

<https://doi.org/10.15407/frg2021.04.307>

УДК: 579: 581.1: 631.86: 631.847.211: 632.952

## ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОЄВО-РИЗОБІАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗА ВПЛИВУ ФУНГІЦИДІВ І КОМПЛЕКСНОГО ПРЕПАРАТУ СТИМПО

Л.І. РИБАЧЕНКО, С.Я. КОЦЬ, А.В. ПАВЛИЩЕ, О.Р. РИБАЧЕНКО,  
Ю.О. ХОМЕНКО

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17  
e-mail: veselika@ukr.net*

Досліджено вплив комплексного препарату стимпо окремо й сумісно з фунгіцидами февер і стандак топ на формування та функціонування симбіотичного апарату соя—*Bradyrhizobium japonicum*. Оцінено можливості його застосування як пом'якшувача негативної дії фунгіцидів на соєво-ризобіальні симбіотичні системи. Виявлено, що фунгіциди стандак топ, февер і препарат стимпо як окремо, так і в комплексі істотно не впливають на зміну активності ростових процесів рослин сої, а спостережувані ефекти залежать від особливостей застосування цих препаратів і фази розвитку рослин. З'ясовано, що використані фунгіциди незначно пригнічують нодуляційну активність ризобій у фазу двох справжніх листків. При цьому у фазі трьох справжніх листків і бутонізації ці препарати активують процеси бульбочкоутворення та фіксації молекулярного азоту. Підтверджено стимулювальну дію препарату стимпо на досліджені симбіотичні системи. Показано, що в разі обробки насіння цим препаратом кількість і маса кореневих бульбочок та їхня азотфіксувальна активність збільшуються. При цьому ефект від застосування стимпо у комплексі з фунгіцидами залежить від діючих речовин, спектра дії фунгіцидів і фази розвитку рослин. Встановлено перспективність використання комплексного препарату стимпо для передпосівної інокуляції насіння бобових рослин із метою поліпшення функціонування бобово-ризобіального симбіозу. Проте використовувати його як протектор негативного впливу фунгіцидів недоцільно, адже за концентрації 25 мл/т насіння цей препарат не знімає токсичного впливу досліджених фунгіцидів на симбіотичні системи сої.

**Ключові слова:** *Bradyrhizobium japonicum*, регулятори росту рослин, стимпо, фунгіциди, бобово-ризобіальний симбіоз, азотфіксувальна активність, соя.

На сьогодні загальновизнаною світовою практикою ефективного функціонування будь-якого агропромислового комплексу є поєднання високої продуктивності та екологічної безпеки, тобто основою конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції на світовому ринку є не лише економічні критерії її вартості, а й жорсткий контроль за якістю та безпекою продукції. Зважаючи на значний аг-

Цитування: Рибаченко Л.І., Коць С.Я., Павлище А.В., Рибаченко О.Р., Хоменко Ю.О. Особливості функціонування соєво-ризобіальних систем за впливу фунгіцидів і комплексного препарату стимпо. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. 53, № 4. С. 307–319. <https://doi.org/10.15407/frg2021.04.307>

рарний потенціал і широке застосування в Україні інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, ця проблема для нашої країни доволі актуальна, оскільки високі дози мінеральних добрив порушують природні умови і забруднюють навколишнє середовище. Наявність у мінеральних добривах різних токсичних домішок, незадовільна їх якість, а також порушення технології використання можуть призвести до серйозних негативних наслідків [1, 2]. Залучення бобово-ризобіального симбіозу в сільськогосподарське виробництво — альтернативний шлях забезпечення бобових рослин біологічно чистим азотом, має важливе економічне та екологічне значення, є запорукою отримання високих урожаїв біологічно чистої продукції рослинництва [3, 4]. При цьому реалізація потенціалу біологічної азотфіксації можлива лише за ефективного функціонування симбіотичних систем, що потребує залучення сучасних агротехнологічних прийомів, які насамперед включають систему захисту від шкідників і хвороб. Відомо, що значна частина захворювань передається через насіння або ґрунт, тому на сьогодні найпоширенішим заходом боротьби з патогенами є передпосівне протруєння насіння. Проте обробка насіння пестицидами сумісно з інокуляцією здебільшого знижує ефективність утворюваних симбіозів, адже протруєнники істотно впливають як на структуру мікробного ценозу, так і на його діяльність, зокрема змінюють склад корневих ексудатів, можуть гальмувати синтез біологічно активних речовин мікроорганізмами [4, 5]. Встановлено, що протруєнники різного походження частково або повністю пригнічують процеси зараження кореневої системи сої бульбочковими бактеріями, змінюють активність ферментів, які беруть участь у фіксації атмосферного азоту. Ступінь інгібування залежить від концентрації препаратів, їх хімічної природи, кількості опадів та інших чинників навколишнього середовища. Крім того, хімічні засоби захисту рослин забруднюють навколишнє середовище, знижують якість сільськогосподарської продукції в разі їх надмірного застосування [6, 7]. Важливим чинником підвищення ефективності азотфіксації за таких умов може бути використання регуляторів росту рослин одночасно з інокуляцією насіння. Дослідженнями багатьох авторів [8—12] встановлено, що в комплексах із гербіцидами та іншими хімічними речовинами регулятори росту виконують роль антистресових сполук: пришвидшують детоксикацію гербіцидів і знімають ефект депресії у рослин. Вони також позитивно впливають на розвиток і функціонування мікрофлори ґрунту, сприяють формуванню активних азотфіксувальних симбіозів, що великою мірою позначається на продуктивності сільськогосподарських культур [13]. Встановлено, що за передпосівної обробки насіння регулятором росту емістим С та інокулянтами значно збільшується кількість корневих бульбочок, площа листової поверхні рослин, вміст фотосинтетичних пігментів, маса сухої речовини проростків. Важливо зазначити, що емістим С здатний збільшувати кількість особливо чутливих до дії гербіцидів мікроорганізмів [14].

Фізіологічні механізми впливу регуляторів росту на ріст і розвиток рослинного організму вивчені ґрунтовно [15—17], тоді як дія цих

речовин на ефективність біологічної фіксації азоту, зокрема на фоні застосування фунгіцидів, досліджена недостатньо. У зв'язку з цим метою нашої роботи було вивчення впливу комплексного препарату стимпо як окремо, так і сумісно з фунгіцидами февер і стандак топ на формування й функціонування симбіотичного апарату соя—*Bradyrhizobium japonicum*, а також з'ясування можливості його застосування як пом'якшувача негативного впливу фунгіцидів на досліджувані симбіотичні системи.

### Методика

Досліджено симбіотичні системи, створені за участю рослин сої (*Glycine max* (L.) Merr.) сорту Алмаз та бульбочкових бактерій активного виробничого штаму-стандарту *Bradyrhizobium japonicum* 6346 із музейної колекції штамів азотфіксувальних та асоціативних мікроорганізмів Інституту фізіології рослин і генетики (ІФРГ) НАН України.

Культуру повільнорослих бульбочкових бактерій вирощували на манітно-дріжджовому агарі [18] протягом 7–8 діб за температури 26–28 °С. Ризобії змивали фізіологічним розчином (0,9 % NaCl).

Перед висіванням насіння упродовж 1 год інкубували з водно-спиртовим розчином комплексного препарату стимпо (виробник — Державне підприємство Міжвідомчий науково-технологічний центр (ДП МНТЦ) «Агробіотех»), що містить біологічно активні речовини, біогенні мікроелементи та аверсектин С. Препарат використовували у дозі, рекомендованій виробником — 25 мл/10 л води на 1 т насіння. Після цього насіння інокулювали зволоженням його протягом 1 год бактеріальною суспензією з титром  $10^8$  кл/мл. У відповідних варіантах у день висівання насіння протруювали фунгіцидами февер і стандак топ. Протруйники використовували в дозі (1 норма), рекомендованій виробником.

Сою вирощували по 6 рослин у 4-кілограмових посудинах за природних освітлення і температури та оптимального водозабезпечення. Субстратом слугував промитий річковий пісок, джерелом мінерального живлення — поживна суміш Гельригеля, збагачена мікроелементами молібденом, бором, манганом і міддю та збіднена на азот — 0,25 норми (1 норма азоту відповідає  $708 \text{ мг Ca(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  на 1 кг субстрату).

Дослідження проводили на вегетаційному майданчику ІФРГ НАН України за такою схемою:

- 1 — насіння + 6346;
- 2 — насіння + стимпо + 6346;
- 3 — насіння + февер + 6346;
- 4 — насіння + стандак топ + 6346;
- 5 — насіння + стимпо + февер + 6346;
- 6 — насіння + стимпо + стандак топ + 6346.

Зразки для аналізу наростання вегетативної маси рослин, а також процесів формування і функціонування симбіотичного апарату відбирали у фази двох і трьох справжніх листків, бутонізації та цвітіння.

Нодуляційну активність ризобій визначали підрахунком кількості бульбочок на коренях рослин та зважуванням їх маси, азот-

фіксувальну — за методикою [19]. Для цього корені рослин з утвореними на них бульбочками переносили в скляні флакони, що герметично закривалися, й добавляли 10 % ацетилену. Тривалість інкубації становила 1 год. Газову суміш аналізували на хроматографі Agilent GC system 6850 (США). Азотфіксувальну активність виражали в мікромолях утвореного етилену за 1 год (мкмоль  $C_2H_4$ /год) на 1 рослину. Біологічна повторність визначень шестиразова.

Експериментальні дані оброблено статистично за стандартною методикою [20] та з використанням програми Microsoft Excel 2010. У таблиці і на рисунках наведено середньоарифметичні значення та їх стандартні похибки.

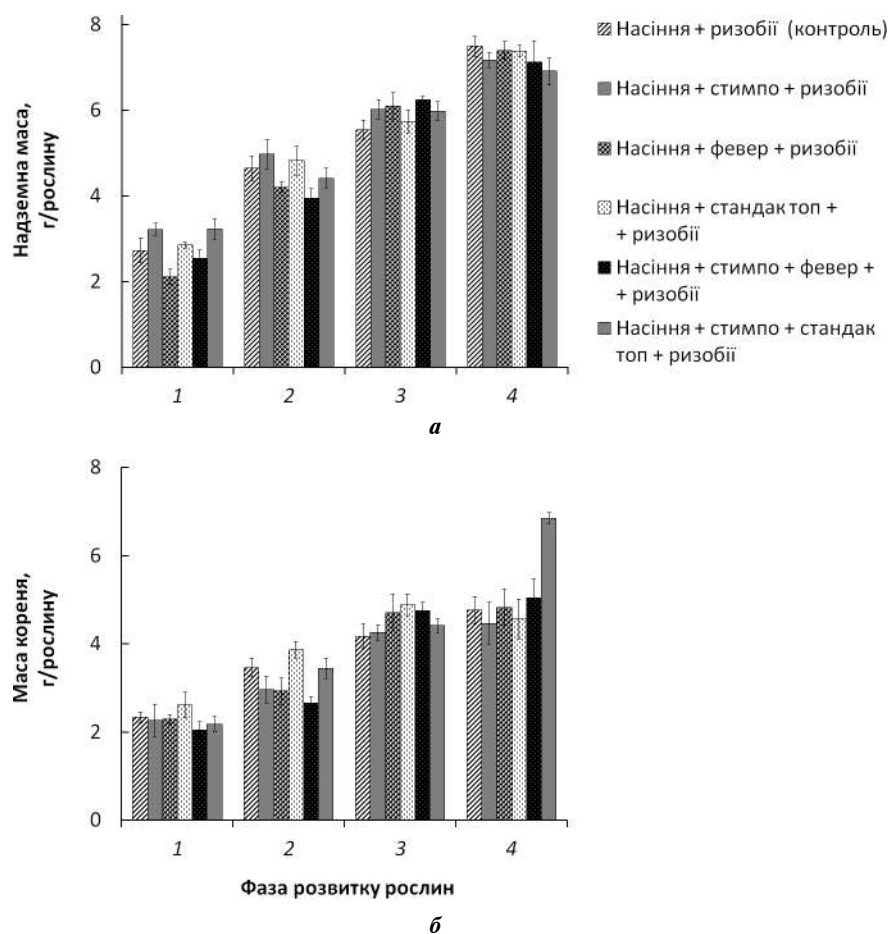
### Результати та обговорення

Інтенсивність росту є результатом складних взаємопов'язаних процесів живлення, обміну речовин та енергії в рослинному організмі і може свідчити про його здатність до саморегуляції за впливу різних несприятливих чинників довкілля, тому першим етапом наших досліджень було з'ясування особливостей формування вегетативної маси рослинами сої. В результаті встановлено, що комплексний препарат стимулює істотно не стимулював наростання надземної маси цієї культури впродовж досліджуваного періоду вегетації. Винятком була фаза двох справжніх листків, у яку соя за цим показником перевищувала рослини контрольного варіанта на 18 % (рис. 1), а також фаза бутонізації, в яку виявлено незначне, але достовірне (на 8 %) збільшення надземної маси сої відносно контролю. Здатність препарату стимулювати до стимуляції ростових процесів у рослинному організмі довели автори праці [21]. Такий ефект зрозумілий, адже це поліфункціональний препарат, здатний впливати на перебіг основних фізіологічних процесів у рослинному організмі й тим самим підвищувати його стійкість до несприятливих чинників навколишнього середовища, посилювати ростові процеси і продуктивність. У нашому ж випадку хоч і незначне, проте достовірне зростання надземної маси рослин сої могло бути наслідком істотної стимуляції цим препаратом азотфіксувальної активності симбіотичних систем.

Достовірних змін кореневої маси рослин сої за їх обробки препаратом стимулює не виявлено в жодній із досліджуваних фаз розвитку (див. рис. 1).

За використання фунгіциду февер у фази двох і трьох справжніх листків зафіксовано достовірне зменшення надземної маси сої відносно контрольних рослин відповідно на 23 і 9 %. Протилежний ефект від застосування цього фунгіциду виявлено у фазу бутонізації, в яку маса рослин зростала на 10 % порівняно з контролем. Отже, токсичний ефект фунгіциду февер на бобово-ризобіальні системи більш виражений на початкових етапах функціонування симбіотичного апарату.

У варіанті з поєднанням обробок фунгіцидом февер і препаратом стимулює у фазу двох справжніх листків зафіксовано лише тенденцію до зменшення надземної маси рослин, тоді як у фазу трьох справжніх листків виявлено її достовірне зменшення (на 15 %) відносно рослин



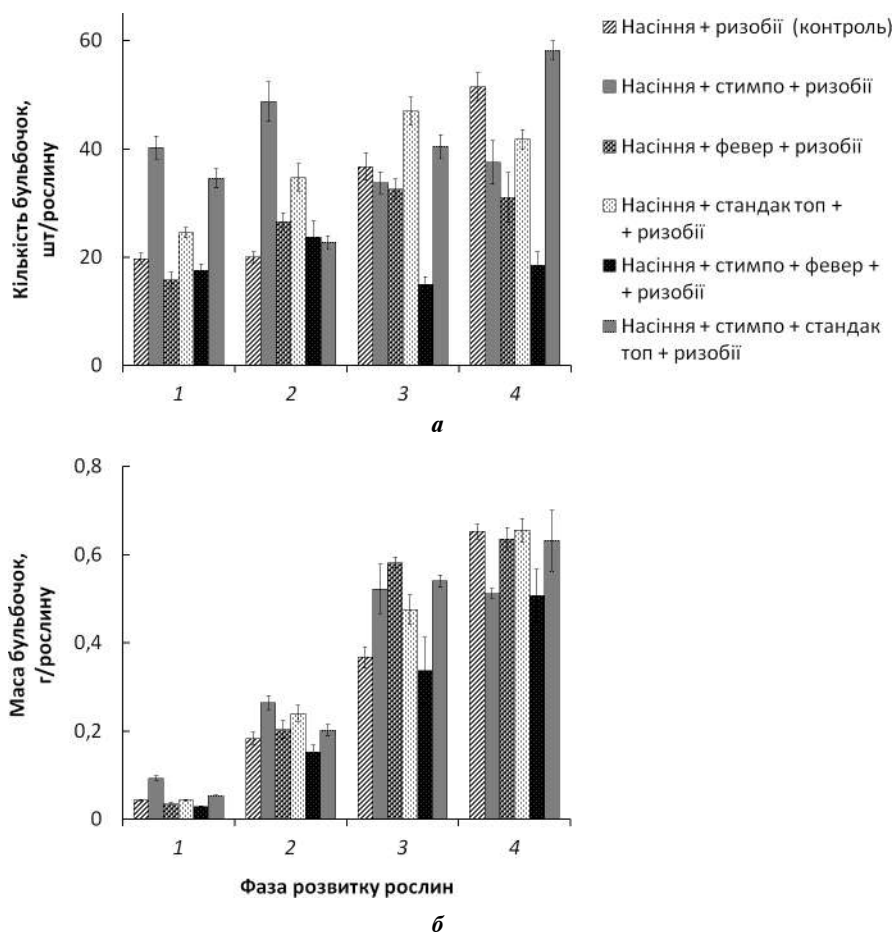
**Рис. 1.** Динаміка маси рослин сої за впливу фунгіцидів февер, стандак топ і комплексного препарату стиму:

*a* — надземна маса; *б* — маса кореня; 1–4 — фази розвитку рослин (1 — двох справжніх листків; 2 — трьох справжніх листків; 3 — бутонізації; 4 — цвітіння)

контрольного варіанта. У фазу бутонізації, навпаки, досліджуваний показник зростав на 13 % відносно контролю (див. рис. 1). Коренева маса рослин цього варіанта зменшувалась у фази двох і трьох справжніх листків відносно контролю відповідно на 12 і 23 %. У наступних двох фазах розвитку зафіксовано тенденцію до зростання цього показника.

Маси рослин у варіанті із застосуванням фунгіциду стандак топ й у варіанті із поєднанням препаратів стандак топ і стиму знаходились на рівні рослин контрольного варіанта протягом усіх досліджених нами фаз розвитку сої.

У результаті дослідження особливостей формування кореневих бульбочок у рослин сої встановлено, що за передпосівної обробки насіння препаратом стиму зростали кількість (на 104 %) і маса (на 113 %) кореневих бульбочок у фазу двох справжніх листків порівняно з рослинами контрольного варіанта (рис. 2). Подібну ситуацію ми спостерігали й у наступну фазу розвитку сої (фаза трьох справжніх листків), досліджувані показники перевищували контрольні від-



**Рис. 2.** Формування симбіотичного апарату рослин сої за впливу фунгіцидів февер, стандак топ і комплексного препарату стиму:

*а* — кількість бульбочок; *б* — маса бульбочок; 1–4 — фази розвитку рослин (1 — двох справжніх листків; 2 — трьох справжніх листків; 3 — бутонізації; 4 — цвітіння)

повідно на 143 і 44 %. У фазу бутонізації рослини цього варіанта мали більші кореневі бульбочки, ніж контрольні, адже за кількості бульбочок на рівні рослин контрольного варіанта їх маса була більшою на 42 %. У фазу цвітіння встановлено протилежний ефект від застосування досліджуваного препарату. Так, кількість і маса корневих бульбочок рослин, оброблених препаратом стиму, були меншими від контрольних відповідно на 27 і 22 %. На нашу думку, зниження інтенсивності нодуляційних процесів у цій фазі розвитку рослин зумовлене перерозподілом потоків асимілятів, зокрема азоту, на формування і ріст зерна. Можливо препарат стиму посилив відтік асимілятів у генеративні органи рослин, адже відомо, що регулятори росту, а саме трептолем, до складу якого входять практично такі ж компоненти, що й до препарату стиму, здатні змінювати напрямок потоку асимілятів і метаболітів у рослинному організмі [22].

Обробка насіння сої фунгіцидом стандак топ стимулювала нодуляційну активність бульбочкових бактерій у фазу двох справжніх

листіків, що підтверджено збільшенням кількості бульбочок на 24 % порівняно з контролем (див. рис. 2). У наступні фази розвитку рослин сої симбіотичні системи цього варіанта характеризувались зростанням не лише кількості, а й маси кореневих бульбочок відносно рослин контрольного варіанта. Зокрема у фазу трьох справжніх листків ці показники були вищими від контрольних відповідно на 74 і 31 %, у фазу бутонізації — на 28 і 29 %. Винятком була фаза цвітіння, в яку зафіксовано зменшення (на 19 %) кількості кореневих бульбочок порівняно з контролем. Очевидно пригнічення нодуляційної активності ризобій зумовлене дефіцитом продуктів діяльності фотосинтетичного апарату через перерозподіл асимілятів, про що йшлося вище.

За комплексної обробки насіння сої фунгіцидом стандак топ і препаратом стимпо збільшувались кількість (на 75 %) і маса (на 25 %) кореневих бульбочок у фазу двох справжніх листків не лише порівняно з рослинами контрольного варіанта, а й відносно рослин, насіння яких було оброблене лише фунгіцидом стандак топ, відповідно на 41 і 26 % (див. рис. 2). Такий ефект від поетапної обробки цими препаратами може бути зумовлений активуванням перебігу в рослинах обмінних процесів за дії регулятора росту рослин [22]. До того ж доведено, що препарат стимпо може поліпшувати адаптивний стан рослин гороху через зниження вмісту продуктів пероксидного окиснення ліпідів, а також стимулювати каталазну й пероксидазну активності в листках протягом онтогенезу [23]. Такі ефекти підвищують стресостійкість рослинного організму, зокрема за впливу різноманітних токсичних речовин.

У наступні фази розвитку сої ми не зафіксували істотних змін досліджуваних показників відносно рослин контрольного варіанта за винятком маси бульбочок у фазу бутонізації, в яку параметри рослин дослідного варіанта перевищували контрольні на 47 %, а також кількості бульбочок у фазу цвітіння, що збільшувалась на 13 %.

У результаті дослідження впливу фунгіциду февер на симбіотичні системи сої виявлено, що ефект від застосування цього препарату значною мірою залежав від фази розвитку рослин. Зокрема на початкових етапах формування симбіозу (фаза двох справжніх листків) як кількість, так і маса бульбочок, сформованих на коренях рослин цього варіанта, були меншими від контрольних на 20 %. Зафіксований нами ефект може бути наслідком інгібування флавоноїдного Nod-рецептора, яке, у свою чергу, індукує пригнічення синтезу та секреції флавоноїдних речовин, що виробляються рослиною, і тим самим порушується бобово-ризобіальний сигналінг. Таку здатність пестицидів довело багато вчених [24—26].

Надалі фунгіцид февер не чинив такого негативного впливу на процес бульбочкоутворення і навіть стимулював його. Зокрема у фазу трьох справжніх листків він сприяв збільшенню кількості та маси кореневих бульбочок порівняно з рослинами контрольного варіанта відповідно на 32 й 11 %. У фазі бутонізації і цвітіння симбіотичні системи, які зазнали впливу фунгіциду февер, формували більші за масою бульбочки порівняно з контрольними рослинами. Зокрема у фазу бу-

тонізації на коренях рослин досліджуваного варіанта формувалась така ж кількість бульбочок, як і в контрольних рослин, але їх маса перевищувала контрольний показник на 58 % (див. рис. 2). У фазу цвітіння за зниження кількості бульбочок (на 40 %) їх маса була на рівні показника рослин контрольного варіанта.

За поетапної обробки насіння сої фунгіцидом февер і препаратом стимпо маса кореневих бульбочок рослин зменшувалась на 33 % у фазу двох справжніх листків і кількість бульбочок на 60 % — у фазу бутонізації. У фазу цвітіння зафіксовано зниження відносно контрольного показника і маси (на 64 %), і кількості (на 22 %) корневих бульбочок. Лише у фазу трьох справжніх листків кількість бульбочок збільшилась на 19 % відносно контрольного варіанта.

Отже, в результаті проведених експериментів виявлено, що обробка насіння препаратом стимпо значною мірою активує процеси формування симбіотичного апарату сої в більшості досліджуваних фаз розвитку рослин аж до фази цвітіння, при цьому ефект від його застосування у комплексі з фунгіцидами залежить від діючих речовин і спектра дії фунгіцидів.

Встановлено, що практично в усі досліджувані фази розвитку рослин симбіотичні системи сої, що зазнали впливу препарату стимпо, характеризувались найвищими показниками азотфіксувальної активності порівняно з контролем та іншими досліджуваними варіантами (таблиця), зокрема у фазу двох справжніх листків — на 162 %, у фазу трьох справжніх листків — на 81, у фазу бутонізації — на 67 % відносно показників рослин контрольного варіанта. Винятком була лише фаза цвітіння, в яку азотфіксувальна активність рослин цього варіанта знизилась на 27 % порівняно з контролем. Спираючись на результати досліджень, проведених раніше [27—29], ми припустили, що механізм стимуляції азотфіксації рiстрегулювальними речовинами, які містяться в цьому препараті, а саме аналогами природних фітогормонів цитокінінової й ауксинової дії, може бути пов'язаний з підвищенням вмісту хлорофілів, посиленням процесу фотосинтезу

*Азотфіксувальна активність (мкмоль  $C_2H_4$ /(рослину · год)) симбіотичних систем сої за впливу фунгіцидів февер, стандак топ і комплексного препарату стимпо*

Варіант	Фаза розвитку рослин			
	двох справжніх листків	трьох справжніх листків	бутонізації	цвітіння
Інокульоване насіння (контроль)	0,383±0,031	5,508±0,178	9,693±0,601	16,660±1,061
Насіння + стимпо	1,005±0,094	9,970±0,201	16,214±1,432	12,145±1,146
Насіння + февер	0,335±0,027	6,460±0,164	13,301±1,175	14,355±1,512
Насіння + стандак топ	0,296±0,014	5,938±0,317	10,992±1,818	12,631±0,892
Насіння + стимпо + февер	0,232±0,016	4,873±0,398	12,458±0,948	12,649±1,022
Насіння + стимпо + стандак топ	0,452±0,025	3,212±0,187	9,893±0,125	8,900±0,840



і, як наслідок, інтенсивним відтоком у кореневу зону фотоасимілятів, що є одним із джерел живлення мікроорганізмів.

Аналіз результатів досліджень показав, що ефект від застосування фунгіциду февер залежав від фази розвитку рослин. Зокрема у фази трьох справжніх листків і бутонізації досліджуваний показник зростав відносно показників контрольних рослин відповідно на 17 і 37 %. За обробки насіння фунгіцидом стандак топ азотфіксувальна активність симбіотичних систем сої знижувалась порівняно з рослинами контрольного варіанта на 24 % у фази двох справжніх листків і цвітіння (див. таблицю). У фази трьох справжніх листків і бутонізації в рослин цього варіанта виявлено тенденцію до зростання азотфіксувальної активності.

За поетапної обробки насіння препаратом стиму та фунгіцидом февер азотфіксувальна активність кореневих бульбочок знижувалась порівняно з цим показником у контрольних рослин на 40, 48 і 24 % відповідно у фази двох і трьох справжніх листків та цвітіння. У фазу бутонізації азотфіксувальна активність рослин цього варіанта була вищою, ніж у контрольних, на 28 %. У варіанті із застосуванням стандак топу і стиму цей показник у фазу двох справжніх листків зростав на 18 %. У фази трьох справжніх листків і цвітіння азотфіксувальна активність була нижчою, ніж у рослин контрольного варіанта, відповідно на 42 і 47 %.

Отже, встановлено, що всі досліджені нами препарати як окремо, так і в комплексі істотно не впливають на активність ростових процесів рослин сої. З'ясовано, що комплексний препарат стиму значно активує процеси формування і функціонування симбіотичного апарату сої у фази двох, трьох справжніх листків та бутонізації. При цьому ефект від застосування препарату стиму у комплексі з фунгіцидами залежить від діючих речовин, спектра дії фунгіцидів і фази розвитку рослин.

Фунгіциди февер і стандак топ незначно пригнічують діяльність симбіотичних систем сої на початкових етапах формування симбіотичного апарату сої, проте в період найактивнішого функціонування бобово-ризобіальних систем (фази трьох справжніх листків і бутонізації) ці препарати активують процеси бульбочкоутворення та фіксації молекулярного азоту.

Результати проведених досліджень підтвердили перспективність застосування комплексного препарату стиму для передпосівної інокуляції насіння бобових рослин із метою поліпшення функціонування бобово-ризобіального симбіозу. Проте використовувати його як протектор негативного впливу фунгіцидів недоцільно, адже за концентрації 25 мл/т насіння цей препарат не знімає токсичного впливу досліджених фунгіцидів на ранніх етапах формування симбіотичних систем сої.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Рогач С. Екологічні аспекти формування ринку сільськогосподарських земель в Україні [Електронний ресурс]. Економіко-правова парадигма розвитку сучасного суспільства. 2016. № 1. Режим доступу: <http://studlib.org.ua/index.php/eprs/article/view/48/46>

2. Dankevych E., Dankevych V., Chaikin O. Ukraine agricultural land market formation preconditions. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017. **65**. N 1. P. 259–271. <https://doi.org/10.11118/actaun201765010259>
3. Sonali R., Liu W., Nandeti R.S., Crook A., Mysore K.S., Pislariu C.I., Frugoli J., Dickstein R., Udvardi M.K. Celebrating 20 years of genetic discoveries in legume nodulation and symbiotic nitrogen fixation. *The Plant Cell*. 2020. **32**. P. 15–41. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00279>.
4. Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф., Даценко В.К., Кругова Е.Д., Кириченко Е.В., Михалкив Л.М. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобиальный симбиоз: В 4 т. Киев: Логос, 2010. Т. 1. 508 с.
5. Kaur C. Interaction of systemic fungicides with soil microorganisms. *Journal of Environmental Research and Development*. 2006. **1**, N 1. P. 11–15.
6. Srivastava P.K., Singh V.P., Singh A., Tripathi D.K., Singh S., Prasad Sh.M., Chauhan D.K. Pesticides in crop production: physiological and biochemical action. New Jersey: John Wiley & Sons, 2020. P. 312.
7. Altman J. Pesticide interactions in crop production: beneficial and deleterious effects. Reissued. Taylor & Francis Group, 2018. P. 596. <https://doi.org/10.1201/9781351075459>
8. Шевченко А.О. Регулятори росту рослин у землеробстві: Збірник наукових праць. Київ: МНТЦ «Агробіотех», 1998. 143 с.
9. Яворська В., Драгозов І., Мусяка В. Регулятори росту зберігають сортову типовість сільськогосподарських культур. *Пропозиція*. 2004. № 8/9. С. 70–71.
10. Бородавченко А.А., Дорожкина Л.А. Как снизить гербицидную нагрузку на ячмень. *Защита и карантин растений*. 2006. № 6. С. 30–31.
11. Добрева Н.И., Габдрахманов И.Х., Дорожкина Л.А. Применение регуляторов роста и силипланта для повышения урожайности зерновых и снижения пестицидной нагрузки. *Нива Поволжья*. 2014. **30**, № 1. С. 42–49.
12. Basuchaudhuri P. Influences of plant growth regulators on yield of soybean. *Indian Journal of Plant Sciences*. 2016. **4**, N 5. P. 25–38.
13. Волкогон В.В. Биологические препараты комплексного действия в земледелии. Сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. Radostim 2007. Гуминовые кислоты и фитогормоны в растениеводстве (Киев, 12–16 июня 2007). Киев, 2007. С. 48–51.
14. Грицаенко З.М., Голодрига О.В. Гербициди і врожай. Фізіолого-біохімічні аспекти формування продуктивності сої при застосуванні гербицидів і регуляторів росту. *Карантин і захист рослин*. 2004. № 7. С. 21–22.
15. Kanmani E., Ravichandran V., Sivakumar R., Senthil A., Krishna Surendar K., Voominathan P. Influence of Plant Growth Regulators on Physiological Traits under Salinity Stress in Contrasting Rice Varieties (*Oryza sativa* L.). *International journal of current microbiology and applied sciences*. 2017. **6**, N 5. P. 1654–1661. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.108>
16. Fahad Sh., Hussain S., Saud Sh., Hassan Sh., Ihsan Z., Shah A., Wu Ch., Yousaf M., Nasim W., Alharby H., Alghabari F., Huang J. Exogenously applied plant growth regulators enhance the morpho-physiological growth and yield of rice under high temperature. *Frontiers in Plant Science*. 2016. N 7. P. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01250>
17. Sadura I., Janeczko A. Physiological and molecular mechanisms of brassinosteroid-induced tolerance to high and low temperature in plants. *Biologia plantarum*. 2018. **62**, N 4. P. 601–616. <https://doi.org/10.1007/s10535-018-0805-4>
18. Child J.J. Nitrogen fixation by a Rhizobium sp. association with nonleguminous plant cell cultures. *Nature*. 1975. **253**. P. 350–351.
19. Hardy R.W.F., Holsten R.D., Jackson E.K., Burns R.C. The acetylene-ethylene assay for N<sub>2</sub> fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology*. 1968. **43**. P. 1185–1207.
20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1979. 376 с.
21. Колесніков М.О., Євстафієва К.С. Вплив біопрепарату Стімпо на процеси формування врожайності сортів пшениці м'якої озимої. *Вісник Уманського нац. ун-ту садівництва*. 2017. № 2. С. 29–33.
22. Поливаний С.В. Вплив регуляторів росту на особливості перерозподілу елементів мінерального живлення та продуктивність рослин маку олійного. *Наукові записки*

- Тернопіль. нац. пед. ун-ту імені Володимира Гнатюка. Сер. біологія. 2019. 75, № 1. С. 141—147. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.19.1.18>
23. Івасюк Ю.І., Карпенко В.П., Грицаєнко З.М. Симбіотичний стан посівів сої за дії біологічно активних речовин. *Вісник Уманського нац. ун-ту садівництва*. 2015. № 2. С. 13—16.
  24. Kolesnikov M., Paschenko U. The reaction of pea's plants pro-antioxidant system on bio-stimulants Stimpo and Regoplant treatment. *Studia Biologica*. 2017. 11, N 3—4. P. 24—25.
  25. Fox J.E., Gullidge J., Engelhaupt E., Burow M.E., Mclachlan J.A. Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. 104, N 24. P. 10282—10287.
  26. Bikrol A., Saxena N., Singh K. Response of Glycine max in relation to nitrogen fixation as influenced by fungicide seed treatment. *African Journal of Biotechnology*. 2005. 7, N 4. P. 667—671.
  27. Коць С.Я., Михалків Л.М. Фізіологія симбіозу та азотне живлення люцерни. Київ: Логос, 2005. 300 с.
  28. Мурач М.О., Волкогон В.В. Особливості формування симбіотичного апарату сої та продуктивність культури за впливу ризогуміну, мікроелементів і стимулятора росту рослин. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2013. № 6. С. 51—65.
  29. Сальник В.П., Волкогон В.В., Мальцева Н.М., Мамчур О.Е. Вплив інокуляції і регулятора росту триман-1 на активність азотфіксації, розвиток та формування симбіозу люцерни з бульбочковими бактеріями. *Фізіологія і біохімія культ. растений*. 2001. 33, № 18. С. 87—99.

Отримано 29.12.2020

## REFERENCES

1. Rogach, S. (2016). Ecological aspects of farm land market in Ukraine [Electronic resource]. Economic and law paradigm of modern society. No. 1. Access mode: <http://studlib.org.ua/index.php/eprs/article/view/48/46> [in Ukrainian].
2. Dankevych, E., Dankevych, V. & Chaikin, O. (2017). Ukraine agricultural land market formation preconditions. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun*, 65, No. 1, pp. 259-271. <https://doi.org/10.11118/actaun201765010259>
3. Sonali, R., Liu, W., Nandet, R.S., Crook, A., Mysore, K.S., Pislariu, C.I., Frugoli, J., Dickstein, R. & Udvardi, M.K. (2020). Celebrating 20 years of genetic discoveries in legume nodulation and symbiotic nitrogen fixation. *The Plant Cell*, 32, pp. 15-41. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00279>
4. Kots, S.Ya., Morgun, V.V., Patyika, V.F., Datsenko, V.K., Krugova, E.D., Kirichenko, E.V. & Mihalkiv, L.M. (2010). *Biologicheskaya fiksatsiya azota: bobovo-rizobialnyi simbioz*. V 4 vol. Vol. 1, Kiev: Logos [in Ukrainian].
5. Kaur, C. (2006). Interaction of systemic fungicides with soil microorganisms. *Journal of Environmental Research and Development*, 1, No. 1, pp. 11-15.
6. Srivastava, P.K., Singh, V.P., Singh, A., Tripathi, D.K., Singh, S., Prasad, Sh.M. & Chauhan, D.K. (2020). Pesticides in crop production: physiological and biochemical action. New Jersey: John Wiley & Sons, p. 312.
7. Altman, J. (2018). Pesticide interactions in crop production: beneficial and deleterious effects. Reissued. Taylor & Francis Group. p. 596. <https://doi.org/10.1201/9781351075459>
8. Shevchenko, A.O. (1998). Rehulatory rostu roslyn u zemlerobstvi. *Zbirnyk naukovykh prats*. Kyiv: MNTTs «Ahrobiotekh» [in Ukrainian].
9. Yavorska, V., Drahovoz, I. & Musiiaka, V. (2004). Rehulatory rostu zberihaiut sortovu typovist silskohospodarskykh kultur. *Propozytsiia*, No. 8/9, pp. 70-71 [in Ukrainian].
10. Borodavchenko, A.A. & Dorozhkyna, L.A. (2006). Kak snyzht herbytsydnuiu nahruzku na yachmen. *Zashchyta y karantyn rastenyi*, No. 6, pp. 30-31 [in Russian].
11. Dobрева, N.I., Gabdrakhmanov, I. & Dorozhkyna, L.A. (2014). Application of growth regulators and siliplant for increasing productivity of grain and reducing pesticide load. *Volga Region Farmland*, 30, No. 1, pp. 42-49 [in Russian].
12. Basuchaudhuri, P. (2016). Influences of plant growth regulators on yield of soybean. *Indian Journal of Plant Sciences*, 4, No. 5, pp. 25-38.

13. Volkohon, V.V. (2007, June). Byolohycheskye preparaty kompleksnoho deistvyia v zemledelyi. III International scientific-applied conference Radostim 2007 Humic acids and phytohormones in plant growing (pp. 48-51), Kyiv [in Ukrainian].
14. Hrytsaenko, Z.M. & Golodriha, O.V. (2004). Herbitsydy i vrozhai. Fiziolo-hiokhimichni aspekty formuvannia produktyvnosti soi pry zastosuvanni herbitydiv i rehuliatoriv rostu. Quarantine and plant protection, No. 7, pp. 21-22 [in Ukrainian].
15. Kanmani, E., Ravichandran, V., Sivakumar, R., Senthil, A., Krishna Surendar, K. & Boominathan, P. (2017). Influence of Plant Growth Regulators on Physiological Traits under Salinity Stress in Contrasting Rice Varieties (*Oryza sativa* L.). International journal of current microbiology and applied sciences, 6, No. 5, pp. 1654-1661. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.108>
16. Fahad, Sh., Hussain, S., Saud, Sh., Hassan, Sh, Ihsan, Z., Shah, A., Wu, Ch., Yousaf, M., Nasim, W., Alharby, H., Alghabari, F. & Huang, J. (2016). Exogenously applied plant growth regulators enhance the morpho-physiological growth and yield of rice under high temperature. *Frontiers in Plant Science*. No. 7 pp. 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01250>
17. Sadura, I. & Janeczko, A. (2018). Physiological and molecular mechanisms of brassinosteroid-induced tolerance to high and low temperature in plants. *Biologia plantarum*, 62, No. 4, pp. 601-616. <https://doi.org/10.1007/10535-018-0805-4>
18. Child, J.J. (1975). Nitrogen fixation by a *Rhizobium* sp. association with nonleguminous plant cell cultures. *Nature*, 253, pp. 350-351.
19. Hardy, R.W.F., Holsten, R.D., Jackson, E.K. & Burns, R.C. (1968). The acetylene-ethylene assay for N<sub>2</sub> fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.*, 43, pp. 185-1207.
20. Dosphehov, B.A. (1979). Metodika polevogo opyita. Moskva: Kolos [in Russian].
21. Kolesnikov, M.A. & Evstafiyeva, K.S. (2017). Influence of biological preparation stym-po on process of forming to the productivity of sorts of winter soft wheat. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, No. 2, pp. 29-33 [in Ukrainian].
22. Polyvanyi, S.V. (2019). Influence of growth regulators on the peculiarities of the redistribution of elements of inorganic nutrition and productivity of oil poppy plants. *Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk national pedagogical university. Ser. Biology*, 75, No. 1, pp. 141-147 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.19.1.18>
23. Ivasiuk, I.I., Karpenko, V.P. & Hrytsayenko, Z.M. (2015). Symbiotic condition of crops soybean under the influence of biologically active substance. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, No. 2, pp. 13-16 [in Ukrainian].
24. Kolesnikov, M. & Paschenko, U. (2017). The reaction of pea's plants pro-antioxidant system on biostimulants Stimpo AND Regoplant treatment. *Studia Biologica*, 11 (3-4), pp. 24-25.
25. Fox, J.E., Gullledge, J., Engelhaupt, E., Burow, M.E. & Mclachlan, J.A. (2007). Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104, No. 24, pp. 10282-10287.
26. Bikrol, A., Saxena, N. & Singh, K. (2005). Response of *Glycine max* in relation to nitrogen fixation as influenced by fungicide seed treatment. *African J. Biotechnolol*, 7, No. 4, pp. 667-671.
27. Kots, S.Ya. & Mihalkiv, L.M. (2005). Fiziolo-hiia symbiozu ta azotne zhyvlennia liutserny. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
28. Murach, O.M. & Volkogon, V.V. (2013). Peculiarities of soybean symbiotic apparatus formation and crops productivity under the influence of rhizohumin, micronutrients and plant growth stimulator. *Agricultural microbiology*, No. 6, pp. 51-65 [in Ukrainian].
29. Salnyk, V.P., Volkohon, V.V., Maltseva, N.M. & Mamchur, O.E. (2001). Vplyv inokuliacii i rehuliatora rostu tryman-1 na aktyvnist azotfiksciacii, rozvytok ta formuvannia symbiozu liutserny z bulbochkovymy bakteriiamy. *Fiziologiya i biohimiya kult. rastenyi*, 33, No. 18, pp. 87-99 [in Ukrainian].

Received 29.12.2020

PECULIARITIES OF SOYBEAN-RISOBIAL SYSTEMS FUNCTIONING UNDER THE INFLUENCE OF FUNGICIDES AND COMPLEX GROWTH REGULATOR STIMPO

*L.I. Rybachenko, S.Ya. Kots, A.V. Pavlyshche, O.R. Rybachenko, Yu.O. Khomenko*

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine  
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine  
e-mail: veselika@ukr.net

The effect of a complex growth regulator stimpo, both separately and together with fungicides fever and standak top on the formation and functioning of the symbiotic apparatus soybean—*Bradyrhizobium japonicum* were investigated. It was estimated the possibility of its use as a mitigator of the negative effects of fungicides on the studied soybean-rhizobia symbiotic systems. It was revealed that the use of fungicides standak top, fever and complex growth regulator stimpo, both individually and in combination, does not cause significant changes in the activity of growth processes of soybean plants, and their effects depended on the specifics of these preparations and the stage of plant development. It was found that the fungicides used by us cause a slight inhibition of the nodulating activity of rhizobia at the stage of two true leaves. At the same time, in the stage of three true leaves and budding, these fungicides promote the nodule formation and nitrogen-fixing activity. The stimulating effect of the stimpo on the studied symbiotic systems was confirmed. It was shown that the treatment of seeds with this growth regulator leads to a significant increase in the number and weight of root nodules and their nitrogen-fixing activity. In this case, the effect of the use of stimpo in combination with fungicides depends on the active substances, the spectrum of fungicides action and the stage of plant development. It was revealed the prospects of using the complex growth regulator stimpo in pre-sowing inoculation of legume seeds in order to improve the functioning of legume-rhizobial symbiosis. However, its use at a concentration of 25 ml/t of seeds did not absolve the toxic effects of the studied fungicides on the soybean symbiotic systems.

*Key words:* *Bradyrhizobium japonicum*, plant growth regulators, stimpo, fungicides, legume-rhizobial symbiosis, nitrogen-fixing activity, soybean.