зв'язок прослідковується, коли завдяки збільшенню листової поверхні рослин, а також підвищеному накопиченню хлорофілу в фотосинтезуючих органах, бульбочкові бактерії стимулюють процес фотосинтезу.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Інокуляція, як важливий прийом біотехнології у виробництві сої, означає обробку її насіння або внесення в ґрунт активних штамів специфічних бульбочкових бактерій у вигляді підготовлених препаратів, щоб викликати утворення бульбочок на коренях рослин. Лідери у виробництві й застосуванні інокулянтів США, Бразилія, Аргентина, Китай, Індія, Канада та інші. Якщо інокуляція не проводилася, дози азоту для бобових необхідно розраховувати як і для небобових культур, а також враховувати, що для формування високобілкового 1 ц насіння вони потребують більше азоту, ніж злакові культури.

Симбіоз кореневої системи з бактеріальними клітинами зумовлює біологічну фіксацію азоту. Кореневі бульбочки на сої, у складі яких міститься легемоглобін та ферментативний комплекс беруть участь у формуванні симбіотичної продуктивності. У цьому взаємозв'язку головна роль виконує коренева система, через яку до бульбочок надходять вода та поживні елементи, саме ця частина кореневої системи, на якій містяться бульбочки, називається симбіотичним апаратом. Все ж, за нашими спостереженнями, в традиційних основних районах соєсіяння без інокуляції на коренях сої хоч і утворюються бульбочки, як і при інокуляції, але вони дрібніші, мають слабше забарвлення, розміщені на бокових корінцях. Їх ефективність з роками зменшується, тому виникає необхідність проведення нової інокуляції.

### Список використаної літератури

1. Didur I., Bakhmat M., Chynchyk O., Pansyryeva H., Telekalo N., Tkachuk O. Substantiation of agroecological factors on soybean agrophytocenoses by analysis of variance of the Right-Bank Forest Steppe in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. № 10 (5). 54-61.
2. Мазур В.А., Гончарук І.В., Дідур І.М., Панцирева Г. В., Телекало Н.В., Купчук І.М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур: монографія. Вінниця: Нілан ЛТД, 2021. 180 с.
3. Заболотний Г.М., Мазур В.А., Циганська О.І., Дідур І.М., Циганський В.І., Панцирева Г.В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності: монографія. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 275 с.
4. Петриченко В.Ф., Коць С.Я. Симбіотичні системи у сучасному сільськогосподарському виробництві. *Вісник НАН України*. 2014. № 3. С. 57-66.

5. Новицька Н.В., Джемесюк О.В., Формування урожайності сої під впливом інокуляції та підживлення. Агротренди: чи можна отримувати 4 т/га сої без внесення азотних добрив? Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. 1-2. С. 43-47. URL:<https://kurkul.com/spetsproekty/1315-agrotrendi-chi-mojna-otrimuvati-4-t-ga-soyi-bez-vnesennya-azotnih-dobriv> (дата звернення 16.05.23р.).

6. Мазур В.А., Липовий В.Г., Мордванюк М.О. Методика наукових досліджень в агрономії : навч. посіб. Вінниця : ТВОРИ. 2020. 204 с.

7. Юник А., Мокрієнко В., Пірда В. Удобрення сої: основні елементи успіху. *Агрономія сьогодні*. 2021. URL: <http://agro-business.com.ua/aharni-kultury/item/20611-udobrennia-soi-osnovni-elementy-uspikhu.html>.

8. Патика В.П. , Петриченко В.Ф. Мікробна азотфіксація у сучасному кормовиробництві. *Корми і кормовиробництво*. Вінниця: 2004. Вип. 53. С. 3-11.

9. Циганська О.І. Вплив мінеральних добрив, передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення мікроелементами на якісні показники зерна сортів сої. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 1 (8). С. 78-86.

10. Бабич А.О., Бабич-Побережна А.А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі. Київ : Аграрна наука, 2011. 548 с.

11. Венедіктов О.М. Вплив різних штамів бактеріальних препаратів на активність симбіозу та урожайність насіння сої в умовах правобережного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Вінниця: ФОП Горбачук І. П. 2011. Вип. 70. С. 93-100.

12. Zabarna T.A. The formation of soybean phytocenosis and seeds quality depending on the intensification factors. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 4 (19). С. 98-109.

13. Забарна Т.А. Вплив позакореневих підживлень на показники симбіотичної діяльності сої. *Polish journal of science*. 2020. № 25. Vol. 1. Р. 6-11.

14. Чинчик О.С. Ефективність симбіотичної азотфіксації в агроценозах сортів сої при різних рівнях мінерального живлення. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Серія Сільськогосподарські науки*. 2017. Вип. 26. С. 202-209.

15. Січкач В. Відверто про азотфіксацію. URL: <https://agroexpert.ua/vidverto-pro-azotfiksatsiiu/> Agroexpert 2017. №3. С. 18-22. (дата звернення 16.05.23 р.).

16. Дідора В.Г. Симбіотична продуктивність сої залежно від інокуляції насіння та удобрення. *Наукові горизонти*, 2018. № 1 (64). С. 23-28.

17. Brian Thomas, Brian G Murray, Denis J. Murphy Encyclopedia of Applied Plant Sciences. 2, 271-277. DOI:10.1016/B978-0-12-394807-6.00124-6.

18. Iantcheva Anelia and Naydenova Galina Biological nitrogen fixation in legumes. *AgroBioInstitute (ABI)*, Bulgaria. 3. 2020 P. 1-4. Version v1. DOI:10.5281/zenodo.3906251.

19. Von Beesten, F., Miersch, M. and Recknagel. Inoculation of soybean seed. *Legumes Translated Practice Note* 1. 2019. URL: <http://www.legumestranslated.eu>
20. Wagner, S.C., 2011 Biological Nitrogen. Fixation. *Nature Education Knowledge* 3 (10):15.
21. Van Spronsen, P.C., Bakhuizen, R., van Brussel, A.A.N., and Kljne, J.W. (1994). Cell wall degradation during infection thread formation by the root nodule bacterium *Rhizobium leguminosarum* is a two step process. *Eur. J. Cell Biol.* 64, 88-94.
22. Asis C.A., Kubota M., Ohta H., Arima Y., Chebotar V.K. Tsuchiya K. & Akao S. Isolation and partial characterisation of endophytic diazotrophs associated with Japanese Sugarcane cultivar. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 2000. 46. 759-765

### Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Didur I., Bakhmat M., Chynchyk O., Pansyryeva H., Telekalo N., Tkachuk O. (2020). Substantiation of agroecological factors on soybean agrophytocenoses by analysis of variance of the Right-Bank Forest Steppe in Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. № 10 (5). P. 54-61. [in English].
2. Mazur V.A., Honcharuk I.V., Didur I.M., Pansyryeva H. V., Telekalo N.V., Kupchuk I.M. (2021). Innovatsiini aspekty tekhnolohii vyroshchuvannia, zberihannia i pererobky zernobobovykh kultur: monohrafiia. [*Innovative aspects of the technology of cultivation, storage and processing of leguminous crops: monograph*]. Vinnytsia: Nilan LTD [in Ukrainian].
3. Zabolotnyi H.M., Mazur V.A., Tsyhanska O.I., Didur I.M., Tsyhanskyi V.I., Pansyryeva H.V. (2020). Ahrobiolohichni osnovy vyroshchuvannia soi ta shliakhy maksimalnoi realizatsii yii produktyvnosti: monohrafiia. [*Agrobiological basics of soybean cultivation and ways to maximize its productivity: monograph*]. Vinnytsia: TOV «TVORY» [in Ukrainian].
4. Petrychenko V.F, Kots S.Ya. (2014). Symbiotychni systemy u suchasnomu silskohospodarskomu vyrobnytstvi. [*Symbiotic systems in modern agricultural production*]. *Visnyk NAN Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*. № 3. 57-66. [in Ukrainian].
5. Novytska N.V., Dzhemesiuk O.V. (2017). Formuvannia urozhainosti soi pid vplyvom inokuliatsii ta pidzhyvlennia. [*Formation of soybean productivity under the influence of inoculation and fertilization. Agrotrends: is it possible to get 4 t/ha of soybeans without applying nitrogen fertilizers?*] *Ahrotrendy: chy mozhna otrymuvaty 4 t/ha soi bez vnesennia azotnykh dobryv?* URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/1315-agrotrendi-chi-mojna-otrimuvaty-4-t-ga-soyi-bez-vnesennya-azotnih-dobryv> (data zvernennia 16.05.23r.) *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii - Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*. 1-2. 43-47. [in Ukrainian].
6. Mazur V.A., Lypovyi V.H., Mordvaniuk M.O. (2020). Metodyka naukovykh doslidzhen v ahronomii : navch. posib. [*Methods of scientific research in agronomy: teaching. Manual*] Vinnytsia : TVORY. [in Ukrainian].

7. Yunyk A., Mokriienko V., Pirda V. (2021). Udobrennia soi: osnovni elementy uspikhu [*Soybean fertilization: essential elements for success*]. *Ahronomiia sohodni – Agronomy today*. URL: <http://agrobusiness.com.ua/ahrarni-kultury/item/20611-udobrennia-soi-osnovni-elementy-uspikhu.html> (data zvernennia 16.05.23r.). [in Ukrainian].
8. Patyka V.P., Petrychenko V.F. (2004). Mikrobna azotfiksatsiia u suchasnomu kormovyrobnytstvi. [*Microbial nitrogen fixation in modern fodder production*]. *Kormy i kormovyrobnytstvo – Fodder and fodder production*. Vinnytsia: Issue. 53. 3 - 11. [in Ukrainian].
9. Tsyhanska O.I. (2018). Vplyv mineralnykh dobryv, peredposivnoi obrobky nasinnia ta pozakorenevoho pidzhyvlennia mikroelementamy na yakisni pokaznyky zerna sortiv soi. [*The effect of mineral fertilizers, pre-sowing seed treatment and foliar fertilizing with trace elements on the quality indicators of soybean varieties*]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry*. № 8. 78-86. [in Ukrainian].
10. Babych, A.O., Babych-Poberezhna A. A. (2011). Seleksiia, vyrobnytstvo, torhivlia i vykorystannia soi u sviti [*Breeding, production, trade and use of soybeans in the world*]. Kyiv : Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
11. Venediktov, O. M. (2011). Vplyv riznykh shtamiv bakterialnykh preparativ na aktyvnist symbiozu ta urozhainist nasinnia soi v umovakh pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [*The influence of different strains of bacterial preparations on the activity of symbiosis and the productivity of soybean seeds in the conditions of the right-bank forest-steppe of Ukraine*]. *Kormy i kormovyrobnytstvo. Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk – Fodder and fodder production. Interdepartmental thematic scientific collection*. Vinnytsia: FOP Horbachuk I. P. Issue. 70. 93-100. [in Ukrainian].
12. Zabarna T.A. (2020). The formation of soybean phytocenosis and seeds quality depending on the intensification factors. *Silke hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry*. № 4 (19). P. 98-109. [in English].
13. Zabarna T.A. (2020). Vplyv pozakorenevykh pidzhyvlen na pokaznyky symbiotychnoi diialnosti soi. [*The influence of foliar fertilization on indicators of symbiotic activity of soybeans*]. *Polish journal of science*. № 25. Vol. 1. 6-11. [in Ukrainian].
14. Chynchyk O.S. (2017). Efektyvnist symbiotychnoi azotfiksatsii v ahrotsenozakh sortiv soi pry riznykh rivniakh mineralnoho zhyvlennia. [*Efficiency of symbiotic nitrogen fixation in agroecosystems of soybean varieties at different levels of mineral nutrition*]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika. Seriia Silskohospodarski nauky – Podilsky Visnyk: agriculture, technology, economy. Agricultural science series*. Issue 26. 202-209. [in Ukrainian].
15. Sichkar Viacheslav (2017). Vidverto pro azotfiksatsiiu [*Frankly about nitrogen fixation*]. URL: <https://agroexpert.ua/vidverto-pro-azotfiksatsiiu/> *Agroexpert*, t 3. (data zvernennia 16.05.23r.) [in Ukrainian].

16. Didora V.H. (2018). Symbiotychna produktyvnist soi zalezno vid inokuliatsii nasinnia ta udobrennia. [*Symbiotic productivity of soybean depending on seed inoculation and fertilization*]. *Naukovi horyzonty – Scientific horizons*. № 1 (64). 23-28. [in Ukrainian].
17. Brian Thomas, Brian G Murray, Denis J (2021). Murphy Encyclopedia of Applied Plant Sciences. 2, P. 271-277. DOI:10.1016/B978-0-12-394807-6.00124-6. [in English].
18. Iantcheva Anelia and Naydenova Galina (2019) Biological nitrogen fixation in legumes. AgroBioInstitute (ABI), Bulgaria. P. 3 [in English].
19. Von Beesten, F., Miersch, M. and Recknagel. (2019). Inoculation of soybean seed. Legumes Translated Practice Note 1. [www.legumestranslated.eu](http://www.legumestranslated.eu) [in English].
20. Wagner, S. (2011). Biological Nitrogen. Fixation. *Nature Education Knowledge* 3 (10):15 [in English].
21. Van Spronsen, P.C., Bakhuizen, R., van Brussel, A.A.N., and Kljne, J.W. (1994). Cell wall degradation during infection thread formation by the root nodule bacterium *Rhizobium leguminosarum* is a twostep process. *Eur. J. Cell Biol.* 64, 88-94 [in English].
22. Asis C.A., Kubota M., Ohta H, Arima Y., Chebotar V.K. Tsuchiya K. & Akao S. (2000). Isolation and partial characterisation of endophytic diazotrophs associated with Japanese Sugarcane cultivar. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 46, 759-765 [in English].

## **ANNOTATION**

### **BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION AS A WAY OF INCREASE YIELD OF SOY**

*The article highlights the importance of soybeans as one of the main agricultural crops for the life support of society with food. It is well known that soybeans have been the main high-margin crop for many global farmers, including Ukraine, in recent years. The interest in this crop continues to grow as new opportunities for its sale abroad open up, especially in such a giant country as China, the world's largest soybean importer. The right variety accounts for more than 50% of production success. It is important to identify and create optimal conditions for realising the potential nitrogen-fixing activity of soybeans of each variety in specific soil and climatic conditions.*

*Scientists have pointed out that the main reasons that significantly limit symbiotic fixation in our conditions are relatively drier soybean cultivation conditions, especially in the face of abrupt climate change. However, it is also noted that the starting rates of nitrogen fertilisers + symbiotically fixed nitrogen can only offset part of the soybean plants' need for a yield of 4.0 t/ha. The air contains about 76% of nitrogen in the form of N<sub>2</sub> gas, which is not available for plant nutrition. However, thanks to the unique ability of legumes to form symbiotic relationships with bacteria of the *Bradyrhizobium* and *Rhizobium* genera, N<sub>2</sub> gas is converted into an ammonium form of nitrogen suitable for plant use. This interaction takes place in the nodules, which contain the respective bacteria. According to established data, up to 70% of the total nitrogen consumption of soybeans is obtained through biological fixation of nitrogen from the air through symbiosis with nodule bacteria.*

*Based on the analysis of scientific publications on the symbiotic productivity of soybean crops in Ukraine and the world, the indicators of biological fixation by soybean crops in the context of the main soybean producing countries are presented and the importance of soybean cultivation in*

*Ukraine is proved. It is confirmed that soybeans are an important strategic crop in Ukraine, which contributes to the stabilisation of agriculture, increase of soil fertility and nitrogen reserves, eliminates protein deficiency and helps to solve the food problem. The increase in gross soybean harvest is not only due to the expansion of sown areas, but also due to higher yields. To increase the efficiency of soybean production, it is proposed to introduce a set of innovative solutions at different stages of production, as well as to use new, productive varieties. In many publications, the authors emphasise that 30-35% of success in soybean cultivation depends on the right choice of variety and optimally selected technological methods of growing this crop.*

**Key words:** soybean, variety, nitrogen fixation, nodules, symbiotic productivity, inoculation.

**Table 1. Fig. 1. Lit. 22.**

### **Інформація про авторів**

**Забарна Тетяна Анатоліївна** - кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії ВНАУ (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3, e-mail : zabarna-tanja@ukr.net).

**Черешнюк Володимир Вікторович** - аспірант кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії ВНАУ (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3, e-mail : chereshnyk\_vova@ukr.net , 0675288303).

**Zabarna Tatiana Anatolyivna** - Candidate of Agricultural Sciences (PhD), Senior Lecturer of the Department of Soil Management, Soil Science and Agrochemistry, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, Soniachna Str.3, e-mail : zabarna-tanja@ukr.net).

**Chereshnyuk Volodymyr Viktorovych** - a postgraduate student of the of Soil Management, Soil Science and Agrochemistry, Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, Soniachna Str. 3, e-mail : chereshnyk\_vova@ukr.net, 0675288303).