

<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 біотиби 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, біотиби 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 триазолпіримідинів (пеноксилам), дводольних видів до сульфонілсечовин форамсульфуру та йодосульфурон-метил-натрію, тифенсульфурун-метилу, трибенурун-метилу; а також до похідного сульфоніламінокарбонілтриазоліонів — тієнкарбазон-метилу; до похідних триазолпіримідинів — 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 біотиби 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 ацетолактатсинтази (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 щириці запрокинутої уражує посів соняшнику NK Neoma CRU Clearfield hybrid після внесення гербіциду “Євро-Лайтнінг” класу імідазолінонів, 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 (трибенурон-метил, 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 ^б	100 ^б	100 ^б	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 ^б	100 ^б	—	—	—	—	—

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		—	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 ^в	95 ^в
“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 ^в	95 ^в

видом шириці 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 шириці 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 їй, 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 шириці 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 імідазоліон-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 імідазоліонів — імазапіру та імазамоксу. Виявлено крос-резистентність до гербіцидів — інгібіторів АЛС класу сульфонілсечовин, а також до похідного триазоліонів, 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

