

КРОС- ТА МУЛЬТИРЕЗИСТЕНТНІСТЬ У БУР'ЯНІВ ДО ДІЇ ГЕРБІЦИДІВ В УКРАЇНІ

Мета. Ідентифікувати резистентність до дії гербіцидів у видів бур'янів на посівах провідних аграрних компаній в регіонах України та визначити шляхи протидії виникненню резистентних біотипів бур'янів. **Методи.** Дослідження ефективності гербіцидів проводили в умовах виробництва та вегетаційних дослідів. Контрольні рослини збирали на неорних землях. Статистичний аналіз здійснювали у програмі StatPlus від AnalystSoft Inc. **Результати.** У період 2014—2023 рр. ідентифіковано резистентність у високошкідливих біотипів однодольних та дводольних видів бур'янів до дії гербіцидів в Україні. У 2022—2023 рр. посіви соняшнику, який є основною культурою, що забезпечує рентабельність рослинництва в країні, зазнали масштабного ураження резистентною до гербіцидів амброзією полинолистою (*Ambrosia artemisiifolia* L.). Імідазоліон-резистентність амброзії було визначено ще у 2015 р. У 2023 р. встановлено мультирезистентність до гербіцидів — інгібіторів ацетолактатсинтази та інгібіторів протопорфіриноген-оксидази (ALS+PPO) у *A. artemisiifolia* на великих площах посівів соняшнику у Центральній частині та на Півдні України. У попередні роки в Україні ідентифіковано резистентні до дії гербіцидів — інгібіторів ацетолактатсинтази класу імідазоліонів — імазапіру та імазамоксу, біотики злакового бур'яну плоскухи звичайної (*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* (L.) P. Beauv.), дводольних видів щириці загнутої (*Amaranthus retroflexus* L.) й до класу сульфонілсечовин — лободи білої (*Chenopodium album* L.). Встановлено крос-резистентність бур'янів до дії гербіцидів: злакових видів до сульфонілсечовин (нікосульфурон) та триазолпіримідинів (пеноксулам); дводольних видів до сульфонілсечовин форамсульфурону, йодосульфуронметил-натрію, тіфенсульфурон-метилу, трибенурон-метилу, до похідного сульфоніламінокарбоніл триазоліонів — тінкарбазон-метилу, до похідних триазолпіримідинів — флорасуламу та флуметсуламу. Не встановле-

В.В. ШВАРТАУ,
доктор біологічних наук,
член-кореспондент НАН України,
професор

Л.М. МИХАЛЬСЬКА,
кандидат біологічних наук
Інститут фізіології рослин і генетики
НАН України, вул. Васильківська, 31/7,
м. Київ, 03022, Україна
E-mail: VictorSchwartau@gmail.com

но мультирезистентності плоскухи звичайної, щириці загнутої та лободи білої до гербіцидів класів похідних гліцину — гліфосату, злаку до піноксадену, а дводольних видів до похідних феноксикарбоксилатів — 2,4-Д, бензойної кислоти — дикамба; трикетонів — топрамезону; дифенілових етерів — аклоніфену; піридинкарбоксилатів. Показано, що композиції гербіцидів класу синтетичних ауксинів за впливу пулу амонію можуть підвищувати рівень ефективності контролювання резистентних біотипів бур'янів. У період 2018—2021 рр. у рисових сівозмінах Півдня Херсонської області спостерігали появу та розповсюдження мультирезистентного й до грамїніцидів — інгібіторів ацетил-КоА-карбоксілази (АЛС+АКК) — злакового виду полевицьки (*Eragrostis* spp.). **Висновки.** Ідентифікація високошкідливих крос- та мультирезистентних біотипів бур'янів на Півдні й у Центральній частині «зернового поясу» України свідчить про обмеженість ефективності контролювання бур'янів гербіцидами переважно з одним механізмом дії та вимагає суттєвого перегляду принципів формування сівозмін і шляхів контролювання бур'янів на полях держави для збереження високих рівнів рентабельності та продуктивності агрофітоценозів. Вирішення цих питань є нагальним щодо збереження потенціалу України, як одного з гарантів продовольчої безпеки світу.

крос- та мультирезистентність; гербіциди; інгібітори ацетолактатсинтази; бур'яни

Одним з найскладніших викликів у сучасному рослинництві, поряд зі змінами клімату та необхідністю підвищення продуктивності за суттєвої економії ресурсів є, також, й швидке виникнення в останнє десятиріччя резистентних до дії гербіцидів біотипів бур'янів.

Україна знаходиться серед провідних країн світу — виробників рослинницької продукції. Рослинництво України є важливою галуззю економіки і в останні роки забезпечує понад 40% надходжень до бюджету від експорту. Держава є одним із гарантів продовольчої безпеки у світі та має потенціал для подальшого нарощування виробництва сільськогосподарської продукції. Проте, домінування обмеженого переліку культур у рослинництві (соняшнику, пшениці, кукурудзи, сої) зумовлює скорочення біорізноманіття в агрофітоценозах та ускладнює контроль бур'янів [1—4]. За даними Global Yield Gap Atlas (GYGA) (<https://www.yieldgap.org/atlas-advanced-users>) рівень виробництва продукції рослинництва в Україні становить не більше 30—45% від потенційно можливого.

На початку 1990-х років, з впровадженням спочатку сульфонілсечовин, а пізніше — інших інгібіторів ацетолактатсинтази для контролю бур'янів, переважно позакоренево й у низьких нормах застосування, сформувало очікування швидкого ефективного хімічного контролю. Передбачалось також, що саме позакореневі обробки гербіцидами у низьких нормах внесення дадуть змогу вирішити питання екологічно безпечного контролю бур'янів у рослинництві протягом необмежених щодо майбутнього термінів. Нині пе-

реважна більшість гербіцидів в Україні для застосування на посівах культурних рослин відноситься за механізмом дії до інгібіторів ацетолактатсинтази (АЛС) (піруват:піруват ацетальдегідтрансфераза (декарбоксілююча), ЕС по. 2.2.1.6; ALS, також згадується як АНАС) [5, 6]. АЛС є ключовим ферментом у синтезі амінокислот із розгалуженим вуглецевим ланцюгом — ізoleyцину, лейцину та валіну. До класу інгібіторів АЛС входять понад 50 гербіцидів — похідних сульфонілсечовин, імідазолінів, піримідинілбензоатів, сульфоніламінокарбонілтриазолінів і триазолпіримідинів. Точний механізм прояву фітотоксичної дії АЛС-інгібіторів до цього часу дискутується. Широке застосування гербіцидів з одним механізмом дії й суттєві обмеження застосування гербіцидів з іншими механізмами дії створюють загрозу виникнення резистентних до гербіцидів видів бур'янів. У зв'язку з появою та широким розповсюдженням стійких проти гербіцидів біотипів бур'янів витрати на вирощування культурних рослин можуть значно зрости, аж до втрати рентабельності сільського господарства.

Починаючи з 50-х років минулого століття виявляють нові сайти дії гербіцидів, але разом з тим зростає кількість бур'янів, що проявляють резистентність до дії гербіциду, а також помітна тенденція підвищення кількості випадків крос- та мультирезистентності. Вже у 1968 р. у США встановлено резистентність до триазинів жовтозілля звичайного (*Senecio vulgaris* L.). На сьогоднішній день у світі відомо 523 унікальних випадків виникнення резистентних біотипів бур'янів, серед яких 269 видів рослин (154 дводольних і 115 однодольних). Бур'яни сформували резистентність до 21 із 31 відомих сайтів дії гербіцидів та до 167 різних гербіцидів. Резистентні до дії гербіцидів біотиби бур'янів зареєстровано на посівах 99-ти культур у 72-х країнах [7, 8].

Серед резистентних до дії гербіцидів у світі найбільш поширені

біотиби, що стійкі до інгібіторів АЛС [8–10]. Проблеми резистентності у бур'янів були обговорені на Дні поля—2012 в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України, описані у друкованих роботах періоду 2015—2022 рр. [1–4]. Проте в Україні інформація щодо визначення присутності на посівах культурних рослин резистентних біотипів бур'янів до цього часу обмежена. Особливої небезпеки щодо виникнення резистентних біотипів бур'янів в останні роки зазнають посіви компаній з великими площами земель (понад 50 тис. га), та скороченими сівозмінами, які включають соняшник, пшеницю, кукурудзу, сою, ріпак тощо.

Мета роботи — ідентифікація резистентності до дії гербіцидів у шкідливих видів бур'янів на посівах провідних аграрних компаній в регіонах України та визначення шляхів протидії виникненню резистентних біотипів бур'янів.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили у виробничих умовах, а також в умовах вегетаційних дослідів. В якості контролів використовували рослини плоскухи звичайної (*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* (L.) P. Beauv.), шириці загнutoї (звичайної) (*Amaranthus retroflexus* L.) та лободи білої (*Chenopodium album* L.), зібрані на неорних угіддях Дослідного сільськогосподарського виробництва Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. Насіння контрольних рослин амброзії полинолистої (*Ambrosia artemisiifolia* L.) збирали на неорних землях. Зібране контрольне насіння та зразки насіння рослин з регіонів України просушували й витримували 1–5 циклів при змінах температурного режиму зберігання: +4°C протягом 2-х тижнів, далі при –18°C протягом 2-х тижнів. Сходи бур'янів одержували у вегетаційних умовах. У фазі ВВСН12 за температури 23–25°C рослини обробляли водними розчинами гербіцидів ручним професійним обприскувачем Gloria, Німеччина.

Повторність у дослідах — 6-разова. Досліди повторювали

двічі. Фітотоксичність гербіцидів оцінювали за змінами маси сухої речовини, результати представляли у % до контролю [11, 12].

Статистичну обробку даних здійснювали методом дисперсійного аналізу у програмі StatPlus, AnalystSoft Inc. Version v.7 в Excel 2019. Відмінності вважали достовірними за рівня значущості $P < 0,05$.

Результати та обговорення.

У 2022–2023 рр. посіви соняшнику, який є основною культурою, що забезпечує рентабельність рослинництва в країні, зазнали масштабного ураження резистентною до гербіцидів амброзією полинолистою (*A. artemisiifolia*). У 2023 р. встановлено мультирезистентність до гербіцидів — інгібіторів ацетолактатсинтази та інгібіторів протопорфіриноген-оксидази (ALS+PPO) у *A. artemisiifolia* на великих площах у Центральній частині України. Рисунок 1 демонструє відсутність ефективності композиції Євро-Лайтнінг Плюс, РК (імазамокс, 16,5 г/л + імазапір, 7,5 г/л), 2,0 л/га + Пледж 50, ЗП (флуміоксазин, 511 г/л), 10 г/га щодо контролю амброзії полинолистої (*A. artemisiifolia*) на полях Півдня України. Введення до композиції замість флуміоксазину карфентразон-етилу — Аврора 40, ВГ (карфентразон-етил, 400 г/кг), 10–20 г/га — не викликало проявів фітотоксичної дії.

Також, ідентифіковано АЛС-резистентність у біотипу злакового бур'яну *E. crus-galli* var. *crus-galli*, насіння якого збирали у Скадовському та Каланчацькому районах Херсонської області у 2015–2021 рр. (рис. 2, табл. 1). На посівах рису плоскуха звичайна є домінуючим бур'яном, а також високо конкурентна на посівах інших культур у сівозміні соняшнику, кукурудзи та зернових колосових культур [11, 12]. Саме на посівах рису у світі зареєстровано численні випадки виникнення резистентних до АЛС-гербіцидів біотипів бур'янів [8]. Це пов'язано з високою ефективністю й, відповідно, широким застосуванням відносно дешевого, селективного та фітотоксичного



Рис. 1. Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia*) резистентна до композиції Євро-Лайтнінг Плюс, 2,0 л/га + Пледж, 10 г/га (посіви соняшнику у Миколаївській області, 2023 р.)

до злакових, у тому числі й до осокових, пеноксиламу, а також зниженими нормами гербіциду на краях полів за авіаобробок.

Вперше резистентні до симазину біотики плоскухи звичайної було ідентифіковано в США на посівах кукурудзи. Нині резистентні до гербіцидів біотики плоскухи знайдено на посівах культурних рослин у 25-ти країнах світу.

Виключно небезпечним є виявлення в останнє десятиріччя численних біотипів бур'яну із мультирезистентністю до гербіцидів з різним механізмом дії, зокрема до гербіцидів АЛС та грамініцидів — інгібіторів ацетил-КоА-карбоксілази (АКК). У 2008 р. у Південній Кореї на посівах рису після багаторічного застосування пеноксиламу ідентифіковано біотики, що мультирезистентні до азимсульфурону, бенсульфурон-метилу, біспірибак-натрію, цигалофоп-бутилу, феноксапроп-П-етилу, флуцетосульфурону, галосульфурон-метилу, імазосульфурону, метаміфопу, піразосульфурон-етилу, пірибензоксиму та піримінобак-метилу; у 2009 р. в Італії — до азимсульфурону, біспірибак-натрію, цигалофоп-бутилу, імазамоксу, пеноксиламу, профоксидиму; у 2009 році у Туреччині — до біспірибак-натрію, цигалофоп-бутилу та пеноксиламу [8].

У 2019 і 2020 роках у деяких господарствах Чернігівської та Черкаської областей виявлено відсутність ефективності композиційного АЛС-

гербіциду МайсТер Пауер ОД, МД (форамсульфурон, 31,5 г/л + йодосульфурон-метил-На, 1,0 г/л + тіенкарбазон-метил, 10 г/л + антидот ципросульфамід, 15 г/л) на посівах кукурудзи. На цих полях до 2019 р. на пшениці, сої, соняшнику та кукурудзі щороку протягом понад 7-ми років застосовували гербіциди — інгібітори АЛС. У 2021 р. на цих же полях на посівах соняшнику вносили композиційний гербіцид Євро-Лайтнінг, РК (імазамокс, 33 г/л + імазапір, 15 г/л) класу імідазолінонів, який виявився неефективним проти високошкідливого виду щиряці загнутаї (*A. retroflexus*) (рис. 3, табл. 1).

У 2022 р. виявлено неефективність подвійного, з інтервалом у 10 діб, внесення трибенурон-метилу (Експрес 75, ВГ (трибенурон-метил, 750 г/кг)) двічі нормою по 50 г/га або Євро-Лайтнінг, РК в максимальній зареєстрованій нормі (1,2 л/га) щодо контролю лободи білої (*C. album*) у Вінницькій і Чернігівській областях (рис. 4, табл. 1).

Рівень контролювання дводольних видів *A. retroflexus* та *C. album* за внесення гербіцидів у максимальних зареєстрованих в Україні нормах — похідних імідазолінонів, імазамоксу, чи композиції імазапір + імазамокс, за величиною інгібування розвитку рослин бур'яну не відрізнявся від стану рослин на контролі. Також не спостерігали фітотоксичності до даного виду бур'яну у похідних сульфонілсечовин (трибенурон-метил). Таким чином, від-



Рис. 2. АЛС-резистентний біотип плоскухи звичайної (*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*) домінує у посіви рису після внесення пеноксиламу, південь Херсонської області, 2015–2021 рр.

1. Ефективність гербіцидів щодо контролю бур'янів з регіонів України.
Вегетаційні досліді 2020—2022 рр.

Варіант/ гербіцид	Діючі речовини	Дози, мг/0,5 кг грунту	Південь України		Центральна частина «зернового поясу» України					
			<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>		<i>Amaranthus</i> <i>retroflexus</i>			<i>Chenopodium</i> <i>album</i>		
			1*	2	3	4	5	6	7	
Контроль	–	–	0***	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	
Гербіциди — інгібітори ацетолактатсинтази										
Цитадель 25 OD	Пеноксулам, 25 г/л	0,25	100 ^b	0 ^a	–	–	–	–	–	
		0,5	100 ^b	0 ^a	–	–	–	–	–	
Євро-Лайтнінг	Імазапір, 15 г/л + імазамокс, 33 г/л	1,0	70 ^a	0 ^a	100 ^b	0 ^a	0 ^a	90 ^a	0 ^a	
		2,0	90 ^b	0 ^a	100 ^b	0 ^a	0 ^a	100 ^c	0 ^a	
Пульсар 40	Імазамокс, 40 г/л	1,0	80 ^c	5 ^a	90 ^a	0 ^a	0 ^a	80 ^b	0 ^a	
		2,0	90 ^a	0 ^a	100 ^b	0 ^a	0 ^a	90 ^a	0 ^a	
Мілагро 040 SC	Нікосульфурон, 40 г/л	1,0	100 ^b	5 ^a	–	–	–	–	–	
Експрес 75 ВГ	Трибенурон-метил, 750 г/кг	0,5	–	–	90 ^a	0 ^a	0 ^a	80 ^b	0 ^a	
		1,0	–	–	100 ^b	0 ^a	0 ^a	100 ^c	0 ^a	
Майстер Пауер	Форамсульфурон, 31,5 г/л + йодосульфурон, 1,0 г/л + тіенкарбазон-метил, 10 г/л + ципросульфамід (антидот), 15 г/л	1,0	–	–	95 ^b	0 ^a	5 ^a	100 ^c	5 ^a	
		2,0	–	–	100 ^b	20 ^b	10 ^b	100 ^c	10 ^b	
Дербі 175, к. с.	Флуметсулам, 100 г/л + флорасулам, 75 г/л	0,5	–	–	70 ^c	5 ^a	5 ^a	80 ^b	0 ^a	
		1,0	–	–	90 ^a	10 ^a	5 ^a	90 ^a	0 ^a	
Гранстар Голд	Трибенурон-метил, 562,5 г/л + тіфенсульфурон-метил, 187,5 г/кг	0,5	–	–	80 ^{bc}	0 ^a	0 ^a	80 ^b	0 ^a	
		1,0	–	–	90 ^a	10 ^a	0 ^a	100 ^c	10 ^b	
Синтетичні ауксини та композиції з ними										
Пріма	Флорасулам, 6,25 г/л + 2-етилгексилловий ефір 2,4-Д, 452,5 г/л	0,5	–	–	100 ^b	100 ^c	100 ^a	100 ^c	100 ^a	
Діанат	Дикамби диметиламінна сіль, 480 г/л	0,5	–	–	100 ^b	100 ^c	100 ^a	100 ^c	100 ^a	
Стеллар	Дикамба, 160 г/л + топрамезон, 50 г/л	1,0	–	–	100 ^b	100 ^c	100 ^a	100 ^c	100 ^a	
Галера Супер	Клопіралід, 267 г/л + піклорам, 80 г/л + амінопіралід, 17 г/л	0,5	–	–	100 ^b	100 ^c	100 ^a	100 ^c	100 ^a	
Інгібітори синтезу хлорофілу / блічінг-гербіциди										
Челендж + Меро	Аклоніфен, 600 г/л + ріпаково-метилловий ефір, 810 г/л	2,0 + 0,5	–	–	100 ^b	100 ^c	100 ^a	100 ^c	100 ^a	
Інгібітори 5-енол-пірувілшкімат-3-фосфат синтази										
Раундап Макс	Гліфосат, 450 г/л гліфосату у кислотному еквіваленті (551 г/л у формі калійної солі гліфосату)	2,0	100 ^b	100 ^b	100 ^b	100 ^c	100 ^a	100 ^c	100 ^a	
Інгібітори ацетил-КоА-карбоксилази (грамініциди)										
Аксіал 050 ЕС	Піноксаден, 50 г/л + клоквінтосет–мексил (антидот)	1,0	100 ^b	100 ^b	–	–	–	–	–	

Примітки. *Насіння бур'яну зібрано на: 1, 3, 6 — на неорних угіддях Дослідного сільськогосподарського виробництва ІФРГ НАН України у 2020 р.; 2 — під м. Каланчак Херсонської області на полях рису в 2015—2020 рр.; 4 — Чернігівська область, під м. Бахмач на полях соняшнику у 2020 р.; 5 — Черкаська область, с. Іваньки на полях соняшнику у 2021 р.; 7 — Вінницька область, під с. Гнівань на полі соняшнику у 2022 р. ** на 30-ту добу після обробки: 0% — ураження бур'янів відсутні; 100% — рослини загинули. Тут і в табл. 2 середні значення показника, позначені однаковими літерами, свідчать про недостовірну різницю за P<0,05

сутність прояву фітотоксичності імідазолінонів у даних нормах застосування свідчить про формування АЛС-резистентності у популяціях шириці та лободи на полях у виробництві.

За внесення триазолпіримідинів сульфоанілідів (флорасулам, флуметсулам) спостерігали початкове слабке інгібування розвитку рослин, проте у часі ефективне контролювання виду було

також відсутнє. Подібна залежність визначена щодо ефективності композицій АЛС-гербіцидів форамсульфурон + йодосульфурон + тіенкарбазон-метил та трибенурон-метил + тіфенсульфурон-метил — спостерігалися слабкі опіки дводольних видів рослин після обприскування з відсутністю контролю бур'яну за місяць після обробки.

Внесення гліфосату — інгі-

бітору ферменту 5-енолпірувілшкімат-3-фосфат синтази — зумовило досягнення високого рівня контролю *A. retroflexus* та *C. album*. Високий рівень контролю дводольних бур'янів також досягнуто за внесення похідного дифенілетерів аклоніфену, який за механізмом дії порушує синтез хлорофілу в рослинах шляхом блічінгу (знебарвлення). Злаковий вид плоскуху ефективно конт-



Рис. 3. АЛС-резистентний біотип щириці загнутої (*Amaranthus retroflexus*) уражує посіви соняшнику NK Neoma CRU Clearfield hybrid після внесення гербіциду Євро-Лайтнінг, РК класу імідазолінів, Черкаська область, 2019–2021 рр.



Рис. 4. АЛС-резистентний біотип лободи білої (*Chenopodium album*) у посіві соняшнику Р64НЕ118 ExpressSun hybrid (Pioneer) після застосування гербіциду Експрес 75, ВГ (50 г/га), Вінницька область, 2022 р.

ролювали грамініцидом. В той же час у період 2018–2021 рр. у рисових сівозмінах Півдня Херсонської області спостерігали розповсюдження мультирезистентного й до грамініцидів — інгібіторів ацетил-КоА-карбоксилази (АЛС+АКК), — злакового виду полевицьки (*Eragrostis* spp.) (рис. 5).

Ефективність контролювання АЛС-резистентних біотипів бур'янів є важливою з огляду на обмежені часові інтервали додаткового внесення гербіцидів після ідентифікації резистентності й, відповідно, неефективності попередньої обробки. Показано (табл. 2), що для гербіцидів з кис-

лотним фрагментом у структурі (похідні феноксиоцтової кислоти, бензойної кислоти — дикамба тощо) додавання до робочого розчину пулів амонію може призводити до підвищення фітотоксичності композиції. Пул амонію підвищує ефективність контролювання АЛС-резистентної щириці загнутої гербіцидами — похідним бензойної кислоти Діанат, РК (дикамба, 480 г/л) та похідним бензойної кислоти з інгібітором 4-гідроксифенілпіруват діоксигенази (HPPD) Стеллар, в.р. (дикамба, 160 г/л + топрамезон, 50 г/л). Механізмом даного посилення фітотоксичності

гербіциду може бути активація протонування H^+ -АТФ-ази плазмалеми за впливу катіону амонію [10, 11]. За додавання солей амонію до робочих розчинів гербіцидів (дикамба, вірогідно — похідні 2,4-Д) можливо досягти вищих рівнів контролювання АЛС-резистентних бур'янів та скоротити терміни прояву фітотоксичності композицій.

Щодо позиціонування композицій гербіцидів з різними механізмами дії для контролю резистентності, то слід звернути увагу на невідповідне зростання кількості біотипів бур'янів з мультирезистентністю в усьому світі [8, 13].



Рис. 5. Мультирезистентний до гербіцидів — інгібіторів ацетолатсинтази та до грамініцидів — інгібіторів ацетил-КоА-карбоксилази (АЛС+АКК) злаковий вид полевицьки (*Eragrostis* spp.). Рослини відібрані за сприяння фахівців ТОВ «Українські рисові системи» Херсонської області наприкінці вегетаційного сезону 2021 р. під Каланчаком

2. Вплив сульфату амонію на ефективність контролювання АЛС-резистентних щириці загнутої (*Amaranthus retroflexus*) та лободи білої (*Chenopodium album*) гербіцидами на 20-ту добу після обробки, 0% — ефективність відсутня, 100% — рослини загинули

Гербіцид	Діючі речовини	Дози, мг/посудину	Ефективність контролю щириці загнутої	Ефективність контролю лободи білої
Контроль, без обробки агрохімікатами		—	0 ^а	0 ^а
Діанат	дикамби диметиламінна сіль, 480 г/л	0,5	70 ^б	80 ^б
Діанат + сульфат амонію	дикамби диметиламінна сіль, 480 г/л + (NH ₄) ₂ SO ₄	0,5 + 5,0	100 ^а	95 ^б
Стеллар	дикамба, 160 г/л + топрамезон, 50 г/л	1,0	75 ^б	70 ^б
Стеллар+сульфат амонію	дикамба, 160 г/л + топрамезон, 50 г/л + (NH ₄) ₂ SO ₄	1,0 + 5,0	95 ^б	95 ^б

Застосування гербіцидних комплексів може знизити рівень чутливості до діючих речовин у рослин, одержаних з насіння рослин, які раніше оброблялися досліджуваними гербіцидними композиціями [14]. Традиційним способом контролю стійкості до АЛС є використання синтетичних ауксинів, похідних феноксиоцтової кислоти тощо. Тому важливим кроком у досягненні високого рівня контролю стійкості плоскухи звичайної до АЛС (пеноксиламу) стало впровадження Rinskor (флорпіроксифен-бензил), який належить до арилпіколінових гербіцидів. Флорпіроксифен бензил належить до нового класу гербіцидів — синтетичних ауксинів з особливістю в механізмі дії: швидке і сильне зв'язування з ауксиновими рецепторами AFB5 на відміну від TIR1. Rinskor пропонується для контролю резистентності до широко використовуваних гербіцидів класів: АЛС, АКК, РРО, а також видів, стійких до пропанілу, квінклораку, гліфосату, триазинів. Однак вже на третій рік застосування Rinskor у Херсонській області України спостерігали відновлення рослин плоскухи після внесення гербіциду. Також повідомлялося про виникнення крос-резистентності *Echinochloa crus-galli* до Rinskor ще до комерціалізації гербіциду [15].

Тому, важливими й економічно доцільними запобіжними заходами виникнення й розповсюдження резистентних біотипів бур'янів є використання високоякісного насіння без домішок

бур'янів, збільшення частки агротехнічних заходів контролю бур'янів, відновлення і розширення сівозмін з обов'язковою ротацією гербіцидів, які відрізняються за механізмами дії, введення до сівозмін з домінуванням злаків дводольних/бобових культур, і лише як складові інтегрованого контролю: застосування гербіцидів з різними механізмами дії окремо або у композиціях у виробничих посівах [1—4, 8—10].

ВИСНОВКИ

В Україні ідентифіковано високошкідливі біотики крос та мультирезистентних до дії гербіцидів бур'янів.

В умовах польових та вегетаційних досліджень 2014—2023 рр. ідентифіковано резистентність у високошкідливих біотипів однодольного та дводольних видів бур'янів. Посіви соняшнику в Україні, який є основною культурою, що забезпечує рентабельність рослинництва в країні, знають масштабного ураження резистентною до гербіцидів амброзією полинолістою. У 2023 р. встановлено мультирезистентність до гербіцидів — інгібіторів ацетолактатсинтази та інгібіторів протопорфіриноген-оксидази (ALS+PPO) у амброзії на великих площах посівів соняшнику у Центральній частині України.

Також, встановлено, що імідазолінон-резистентний біотип злакового виду плоскухи звичайної крос-резистентний до широко уживаних гербіцидів класів сульфонілсечовин, триазолпіримідинів. При цьому

суттєво обмежуються можливості хімічного контролю виду у посівах рису, пшениці, кукурудзи, соняшнику, сої тощо. Не було виявлено мультирезистентності біотипу плоскухи звичайної до гербіцидів — інгібіторів 5-енолпірувілшикімат-3-фосфат синтази (неселективний гліфосат) та ацетил-КоА-карбоксилази (післясходові грамініциди).

Встановлено АЛС-резистентність у розповсюджених дводольних видів щириці загнутої та лободи білої до гербіцидів класу імідазолінонів — імазапіру та імазамоксу. Спостерігали крос-резистентність до гербіцидів — інгібіторів АЛС класу сульфонілсечовин, а також до похідного триазолінонів, до похідних триазолпіримідинів. Не встановлено резистентності плоскухи звичайної до піноксадену, а щириці загнутої та лободи білої до гербіцидів класів похідних гліцину — гліфосату, феноксикарбоксилатів — 2,4-Д, бензойної кислоти — дикамба; трикетонів — топрамезону; дифенілових етерів — аклоніфену; піридинкарбоксилатів.

Вперше показано, що композиції гербіцидів за впливу пулу амонію можуть підвищувати рівень ефективності контролювання резистентних біотипів бур'янів. Додавання сульфату амонію підвищує ефективність контролювання АЛС-резистентних щириці загнутої та лободи білої гербіцидами: похідним бензойної кислоти Діанат, ВРК (дикамби диметил-амінна сіль, 480 г/л) та похідним бензойної кислоти з інгібітором 4-гідроксибенілпіруват діоксигенази (HPPD) Стеллар, РК (дикамба, 160 г/л + топрамезон, 50 г/л).

У період 2018—2021 рр. у рисових сівозмінах Півдня Херсонської області спостерігали розповсюдження мультирезистентного й до грамініцидів — інгібіторів ацетил-КоА-карбоксилази (АЛС+АКК) злакового виду — полевицьки (*Eragrostis* spp.).

Ідентифікація резистентних до дії гербіцидів біотипів амброзії полинолістої, плоскухи звичайної, щириці загнутої, лободи

білої та полевицьки на Півдні й у Центральній частині «зернового поясу» України свідчить про обмеженість ефективності контролювання бур'янів гербіцидами виключно з одним механізмом дії та вимагає суттєвого перегляду принципів формування сівозмін і шляхів контролювання бур'янів у державі для збереження високих рівнів рентабельності та продуктивності агрофітоценозів. Вирішення цього питання є нагальним щодо збереження потенціалу України, як одного з гарантів продовольчої безпеки світу.

Вперше від України інформацію щодо ідентифікації АЛС-резистентних біотипів *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* (2017), *Amaranthus retroflexus* (2020) та *Chenopodium album* (2022) занесено до International Herbicide-Resistant Weed Database, weed.sci.org/Ukraine (<https://www.weedscience.org/Pages/case.aspx?ResistID=17113>; <https://www.weedscience.org/Pages/Case.aspx?ResistID=20231>; <https://www.weedscience.org/Pages/Case.aspx?ResistID=24250>, відповідно).

Автори дякують компаніям ТОВ «Українські рисові системи», БАСФ-Україна, ФМС, ТОВ «ПоділляЛамІнвест» та Іан Хіар (International Herbicide-Resistant Weed Database) за підтримку проведення досліджень і обговорення результатів.

ЛІТЕРАТУРА

- Швартау В.В. Детектування резистентних до дії гербіцидів — інгібіторів ацетолактатсинтази бур'янів. Вісник аграрної науки. 2015. №12. С. 52-54.
- Швартау В.В., Михальська Л.М., Журенко О.В. Визначення резистентних до дії гербіцидів бур'янів в Україні. *Карантин і захист рослин*. 2016. №2-3. С. 30-31.
- Mykhalska L.M., Schwartau V.V. Identification of acetolactate synthase resistant *Amaranthus retroflexus* in Ukraine. *Regulatory Mechanisms in Biosystem*. 2022. 13(3). 231-240. <https://doi.org/10.15421/022230>
- Швартау В.В., Михальська Л.М. Ідентифікація резистентних до дії гербіцидів біотипів бур'янів в Україні. Доповіді НАН України. 2022. № 6. С. 85-94. [Doi:10.15407/dopovidi2022.06.085](https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.085)
- Duggleby R.G., McCourt J.A., Guddat L.W. Structure and Mechanism of Inhibition of Plant Acetohydroxyacid Synthase. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2008. 46(3). P. 309-324. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.12.004>
- Powles S., Yu Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology*. 2010. 61(1). P. 317-347. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>
- Peterson M.A., Collavo A., Ovejero R., Shivrain V., Walsh M.J. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Management Science*. 2018. 74(10). P. 2246-2259. <https://doi.org/10.1002/ps.4821>
- Heap I.M. International survey of herbicide resistant weeds. 2023. URL: www.weed-science.com
- Швартау В.В., Михальська Л.М. Гербіциди. Фізіологічні основи регуляції фітотоксичності. Київ: Логос, 2013. 392 с.
- Швартау В.В., Михальська Л.М. Гербіциди. Фізико-хімічні та біологічні властивості. Київ: Логос, 2013. 906 с.
- Burgos N.R. Whole-plant and seed bioassays for resistance confirmation. *Weed Science*. 2015. 63(SP1). P. 152-165. <https://doi.org/10.1614/WS-D-14-00019.1>
- Іващенко О.О., Іващенко О.О. Загальна гербологія. Київ: Фенікс, 2019. 752 с. <https://doi.org/10.36495/ISBN978-966-136-649-6/2019.752s>
- Turra G. M., Cutti L., Machado F.M., Dias G.M., Andres A., Markus C., Merotto A. Application of ALS Inhibitors at Pre-Emergence is Effective in Controlling Resistant Barnyardgrass Biotypes Depending on the Mechanism of Resistance. *Crop Protection*. 2023. 172. 106325 <http://doi.org/10.2139/ssrn.4457474>
- Rigon C.A.G., Cutti L., Turra G.M., Ferreira E.Z., Menegaz C., Schaidhauer W., Dayan F.E., Gaines T.A. & Merotto Jr., A. Recurrent selection of *Echinochloa crus-galli* with a herbicide mixture reduces progeny sensitivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023. 71. 18. 6871-6881. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c00920>
- Takano H., Greenwalt S., Ouse D., Zielinski M., & Schmitzer P. Metabolic cross-resistance to floryprauxifen-benzyl in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) evolved before the commercialization of Rinskor™. *Weed Science*. 2023. 71(2). 77-83. <https://doi.org/10.1017/wsc.2023.11>

Schwartau V.,

ORCID: 0000-0001-7402-5559

Mykhalska L.,

ORCID: 0000-0002-0677-5574

Institute of Plant Physiology and Genetics of NAS of Ukraine, 31/17, Vasilkivska str., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: VictorSchwartau@gmail.com

Cross and multiple herbicide resistance across Ukraine

Goal. Identify resistance to herbicides in weed species on the crops of leading agricultural companies in the regions of Ukraine and identify ways to counteract the emergence of resistant weed biotypes. **Methods.** The research of herbicide effectiveness was carried out in production and vegetation experiments. Control plants were collected on non-arable land. Statistical analysis was performed using StatPlus software from AnalystSoft Inc. **Results.** Field and greenhouse studies in 2014—2023 identified herbicide resistance in highly damaging biotypes of monocotyledonous and dicotyledonous weed species in Ukraine. In 2022—2023,

herbicide-resistant ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) affected sunflower crops, the main crop that ensures the profitability of crop production in the country. Imidazolinone resistance in *Ambrosia* was identified in 2015. In 2023, multiply resistance to herbicides — acetolactate synthase inhibitors and protoporphyrinogen oxidase inhibitors (ALS+PPO) — was identified in *A. artemisiifolia* in large areas of sunflower in central and southern Ukraine. In previous years, resistant to the action of herbicides — acetolactate synthase inhibitors of the imidazolinone class - imazapyr and imazamox biotypes of monocot *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* (L.) P. Beauv., and dicot *Amaranthus retroflexus* L., and *Chenopodium album* L. have been identified. Cross-resistance to herbicides: monocot to sulfonylurea (nicosulfuron), and triazole pyrimidines (penoxsulam); dicots to sulfonylurea foramsulfuron, iodosulfuron-methyl-sodium, thifensulfuron-methyl, tribenuron-methyl; to sulfonylaminocarbonyl triazolinone derivative — thiencazone-methyl; to triazole pyrimidine derivatives — florasulam, and flumetsulam were established. The multiple resistance of *Echinochloa crus-galli*, *Amaranthus retroflexus*, and *Chenopodium album* to herbicides of the classes of glycine derivatives — glyphosate, monocot to graminicide pinoxaden, and dicot species to phenoxy carboxylic derivatives — 2,4-D, benzoic acid — dicamba, triketones — topramezone; diphenyl ethers — aclonifen have not been established. It was shown that herbicide compositions under the influence of the ammonium pool can increase the level of controlling resistant weed biotypes effectiveness. In 2018—2021, in rice crop rotations in the South of Kherson region, the emergence and spread of a cereal multiply resistant (ALS + ACC) species, *Eragrostis* spp. was detected. **Conclusions.** The identification of highly harmful resistant *Ambrosia artemisiifolia*, *Echinochloa crus-galli*, *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, and *Eragrostis* spp. in the South and Central part of the «grain belt» of Ukraine shows the limited effectiveness of weed control exclusively with herbicides with one mechanism of action and requires a significant revision of the principles of crop rotation formation and methods of weed control in the state to maintain high levels of profitability and productivity of agrophytocenoses. Solving these issues is urgent in order to preserve Ukraine's potential as one of the guarantors of world food security.

cross-resistance; multiply-resistance; herbicides; acetolactate synthase inhibitors; weeds

Надійшла до редакції: 23.08.2023

Прийнята до друку: 26.08.2023

Надруковано: вересень 2023

Опубліковано онлайн: жовтень 2023