

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.085>

УДК 581.1

В.В. Швартау, <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>

Л.М. Михальська, <https://orcid.org/0000-0002-0677-5574>

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Київ

E-mail: VictorSchwartau@gmail.com

Резистентні до гербіцидів біоти́пи бур'янів в Україні

Представлено членом-кореспондентом НАН України В.В. Швартау

В Україні ідентифіковано резистентні до дії гербіцидів — інгібіторів ацетолактатсинтази класу імідазоліонів — імазапіру та імазамоксу, біоти́пи злакового бур'яну плоскухи звичайної, дводольних видів щириці запрокинутої й лободи білої. Встановлено крос-резистентність бур'янів до дії гербіцидів: злаку до сульфонілсечовин (нікосульфурон) та триазоліпримідинів (пеноксилам), дводольних видів до сульфонілсечовин форамсульфуруну та йодосульфурон-метил-натрію, тифенсульфурун-метилу, трибенурун-метилу; а також до похідного сульфоніламінокарбонілтриазоліонів — тієнкарбазон-метилу; до похідних триазоліпримідинів — флорасуламу та флуметсуламу. Не встановлено мультирезистентності плоскухи звичайної, щириці запрокинутої та лободи білої до гербіцидів класів похідних гліцину — гліфосату, злаку до піноксадену, а дводольних видів до похідних феноксикарбоксилатів — 2,4-Д, бензойної кислоти — дикамбі; трикетонів — топразамону; дифенілових етерів — аклоніфену; піридинкарбоксилатів. Вперше показано, що композиції гербіцидів під впливом пулу амонію можуть підвищувати рівень ефективності контролювання резистентних біотипів бур'янів. Ідентифікація високошкодочинних АЛС-резистентних плоскухи звичайної, щириці запрокинутої та лободи білої на півдні й у центральній частині “зернового поясу” України свідчить про обмеженість у ефективності контролювання бур'янів гербіцидами переважно з одним механізмом дії, що потребує істотного перегляду принципів формування сівозмін і шляхів контролювання бур'янів у державі для збереження високих рівнів рентабельності та продуктивності агрофітоценозів. Вирішення цих питань є нагальним щодо збереження потенціалу України, як одного з гарантів продовольчої безпеки світу.

Ключові слова: *резистентність, гербіциди, інгібітори ацетолактатсинтази, бур'яни.*

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 і має потенціал для подальшого нарощування виробництва сільськогосподарської продукції [1]. Проте домінування обмеженого переліку культур у рослинництві — соняшнику, пшениці, кукурудзи, сої зумовлює скорочення біорізноманіття в агрофітоценозах та ускладнює контроль бур'янів [2–4]. Переважна більшість гербіцидів в Україні для за-

Цитування: Швартау В.В., Михальська Л.М. Резистентні до гербіцидів біоти́пи бур'янів в Україні. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2022. № 6. С. 85–94. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.085>

стосування на посівах культурних рослин належить за механізмом дії до інгібіторів ацетоллактатсинтази (АЛС) (піруват : піруват ацетальдегідтрансфераза (декарбоксілююча), ЕС 2.2.1.6; ALS, також згадується як AHAS) [5, 6]. АЛС є ключовим ферментом у синтезі амінокислот із розгалуженим вуглецевим ланцюгом — ізолейцину, лейцину та валіну. До класу інгібіторів АЛС входять понад 50 гербіцидів — похідних сульфонілсечовин, імідазолінонів, піримідинілбензоатів, сульфоніламінокарбонілтриазолінонів і триазолпіримідинів. Точний механізм прояву фітотоксичної дії АЛС-інгібіторів до цього часу дискутується. Широке застосування гербіцидів з одним механізмом дії й істотні обмеження застосування гербіцидів з іншими механізмами дії створює загрозу виникнення резистентних до гербіцидів видів бур'янів. У зв'язку з появою та широким розповсюдженням стійких до гербіцидів біотипів бур'янів витрати на вирощування культурних рослин можуть значно зрости, аж до втрати рентабельності сільського господарства.

Починаючи з 50 років минулого століття виявляють нові сайти дії гербіцидів, але водночас зростає кількість бур'янів, що формують 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 сьогодні у світі відомо 515 унікальних випадків виникнення резистентних біотипів бур'янів, серед яких 267 видів рослин (154 дводольних і 113 однодольних). Бур'яни сформували резистентність до 21 з 31 відомого сайту дії гербіцидів і до 165 різних гербіцидів. Резистентні до дії гербіцидів біотиби бур'янів зареєстровані на посівах 97 культур у 72 країнах [7, 8].

Серед резистентних до дії гербіцидів у світі найбільш поширені біотиби, що стійкі до інгібіторів АЛС [7–10]. 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.

Тому метою дослідження була ідентифікація АЛС-резистентності у шкодочинних 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. Як контроль використовували рослини плоскухи звичайної (*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* (L.) P. Beauv.), щиріці запрокинутої (звичайної) (*Amaranthus retroflexus* L.) та лободи білої (*Chenopodium album* L.), зібраних на неорних угіддях Дослідного сільськогосподарського виробництва Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. Зібране контрольне насіння та зразки насіння рослин з регіонів України просушували й витримували за умов такого температурного режиму зберігання: +4 °С протягом 2 тижнів, далі при –18 °С протягом 2 тижнів; 1–5 циклів. Сходи бур'янів отримували у вегетаційній умові, у фазі ВВСН12 за температури 23–25 °С обробляли водними розчинами гербіцидів ручним професійним обприскувачем “Gloria”, Німеччина.

Повторність у досліді шестикратна. Досліди повторювали двічі. Фітотоксичність гербіцидів оцінювали за змінами маси сухої речовини, результати виражали у відсотках щодо контролю [8, 11].

Одержані результати статистично обробляли методом дисперсійного аналізу в програмі StatPlus, AnalystSoft Inc. Version v.7 в Excel 2019. Відмінності вважали достовірними за рівня значущості $P < 0,05$.

Результати та обговорення. Встановлено АЛС-резистентність у біотипу однодольного бур'яну *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*, насіння якого збирали у Скадовському та Каланчацькому районах Херсонської області у 2015–2021 рр. (рис. 1, табл. 1). Плоскуха звичайна домінує на посівах рису, а також висококонкурентна на посівах інших культур у сівозміні: соняшнику, кукурудзи та зернових колосових [10, 11]. 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 до осокових пеноксуламу, а також зниженими дозами гербіциду на частині полів за авіаобробок.

Вперше резистентні до симазину біоти́пи плоскухи звичайної були ідентифіковані в США на посівах кукурудзи. На сьогодні резистентні до гербіцидів біоти́пи плоскухи виявлені на посівах культурних рослин у 25 країнах світу. Вкрай небезпечним є формування в останнє десятиріччя у численних біотипів бур'яну мультирезистентності до гербіцидів з різним механізмом дії, зокрема до гербіцидів АЛС та грамініцидів – інгібіторів ацетил-КоА-карбоксилази (АКК). У 2008 р. у Південній Кореї на посівах рису після багаторічного застосування пеноксуламу ідентифіковано біоти́пи, що мультирезистентні до азимсульфурону, бенсульфурон-метилу, біспірибак-натрію, цигалофоп-бутилу, феноксапроп-П-етилу, флуцетоссульфурону, галоссульфурон-метилу, імазоссульфурону, метаміфопу, піразоссульфурон-етилу, пірибензоксиму, піримінобак-метилу. У 2009 р. в Італії визначено біоти́пи, мультирезистентні до азимсульфурону, біспірибак-натрію, цигалофоп-бутилу, імазамоксу, пеноксуламу, профоксидиму, а в Туреччині – до біспірибак-натрію, цигалофоп-бутилу та пеноксуламу [8].

Зазначимо, що засмічення посівів злаковими бур'янами в агрофітоценозах в Україні та у світі значно посилюється починаючи з 50-х років попереднього століття за широкого впровадження селективних проти дводольних видів похідних арилоксифеноксіоцтової, пропіонової й бензойної кислот. Ця тенденція зберігається до останнього часу. Тому ідентифікація АЛС-резистентного біотипу плоскухи ускладнює контроль бур'янів у таких культурах сівозмін у південних регіонах країни: у посівах кукурудзи за крос-резистентності плоскухи звичайної до нікосульфурону, соняшнику – до імідазолінонів (імазамокс, імазапір), пшениці та ячменю – до численних АЛС-гербіцидів, а також робить недоцільним застосування у виробництві пеноксуламу на посівах рису.

У 2019 і 2020 рр. у ряді господарств Чернігівської та Черкаської областей виявлено відсутність ефективності композиційного АЛС-гербіциду “МайсТер Пауер” (Байер Кроп Сайенс, Україна; 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 посівах пшениці, сої, соняшнику та кукурудзи щороку протягом понад 7 років застосовували гербіциди – інгібітори АЛС. У 2021 р. на цих же полях на посівах соняшнику вносили композиційний гербіцид “Євро-Лайтнінг” (БАСФ; імазамокс, 33 г/л + імазапір, 15 г/л) класу імідазолінонів, який виявився неефективним у боротьбі з високошкодочинним



Рис. 1. АЛС-резистентний біотип плоскухи звичайної домінує у посіві рису після внесення пеноксуламу, південь Херсонської області, 2015–2021 рр.



Рис. 2. АЛС-резистентний біотип щиряці запрокинутої уражує посів соняшнику NK Neoma CRU Clearfield hybrid після внесення гербіциду “Євро-Лайтнінг” класу імідазоліонів, Черкаська область, 2019–2021 рр.



Рис. 3. АЛС-резистентний біотип *Chenopodium album* у посіві соняшнику Р64HE118 ExpressSun hybrid (Pioneer) після застосування гербіциду Експрес 75 FMC (трибенуронметил, 750 г/кг), 50 г/га, Вінницька область, 2022

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

Варіант/ гербіцид	Діючі речовини	Доза, мг/0,5 кг грунту	Південь України		Центральна частина “зернового поясу” України				
			<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>		<i>Amaranthus retroflexus</i>			<i>Chenopodium album</i>	
			1*	2	3	4	5	6	7
Контроль	—	—	0 ^{a**}	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 ^б	0 ^a	—	—	—	—	—
		0,5	100 ^б	0 ^a	—	—	—	—	—
“Євро- Лайтнінг”	Імазапір, 15 г/л + імазамокс, 33 г/л	1,0	70 ^д	0 ^a	100 ^б	0 ^a	0 ^a	90 ^в	0 ^a
		2,0	90 ^в	0 ^a	100 ^б	0 ^a	0 ^a	100 ^г	0 ^a
“Пульсар 40”	Імазамокс, 40 г/л	1,0	80 ^г	5 ^a	90 ^в	0 ^a	0 ^a	80 ^б	0 ^a
		2,0	90 ^в	0 ^a	100 ^б	0 ^a	0 ^a	90 ^в	0 ^a
“Мілагро 040 SC”	Нікосульфурон, 40 г/л	1,0	100 ^б	5 ^a	—	—	—	—	—
“Експрес 75 ВГ”	Трибенурон-метил, 750 г/кг	0,5	—	—	90 ^в	0 ^a	0 ^a	80 ^б	0 ^a
		1,0	—	—	100 ^б	0 ^a	0 ^a	100 ^г	0 ^a
“МайсТер Пауер”	Форамсульфурон, 31,5 г/л + йодо- сульфурон, 1,0 г/л + тіенкарбазон- метил, 10 г/л + ципросульфамід (ан- тидот), 15 г/л	1,0	—	—	95 ^б	0 ^a	5 ^{аб}	100 ^г	5 ^{аб}
		2,0	—	—	100 ^б	20 ^б	10 ^б	100 ^г	10 ^б
“Дербі 175, к. с.”	Флуметсулам, 100 г/л + флорасулам, 75 г/л	0,5	—	—	70 ^г	5 ^a	5 ^a	80 ^б	0 ^a
		1,0	—	—	90 ^в	10 ^в	5 ^a	90 ^в	0 ^a
“Гранстар Голд”	Трибенурон-метил, 562,5 г/л + ти- фенсульфурон-метил, 187,5 г/кг	0,5	—	—	80 ^{вг}	0 ^a	0 ^a	80 ^б	0 ^a
		1,0	—	—	90 ^в	10 ^в	0 ^a	100 ^г	10 ^б
Синтетичні ауксини та композиції з ними									
“Пріма”	Флорасулам, 6,25 г/л + 2-етилгекси- ловий ефір 2,4-Д, 452,5 г/л	0,5	—	—	100 ^б	100 ^г	100 ^в	100 ^г	100 ^в
“Діанат”	Дикамби диметиламінна сіль, 480 г/л	0,5	—	—	100 ^б	100 ^г	100 ^в	100 ^г	100 ^в
“Стеллар”	Дикамба, 160 г/л + топрамезон, 50 г/л	1,0	—	—	100 ^б	100 ^г	100 ^в	100 ^г	100 ^в
“Галера Супер”	Клопіралід, 267 г/л + піклорам, 80 г/л + амінопіралід, 17 г/л	0,5	—	—	100 ^б	100 ^г	100 ^в	100 ^г	100 ^в
Інгібітори синтезу хлорофілу / блічінг-гербіциди									
“Челендж + Меро”	Аклоніфен, 600 г/л + ріпаково-мети- ловий ефір, 810 г/л	2,0 + 0,5	—	—	100 ^б	100 ^г	100 ^в	100 ^г	100 ^в

Варіант/ гербицид	Діючі речовини	Доза, мг/0,5 кг грунту	Південь України		Центральна частина “зернового поясу” України				
			<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>		<i>Amaranthus retroflexus</i>			<i>Chenopodium album</i>	
			1*	2	3	4	5	6	7
Інгібітори 5-енол-пірувілшикімат-3-фосфат синтази									
“Раундап Макс”	Гліфосат, 450 г/л гліфосату у кислот- ному еквіваленті (551 г/л у формі ка- лійної солі гліфосату)	2,0	100 ^b	100 ^b	100 ^b	100 ^г	100 ^В	100 ^г	100 ^В
Інгібітори ацетил-КоА-карбоксилази (грамініциди)									
“Аксіал 050 ЕС”	Піноксаден, 50 г/л + клоквінтосет— мексил (антидот)	1,0	100 ^b	100 ^b	—	—	—	—	—

Примітка. *Місце збору насіння бур'яну: 1, 3, 6 — неорні угіддя Дослідного сільськогосподарського виробництва ІФРГ НАН України в 2020 р., 2 — під м. Каланчак Херсонської області на полях рису в 2015–2020 рр., 4 — Чернігівська область, під м. Бахмач на полях соняшнику в 2020 р., 5 — Черкаська область, с. Іваньки на полях соняшнику в 2021 р., 7 — Вінницька область, під с. Гнівани на полі соняшнику в 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 $P < 0,05$.

Таблиця 2. Вплив сульфату амонію на ефективність контролювання АЛС-резистентних щиріці запрокинутої та лободи білої гербицидами, 20-та доба після оброблення, 0 % — ефективність відсутня, 100 % — рослини загинули

Гербицид	Діючі речовини	Доза, мг/посудину	Ефективність контролю щиріці запрокинутої	Ефективність контролю лободи білої
Контроль, без застосування агрохімікатів				
“Діанат”	Дикамби диметиламінна сіль, 480 г/л	0,5	70 ^b	80 ^b
“Діанат” + сульфат амонію	Дикамби диметиламінна сіль, 480 г/л + (NH ₄) ₂ SO ₄	0,5 + 5,0	100 ^В	95 ^В
“Стеллар”	Дикамба, 160 г/л + топразамезон, 50 г/л	1,0	75 ^b	70 ^b
“Стеллар” + сульфат амонію	Дикамба, 160 г/л + топразамезон, 50 г/л + (NH ₄) ₂ SO ₄	1,0 + 5,0	95 ^В	95 ^В

видом щиріці запрокинутої (*Amaranthus retroflexus* L.) (рис. 2, табл. 1). У 2022 р. виявлено неефективність подвійного, з інтервалом у 10 діб, внесення трибенурон-метилу (“Експрес 75”, ТОВ “ФМС Україна”) у дозі двічі по 50 г/га або “Євро-Лайтнінг” в максимальній зареєстрованій дозі (1,2 л/га) щодо контролю лободи білої (*Chenopodium album* L.) у Вінницькій і Чернігівській областях (рис. 3, табл. 1).

Рівень контролювання дводольних видів *A. retroflexus* та *C. album* за внесення гербіцидів у максимальних зареєстрованих в Україні дозах — 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, відсутність прояву фітотоксичності імідазолінонів у даних дозах застосування свідчить про формування АЛС-резистентності у популяціях щиріці та лободи на полях у виробництві.

За внесення триазолпіримідинів сульфоанлідів (флорасулам, флуметсулам) спостерігали початкове слабке інгібування розвитку рослин, проте у часі ефективного контролювання виду було також відсутнє. Подібна залежність визначена щодо ефективності композицій АЛС-гербіцидів форамсульфурон + йодосульфурон + тієнкарбазон-метил та трибенурон-метил + тифенсульфурон-метил — спостерігалися слабкі опіки дводольних видів рослин після обприскування з відсутністю контролю бур'яну за місяць після обробки.

Внесення гліфосату — інгібітора ферменту 5-енолпірувіл-шикімат-3-фосфатсинтази 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 ефективно контролювали грамініцидом.

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 кислотним фрагментом у структурі (похідні феноксіоцтової кислоти, бензойної кислоти — дикамба тощо) додавання до робочого розчину пулів амонію може призводити до підвищення фітотоксичності композиції. Пул амонію підвищує ефективність контролювання АЛС-резистентної щиріці запрокинутої гербіцидами — похідним бензойної кислоти (діанат) та похідним бензойної кислоти з інгібітором 4-гідроксифенілпіруват діоксигенази (НРРД) (“Стеллар” — дикамба + топрамезон). Механізмом даного посилення фітотоксичності гербіциду може бути активація протонування H^+ -АТФази плазмалеми під впливом катіона амонію [9, 10]. За додавання солей амонію до робочих розчинів гербіцидів (дикамба, вірогідно — похідні 2,4-Д) можливо досягти вищих рівнів контролювання АЛС-резистентних бур'янів і скоротити терміни прояву фітотоксичності композицій.

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, а також застосування гербіцидів з різними механізмами дії окремо або в композиціях у виробничих посівах [2–4, 8, 12, 13].

Висновки. В Україні ідентифіковано високошкодочинні біотики АЛС-резистентних бур'янів. Встановлено, що імідазолінон-резистентний біотип злакового виду плоскухи звичайної крос-резистентний до широкоживаних гербіцидів класів сульфонілсечовин, триазолпіримідинів. При цьому значно обмежуються можливості хімічного контролю виду у посівах рису, пшениці, кукурудзи, соняшнику, сої тощо. Не виявлено мультирезистентності біотипу плоскухи звичайної до гербіцидів — інгібіторів 5-енолпірувілшикімат-3-фосфатсинтази (неселективний гліфосат) та ацетил-КоА-карбоксилази (післяходові грамініциди).

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

Вперше показано, що композиції гербіцидів під впливом пулу амонію можуть підвищувати рівень ефективності контролювання резистентних біотипів бур'янів. Так, додавання сульфату амонію підвищує ефективність контролювання АЛС-резистентних щиріці запрокинутої та лободи білої гербіцидами — похідним бензойної кислоти (діанат) та похідним бензойної кислоти з інгібітором 4-гідроксифенілпіруват діоксигенази (HPPD) (“Стеллар” — дикамба + топрамезон).

Ідентифікація АЛС-резистентних біотипів плоскухи звичайної, щиріці запрокинутої та лободи білої на півдні й у центральній частині “зернового поясу” України свідчить про обмеженість ефективності контролювання бур'янів гербіцидами виключно з одним механізмом дії, у зв'язку з чим постає питання 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 (<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 висловлюють вдячність компаніям ТОВ “Українські рисові системи груп”, БАСФ-Україна, ТОВ “ФМС Україна”, ТОВ “ПоділляЛатІнвест” та I. Heep (International Herbicide-Resistant Weed Database) за підтримку проведення досліджень і обговорення результатів.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Моргун В.В., Швартау В.В., Киризий Д.А. Физиологические основы формирования высокой продуктивности зерновых злаков. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2010. **42**, № 5. С. 371–392.
2. Швартау В.В. Детектування резистентних до дії гербіцидів — інгібіторів ацетолактатсинтази бур'янів. *Вісник аграрної науки*. 2015. **93**, № 12. С. 52–54.

3. 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.
4. Mykhalska L.M., Schwartau V.V. Identification of acetolactate synthase resistant *Amaranthus retroflexus* in Ukraine. *Regul. Mech. Biosyst.* 2022. **13**, № 3. P. 231–240. <https://doi.org/10.15421/022230>
5. Duggleby R.G., McCourt J.A., Guddat L.W. Structure and mechanism of inhibition of plant acetoxyacid synthase. *Plant Physiol. Biochem.* 2008. **46**, № 3. P. 309–324. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.12.004>
6. Powles S.B., Yu Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2010. **61**, № 1. P. 317–347. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>
7. Peterson M.A., Collavo A., Ovejero R., Shivrain V., Walsh M.J. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Manag. Sci.* 2018. **74**, № 10. P. 2246–2259. <https://doi.org/10.1002/ps.4821>
8. Heap I.M. The international survey of herbicide resistant weeds. 2022. <http://www.weedscience.org>
9. Швартау В.В., Михальська Л.М. Гербіциди. Фізіологічні основи регуляції фітотоксичності. Київ: Логос, 2013. 392 с.
10. Швартау В.В., Михальська Л.М. Гербіциди. Фізико-хімічні та біологічні властивості. Київ: Логос, 2013. 906 с.
11. Burgos N.R. Whole-plant and seed bioassays for resistance confirmation. *Weed Sci.* 2015. **63**, Iss. SP1. P. 152–165. <https://doi.org/10.1614/WS-D-14-00019.1>
12. Іващенко О.О. Зелені сусіди. Київ: Фенікс, 2013. 480 с.
13. Іващенко О.О., Іващенко О.О. Загальна гербологія. Київ: Фенікс, 2019. 752 с.

Надійшло до редакції 17.08.2022

REFERENCES

1. Morgun, V. V., Schwartau, V. V. & Kiriziy, D. A. (2010). Physiological fundamentals of grain cereals high productivity forming. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 42, No. 5, pp. 371-392 (in Russian).
2. Schwartau, V. V. (2015). Detecting resistant to action of herbicides – inhibitors of acetolactatsynthase of weeds. *Bulletin of Agricultural Science*, 93, No. 12, pp. 52-54 (in Ukrainian).
3. Schwartau, V. V., Mykhalska, L. M. & Zhurenko, O. V. (2016). Detection of weed resistance to herbicides action in Ukraine. *Karantin i zahist roslin*, No. 2-3, pp. 30-31(in Ukrainian).
4. Mykhalska, L. M. & Schwartau, V. V. (2022). Identification of acetolactate synthase resistant *Amaranthus retroflexus* in Ukraine. *Regul. Mech. Biosyst.*, 13, No. 3, pp. 231–240. <https://doi.org/10.15421/022230>
5. Duggleby, R. G., McCourt, J. A. & Guddat, L. W. (2008). Structure and mechanism of inhibition of plant acetoxyacid synthase. *Plant Physiol. Biochem.*, 46, No. 3, pp. 309-324. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.12.004>
6. Powles, S. B. & Yu, Q. (2010). Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 61, No. 1, pp. 317-347. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>
7. Peterson, M. A., Collavo, A., Ovejero, R., Shivrain, V. & Walsh, M. J. (2018). The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Manag. Sci.*, 74, No 10, pp. 2246-2259. <https://doi.org/10.1002/ps.4821>
8. Heap, I. M. (2022). International survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org>
9. Schwartau, V. V. & Mykhalska, L. M. (2013). *Herbicides. Physiological bases of regulation of phytotoxicity*. Kyiv: Logos (in Ukrainian).
10. Schwartau, V. V. & Mykhalska, L. M. (2013). *Herbicides. Physico-chemical and biological properties*. Kyiv: Logos (in Ukrainian).
11. Burgos, N. R. (2015). Whole-plant and seed bioassays for resistance confirmation. *Weed Sci.*, 63, Iss. SP1, pp. 152-165. <https://doi.org/10.1614/WS-D-14-00019.1>
12. Ivashchenko, O. O. (2013). *Green neighbors*. Kyiv: Feniks (in Ukrainian).
13. Ivashchenko, O. O. & Ivashchenko, O. O. (2019). *General herbology*. Kyiv: Feniks (in Ukrainian).

Received 17.08.2022

V.V. Schwartau, <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>

L.M. Mykhalska, <https://orcid.org/0000-0002-0677-5574>

Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: VictorSchwartau@gmail.com

HERBICIDE-RESISTANT WEED BIOTYPES IN UKRAINE

In Ukraine, 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*, and dicot *Amaranthus retroflexus*, and *Chenopodium album* 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 – thien carbazon-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 for the first time that herbicide compositions under the influence of the ammonium pool can increase the level of controlling resistant weed biotypes effectiveness. The identification of highly harmful ALS-resistant *Echinochloa crus-galli*, *Amaranthus retroflexus*, and *Chenopodium album* 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.

Keywords: resistance, herbicides, acetolactate synthase inhibitors, weeds.