

МІКРОБІОТА ҐРУНТУ РИЗОСФЕРИ СОЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ РИЗОАКТИВУ І ГЕРБИЦИДІВ

В.П. Карпенко¹, О.І. Заболотний¹, Р.М. Притуляк¹, О.В. Голодрига¹,
І.Б. Леонтюк¹, Л.В. Розборська¹, Т.П. Новікова¹, В.П. Патика²

¹Уманський національний університет садівництва,
вул. Інститутська, 1, Умань, 20305, Україна

²Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ, 03143, Україна
e-mail: v-biology@ukr.net

Мета. Дослідити мікробіоту ґрунту ризосфери сої та її симбіотичний апарат за використання передпосівної обробки насіння мікробним препаратом Ризоактив (*Bradyrhizobium japonicum* М-8) й досходових гербіцидів Гезагард 500 FW, концентрат суспензії, Примекстра TZ Голд 500 SK, концентрат суспензії та Кратос, концентрат емульсії. **Методи.** Для інокуляції насіння сої використовували бактеріальну суспензію Ризоактиву (титр життєздатних клітин *Bradyrhizobium japonicum* М-8 в 1 мл препарату 4×10^9) з розрахунку 2,0 л/т. Для боротьби з бур'янами вносили ґрунтові гербіциди Гезагард 500 FW (прометрин, 500 г/л) у нормах 3,0; 4,0 та 5,0 л/га; Примекстру TZ Голд 500 SK (S-метолахлор, 312,5 г/л + тербуталазин, 187,5 г/л) у нормах 4,0; 4,25 і 4,5 л/га та Кратос (ацетохлор, 900 г/л) у нормах 2,0; 2,5 і 3,0 л/га. Дослідження чисельності мікробіоти ризосфери сої та її симбіотичного апарату проводили відповідно до загальноприйнятих у ґрунтовій мікробіології методик. **Результати.** Встановлено, що інокуляція насіннєвого матеріалу сої препаратом Ризоактив та застосування гербіцидів Гезагард 500 FW, Примекстра TZ Голд 500 SK і Кратос впливає як на формування симбіотичного апарату сої, так і на чисельність мікроорганізмів у її ризосфері. Виявлено тенденцію до деякого зниження загальної чисельності ризосферних бактерій, що використовують як джерело живлення переважно органічні форми азоту (амоніфікувальна група), а також кількості мікроорганізмів окремих еколого-трофічних груп, зі зростанням норм внесення гербіцидів до рівня чисельності мікробіоти в контролі. **Висновки.** Інокуляція насіння сої мікробним препаратом Ризоактив і застосування для боротьби з бур'янами ґрунтових гербіцидів сприяє більш активному у порівнянні з контролем (без використання гербіцидів і мікробного препарату) формуванню симбіотичного апарату сої та розвитку окремих груп мікроорганізмів (нітрифікувальних та целюлозолітичних) у ґрунті ризосфери. Порівняння різних фонів застосування гербіцидів показало, що найоптимальніший вплив на формування симбіотичного апарату, загальної чисельності ризосферних мікроорганізмів та окремих їх еколого-трофічних груп у ризосфері сої мало досходове застосування гербіциду Примекстра TZ Голд 500 SK у нормах 4,0–4,5 л/га. Деяке пригнічення розвитку окремих груп мікробіоти, в тому числі й бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* було відмічено за дії гербіциду Кратос у нормах 2,0–3,0 л/га.

Ключові слова: мікробіологічна активність, соя, інокуляція, симбіоз, ризосфера, бульбочкові бактерії, мікробіота, Ризоактив, гербіциди.

В екологічно орієнтованому сільськогосподарському виробництві до стратегічних культур належить соя (*Glycine max* (L.) Merr.), яка поєднала у собі два фундаментальних процеси: фотосинтез і біологічну фіксацію азоту [1].

Здатність бобових культур до формування кореневих бульбочок і фіксації атмосферного азоту була описана ще в XVI ст., а в XIX ст. дані показники почали вважати діагностичною ознакою бульбочкових бактерій [2]. На думку Л.А. Лутової зі співав. [3], у процесі еволюції бобових відбулося істотне посилення їх азотфіксувального потенціалу, що супроводжувалось ускладненням організації бульбочок і розвитком більш тісного контакту між клітинами партнерів. З метою підвищення стійкості рослин до стресових чинників, зокрема, для зниження негативної дії ксенобіотиків на ґрунт і рослини, у сільськогосподарській практиці все ширше застосовують мікробні препарати [4], у тому числі й на основі симбіотичних азотфіксувальних бактерій. Такі препарати здатні не лише покращувати азотне живлення бобових, але й виступають регуляторами росту рослин, оскільки мікроорганізми симбіотичного характеру взаємовідносин здатні синтезувати широкий спектр біологічно активних речовин – біостимуляторів [5].

Ряд авторів стверджують [5–7], що на фоні використання гербіцидів біологічні препарати можуть виконувати роль антидепресантів – антистресових сполук, які прискорюють детоксикацію.

Дослідження, виконані з низкою гербіцидів, засвідчують, що характер дії цих хімічних сполук на ґрунтові мікроорганізми залежить від хімічного складу, норм і строків їхнього внесення, тощо [5, 8]. Проте гербіциди, як високоактивні хімічні сполуки, навіть у рекомендованих для виробництва нормах виявляють істотний вплив на ґрунтову мікробіоту, що на початкових етапах дії препаратів відображається у зміні її чисельності та активності.

Літературні дані є досить суперечливими стосовно впливу гербіцидів на функціонування мікробних угруповань ґрунту. Так, в дослідженнях Х.А. Валід Ібрагім [9], пендиметалін, 330 г/л (Стомп) у нормі 5,0 л/га зумовлював зменшення кількості мікроміцетів у ризосфері соняшнику та кукурудзи, водночас Диметенамід-П, 720 г/л (Фронт'єр) у нормах 1,7 і 1,5 л/га – забезпечував зростання їх кількості.

В інших дослідженнях було доведено токсичну дію 1,5 л/га хлортолурону, 500 г/л (Лентипур), що пригнічував розвиток бактерій і актиноміцетів у ризосфері пшениці озимої у 1,5 та 1,3 рази відповідно, а мікроміцетів – у 1,8 рази [10], тоді як римсульфурон, 500 г/кг + тифенсульфурон-метил, 250 г/кг (Базис 75) у нормі 20 г/га не виявляв негативного впливу на чисельність основних груп мікробіоти у ризосфері кукурудзи [11].

Інші автори [12] встановили, що дія гербіцидів на ґрунтову мікробіоту проявляється лише на початкових етапах їх застосування, а далі може сприяти зростанню чисельності її окремих груп, зокрема, стійких до даних хімічних сполук, або ж причиною зростання чисельності мікроорганізмів може стати загибель конкуруючих популяцій [13].

Дія гербіцидів на азотфіксувальну активність сої, зокрема формування симбіотичного апарату, висвітлено в літературі недостатньо, проте за умови впливу гербіцидів на інтенсивність фотосинтезу та стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у рослин сої (а саме енергетична складова процесу фіксації азоту в симбіотичній системі забезпечується фотосинтезом) можна припустити й про опосередковані зміни в активності й функціонуванні азотфіксувального апарату [7]. Так, в поодиноких

повідомленнях [14] вказується, що застосування імазетапіру, 450 г/кг + хлорімурон-етил, 150 г/кг (Фабіан) не пригнічувало формування бульбочок на коренях сої, а навпаки – підсилювало їх розвиток і функціонування.

Загалом дані, отримані дослідниками стосовно мікробіологічної активності в посівах сільськогосподарських культур за дії хімічних і біологічних препаратів є досить суперечливими. Водночас констатується позитивна дія сумісного їх застосування на мікробіоту агроценозів, проте питання дії мікробних препаратів і гербіцидів на формування симбіотичного апарату і розвиток окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів ризосфери сої є недостатньо вивченим.

У зв'язку з цим метою нашої роботи було дослідити формування симбіотичного апарату і мікробіоценозу ризосфери сої за використання мікробного препарату на основі бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* штам М-8 (Ризоактив марка Р) і гербіцидів Гезагард 500 FW, Примекстра TZ Голд 500 SK та Кратос.

Матеріали і методи. Дослідження чисельності мікроорганізмів у ризосфері сої сорту Романтика виконували в польових і лабораторних умовах на кафедрі біології Уманського національного університету садівництва впродовж 2015–2017 років. Насіння сої за добу до сівби обробляли бактеріальною суспензією мікробного препарату Ризоактив марки Р (бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* М-8, титр життєздатних клітин – не менше 4×10^9 КУО/мл препарату) з розрахунку 2,0 л/т насіння (виробник – ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Агроекологія», Україна). Перед сівбою на дослідній ділянці вносили ґрунтові гербіциди: Гезагард 500 FW (концентрат суспензії (к.с.), прометрин, 500 г/л) у нормах 3,0; 4,0 та 5,0 л/га (виробник – Syngenta AG, Швейцарія); Примекстру TZ Голд 500 SK (концентрат суспензії (к.с.), S-метолахлор, 312,5 г/л + тербуталазин, 187,5 г/л) у нормах 4,0; 4,25 і 4,5 л/га (виробник – Syngenta AG, Швейцарія) та Кратос (концентрат емульсії (к.е.), ацетохлор, 900 г/л) у нормах 2,0; 2,5 і 3,0 л/га (виробник – Хімагромаркетинг, Україна). Дані гербіциди контролюють переважну більшість однодольних і дводольних видів бур'янів. Дослід закладали систематичним методом з послідовним розміщенням варіантів у чотириразовому повторенні. Детальну схему досліду приведено в таблиці 1. Гербіциди вносили акумуляторним ранцевим обприскувачем DS-3WF-3 із розрахунку витрати робочої суміші 200 л/га. Норми внесення гербіцидів на дослідних ділянках розраховували, виходячи з гектарних норм їх застосування, враховуючи площу ділянки та норму витрати рідини. Загальна площа однієї дослідної ділянки складала 42 м², облікова – 24 м².

Ґрунт досліду – чорнозем опідзолений малогумусний важкосуглинковий на лесі з вмістом в орному шарі гумусу 3,5 %, рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова) – 88 і 132 мг/кг відповідно, азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфілда) – 103 мг/кг, рНсол – 6,2, гідролітична кислотність – 2,26 смоль/кг ґрунту [15].

Чисельність мікроорганізмів у агрофітоценозі сої та формування її симбіотичного апарату оцінювали у фазі цвітіння культури. Проби ґрунту з ризосфери сої відбирали у відповідності до загальноприйнятих методик [16]. Загальну кількість і масу бульбочок *Bradyrhizobium japonicum* досліджували за методикою, описаною В.В. Волкогон та ін. [16], загальну чисельність ризосферних мікроорганізмів, що використовують як джерело живлення переважно органічні форми азоту (амоніфікувальна група) – шляхом висіву ґрунтової суспензії відповідних розведень на агаризоване середовище м'ясо-пептонний агар (МПА), нітрифікувальних бактерій – на селективному середовищі С.М. Виноградського, целюлозолітичних мікроорганізмів – на середовищі О.О. Імшенецький, Л.І. Солнцева [17]. Кількість мікроорганізмів виражали в колонієутворюючих одиницях (КУО) на тис. клітин в 1 г абсолютно сухого ґрунту залежно від методики визначення.

Статистичну обробку даних виконували в програмі Microsoft Office Excel 2007 за Доспеховим [18].

Результати. Одним із вагомих критеріїв оцінки симбіотичних властивостей сої за дії мікробних препаратів на основі ризобій, які контролюються полігенами, є формування на кореневій системі рослин кількості і маси бульбочок. Проаналізувавши нодуляційну активність ризобій Ризоактиву на фоні використання різних видів і норм гербіцидів, можна констатувати, що формування бульбочок і їх маси залежало від хімічного складу досліджуваних препаратів та від тривалості їх дії у ґрунті. Так, на безгербіцидному фоні за обробки насіння перед сівбою Ризоактивом формувалася симбіотичний апарат, що перевищував у фазі цвітіння спонтанну інокуляцію в контрольному варіанті у 2,0 рази за кількістю бульбочок та у 1,3 рази – за їх масою (табл. 1).

За умов вирощування сої на фоні внесення Гезагарду 500 FW також відмічено більш активне наростання кількості і маси бульбочок порівняно з контрольним варіантом, проте в порівнянні з симбіотичним апаратом сої, насіння якої оброблялось Ризоактивом, але висівалось на безгербіцидному фоні, дані показники були дещо нижчими. Так, за дії 3,0; 4,0 і 5,0 л/га Гезагарду 500 FW кількість бульбочок на кореневій системі однієї рослини сої перевищила відповідні показники в контролі (спонтанна інокуляція) у 2,0; 1,8 і 1,6 рази відповідно, їх масу – у 1,1–1,2 рази, тоді як у порівнянні з варіантом окремого використання Ризоактиву відмічалось зниження даних показників у середньому в 0,8–0,9 рази як за кількістю, так і за масою.

За вирощування сої на фоні внесення гербіциду Примекстра TZ Голд 500 SK простежувалося більш активне бульбочкоутворення як у порівнянні з контролем, так і в порівнянні з іншими варіантами дослідів, зокрема, з варіантом, в якому було застосовано Гезагард 500 FW. Так, за ґрунтового внесення 4,0; 4,25 і 4,5 л/га Примекстри TZ Голд 500 SK спостерігалось збільшення кількості бульбочок на кореневій системі сої порівняно з показниками спонтанної інокуляції в контролі у 2,4; 2,2 і 2,0 рази, їх маси – у 1,5; 1,4 і 1,3 рази відповідно.

Таблиця 1

Формування симбіотичного апарату сої, інокульованої Ризоактивом та вирощуваної на фоні внесення різних видів гербіцидів (фаза цвітіння, середнє за 2015–2017 рр.)

Варіант досліджу	Кількість бульбочок, шт./рослину	Маса бульбочок, г/рослину
Без використання гербіцидів і мікробного препарату (контроль)	20	0,75
Ризоактив 2,0 л/т (безгербіцидний фон)	40	1,00
Гезагард 500 FW 3,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т	38	0,90
Гезагард 500 FW 4,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т	36	0,87
Гезагард 500 FW 5,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т	32	0,83
Примекстра TZ Голд 500 SK 4,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т	47	1,12
Примекстра TZ Голд 500 SK 4,25 л/га + Ризоактив 2,0 л/т	43	1,06
Примекстра TZ Голд 500 SK 4,5 л/га + Ризоактив 2,0 л/т	40	0,96
Кратос 2,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т	27	0,81
Кратос 2,5 л/га + Ризоактив 2,0 л/т	21	0,78
Кратос 3,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т н	18	0,73
<i>НІР₀₅</i> *	3,0–3,8	0,04–0,06

Примітка: * – приведено міні і максимум значення за роки досліджень.

Аналізуючи нодуляційну активність Ризоактиву у рослин сої, вирощуваних на фоні внесення гербіциду Кратос, к.с., можна відмітити деякий негативний ефект. Так, за норм гербіциду 2,0 і 2,5 л/га бульбочкоутворення виявилось найменш активним серед варіантів досліджу, хоча в порівнянні із спонтанною інокуляцією в контролі простежувалось незначне перевищення досліджуваних показників до 1,4 рази за кількістю і 1,1 рази – за масою. Разом з тим використання максимальної норми Кратосу (3,0 л/га) викликало пригнічення формування симбіотичного апарату сої у порівнянні з контролем і варіантом застосування Ризоактиву відповідно до 2,2 разів за кількістю бульбочок та до 1,3 рази – за їх масою.

Дослідження мікробіоценозу ґрунту ризосфери сої продемонструвало тенденцію до активізації розвитку мікробіоти по відношенню до контролю як у варіанті із окремим використанням Ризоактиву по безгербіцидному фоні, так і на фоні внесення різних видів і норм гербіцидів, але як і у випадку з формуванням нодуляційного апарату сої, загальна чисельність ризосферних мікроорганізмів, що використовують для живлення переважно органічні форми азоту, залежала від варіанту досліджу та значно між ними різнилася (рис. 1).

Так, за інокуляції насіння сої перед сівбою Ризоактивом і її вирощування на безгербіцидному фоні загальна чисельність мікроорганізмів у ризосфері культури зросла порівняно з контролем у 1,5 рази.

За вирощування сої, обробленої Ризоактивом, на фоні застосування Гезагарду 500 FW у нормах 3,0; 4,0 і 5,0 л/га відмічено активізацію розвитку загальної кількості ризосферних мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту, стосовно контролю у 1,5, 1,3 і 1,2 рази відповідно.

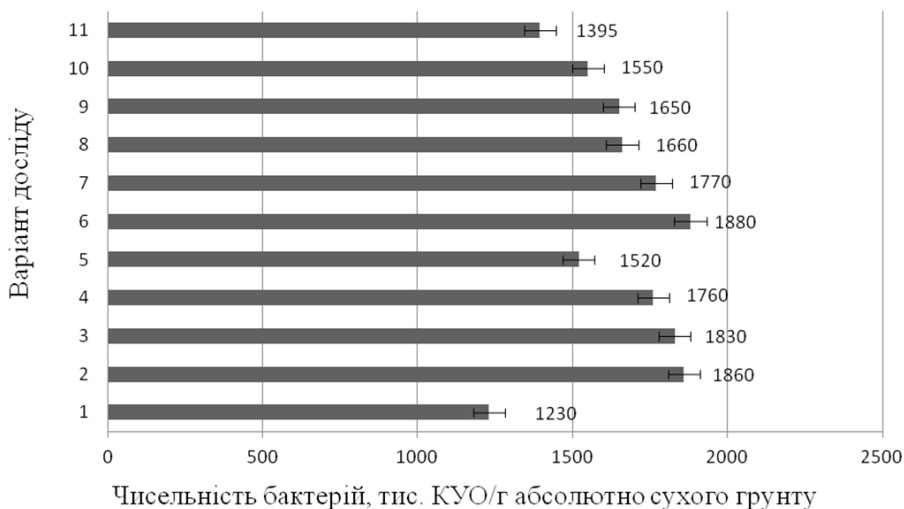


Рис. 1. Чисельність ризосферних мікроорганізмів, що використовують для живлення переважно органічні форми азоту, за інокуляції сої Ризоактивом та фоновому внесення різних видів гербіцидів (фаза цвітіння, середнє за 2015-2017 рр. $НІР_{05} = 140-167$)

1. Без використання гербіцидів і мікробного препарату (контроль); 2. Ризоактив 2,0 л/т (безгербіцидний фон); 3. Гезагард 500 FW 3,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т; 4. Гезагард 500 FW 4,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т; 5. Гезагард 500 FW 5,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т; 6. Примекстра TZ Голд 500 SK 4,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т; 7. Примекстра TZ Голд 500 SK 4,25 л/га + Ризоактив 2,0 л/т; 8. Примекстра TZ Голд 500 SK 4,5 л/га + Ризоактив 2,0 л/т; 9. Кратос 2,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т; 10. Кратос 2,5 л/га + Ризоактив 2,0 л/т; 11. Кратос 3,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т.

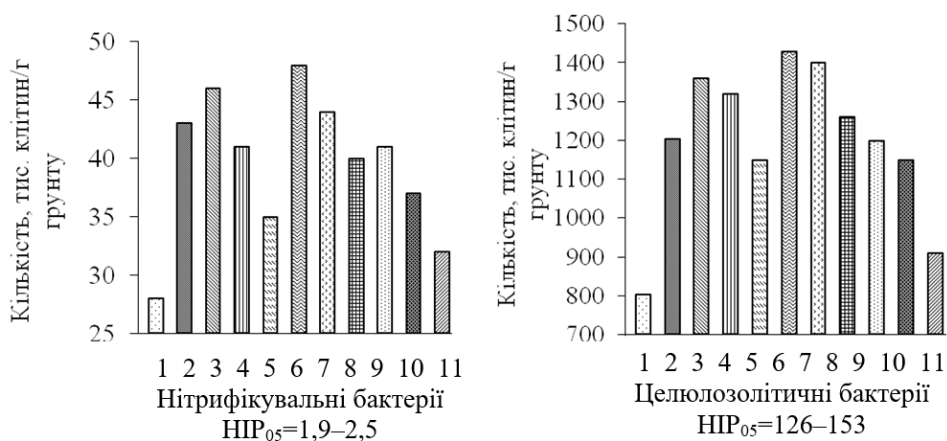
Подібна дія на загальну кількість зазначених ризосферних мікроорганізмів простежувалась і за вирощування інокульованих Ризоактивом рослин на фоні внесення Примекстри TZ Голд 500 SK, зокрема, за норм 4,0; 4,25 і 4,5 л/га препарату загальна чисельність ризосферних бактерій, що використовують для живлення переважно органічні форми азоту, у ризосфері сої зроста по відношенню до контрольного варіанту у 1,4–1,5 рази, що також дещо перевищувало розвиток даної групи мікроорганізмів у варіантах із застосуванням Гезагарду 500 FW (до 1,1 рази).

Дослідження дії мікробного препарату на фоні внесення гербіциду Кратос також продемонструвало активізацію розвитку загальної кількості мікроорганізмів ризосфери сої, яка за норм 2,0; 2,5 і 3,0 л/га зростала по відношенню до контрольного варіанту у 1,27; 1,24 і 1,13 рази відповідно.

Порівнюючи дію Ризоактиву по фоновому застосуванню різних видів гербіцидів на розвиток загальної чисельності ризосферних мікроорганізмів, слід відмітити, що менша її кількість простежувалась на фоні використання гербіциду Кратос (перевищення до контролю складало 13–34%), а найбільша – за дії Примекстри TZ Голд 500 SK (більше, ніж у контролі на 35–53%).

Подальші дослідження окремих груп мікробіоти ризосферного ґрунту сої за інокуляції насіння перед сівбою Ризоактивом на фоні дії різних видів ґрунтових гербіцидів засвідчили різного рівня стимулюючий вплив

препаратів на розвиток нітрифікувальних та целюлозолітичних мікроорганізмів (рис. 2). Так, у варіантах, де інокульовану Ризоактивом сою вирощували на фоні внесення гербіциду Гезагارد 500 FW, чисельність нітрифікувальних та целюлозолітичних мікроорганізмів у ризосферному ґрунті зростала до контролю у 1,3–1,6 й 1,4–1,7 рази відповідно; на фоні внесення гербіциду Примекстра TZ Голд 500 SK – у 1,4–1,7 й 1,6–1,8 рази; на фоні Кратоса – у 1,1–1,5 й 1,1–1,5 рази.



1. Без використання гербіцидів і мікробного препарату (контроль);
2. Ризоактив 2,0 л/т (безгербіцидний фон);
3. Гезагارد 500 FW 3,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т;
4. Гезагارد 500 FW 4,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т;
5. Гезагارد 500 FW 5,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т;
6. Примекстра TZ Голд 500 SK 4,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т;
7. Примекстра TZ Голд 500 SK 4,25 л/га + Ризоактив 2,0 л/т;
8. Примекстра TZ Голд 500 SK 4,5 л/га + Ризоактив 2,0 л/т;
9. Кратос 2,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т;
10. Кратос 2,5 л/га + Ризоактив 2,0 л/т;
11. Кратос 3,0 л/га + Ризоактив 2,0 л/т

Рис. 2. Чисельність мікроорганізмів окремих еколого-трофічних груп у ризосферному ґрунті сої за інокуляції насіння Ризоактивом і фонового внесення різних видів ґрунтових гербіцидів (фаза цвітіння, середнє за 2015–2017 рр.)

Аналізуючи одержані дані, можна констатувати, що порівняно з контролем, без застосування гербіцидів і мікробного препарату, негативної дії гербіцидів на розвиток досліджуваних груп мікроорганізмів не простежувалося. Водночас відмічалась тенденція до зменшення числа ризосферної мікробіоти із наростанням норм хімічного агента. Так, за максимальної норми використання Гезагарду 500 FW (5,0 л/га) чисельність нітрифікувальних та целюлозолітичних мікроорганізмів ризосфери сої у порівнянні з мінімальною нормою внесення препарату (3,0 л/га) зменшувалася на 24 і 15%; за максимальної норми Примекстри TZ Голд 500 SK (4,5 л/га) у порівнянні з її мінімальною (4,0 л/га) – на 17 і 12%; за максимальної норми Кратосу (3,0 л/га) у порівнянні з його мінімальною (2,0 л/га) – на 22 і 24% відповідно. Схожа тенденція простежувалася і за внесення підвищених норм гербіцидів порівняно з інокуляцією насіння Ризоактивом на безгербіцидному фоні.

Порівнюючи дії досліджуваних препаратів на розвиток ризосферних мікроорганізмів, слід відмітити, що серед гербіцидів пригнічувальний ефект на мікробіоту справляв Кратос, за використання якого у ризосфері сої, у порівнянні з дією інших препаратів розвивалась найменша чисельність нітрифікувальних та целюлозолітичних мікроорганізмів, але слід зауважити, що чисельність цих груп мікробіоти була вищою, ніж в контролі без застосування гербіцидів і мікробного препарату. Разом з тим, за вирощування сої, обробленої Ризоактивом, на безгербіцидному фоні чисельність нітрифікувальних та целюлозолітичних мікроорганізмів відносно контролю зростала у 1,5–1,6 рази.

Обговорення. Важливим компонентом ризоценозу бобових культур є бульбочкові бактерії, адже симбіоз з ризобіями надає бобовим низку переваг перед іншими рослинами: знижує залежність від наявності сполук азоту в ґрунті, підвищує стійкість до дії стресових чинників [19]. Саме тому нині науковці приділяють дедалі більшу увагу дослідженню формування симбіотичних систем різних бобових рослин (родина *Fabaceae*) із бульбочковими бактеріями (родина *Rhizobiaceae*) [20].

Дослідженнями Кириченко О.В.[21] встановлено, що інокуляція насіння сої бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* сприяла активізації процесу нодуляції коренів ризобіальними клітинами порівняно з контролем — від 25 до 48%. Іншими дослідженнями виявлено зростання активності формування симбіотичного апарату сочевиці за передпосівної обробки насіння біопрепаратами у 1,6 рази [22].

Стосовно впливу гербіцидів на формування симбіотичного апарату бобових культур — у науковій літературі зустрічаються дані як про підсилення, так і про пригнічення діяльності соєво-ризобіального симбіозу. Так, за внесення у посіви сої гербіцидів Зенкору (0,7 кг/га), Трефлану 480 (5,0 л/га), Дуал Голду (1,6 л/га) та суміші Зенкор (0,7 кг/га) + Трефлан 480 (5,0 л/га) науковці спостерігали істотне пригнічення активності бульбочок [23]. На противагу цим даним, Гутянський Р.А. [24] стверджує про позитивний вплив на симбіотичний апарат сої внесення гербіцидів та їх бакових сумішей на основі таких діючих речовин: бентазон (1,2 кг/га), суміші бентазону (0,6 кг/га) з тифенсульфуронметилом (0,0026 кг/га) і суміші бентазону (1,2 кг/га) з тифенсульфуронметилом (0,0026 кг/га) і флуазифоп-П-бутилом (0,12 кг/га). Про активізацію симбіотичних відносин у бобово-ризобіальній системі за використання Півоту у нормах 0,50; 0,75 і 1,0 л/га повідомляє також Діденко Г.А.[25].

Одержані нами експериментальні дані узгоджуються з даними згаданих вище вчених та демонструють зростання кількості і маси бульбочок у варіантах досліду з інокуляцією насіння сої мікробним препаратом Ризоактив 2,0 л/т як по безгербіцидному фону (перевищення показників у контролі у 2,0 рази за кількістю бульбочок та у 1,3 рази – за їх масою), так і на фоні ґрунтового внесення гербіцидів Гезагارد 500 FW, Примекстра TZ Голд 500 SK й Кратос (зростання даних показників порівняно з контролем до 2,4 рази – за кількістю і до 1,3 – за масою залежно від виду і норм гербіцидів). Водночас необхідно відмітити, що за збільшення норм внесення гербіцидів простежувалась тенденція до певного пригнічення процесу бульбочкоутворення, особливо за фонові дії Кратосу. Інгібувальну дію

гербіцидів похідних ацетохлору на формування симбіотичного апарату сої також відмічали Гуральчук Ж.З. із співавторами [26].

Очевидно, що пригнічення формування симбіотичного апарату сої на фоні застосування високих норм гербіцидів може зумовлювати блокування гідрофобних сайтів зв'язування у молекулах білків, що, в свою чергу, створює конкуренцію за сайти зв'язування з іншими хімічними сполуками та призводить до змін у функціонуванні соєво-ризобіального симбіозу [27].

Упродовж життєвого циклу рослини сої взаємодіють з великою кількістю мікроорганізмів, що формують мікробіоценоз її прикореневої зони [28]. Внесення гербіцидів різних хімічних груп і в різних нормах може виступати вагомим чинником змін в її розвитку. Так, за використання у посівах соризу гербіциду Пік у нормах 10, 15, 20 і 25 г/га на фоні передпосівної обробки насіння біологічним препаратом Регоплант (50 мл/га) простежувалося зростання загальної чисельності ризосферної мікробіоти на 33–57% [29]. Така ж тенденція відмічалась і за внесення гербіциду МайсТер (130–150 г/га) у посівах кукурудзи та гербіциду Фюзилад форте (0,5–1,0 л/га) у посівах соняшнику [30].

Результати наших досліджень свідчать, що загальна чисельність ризосферних мікроорганізмів, що використовують для живлення переважно органічні форми азоту, за інокуляції насіння сої Ризоактивом як на безгербіцидному фоні, так і на фоні внесення ґрунтових гербіцидів за різних норм використання перевищувала контроль в середньому в 1,1–1,5 рази. Таке зростання може бути зумовлене формуванням за дії мікробного препарату і гербіцидів (зняття конкуренції з боку бур'янів) додаткової площі кореневої системи рослин сої та підвищеним виділенням у ризосферу ексудатів, так необхідних для живлення мікробних угруповань [5]. Проте слід відмітити, що тенденція до певного зменшення загальної чисельності мікробіоти за зростання норм застосування гербіцидів, як і у випадку з формуванням симбіотичного апарату, зберігалася.

Аналіз інших груп мікроорганізмів у ризосфері сої засвідчив зростання чисельності нітрифікувальних мікроорганізмів, що може вказувати на активацію в ґрунті трансформаційних процесів [31]. Водночас важливе значення в ґрунті відіграють мікроорганізми, що відповідають за розкладання целюлози [32], проте їх розвиток у ризосфері рослин є цілком залежним від дії гербіцидів. Так, за використання в посівах сої гербіциду Фабіан у нормах 90–110 г/га чисельність целюлозолітичних мікроорганізмів у порівнянні з контролем зростала у 1,23–1,20 рази [33]. У той же час, за використання у посівах кукурудзи гербіцидів Кассіус (50 г/га) та Мерлін (150 г/га) встановлено зниження активності целюлозолітичних мікроорганізмів (розклад лляного полотна зменшувався порівняно з контролем на 4,1 і 6,5% відповідно).

Нашими дослідженнями встановлено, що у варіантах досліду, де інокульована Ризоактивом соя вирощувалась на фоні внесення гербіциду Гезагард 500 FW, чисельність целюлозолітичних бактерій у ризосферному ґрунті зростала до контролю у 1,4–1,7 рази; на фоні внесення гербіциду Примекстра TZ Голд 500 SK – у 1,6–1,8 рази; на фоні Кратоса – у 1,1–1,5 рази.

Підсумовуючи викладене вище, можна констатувати, що негативної дії гербіцидів на розвиток досліджуваних груп мікроорганізмів в ризосфері сої не простежувалося. Водночас відмічалась тенденція до зменшення числа ризосферної мікробіоти із підвищенням норм хімічного агента. Зокрема, за максимальних норм використання Гезагарду 500 FW (5,0 л/га), Примекстри TZ Голд 500 SK (4,5 л/га) і Кратоса (3,0 л/га) чисельність нітрифікувальних та целюлозолітичних мікроорганізмів у ризосфері сої у порівнянні з мінімальними нормами внесення препаратів знижувалась в середньому на 4–24%.

Отже, інокуляція насіння сої штамом бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* М-8, що є основою препарату Ризоактив, і застосування для боротьби з бур'янами ґрунтових гербіцидів сприяє більш активному (у порівнянні з контролем) формуванню симбіотичного апарату сої та розвитку окремих груп мікроорганізмів у її ризосфері. Порівняння різних фонів застосування гербіцидів показало, що найоптимальніший вплив на розвиток бульбочкових бактерій, загальної чисельності ризосферних мікроорганізмів, що використовують як джерело живлення переважно органічні форми азоту, та інших еколого-трофічних груп мікроорганізмів у ризосфері сої мало досходове застосування гербіциду Примекстра TZ Голд 500 SK (4,0–4,5 л/га). Дещо нижчу ефективність щодо розвитку вказаних складових мікробіоти ризосфери сої, порівняно з дією Примекстри TZ Голд 500 SK мало внесення гербіциду Гезагард 500 FW (3,0–5,0 л/га). Серед варіантів досліду із застосуванням різних видів гербіцидів дещо негативний вплив щодо розвитку окремих груп мікробіоти, в тому числі й симбіотичного характеру взаємовідносин виявляв гербіцид Кратос (2,0–3,0 л/га).

МИКРОБИОТА ПОЧВЫ РИЗОСФЕРЫ СОИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РИЗОАКТИВА И ГЕРБИЦИДОВ

**В.П. Карпенко¹, А.И. Заболотный¹, Р.Н. Притуляк¹, О.В. Голодрига¹,
И.Б. Леонтьук¹, Л.В. Разборская¹, Т.П. Новикова¹, В.П. Патыка²**

¹Уманский национальный университет садоводства,
ул. Институтская, 1, Умань, 20305, Украина

²Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины,
ул. Академика Заболотного, 154, Киев, 03143, Украина

Резюме

Цель. Исследовать микробиоту почвы ризосферы сои и ее симбиотический аппарат при применении предпосевной обработки семян микробным препаратом Ризоактив (*Bradyrhizobium japonicum* М-8) и дозростовой обработке гербицидами Гезагард 500 FW, концентрат суспензии, Примэкстра TZ Голд 500 SK, концентрат суспензии и Кратос, концентрат эмульсии. **Методы.** Для инокуляции семян сои использовали бактериальную суспензию Ризоактива (титр жизнеспособных клеток *Bradyrhizobium japonicum* М-8 в 1 мл препарата 4×10^9) из расчета 2,0 л/т. Для борьбы с сорняками применяли почвенные гербициды Гезагард 500 FW (прометрин, 500 г/л) в нормах 3,0; 4,0 и 5,0 л/га; Примэкстру TZ Голд 500 SK (S-метолахлор, 312,5 г/л + тербутилазин, 187,5 г/л) в нормах 4,0; 4,25 и 4,5 л/га и Кратос (ацетохлор, 900 г/л) в нормах 2,0; 2,5 и 3,0 л/га. Исследования численности микробиоты ризосферы сои и ее симбиотическо-

го аппарата осуществляли в соответствии с общепринятыми в почвенной микробиологии методиками. **Результаты.** Установлено, что инокуляция семенного материала сои препаратом Ризоактив и применение гербицидов Гезагард 500 FW, Примэкстра TZ Голд 500 SK и Кратос влияет как на формирование симбиотического аппарата сои, так и на количество микроорганизмов в ее ризосфере. Выявлена тенденция к некоторому снижению общего количества ризосферных микроорганизмов, использующих в качестве источника питания преимущественно органические формы азота, а также количества микроорганизмов отдельных эколого-трофических групп, при повышении норм внесения гербицидов до уровня количества микроорганизмов в контроле. **Выводы.** Инокуляция семян сои микробным препаратом Ризоактив и применение для борьбы с сорняками почвенных гербицидов способствует более активному в сравнении с контролем (без использования гербицидов и микробного препарата) формированию симбиотического аппарата сои и развитию отдельных групп микроорганизмов (аммонифицирующих, нитрифицирующих и целлюлозолитических) в почве ризосферы. Сравнение разных фонов применения гербицидов показало, что наиболее оптимальное влияние на формирование симбиотического аппарата, общего количества ризосферных микроорганизмов и отдельных их эколого-трофических групп в ризосфере сои оказывало доведённое применение гербицида Примэкстра TZ Голд 500 SK в нормах 4,0–4,5 л/га. Некоторое угнетение развития отдельных групп микробиоты, в том числе и клубеньковых бактерий *Bradyrhizobium japonicum* было отмечено при действии гербицида Кратос в нормах 2,0–3,0 л/га.

Ключевые слова: микробиологическая активность, соя, инокуляция, симбиоз, ризосфера, клубеньковые бактерии, микробиота, Ризоактив, гербициды.

MICROBIOTA OF SOIL OF SOYBEAN RHIZOSPHERE UNDER THE USE OF RHIZOACTIVE AND HERBICIDES

*V.P. Karpenko¹, O.I. Zabolotnyi¹, R.N. Prytuliak¹, O.V. Golodriha¹,
I.B. Leontyuk¹, T.P. Novikova¹, V.Ph. Patyka²*

¹Uman National University of Horticulture,
1 Institutska St., Uman, 20305, Ukraine

²Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, NAS of Ukraine,
154 Acad. Zabolotny St., Kyiv, 03143, Ukraine

Summary

Aim. Investigate the microbiota of soil of soybean rhizosphere and its symbiotic apparatus under the using pre-sowing treatment apparatus seeds by microbial preparation of Rhizoactive (*Bradyrhizobium japonicum* M-8) and pre-emergent herbicides Gesagard 500 FW, suspension concentrate, Primextra TZ Gold 500 SK, suspension concentrate and Kratos, emulsion concentrate. **Methods.** For inoculation of soybean seeds, a bacterial suspension of Rhizoactive (the titer of bacterial bacteria viable cells *Bradyrhizobium japonicum* M-8, in 1 ml of preparation 4×10^9) was used at a rate of 2,0 l/t. For weed control we introduced the soil herbicides Gesagard 500 FW (promethrin, 500 g/l) in the norms of 3,0; 4,0 and 5,0 l/ha; the Primextra TZ Gold 500 SK (S-metolachlor, 312,5 g/l + terbutalazine, 187,5 g/l) in the norms 4,0; 4,25 and 4,5 l/ha and Kratos (acetochlor, 900 g/l) in the norms of 2,0; 2,5 and 3,0 liters per hectare. The study of number of microbiota in soybean rhizosphere and its symbiotic apparatus was carried out in accordance with generally accepted methods in soil

microbiology. **Results.** It has been established that inoculation of soybean seed material with Rhizoactive and application of herbicides Gesagard 500 FW, Primextra TZ Gold 500 SK and Kratos affects both the formation of the symbiotic apparatus of soybean, and the number of microorganisms in its rhizosphere. There was a tendency to some decrease in the total number of rhizospheric microorganisms, using as a source of nutrition predominantly organic forms of nitrogen and number of microorganisms of separate ecological trophic groups with an increase in the norms of herbicide application, which was leveled in comparison with the indicators in the control. **Conclusions.** The inoculation of soybean seeds with the microbial preparation of Rhizoactive and the use of soil herbicides to control weeds contributes to a more active control (without the use of herbicides and microbial preparation) over the formation of a symbiotic apparatus of soybean and the development of certain groups of microorganisms in its rhizosphere. The comparison of different backgrounds of application of herbicides showed that the most optimal effect on the formation of symbiotic apparatus and the total number of microorganisms and their individual ecological trophic groups in the rhizosphere of soybean was the application of the herbicide of the Primextra TZ Gold 500 SK in norms 4,0–4,5 l/ha. Some suppression to the development of individual groups of microbiota, including the nodule bacteria *Bradyrhizobium japonicum*, was the application of the Kratos in norms 2,0–3,0 l/ha.

Keywords: microbiological activity, soybean, inoculation, symbiosis, rhizosphere, the nodule bacteria, microbiota, Rhizoactive, herbicides.

1. Petrichenko VF, Likhchvor VV, Ivanyuk SV et al. [Soybean]. In: Petrichenko VF, editor. Vinnitsa: Dilo, 2016; 392. Ukrainian.
2. Kovalevskaya TM, Kosenko LV. [Lipopolysaccharides of nodule bacteria, cross-contaminating fodder beans, peas, vetch and lentils]. Microbiology. 1989; 6:927–933. Russian.
3. Lutova LA, Provorov NA, Tikhodeev ON et al. [Genetics of plant development]. In: Inge-Vechtomov SG, editor. St. Petersburg: Nauka, 1998; 194. Russian.
4. Kirichenko EV. [Biotechnology in crop production]. Nikolaev: Ilion, 2014. 436. Russian.
5. Karpenko VP, Hrytsaienko ZM, Prtulyak RM et al. [Biological bases of integrated action of herbicides and plant growth regulators]. In: Karpenko VP, editor. Uman: Publisher «Sochinsky MM», 2012; 357. Ukrainian.
6. Patyka VP, Kots SYa, Volkogon VV et al. [Biological nitrogen]. K: Svit, 2003; 422 p. Ukrainian.
7. Ivasyuk YuI, Karpenko VP, Hrytsaienko ZM. [Symbiotic state of soy crops under the action of biologically active substances]. Bulletin of the Uman University of Horticulture. 2015; 2:13–16. Ukrainian.
8. Bardgett R. D. The biology of soil. A community and ecosystem approach. Oxford University Press, 2005. 242 p.
9. Walid Ibrahim Hussein Abu Ahmadih. [Formation the yields of sunflower, peas and corn depending on cropping practices in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine]: The extended abstract of dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of agricultural sciences, 06.01.09 «Plant growing». Kyiv; 2003. 24 p. Ukrainian.

10. Storchous IM. [The influence of herbicides on soil microflora]. Plant protection and quarantine. 2012; 59:277–284. Ukrainian.
11. Zabolotny OI, Zabolotna AV. [Microbiological activity of the soil under the application of herbicide Merlin]. Young scientist. 2014; 2(05):16–20. Ukrainian.
12. Karpenko VP. [Biological activity of the soil in spring barley crops due to herbicide action and growth regulator]. Bulletin of agrarian science of the Black Sea region. 2014; 1(65):126 – 131. Ukrainian.
13. Kolesnikov SI, Kazeev KSh, Valkov VF. [Ecological state and functions of soils under conditions of chemical pollution]. Rostov on D.: Publishing house Rostizdat; 2006. 385 p. Russian.
14. Gutianskiy RA. [Soil application of Fabian in soybeans sowing]. Quarantine and plant protection. 2006; 6:13–15. Ukrainian.
15. Poltoretskyi S.P. Formation of density of seed sowing of millet (*Panicum miliaceum* L.) depending on the term and method of sowing. Bulletin of Uman NUH. 2017; 1:59–64.
16. Volkohon VV, Nadkernychna OV, Tokmakova LM et al. [Experimental soil microbiology. In: Volkogon VV, editor. K: Agrarna nauka, 2010; 464. Ukrainian.
17. Zvyagintsev DH, Aliyeva IV, Babieva IP, Byzov BA et al. [Methods of soil microbiology and biochemistry]. In: Zvyagintsev DH, editor. M: Publishing house of the Moscow University, 1991; 304. Russian.
18. Dospheov BA. [Methods of field experience]. M: Agropromizdat, 1985; 350. Russian.
19. Kovalevska TM, Nadkernichna OV, Gorban VP. [Effectiveness of co-inoculation of soybeans *Bradyrhizobium japonicum* strain 2490 *Enterobacter aerogenes* strain 30 F]. Odessa National University Herald. 2001; 6(4):149–152. Ukrainian.
20. Krutylo DV, Nadkernychna OV. [Formation of symbiotic soybean systems and vinya with strains of *Bradyrhizobium japonicum* of different genetic groups]. Plant physiology and genetics. 2018; 50(2):149–160. Ukrainian.
21. Kirichenko OV. [The complex estimate of the rhizobium nodulation ability and the features of soybean symbiotic systems formation at the microbial compositions seed inoculation]. Mikrobiol Z. 2016; 78(4):90–101. Ukrainian.
22. Karpenko VP, Prtulyak RM, Novikova TP. [The activity of microbiota in the rhizosphere of lentils for the action of biological preparations]. Tavria Scientific Bulletin. 2018; 103:36–41. Ukrainian.
23. Sorokina SI, Morderer E Yu. [The change in selectivity in the complex application of herbicides in soybean crops.]. In: Proceedings of the all-Russian scientific conference of young scientists, graduate students and applicants «Science of the new century – the knowledge of young people»; Kirov, 2011. p. 323–327. Russian.
24. Gutyansky RA. [The influence of herbicides and their tank mixtures on the formation of nitrogenfixing nodules of soybeans]. Physiology and biochemistry of cultivated plants. 2012; 44(6):529–536. Ukrainian.
25. Didenko GA. [Ecotoxicological substantiation of application of herbicides on soybean crops to the Forest-Steppe of Ukraine]: the extended abstract of dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of agricultural sciences, 03.00.16, «Ecology». Kyiv; 2011. 17 p. Ukrainian.

26. Guralchuk ZZ, Sorokina SI, Rodzevich OP, Morderer EYu. [The activity of nitrogen fixation of soybean for the combined application of herbicides and microfertilizers]. Proceedings of the Taurida National University the name of VI Vernadsky. Series «Biology, Chemistry». 2012; 25(64):34–41. Ukrainian.
27. Pavlysche AV, Mamenko TP, Rybachenko LI, Kots SYa. [The influence of fungicides on the formation, functioning and peroxidase activity of soybean root nodules on inoculation by rhizobias incubated with lectin]. Mikrobiol Z. 2018; 80(5):76–89. Ukrainian.
28. Melnikova NN, Mikhalkiv LM, Omelychuk SV, Berehovenko SK. [The rhizosphere microorganisms as a factor in regulating the formation of legume-rhizobial symbiosis]. Plant physiology and genetics. 2018; 80(4):299–321. Russian.
29. Karpenko VP, Shutko SS. [The number of the rhizosphere microbiota of sorris for the use of herbicide and plant growth regulator]. Tavria Scientific Bulletin. 2018; 102:46–52. Ukrainian.
30. Hrytsaienko ZM, Zabolotnyi OI. [The influence of different norms of herbicide master on the total number of microbiota in the rhizosphere of maize plants]. Bulletin of the Uman University of Horticulture. 2013; 1–2:35–39. Ukrainian.
31. Borisyuk BV, Demyanchuk LS, Buñas AA. [The influence of plants growth regulators on the activity of microflora of the root zone of hops]. Agroecological journal. 2013; 3:70–74. Ukrainian.
32. Karpenko VP, Ivasyuk YuI, Pritulyak RM, Chernega AO, Burlyai OL. [Fundamentals of biologization in soybean growing technologies]. Publisher «Sochinsky MM», 2017; 147. Ukrainian.
33. Mamiev DM, Abaev AA, Okazova ZP. [The influence of fertilizers and herbicides on the biological activity of the soil in the mountain zone]. The successes of modern science. 2016; 7:81–85. Russian.

Отримано 26.03.2019