

Received: 10.02.2022 / Accepted: 21.03.2022

ARTYKUŁ ORYGINALNY

Odporność wyczyńca polnego (*Alopecurus myosuroides* Huds.) na inhibitory ALS w rejonie południowo-zachodniej Polski

Resistance of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) to ALS inhibitors in region of south-western Poland

Katarzyna Marczevska-Kolasa^{A*}, Mariusz Kucharski^B, Marcin Bortniak^C

Streszczenie

Celem przeprowadzonych badań była identyfikacja w południowo-zachodniej Polsce odpornych i wrażliwych biotypów *Alopecurus myosuroides* na różne substancje z grupy inhibitorów ALS oraz ustalenie stopnia odporności na te związki. Doświadczenia przeprowadzono metodą testów biologicznych. Badano 3 substancje z grupy inhibitorów ALS. Na podstawie redukcji świeżej masy roślin wyznaczano wskaźnik ED₅₀ i określano indeks odporności (RI). Przeprowadzone badania potwierdziły występowanie na polach Dolnego Śląska i Śląska Opolskiego odpornych biotypów *A. myosuroides* na inhibitory ALS. Zidentyfikowano odporność krzyżową wyczyńca polnego na herbicydy sulfonilomocznikowe (tj. sulfosulfuron, jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metylowy) oraz na sulfonilaminokarbonylotriazoliny (propoksykarbazon sodowy). Spośród wszystkich osobników odpornych, aż 76% biotypów *A. myosuroides* wykazywało odporność krzyżową. Najwyższy indeks odporności na propoksykarbazon i mieszaninę jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylo- wym wynosił ponad 100, a na sulfosulfuron ponad 200.

Słowa kluczowe: inhibitory ALS, odporność krzyżowa, wyczyńiec polny, indeks odporności, ED₅₀

Abstract

The aim of the research was to identify resistant and sensitive biotypes of *Alopecurus myosuroides* to various substances from the ALS inhibitors group and to determine the degree of resistance to these compounds in south-western Poland. The experiments were performed by the method of biological tests. Three substances from the group of ALS inhibitors were tested. On the basis of the reduction in fresh weight of the plants, the ED₅₀ index and the resistance index (RI) was determined. The conducted research confirmed the presence of *A. myosuroides* biotypes resistant to ALS inhibitors in the fields of Lower Silesia and Opole Silesia. Cross-resistance of blackgrass to sulfonilurea herbicides (i.e. sulfosulfuron, iodosulfuron-methylsodium + mesosulfuron-methyl) and to sulfonilaminocarbonyl triazolines (sodium propoxycarbazone) was identified. Among all resistant samples, as much as 76% of *A. myosuroides* biotypes showed cross resistance. The highest index of resistance to propoxycarbazone and the mixture of iodosulfuron-methyl sodium with mesosulfuron-methyl was over 100 and for sulfosulfuron over 200.

Key words: ALS inhibitors, cross-resistance, blackgrass, resistance index, ED₅₀

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
Orzechowa 61, 50-540 Wrocław

*corresponding author: k.marczevska@iung.wroclaw.pl

ORCID: ^A0000-0001-5625-5991, ^B0000-0001-7631-2084, ^C0000-0002-6286-4774

Wstęp / Introduction

Ważnym elementem w uprawie zbóż ozimych jest odpowiednie zwalczanie chwastów, zwłaszcza gatunków jednoliściennych, tj.: *Alopecurus myosuroides* i *Apera spica-venti*. Ze względu na ich botaniczne pokrewieństwo ze zbożami, stają się wyjątkowo konkurencyjne dla rośliny uprawnej (Rudnicki i Jaskulski 2006; Moss i wsp. 2007).

Mimo, że od wielu lat gatunki jednoliścienne zwalczane są chemicznie, to ostatnio obserwuje się wzrost zachwaszczenia nimi plantacji zbóż, głównie pszenicy ozimej. Od dłuższego czasu docierają informacje od plantatorów zarówno z Dolnego Śląska, jak i innych rejonów Polski o słabej skuteczności herbicydów w ich niszczeniu. Może to mieć związek z pojawieniem się zjawiska odporności na herbicydy, czyli dziedziczną zdolnością roślin do przetrwania i reprodukcji po zastosowaniu dawki herbicydu, która zwykle powoduje jej zniszczenie (Heap 2022). Chwasty mogą wykazywać odporność na jeden specyficzny herbicyd, wówczas jest to tzw. odporność prosta lub pojedyncza. Mogą również wykazywać odporność mieszaną (krzyżową). W tym przypadku nie reagują one na co najmniej dwa herbicydy o tym samym mechanizmie działania, ale o różnej budowie chemicznej. Spotyka się także tzw. odporność wielokrotną, polegającą na braku wrażliwości określonego biotypu chwastu na co najmniej dwa herbicydy z różnych grup chemicznych i o różnym mechanizmie działania (Woźnica i wsp. 1996). Obecnie według informacji zawartych w bazie danych międzynarodowej organizacji powołanej do koordynacji badań i zapobiegania odporności chwastów – HRAC – Herbicide Resistance Action Committee, na świecie zidentyfikowano 509 biotypów chwastów odpornych na różne substancje czynne herbicydów, w tym 113 stanowią biotypy gatunków jednoliściennych. Najwięcej przypadków odporności wśród gatunków jednoliściennych zidentyfikowano na herbicydy z grupy inhibitorów ALS (65 przypadków) oraz inhibitorów ACCase (50). W ostatnim czasie pojawiły się na świecie nowe przypadki odporności wielokrotnej *A. myosuroides* na herbicydy z grupy inhibitorów syntazy acetylomleczanowej – ALS oraz inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A-ACCazy (Heap 2022). Również w niektórych rejonach Polski potwierdzono już występowanie odporności wielokrotnej *A. myosuroides* na te herbicydy (Adamczewski i wsp. 2016). Dodatkowo potwierdzono również odporność innych gatunków jednoliściennych na herbicydy sulfonilomocznikowe (Marczewska i wsp. 2006; Adamczewski i Kierzek 2007) oraz na inhibitory ACCazy (Stokłosa i wsp. 2006; Adamczewski i wsp. 2013; Saja i wsp. 2014).

Celem przeprowadzonych badań było wyselekcjonowanie w południowo-zachodniej Polsce odpornych i wrażliwych biotypów *A. myosuroides* na różne substancje z grupy inhibitorów ALS oraz ustalenie stopnia odporności na te środki.

Materiały i metody / Materials and methods

Badania prowadzono w latach 2019–2021. W pierwszym etapie pobierano nasiona *A. myosuroides* z upraw zbożowych w celu pozyskania materiału do badań skryningowych. Z roślin, które przetrwały zabieg herbicydowy na plantacji pobrano nasiona do testów w warunkach kontrolowanych. Testy przeprowadzono w laboratorium biologicznym, w którym oświetlenie wynosiło min. 4 tys. luxów, temperatura $22/15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, a wilgotność powietrza utrzymywano na poziomie $70\% \pm 5\%$. Doświadczenia wykonano w 3 powtórzeniach, w dwóch seriach. Nasiona wysiewano do doniczek o średnicy 6 cm, wypełnionych substratem glebowym, który stanowiła ziemia uniwersalna wymieszana z piaskiem w stosunku 2 : 1. W tak przygotowane podłoże wysiewano nasiona badanych biotypów wyczyńca polnego. Po ustaleniu wschodów wykonano przerywkę roślin i zredukowano ich liczbę do 5 szt. na doniczkę. W fazie 1–2 liści rośliny opryskano herbicydami. Aplikację herbicydu przeprowadzono w komorze opryskowej „Aporo” wyposażonej w ruchomą dyszę typu Tee-Jet 11003-VS, pracującej z ciśnieniem roboczym 200 kPa i zapewniającej wydatek cieczy roboczej 250 l/ha.

W pierwszej kolejności wykonano testy wstępne w celu wyselekcjonowania biotypów mogących wykazywać odporność. W testach tych zastosowano środki tylko w dawce zalecanej. Jeśli redukcja świeżej masy roślin w porównaniu do roślin kontrolnych była mniejsza lub równa 50%, wówczas uznano, że taki biotyp może wykazywać odporność. Wyselekcjonowane osobniki poddano dalszym testom szczegółowym, w których zastosowano herbicydy zarówno w dawkach subletalnych (1/2 dawki zalecanej), jak i kilkakrotnie wyższych od zalecanych w praktyce (1N – zalecana, 2N – 2-krotnie wyższa, 4N, 8N, 16N i 32N). Dawkę zalecaną stanowiła maksymalna ilość danej substancji rekomendowana do jednorazowej aplikacji (zgodnie z wytycznymi etykiety stosowania herbicydu). Wykaz substancji czynnych (s.c.) herbicydów stosowanych w doświadczeniach przedstawiono w tabeli 1.

Po upływie 4 tygodni od oprysku ustalano stopień zniszczenia chwastów metodą wagową. Określano plon świeżej masy roślin w celu wyznaczenia wskaźnika ED_{50} , który wskazuje taką dawkę substancji czynnej herbicydu, pod wpływem której następuje redukcja świeżej masy roślin o 50%, w porównaniu do obiektu kontrolnego, na którym nie stosowano środka. Iloraz ED_{50} dla biotypów odpornych i wrażliwych na daną substancję wyznacza tzw. indeks odporności (resistance index – RI).

W celu wyznaczenia RI wykonano test szczegółowy również dla biotypu wrażliwego. W tym przypadku środki zastosowano w dawkach: 1/4, 1/2, 3/4 oraz pełna dawka rekomendowana (1N) i podwójna (2N). Wartości ED_{50} wyznaczone zostały przy użyciu pakietu „drc” w programie R Core Team wersja 3.5.1 (Knezevic i wsp. 2007;

Tabela 1. Charakterystyka herbicydów zastosowanych w doświadczeniu
Table 1. Characteristics of herbicides applied in experiment

Grupa herbicydu wg HRAC Herbicide group by HRAC	Grupa chemiczna Chemical family	Zawartość substancji czynnej Active substance content	Nazwa herbicydu Herbicide	Dawka s.cz. na ha Dose a.s. per ha
2 (B) – Inhibitory syntetazy acetylomleczanowej (ALS) 2 (B) – Inhibitors of acetolactate synthase (ALS)	sulfonyloaminokarbonylotriazolinony sulfonylamino-carbonyltriazolinone	propoksykarbazon sodowy propoxycarbazone 700 g/kg	Attribut 70 SG	70 g
	sulfonylomoczniki sulfonylurea	sulfosulfuron sulfosulfuron 750 g/kg	Apyros 75 WG*	19,87 g
		jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metylowy iodosulfuron + mesosulfuron 2 g/l + 10 g/l	Atlantis 12 OD	2,4 g + 12 g

*herbicyd zastosowano z adiuwantem zgodnie z etykietą stosowania – herbicide applied with adjuvant according to the instruction

Venables i wsp. 2018). Na podstawie krzywej zależności zmian świeżej masy chwastów od zastosowanej dawki substancji czynnej herbicydu dla wrażliwego i odpornego biotypu, obliczono indeks odporności. Wartości indeksu określa poziom odporności danego biotypu: $2 < RI < 4$ – poziom niski, $4 \leq RI \leq 8$ – poziom średni oraz $RI > 8$ – poziom wysoki (Kucharski i Rola 2006; Burgos 2015).

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Ze względu na specyficzne wymagania siedliskowe, *A. myosuroides* nie występuje równomiernie na terenie całego kraju. Jest to roślina, która preferuje gleby wilgotne, średnie do ciężkich, zwięzłe, gliniaste oraz rędziny, o dużej zawartości wapnia i substancji odżywczych (Adamczewski i wsp. 2016). Dodatkowo informacje napływające od plantatorów, potwierdzające słabą skuteczność niektórych środków w niszczeniu wyczyńca polnego spowodowały, że pobór próbek nasion skoncentrowano w 3 rejonach południowo-zachodniej Polski. Materiał do badań pozyskano z rejonu Grodkowa (w województwie opolskim), z okolic Dzierżoniowa i Legnicy.

Spośród 22 przebadanych próbek nasion wyczyńca, u 17 potwierdzono odporność na herbicydy, a u 5 biotypów

wrażliwość. Połowa ze wszystkich przebadanych biotypów wykazywała odporność na propoksykarbazon sodowy, 36% na sulfosulfuron, a 23% na mieszaninę jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym (tab. 2).

Przykładowy wpływ badanych substancji na zmiany świeżej masy odpornego i wrażliwego biotypu wyczyńca polnego przedstawiono w tabelach 3 i 4. W przypadku biotypu odpornego dawka zalecana dla każdej z testowanych substancji spowodowała redukcję świeżej masy jedynie o około 20%, w porównaniu do obiektu kontrolnego. Dopiero propoksykarbazon sodowy i sulfosulfuron w dawce ponad 10-krotnie wyższej od zaleczanych w praktyce spowodowały redukcję świeżej masy roślin w 50%, w porównaniu do roślin nieopryskanych. Wartości współczynnika ED_{50} wynosiły odpowiednio 727 oraz 206 g substancji czynnej. Po zastosowaniu mieszaniny jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym 50% redukcja świeżej masy wyczyńca polnego nastąpiła po aplikacji dawki ponad 7-krotnie wyższej od zalecanej ($ED_{50} = 108$ g s.cz.). Na wszystkie wyżej wymienione substancje badany biotyp wykazywał wysoki poziom odporności, o czym świadczą wartości RI (tab. 3). Podobne wyniki uzyskali Adamczewski i wsp. (2016), którzy zidentyfikowali odporność *A. myosuroides* między innymi na mieszaninę jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym. W swoich

Tabela 2. Liczba biotypów *Alopecurus myosuroides* odpornych i wrażliwych na inhibitory ALS
Table 2. Number of *Alopecurus myosuroides* biotypes resistant and susceptible to ALS inhibitors

Substancja czynna Active substance	Biotypy odporne Resistant biotypes (R)	Biotypy wrażliwe Susceptible biotypes (S)
Propoksykarbazon sodowy – Propoxycarbazone	11	11
Sulfosulfuron – Sulfosulfuron	8	14
Jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metylowy Iodosulfuron + mesosulfuron	5	17

Tabela 3. Wpływ inhibitorów ALS na świeżą masę odpornego biotypu *Alopecurus myosuroides* (miejsce poboru nasion: Kolnica)
Table 3. Influence of ALS inhibitors on fresh weight of resistant *Alopecurus myosuroides* biotype (place of seed collection: Kolnica)

Dawka Dose	Propoksykarbazon sodowy Propoxycarbazone		Sulfosulfuron Sulfosulfuron		Jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metylowy Iodosulfuron + mesosulfuron	
	świeża masa fresh weight [g]	redukcja masy weight reduction [%]	świeża masa fresh weight [g]	redukcja masy weight reduction [%]	świeża masa fresh weight [g]	redukcja masy weight reduction [%]
K	1,549	–	1,396	–	1,426	–
1/2N	1,396	10	1,117	20	1,206	15
1N	1,224	21	1,092	22	1,122	21
2N	1,237	20	1,093	22	1,077	24
4N	1,182	24	1,023	27	0,913	36
8N	1,038	33	0,913	35	0,493	65
16N	0,667	60	0,592	58	0,387	73
32N	0,591	62	0,356	74	0,209	85
ED ₅₀	727 g		206 g		108 g	
RI	135,1		214,6		102,8	

Tabela 4. Wpływ inhibitorów ALS na świeżą masę wrażliwego biotypu *Alopecurus myosuroides* (miejsce poboru nasion: Gnojna)
Table 4. Influence of ALS inhibitors on fresh weight of susceptible *Alopecurus myosuroides* biotype (place of seed collection: Gnojna)

Dawka Dose	Propoksykarbazon sodowy Propoxycarbazone		Sulfosulfuron Sulfosulfuron		Jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metylowy Iodosulfuron + mesosulfuron	
	świeża masa fresh weight [g]	redukcja masy weight reduction [%]	świeża masa fresh weight [g]	redukcja masy weight reduction [%]	świeża masa fresh weight [g]	redukcja masy weight reduction [%]
K	0,962	–	1,023	–	0,938	–
1/16N	0,649	33	0,357	65	0,538	43
1/8N	0,112	88	0,076	93	0,164	83
1/4N	0,096	90	0,079	92	0,021	98
1/2N	0,023	98	0,020	98	0,017	98
3/4N	0,016	98	0,013	99	0,015	98
1N	0,015	98	0,011	99	0,015	98
2N	0,012	99	0,012	99	0,013	99
ED ₅₀	5,38 g		0,96 g		1,05 g	

badaniach podkreślają, że do uzyskania 50% redukcji świeżej masy roślin potrzebne było od 31,2 do 53,1 g s.cz., w zależności od badanego biotypu. Dodatkowo Krysiak i wsp. (2011) potwierdzili w badaniach genetycznych odporność „w miejscu działania” wyczyńca polnego na mieszaninę jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym.

Dane zebrane w tabeli 4. pokazują, że dla biotypu wrażliwego zastosowanie zaledwie 5,38 g propoksykarbazonu sodowego spowodowało 50% redukcję świeżej masy w porównaniu do roślin kontrolnych (przy zalecanej dawce 70 g s.cz./ha). Po aplikacji sulfosulfuronu wartość ED₅₀ dla biotypu wrażliwego wynosiła 0,96 g s.cz. (zalecana dawka

19,9 g/ha), a po zastosowaniu mieszaniny jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym ED₅₀ = 1,05 g (przy zalecanej 14,4 g s.cz./ha). Podobne wyniki dla biotypu wrażliwego na testowaną mieszaninę substancji sulfonolomocznikowych uzyskali Adamczewski i wsp. (2016).

Na podstawie redukcji świeżej masy roślin i wyznaczenia wartości ED₅₀ określono również indeks odporności badanych biotypów *A. myosuroides*. Spośród 11 odpornych na propoksykarbazon sodowy próbek wyczyńca polnego, aż 8 wykazywało średni lub wysoki poziom odporności. Na sulfosulfuron wyczyniec wykazywał niższy poziom odporności. Połowa z przebadanych biotypów przejawiała

niski poziom odporności, a pozostałe średni lub wysoki. Najmniej biotypów wykazywało odporność na mieszaninę jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metyloowym, jednak aż 3 z 5 cechowały się wysokim jej poziomem (tab. 5).

W przeprowadzonych badaniach biotypy *A. myosuroides* wykazywały odporność na herbicydy hamujące syntezę aminokwasów o łańcuchach rozgałęzionych (waliny, leucyny i izoleucyny). Należą one według HRAC do 2 grupy (dawniej grupa B) czyli inhibitorów syntazy ALS. Jak podają Mallory-Smith i Retzinger (2003) w tej grupie środków znajdują się m.in. herbicydy sulfonilomocznikowe (zastosowane w doświadczeniach własnych: sulfosulfuron oraz mieszanina jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metyloowym), jak i sulfonyloaminokarbonylotriazolinony (zastosowany propoksykarbazon sodowy). Substancje z obu tych grup należą do inhibitorów ALS, więc mają ten sam mechanizm działania, ale różnią się budową chemiczną. Oznacza to, że przebadane biotypy *A. myosuroides* wykazują odporność krzyżową na te związki. Wszystkie osobniki, u których zidentyfikowano odporność na mieszaninę jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metyloowym wykazywały również odporność na sulfosulfuron i propoksykarbazon sodowy. Biotypy te stanowiły 29% spo-

śród wszystkich odpornych biotypów wyczyńca polnego. Dodatkowo krzyżową odporność na propoksykarbazon sodowy i sulfosulfuron potwierdzono u 47% przetestowanych próbek *A. myosuroides* (tab. 6).

Pojawienie się odporności krzyżowej na terenie południowo-zachodniej Polski wskazuje na konieczność wprowadzenia ograniczeń stosowania tych środków. Niepokojące są również doniesienia literaturowe wskazujące już rejony Polski, w których występują biotypy tego gatunku posiadające odporność wielokrotną (Adamczewski i wsp. 2016). Należy na takich plantacjach jak najszybciej wdrożyć działania zapobiegające rozprzestrzenianiu się tego zjawiska.

Wnioski / Conclusions

1. Na polach Dolnego Śląska i Śląska Opolskiego zidentyfikowano biotypy *A. myosuroides* odporne na inhibitory ALS.
2. Potwierdzono pojawienie się odporności krzyżowej wyczyńca polnego na herbicydy sulfonilomocznikowe (tj. sulfosulfuron, jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metyloowy) oraz na sulfonyloaminokarbonylotria-

Tabela 5. Wartości RI odpornych na inhibitory ALS biotypów *Alopecurus myosuroides*

Table 5. RI value of resistant to ALS inhibitors *Alopecurus myosuroides* biotypes

Substancja czynna Active substance	Stopień odporności RI Resistance index RI		
	2 < RI < 4 niski low level	4 ≤ RI ≤ 8 średni average level	RI > 8 wysoki high level
Propoksykarbazon sodowy – Propoxycarbazone	3	4	4
Sulfosulfuron – Sulfosulfuron	4	2	2
Jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metyloowy Iodosulfuron + mesosulfuron	1	1	3

Tabela 6. Odporność krzyżowa *Alopecurus myosuroides* na inhibitory ALS

Table 6. Cross-resistance of *Alopecurus myosuroides* to ALS inhibitors

Substancja czynna Active substance	Liczba biotypów <i>Alopecurus myosuroides</i> Number of <i>Alopecurus myosuroides</i> biotypes	
	[szt.] – [pcs]	[%]*
Propoksykarbazon sodowy – Propoxycarbazone Sulfosulfuron – Sulfosulfuron Jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metyloowy Iodosulfuron + mesosulfuron	5	29
Propoksykarbazon sodowy – Propoxycarbazone Sulfosulfuron – Sulfosulfuron	8	47
Suma – Total	13	76

*% biotypów z krzyżową odpornością w odniesieniu do ogólnej liczby biotypów odpornych *A. myosuroides* (17 szt.) – % of cross-resistance *A. myosuroides* biotypes in relation to total number of resistant biotypes (17 pcs)

zolinony (propoksykarbazon sodowy). Spośród wszystkich osobników odpornych, aż 76% biotypów *A. myosuroides* wykazywało odporność krzyżową.

3. Najwyższy stopień odporności na wszystkie testowane substancje zidentyfikowano u biotypu wykazującego również odporność krzyżową. Indeks odporności zarówno na propoksykarbazon, jak i mieszaninę jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym wynosił w tym przypadku ponad 100, a na sulfosulfuron ponad 200. Wynik taki świadczy o konieczności zaniechania stosowania tych środków na

takiej plantacji i szybkiego wprowadzenia działań „anty-odpornościowych”.

Finansowanie / Funding

Praca wykonana w ramach dofinansowania z Dotacji Celowej Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi w ramach realizacji zadania (7.3) pt. „Monitorowanie uodparniania się agrofagów na środki ochrony roślin oraz tworzenie programów redukcji ryzyka”.

Literatura / References

- Adamczewski K., Kierzek R. 2007. Występowanie biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti* L.) odpornej na herbicydy sulfonylomocznikowe. [Geographical distribution of *Apera spica-venti* resistance on sulfonylurea herbicides]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 47 (3): 333–340.
- Adamczewski K., Kierzek R., Matysiak K. 2013. Wild oat (*Avena fatua* L.) biotypes resistant to acetolactate synthase and acetyl-CoA carboxylase inhibitors in Poland. *Plant Soil and Environment* 59 (9): 432–437. DOI: 10.17221/177/2013-PSE
- Adamczewski K., Kierzek R., Matysiak K. 2016. Multiple resistance to acetolactate synthase (ALS)- and acetyl-coenzyme A carboxylase (ACCase)-inhibiting herbicides in blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations from Poland. *Journal of Plant Protection Research* 56 (4): 402–410. DOI: 10.1515/jppr-2016-0059
- Burgos N.L. 2015. Whole-plant and seed bioassays for resistance confirmation. *Weed Science* 63: 152–165. DOI: 10.1614/WS-D-12-00032.1
- Heap I. 2022. The international herbicide-resistant weed database. www.weedscience.org [dostęp: 27.01.2022].
- Knezevic S.Z., Streibig J.C., Ritz C. 2007. Utilizing R software package for dose-response studies: The concept and data analysis. *Weed Technology* 21 (3): 840–848. DOI: 10.1614/WT-06-161.1
- Krysiak M., Gawroński S., Kierzek R., Adamczewski K. 2011. Molecular basis of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) resistance to sulfonylurea herbicides. *Journal of Plant Protection Research* 51 (2): 130–133. DOI: 10.2478/v10045-011-0022-z
- Kucharski M., Rola H. 2006. Common chickweed (*Stellaria media* L.) populations resistant to photosystem II inhibiting herbicides in Poland. *Journal of Plant Diseases and Protection* 20: 123–129.
- Mallory-Smith C.A., Retzinger Jr. E.J. 2003. Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Technology* 17 (3): 605–619. DOI: 10.1614/0890-037X(2003)017[0605:RCOHBS]2.0.CO;2
- Marczewska K., Sadowski J., Rola H. 2006. Changes in branched chain amino acids content in leaves of *Apera spica-venti* biotypes resistant and susceptible to chlorsulfuron. *Journal of Plant Protection Research* 46 (2): 191–198.
- Moss S.R., Perryman S.A.M., Tatnell L.V. 2007. Managing herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*): theory and practice. *Weed Technology* 21: 300–309. DOI: 10.1614/WT-06-087.1
- Rudnicki F., Jaskulski D. 2006. Ocena wzajemnego oddziaływania konkurencyjnego pomiędzy roślinami uprawnymi a chwastami w łanach. [Evaluation of the competitive effect between crops and weeds in fields]. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura* 5 (1): 45–52.
- Saja D., Stokłosa A., Skoczowski A. 2014. Physiological tests for early detection of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) resistance to fenoxaprop-P. *Acta Physiologiae Plantarum* 36 (02): 485–491. DOI: 10.1007/s11738-013-1428-1
- Stokłosa A., Janeczko A., Skoczowski A., Kieć J. 2006. Isothermal calorimetry as a tool for estimating resistance of wild oat (*Avena fatua* L.) to aryloxyphenoxypropionate herbicides. *Thermochimica Acta* 411 (2): 203–206. DOI: 10.1016/j.tca.2005.09.009
- Venables W.N., Smith D.N., R Core Team. 2018. A programming environment for data analysis and graphics. <https://www.R-project.org> [dostęp: 15.01.2022].
- Woźnica Z., Adamczewski K., Manthey F.A. 1996. Biotypy chwastów odporne na herbicydy. [Herbicide resistant weed biotypes]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 36 (1): 97–101.