

КОРЕНЕВА СИСТЕМА СОЇ ЗА ДІЇ *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM*

І.І. Гуменюк, С.Ю. Грузінський, І.С. Бровко, Я.В. Чабанюк

Інститут агроекології і природокористування НААН

Проаналізовано кореневу систему рослин сої, оброблених інокулянтном Ризоактив Р, та тих, на яких спостерігалось утворення бульбочок аборигенними расами азотфіксувальних бактерій симбіонтів сої. Встановлено, що передпосівна інокуляція позитивно впливає на розвиток рослин за різних погодних умов. Варіант з передпосівною бактеризацією характеризувався двічі більшою кількістю бульбочок упродовж першого року досліджень та в 1,5 раза — протягом наступного року. Доведено позитивний вплив препарату на формування та розвиток нодуляційного апарату рослин, а також збільшення адсорбуючої поверхні коренів на 43% порівняно з варіантом без бактеризації.

Ключові слова: *Glycine max, Bradyrhizobium japonicum, соя, бульбочкові бактерії, нодуляційний апарат, адсорбуюча поверхня кореня.*

Активний розвиток кореневої системи рослин сприяє ефективному поглинанню поживних елементів з більш глибоких шарів ґрунту, а також тих, що перебувають у важкодоступній формі. Однією з найважливіших властивостей кореня є адсорбуюча (поглинальна) поверхня, що здатна пропускати поживні речовини, які містяться у ґрунті та є у безпосередньому контакті з ним, і може істотно зростати завдяки утворенню корневих волосків [1].

Поглинання розчинених компонентів ґрунту є прямопропорційним обміну речовин, що ним і визначається. Забезпечення рослин поживними сполуками залежить від розмірів кореневої системи, а також від швидкості поглинання, оскільки елементи мінерального живлення проходять через поверхню коренів [2].

Повноцінний розвиток кореневої системи сприяє формуванню активного симбіотичного апарату сої, що своєю чергою забезпечує рослину основною частиною необхідного їй азоту та ефективним перебігом процесу біологічної фіксації цього елемента з атмосфери. Невід'ємним елементом технології її вирощування є використання вискоефективних інокулянтів, основу яких становлять азотфіксувальні бактерії — *Bradyrhizobium japonicum*.

Тому метою роботи було встановити вплив *B. japonicum* на формування кореневої системи, а саме — на утворення симбіотичного апарату сої та показник адсорбційної поверхні кореня.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові дослідження проводили впродовж 2016–2017 рр. на дослідному полі відділу агроекології і біобезпеки Інституту агроекології і природокористування НААН (Хмельницький р-н, Вінницька обл.), тип ґрунту — чорнозем типовий глибокий, середньосуглинковий на карбонатному лесі, вміст гумусу (за Тюрнімом) — 4,25%; гідролізованого N (за Корнфільдом) — 124,25; рухомих P₂O₅ та K₂O (за Чиріковим) — 126 та 119 мг/кг ґрунту відповідно. Реакція ґрунтового розчину — близька до нейтральної (рН = 6,65). Попередником була соя (*Glycine max* (L.) Merrill). Передпосівну обробку насіння сої проводили безпосередньо у день посіву препаратом Ризоактив Р, з нормою витрат 2 л/т насіння. Використовували сою сорту Моравія (входить до «Рестру сортів рослин України» з 2011 р.).

Варіанти досліду: 1. Без бактеризації (контроль); 2. Бактеризація (препарат Ризоактив Р). Зразки відбирали у фазу бутонізації рослин. Біометричні показники рослин (довжину коренів, кількість утворених бульбочок) визначали за загальноприй-

нятими методиками [3]. Надземну масу рослин та масу коренів, масу бульбочок визначали ваговим методом. Закладку польових досліджень, спостереження, обліки та відбір проб проводили у відповідності з методикою проведення польових дослідів за Доспеховим [4].

Визначення загальної адсорбуючої поверхні коренів здійснювали у спосіб колориметрії методом Сабініна — Колосова. Як адсорбат використовували розчин барвника (метиленовий синій) [5]. Оптичну щільність розчинів вимірювали на фотоелектроколориметрі PG INSTRUMENTS T60 UV-Visible (Великобританія).

Нітрогеназну активність бульбочок сої визначали ацетилен-редуктазним методом та виражали у кількості мікромолів C_2H_4 на 1 рослину за 1 годину; вимірювання проводили на хроматографі Chrom-4 [6].

Статистичну обробку результатів досліджень, розрахунок стандартного відхилення та найменшої істотної різниці виконували з використанням стандартних комп'ютерних програм Statistica 10; Excel 2016.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати дослідження засвідчили, що в польових умовах за недостатньої кількості опадів у варіанті з бактеризацією насіння сої препаратом Ризоактив Р спостерігалось підвищення фактично усіх до-

сліджених показників вегетації. Так, довжина та маса кореня рослин сої зростала у 1,29 та 1,4 раза відповідно порівняно з варіантом, де інокулянт не застосовувався (табл. 1).

Кількість бобів становила 21,3 од./рослину, що переважало відповідний показник контрольного варіанта в 1,26 раза, однак маса бобів у цьому разі дещо зменшувалась. Можна зробити припущення, що через низьку кількість опадів у вегетаційний період 2016 р. підземна частина рослини розвивалась краще, ніж надземна, завдяки компенсаторним властивостям, якими володіє соя. Крім того, отримані дані підтверджують заявлений набір характеристик цього сорту, а саме — стійкість до посухи. Літературні дані свідчать, що за недостатньої кількості вологи коренева система рослин продовжувала активно розвиватись [7].

Погодні умови 2017 р. характеризувалися задовільною кількістю опадів та зволоження. У варіанті з передпосівною бактеризацією препаратом Ризоактив Р кількість бобів збільшувалася в 1,37 раза, тоді як маса залишалася на тому самому рівні, що і на контролі.

Отже, як в умовах засушливого року, так і року із задовільною кількістю опадів передпосівна обробка насіння сої *B. japonicum* сприяла кращому розвитку підземної частини рослин.

Таблиця 1

Показники вегетації рослин сої (2016–2017 рр.)

Варіант	Довжина кореня, см	Маса кореня, г (а.с.р.)*	Кількість бобів од./рослину	Маса бобів, г
2016				
Контроль (без бактеризації)	16,5±0,6	4,53±0,7	16,9±1,2	3,45±0,3
Ризоактив Р	20,3±1,1	6,35±0,8	21,3±0,6	8,84±0,4
2017				
Контроль (без бактеризації)	14,25±0,8	5,7±0,7	18,2±0,6	8,21±0,4
Ризоактив Р	18,45±1,2	7,3±1,1	25,1±1,5	9,16±0,7

Примітка: *а.с.р. — абсолютно суха речовина.

Результати дослідження кореневої системи у варіантах з інокуляцією рослин сої *B. japonicum* (препарат Ризоактив Р) та без її застосування засвідчили формування функціонального симбіотичного апарату культури. Тому можна зробити припущення, що він був створений расами бульбочкових бактерій, наявними у ґрунті. Можливо, досліджуваний сорт культури виявився комплементарним до деяких аборигенних штамів ризобій, що і посприяло формуванню ефективної симбіотичної системи [8].

Зауважимо, що у цьому аспекті необхідним є постійний пошук, щорічний добір та поновлення не лише сортів сої, але й азотфіксувальних бактерій — симбіонтів культури, які можуть реагувати на кореневі виділення рослини утворенням функціональних бульбочок.

Проведені нами дослідження засвідчили, що за різних погодних умов (2016–2017 рр.) бактеризація насіння позитивно впливала на формування та розвиток нодуляційного апарату рослин сої і, як наслідок, сприяла його активному функціонуванню.

Результати порівняння показників нодуляційного апарату рослин, оброблених препаратом на основі *B. japonicum*, із рослинами без такої обробки засвідчили його активне функціонування в обох варіантах досліджу. Варіант з передпосівною бактеризацією характеризувався вдвічі більшою кількістю бульбочок упродовж першого року та в 1,5 раза — протягом другого

року досліджень порівняно з контролем (рис. 1).

Схожа тенденція спостерігалась і з показником маси бульбочок, утворених на коренях рослин у варіанті із бактеризацією *B. japonicum*.

Можна зробити висновок, що штами, які входять до складу біологічного препарату бульбочкових бактерій, є високоефективними, селекціонованими, більш адаптованими до широкого спектра сортів.

Також нами зафіксовано збільшення кількості бульбочок упродовж 2017 р. (в умовах задовільної кількості опадів), утворених аборигенними расами бактерій сої, що у 2,5 раза більше порівняно із засушливим 2016 р. Це може свідчити про їх швидку активізацію у ґрунті впродовж періоду досліджень, що також підтверджується літературними даними [9].

Поряд з тим спостерігалось утворення активного симбіотичного апарату рослин сої місцевих популяцій ризобій — бульбочки на зламі мали червоне забарвлення. Неінокульовані рослини характеризувались меншою кількістю утворених бульбочок, але вони були значно більшими та відрізнялися формою поверхні.

У рік із задовільним зволоженням в обох варіантах досліджу розміщення бульбочок сої було більш-менш рівномірним на всій площі кореня. Обробка препаратом на основі бульбочкових бактерій *B. japonicum* сприяє підвищенню розвитку симбіотично-

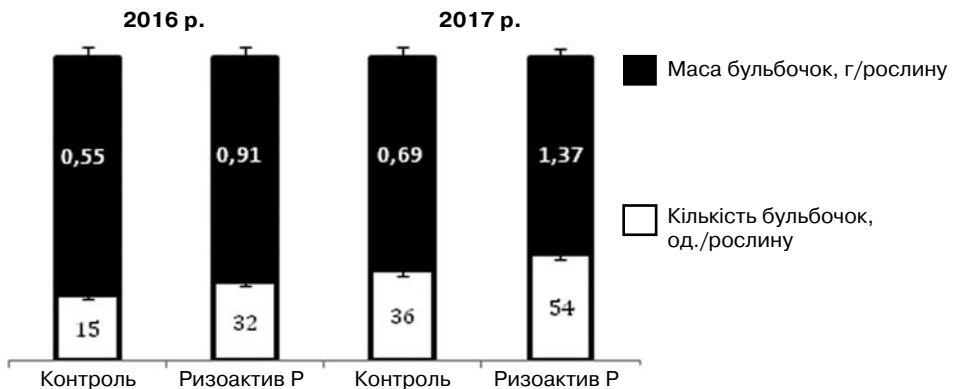


Рис. 1. Нодуляційний апарат рослин сої

го апарату рослин як за недостатньої кількості опадів, так і в умовах задовільного зволоження.

Слід зауважити, що під час розвитку нодуляційного апарату сої в умовах недостатнього зволоження у варіанті із застосуванням інокулянту його формування відбувалося на базальному корені, а у варіанті із потраплянням локальних популяцій ризобій бульбочки розміщувалися на бічних коренях, можливо, унаслідок того, що склад ґрунту та кількість вологи не давали змогу потрапити їм саме на центральний корінь [10].

Дослідження функціонування симбіотичного апарату сої засвідчило, що за дії інокулянту відзначалося підвищення нітрогеназної активності під час вегетаційного періоду впродовж 2016 р. із низькою кількістю опадів на 24% порівняно з контролем. В умовах задовільного зволоження 2017 р. спостерігалася подібна ситуація з аборигенними расами бульбочкових бактерій сої – відбувалася їх активізація (рис. 2) [11].

У варіанті із бактеризацією препаратом Ризоактив Р, у якому містяться активні штами бульбочкових бактерій, упродовж року із задовільною кількістю опадів (2017 р.) цей показник становив 2,2 мкмоль C_2H_4 /рослину-год, а у варіанті без бактеризації – 2,1 мкмоль C_2H_4 /рослину-год.

Нами було зафіксовано, що рівень активності функціонування симбіотичного апарату сої, утвореного активними штамми азотфіксувальних бактерій культури, лише незначно перевищував відповідний показник варіанта з аборигенними расами бактерій, що може свідчити про існування у ґрунті конкурентоздатної місцевої популяції ризобій.

Так, незважаючи на велику кількість інокулянтів на ринку України, необхідно вести постійний пошук та селекцію нових штамів бульбочкових бактерій сої, про що свідчать отримані дані щодо існування у ґрунті популяцій бульбочкових бактерій з корисними агрономічними

показниками, які постійно змінюються і набувають нових позитивних властивостей для введення їх до складу сучасних препаратів.

Важливим і найбільш переконливим показником розвитку кореневої системи є адсорбуюча або поглинальна поверхня кореня.

Аналіз поглинальної поверхні коренів рослин сої за дії азотфіксувальних бактерій, незважаючи на контрастні погодні умови, засвідчив формування потужної кореневої системи, від розмірів якої залежить кількість поживних речовин, тобто елементів мінерального живлення, що проходять через її поверхню.

Інокулянт Ризоактив Р навіть в засушливих умовах 2016 р. сприяв формуванню значної адсорбуючої поверхні кореня рослин, яка на 43% переважала відповідний показник контрольного варіанта (рис. 3).

В умовах 2017 р. із задовільною кількістю опадів ефективні штами *B. japonicum* у складі препарату демонстрували схожу тенденцію розвитку адсорбуючої поверхні кореневої системи сої. Своєю чергою, за застосування препарату на основі бульбочкових бактерій сої адсорбуюча поверхня коренів рослин становила 1,45 м² і переважала на 19% відповідний показник контрольного варіанта. В умовах нестачі вологи

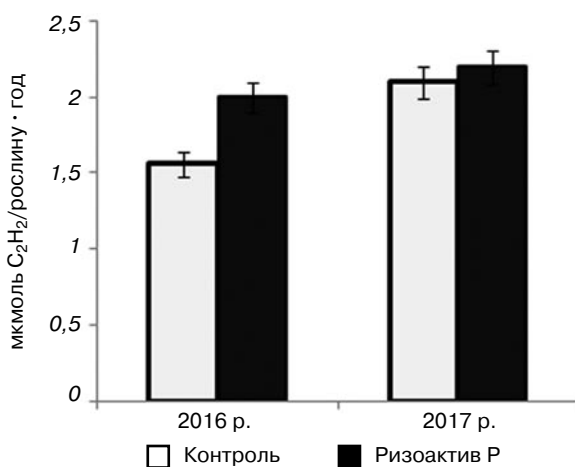


Рис. 2. Нітрогеназна активність бульбочок сої

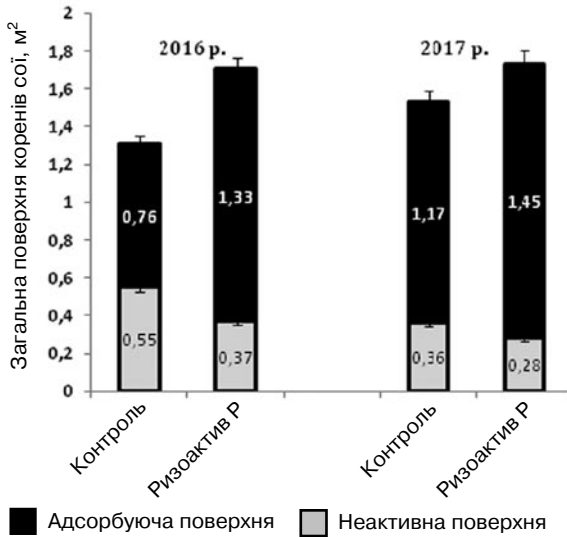


Рис. 3. Адсорбуюча поверхня коренів

(2016 р.) у контрольному варіанті адсорбуюча поверхня кореня була невисокою (0,76 м²), проте за задовільної кількості опадів (2017 р.) за дії локальних популяцій ризобій відбувалася їх активізація, вказаний показник зростав у 1,5 раза.

Так, препарати азотфіксувальних бактерій не лише формують активний симбіотичний апарат та сприяють фіксації азоту, а й позитивно впливають на адсорбуючу поверхню кореня. Показники врожайності та якості насіння сої збільшувались (табл. 2).

Так, у варіанті із передпосівною бактеризацією сої препаратом Ризоактив Р

урожайність культури становила 2,61 т/га в умовах 2016 р. з недостатньою кількістю опадів. За задовільного зволоження у 2017 р. урожайність сої у цьому варіанті досліду була на рівні 2,87 т/га. Тобто прибавка врожаю становила 24%.

В умовах недостатнього зволоження 2016 р. уміст білка у насінні інокульованої сої зріс на 5,4%, а за задовільного зволоження 2017 р. — на 8,7% порівняно з контрольним варіантом відповідно.

ВИСНОВКИ

Передпосівна інокуляція позитивно впливає на розвиток рослин за різних погодних умов. Так, за використання високоактивного інокулянту сої Ризоактив Р на основі трьох штамів

B. japonicum було сформовано активний азотфіксувальний апарат сої. Упродовж 2016–2017 рр. біометричні показники рослин сої (довжина кореня та маса кореня) збільшилися у 23,0–29,5 та 28,1–40,2% відповідно.

Бульбочкові бактерії *B. japonicum* у складі інокулянту Ризоактив Р сприяють збільшенню адсорбуючої поверхні коренів у 1,75 та 1,24 раза в роки з недостатнім та задовільним зволоженням відповідно. Ефективний симбіоз взаємодії *B. japonicum* з соєю дає змогу забезпечити рослину усіма поживними компонентами, сформу-

Таблиця 2

Урожайність насіння сої (за 2016–2017 рр.)

Варіант	Урожайність, т/га	Уміст білка, %	Уміст олії, %
2016 р.			
Контроль (без бактеризації)	1,86	36,9	20,2
Ризоактив Р	2,61	38,9	20,5
НІР ₀₅	0,16	0,41	0,28
2017 р.			
Контроль (без бактеризації)	2,31	38,1	20,4
Ризоактив Р	2,87	41,4	20,5
НІР ₀₅	0,11	0,56	0,36

вати потужну кореневу систему і, зрештою, отримати прибавку врожайності культури на рівні 0,56–0,75 т/га порівняно з контролем в умовах обох років досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Bengough A.G.* Root hairs improve root penetration, rootsoil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength / A.G. Bengough, I.M. Young, R.E. Haling // *Journal of Experimental Botany*. – 2013. – Vol. 64, Issue 12. – P. 3711–3721.
2. Root isoflavonoids and hairy root transformation influence key bacterial taxa in the soybean rhizosphere / L.J. White, X. Ge, V.S. Brözel, S. Subramanian // *Environmental Microbiology*. – 2017. – Vol. 19, Issue 4. – P. 1391–1406.
3. Большой практикум по физиологии растений / И.А. Чернавина, Н.Г. Потапов, Л.Г. Косулина, Т.Е. Кренделева. – М.: Высш. школа, 1978. – 408 с.
4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
5. *Колосов И.И.* Поголотительная деятельность корневых систем / Н.Н. Колосов. – М.: АН СССР, 1962. – 389 с.
6. *Hardy R.W.F.* Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation / R.W.F. Hardy, R.C. Burns, R.D. Holsten // *Soil. Biol. Biochem.* – 1973. – Vol. 5, No. 1. – P. 41–83.
7. *Головина Е.В.* Влияние погодных условий на фотосинтетическую деятельность и зерновую продуктивность сортов сои северного экотипа / Е.В. Головина, В.И. Зотиков // *Земледелие*. – 2012. – № 5. – С. 44–46.
8. *Тильба В.А.* Особенности формирования симбиотического аппарата у среднеспелых сортов сои на выщелоченном черноземе Краснодарского края: Масличные культуры / В.А. Тильба // *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. – 2017. – Вып. 4 (172). – С. 72–78.
9. Do soybeans select specific species of *Bradyrhizobium* during growth? / A. Sugiyama, Y. Ueda, H. Takase, K. Yazaki // *Communicative & Integrative Biology*. – 2015. – Vol. 8, Issue 1. – P. 33–41
10. *Сидорова К.К.* Симбиотическая азотфиксация: генетические, селекционные и эколого-агрохимические аспекты / К.К. Сидорова, В.К. Шумный, В.М. Назарюк. – Новосибирск.: Гео, 2006. – 134 с.
11. *Толкачев Н.З.* Координированная селекция клубеньковых бактерий и бобовых растений – генетическая основа высокоэффективного бобово-ризобияльного симбиоза / Н.З. Толкачев // *Нетрадиционное растениеводство. Эниология. Экология и здоровье: XI Междунар. симпозиум*. – Симферополь, 2002. – С. 478–480.

REFERENCES

1. Bengough, A.G., Young, I.M., Haling, R.E., Brown, L.K., Hallett, P.D., White, P.J. et al. (2013). Root hairs improve root penetration, rootsoil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength. *Journal of Experimental Botany*, 64, 12, 3711–3721 [in English].
2. White, L.J., Ge, X., Brözel, V.S., Subramanian, S. (2017). Root isoflavonoids and hairy root transformation influence key bacterial taxa in the soybean rhizosphere. *Environmental Microbiology*, 19, 4, 1391–1406 [in English].
3. Chernavina, I.A., Potapov, N.G., Kosulina, L.G., Krendeleva, T.E. (1978). *Bolshoi praktikum po fiziologii rastenii [A large workshop on plant physiology]*. Moskva: Vysshaya shkola [in Russian].
4. Dospheov, B.A. (1973). *Metodika polevogo opyta [Field experiment technique]*. Moskva: Kolos [in Russian].
5. Kolosov, I.I. (1962). *Poglotitel'naya deiatel'nost' kornevyykh sistem [Absorption activity of root systems]*. Moskva: AN SSSR [in Russian].
6. Hardy, R.W.F., Burns, R.C., Holsten, R.D. (1973). Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil. Biol. Biochem.*, 5, 1, 41–83 [in English].
7. Golovina, E.V., Zotikov, V.I. (2012). Vlianie pogodnykh usloviy na fotosinteticheskiyu deiatel'nost' i zernovuyu produktivnost' soi severnogo ekotipa [The influence of weather conditions on photosynthetic activity and grain productivity of soybean varieties of the northern ecotype]. *Zemledel'nyye – Agriculture*, 5, 44–46 [in Russian].
8. Tilba, V.A., Tishkov N.M., Shkarupa M.V. (2017). Osobennosti formirovaniia simbioticheskogo apparata u srednespelykh sortov soi na vyshchelochennom chernozeme Krasnodarskogo kraia: Maslichnye kultury [Features of the formation of a symbiotic apparatus in medium-ripening soybean varieties on leached chernozem of the Krasnodar Territory: Oilseeds]. *Nauchno-tehnicheskii biulleten Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kultur – Scientific and Technical Bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds*, 4, 172, 72–78 [in Russian].
9. Sugiyama, A., Ueda, Y., Takase, H., Yazaki, K. (2015). Do soybeans select specific species of *Bradyrhizobium* during growth? *Communicative & Integrative Biology*, 8, 1, 352–362 [in English].
10. Sidorova, K.K., Shumnyi, V.K., and Nazariuk, V.M. (2006). *Simbioticheskaya azotfiksatsiya: geneticheskaya, selektsionnyye i ekologo-agrokhimicheskie aspekty [Symbiotic Nitrogen Fixation: Genetic, Breeding, Ecological and Agrochemical Aspects]*. Novosibirsk: Geo [in Russian].
11. Tolkachev, N.Z. (2002). Koordinirovannaya selektsiya klubenykovykh bakteriy i bobovykh rasteniy – geneticheskaya osnova vysokoeffektivnogo bobovorizobial'nogo simbioza [Coordinated selection of nodule bacteria and leguminous plants – the genetic basis of highly effective bean-rhizobia symbiosis]. *Unconventional plant growing. Eniology. Ecology and Health '02: XI Mezhdunar. simpozium – 11th Intern. Symposium*. (pp. 478–480). Simferopol [in Russian].