

УДК 575.826:[631.461.5:633.34]:631.8

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.38>

АДАПТАЦІЯ БОБОВО-РИЗОБІАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ РОСЛИН СОЇ ДО ВИКОРИСТАННЯ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ

Заболотний О.І. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри біології,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0003-0069-1617**Розборська Л.В.** – к.с.-г.н., доцент,

завідувач кафедри біології,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0003-2002-6438

Про ефективність застосування мікробних препаратів на основі бульбочкових бактерій при вирощуванні бобових культур загалом та сої зокрема свідчать результати досліджень, виконаних у різних областях України. Так, за інокуляції насіння культур активними штамми ризобій відмічено істотне зростання продуктивності рослин, а саме: сої – до 15–23%, люпину – до 13–19%, гороху – до 11–20%, а також приріст зеленої маси конюшини й люцерни на 12–25%.

Дослідження проводили в польових та лабораторних умовах кафедри біології Уманського національного університету. Насіння сої перед сівбою інокулювали мікробними препаратами на основі бульбочкових бактерій.

Встановлено, що застосування передпосівної інокуляції насіння сої мікробними препаратами на основі штамів бульбочкових бактерій впливала на зміну активності бобово-ризобіального комплексу культури та її нітрогеназної активності. У фазі цвітіння культури за використання Ризоактиву кількість бульбочок на 1 рослині зроста порівняно з контрольним варіантом на 6,4 шт, тоді як на інокуляції насіння Нітродаром – на 8,7 шт. У разі бактеризації насіння сої мікробним препаратом Різолік LLI виявлено збільшення кількості бульбочок на 1 рослині проти контролю на 14,4 шт. Найбільша чисельність бульбочок спостерігалася за передпосівної обробки насіння препаратом Preside CL. У цьому варіанті досліді відмічено зростання кількості бульбочок у порівнянні з контролем на 18,0 шт/рослину, що також на 3,6 шт/рослину перевищувало значення у варіанті з використанням препарату Різолік. Поряд із зростанням чисельності бульбочок на 1 рослині, спостерігалася також і збільшення їх маси. Серед усіх варіантів досліді найбільша маса бульбочок спостерігалася за бактеризації насіння препаратами Різолік LLI та Preside CL, що перевищувало показники контрольного варіанту на 0,239 та 0,263 г/рослину відповідно. У цих же варіантах відмічено й найвищий азотфіксувальний потенціал. Перевищення нітрогеназної активності, порівнюючи з контролем, складало 1678 та 1765 нМоль етилену/рослину/год відповідно.

Отримані результати свідчать, що передпосівна інокуляція насіння сої мікробними препаратами на основі бульбочкових бактерій значно покращує формування бобово-ризобіального комплексу. Найефективнішими виявилися препарати Preside CL та Різолік LLI, які забезпечили максимальне збільшення кількості та маси бульбочок, а також найвищу нітрогеназну активність. Очевидно, це спричинено високою початковою концентрацією *Bradyrhizobium japonicum* та активною симбіотичною взаємодією з рослиною.

Ключові слова: соя, мікробні препарати, бобово-ризобіальний комплекс, бульбочки, нітрогеназна активність.

Zabolotnyi O.I., Rozhorska L.V. Adaptation of the legume-rhizobial complex of soybean plants to the use of microbial preparations

The effectiveness of using microbial preparations based on nodule bacteria in growing legumes in general and soybeans in particular is evidenced by the results of studies conducted in various regions of Ukraine. Thus, when inoculating crop seeds with active strains of rhizobia, a significant increase in plant productivity was noted, namely: soybeans – up to 15–23%, lupine – up to 13–19%, peas – up to 11–20%, as well as an increase in the green mass of clover and alfalfa by 12–25%.

The research was conducted in field and laboratory conditions at the Department of Biology of Uman National University. Soybean seeds were inoculated with microbial preparations based on nodule bacteria before sowing.

It was established that the use of pre-sowing inoculation of soybean seeds with microbial preparations based on nodule bacteria strains affected the change in the activity of the legume-rhizobial complex of the crop and its nitrogenase activity. In the flowering phase of the crop, under the using of Rizoaktiv, the number of nodules per 1 plant increased compared to the control variant by 6,4 pcs, while when inoculating seeds with Nitrodar – by 8,7 pcs. In the case of bacterization of soybean seeds with the microbial preparation Rizolik LLI, an increase in the number of nodules per 1 plant was found compared to the control by 14,4 pcs. The largest number of nodules was observed with pre-sowing treatment of seeds with the preparation Preside CL. In this variant of the experiment, an increase in the number of nodules compared to the control by 18,0 pcs/plant was noted, which also exceeded the value in the variant using the preparation Rizolik by 3,6 pcs/plant. Along with the increase in the number of nodules per plant, an increase in their mass was also observed. Among all the experimental variants, the largest mass of nodules was observed after seed bacterization with Rizolik LLI and Preside CL, which exceeded the indicators of the control variant by 0,239 and 0,263 g/plant, respectively. In these same variants, the highest nitrogen-fixing potential was also noted. The excess of nitrogenase activity, compared with the control, was 1678 and 1765 nmol ethylene/plant/hour, respectively.

The results obtained indicate that pre-sowing inoculation of soybean seeds with microbial preparations based on nodule bacteria significantly improves the formation of the legume-rhizobial complex. The most effective preparations were Preside CL and Rizolik LLI, which provided the maximum increase in the number and mass of nodules, as well as the highest nitrogenase activity. Obviously, this is due to the high initial concentration of Bradyrhizobium japonicum and active symbiotic interaction with the plant.

Key words: soybean, microbial preparations, legume-rhizobial complex, nodules, nitrogenase activity.

Постановка проблеми. Відомо, що саме ґрунтова мікробіота перетворює недоступні для рослин сполуки на доступні, оптимальні для метаболізму. Загалом, роль мікробіоти, що заселяє ризосферу, аналогічна функції травних органів тварин. Однак більшість ґрунтів агробіоценозів містить мінімальну кількість окремих видів мікроорганізмів, які завжди виступали індикаторами родючості. Їх місце зайняли нетипові бактерії і багато агрофітоценозів перетворюються на резервації для патогенних збудників хвороб рослин [1].

Також однією з важливих проблем землеробства є збільшення частки «біологічного» азоту в сучасних технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Розширення масштабів використання атмосферного азоту, фіксованого мікроорганізмами, дозволить знизити енергетичні затрати в землеробстві та зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині агровиробництво у якості надзвичайно ефективного агрозаходу, який є також елементом біологізації технологій вирощування польових культур, зокрема сої, широко запроваджує передпосівну бактеризацію насіння мікробними препаратами. Завдячуючи потраплянню до ґрунту агрономічно корисних мікроорганізмів, живі клітини яких є основою мікробних препаратів, активізується посилення ряду процесів: фітосанітарного стану ґрунту, захист польових культур від алелопатичного впливу попередників, покращується надходження та доступність елементів живлення для рослин, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню продуктивності польових культур та покращення якості врожаю [3].

У зв'язку з формуванням потужного світового ринку продукції агропромислового комплексу та продовольства високої екологічної якості, що вирощується з мінімальним використанням пестицидів та мінеральних добрив, цілком зрозумілим є зростання зацікавленості до питань, пов'язаних із процесами біологічного перетворення молекулярного азоту, що виконується діазототрофною мікробіотою як

в симбіозі так й в асоціаціях із рослинами як в природних агроєкосистемах, так й в штучних агрофітоценозах, створених людиною [4, 5].

Про ефективність застосування мікробних препаратів на основі бульбочкових бактерій при вирощуванні бобових культур загалом та сої зокрема свідчать результати досліджень, виконаних у різних областях України. Так, за інокуляції насіння культур активними штамми ризобій відмічено істотне зростання продуктивності рослин, а саме: сої – до 15–23%, люпину – до 13–19%, гороху – до 11–20%, а також приріст зеленої маси конюшини й люцерни на 12–25%. Зокрема, у степовій зоні України доведено можливість збільшення продуктивності бобових завдяки бактеризації насіння на 0,1–0,6 т/га, що складає 5–16%, також на 1–3 % в зерні підвищувався вміст сирого протеїну. Отримання таких значних приростів зернової продуктивності стає можливим завдяки тому, що азотфіксувальні мікроорганізми спроможні щороку зв'язувати, залежно від того, у симбіозі з якою культурою існують, від 40 до 300 кг азоту на 1 гектар. Цей азот є екологічним, не забруднює довкілля і не потребує виробничих затрат. Про важливість цього свідчить те, що у світовому масштабі щороку в ґрунт вноситься 35 млн т азоту у вигляді мінеральних добрив, тоді як рослини за вегетаційний період поглинають із ґрунту до 75 млн т азоту. [6, 7].

Дослідженнями О.В. Кириченко та К.А. Мокрицького [8] встановлено, що інокуляція насіння сої штамом *Bradyrhizobium japonicum* (94Р) у поєднанні з *Azotobacter chroococcum* та іншими ризосферними мікроорганізмами підвищує енергію проростання на 8–12 %, схожість на 6–10 %, ріст проростків на 18–25 % та формування бульбочок на 40–60 %. Комплексна інокуляція виявилася ефективнішою за використання монокультури. При цьому комплексна бактеризація має переваги над традиційною інокуляцією ризобіями щодо розвитку проростків сої і формування вегетативної маси рослин, що пов'язано як із наявністю додаткових біологічно активних екзометаболітів мікроорганізмів, які входять до складу інокулянтів, так і з підвищенням інтенсивності фіксації молекулярного азоту та поліпшенням азотного живлення рослин.

Іншими дослідженнями з інокуляції насіння сої мікробними препаратами відмічено позитивний вплив на зниження ураженості рослин патогенами. У фазі цвітіння на сої було відмічено ураження бактеріозом, пероноспорозом й альтернarioзом, ступінь поширення яких складав у середньому 4,5%, 6,2 та 11,1% відповідно. Найвищу біопротекторну ефективність інокулянтів було відмічено проти бактеріозу сої – 57–64%. Пероноспороз й альтернarioз бактеріальні препарати стримували на рівні 22–50% залежно від сорту культури. Найефективнішим виявився комплексний препарат Ековітал. Висока ефективність цього інокулянту пояснюється тим, що він додатково містить бактерії *Bacillus megaterium*, що належать до фосфатмобілізувальних бактерій, які проявляють широкий спектр захисних і рістстимуляційних властивостей. Обробка насіння бактеріальними препаратами на основі специфічних азотфіксувальних бактерій *Bradyrhizobium japonicum* також активно стимулювала наростання бульбочок на коренях рослин сої. За всі роки досліджень їх кількість у варіантах із застосуванням мікробних препаратів в 4–5 рази перевищувала контроль та у 2–3 рази – варіант з хімічними препаратами [9].

Дослідженням І.В. Федорук [10] встановлено, що поєднання сухого інокулянту на торфовій основі ХіСтік із рідкою формуляцією ХайКот Супер + ХайКот Супер Extender забезпечило найкращі результати серед усіх варіантів дослідів. Зокрема, пізньостиглий сорт Саска, маючи хороший генетичний і сортовий потенціал, після обробки інокулянтами додає 4,6 ц/га, що на 20,2% більше за контроль.

Позитивна дія азотфіксувальної мікробіоти на організм рослин полягає не лише в оптимізації її нітрогенного живлення та зростанням рівня продуктивності, сапрофітна мікробіота, потрапивши до ризосфери рослин, знижує ймовірність їх інфікування фітопатогенами, підвищуючи стійкість до більшості хвороботворних збудників а також ряду різноманітних стресантів [11]. Також проведення передпосівної інокуляції насіння мікробними біопрепаратами сприяє покращенню якості посівного матеріалу та активізує фотосинтетичні процеси та сприяє інтенсифікації фотосинтезу в бактеризованих рослинах [12].

Постановка завдання. Метою дослідження було встановлення впливу передпосівної інокуляції насіння сої біологічними препаратами мікробного походження на розвиток бобово-ризобіального комплексу та нітрогеназної активності.

Матеріали та методика дослідження. Дослідження проводили в польових та лабораторних умовах кафедри біології Уманського національного університету у 2024 році в посівах сої сорту Медея.

Насіння сої перед сівбою інокулювали мікробними препаратами на основі бульбочкових бактерій відповідно до схеми досліду: Ризоактив, марка Р (1 л/т, містить бульбочкові бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, титр життєздатних клітин не менше $4,0 \times 10^9$ КУО/мл препарату); Нітродар (1,8 кг/т, містить клітини бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, титр життєздатних клітин не менше $4,2 \times 10^{10}$ КУО/мл); Різолік LLI (2 л/т, містить клітини бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, титр життєздатних клітин не менше $2,0 \times 10^{10}$ КУО/мл); Preside CL (1 л/т, містить клітини бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, титр життєздатних клітин не менше $4,2 \times 10^{10}$ КУО/мл). Повторність досліду триразова.

Загальну чисельність і масу бульбочок *Bradyrhizobium japonicum* досліджували за методикою, описаною В.В. Волкогоном та ін. [13]. Визначення нітрогеназної активності бульбочок сої виконували за допомогою ацетилен-редуктазного методу і виражали у мікромолях C_2H_4 , утвореного з C_2H_2 однією рослиною за 1 год [14].

Виклад основного матеріалу дослідження. У результатів проведених досліджень встановлено, що застосування передпосівної інокуляції насіння сої мікробними препаратами на основі штамів бульбочкових бактерій впливала на зміну активності бобово-ризобіального комплексу культури.

Так, зокрема, при дослідженні кількості бульбочок виявлено, що у фазі цвітіння культури за використання Ризоактиву кількість бульбочок на 1 рослині зросла порівняно з контрольним варіантом на 6,4 шт, тоді як на інокуляції насіння Нітродаром – на 8,7 шт. У разі бактеризації насіння сої мікробним препаратом Різолік LLI виявлено збільшення кількості бульбочок на 1 рослині проти контролю на 14,4 шт. Найбільша чисельність бульбочок спостерігалася за передпосівної обробки насіння препаратом Preside CL. У цьому варіанті досліду відмічено зростання кількості бульбочок у порівнянні з контролем на 18,0 шт/рослину, що також на 3,6 шт/рослину перевищувало значення у варіанті з використанням препарату Різолік (рис. 1).

Поряд із зростанням чисельності бульбочок на 1 рослині, спостерігалася також і збільшення їх маси. Так, зокрема, за обробки насіння Ризоактивом відмічено перевищення контрольного варіанту досліду стосовно маси бульбочкових бактерій на 0,149 г/рослину. За інокуляції насіння Нітродаром спостерігалася зростання маси бульбочок на 0,197 г/рослину. Серед усіх варіантів досліду найбільша маса бульбочок спостерігалася за бактеризації насіння препаратами Різолік LLI та Preside CL, що перевищувало показники контрольного варіанту на 0,239 та 0,263 г/рослину відповідно (рис. 2).

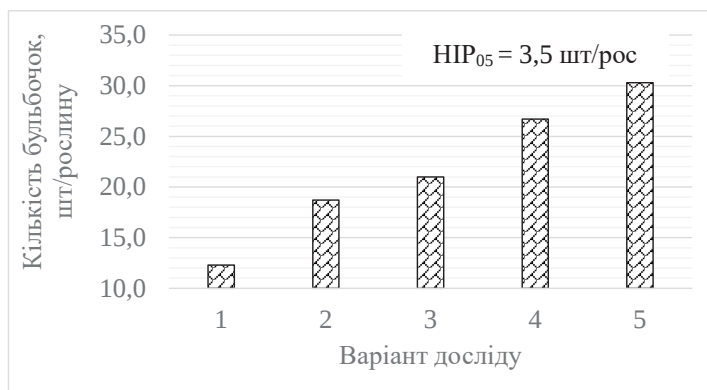


Рис. 1. Кількість бульбочок на коренях сої за передпосівної обробки насіння мікробними препаратами, фаза цвітіння, 2024 р.

1. Контроль (без препаратів); 2. Ризоактив; 3. Німродар; 4. Різолік LLI;
5. Preside CL

Зростання як чисельності, так і маси бульбочок на коренях сої після інокуляції мікробними препаратами на основі бульбочкових бактерій пояснюється низкою фізіологічних, біохімічних та екологічних чинників. Так, застосування інокулянтів забезпечує високу стартову концентрацію *Bradyrhizobium japonicum* (10^9 – 10^{10} КУО/мл, залежно від препарату), що створює сприятливі умови для швидкої колонізації ризосфери.

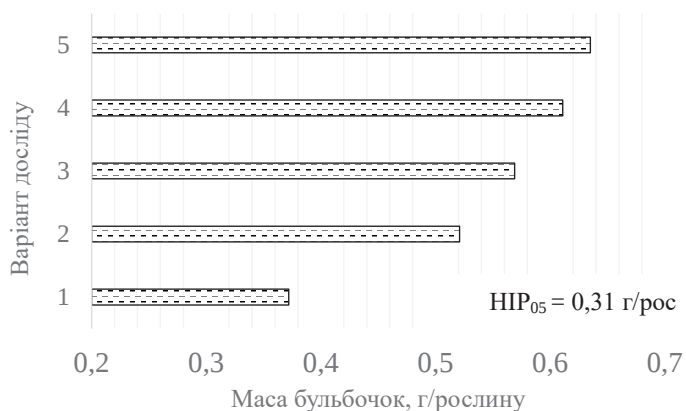


Рис. 2. Маса бульбочок на коренях сої за передпосівної обробки насіння мікробними препаратами, фаза цвітіння, 2024 р.

1. Контроль (без препаратів); 2. Ризоактив; 3. Німродар; 4. Різолік LLI;
5. Preside CL

У свою чергу, рослини сої виділяють флавоноїди, які індукують хемотаксис бактерій до коренів і стимулюють синтез Nod-факторів, що ініціюють утворення бульбочок. Також відомо, що сучасні інокулянти включають захисні матриці

(торф, гелі, біополімери), які підтримують життєздатність бактерій та сприяють їх поступовому вивільненню в зоні коренів [15–18].

Подальше дослідження формування бобово-ризобіального комплексу сої за передпосівною інокуляції насіння показало, що поряд із збільшенням числа та маси бульбочок на коренях рослин, спостерігається також і зростання азотфіксувальної активності бульбочок, про що свідчить підвищення нітрогеназної активності (рис. 3).

Так, у разі інокуляції насіння сої мікробним препаратом Ризоактив відмічено зростання нітрогеназної активності порівняно з контролем на 1330 нМоль етилену/рослину/год, тоді як за обробки насіння Нітродаром – на 1592 нМоль етилену/рослину/год. Найвищий азотфіксувальний потенціал відмічено у рослин на варіантах досліді із передпосівною бактеризацією насіння мікробними препаратами Різолік LLI та Preside CL. Тут перевищення нітрогеназної активності, порівнюючи з контролем, складало 1678 та 1765 нМоль етилену/рослину/год відповідно.

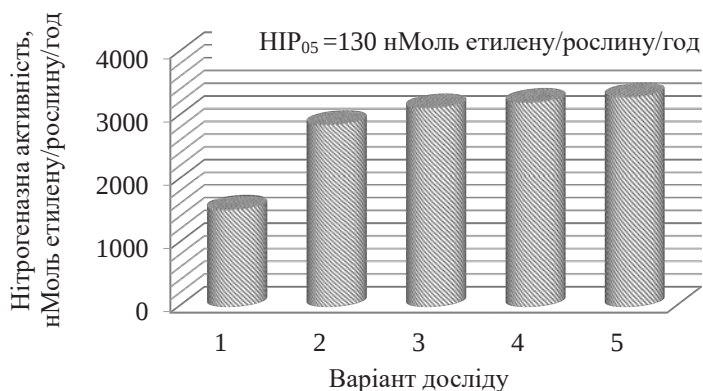


Рис. 3. Азотфіксувальна здатність сої за передпосівної обробки насіння мікробними препаратами, фаза цвітіння, 2024 р.

1. Контроль (без препаратів); 2. Ризоактив; 3. Нітродар; 4. Різолік LLI; 5. Preside CL

Зростання азотфіксувальної активності бульбочок, скоріш за все, спричинено тим, що зростання кількості та маси бульбочок створює стабільне симбіотичне середовище, в якому бактерії отримують від рослини вуглеводи, що стимулює їх подальше розмноження. Сукупність цих чинників забезпечує не лише різке зростання кількості *Bradyrhizobium japonicum* у прикореневій зоні, але й підвищує ефективність біологічної азотфіксації.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отримані результати свідчать, що передпосівна інокуляція насіння сої мікробними препаратами на основі бульбочкових бактерій значно покращує формування бобово-ризобіального комплексу. Найефективнішими виявилися препарати Preside CL та Різолік LLI, які забезпечили максимальне збільшення кількості та маси бульбочок, а також найвищу нітрогеназну активність. Очевидно, це спричинено високою початковою концентрацією *Bradyrhizobium japonicum* та активною симбіотичною взаємодією з рослиною. Отримані дані вказують на перспективність використання сучасних інокулянтів для підвищення ефективності біологічної азотфіксації у вирощуванні сої.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кобак С. Мікробні препарати – перспективний напрям у землеробстві України. Агробізнес сьогодні. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://surl.li/jczkjq>
2. Комок М.С., Волкогон В.В., Косенко Л.В. Ефективність симбіозу бульбочкових бактерій з рослинами сої в залежності від виду біопрепарату. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2010. Т. 11. С. 7–20.
3. Болоховський В.В., Бородай В.В., Косовська Н.А., Болоховська В.А., Нагорна О.В., Яковенко Д.О., Кузьмич В.І. Вплив біопрепаратів Граундфікс та Екостерн на мікробіоту ґрунту за вирощування сої (*Glycine max* L.). *Агроекологічний журнал*. 2024. №3. С. 156–163.
4. Патица В. П., Гнатюк Т. Т., Булеца Н. М., Кириленко Л. В. Біологічний азот у системі землеробства. *Землеробство*. 2015. 32. С. 12–20.
5. Коць С.Я., Кукол К.П. Вплив пестицидів на бульбочкові бактерії у чистій культурі та реалізацію їх симбіотичного потенціалу. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53. 33. С. 240–261.
6. Дідович С.В., Кулініч Р.О. Високопродуктивні рослинно-мікробні системи в агроценозах бобових культур. *Корми і кормовиробництво*. 2013. №76. С. 184–186.
7. Петриченко В.Ф., Коць С.Я. Симбіотичні системи у сучасному сільськогосподарському виробництві. *Вісник НАН України*. 2014. №3. С. 57–66.
8. Кириченко О.В., Мокрицький К.А. Посівні властивості насіння сої за інтродукції діазототрофних мікроорганізмів. *Фізіологія рослин та генетика*. 2017. Т. 49. №4. С. 347–357.
9. Сергієнко В. Г., Титова Л. В. Вплив бактеріальних препаратів на розвиток і продуктивність сої. Агробізнес сьогодні. 2020. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://surl.li/prxxndp>
10. Федорук І.В. Вплив інокуляції насіння на врожай сої. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 110–116.
11. Yang J.W., Kloepper J.W., Ryu C.M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci*. 2009. №14. С. 1–4.
12. Капінос М.В., Калитка В.В. Вплив регуляторів росту рослин і мікробних препаратів на проростання насіння та початковий ріст гороху посівного (*Pisum Sativum* L.) *Таврійський науковий вісник*. 2016. №96. С. 66–73.
13. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Токмакова Л. М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія. За редакцією В. В. Волкогона. К: Аграрна наука. 2010. 464 с.
14. Hardy R.W.F., Burns R.C., Holsten R.D. Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil. Biol. Biochem*. 1973. №5 (1). С. 41–83.
15. da Silva Batista, J. S., Hungria, M. Proteomics reveals differential expression of proteins related to a variety of metabolic pathways by genistein-induced *Bradyrhizobium japonicum* strains. *Journal of Proteomics*. Vol.75. Iss. 4. P. 1211–1219.
16. Gatabazi A., Vorster B.J., Mvondo-She M.A., Mangwende E., Mangani R., Hassen A.I. Efficacy of peat and liquid inoculant formulations of *Bradyrhizobium japonicum* strain WB74 on growth, yield and nitrogen concentration of soybean (*Glycine max* L.). *Nitrogen* 2021. №2. P. 332–346.
17. Maryland A. Effect of numbers of *Bradyrhizobium japonicum* applied on soybean nodulation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 1992. Vol. 155. Iss. 3. P. 241–244.
18. Spaink H. P. The molecular basis of infection and nodulation by rhizobia: the ins and outs of sympathogenesis. *Annual Review Of Phytopathology*. 1995. № 33. P. 345–368.