

**ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН І ГЕНЕТИКИ**

**СОРОКІНА Світлана Іванівна**

УДК 581.132:632.954:633.15

**ВИБІРНА ФІТОТОКСИЧНІСТЬ ГЕРБІЦИДІВ ПРИ ЇХ КОМПЛЕКСНОМУ  
ЗАСТОСУВАННІ В ПОСІВАХ СОЇ**

03.00.12 – фізіологія рослин

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Київ – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у відділі фізіології дії гербіцидів Інституту фізіології рослин генетики НАН України

**Науковий керівник:** доктор біологічних наук  
**Мордерер Євген Юлійович**  
Інститут фізіології рослин і генетики НАН України,  
завідувач відділу фізіології дії гербіцидів

**Офіційні опоненти:** доктор біологічних наук, професор  
**Кур'ята Володимир Григорович**  
Вінницький державний педагогічний університет  
імені Михайла Коцюбинського,  
завідувач кафедри біології

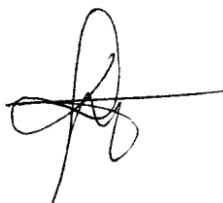
Академік НААН України,  
доктор біологічних наук, професор  
**Патика Володимир Пилипович**  
Інститут мікробіології і вірусології  
ім. Д.К. Заболотного НАН України,  
завідувач відділу фітопатогенних бактерій

Захист дисертації відбудеться « 26 » червня 2014 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.212.01 в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України за адресою: 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 31/17.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту фізіології рослин і генетики НАН України за адресою: 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 31/17.

Автореферат розіслано «      » травня 2014 р.

В. о. вченого секретаря  
спеціалізованої вченої ради



Д.А. Кірізій

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** *Соя* (*Glycine max* (L.) Merr.) – одна з найважливіших сільськогосподарських культур, яка є джерелом цінного білка, олії, вуглеводів, біологічного азоту. Розширення посівних площ цієї культури – шлях до підвищення родючості ґрунту, нарощування продовольчих ресурсів та вирішення проблеми білка у світі. Сьогодні соя посідає провідні позиції в Україні за темпами росту площ її посівів і обсягів виробництва, оскільки саме соя є найбільш економічно вигідною білково-олійною культурою та непоганим попередником. За період вегетації соя у симбіозі з бульбочковими бактеріями фіксує від 60 до 100 кг/га азоту повітря в рік, а за рахунок виділень її кореневої системи важкодоступні сполуки фосфору переходять у легкодоступні культурам. Посівні площі сої в Україні останнім часом постійно збільшуються, за даними Міністерства аграрної політики та продовольства України, у 2013 році вони становили 1356 тис. га і за розрахунками Української асоціації виробників і переробників сої до 2015 року мають зрости до 2 млн. га.

Одним з головних завдань, яке необхідно реалізувати для отримання високих врожаїв сої, є захист посівів від бур'янів, оскільки соя є досить чутливою до їх негативного впливу протягом усього вегетаційного періоду. Труднощі при застосуванні гербіцидів для захисту посівів сої пов'язані з недостатньою селективністю та обмеженістю спектра дії більшості препаратів, рекомендованих для застосування на цій культурі. Останнє стосується як гербіцидів, що вносяться у ґрунт до появи сходів культури, так і гербіцидів, які застосовуються в період вегетації сої та бур'янів. У зв'язку з цим у США та деяких інших країнах перейшли до вирощування трансгенної сої, стійкої до неселективних гербіцидів на базі гліфосату. Однак в Україні до цього часу вирощування трансгенних культур заборонено, тому не існує альтернативи використанню традиційних технологій захисту. Водночас, використання селективних і ефективних гербіцидів з класу похідних імідазолінону обмежується їх високою персистентністю, що несе загрозу наступним у сівозміні культурам.

Одним із проявів негативного впливу гербіцидів є пригнічення формування та зменшення ефективності функціонування симбіотичного азотфіксуючого апарату сої [Патика та ін., 2003; Шестобоєва, 2004; Журавська та ін., 2007]. Симбіотична азотфіксація є енергозалежним процесом, тому її пригнічення за дії гербіцидів може бути наслідком їх негативного впливу на інтенсивність фотосинтезу рослин сої. Крім того, є дані, які свідчать, що при формуванні симбіозу рослини реагують на проникнення азотфіксуючих бактерій так само, як на інфікування патогенами [Santos, 2001]. При цьому спостерігаються типові стресові реакції, зокрема стимуляція окиснювальних процесів [Lamb, 1997]. При помірній інтенсивності цієї реакції процес утворення симбіотичного апарату буде відбуватися нормальним шляхом, а при надмірному підсиленні окиснювальних процесів – не виключений патологічний характер взаємодії макро- та мікросимбіонтів. Водночас, навіть селективні гербіциди можуть викликати у рослин сої стресову реакцію, що призведе до тимчасового зсуву прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у бік окиснювальних процесів. Отже, можна припустити, що пригнічення азотфіксувальної активності сої за умови дії гербіцидів викликано їх впливом на інтенсивність фотосинтезу або на стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у рослин сої. Однак конкретних досліджень, спрямованих на визначення

фізіологічних механізмів пригнічення формування та функціональної активності симбіотичного апарату сої за дії гербіцидів із різними механізмами фітотоксичності, донині не проводилося.

Одним із найбільш поширених способів підвищення ефективності захисту від бур'янів є комплексне застосування гербіцидів, що дозволяє не тільки розширити спектр контрольованих видів бур'янів, але й підвищити вибірну фітотоксичність гербіцидів за рахунок їх взаємодії у комплексі. При цьому в окремих випадках селективність може бути підвищена за рахунок антагоністичної взаємодії компонентів гербіцидного комплексу за відношенням до культури, а при синергічному характері взаємодії – за рахунок зменшення норм внесення компонентів. Однак питання щодо можливих змін ефективності та селективності при комплексному застосуванні гербіцидів, рекомендованих для застосування в посівах сої, залишається актуальним й на сьогодні.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалася в межах відомчої теми відділу фізіології дії гербіцидів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України "Участь сигнальних систем рослин у розвитку фітотоксичної дії гербіцидів" (№ держреєстрації теми 0108U009827).

**Мета і завдання дослідження.** Головною метою роботи було встановлення змін вибіркової фітотоксичності при комплексному застосуванні гербіцидів в посівах сої, визначення фізіологічної природи негативного впливу гербіцидів на формування та функціонування симбіотичного азотфіксуючого апарату та розробка ефективних гербіцидних композицій з підвищеною селективністю щодо сої.

Для реалізації заявленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. Визначити можливість прямого впливу гербіцидів на ріст бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum*.
2. Дослідити ефективність контролювання бур'янів у посівах сої при застосуванні окремих гербіцидів та їх сумішей.
3. З'ясувати вплив окремих гербіцидів та їх сумішей на ріст і розвиток рослин та врожай насіння сої.
4. Дослідити вплив окремих гербіцидів та їх сумішей на вміст фотосинтетичних пігментів та інтенсивність фотосинтезу сої.
5. Встановити вплив окремих гербіцидів та їх сумішей на формування симбіотичного апарату та визначити азотфіксувальну активність.
6. Вивчити стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги (вміст пероксидів, активність пероксидази, вміст ТБК-активних речовин) у рослин сої за умови дії окремих гербіцидів та їх сумішей.
7. Визначити можливість сумісного застосування гербіцидів та мікродобрив для підвищення азотфіксувальної активності.

**Об'єкт дослідження** – зміни вибіркової фітотоксичності при комплексному застосуванні гербіцидів у посівах сої.

**Предмет дослідження** – продуктивність сої, азотфіксувальна активність, інтенсивність фотосинтезу, вміст фотосинтетичних пігментів, стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги (активність прооксидантно-антиоксидантних ферментів) за дії гербіцидів та їх сумішей.

*Методи дослідження* – біометричні (вимірювання ростових параметрів рослин, оцінка ефективності знищення бур'янів, визначення урожайності насіння сої), фізіологічні (визначення інтенсивності фотосинтезу), біохімічні (визначення азотфіксувальної активності симбіотичних систем, вмісту фотосинтетичних пігментів у листках, вмісту азоту в насінні рослин, вмісту пероксиду водню, визначення активності розчинної форми пероксидази, вмісту ТБК-активних речовин), статистичні (оцінка вірогідності отриманих результатів).

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

У ході дослідження вперше встановлено, що негативний вплив гербіцидів інгібіторів ацетолактатсинтази (АЛС) на утворення та подальше функціонування апарату симбіотичної азотфіксації сої зумовлений оксидним стресом, індукованим у рослинах гербіцидами.

Доведено, що гербіцидна суміш, яка складається з гербіцидів інгібіторів АЛС похідного імідазолінону – імазамоксу та похідного сульфонілсечовини тифенсульфурон-метилу, характеризується синергічно підвищеною фітотоксичністю, що дозволяє забезпечити високу ефективність контролювання бур'янів при зменшених нормах внесення компонентів суміші. Зменшення норм внесення компонентів суміші мінімізує вплив гербіцидів на зсув стану прооксидантно-антиоксидантної рівноваги в рослинах сої, завдяки чому селективність суміші щодо сої вища, ніж при застосуванні окремих гербіцидів.

**Практичне значення отриманих результатів.** На базі отриманих даних було розроблено ефективні суміші гербіцидів із підвищеною вибіркою фітотоксичністю, які забезпечують ефективне контролювання широкого спектра видів бур'янів при мінімально низькій ймовірності негативного впливу гербіцидів на рослини сої. Продемонстровано, що при внесенні гербіцидів у ґрунт до появи сходів сої висока ефективність захисту та мінімальний вплив на рослини сої досягаються при застосуванні суміші гербіцидів зенкору (метрибузин) та дуал голд (метолахлор). Розроблена та впроваджена у практику сільського господарства синергічна суміш гербіцидів пульсару (імазамокс) та хармоні (тифенсульфурон-метил), яка при обробці вегетуючої культури та бур'янів забезпечує високу ефективність захисту та характеризується підвищеною селективністю щодо сої. Пріоритет захищено патентом України.

**Особистий внесок здобувача** полягає в самостійному аналізі літератури за темою дисертації, оволодінні необхідними методами досліджень, плануванні і проведенні експериментів, аналізі та статистичній обробці одержаних результатів, підготовці до друку наукових робіт. Результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно або спільно зі співробітниками ІФРГ НАН України, які є співавторами публікацій. Особистий внесок дисертанта становить понад 75%.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати були представлені на Всеукраїнській науковій конференції молодих учених та спеціалістів «Інтегрований захист рослин в Україні» (Київ, 2008 р.), практичній V Міжнародній науковій конференції студентів та аспірантів «Молодь та поступ біології» (Львів, 2009 р.), V Всеукраїнській науковій конференції студентів та молодих вчених «Проблеми та перспективи наук в умовах глобалізації» (Тернопіль, 2009 р.), VII науково-теоретичній конференції товариства гербологів «Рослини-бур'яни: особливості біології та раціональні системи їх контролювання в посівах

сільськогосподарських культур» (Київ, 2010 р.), VIII науково-теоретичній конференції Українського наукового товариства гербологів «Бур'яни: особливості їх біології та систем контролювання у посівах сільськогосподарських культур» (Київ, 2012 р.).

**Публікації.** Основні матеріали дисертації опубліковано у 24 працях, із них 14 статей, 5 із яких – у провідних фахових виданнях, отримано 1 патент України.

**Обсяг та структура роботи.** Дисертаційна робота викладена на 156 сторінках друкованого тексту й містить 14 рисунків і 21 таблицю. Робота складається із вступу, огляду літератури, опису матеріалів і методів досліджень, 5 розділів, у яких наведено результати досліджень, висновків, списку використаної літератури (265 найменувань) та 1 додатку.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

В огляді літературних джерел проведено аналіз наукових праць вітчизняних та зарубіжних авторів стосовно проблеми захисту сої від бур'янів, впливу гербіцидів на сою та на формування бобово-ризобіального симбіозу. Обґрунтовано необхідність встановлення закономірностей змін вибіркої фітотоксичності для оптимізації добору компонентів гербіцидних комплексів та сумішей.

### ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили з рослинами сої *Glycine max* (L.) Merr. сорту Аннушка селекції приватного підприємства «Наукова селекційно-насінницька фірма «Соевий вік»» і сортів Мар'яна та Васильківська спільної селекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, Селекційно-генетичного інституту та Інституту землеробства НААН України. Для інокуляції насіння використано бульбочкові бактерії із колекції азотфіксувальних мікроорганізмів ІФРГ НАН України - *Bradyrhizobium japonicum*.

**Вегетаційні дослідження** проводили на вегетаційному майданчику ІФРГ НАН України. Рослини вирощували у пластикових посудинах на ґрунтовому субстраті (8 кг ґрунту), збагаченому сумішшю Гельрігеля, яка містила 0,25 н азоту. Перед посівом насіння сої стерилізували 70%-ним розчином етанолу, промивали проточною водою та протягом 1 години інокулювали суспензією штаму *Bradyrhizobium japonicum* (бактеріальний титр суспензії  $10^9$  клітин/мл). Ґрунтові гербіциди вносили шляхом перемішування з шаром ґрунту висотою 2 см, яким засипали висіяне насіння. По вегетації рослини обприскували гербіцидами у фазу 2 справжніх листків. Повторність дослідів 8-разова.

**Полеві дослідження** проводили на агробіостанції Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини, м. Умань Черкаської області. Площа дослідної ділянки 25 м<sup>2</sup>, повторність – 4-разова, ділянки розміщено рендомізовано. Сою висівали з розрахунку 600 тис. схожих насінин/га. Гербіциди вносили шляхом суцільного обприскування дослідних ділянок за допомогою інтегрального штангового обприскувача Агрітоп: ширина штанги – 2,5 м, кількість розпилювачів – 5, відстань між розпилювачами – 50 см, висота руху штанги – 50 см, швидкість руху – 5 км/год, витрата робочої рідини – 300 л/га. Виробничі

випробування проводили на полях агрофірми "Інтерагро" (с. Ленінське Сквирського району Київської області).

Ефективність знищення бур'янів у польовому досліді визначали для кожного виду окремо за щільністю рослин даного виду на оброблених ділянках за відношенням до контрольного варіанта [Іващенко, Мережинський, 2001]. Вплив гербіцидів на рослини сої оцінювали протягом вегетації за змінами біометричних показників рослин (висота рослин, маса сирої речовини надземної частини та кореня, врожай насіння), змінами характеристик симбіотичного апарату (кількість і маса бульбочок) та загальної азотфіксувальної активності (АФА). АФА визначали загальноприйнятим ацетиленовим методом [Hardy, 1968], модифікованим у відділі симбіотичної азотфіксації Інституту фізіології рослин і генетики НАН України [Крикунець, 1993]. У вегетаційному досліді додатково аналізували вплив гербіцидів на інтенсивність фотосинтезу та вміст фотосинтетичних пігментів у листках сої. Інтенсивність фотосинтезу визначали за газообміном  $\text{CO}_2$ , який вимірювали за допомогою інфрачервоного оптикоакустичного газоаналізатора [Мокроносів, Ковалева, 1989]. Для вимірювання газообміну відбирали листки, що закінчили ріст, без видимих ознак старіння. Вміст фотосинтетичних пігментів визначали методом екстракції наважки рослинного матеріалу в ДМСО на водяній бані при  $67^\circ\text{C}$  протягом 3 год [Alban, Welburn, 1994]. Вміст пігментів розраховували в мкг/мг маси сирої речовини.

Для визначення активності розчинної форми гваяколпероксидази використовували метод Ріджа і Осборна [Ridge, Osborne, 1970]. Вміст пероксиду водню визначали у листках сої феротіоціанатним методом Сагісаки [Sagisaka, 1976]. При проведенні біохімічних аналізів біологічна повторність в межах кожного експерименту була 3-разовою, крім того, кожен дослід відтворювали незалежно 3-4 рази.

У дослідях використовували такі гербіцидні препарати: зенкор, в. г. (метрибузин, 700 г/кг); трефлан 480, к. е. (трифлуралін, 480 г/л); дуал голд 960 ЕС, к. е. (метолахлор, 960 г/л); пульсар 40, в. р. (імазамокс, 40 г/л); хармоні 75, в. г. (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг); півот, к. е. (імазетапір 100 г/л); топланц 240 к. е. (клетодим, 240 г/л); базагран, к. е. (бентазон 480 г/л). У таблицях норми внесення вказані за діючою речовиною.

Статистичну обробку одержаних результатів здійснювали методом дисперсійного аналізу [Доспехов, 1985] за допомогою стандартного комп'ютерного пакету Microsoft Excel.

## **ДІЯ ГЕРБИЦИДІВ НА РІСТ БУЛЬБОЧКОВИХ БАКТЕРІЙ (*Bradyrhizobium japonicum*)**

У лабораторному досліді із чистою культурою *B. japonicum* встановлено, що гербіциди метрибузин, трифлуралін, метолахлор, тифенсульфурон-метил, флуазифоп-бутил, бентазон у діапазоні концентрацій  $10^{-3}\text{M}$  –  $10^{-4}\text{M}$ , а гербіциди імазетапір і імазамокс у діапазоні концентрацій  $10^{-2}\text{M}$  –  $10^{-3}\text{M}$  не пригнічували ріст бульбочкових бактерій на поверхні агаризованого середовища МДА. Отримані дані засвідчують, що можливий негативний вплив гербіцидів на утворення та функціонування азотфіксуючого симбіотичного апарату не пов'язаний із впливом гербіцидів на мікросимбіонт, а опосередкований дією гербіцидів на рослини сої.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРУНТОВИХ ГЕРБІЦИДІВ У ПОСІВАХ СОЇ

Ефективність контролювання бур'янів та урожай зерна сої при застосуванні гербіцидів метрибузину, метолахлору, трифлураліну та сумішей метрибузину з метолахлором і трифлураліном. Найефективніше знищення бур'янів у разі застосування окремих гербіцидів спостерігали у варіанті з внесенням метрибузину, який, хоча й поступався трифлураліну та метолахлору за ефективністю контролювання однорічних бур'янів з родини тонконогових: мишію сизого (*Setaria glauca* (L.) Pal. Beauv.) та плоскухи звичайної (*Echinochloa crus-galli* (L.) Pal. Beauv.), але значно перевищував їх дію на дводольні види бур'янів: щирицю звичайну (*Amaranthus retroflexus* L.), лободу білу (*Chenopodium album* L.), галінсогу дрібноквіткову (*Galinsoga parviflora* Cav.) і талабан польовий (*Thlaspi arvense* L.). Як і очікувалося, застосування метрибузину в сумішах з метолахлором та трифлураліном забезпечило значне підвищення ефективності контролювання бур'янів, унаслідок чого суттєво збільшився врожай, порівняно з необробленим контрольним варіантом (табл. 1).

Таблиця 1

### Врожай зерна сої при застосуванні гербіцидів

(1 – абсолютне значення (ц/га), 2 - % до контролю, 3 - % до контролю з ручним прополюванням)

№	Варіант (норма внесення (кг/га д. р.))	2008 р.			2009 р.		
		1	2	3	1	2	3
1.1	Контроль (ручне прополювання)	20,0	230	100	26,1	140	100
1.2	Контроль	8,7	100	44	18,6	100	71
2	Метрибузин (0,5)	16,8	193	84	25,6	138	98
3	Трифлуралін (2,4)	15,0	172	75	24,3	131	93
4	Метолахлор (1,5)	9,4	108	47	22,7	123	87
5	Метрибузин (0,5) + трифлуралін (2,4)	17,2	198	86	33,4	181	127
6	Метрибузин (0,5) + метолахлор (1,5)	21,4	246	107	26,1	141	100
НІР <sub>05</sub>		1,8	9	9	2,1	10	10

Водночас урожай, отриманий у варіантах із застосуванням гербіцидів, в окремих випадках поступався врожаю у варіанті з ручним прополюванням, що може бути спричинено двома чинниками: 1) недостатньою ефективністю знищення гербіцидами бур'янів; 2) негативним впливом гербіцидів на культуру. У 2008 р. таке зниження врожаю спостерігали в усіх варіантах, крім варіанту із застосуванням суміші метрибузину з метолахлором, а у 2009 р. – тільки у варіанті із застосуванням метолахлору. Якщо зниження врожаю у варіанті з внесенням одного метолахлору можна пояснити низькою ефективністю дії, яка істотно поступалася дії метрибузину та трифлураліну, то зменшення врожаю у 2008 р. у варіанті з внесенням суміші метрибузину з трифлураліном, навпаки, може свідчити про



можливість за певних умов негативного впливу суміші цих гербіцидів на культуру. Водночас можна дійти висновку, що застосування суміші метрибузину з метолахлором не збільшує вірогідність пригнічення сої цими гербіцидами.

**Оцінка селективності гербіцидів щодо рослин сої. Вплив гербіцидів на формування симбіотичного апарату та загальну АФА.** Висновок про мінімізацію негативного впливу на рослини сої при застосуванні суміші метрибузину з метолахлором підтверджується даними щодо впливу гербіцидів на формування симбіотичного апарату та загальну АФА. Як видно з даних таблиці 2, у фазу бутонізації–початку цвітіння сої маса бульбочок та загальна АФА в більшості варіантів досліді була нижчою, ніж у контролі з ручним прополюванням. Найменший негативний вплив окремих гербіцидів на формування симбіотичного апарату та азотфіксувальну активність у 2008 р. спостерігався у варіанті з трифлураліном, а у 2009 р. – з метолахлором. Однак у разі змішування трифлураліну з метрибузином, особливо в умовах 2008 р., пригнічення азотфіксувальної активності посилювалось, тоді, як за дії суміші метолахлору з метрибузином, пригнічення у 2008 р. було меншим, ніж у разі застосування окремих компонентів, а в 2009 р. у цьому варіанті маса бульбочок навіть збільшувалась, а загальна АФА підвищувалася.

Таблиця 2

**Маса бульбочок та загальна азотфіксувальна активність (мкмоль  $C_2H_4$ /(рослину · годину)) у фазу бутонізації-початку цвітіння сої за дії гербіцидів в умовах польового досліді**

Варіант	Маса бульбочок, мг		Загальна АФА, мкмоль $C_2H_4$ /(рослину · годину)	
	2008	2009	2008	2009
1.1	470	370	4,7	11,8
2	185	330	1,1	7,6
3	310	360	1,6	8,6
4	250	320	1,8	14,0
5	140	265	0,9	9,6
6	190	580	1,1	15,4
НІР <sub>05</sub>	25	15	0,5	0,8

**Вплив гербіцидів та їх сумішей на фотосинтетичний апарат сої.** Якщо негативний вплив трифлураліну та метолахлору в основному пов'язаний із порушенням процесів проліферації на початкових етапах розвитку, то негативна дія метрибузину може пояснюватися тільки впливом на фотосинтетичний апарат рослин сої. В умовах польових дослідів достовірних відмінностей у вмісті фотосинтетичних пігментів за дії гербіцидів не спостерігалось, а в умовах вегетаційного досліді такі зміни було зареєстровано (табл. 3). З даних табл. 3 видно, що за дії метрибузину в листках сої зменшувався вміст усіх фотосинтетичних

пігментів. У разі застосування у сумішах з трифлураліном і, особливо, з метолахлором простежувалась тенденція до зменшення негативного впливу метрибузину. В 2008 р. у фазі 3 листків достовірно пригнічення інтенсивності фотосинтезу спостерігалось у варіантах із застосуванням метрибузину та його суміші з трифлураліном. При застосуванні суміші метрибузину з метолахлором інтенсивність фотосинтезу не відрізнялася достовірно від контролю, що свідчить про антидотну активність метолахлору щодо впливу метрибузину на фотосинтез сої. В 2009 р. у фазі бутонізації у варіантах із метолахлором та його сумішшю з метрибузином інтенсивність фотосинтезу достовірно не відрізнялась, а в усіх інших варіантах була достовірно вищою, ніж у контролі. Така стимуляція ймовірніше є компенсаційним явищем, яке є наслідком попереднього пригнічення інтенсивності фотосинтезу. Тому й ці дані також можна розглядати як свідчення антагоністичної взаємодії метолахлору з метрибузином щодо впливу на культуру.

Таблиця 3

**Вміст пігментів (мкг/мг сирової речовини) у листках сої  
та інтенсивність фотосинтезу (ІФ, мг СО<sub>2</sub>/(дм<sup>2</sup> · год))  
за дії гербіцидів в умовах вегетаційного дослід (2008–2009 рр.)**

Варіант	Хл а		Хл в		Каротиноїди		ІФ	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008*	2009
1.1	1,86	1,71	0,67	0,99	0,66	0,38	28,9	29,0
2	1,60	1,35	0,35	0,86	0,36	0,30	24,1	43,8
3	2,05	1,47	0,38	0,88	0,69	0,33	27,5	38,3
4	2,16	1,50	0,72	0,91	0,66	0,33	37,8	32,8
5	2,08	1,35	0,55	0,84	0,69	0,30	24,8	52,0
6	2,06	1,39	1,22	1,00	0,49	0,31	26,3	33,5
НІР <sub>05</sub>	0,1	0,1	0,2	0,04	0,1	0,02	2,9	5,5

Примітка. Вміст пігментів та ІФ у 2009 р. визначені у фазу бутонізації, ІФ у 2008 р. – у фазу трьох листків.

Проведені дослідження довели, що гербіциди метрибузин, трифлуралін і метолахлор не є абсолютно селективними щодо сої, тобто в разі їх застосування існує вірогідність пригнічення культури. Водночас дані щодо впливу на симбіотичний та фотосинтетичний апарат засвідчують, що в разі внесення суміші гербіцидів метрибузину і метолахлору взаємодія цих гербіцидів стосовно сої є антагоністичною, що зумовлює підвищення селективності, зменшує вірогідність пригнічення культури. Отже, із сукупності отриманих даних можна дійти однозначного висновку, що внесення у ґрунт бакової суміші гербіцидів метрибузину та метолахлору до появи сходів сої та бур'янів підвищує як ефективність знищення бур'янів, так і селективність гербіцидів відносно культури.

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІСЛЯСХОДОВИХ ГЕРБІЦИДІВ У ПОСІВАХ СОЇ

**Фітотоксична дія на сою при застосуванні сумішей грамініциду клетодиму з тифенсульфурон-метилом та бентазону з імазамоксом. Головна**

проблема захисту посівів сої від бур'янів післясходовими гербіцидами полягає у тому, що селективні й ефективні гербіцидні препарати на базі похідних імідазолінону є персистентними і несуть загрозу наступним у сівозміні культурам. У зв'язку з цим актуальним є пошук альтернативних варіантів захисту або можливостей зниження норм внесення імідазолінонів.

В умовах вегетаційних дослідів було перевірено селективність щодо сої сумішей грамініциду клетодиму з тифенсульфурон-метилом та похідного імідазолінону імазамоксу з бентазоном. Було встановлено, що при окремому внесенні клетодим практично не впливав, а тифенсульфурон-метил викликав незначне пригнічення росту рослин сої. При застосуванні у суміші з грамініцидом селективність тифенсульфурон-метилу катастрофічно втрачалася: через 5 діб після обприскування спостерігалася некротизація верхівок пагонів рослин сої. В подальшому рослини сої відновлювали ріст, але негативний вплив гербіцидів призводив до суттєвого зниження врожаю. При застосуванні імазамоксу у мінімальній рекомендованій нормі внесення – 30 г/га та бентазону у нормі – 960 г/га не спостерігалася видимих проявів фітотоксичної дії, але обидва гербіциди спричиняли тимчасове пригнічення ефективності симбіотичної азотфіксації. При застосуванні у суміші негативний вплив на азотфіксацію рвучко збільшувався. Водночас, підвищити селективність за рахунок зменшення норм внесення у даному випадку неможливо, оскільки бентазон, який за механізмом фітотоксичності належить до інгібіторів транспорту електронів у ФС 2 хлоропластів, є універсальним антагоністом всіх системних гербіцидів, зокрема інгібіторів ацетолактатсинтази (АЛС), до яких відноситься імазамокс [Мордерер, Мережинський, 2009]. Тому зменшення норм внесення компонентів даної суміші неодмінно має призвести до втрати ефективності контролювання бур'янів.

Отже, внаслідок втрати селективності при комплексуванні грамініцидів з тифенсульфурон-метилом та імазамоксу з бентазоном, а також за наявності антагоністичної взаємодії імазамоксу з бентазоном, ці суміші не можуть розглядатися як альтернатива використанню імідазолінонів. Згадані препарати можуть застосовуватися в посівах сої лише окремо, що вимагатиме проведення послідовних обробок для ефективного контролювання однодольних та дводольних видів бур'янів.

**Ефективність контролювання бур'янів і селективність щодо рослин сої (*Glycine max*) за комплексного застосування гербіцидів імазамоксу та тифенсульфурон-метилу.** Знизити норми внесення препаратів на базі імідазолінону й таким чином досягти зменшення вірогідності накопичення їх залишків у ґрунті без втрат ефективності захисту можливо за умови підсилення фітотоксичної дії за рахунок синергізму. Відомо, що синергічна взаємодія спостерігається у сумішах гербіцидів, які володіють спільним сайтом дії, але відрізняються за хімічною будовою. Тому було здійснено вивчення ефективності контролювання бур'янів та селективності щодо сої при застосуванні похідного імідазолінону імазетапіру (препарат півот) та суміші імазамоксу (препарат пульсар), який характеризується меншою порівняно з імазетапіром персистентністю, з тифенсульфурон-метилом (препарат хармоні), який за механізмом фітотоксичності також належить до інгібіторів АЛС, а за хімічною будовою є похідним сульфонілсечовини. Польовий та вегетаційний дослід було закладено за однією схемою (табл. 4).

Таблиця 4

## Схема дослідів

№	Варіант		Норма внесення	
	діюча речовина	препарат	діючої речовини	препарату
1.1	Контроль (ручне прополовання)		-	-
1.2	Контроль		-	-
2	Імазетапір	Півот	80 г/га	0,8 л/га
3	Імазамокс	Пульсар	30 г/га	0,75 л/га
4	Тифенсульфурон-метил + імазамокс	Хармоні + пульсар	2,25 г/га + 20 г/га	3 г/га + 0,5 л/га
5			2,25 г/га + 30 г/га	3 г/га + 0,75 л/га
6			3,75 г/га + 20 г/га	5 г/га + 0,5 л/га
7			3,75 г/га + 30 г/га	5 г/га + 0,75 л/га

При проведенні польових випробувань було встановлено, що застосування імазетапіру та імазамоксу у мінімальній рекомендованій нормі – 30 г/га забезпечило ефективне контролювання однорічних тонконогових – плоскухи звичайної, мишію сизого та однорічних дводольних – галінсоги дрібноквіткової, щиріці звичайної та інших видів бур'янів (табл. 5).

Таблиця 5

## Ефективність (%) контролювання бур'янів гербіцидами через 28 днів після обробки (усереднені дані за 2010-2011 рр.)

№	Плоскуха звичайна	Мишій сизий	Щиріця звичайна	Лобода біла	Галінсога дрібноквіткова
2	80	78	92	25	96
3	78	72	90	25	96
4	74	68	93	64	98
5	84	79	96	68	93
6	73	77	92	82	95
7	87	84	98	85	99
НІР <sub>05</sub>	5	4	3	5	3

Доведено, що ці гербіциди практично не вплинули на лободу білу. Зменшення норми внесення імазамоксу до 20 г/га в разі застосування його у суміші з тифенсульфурон-метилом не сприяло достовірному зменшенню ефективності контролювання тонконогових бур'янів. За норми імазамоксу 30 г/га ефективність контролювання цих видів бур'янів сумішшю достовірно перевищувала дію одного імазамоксу. Відомо, що тифенсульфурон-метил у нормах до 20 г/га практично не діє на тонконогові бур'яни, тому підвищення ефективності контролювання тонконогових бур'янів є свідченням синергічного підсилення фітотоксичної дії імазамоксу у суміші з тифенсульфурон-метилом. Хоча за додавання зменшених порівняно з мінімально рекомендованими нормами тифенсульфурон-метилу не вдалося досягти повного знищення лободи білої, ефективність контролювання цього виду бур'янів сумішшю вірогідно перевищувала дію імазетапіру та імазамоксу.

Ефективне знищення бур'янів забезпечило доволі істотний приріст урожаю насіння сої (табл. 6), особливо в 2010 р., коли засмічення посівів було найбільшим. Отже, проведені дослідження показали, що гербіцидна композиція, яка складається з гербіцидів імазамоксу та тифенсульфурон-метилу при істотно зменшених нормах застосування дозволяє забезпечити високу ефективність контролювання бур'янів. При цьому у польовому досліді не було виявлено видимих ознак негативного впливу гербіцидів на сою. Відсутність негативного впливу гербіцидів на рослини сої підтверджується також тим, що в жодному з варіантів застосування гербіцидів не спричинило зменшення врожаю порівняно з контролем із ручним прополюванням.

Таблиця 6

## Урожай насіння сої за застосування гербіцидів

№	1	2	3	1	2	3
	2010			2011		
1.1	36,7	255	100	43,1	112	100
1.2	14,4	100	39,2	38,5	100	89
2	41,1	285	112	61,6	160	143
3	35,1	244	96	40,1	104	93
4	40,0	278	109	51,4	133	119
5	37,1	257	101	50,5	131	117
6	38,9	270	106	42,6	110	99
7	40,4	280	110	42,5	110	99
НІР <sub>05</sub>	2,1	7	6	3,5	8	8

Примітка. **1** – абсолютне значення (ц/га), **2** – % до контролю, **3** – % до контролю з ручним прополюванням.

**Загальна АФА та фотосинтетичний апарат сої за дії гербіцидів імазетапіру, імазамоксу та сумішей тифенсульфурон-метилу з імазамоксом.** Відсутність видимих ознак негативного впливу гербіцидів на рослини сої не є достатньою гарантією високої селективності, оскільки не виключена можливість пригнічення гербіцидами симбіотичного апарату. Протягом обох років досліджень за дії гербіцидів в умовах польового досліді формування симбіотичного апарату сповільнювалось. У 2010 р. у фазу бутонізації спостерігали порівняно з контролем із ручним прополюванням зменшення маси бульбочок і загальної АФА в усіх варіантах досліді (табл. 7). Винятковим став варіант із застосуванням суміші з мінімальними нормами компонентів, у якому, незважаючи на меншу масу бульбочок, рівень загальної АФА залишався практично на рівні контролю, що, можливо, пов'язано зі збільшеною питомою активністю. У фазу цвітіння загальна АФА знижувалася у варіантах із застосуванням імазамоксу й суміші з максимальними нормами внесення компонентів, в інших варіантах значення АФА наближалися до контрольних. У фазу утворення бобів у варіантах із застосуванням імазетапіру та імазамоксу загальна АФА перевищувала, а у варіантах із застосуванням суміші – була нижчою від контрольної.

Таблиця 7

**Маса бульбочок на одну рослину та загальна азотфіксувальна активність у різні фази розвитку сої за застосування гербіцидів в умовах польового досліджу**

Варіант	Бутонізація				Цвітіння				Утворення бобів			
	Маса бульбочок		АФА		Маса бульбочок		АФА		Маса бульбочок		АФА	
	а	б	в	б	а	б	в	б	а	б	в	б
2010 р.												
1.1	289	100	8,4	100	408	100	5,0	100	807	100	7,3	100
2	220	76	4,3	51	310	76	5,2	104	1025	127	8,7	120
3	181	62	3,2	38	325	80	2,2	44	770	95	7,4	102
4	208	72	9,4	112	312	76	4,6	93	628	78	5,7	78
5	220	76	6,6	79	291	71	5,3	106	736	91	4,4	60
6	218	75	5,7	68	408	100	5,7	114	738	91	4,0	55
7	259	89	7,1	84	370	91	3,9	77	758	94	3,8	52
НІР <sub>05</sub>	23	13	0,3	10	34	11	0,4	8	55	8	0,5	12
2011 р.												
1.1	618	100	1,2	100	728	100	0,9	100	883	100	0,5	100
2	420	68	0,7	58	517	71	1,0	108	777	88	0,6	118
3	497	80	1,2	100	678	93	0,8	88	912	103	0,4	90
4	424	69	0,6	50	668	92	0,8	88	782	88	0,4	90
5	328	53	0,7	58	515	71	0,9	100	1015	114	0,5	100
6	365	59	0,4	33	558	77	0,5	56	810	91	0,3	60
7	345	56	0,5	41	583	80	0,4	44	818	92	0,3	60
НІР <sub>05</sub>	31	10	0,3	25	52	10	0,1	11	82	12	0,1	15

Примітка. Маса бульбочок: *a* – абсолютне значення, мг; *б* – % до контролю з ручним прополюванням; АФА – *в* – абсолютне значення, мкмоль С<sub>2</sub>Н<sub>4</sub>/(рослину · год), *б* – % до контролю з ручним прополюванням.

Однак у разі застосування суміші з мінімальними нормами внесення компонентів зниження загальної АФА у фазу утворення бобів було незначним, її рівень становив 78%, у той час як за збільшення норм внесення гербіцидів загальна АФА знаходилася у межах 52–60% контрольного значення. Отже, протягом вегетації 2010 р. пригнічення загальної АФА було найменш виражене у варіантах із застосуванням імазетапіру та суміші імазамоксу з тифенсульфурон-метилом за мінімальних норм внесення. У 2011 р. АФА рослин сої більше пригнічувалась у разі внесення імазетапіру порівняно з імазамоксом. У фазу бутонізації загальна АФА була пригнічена, як у варіанті з імазетапіром, так і в усіх варіантах із застосуванням суміші. У фазу цвітіння у варіантах з обробкою імазетапіром та сумішами з нормою внесення тифенсульфурон-метилу 2,25 г/га вона досягала контрольного рівня. Водночас за норми внесення тифенсульфурон-метилу 3,75 г/га пригнічення АФА було доволі значним протягом усього періоду вегетації сої.

Симбіотичний апарат сої в умовах вегетаційного досліджу формувався повільніше, ніж у польових умовах. Зокрема, у 2011 р. бульбочки утворилися тільки у фазу цвітіння. На фоні уповільненого формування симбіотичного апарату

гербициди істотно пригнічували його активність. Гальмування утворення бульбочок і зниження загальної АФА рослин сої у фазу бутонізації у 2010 р. спостерігалось в усіх варіантах із застосуванням імазамоксу, а в 2011 р. і у варіанті з обробкою імазетапіром. При цьому у варіанті із застосуванням одного імазамоксу пригнічення було сильнішим порівняно з обробкою сумішшю за мінімальних норм внесення компонентів.

Застосування імазетапіру й імазамоксу та суміші з найменшими нормами внесення компонентів не призвело до вірогідного зниження вмісту хлорофілів у листках сої (табл. 8).

Таблиця 8

**Вміст фотосинтетичних пігментів (мкг/мг сирової речовини) у листках сої (усереднені дані за 2010-2011 рр.) та інтенсивність фотосинтезу (ІФ, мг CO<sub>2</sub>/(дм<sup>2</sup> · год)) за застосування гербицидів в умовах вегетаційного дослідження**

Варіант	Хл <i>a</i>			Хл <i>в</i>			Каротиноїди			ІФ	
	а	б	в	а	б	в	а	б	в	а	б
1	1,60	1,79	1,39	0,34	0,51	0,39	0,42	0,43	0,33	33	25
2	1,73	1,83	1,43	0,30	0,42	0,34	0,44	0,46	0,35	32	22
3	1,62	1,93	1,54	0,25	0,40	0,38	0,28	0,35	0,34	31	21
4	1,52	1,75	1,45	0,32	0,49	0,37	0,37	0,39	0,32	30	22
5	1,28	1,49	1,39	0,27	0,44	0,34	0,32	0,36	0,34	25	20
6	1,18	1,54	1,24	0,21	0,35	0,28	0,30	0,36	0,29	26	18
7	1,22	1,34	1,07	0,25	0,38	0,28	0,31	0,33	0,28	24	16
НІР <sub>05</sub>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	0,1	0,1	0,02	0,03	3	

Примітка. Фази розвитку сої: *a* – трьох листків, *б* – цвітіння; *в* – утворення бобів.

У разі обробки рослин сумішами з більшою нормою внесення тифенсульфурон-метилу вміст фотосинтетичних пігментів знижувався протягом усього періоду спостережень. Вміст каротиноїдів за умови застосування імазетапіру зростав і тимчасово зменшувався в разі внесення одного імазамоксу. Суміш із мінімальними нормами внесення компонентів знижувала вміст каротиноїдів менше, ніж один імазамокс. Наслідком зменшення вмісту фотосинтетичних пігментів за дії гербицидів було пригнічення фотосинтезу. Вірогідне зменшення інтенсивності фотосинтезу спостерігалось у варіантах із застосуванням суміші, крім варіанта з мінімальними нормами внесення компонентів.

Отже, у результаті проведених досліджень встановлено, що гербицидна композиція, яка складається з гербицидів імазамоксу та тифенсульфурон-метилу, характеризується синергічною взаємодією. За рахунок цього ефективність знищення бур'янів у посіві сої за застосування суміші, в якій норма внесення тифенсульфурон-метилу вдвічі, а імазамоксу – на третину менші від мінімальних рекомендованих норм внесення цих гербицидів, перевищує ефективність дії одного імазамоксу. Причому за селективністю ця суміш не поступається, а за окремими показниками навіть перевищує селективність імазамоксу в мінімальній рекомендованій нормі. Крім цього, зниження на третину норми внесення імазамоксу істотно зменшує вірогідність накопичення його залишків у ґрунті.

**Стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у рослинах сої за дії синергічної суміші гербіцидів тифенсульфурон-метилу та імазамоксу.** За дії імазамоксу активність розчинної форми гваяколпероксидази підвищувалася вдвічі порівняно з контролем, що є свідченням оксидного стресу, викликаного дією гербіциду. За дії суміші при мінімальних нормах внесення компонентів спостерігалася тенденція до зниження активності ферменту. В інших варіантах активність гваяколпероксидази перевищувала контрольне значення. Найбільше зростання, яке на 30 % перевищувало вплив одного імазамоксу, спостерігалось за дії суміші при максимальних нормах внесення компонентів (табл. 9).

Показники активності гваяколпероксидази демонструють сильну негативну кореляцію з вмістом фотосинтетичних пігментів: коефіцієнт кореляції між активністю даного ферменту та, зокрема вмістом хлорофілу *a* становив – 0,93.

Вірогідне зростання вмісту пероксиду водню спостерігалось тільки за дії одного імазамоксу та суміші тифенсульфурон-метилу з імазамоksom із максимальними нормами внесення. Такі незначні порівняно зі змінами активності гваяколпероксидази перетворення у вмісті пероксиду, можливо пов'язані з активною детоксикацією пероксиду водню даним ферментом. За дії гербіцидів вміст ТБК-активних речовин у листках рослин сої зменшувався в усіх варіантах: особливо значним це зменшення було у варіанті із застосуванням суміші у максимальних нормах внесення компонентів. Зменшення вмісту ТБК-активних продуктів є свідченням того, що оксидний стрес, викликаний впливом гербіцидів, не супроводжується активацією реакцій пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ).

Таблиця 9

**Активність гваяколпероксидази (ГП, ум. од. /г сух. р-ни · хв), вміст пероксиду водню (ПВ, мкмоль Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>/г сух. р-ни) та ТБК-активних речовин (ТБК, мкг/г сух. р-ни) у листках сої на 14-ту добу після обробки гербіцидами**

№	Варіант	Норми внесення (г/га)	ГП	ПВ	ТБК
1	Контроль	-	31	16	2,6
3	Імазамокс	30	67	19	1,0
4	Тифенсульфурон-метил + імазамокс	2,25 + 20	26	13	1,1
5		2,25 + 30	52	15	1,1
6		3,75+ 20	38	15	1,1
7		3,75+ 30	92	20	0,5
НІР <sub>05</sub>			6	2	0,2

Ймовірно зменшення вмісту одного з кінцевих продуктів ПОЛ є наслідком тимчасового гальмування інтенсивності фотосинтезу за дії гербіцидів. У цілому отримані результати переконують, що викликаний гербіцидами оксидний стрес є помірним. Високий рівень кореляції даних, які характеризують величину змін стану прооксидантно-антиоксидантної рівноваги, зокрема зміни активності розчинної гваяколпероксидази, та даних щодо впливу гербіцидів на рослини сої та її



азотфіксувальну активність дозволяє дійти висновку, що саме стресова реакція сої на дію гербіцидів інгібіторів АЛС є чинником їх негативного впливу на утворення та подальше функціонування апарату симбіотичної азотфіксації сої.

**Сумісне застосування гербіцидів та мікродобрив у посівах сої.** З метою підвищення азотфіксувальної активності сої та подолання її тимчасового пригнічення гербіцидами було досліджено ефективність сумісного застосування суміші гербіцидів тифенсульфурон-метилу та імазамоксу з мікродобривами нутривант плюс олійний та реаком-СР-бобові, призначеними для позакореневого підживлення сої. Безпосередньо після обробки за сумісного застосування гербіцидів та мікродобрив пригнічення азотфіксувальної активності сої збільшувалося, порівняно з впливом одних гербіцидів. В той же час, додавання мікродобрив зменшувало негативну дію гербіцидів на вміст фотосинтетичних пігментів. В подальшому мікродобрива позитивно впливали на утворення бульбочок, їх масу й азотфіксувальну активність. За захисним впливом на вміст фотосинтетичних пігментів, стимуляцією формування симбіотичного апарату й азотфіксувальної активності більш ефективним виявилось мікродобриво нутривант плюс олійний у дозі 2 кг/га. Однак у зв'язку з суперечливим характером впливу мікродобрив на селективність гербіцидів щодо сої доцільність сумісного застосування гербіцидів та мікродобрив потребує проведення додаткових досліджень.

## ВИСНОВКИ

1. Вибірنا фітотоксичність при комплексному застосуванні гербіцидів в посівах сої може бути збільшена. Комплексування гербіцидів, які доповнюють один одного за спектром дії, підвищує ефективність контролювання бур'янів, а за рахунок ефекту фізіологічної взаємодії може бути підвищена селективність щодо сої, що зменшує вірогідність пригнічення гербіцидами симбіотичної азотфіксації.
2. Гальмування утворення симбіотичного апарату та пригнічення азотфіксувальної активності за дії гербіцидів метрибузину, трифлураліну, метолахлору, імазетапіру, імазамоксу, тифенсульфурон-метилу, бентазону не пов'язано з їх прямим впливом на бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum*, а опосередковано впливом гербіцидів на рослини сої.
3. Застосування гербіциду метрибузину, який за механізмом фітотоксичності є інгібітором транспорту електронів у фотосистемі 2 хлоропластів, у суміші з гербіцидом інгібітором проростання метолахлором збільшує ефективність контролювання бур'янів та знижує пригнічення метрибузином фотосинтезу та азотфіксувальної активності сої.
4. При застосуванні у суміші гербіцидів інгібіторів ацетолататсинтази імазамоксу та тифенсульфурон-метилу їх фітотоксична дія на злакові та дводольні види бур'янів синергічно збільшується.
5. При застосуванні у суміші, в якій норма внесення тифенсульфурон-метилу вдвічі, а імазамоксу – на третину менші від мінімальних рекомендованих норм внесення цих гербіцидів, селективність гербіцидів щодо сої перевищує селективність дії одного імазамоксу у мінімальній рекомендованій нормі.

6. Чинником негативного впливу гербіцидів інгібіторів ацетолактатсинтази на утворення та подальше функціонування апарату симбіотичної азотфіксації сої є стресова реакція рослин на дію гербіцидів.
7. При сумісному застосуванні суміші гербіцидів тифенсульфурон-метилу та імазамоксу з мікродобривами нутривант плюс олійний та реаком-СР-бобові безпосередньо після обробки пригнічення азотфіксувальної активності сої гербіцидами зростало, хоча негативний вплив гербіцидів на вміст фотосинтетичних пігментів зменшувався. В подальшому мікродобрива позитивно впливали на утворення бульбочок, їх масу та азотфіксувальну активність.
8. За захисним впливом на вміст фотосинтетичних пігментів, стимуляцією формування симбіотичного апарату й азотфіксувальної активності більш ефективним є мікродобриво нутривант плюс олійний при нормі внесення 2 кг/га.

### **РЕКОМЕНДАЦІЇ**

При внесенні гербіцидів у ґрунт до появи сходів сої висока ефективність контролювання бур'янів та мінімальний вплив на рослини сої забезпечуються застосуванням суміші гербіцидних препаратів зенкор 70 WG, в. г. (метрибузин, 700 г/кг) та дуал голд 960 ЕС, к. е. (метолахлор, 960 г/л) у нормах, відповідно, 0,7 кг/га та 1,6 л/га.

При обробці посівів по вегетації сої у фазу 2-3 справжніх листків висока ефективність контролювання широкого спектра видів бур'янів та мінімізація негативного впливу на культуру досягаються за рахунок застосування синергічної суміші гербіцидних препаратів пульсар 40 в.р. (імазамокс, 40 г/л) та хармоні 75, ВГ (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг) у нормах, відповідно, 0,5 л/га та 3 г/га.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Сорокіна С.І. Ефективність контролювання бур'янів та селективність щодо рослин сої (*Glycine Max*) при комплексному застосуванні гербіцидів метрибузину, метолахлору та трифлураліну / С.І. Сорокіна, О.П. Родзевич, Є.Ю. Мордерер // Физиология и биохимия культ. растений. – 2011. – 43, № 4. – С. 287–296.
2. Мордерер Є.Ю. Стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у сої за дії синергічної суміші гербіцидів пульсар і хармоні / Є.Ю. Мордерер, С.І. Сорокіна, М.П. Паланиця, А.М. Сичук, О.П. Родзевич // Біологічні студії. – 2011. – 5, № 2. – С. 105–112.
3. Сорокіна С.І. Ефективність контролювання бур'янів і селективність щодо рослин сої за комплексного застосування гербіцидів імазамоксу та тифенсульфурон-метилу / С.І. Сорокіна, О.П. Родзевич, Є.Ю. Мордерер // Физиология и биохимия культ. растений. – 2012. – 44, № 4. – С. 336–346.
4. Паланиця М.П. Активні форми кисню та їх трансформація під час формування бобово-ризобіального симбіозу за дії гербіцидів / М.П. Паланиця, С.І. Сорокіна, Є.Ю. Мордерер // Физиология и биохимия культ. растений. – 2012. – 44, № 4. – С. 302–311.

5. Гуральчук Ж.З. Азотфіксувальна активність сої за сумісного застосування гербіцидів і мікродобрих / Ж.З. Гуральчук, С.І. Сорокіна, О.П. Родзевич, Є.Ю. Мордерер // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». – 2012. – 25 (64), № 4. – С. 34–41.
6. Радченко М.П. Вміст фотосинтетичних пігментів та ТБК-активних речовин у рослин сої за сумісного застосування гербіцидів та мікродобрих / М.П. Радченко, С.І. Сорокіна, Ж.З. Гуральчук, Є.Ю. Мордерер // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія «Біологія, хімія». 2013. – 26 (65), № 1. – С. 172–178.
7. Пат. 64317, України МПК (2011) A01N 37/10, A01N 47/28. Гербіцидна композиція з синергічно підвищеною вибіркою та зменшеною залишковою фітотоксичністю для захисту посівів сої від бур'янів; Є.Ю. Мордерер, С.І. Сорокіна, О.П. Родзевич – №63317, Заявл. 09.03.11; Опубл. 10.11.11, Бюл. №21. – 4 с.
8. Сорокіна С.І. Ефективність дії гербіцидів на симбіотичні відносини бульбочкових бактерій сої / С.І. Сорокіна // Наукові записки екологічної лабораторії УДПУ. – 2008. – Вип. 11. – С. 92–95.
9. Сорокіна С.І. Азотфіксуюча активність та фотосинтез сої за дії гербіцидів / С.І. Сорокіна // Всеукраїнська наукова конференція молодих учених та спеціалістів «Інтегрований захист рослин в Україні»: Збірник тез (Київ, 2008). – Київ: Колобіг, 2008. – С. 92 – 93.
10. Сорокіна С. І. Вплив гербіцидів та їх сумішей на фотосинтез і азотфіксувальну активність сої / С.І. Сорокіна // Науковий вісник Миколаївського державного університету ім. В.О. Сухомлинського. Серія : Біологічні науки. – 2009. – Вип. 24, №4 (1) – С. 187–191.
11. Сорокіна С.І. Азотфіксувальна активність та інтенсивність фотосинтезу за дії гербіцидів / С.І. Сорокіна // Наука в информационном пространстве: Материалы IV Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 2008): Тез. докл. – Днепропетровск, 2008. – С. 74–76.
12. Сорокіна С. І. Фотосинтез і азотфіксувальна активність сої за дії гербіцидів / С.І. Сорокіна, Є.Ю. Мордерер // Збірник наукових праць природничо-географічного факультету УДПУ. – 2009. – С. 120–124.
13. Сорокіна С. І. Ефективність гербіцидів за їх комплексного застосування в посівах сої / С.І. Сорокіна // Наукові записки екологічної лабораторії УДПУ. – 2009. – Вип. 12. – С. 45–50.
14. Сорокіна С. Вплив гербіцидів на продукційний процес сої / С. Сорокіна, О. Родзевич, Є. Мордерер // V Міжнародна наукова конференція студентів та аспірантів «Молодь та поступ біології»: Збірник тез (Львів, 2009). – Львів, 2009. – С. 223–224.
15. Сорокіна С.І. Вплив гербіцидів на ефективність симбіотичної системи сої / С.І. Сорокіна // Матеріали V Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених «Проблеми та перспективи наук в умовах глобалізації»: Матери (Тернопіль, 2009). – Тернопіль, 2009. – С. 5–6.
16. Сорокіна С. Вплив гербіцидів та їх сумішей на формування і активність симбіотичної системи сої / С. Сорокіна, О. Родзевич, Є. Мордерер // VII науково-теоретична конференція товариства гербологів «Рослини-бур'яни: особливості

- біології та раціональні системи їх контролювання в посівах сільського сподарських культур»: Збірник тез. (Київ, 2010). – Київ, 2010. – С. 195–197.
17. Сорокіна С.І. Ефективність застосування гербіцидів в посівах сої, резистентної до гербіцидів суцільної дії / С.І. Сорокіна, О.Д. Андрієнко // Наукові записки екологічної лабораторії УДПУ. – 2010. – Вип. 13. – С. 78–81.
  18. Сорокіна С. І. Комплексне застосування гербіцидів метрибузину, метолахлору та трифлураліну в посівах сої (*Glycine Max*) / С.І. Сорокіна, Є.Ю. Мордерер // Збірник наукових праць природничо-географічного факультету УДПУ. Природничі науки і освіта. – Умань: Видавничо-поліграфічний центр «Візаві», 2011. – С. 138–141.
  19. Сорокіна С.І. Гербіцидна композиція з підвищеною вибіркою фітотоксичністю для захисту посівів сої від бур'янів / С.І. Сорокіна // Природничі науки і освіта у вимірах ХХІ століття: Матеріали регіональної науково-практичної конференції. – Умань: Видавничо-поліграфічний центр «Візаві», 2011. – С. 53–55.
  20. Сорокіна С.І. Використання трансгенної сої: проблеми та можливі альтернативи у даному напрямку / С.І. Сорокіна, М.П. Паланиця, С.В. Сорокін // Наукові записки екологічної лабораторії УДПУ. – К.: Наук. світ, 2011. – Вип. 14. – С. 82–85.
  21. Сорокіна С.І. Вивчення впливу гербіцидів на ріст бульбочкових бактерій (*Bradyrhizobium japonicum* штам 6346) / С.І. Сорокіна // Наукові записки екологічної лабораторії УДПУ. – 2012. – Вип. 15. – С. 82–85.
  22. Сорокіна С.І. Ефективність контролювання бур'янів і селективність щодо рослин сої за комплексного застосування гербіцидів пульсар та хармоні / С.І. Сорокіна, О.П. Родзевич, Є.І. Нізков, Є.Ю. Мордерер // Бур'яни, особливості їх біології та систем контролювання у посівах сільськогосподарських культур: збірник наукових праць. – Київ: «Колобіг» Фенікс. – 2012. – С. 206–211.
  23. Паланиця М.П. Стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у рослин сої за дії синергічної суміші гербіцидів пульсар та хармоні / М.П. Паланиця, С.І. Сорокіна, Є.Ю. Мордерер // Бур'яни, особливості їх біології та систем контролювання у посівах сільськогосподарських культур: збірник наукових праць. – Київ: «Колобіг» Фенікс. – 2012. – С. 175–180.
  24. Сорокіна С.І. Зміни в азотфіксувальній активності сої за дії гербіцидів з мікродобривами / С.І. Сорокіна, Ж.З. Гуральчук, О.П. Родзевич, М.П. Радченко, Є.Ю. Мордерер // Природничі науки в системі освіти: Матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції (Умань, 2013). – Умань, 2013. – С. 44–47.

#### АНОТАЦІЯ

**Сорокіна С.І. Вибірні фітотоксичність гербіцидів при їх комплексному застосуванні в посівах сої. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук зі спеціальності 03.00.12 – фізіологія рослин. – Інститут фізіології рослин і генетики НАН України. – Київ, 2014.

У польових дослідах в посівах сої досліджено ефективність контролювання бур'янів при різних програмах застосування гербіцидів. Селективність окремих

гербицидів та їх сумішей щодо культури оцінювалась у польових та вегетаційних дослідах за впливом на біометричні параметри, вміст фотосинтетичних пігментів та інтенсивність фотосинтезу, а також за змінами симбіотичної азотфіксації. Встановлено, що внесення у ґрунт до появи сходів культури суміші гербицидів метрибузину та метолахлору розширює спектр контрольованих видів бур'янів, що зумовлює підвищення ефективності захисту. Показано, що селективність щодо сої при застосуванні даної суміші збільшується порівняно з дією окремих препаратів. Визначено, що чинником негативного впливу гербицидів інгібіторів ацетолактатсинтази на утворення та подальше функціонування апарату симбіотичної азотфіксації сої є стресова реакція рослин на дію гербицидів. Вперше встановлено, що суміш, яка складається з гербицидів інгібіторів ацетолактатсинтази похідного імідазолінону – імазамоксу та похідного сульфонілсечовини тифенсульфурон-метилу, характеризується синергічно підвищеною фітотоксичністю, що при обробці посіву забезпечує високу ефективність контролювання бур'янів при зменшених нормах внесення компонентів. При застосуванні у суміші, в якій норма внесення тифенсульфурон-метилу вдвічі, а імазамоксу – на третину менші від мінімальних рекомендованих норм внесення цих гербицидів, селективність щодо сої перевищує селективність дії одного імазамоксу у мінімальній рекомендованій нормі.

**Ключові слова:** *Glycine max* (L.) Merr., соя, гербициди, взаємодія гербицидів, фотосинтез, симбіотична азотфіксація.

## АННОТАЦІЯ

**Сорокина С.И. Избирательная фитотоксичность гербицидов при их комплексном применении в посевах сои. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.12 – физиология растений. – Институт физиологии растений и генетики НАН Украины. – Киев, 2014.

В полевых опытах в посевах сои исследована эффективность контролирования сорняков при разных программах применения гербицидов. Селективность отдельных гербицидов и их смесей относительно культуры оценивалась в полевых и вегетационных опытах по влиянию на биометрические параметры, содержание фотосинтетических пигментов и интенсивность фотосинтеза, а также по изменению симбиотической азотфиксации сои. Установлено, что внесение в почву до появления всходов культуры гербицида метрибузина в смеси с гербицидами метолахлором или трифлуралином расширяет спектр контролируемых видов сорняков, что повышает эффективность защиты. В то же время, при комплексировании метрибузина с трифлуралином усиливается угнетение гербицидами симбиотической азотфиксации. Напротив, при комплексировании метрибузина с метолахлором угнетение образования клубеньков и активности фиксации азота уменьшалось в сравнении с действием отдельных гербицидов. Кроме того, метолахлор уменьшал отрицательное влияние метрибузина на фотосинтез сои.

Впервые установлено, что смесь гербицидов ингибиторов ацетолактатсинтазы имазамокса и тифенсульфурон-метила, которые обладают общим сайтом действия, но относятся к разным классам химических соединений, характеризуется синергически повышенной фитотоксичностью. При обработке посева сои смесью имазамокса с

тифенсульфурон-метилом повышенная фитотоксичность обеспечивает сохранение высокой эффективности контролирования сорняков при уменьшенных нормах внесения компонентов. При применении смеси, в которой норма внесения тифенсульфурон-метила вдвое, а имазамокса – на треть меньше чем минимальные рекомендованные нормы внесения этих гербицидов, селективность относительно сои превышает селективность действия одного имазамокса в минимальной рекомендованной норме. Снижение на треть нормы внесения имазамокса также существенно уменьшает вероятность накопления остатков этого гербицида в почве и возможность повреждения ним последующих культур севооборота.

Высокий уровень корреляции данных, характеризующих изменение состояния прооксидантно-антиоксидантного равновесия, в частности изменения активности растворимой гваяколпероксидазы, с данными о влиянии гербицидов на активность азотфиксации позволяют сделать вывод о том, что стрессовая реакция сои на действие гербицидов ингибиторов ацетолактатсинтазы является причиной их отрицательного влияния на образование и дальнейшее функционирование аппарата симбиотической азотфиксации сои.

Ключевые слова: *Glycine max* (L.) Merr., соя, гербициды, взаимодействие гербицидов, фотосинтез, симбиотическая азотфиксация.

## SUMMARY

**Sorokina S.I. Selective phytotoxicity of herbicides at their complex application in soybean crops. – A manuscript.**

Thesis for Candidate (Ph. D) degree of biological sciences, speciality 03.00.12 – Plant Physiology. – Institute of Plant Physiology and Genetics of National Academy of Sciences of Ukraine. – Kyiv, 2014.

The efficiency of weed control in soybean crops, when different herbicide programs were applied, was studied in field trials. Selectivity of some herbicides and their mixtures concerning the crop was evaluated in field and vegetative trials based on the effect on biometric parameters, the content of photosynthetic pigments and photosynthesis intensity, as well as on the changes of symbiotic nitrogen fixation. It has been established that the application of the mixture containing herbicide metribuzine and metolachlor into the soil before crop emergency widens a range of controlled species of weeds, which in turn enhances the protection efficacy. It has been shown, that the selectivity for soybean increased when herbicides had been applied in the mixtures compared with the separate application. It has been defined that stress response of the crop to acetolactatsyntase-inhibiting herbicide action is the reason of their negative effect on the formation and further functioning of soybean symbiotic nitrogen fixation. For the first time it has been determined that the mixture of acetolactatsyntase-inhibiting herbicides imidazolone derivative imazamoks and sulphonilcarbamide typhensulphuron-methyl – is characterized by synergetically increased phytotoxicity; it ensures increase of weeds control efficacy with reduced application rates of the components. The selectivity for soybean of the mixture, where the rate of tyfensulfuron-methyl – was a half, and imazamox – was a third lower than the minimum recommended rates of these herbicides, exceeded the selectivity of imazamoks in a minimal recommended rate.

Key words: *Glycine max* (L.) Merr., soybean, herbicides, interaction of herbicides, photosynthesis, symbiotic nitrogen fixation.

Підписано до друку 19.05.2014 р.  
Формат 60x90/16  
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 0,9  
Тираж прим. 100  
Замовлення № 869

Видавничо-поліграфічний центр «Візаві»  
20300, м. Умань, вул. Тищика, 18/19  
тел. (04744) 4-64-88, 4-67-77  
e-mail: vizavi08@mail.ru  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 2521 від 08.06.2006 р.