

## ЕФЕКТ ПОЄДНАННЯ ХІМІЧНИХ І БІОЛОГІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ СУМІШІ ДЛЯ ОБРОБКИ НАСІННЯ СОЇ (*GLYCINE MAX* L.)

А.С. Левішко, П.М. Маменко, О.Ю. Колодяжний

*Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)*

*e-mail: aلودua2@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4037-1730*

*e-mail: p\_tamenko@ukr.net; ORCID: 0009-0001-9945-8462*

*e-mail: aلودua2@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5359-1738*

Метою роботи було виявити особливості ефекту поєднання компонентів суміші для обробки насіння сої (*Glycine max* L.), а також вплив їх на посівні якості. Для досліджу було взято штами *Bradyrhizobium japonicum* EL 35 із колекції відділу агроєкології і біобезпеки Інституту агроєкології і природокористування НААН та прийнятий за еталон інокулянт *Wealth N*, що містить суміш 2-х штамів *B. japonicum* різної ефективності. Обробку здійснювали такими речовинами: фунгіцид-1 (флудиоксоніл, металаксил-М); фунгіцид-2 (тіофанат метил, крезоксим-метил, цимоксаніл); біостимулятор — (амінокислоти 200 г/л); гумати (гумат калію рідкий 18%); мікроелементи (хелатований комплекс ЕДТА Fe, Mn, Cu, Zn і Mg, B, Mo). Було відмічено, що за виключенням мікроелементів спільна інкубація до 24 год *B. japonicum* EL 35 та *Wealth N* із фунгіцидами й регуляторами росту не впливала на титр мікроорганізмів. Встановлено негативну дію мікроелементів на біологічну компоненту — живі клітини ризобій. Останній у баковій суміші з мікроелементами вже через 1 год знижується на 10–20%, а через добу — 62 та 43% для *B. japonicum* EL 35 і *Wealth N* відповідно. Згодом ми не залучали мікроелементи для створення комплексів. Передпосівна обробка насіння сої баковими комплексами інокулянтів з фунгіцидами і регуляторами росту рослин виявила, що титр мікроорганізмів практично не знижується впродовж семи діб. Дослідження впливу комплексних обробок на посівні якості насіння засвідчило, що науково обгрунтований підбір компонентів дає змогу збільшити енергію проростання на 11%, і схожість від 4 до 6%. Однак це твердження справедливе лише для насіння, що частково втратило свої якості під час довготривалого зберігання. Передпосівна обробка насіння врожаю 2023 р. з еталонними показниками схожості та енергії проростання не продемонструвала такого впливу. Визначено синергічний ефект більшості використаних у досліді складових для обробки насіння сої, за виключенням мікроелементів. Спільна обробка насіння правильно підібраними компонентами як хімічної, так і біологічної природи є дієвим інструментом для одночасного захисту і підвищення якості посівного матеріалу та результативним заходом на шляху до більш екологічного землеробства.

**Ключові слова:** біопрепарати, *Bradyrhizobium*, фунгіцид, мікродобриво, гумати.

### ВСТУП

За прогнозами, чисельність населення планети в 2030 р. та 2050 р. досягне 8,6 млрд і 9,8 млрд відповідно, що зумовить збільшення глобального попиту на харчові продукти. Це призведе до серйозних проблем щодо глобальної продовольчої безпеки як через надмірне зростання населення і обмеженість посівних площ, так і через біотичні й абіотичні стреси, які виникають унаслідок змін клімату. Отже, для продовольчої безпеки необхідно роз-

робити відповідну сільськогосподарську політику, яка має бути стійкою з економічної та екологічної точки зору.

На сільськогосподарських угіддях переважають зернові культури (наприклад, рис, пшениця, кукурудза), що мають особливо високу потребу в азоті порівняно з бобовими. Соя (*Glycine max* L.) є прикладом найважливішої продовольчої бобової культури, яка наразі культивується в усьому світі і різних кліматичних умовах та має низьку потребу в азоті [1]. Жодна інша рослина в світі не може за такий короткий період

часу — 4–5 міс. вегетації сформувати таку кількість білка і жиру з одиниці площі, як соя. Тому вона посідає провідну позицію серед інших сільськогосподарських культур у світі, та користується попитом у переробній галузі [2]. Світове виробництво сої на червень 2024 р. оцінюється на рівні 422,2 млн т, що демонструє нам зростання порівняно з 401,3 млн т у 2023 р. Найбільшими виробниками *Glycine max* L. у світі впродовж останніх років залишаються такі виробники, як Бразилія 40%, США 29, Аргентина 12%. Україна впевнено займає 9 місце, виробляючи 5,5 млн т, які становлять 1% її світового виробництва, хоч ця культура й не є у нас традиційною. Також варто відзначити, що порівняно з 2023 р., коли було зібрано 4,8 млн т, вирощування цієї культури лише зросло [3]. Вона є провідною зернобобовою культурою в Україні та її частка становить понад 10% від загального українського обсягу сільськогосподарських культур. За даними Держстату України, площі під вирощуванням цієї культури останні п'ять років перевищують мільйон гектарів [4].

Соя (*Glycine max* L.) також є однією з основних культур, що здатна позитивно впливати на різні аспекти екосистеми, зокрема й на найважливіший її компонент — ґрунтову мікробіоту. Відомо, що під час здійснення правильної інокуляції насіння сої, біологічна азотфіксація спроможна повністю забезпечити потреби даної культури в азотних добривах [5]. Тому, нормально сформований симбіотичний апарат сої, завдяки лише азотфіксації може задовольнити її потребу в азоті навіть у високоврожайних сортах [6]. Стверджують, що інокуляція насіння сприяє зростанню врожайності зерна і концентрації білка, що сприяє збільшенню ціни на сою. Однак, інтенсивна технологія для її вирощування передбачає використання різних засобів захисту від шкідників і хвороб, зокрема й хімічних пестицидів, мікроелементів тощо. Тому, істотною перевагою інокуляції насіння сої рідкою формою інокулянту, вважається, можливість його поєднувати з інсектицидними або фунгіцидними про-

труїниками, обробкою біостимуляторами, мікроелементами та їх сумішами. Однак є певні умови, за яких після інокуляції насіння забезпечується ефективне фіксування азоту з повітря та переведення його в доступну для рослини форму [5]. Основною умовою серед усіх є те, що інокулянт має бути сумісний із будь-якими протруїниками, що застосовуються разом із ним в одній баковій суміші. Саме тому, перевірка інокулянту для сої на сумісність із препаратами, що можна застосовувати для обробки насіння є вкрай важливою. Через те що утворення бульбочок та біологічна фіксація азоту відіграють центральну роль в отриманні стійких та конкурентоспроможних врожаїв сої, і будь-які речовини здатні впливати на це і мають проходити сувору перевірку.

Отже, **метою нашої роботи** було виявити особливості ефекту поєднання компонентів суміші для обробки насіння *Glycine max* L., а також вплив їх на посівні якості.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В інтенсивних схемах сучасних агротехнологій дедалі більше уваги приділяється впровадженню заходів, що забезпечують максимальну можливість реалізації потенціалу сільськогосподарських культур. Тому, існує багато засобів для подолання всіх можливих перепон для досягнення цієї мети. До того ж варто зменшити кількість операцій з обробкою насіння задля зниження вірогідності щодо можливості його механічного пошкодження. Отже, дедалі частіше аграрії намагаються в одній обробці насіння використати максимальну кількість необхідних препаратів. Однак, часто використання пестицидів негативно впливає на симбіотичні відносини між бактеріями та рослиною, а також зумовлює зменшення можливостей останньою в отриманні біологічного азоту [7].

Фунгіциди широко застосовуються для боротьби з грибковими захворюваннями рослин та для збільшення врожайності. Їх використання для обробки насіння вже давно стало процедурою, необхідність

яких ні для кого не викликає сумнівів. Наприклад, продемонстровано позитивний вплив фунгіциду на основі флудіоксоніл + металаксил-М на посівні якості насіння сої сорту Аннушка та рівень адаптивності її проростків у польових умовах [4]. Однак відомо, що різні препарати для обробки насіння та різні умови зберігання їх бакових сумішей здатні істотно впливати на виживаність бактерій у таких розчинах [8]. Загалом, вплив фунгіцидів для обробки насіння на мікроорганізми, крім грибів, залишається нечітким. Фунгіцидні сполуки можуть мати побічні ефекти та впливати на нецільові ґрунтові мікроорганізми. Деякі дослідження стверджують, що металаксил впливає на діяльність амоніфікувальних і нітрифікувальних бактерій, а флудіоксоніл може мати негативну дію на різні бактерії [9]. Відомо, що флудіоксоніл широко використовується для боротьби з хворобами сільськогосподарських культур через його широкий спектр дії та високу активність. Існують дані, що флудіоксоніл обмежує ріст водоростей *Chlorella vulgaris*, а його середня інгібуюча концентрація через 96 год становила 1,87 мг/л. Концентрації флудіоксонілу 0,75 та 3 мг/л знижували вміст фотосинтетичних пігментів у клітинах *C. vulgaris* та індукували окислювальне пошкодження шляхом зміни активності антиоксидантних ферментів і підвищення рівня активних форм кисню [10]. Тобто, дана речовина може мати негативний вплив на нецільові об'єкти. Також показано, що повторні обробки крезоксим-метилом мають здатність змінити швидкість його виведення і активність ґрунтових ферментів та пригнічувати функціональне різноманіття мікроорганізмів [11].

Групою українських вчених було виявлено як негативний, так і позитивний вплив різних фунгіцидів на формування і функціонування симбіотичних систем сої. Вони засвідчили, що симбіотична система варіанта із сумісним застосуванням фунгіциду на основі прохлоразу з тритіконозолом та штамом *B. japonicum* UCM В-6023 є ефективною для обробки насіння та не має

негативної дії на олігоазотрофні та прототрофні мікроорганізми [12].

Існують дослідження, які стверджують, що під час вирощування сої ефективним агрозаходом є передпосівна обробка насіння мікродобривами на хелатній основі. О.В. Шовкова та співавт. [13] зафіксували їх позитивний вплив на формування компонентів структури врожаю у дослідних рослин сої. На противагу цьому їх дія на бактерії *B. japonicum*, що є частиною інокулянтів для сої, протилежний. Так, низкою польських дослідників вивчено вплив різних концентрацій мікродобрив на життєздатність бактерій *B. japonicum*. Дослід включав різні добрива з неоднаковим хімічним складом. Під час аналізу виживання бактерій також враховували тривалість обробки насіння як бактеріями, так і мікроелементними добривами. Випробування проводили одразу після інокуляції насіння та через 1, 3 і 24 год. Було виявлено, що надто висока концентрація мікроелементних добрив для насіння негативно впливає на життєздатність бактерій. Незалежно від концентрації добрива для насіння, що містять мідь і марганець, виявилися токсичними для бактерій. Тривалість контакту добрив із бактеріями погано впливала на їх чисельність. Вже через годину після обробки насіння мікродобривом спостерігалося зменшення кількості бактерій [14]. Утім існують відомості, що молібден за його позакореневого внесення, є прикладом мікроелемента, який позитивно діє на процес біологічної фіксації азоту. Ефективність молібдену залежать від сорту, регіону або погодних умов, а особливо — в кислих ґрунтах, у яких бракує цього елемента. Вважається, що молібден є компонентом деяких бактеріальних нітрогеназ, і тому насамперед важливий для рослин, які живуть у симбіозі з азотфіксувальними бактеріями, як-от *Rhizobium*. Однак також є повідомлення про певну токсичність удобрення молібденом для *Bradyrhizobium* [6; 15].

Вважається, що гумінові кислоти сприяють мікробній активності за допомогою багатьох процесів, включаючи хімічне притягання, забезпечуючи доступні джерела

вуглецю і азоту та електрохімічні модифікації межі ґрунт–корінь. Показано підвищену мікробну колонізацію тканин різних рослин, спільно інокульованих гуматами і бактеріями, що стимулюють ріст рослин. Ці сполуки посилюють виділення рослинами лабільних речовин, як-от цукри, амінокислоти та органічні кислоти, які можна використовувати як джерела енергії, сприяючи росту бактерії, що стимулюють ріст рослин [16]. Відомо, що використання препаратів на основі гумінових речовин, як-от К-гумат, та його включення в технологію сумісної обробки з інокуляцією насіння сої може забезпечити позитивний вплив на біологічну азотфіксацію [17]. Так, досліджено дію різних концентрацій К-гуматів (0, 50, 100, 150, 200 і 4000 мг) для насіння сої, інокульованого *Bradyrhizobium*, і показано вплив цієї сполуки на виживання *Bradyrhizobium*, морфологію коренів, утворення бульбочок, та приріст біомаси і вмісту азоту. Концентрації 50, 100 і 4000 мг збільшували виживання *Bradyrhizobium* у насінні після 25 днів зберігання, а також засвідчили кращий ефект щодо довжини первинних коренів, загальної довжини коренів і його площі. Також відмічено позитивний ефект на утворення симбіотичного апарату на коренях сої.

Виявлено, що поєднання гумінових речовин, *Bradyrhizobium japonicum* і бактерій, що стимулюють ріст рослин (PGPB), може бути багатобічним підходом до сприяння утворення бульбочок сої та збільшення врожаю. Така спільна інокуляція значно збільшила як кількість, так і середню масу бульбочок, що сприяє до більш ефективної біологічної фіксації азоту, про що свідчила значна кореляція між вагою бульбочок та фіксацією азоту [16].

Да Сілва та ін. [18] показали, що застосування гумінових кислот може сприяти росту сої через її дію на спільноту ендofітних бактерій, викликаючи збагачення мікроорганізмів, здатних впливати як на ріст рослин, так і на захист від патогенів і абіотичних стресів. Загалом, модуляція ендofітної та ризосферної спільноти гуміновими кислотами є складним про-

цесом, який виникає внаслідок різних взаємозв'язків між компонентами та функціями. Анатомічні зміни в кореневій системі роблять коріння більш розгалуженими з більшою площею поверхні, ймовірно, допомагаючи їх взаємодії з рослинними мікроорганізмами. Крім того, рослини, оброблені гуміновими кислотами, показують помітне збільшення кореневої ексудації внаслідок загального прискорення метаболізму [19].

Тому, існує велика кількість речовин, що використовуються за обробки насіння сої та дані щодо їх сумісної інокуляції є досить суперечливі та мають велику кількість чинників, які на них впливають. Перевірка штамів ризобій для інокуляції насіння сої на сумісність із різними препаратами відкриє нам глибше розуміння більш широких можливостей для їх застосування. Загалом, визначення стійкості *B. japonicum* до дії різних пестицидів дасть змогу запобігти можливим негативним наслідкам за спільного використання хімічних і біологічних засобів на формування симбіозу та його здатність підтримувати рослину для утворення врожаю.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оцінка впливу комплексної схеми обробки сої на ефективність інокуляції та якісні показники насіння проводилася на основі мікроорганізмів *Bradyrhizobium japonicum* та рекомендованих виробниками хімічних протруйників для обробки насіння.

У досліді було взято штами *Bradyrhizobium japonicum* EL 35 із колекції відділу агроєкології і біобезпеки Інституту агроєкології і природокористування НААН та прийнятий за еталон інокулянт для насіння сої Wealth N, що містить комплекс активних штамів ризобій (*B. japonicum* mix).

Для обробки насіння використовували середньостиглий сорт сої Моравія (120–139 діб) урожаю 2021 і 2023 рр.

Культуру повільнорослих бульбочкових бактерій *B. japonicum* вирощували на манітно-дріжджовому середовищі впро-

довж 7 діб за 26–28°C. Склад манітно-дріжджового середовища (г/л):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,5;  $\text{MgSO}_4$  – 0,2;  $\text{NaCl}$  – 0,1;  $\text{CaCO}_3$  – сліди, дріжджовий екстракт – 1,0; маніт – 10,0 (рН 6,8–7,2). Титр *B. japonicum* в суспензії після вирощування становив  $5 \cdot 10^9$  кл/мл.

Обидва продукти на основі мікроорганізмів тестували в поєднанні з такими препаратами:

1. Контроль (вода);
2. Фунгіцид-1 – Махім XL, на основі діючих речовин – флудіоксоніл 25 г/л, металаксил-М 10 г/л – 1 л на т насіння;
3. Фунгіцид-2 – Авідо, на основі діючих речовин – тіофанат метил 435 г/л, крезоксим-метил 50 г/л, цимоксаніл 15 г/л – 1 л на т насіння;
4. Біостимулятор – Energreen premium amino (амінокислоти 200 г/л) – 0,12 л на т насіння;
5. Гумати – гумат калію (Гуміфілд ВР-18), рідкий 18% – 0,8 л/т насіння;
6. Мікроелементи – Рексолін (хелатований комплекс ЕДТА, Fe, Mn, Cu, Zn і Mg, B, Mo) – 0,25 кг на т насіння.

Також було проведено оцінку подальших комплексів щодо їх впливу на посівні якості насіння:

7. Комплекс 1 – фунгіцид-1 + біостимулятор + гумати;
8. Комплекс 2 – фунгіцид-2 + біостимулятор + гумати.

Через негативний вплив на мікроорганізми мікроелементи в складі комплексу не застосовувались.

Спільне інкубування ризобій та речовин для обробки насіння проводили впродовж – 1, 3 і 24 год. Після інкубації визначали титр бактерій за загальноприйнятими методами [20].

Енергію проростання та лабораторну схожість насіння сої виявляли в лабораторних умовах за ДСТУ 4138-2002.

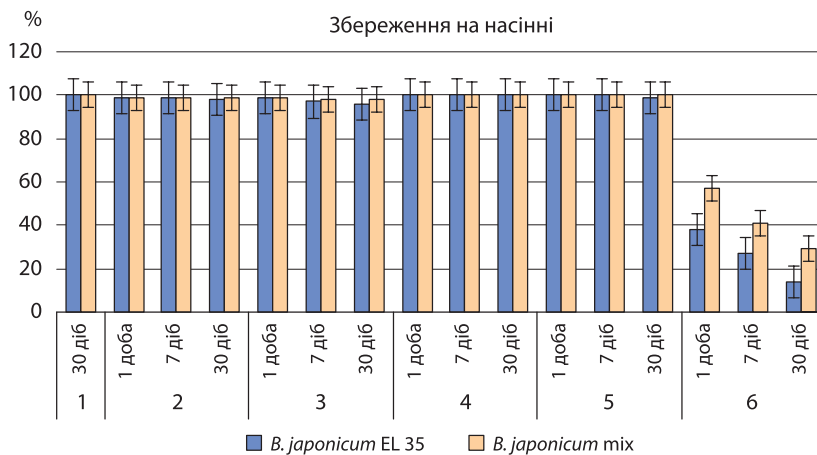
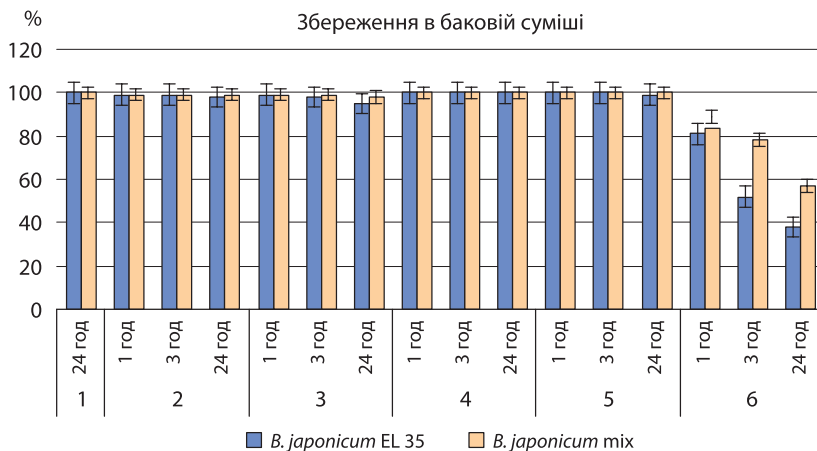
Усі досліді проводили в 3-разовому біологічному та 5-разовому аналітичному повтореннях. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали з використанням STATISTICA 10 та Microsoft Excel 10.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Раніше нами було проведено скринінг штамів ризобій, які адаптувались до локальних ґрунтово-кліматичних умов і набули стійкості до різноманітних засобів живлення та захисту рослин, що є перспективною стратегією підвищення ефективності мікробіологічних агентів біопрепаратів. Показано найвищу ефективність штаму *B. japonicum* EL 35, серед усіх взятих для дослідів препаратів для інокуляції рослин сої [21]. Для подальшого вивчення цього штаму було проведено серію дослідів за його сумісністю з деяким новітніми препаратами для обробки насіння сої та порівняння його із сумішшю ризобій еталонного інокулянту.

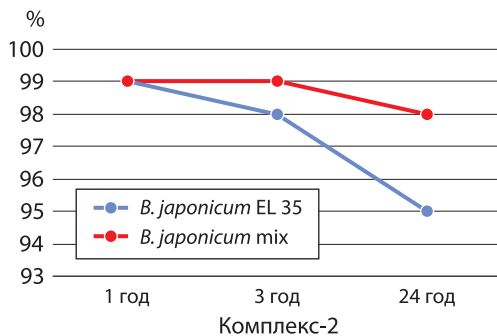
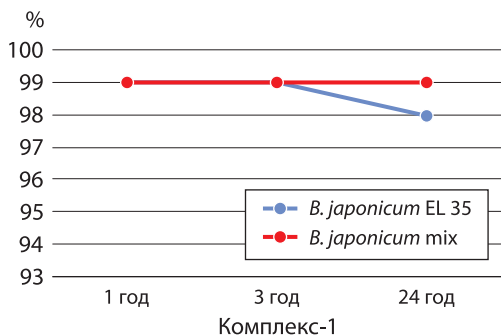
Передусім досліджено чутливість мікроорганізмів у баковій суміші до двох хімічних фунгіцидів, біостимуляторів на основі гуматів і амінокислот, а також мікродобрих окремо (рис. 1). Титр мікроорганізмів у контрольному варіанті становив  $5 \cdot 10^8$  та  $9 \cdot 10^8$  для *B. japonicum* EL 35 та *B. japonicum* міх відповідно. Так, показано, що обидва біопрепарати у баковій суміші з фунгіцидами і регуляторами росту зберігають початковий титр до 24 год. Лише мікроелементи мали токсичний вплив на ризобії, знижуючи титр на 10–20% уже через одну годину спільної інкубації. Через три години титр знижувався на 48 і 22%, а через добу на 62 й 43% для *B. japonicum* EL 35 і *B. japonicum* міх відповідно. Аналогічною була тенденція і за визначення титру мікроорганізмів на обробленому насінні за тривалого зберігання. Це підтверджує дослідження польських вчених [14] щодо токсичності мікроелементів для *B. japonicum*. Подальші дослідження мікроелементів у багатокомпонентних бакових сумішах втратили сенс.

З огляду на вищезазначене, для створення суміші – комплекс-1, було взято фунгіцид-1 + біостимулятор + гумати та для суміші – комплекс-2, відповідно, фунгіцид-2 + біостимулятор + гумати. Перевірено вплив цих комплексів на життєздатність ризобій упродовж тривалої інкубації в баковій суміші (рис. 2). Максимальне



**Рис. 1.** Збереження кількості клітин ризобій після спільної інкубації з хімічними протруйниками в чистій культурі та на насінні

Примітки: 1. Контроль. 2. Фунгіцид-1. 3. Фунгіцид-2. 4. Біостимулятор. 5. Гумати. 6. Мікроелементи.



**Рис. 2.** Динаміка кількості ризобіальних клітин у бакових комплексних розчинах

зниження кількості ризобій зафіксовано за інкубації *B. japonicum* EL 35 із комплексом-2, що становило 5%. В інших випадках не спостерігали істотного зниження кількості життєздатних клітин, що могло б зашкодити формуванню симбіотичного апарату в подальшому.

Під час нанесення досліджених бакових сумішей на насіння проведено перевірку титру ризобій через 1; 7 та 30 діб. Вихідний титр бактерій на насінні становив  $4 \cdot 10^6$  та  $8 \cdot 10^6$  для *B. japonicum* EL 35 та *B. japonicum* міх відповідно. Результатами досліджень встановлено (рис. 3), що неістотне зниження титру спостерігається з 7-ї доби після обробки насіння і дещо збільшується до 30 доби. Крім того, комплекс-1 є менш токсичним – 1% зниження титру, порівняно з комплексом-2, де титр зменшився на 6%. Це твердження справедливе лише у бакових сумішей на основі *B. japonicum* EL 35. У випадку з *B. japonicum* міх на 30-ту добу зниження титру на 1% зазначено у баковій суміші з комплексом-2. Отже, можна з впевненістю стверджувати, що обидва перевірені комплекси підходять для сумісної обробки з ризобіями та не впливають на титр бактерій упродовж тривалого часу зберігання на насінні.

Тому, обидва досліджені комплекси не чинять негативного впливу на досліджувані штами *B. japonicum*. Це доводить високу технологічність виділеного штаму *B. japonicum* EL 35 та дає змогу рекомендувати його як біологічний агент для сумісної із

фунгіцидами та регуляторами росту передпосівної обробки насіння сої.

Наступний етап досліджень передбачав вивчення впливу штаму *B. japonicum* EL 35 на посівні якості насіння.

Відомо, що запорукою хорошого врожаю є схожість насіння, а не лише правильно підібрані засоби захисту та живлення. Кондиційність насіння є одним із найважливіших показників, які визначають перед його висівом. Вважається, що господарська довговічність насіння сої (*Glycine max* L.) за зберігання в насіннесховищах із неконтрольованим кліматом залежно від сорту зберігається 3–4 роки [22]. Тому, для наступного етапу нашої роботи з дослідження впливу препаратів як у суміші, так і окремо, на схожість насіння сорту Моравія, було взято сою врожаю 2021 і 2023 рр.

Дослідження на насінні врожаю 2021 р. зафіксувало (табл. 1), що обробка ризобіями здатна збільшити схожість та енергію проростання на 5–11%. Обробка фунгіцидами не мала впливу на енергію проростання та знижувала на 2% схожість. Біостимулятори та гумати покращували якісні показники від 2 до 10%. Останнє підсилює твердження, що поєднання мікробних препаратів із біостимуляторами під час обробки насіння є дуже ефективним та рекомендованим методом [23]. Застосування мікроелементів засвідчило нейтральний вплив на схожість, але знижувало енергію проростання на 3%.

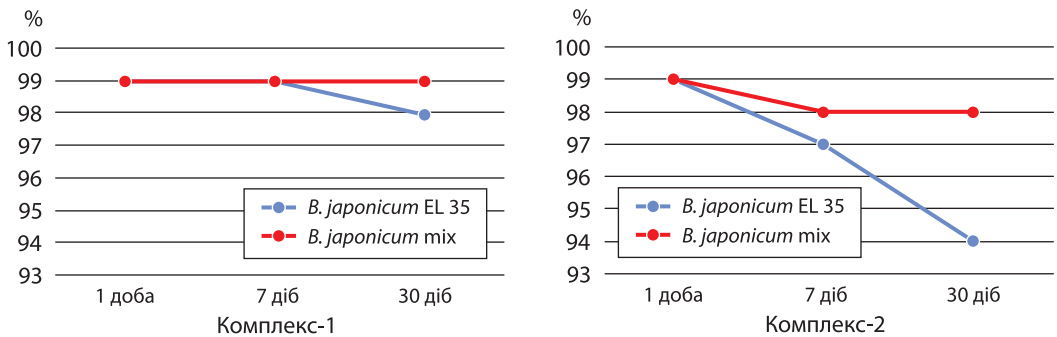


Рис. 3. Збереження кількості клітин ризобій після спільної інкубації із сумішами хімічних протруйників на насінні

Таблиця 1. Вплив окремих елементів обробки на схожість насіння сорту Моравія врожаю 2021 р., %

Препарат	Лабораторна схожість	Польова схожість	Енергія проростання
Контроль (без обробки)	82	78	72
<i>V. jaropiscum</i> EL 35	87	86	83
Фунгіцид-1	82	76	72
Фунгіцид-2	80	76	72
Біостимулятор	84	84	83
Гумати	86	82	82
Мікроелементи	82	78	69

За дослідження комплексної обробки (без мікроелементів) на якісні показники насіння сої сорту Моравія врожаю 2021 р. виявлено позитивний вплив обох комплексів (рис. 4). Так, спостерігаємо, що за рахунок правильно підібраної комплексної обробки можна збільшити енергію проростання на 11%, і схожість від 4 до 6%.

Дослідження показників посівної якості насіння врожаю 2023 р. визначило, що вихідна схожість цього насіння набагато вища, ніж у насіння 2021 р. — від 10 до 16%. Обробка ризобіями цього насіння не продемонструвала такого позитивного впливу на якісні показники як за обробки насіння врожаю 2021 р. Тому, за гіршої якості насіння (насіння врожаю 2021 р.) обробка ризобіями здатна поліпшити його, але за достатньо високого рівня схожості насіння така обробка є нейтральною (табл. 2). Обробка обома фунгіцидами знижувала досліджувані показники на 1–2%. Мікроелементи, як і в попередньому досліді знижували всі показники, але не більше ніж на 5%.

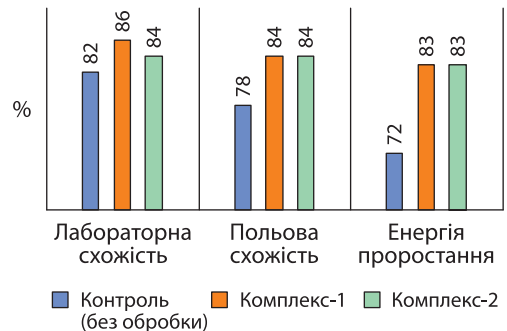


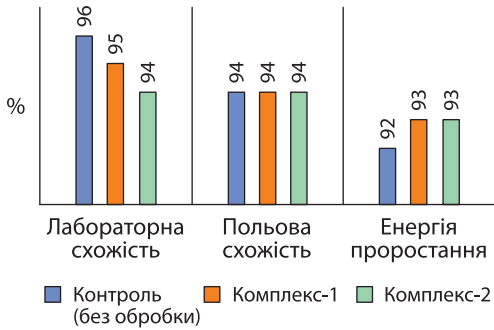
Рис. 4. Вплив комплексної обробки на якісні показники насіння сої сорту Моравія врожаю 2021 р.

Під час дослідження комплексної обробки на якісні характеристики насіння *Glycine max* L. сорту Моравія врожаю 2023 р. показники лабораторної схожості знижувались на 1–2%, але на польову схожість негативний вплив відсутній. До того ж обидва комплекси мали позитивний вплив на енергію проростання (рис. 5).

Таблиця 2. Вплив на схожість насіння сорту Моравія врожаю 2023 р., %

Препарат	Лабораторна схожість	Польова схожість	Енергія проростання
Контроль (без обробки)	96	94	92
<i>V. jaropiscum</i> EL 35	96	95	92
Фунгіцид-1	94	92	92
Фунгіцид -2	94	92	90
Біостимулятор	95	95	93
Гумати	95	97	93
Мікроелементи	92	91	90





**Рис. 5.** Вплив комплексної обробки на якісні показники насіння сої сорту Моравія врожаю 2023 р.

Отже, передпосівна обробка насіння дослідженими комплексами здатна захистити сходи від хвороб та забезпечити їх активний розвиток та рівномірність.

Загалом, спостерігаємо що, правильно підібрана комбінація пестицидів, регуляторів росту та біопрепаратів для передпосівної обробки насіння сої дає змогу за один технологічний прийом поліпшити посівні якості насіння, зберегти азотфіксуючий потенціал культури і, відповідно, забезпечити реалізацію потенціалу врожайності.

## ВИСНОВКИ

Показано особливості взаємодії компонентів біологічної і хімічної природи для обробки насіння сої (*Glycine max* L.).

Встановлено, негативний вплив мікроелементів на біологічний компонент, — живі клітини ризобій, під час застосування їх в одній баковій суміші для обробки насіння сої. Тому, для комплексної обробки з інокулянтами вважаємо доцільним використовувати суміші, які не містять мікроелементи.

Відмічено, що досліджений нами штам *B. japonicum* EL 35 та еталонний препарат (*B. japonicum* міх) зберігають титр за нанесення створених комплексів на насіння до 30 діб. Отже, обидва перевірені комплекси підходять для сумісної обробки з ризобіями та здатні зберігати титр бактерій упродовж часу необхідного для висіву насіння в ґрунт.

Виявлено синергічний ефект більшості використаних у досліді складових для обробки насіння сої, за винятком мікроелементів. Передпосівна обробка насіння дослідженими комплексами речовин здатна забезпечити його захистом від хвороб та отримати рівномірні, добре розвинуті сходи.

Поєднання обробки насіння хімічними протруйниками разом із інокулянтом та стимуляторами росту на основі гумінових речовин і амінокислот дає можливість нівелювати негативний вплив протруйників на схожість та енергію проростання насіння і забезпечує комплексний захист насіння, гарантуючи високу якість посівного матеріалу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Sohidul I.M., Muhyidiyn I., Rafiqul I. et al. Soybean and sustainable agriculture for food security. *Intech. Open*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.104129>.
2. Забарна Т.А., Черешнюк В.В. Агроекологічні аспекти вирощування сої (*Glycine max* L.) в Україні. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 1. С. 108–116. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299945>.
3. The International Production Assessment Division (IPAD) of the USDA's Foreign Agricultural Service (FAS). URL: <https://ipad.fas.usda.gov/cropeplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000>.
4. Поспелова Г.Д., Коваленко Н.П., Нечипоренко Н.І. та ін. Фунгіцидний захист посівів сої від кореневих гнилей. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (3). С. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.01>.
5. Кобилінський І.В., Антонєць О.А. Вплив способів передпосівної підготовки насіння сої на врожайність. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (4). С. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.05>.
6. Jarecki W. Soybean response to seed inoculation or coating with *Bradyrhizobium japonicum* and foliar fertilization with molybdenum. *Plants*. 2023. № 12. Р. 2431. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12132431>.
7. Петриченко В.Ф., Чорна В.М. Особливості росту рослин сої залежно від інокуляції та морфорегулятора в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016.

- № 4. С. 42–54. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan\\_2017\\_11\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2017_11_6).
8. Ahemad M. and Khan M.S. Ecotoxicological assessment of pesticides towards the plant growth promoting activities of Lentil (*Lens esculentus*) — specific *Rhizobium* sp. strain MRL3. *Ecotoxicology*. 2011. Vol. 20 (4). P. 661–669. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0606-4>.
  9. Yang C., Hamel C., Vujanovic V. and Gan Y. Fungicide: modes of action and possible impact on non-target microorganisms. *ISRN Ecology*. 2011. Article ID 130289. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.5402/2011/130289>.
  10. Liu X., Wang X., Zhang F. et al. Toxic effects of fludioxonil on the growth, photosynthetic activity, oxidative stress, cell morphology, apoptosis, and metabolism of *Chlorella vulgaris*. *Science of the total environment*. 2022. Vol. 838 (2). P. 156069. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156069>.
  11. Fang H., Han L., Zhang H. et al. Repeated treatments of ciprofloxacin and kresoxim-methyl alter their dissipation rates, biological function and increase antibiotic resistance in manured soil. *Science of the total environment*. 2018. Vol. 628–629. P. 661–671. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.116>.
  12. Vozniuk S.V., Tytova L.V., Ratushinska O.V. and Iutynska G.O. Formation and functioning of symbiotic systems and rhizosphere microbiocenosis of soybean under various fungicides application. *Mikrobiolohichnyi zhurnal*. 2016. Vol. 78 (4). P. 90–101. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30653880/>.
  13. Шовкова О.В., Коротич Є.В. Ефективність мікродобрив для передпосівної обробки насіння сої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 4. С. 98–102. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.12>.
  14. Brzezińska A. and Mrozek-Niećko A. Effect of selected micronutrient seed fertilizers on the viability of *Bradyrhizobium japonicum*. *Progress in Plant Protection*. 2021. Vol. 61. P. 17–23. DOI: <https://doi.org/10.14199/ppp-2021-002>.
  15. Banerjee P. and Nath R. Prospects of molybdenum fertilization in grain legumes. *Journal of Plant Nutrition*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020831>.
  16. Canellas L.P., Silva R.M., Barbosa L.J.S. et al. Co-Inoculation with *Bradyrhizobium* and humic substances combined with *Herbaspirillum seropedicae* promotes soybean vegetative growth and nodulation. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (10). P. 2660. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13102660>.
  17. Reis de Andrade da Silva M.S., de Melo Silveira dos Santos B., Hidalgo Chávez D.W. et al. K-Humate as an agricultural alternative to increase nodulation of soybeans inoculated with *Bradyrhizobium*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021. Vol. 36. P. 102129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102129>.
  18. da Silva M.S.R.A., de Carvalho L.A.L., Braos L.B. et al. Effect of the application of vermicompost and millicompost humic acids about the soybean microbiome under water restriction conditions. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. P. 1000222. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1000222>.
  19. Mawan N., Tunçtürk M. and Tunçtürk R. Effect of humic acid applications on physiological and biochemical properties of soybean (*Glycine max* L.) grown under salt stress conditions. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 33 (1). P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1057288>.
  20. Лобова О.В., Левішко А.С., Гуменюк І.І. Біотехнології: навч. посібн. Київ: НУБІП, 2021. 545 с.
  21. Левішко А.С., Гуменюк І.І., Ткач Є.Д., Терновий Ю.В., Кравчук Ю.А. Ефективність використання нових штамів *Rhizobium* на посівах бобових культур. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 136–144. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287768>.
  22. Чернишенко П.В., Рябуха С.С. Господарська довговічність насіння сої. *Селекція і насінництво*. 2013. Вип. 103. С. 200–205. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/selinas\\_2013\\_103\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/selinas_2013_103_29).
  23. Заболотний Г.М., Мазур В.А., Циганська О.І. та ін. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності: моногр. Вінниця, 2020. 275 с.

## REFERENCES

1. Sohridul, I.M., Muhyidiyn, I., Rafiqul, I. et al. (2022). Soybean and sustainable agriculture for food security. *Intech. Open*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.104129> [in English].
2. Zabarna, T.A. & Chereshniuk, V.V. (2024). Agroekolohichni aspekty vyroshchuvannya soi (*Glycine max* L.) v Ukraini [Agroecological aspects of soybean (*Glycine max* L.) cultivation in Ukraine]. *Ah-roekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 1, 108–116. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299945> [in Ukrainian].
3. The International Production Assessment Division (IPAD) of the USDA's Foreign Agricultural Service (FAS). (n.d.). URL: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000> [in English].
4. Pospelova, H.D., Kovalenko, N.P., Nechyporenko, N.I. et al. (2023). Funhitsydneyi zakhyst posiviv soi vid korenevnykh hnylei [Fungicidal protection of soybean crops against root rot]. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (3), 5–10. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.01> [in Ukrainian].
5. Kobylinskyi, I.V. & Antonets, O.A. (2023). Vplyv sposobiv передпосівної pidhotovky nasinnia soi na vrozhaunist [Influence of methods of pre-sowing preparation of soybean seeds on yield]. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (4), 24–28. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.05> [in Ukrainian].

6. Jarecki, W. (2023). Soybean response to seed inoculation or coating with *Bradyrhizobium japonicum* and foliar fertilization with molybdenum. *Plants*, 12, 2431. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12132431> [in English].
7. Petrychenko, V.F. & Chorna, V.M. (2016). Osoblyvosti rostu roslyn soi zalezno vid inokuliacii ta morfologuliatora v umovakh Lisostepu pravoberezhnoho [Features of soybean plant growth depending on inoculation and morphoregulator under conditions of the right-bank foreststeppe]. *Agriculture and forestry — Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 4, 42–54 [in Ukrainian].
8. Ahemad, M. & Khan, M.S. (2011). Ecotoxicological assessment of pesticides towards the plant growth promoting activities of Lentil (*Lens esculentus*) — specific *Rhizobium* sp. strain MRL3. *Ecotoxicology*, 20 (4), 661–669. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0606-4> [in English].
9. Yang, C., Hamel, C., Vujanovic, V. & Gan, Y. (2011). Fungicide: modes of action and possible impact on nontarget microorganisms. *ISRN Ecology*, Article ID 130289, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.5402/2011/130289> [in English].
10. Liu, X., Wang, X., Zhang, F. et al. (2022). Toxic effects of fludioxonil on the growth, photosynthetic activity, oxidativestress, cell morphology, apoptosis, and metabolism of *Chlorella vulgaris*. *Science of the total environment*, 838, (2), 156069. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156069> [in English].
11. Fang, H., Han, L., Zhang, H. et al. (2018). Repeated treatments of ciprofloxacin and kresoxim-methyl alter their dissipation rates, biological function and increase antibiotic resistance in manured soil. *Science of the total environment*, 628–629, 661–671. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.116> [in English].
12. Vozniuk, S.V., Tytova, L.V., Ratushinska, O.V. & Iutynska, G.O. (2016). Formation and functioning of symbiotic systems and rhizosphere microbiocenosis of soybean under various fungicides application. *Mikrobiologichnyi zhurnal*, 78, (4), 90–101. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30653880/> [in English].
13. Shovkova, O.V. & Korotych, Ye.V. (2021). Efektyvnist mikrodrobryv dlia peredposivnoi obrobky nasinnia soi [Effectiveness of micro-fertilizers for pre-sowing soybean seed treatment]. *Bulletin of Poltava state agrarian academy — Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 4, 98–102. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.12> [in Ukrainian].
14. Brzezińska, A. & Mrozek-Niečko, A. (2021). Effect of selected micronutrient seed fertilizers on the viability of *Bradyrhizobium japonicum*. *Progress in Plant Protection*, 61, 17–23. DOI: <https://doi.org/10.14199/ppp-2021-002> [in English].
15. Banerjee, P. & Nath, R. (2021). Prospects of molybdenum fertilization in grain legumes. *Journal of Plant Nutrition*. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020831> [in English].
16. Canellas, L.P., Silva, R.M., Barbosa, L.J.S. et al. (2023). Co-Inoculation with *Bradyrhizobium* and humic substances combined with *Herbaspirillum seropedicae* promotes soybean vegetative growth and nodulation. *Agronomy*, 13 (10), 2660. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13102660> [in English].
17. Reis de Andrade da Silva, M.S., de Melo Silveira dos Santos, B., Hidalgo, Chávez D.W. et al. (2021). K-Humate as an agricultural alternative to increase nodulation of soybeans inoculated with *Bradyrhizobium*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 36, 102129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2021.102129> [in English].
18. da Silva, M.S.R.A., de Carvalho, L.A.L., Braos, L.B. et al. (2022). Effect of the application of vermicompost and millicompost humic acids about the soybean microbiome under water restriction conditions. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1000222. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1000222> [in English].
19. Mawan, N., Tunçtürk, M. & Tunçtürk, R. (2023). Effect of humic acid applications on physiological and biochemical properties of soybean (*Glycine max* L.) grown under salt stress conditions. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 33 (1), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1057288> [in English].
20. Lobova, O.V., Levishko, A.S. & Humeniuk, I.I. (2021). *Biotehnolohiyyi: navchal'nyy posibnyk [Biotechnology: a study guide]*. Kyiv: NUBIP [in Ukrainian].
21. Levishko, A.S., Humeniuk, I.I., Tkach, Ye.D., Ternovyi, Yu.V. & Kravchenko, Yu.A. (2022). Efektyvnist vykorystannia novykh shtamiv *Rhizobium* na posivakh bobovykh kultur [Effectiveness of using new *Rhizobium* strains on leguminous crops]. *Ahroekologichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 1, 136–144. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2023.287768> [in Ukrainian].
22. Chernyshenko, P.V. & Riabukha, S.S. (2013). Hospodarska dovhovichnist nasinnia soi [Agricultural durability of soybean seeds]. *Selektsiia i nasinnytstvo — Plant breeding and seed production*, 103, 200–205. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/selinas\\_2013\\_103\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/selinas_2013_103_29) [in Ukrainian].
23. Zabolotnyi, H.M., Mazur, V.A., Tsyhanska, O.I. et al. (2020). *Ahrobiologichni osnovy vyroshchuvannia soi ta shliakhy maksimalnoi realizatsii yii produktyvnost: monohrafiia [Agrobiological basics of soybean cultivation and ways to maximize its productivity: monograph]*. Vinnytsia [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 30.09.2024