

UNIwersytet PRZYRODniczy w LUBLINIE

Wydział Agrobiotechnologii
Dyscyplina naukowa rolnictwo i ogrodnictwo

Justyna Łukasz

Rozprawa doktorska

**Ocena poziomu odporności miotły zbożowej
(*Apera spica-venti* (L.) P.B.) na wybrane substancje aktywne herbicydów**

*Evaluation of the level of resistance of loose silky-bent
(*Apera spica-venti* (L.) P.B.) to some active substances of herbicides*

Rozprawa doktorska wykonana w Katedrze Herbologii i Technik Uprawy Roślin

Promotor: dr hab. Małgorzata Haliniarz, prof. uczelni
Promotor pomocniczy: dr inż. Marta Stankiewicz-Kosyl

Lublin, 2023

*Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu pt.
„Strategia przeciwdziałania uodpornianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik
zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu”, współfinansowanego z funduszy
Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w programie BIOSTRATEG3*

Niniejszą Rozprawę doktorską pragnę dedykować:

*Moim wspaniałym dzieciom – **Adriannie i Maksymilianowi** – którzy byli dla mnie źródłem radości i siły przez ten trudny, a zarazem fascynujący czas. Od samego początku stali się największą motywacją do tego, aby pomiędzy śpiewaniem kołysanek, czytaniem bajek i spacerami odnaleźć odrobinę czasu i weny do tworzenia Tego dzieła, którego wynikiem jest nie tylko rozprawa doktorska, ale również Mój rozwój intelektualny, etyczny i społeczny;*

***Kochanemu Mężowi**, który nieustannie trwał przy mnie, znosił mój brak czasu, zmęczenie oraz nierzadko frustracje. Dziękuję za nieocenione wsparcie, cierpliwość i wyrozumiałość, to dzięki Tobie ten sukces był możliwy;*

***Najlepszemu Tacie**, który zaszczepił w mym sercu miłość do rolnictwa. Nauczył, że tylko ciężką pracą i wytrwałością można osiągnąć sukces i spełniać marzenia. Każda chwila spędzona wspólnie była lekcją, a pozostawione dziedzictwo trwa we Mnie...*

Rodzinie i Przyjaciółom

~ Autorka

Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Data Podpis promotora

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Świadoma odpowiedzialności prawnej oświadczam, że:

- niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana przez mnie samodzielnie pod kierunkiem Promotora/Promotorów/Promotora pomocniczego* i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.
- przedstawiona rozprawa doktorska nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego.
- niniejsza wersja rozprawy doktorskiej jest tożsama z załączoną na płycie CD/pendrive wersją elektroniczną.

Data Podpis autora

* niepotrzebne skreślić

Spis treści

Streszczenie	6
Summary	8
1. Wstęp i przegląd piśmiennictwa.....	10
1.1. Charakterystyka <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B. i jej zwalczanie.....	10
1.1.1. Morfologia miotły zbożowej (<i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.).....	10
1.1.2. Biologia miotły zbożowej (<i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.).....	13
1.1.3. Występowanie miotły zbożowej (<i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.)	16
1.1.4. Zwalczanie miotły zbożowej (<i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.).....	18
1.2. Odporność chwastów na herbicydy	24
1.2.1. Odporność i jej rodzaje	24
1.2.2. Fitness chwastów	26
1.2.3. Czynniki powstawania odporności	27
1.2.4. Problem odporności chwastów na herbicydy na świecie.....	32
1.2.4.1. Historia rozwoju odporności	32
1.2.4.2. Odporność chwastów na herbicydy na świecie w ujęciu statystycznym według Heap [2023].....	35
1.2.4.3. Odporność <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B. na świecie.....	40
1.2.5. Problem odporności chwastów na herbicydy w Polsce	42
1.2.5.1. Zarys historyczny	42
1.2.5.2. Odporność chwastów na herbicydy w Polsce w ujęciu statystycznym według Heap [2023].....	43
1.2.5.3. Odporność <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B. na herbicydy w Polsce	45
1.2.5.4. Odporność na herbicydy wybranych gatunków chwastów w Polsce	47
2. Cel i hipoteza badań.....	52
3. Charakterystyka obszaru badań.....	53
4. Materiał i metody badań.....	58
4.1. Pobieranie i ewidencjonowanie prób <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.	58

4.2.	Testy biologiczne w szklarniach.....	59
4.2.1.	Testy wstępne	61
4.2.2.	Testy szczegółowe i wyznaczanie współczynnika odporności (RI).....	62
4.3.	Analiza molekularna genu <i>als</i> wybranych populacji <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.	64
5.	Omówienie wyników badań.....	66
5.1.	Badania ankietowe	66
5.2.	Ocena wrażliwości na herbicydy miotły zbożowej występującej w województwie lubelskim i podlaskim.....	73
5.2.1.	Wrażliwość <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B. na inhibitory syntazy acetylomleczanowej (ALS) (HRAC 2).....	74
5.2.2.	Wrażliwość <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B. na inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCazy) (HRAC 1).....	84
5.2.3.	Wrażliwość <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B. na inhibitory fotosyntezy fotosystemu II (PSII) (HRAC 5) i inhibitory tworzenia mikrotubuli (HRAC 3).....	91
5.3.	Populacje <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B. o odporności wielokrotnej	95
5.4.	Analiza molekularna genu syntazy acetylomleczanowej wybranych populacji <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.	97
5.5.	Występowanie populacji odpornych <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.	99
6.	Dyskusja	103
7.	Stwierdzenia i wnioski.....	114
8.	Piśmiennictwo	116
9.	Spis fotografii, map, rysunków, tabel i wykresów	134
9.1.	Spis fotografii	134
9.2.	Spis map	135
9.3.	Spis rysunków	135
9.4.	Spis tabel	135
9.5.	Spis wykresów.....	137
	Karta charakterystyki próbki nasion (KCPN)	139

Streszczenie

Ocena poziomu odporności miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) na wybrane substancje aktywne herbicydów

Miotła zbożowa jest gatunkiem bardzo konkurencyjnym wobec roślin uprawnych, a jej obecność w łanie powoduje duże straty w plonach. W ostatnich latach, można zauważyć gwałtowny wzrost liczebności *Apera spica-venti*, która jako gatunek ekspansywny występuje powszechnie nie tylko w Polsce, ale i na świecie. Jej znaczący udział w zbiorowiskach segetalnych jest wynikiem m.in. dużego udziału zbóż w strukturze zasiewów oraz rosnącej liczby populacji odpornych na herbicydy.

Celem badań była ocena stopnia odporności *Apera spica-venti* występującej w agrocenozach województwa lubelskiego i podlaskiego na wybrane substancje aktywne z grupy inhibitorów syntazy acetylomleczanowej (ALS) – HRAC 2, inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCazy) – HRAC 1, inhibitorów fotosyntezy fotosystemu II (PSII) – HRAC 5 oraz inhibitorów tworzenia mikrotubuli – HRAC 3, wyjaśnienie mechanizmu odporności wybranych populacji oraz scharakteryzowanie praktyk rolniczych na polach, na których występowała miotła zbożowa odporna na herbicydy.

W hipotezie badawczej założono, że na terenie badanych województw występują populacje *Apera spica-venti* odporne na badane substancje aktywne, a najwięcej populacji charakteryzuje się odpornością na inhibitory ALS. Na podstawie analizy struktury zasiewów oraz informacji uzyskanych od rolników założono, że na terenie województwa lubelskiego występuje więcej odpornych na herbicydy populacji miotły zbożowej.

Próbki nasion potencjalnie odpornych na herbicydy 133 populacji *Apera spica-venti* pobrano w latach 2017-2020 z pól województwa lubelskiego i podlaskiego. W warunkach kontrolowanych przeprowadzono testy biologiczne. Odporność miotły zbożowej badano wobec czterech substancji aktywnych stosowanych powszechnie (jodosulfuron metylosodowy, piroksysulam, fenoksaprop-P-etylu i pinoksaden) oraz dwóch doglebowych (chlorotoluron i pendimetalina). Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono dawkę efektywną ED₅₀ oraz współczynnik odporności RI, które posłużyły do określenia poziomów odporności badanych populacji. Sześć populacji *Apera spica-venti* odpornych na

jodosulfuron metylosodowy poddano analizie molekularnej genu syntazy acetylmleczanowej.

Populacje odporne na herbicydy *Apera spica-venti* występowały głównie na polach, gdzie w strukturze zasiewu dominowała pszenica ozima uprawiana w systemie orkowym, a do odchwaszczania roślin rolnicy stosowali najczęściej substancje aktywne z grupy inhibitorów ALS (HRAC 2). Zidentyfikowano 129 populacji odpornych na jodosulfuron metylosodowy i 72 – odporne na piroksysulam, spośród których 71 odznaczało się odpornością krzyżową na obie ww. substancje z grupy inhibitorów ALS. Współczynnik odporności dla jodosulfuronu metylosodowego wynosił od 2,5 do 333,0, natomiast dla piroksysulamu od 2,1 do 43,0. Większość analizowanych populacji wykazała średni (RR) lub wysoki stopień odporności (RRR) na inhibitory ALS. Potwierdzono występowanie 19 populacji miotły zbożowej odpornych na fenoksaprop-P-etylu i dwóch odpornych na pinoksaden. Populacje *Apera spica-venti* odporne na inhibitory ACCazy w większości przypadków wykazały zmniejszoną wrażliwość (r) na badane substancje aktywne. Tylko trzy populacje odznaczały się wysokim poziomem odporności na fenoksaprop-P-etylu (RI=11,4-45,9). Badania potwierdziły skuteczność w zwalczaniu miotły zbożowej herbicydami doglebowymi. Tylko jedna populacja wykazała odporność na chlorotoluron, a wszystkie populacje były wrażliwe na pendimetalinę. Zidentyfikowano 20 populacji *Apera spica-venti* o odporności wielokrotnej na inhibitory ALS i inhibitory ACCazy oraz jedną na inhibitory ALS i inhibitory PSII. Analiza molekularna sześciu badanych populacji odpornych na inhibitory ALS wykazała występowanie u pięciu z nich odporności w miejscu działania wynikającej z mutacji w genie *als*.

Słowa kluczowe: *Apera spica-venti*, odporność na herbicydy, inhibitory ALS, inhibitory ACCazy, inhibitory PSII, inhibitory tworzenia mikrotubuli

Summary

*Evaluation of the level of resistance of loose silky-bent (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) to some active substances of herbicides*

Loose silky-bent is a very competitive species to crop plants and its presence in a crop causes large yield losses. As an expansive species, *Apera spica-venti* is commonly found not only in Poland, but also across the world, and a rapid increase in its numbers can be noticed in recent years. Its significant proportion in segetal communities is due to, among others, the high percentage of cereals in the crop structure and the growing number of populations resistant to herbicides.

The aim of the present study was to evaluate the level of resistance of *Apera spica-venti* occurring in agricultural ecosystems in Lubelskie and Podlaskie Voivodeships (regions) to some active substances from the group of acetolactate synthase (ALS) inhibitors (HRAC 2), acetyl-CoA-carboxylase (ACCase) inhibitors (HRAC 1), PSII inhibitors (HRAC 5) and microtubule formation inhibitors (HRAC 3), to explain the resistance mechanism of selected populations, and to characterize agricultural practices in fields in which loose silky-bent resistant to herbicides was found.

The research hypothesis was that *Apera spica-venti* populations resistant to the active substances tested are found in the above-mentioned regions and that most populations are characterized by resistance to ALS inhibitors. Based on an analysis of the crop structure and information obtained from farmers, an assumption was made that more loose silky-bent populations resistant to herbicides can be found in Lubelskie Voivodeship.

Samples of seeds of 133 potentially herbicide resistant populations of *Apera spica-venti* were taken from fields located in Lubelskie and Podlaskie Voivodeships over the period 2017-2020. Biological tests were conducted under controlled conditions. Resistance of loose silky-bent to four active substances applied after emergence (iodosulfuron-methyl-sodium, pyroxsulam, fenoxaprop-P-ethyl and pinoxaden) and two active substances of soil-applied herbicides (chlorotoluron and pendimethalin) was tested. Based on the tests conducted, the median effective dose (ED₅₀) and the resistance index (RI) were determined, which were used to identify the level of resistance of the populations studied. Six *Apera*

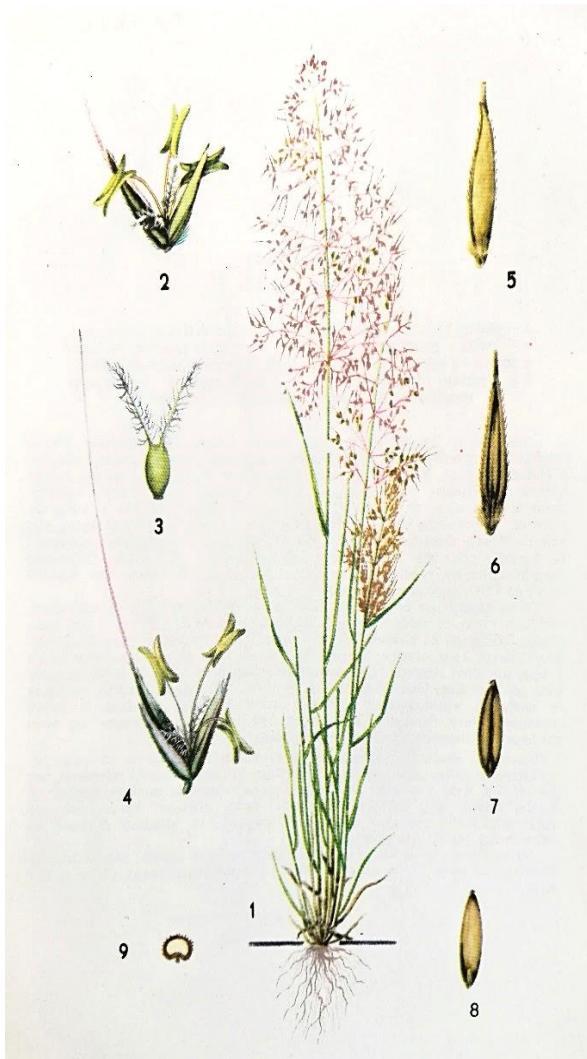
spica-venti populations resistant to iodosulfuron-methyl-sodium were subjected to molecular analysis of the acetolactate synthase gene.

Herbicide resistant *Apera spica-venti* populations were primarily found in fields where winter wheat grown under the tillage system was predominant and where the farmers most frequently used active substances from the group of ALS inhibitors (HRAC 2) for weed control in the crops. 129 populations resistant to iodosulfuron-methyl-sodium and 72 populations resistant to pyroxsulam were identified, among which 71 were characterized by cross resistance to both above-mentioned substances from the group of ALS inhibitors. The resistance index for iodosulfuron-methyl-sodium was from 2.5 to 333.0, whereas for pyroxsulam it ranged between 2.1 and 43.0. Most of the populations analyzed exhibited a medium (RR) or high (RRR) level of resistance to ALS inhibitors. The occurrence of 19 loose silky-bent populations resistant to fenoxaprop-P-ethyl and 2 populations resistant to pinoxaden was confirmed. In most cases, the *Apera spica-venti* populations resistant to ACCase inhibitors showed lower sensitivity (r) to the active substances tested. Only three populations were characterized by a high level of resistance to fenoxaprop-P-ethyl (RI=11.4-45.9). This study confirmed the efficacy of soil-applied herbicides in controlling loose silky-bent. Only one population exhibited resistance to chlorotoluron, while all the populations were sensitive to pendimethalin. 20 *Apera spica-venti* populations with multiple resistance to ALS inhibitors and ACCase inhibitors as well as one population resistant to ALS inhibitors and PSII inhibitors were identified. The molecular analysis of the six studied populations resistant to ALS inhibitors demonstrated that target-site resistance resulting from mutations in the *als* gene occurred in five of them.

Key words: *Apera spica-venti*, herbicide resistance, ALS inhibitors, ACCase inhibitors, PSII inhibitors, microtubule formation inhibitors

1. Wstęp i przegląd piśmiennictwa

1.1. Charakterystyka *Apera spica-venti* (L.) P.B. i jej zwalczanie



Miotła zbożowa (*Apera spica-venti* / *Agrostis spica-venti*) nazywana także mietlicą zbożową należy do rodzaju *Apera* (miotła), rodziny *Poaceae* (wiechlinowate) – dawniej *Gramineae* (trawy), klasy *Monocotyledones* (jednoliścienne). Jej nazwy ludowe to m.in. mietła, mietlica oraz mietelnica rolowa [Paradowski 2017].

Fotografia 1. Budowa morfologiczna

Apera spica-venti (L.) P.B.

- 1 – pokrój; 2 – kwiat;
 - 3 – słupek; 4 – kłosek;
 - 5 i 6 – ziarniak w plewkach z boku i od strony brzusznej;
 - 7 i 8 – ziarniak od strony brzusznej i grzbietowej; 9 – przekrój poprzeczny ziarniaka z plewkami
- [Tymrakiewicz 1962].

1.1.1. Morfologia miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.)

Miotła zbożowa (Fotografia 1) jest rośliną piętra górnego, osiąga wysokość od 30 do 100 cm, jednakże w sprzyjających warunkach dorasta do 150 cm, eksponując wiechę ponad łan. Wiązkowy system korzeniowy miotły jest bardzo gęsty i płytki, ale za pomocą korzeni przybyszowych szybko rozrasta się – przenikając glebę. Źdźbła są gładkie i liczne, bez rozgałęzień. Podnoszą się na wysokości pierwszego lub drugiego kolanka. Miotła zbożowa liście ma szorstkie, żeberkowane, bez widocznego nerwu środkowego, lekko skręcone, o szerokości od 2 do 8 mm. Języczek liściowy jest postrzępiony, zaostrowany o długości od 2 do 6 mm. Pochwa liściowa u miotły jest zazwyczaj gładka, czasem szorstka.

Kwiatostanem jest rozpięchła, ostra w dotyku wiecha (Fotografia 2), o długości nawet 40 cm. Jej rozgałęzienia mogą osiągać aż 10 cm długości. Kłoski miotły zbożowej są jednokwiatowe, o długości 2,5 mm, koloru zielonego, czerwonego, a czasem fioletowego. Opatrzony są w dwie plewy, z czego górna jest szersza od dolnej [Tymrakiewicz 1962; Mowszowicz 1983; Błażewicz-Woźniak i in. 2013; Adamczewski 2014; Paradowski 2017; Czubiński i Paradowski 2018].



Fotografia 2. Wiechy *Apera spica-venti* w łanie pszenicy (autor: J. Łukasz)

Miotła zbożowa kwitnie od czerwca do lipca, a jej drobne ziarniaki z reguły dojrzewają przed żniwami, przez co dochodzi do osypywania się ich do gleby przed zbiorem lub podczas omłotu rośliny uprawnej [Tymrakiewicz 1962; Rhein 2007]. *Apera spica-venti* jest gatunkiem obcopolnym – wiatropylnym – do uzyskania płodnych nasion wymaga pyłku z innej rośliny, sporadycznie może u niej wystąpić samozapylenie [Warwick i in. 1985; Adamczewski 2014].

Owocem *Apera spica-venti* jest oplewiony, wąskolancetowaty, lekko obły, zaostrowany na szczycie ziarniak, w kolorze bursztynowożółtym (Fotografia 3). Posiada charakterystyczną – wypukłą na grzbiecie, matową, brunatną plewkę dolną, która wzdłuż 5 nerwów jest zaopatrzona na górze w króciutkie szczecinki. Jej brzegi są zawinięte na plewkę górną, pozostawiając jedynie wąską bruzdę po stronie brzusznej ziarniaka. W dolnej części owej bruzdy widnieje obły, nitkowaty trzoneczek. Nieco poniżej szczytu dolnej plewki znajduje się delikatna, 3-4 razy dłuższa od ziarniaka oś. U nasady plewki dolnej jest pęczek białych, dłuższych włosków oraz wałeczkowate, ukośne zgrubienie –

oddzielone poprzeczną, głęboką bruzdą. Plewka górna o błoniastych brzegach jest zazwyczaj mało widoczna. Na środku posiada bruzdę, u góry zaś dwa uzębione nerwy. Ziarniak miotły zbożowej nie jest zrosnięty z plewkami, ale dobrze osadzony – nie wypada z nich. Długość oplewionego owocu, nie wliczając ości, waha się w granicach 1,7-2,5 mm, a szerokość 0,3-0,45 mm. Natomiast nagi ziarniak ma wymiary: 1,5 mm długości i 0,2-0,4 mm szerokości [Kulpa 1988]. Według Adamczewskiego [2014] ziarniak bez ości jest większy, jego wymiary to 2-3 mm długości i 0,5-1,0 mm szerokości. Badania Gierasimiuka i in. [2017] wykazały, że ziarniaki miotły zbożowej mogą osiągać jeszcze większe rozmiary. Długość ziarniaka kreowała się na poziomie od 1,40 do 2,88 mm, zaś szerokość od 0,28 do 0,53 mm. Tymrakiewicz [1962] i Paradowski [2017] podają natomiast, iż ziarniak zaopatrzone w ość o długości nawet 8 mm po dojzeniu wypada z plewek.



Fotografia 3. Ziarniaki *Apera spica-venti* (L.) P.B. (autor: J. Łukasz)

Siewka miotły zbożowej ma delikatny, zwinięty koleoptyl. Pierwszy liść jest bardzo wąski, wręcz nitkowaty, o długości 15-30 mm i szerokości 0,5 mm. U góry zaostrowany, w dolnej części ma podwinięte brzegi, dobrze widoczny nerw środkowy oraz dwa boczne. Jego pochwa jest zazwyczaj naga, czerwono nabiegła, o długości 4-5 mm. Języczek poszarpany, z głębokimi wcięciami, biały lub białozółty. Następne liście w młodej roślinie *Apera spica-venti* są coraz szersze i dłuższe, a ich wierzchnia strona jest lekko żółbkowana, nie mają uszek. Przed pojawieniem się drugiego liścia, z pierwszego węzła wyrastają korzenie przybyszowe [Brzozowska i Brzozowski 2001; Adamczewski 2014; Paradowski 2017].

1.1.2. Biologia miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.)

Miotła zbożowa jest rośliną jednoroczną jarą lub ozimą, jednakże przeważa forma ozima. Najczęściej wschodzi przed zimą, a w przypadku suchej jesieni, opóźnia wschody do wiosny, wytwarzając wtedy słabsze i mniej rozgałęzione rośliny [Tymrakiewicz 1962; Adamczewski 2014; Paradowski 2017]. Ziarniaki *Apera spica-venti* mogą kiełkować nawet pod śniegiem. Częstym zjawiskiem jest ukazanie się siewek miotły zbożowej zimą, w warunkach dodatnich temperatur i niezmarzniętej gleby [Adamczewski 2014]. Badania Pawlonki i Skrzyczyńskiej [2007] oraz Pawlonki i in. [2010] wykazały duży wpływ warunków pogodowych na dynamikę wschodów, rytm rozwojowy oraz żywotność i liczebność populacji miotły zbożowej. Według autorów wschody odbywają się najintensywniej w II połowie października oraz I połowie kwietnia, a średnia długość okresu wegetacyjnego u osobników rozpoczynających swój cykl życiowy jesienią wynosi 93-133 dni, zaś przy wschodach wiosennych zaledwie 75 dni. Zaobserwowano także różną długość poszczególnych faz rozwojowych, z wyjątkiem fazy owocowania. Częstym zjawiskiem u tego gatunku jest występowanie kilku różnych faz rozwojowych na jednym osobniku, tj. od tworzenia nowych, młodych pędów do dojrzewania nasion i zasychania części rośliny [Listowski i Pawłowska 1967]. Podczas wiosennego rozwoju *Apera spica-venti* wyrasta od razu w pęd, zaś kiełkując jesienią – wchodzi w stan spoczynku zimowego w fazie rozetki, wydając nasiona w następnym roku. Rośliny miotły zbożowej z wschodów wiosennych wytwarzają od 3 do 5 źdźbeł, natomiast te wschodzące jesienią krzewią się znacznie silniej, średnio wytwarzając 8-12 źdźbeł, ale mogą wydać nawet 30 i więcej wiech [Rhein 2007; Adamczewski 2014]. Miotła zbożowa jest rośliną dnia długiego [Listowski i Pawłowska 1967], diploidalną, o stałej liczbie chromosomów ($2n=14$) u wszystkich europejskich populacji [Tutin 1980; Adamczewski 2014].

Ziarniaki *Apera spica-venti* najintensywniej kiełkują z przypowierzchniowej warstwy gleby, optymalna głębokość, z której kiełkują wynosi od 0,5 do 1,0 cm, maksymalnie 5,0 cm [Kukowski 1978; Duer 1996; Adamczewski 2014; Paradowski 2017]. Na dynamikę wschodów znaczący wpływ ma wilgotność podłoża. Przy 50-80 % maksymalnej pojemności wodnej gleby wschody następują w ciągu 1 tygodnia, natomiast przy 20-30 % m.p.w. – trwają 2-3 tygodnie [Wehsarg 1961; Paradowski 2017]. Tempo kiełkowania oraz dynamikę wschodów ziarniaków *Apera spica-venti* różnicuje temperatura, przy czym jej wahania podczas jesieni i wiosny nie wpływają negatywnie na proces kiełkowania [Kukowski 1978]. Przeprowadzone przez Meza Morales i in. [2013] testy w warunkach kontrolowanych

wykazały, że najlepszy wpływ na kiełkowanie ziarniaków *Apera spica-venti* miało indukowanie tego procesu za pomocą zmiennej temperatury – 10°C i 30°C (noc/dzień). Według Zemanek [1972] *Apera spica-venti* najintensywniej kiełkuje w temperaturze 14-16°C, natomiast zdaniem Northam i Callihan [1992] w temperaturze 21°C. Minimalna i maksymalna temperatura kiełkowania tego gatunku wynosi odpowiednio 5-7°C oraz 35-38°C [Szekeres 1976; Cici i Acker 2009]. Zdaniem Wehsarga [1961] miotła zbożowa proces ten rozpoczyna w temperaturze już 3-4°C. Ziarniaki miotły zbożowej są zdolne do kiełkowania zarówno na świetle, jak i w ciemności [Szekeres 1976], przy czym proces ten intensywniej przebiega w warunkach świetlnych [Kukowski 1978]. Badania Milberg i in. [1996] wykazały, że ziarniaki *Apera spica-venti* najlepiej kiełkują na świetle – 40,9 %, w ciemności proces ten zachodzi u zaledwie 9,9 % nasion, zaś w ciemności przerywanej błyskiem światła u 17,8 %. Zdaniem Kukowskiego [1978] do zainicjowania kiełkowania wymagają krótkotrwałego naświetlenia, dla nasion jednorocznych i dwuletich wynoszącego 5 godzin.

Apera spica-venti jest gatunkiem bardzo plennym. Informacje o liczbie wytwarzanych przez ten gatunek ziarniaków są zróżnicowane. Według Rheina [2007] miotła zbożowa wytwarza średnio 2 000 nasion. Domańska [1980] podaje, że plenność *Apera spica-venti* kształtuje się od 1 000 do 5 000 ziarniaków, co potwierdzają badania Bitarafan i Andreassen [2020]. Natomiast z badań Adamczewskiego [2014] wynika, że jedna roślina może wydać nawet 10 000 i więcej nasion. Żywotność ziarniaków uzależniona jest od warunków oraz długości okresu przechowywania [Tymrakiewicz 1962; Hołubowicz-Kliza 2011]. Według Kukowskiego [1978] i Duer [1996] w glebie ziarniaki miotły zbożowej przeżywają dwa lata, natomiast badania Woźnicy [2008] wykazały, że nasiona leżące w glebie przez okres 7 lat zachowują zdolność kiełkowania na poziomie 23 %. Według Rheina [2007] ziarniaki kiełkują w glebie przez okres 3-4 lat. W glebie wilgotnej i źle uprawianej ziarniaki dłużej zachowują żywotność, natomiast w glebach prawidłowo uprawianych i przewietrzanych tracą swoją zdolność kiełkowania nawet po jednym roku [Domańska 1980]. Ziarniaki przechowywane w papierowych torebkach, w temperaturze pokojowej dłużej zachowują zdolność do kiełkowania, według badań Lejman i Parylak [2022] najliczniej kiełkowały nasiona 3-letnie.

Według Kukowskiego [1977; 1978] rozprzestrzenianiu się miotły, sprzyja wysoki współczynnik rozmnażania, mała masa i duża żywotność nasion łatwo roznoszonych przez wiatr, nierównomierny cykl rozwojowy oraz wysoki stopień konkurencyjności. Właściwości

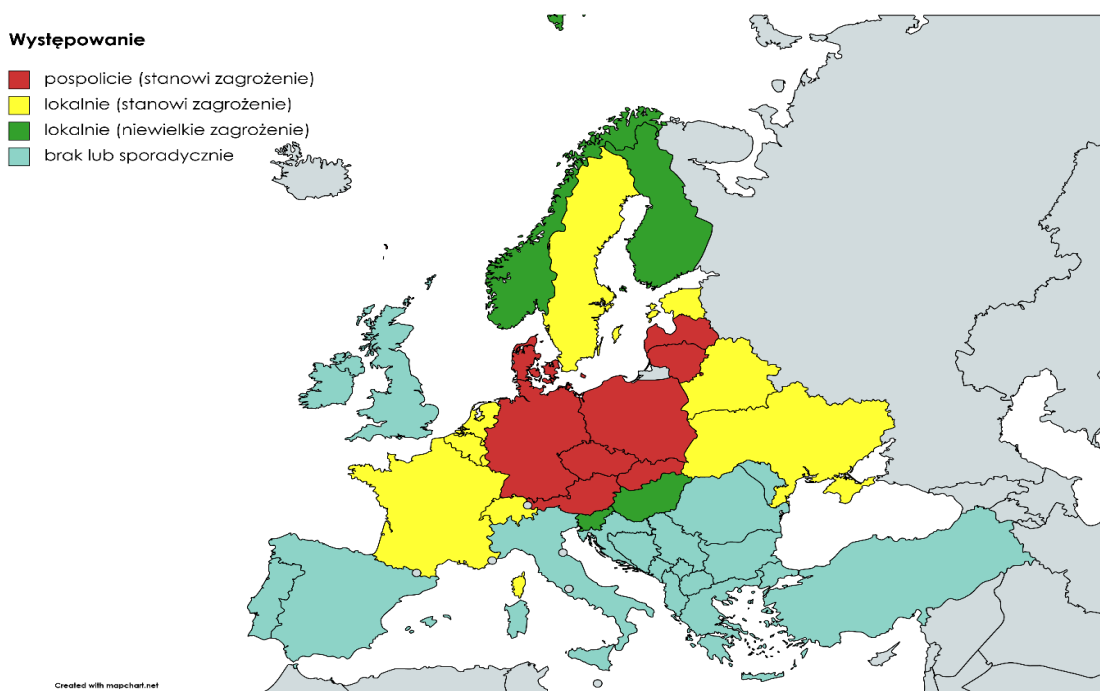
te czynią ten gatunek uciążliwym i trudnym do wytopienia. Soukup i in. [2006] oraz Lejman i in. [2022] stwierdzili, że gatunek ten posiada umiejętność szybkiej adaptacji do nowych warunków środowiska i rozprzestrzenia się bardzo szybko. Badania Kapelusznego i Haliniarz [2010] prowadzone na terenie środkowo-wschodniej Polski wykazały, że miotła zbożowa należy do gatunków ekspansywnych występujących powszechnie. Gwałtowny wzrost jej liczebności w latach 70. XX wieku spowodowany jest m.in. upowszechnieniem zbioru kombajnowego, zwiększeniem nawożenia azotowego oraz jednostronnym zwalczaniem chwastów dwuliściennych. Natomiast utrzymujący się obecnie, znaczący udział *Apera spica-venti* w zbiorowiskach segetalnych wynika z dużego udziału zbóż w strukturze zasiewów, uproszczeń w uprawie roli i rosnącej liczby populacji odpornych na herbicydy.

Miotła zbożowa jako gatunek bardzo konkurencyjny wobec roślin uprawnych (szczególnie zbóż) i tolerancyjny wobec większości czynników środowiskowych, swoją obecnością w łanie nawet w niewielkich ilościach, osłabia roślinę uprawną, powodując pogorszenie jakości oraz obniżenie ilości plonów [Kees 1968; Kukowski 1978]. Szczególnie agresywny jest w monokulturach zbóż oraz w rzepaku i w zmianowaniach z dominacją ozimin w strukturze zasiewów [Brzozowska i Brzozowski 2001]. Kościelniak i Dreczka [2009] spośród gatunków jednoliściennych, wymieniają miotłę zbożową jako gatunek powodujący największe straty w plonach i kłopoty w zwalczaniu.

Badania Kapelusznego [1986] wykazały, iż plon ziarna pszenicy ozimej maleje wraz ze wzrostem liczby wiech *Apera spica-venti*. Spadek plonu wynikał głównie z mniejszej obsady kłosów pszenicy ozimej i mniejszej masy ziaren z kłosa. Krytyczne zagęszczenie miotły zbożowej dla odmian słabo krzewiących i niższych wynosi 10-25 wiech na 1 m², zaś dla odmian lepiej krzewiących się i wyższych – 26-100 wiech na 1 m². Według Roli i in. [2013] próg szkodliwości miotły zbożowej wynosi od 5 do 10 roślin na m². Zwiększenie tej liczby do 25 szt. m⁻² powoduje spadek plonu o 16 %, natomiast do 50 szt. m⁻² – o 27 %. Czubiński i Paradowski [2018] stwierdzają, iż próg szkodliwości *Apera spica-venti* jest nieco wyższy i wynosi od 10 do 20 roślin na m², tj. 25-40 wiech, co powoduje spadek plonu o około 5 %. Według Adamczewskiego [2014] obecność 15-20 roślin miotły zbożowej na m² obniża plon o 8 %, co przy założeniu uzyskania 6 ton z hektara wynosi niespełna 0,5 tony.

1.1.3. Występowanie miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.)

Apera spica-venti występuje na terenie całej Polski głównie na nizinach, jednakże jest dostrzegana również w niższych partiach Karpat i w Sudetach [Paradowski 2017]. Poza Polską występuje we wschodniej i centralnej Europie, na Bliskim Wschodzie, w północnej Azji i Syberii, Wielkiej Brytanii oraz Ameryce Północnej i Kanadzie [Warwick i in. 1985]. Występuje głównie w strefie klimatu umiarkowanego, nie spotyka się jej natomiast w strefie klimatu tropikalnego i typowo kontynentalnego [Woźnica 2008]. Największe zagrożenie (Mapa 1) stanowi w krajach Europy Środkowej, takich jak: Polska, Niemcy, Czechy, Dania, Słowacja, Litwa, Łotwa i Austria. W Szwecji, Estonii, Holandii, Belgii, Francji, Szwajcarii, Luxemburgu oraz na Ukrainie i Białorusi masowo można spotkać ten gatunek trawy jedynie lokalnie [www.hracglobal.com].



Mapa 1. Występowanie *Apera spica-venti* w krajach Europy [www.hracglobal.com]

Miotła zbożowa dominuje na glebach lekko zakwaszonych, próchnicznych glebach gliniastych i piaszczysto – gliniastych [Tymrakiewicz 1962]. Badania Kukowskiego [1978] nad miotłą zbożową wykazały, iż *Apera spica-venti* preferuje gleby średnie i ciężkie. Paradowski i Czubiński [2011] stwierdzili, iż miotła zbożowa rośnie również na glebach lekkich. *Apera spica-venti* wymaga dostatecznego zaopatrzenia w wodę i związki azotu, tym samym zajmuje ona stanowiska podmokłe, m. in. w miejscach, gdzie występowały zastoiska wody [Tymrakiewicz 1962; Brzozowska i Brzozowski 2001]. Badania Roli i in. [2003]

dowodzą, że *Apera spica-venti* częściej występuje na glebach brunatnych i bielicowych, niż na czarnych ziemiach. Miotła zbożowa występuje głównie na gruntach ornym, najczęściej wśród upraw łąkowych, rzadziej szerokokorządowych. Szczególnie upodobała sobie, dominujące wśród roślin uprawnych, zboża ozime [Czubiński i Paradowski 2018]. Najliczniej występuje, gdy zboża te uprawiane są w monokulturze [Adamiak i in. 2003]. Hołubowicz-Kliza i Praczyk [2001] dodają, że miotła zbożowa jest także jednym z najważniejszych gatunków chwastów występujących coraz częściej w rzepaku ozimym oraz w zbożach jarych. Gatunek ten pojawia się także w koniczynie i innych uprawach pastewnych, a może występować również na plantacjach traw nasiennych [Brzozowska i Brzozowski 2001; Piekarczyk i Jaskulski 2016]. Z badań Roli i in. [2009] wynika, że *Apera spica-venti* występuje w 80-100 % upraw zbóż ozimych i rzepaku w makroregionach centralnej Polski oraz w 60-80 % tych plantacji w pozostałej części kraju.

Paradowski i Czubiński [2011] zaznaczają, iż *Apera spica-venti* jest szczególnie uporczywa w uproszczonym systemie uprawy roli, w płodozmianach zbożowych i zbożowo-rzepakowych oraz intensywnej ochronie łąnu. Orzech i in. [2003] na podstawie swoich 4-letnich badań stwierdzili, że stosowanie siewu bezpośredniego doprowadziło do intensyfikacji występowania *Apera spica-venti* - 4,3 szt. m⁻², w stosunku do uprawy tradycyjnej i uproszczonej (odpowiednio 0,6 i 0,8 szt. m⁻²). Wyniki te znajdują swoje odzwierciedlenie w badaniach przeprowadzonych w Dahnsdorfie w Niemczech [Schwarz 2018]. Autor potwierdza, iż długofalowe stosowanie uprawy bezorkowej wpływa na intensyfikację występowania miotły zbożowej. Jej stale rosnąca liczba na poletkach z uprawą bezpłużną, była dodatkowo konsekwencją dostatecznej wilgotności gleby i odpowiedniej temperatury, co stwarzało idealne warunki do kiełkowania i wschodów *Apera spica-venti*. W doświadczeniu Pawlonki i Skrzyczyńskiej [2007] uzyskano odmienne wyniki. Stwierdzono, że zastąpienie uprawy płużnej kultywatores powoduje obniżenie liczebności miotły zbożowej, jednakże większość tych osobników osiąga fazę pełnej dojrzałości ziarniaków – co prowadzi do powiększania glebowego banku nasion, a w przyszłości do tworzenia nowych pokoleń *Apera spica-venti*. Badania Harasim i in. [2017] przeprowadzone w latach 2012-2014 wykazały większą liczebność miotły zbożowej w systemie konwencjonalnym (93 %), niż ekologicznym (90 %), jednakże liczba nasion w glebowym banku była wyższa o około 3 % w systemie ekologicznym (1695 szt. m⁻²).

Dominacja *Apera spica-venti* w roślinach zbożowych powoduje spadek bioróżnorodności zbiorowisk segetalnych [Rzymowska 2013]. Badania Bleharczyka i in.

[2003] wykazały, iż wariantem najbardziej ograniczającym zachwaszczenie miotłą żyta ozimego uprawianego w zmianowaniu, było zastosowanie jednocześnie nawozu organicznego i NPK (28,5 szt. m⁻²). Istotnie wyższą liczbę oraz suchą masę miotły zbożowej uzyskano po zastosowaniu samego obornika - 67,2 szt. m⁻². Podobne zależności występowały w monokulturze i wynosiły odpowiednio – 95,4 oraz 133,7 szt. m⁻². Brzozowska i Brzozowski [2001] dodają, że w większości ziarniaki osypują się na glebę, a pozostała część wraz z paszą przedostaje się do przewodu pokarmowego zwierząt, a następnie do obornika, w wyniku czego wraca z nim na pole.

1.1.4. Zwalczanie miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.)

Dawniej wielu rolników wierzyło, że pszenica uprawiana na terenach podmokłych przeradza się w „miotłę”, a pozbycie się jej jest możliwe stosując prawidłowy płodozmian [Demianowiczowa 1949]. Według Diercks [1957] racjonalne zmianowanie, a więc wprowadzanie do płodozmiaru zbóż jarych, roślin okopowych i pastewnych wcześniej koszonych, również zmniejsza występowanie miotły zbożowej. Spośród metod ograniczających nasilenie *Apera spica-venti* wymienia także: wapnowanie - zmniejszające zakwaszenie gleb; regulację stosunków wodnych, poprzez wyeliminowanie terenów okresowo zalewanych; dobór właściwej odmiany; podwyższenie normy wysiewu, zwiększając tym samym konkurencyjność rośliny uprawnej oraz zaprawianie ziarna.

Według Domańskiej [1980] najważniejszą metodą zwalczania miotły zbożowej jest dokładne przygotowanie pola do siewu. Wykonanie wczesnej podorywki stwarza idealne warunki do wykiełkowania większości nasion, zaś głęboka orka przedzimowa wykonana pługiem z przedpłużkami powoduje przerzucenie pozostałych ziarniaków na dno bruzdy.

Generalnie odpowiednia uprawa roli i prawidłowo dobrany termin siewu, zapewniający równomierne wschody rośliny uprawnej oraz stanowisko w zmianowaniu, znacząco ograniczają występowanie tego gatunku. Należy unikać monokultur zbożowych, ponieważ podobna biologia i tempo wzrostu zbóż ozimych sprzyja zachwaszczeniu. Zaleca się uprawę okopowych i mieszanek strączkowych - działających odchwaszczająco oraz bronowanie pól podczas uprawek późniwnych i przedsiwnych [Rhein 2007]. Jesienne bronowanie pszenicy ozimej w fazie szpilkowania może zniszczyć nawet 35-55 % siewek miotły zbożowej, natomiast wykonanie tego zabiegu wczesną wiosną, przy wietrznej pogodzie zwalcza do 45 % siewek. Bardzo istotny w walce z *Apera spica-venti* jest poziom nawożenia NPK. Należy go dostosować do warunków glebowych oraz wymagań rośliny

uprawnej. Nieracjonalne nawożenie, np. jednostronne lub niskie, zwiększa niebezpieczeństwo masowego występowania miotły zbożowej [Kukowski 1977]. Badania Jędruszczak i Antoszek [2002b] dowodzą, że nasilenie występowania miotły zbożowej uzależnione jest głównie od zmianowania i sposobu uprawy roli. Liczebność *Apera spica-venti* wzrastała wraz z upływem lat trwania monokultury oraz zastosowaniem uproszczeń w uprawie (siew bezpośredni).

Według Duer [1996] przełomowym krokiem w walce z chwastami segetalnymi było zapoczątkowanie stosowania herbicydów. Natomiast walka z miotłą zbożową przestała być trudna z chwilą zastosowania azotniaku przeciw chwastom w oziminach [Wehsarg 1961].

Związki chemiczne powodujące zakłócenia procesów życiowych roślin, poprzez różnorakie uszkodzenia lub zahamowanie wzrostu i rozwoju nazwano związkami fitotoksycznymi, a część z nich – stosowana do walki z chwastami – to herbicydy. Opierając się na klasyfikacji opracowanej przez Herbicide Resistance Action Committee (HRAC – Międzynarodowy Komitet Odporności na Herbicydy) substancje aktywne herbicydów pogrupowano ze względu na ich mechanizm działania [Woźnica 2008].

Obecnie zarejestrowanych jest wiele substancji aktywnych, którymi można zwalczać miotłę zbożową (Tabela 1). W poniższej tabeli przedstawiono substancje aktywne o dobrej i bardzo dobrej (86-100 %) skuteczności zwalczania *Apera spica-venti* [Praczyk i Skrzypczak 2004; Adamczewski 2014; Paradowski 2015; Zalecenia Ochrony Roślin 2016; Czubiński i Paradowski 2018; Korbas i in. 2018].

Dobór substancji aktywnej oraz dawki herbicydu jest jednym z kluczowych elementów decydujących o efektywności przeprowadzonego odchwaszczania. Aktywność chwastobójcza większości herbicydów wzrasta wraz ze wzrostem dawki substancji aktywnej. Jednakże stosowanie wysokich dawek jest zazwyczaj niepotrzebne i nieekonomiczne. Uzasadnione natomiast jest zwalczanie chwastów możliwie jak najniższą dawką herbicydu [Woźnica 2008]. Zdaniem Kieloch [2014] zastosowanie zredukowanej o 50 % dawki herbicydu jest możliwe tylko w optymalnych warunkach pogodowych. Potwierdzają to badania Kapelusznego i in. [2012], które wykazały również skuteczne ograniczenie zachwaszczenia stosując Chwastox Trio 540 SL w dawce 1/2 N w porównaniu do dawki zalecanej przez producenta.

Tabela 1. Wykaz substancji aktywnych zwalczających miotłę zbożową według mechanizmu działania herbicydu

Mechanizm działania herbicydu	Grupa HRAC	Substancje aktywne zalecane do zwalczania miotły zbożowej
inhibitory biosyntezy lipidów	1, 15	chizalofop-p-etylowy, cykloksydym, dimetachlor, fenoksaprop-P-etylu, fluazyfop-P-butylu, flufenacet, kletodym, metazachlor, napropamid, petoksamid, pinoksaden, propachizafop, prosulfokarb
inhibitory biosyntezy aminokwasów	2, 9	glifosat, jodosulfuron metylosodowy, mezosulfuron metylowy, piroksysulam, propoksykarbazon sodowy, rimsulfuron, tifensulfuron metylowy
inhibitory fotosyntezy	5	chlorotoluron
inhibitory biosyntezy karotenoidów	12	beflubutamid, diflufenikan, fluorochloridon
inhibitory funkcjonowania mikrotubuli	3	pendimetalina, propyzamid
syntetyczne auksyny	4	chinomerak

Domaradzki [2006] stwierdził wysoką skuteczność działania obniżonych dawek herbicydów w zwalczaniu miotły zbożowej w warunkach umiarkowanego nasilenia zachwaszczenia w łanie rośliny uprawnej. Wykazał zróżnicowaną wrażliwość gatunkową chwastów na badane substancje aktywne. Herbicydy zawierające izoproturon, stosowane w dawkach zredukowanych o 25-50 % oraz te zawierające chlorotoluron w dawce niższej o 30 % - bardzo dobrze ograniczały występowanie *Apera spica-venti*. Natomiast badania Pallut i Moll [2008] wykazały, że stosowanie przez okres 12 lat, obniżonych dawek herbicydów (1/2 N) skutkowało stałym wzrostem zachwaszczenia upraw – liczebność m.in. *Apera spica-venti*, *Viola arvensis* i *Matricaria* ssp. znacząco zwiększyła się. Badania Adamczewskiego [2014] przeprowadzone w IOR-PIB dowiodły, że stosowanie obniżonych dawek substancji aktywnych z grupy inhibitorów syntazy acetylomleczanowej (ALS) przyspiesza występowanie odporności u populacji *Apera spica-venti*. Takiej zależności autor nie stwierdził dla substancji o innym mechanizmie działania.

Faza rozwojowa chwastów jest jednym z głównych czynników decydujących o skuteczności działania herbicydów. Domaradzki [2006] wykazał, że najwrażliwsze

są młode osobniki *Apera spica-venti*, do wytworzenia przez rośliny 6 liści właściwych (BBCH 16). Rośliny starsze, w fazie krzewienia reagowały mniejszą redukcją świeżej masy.

Ważnym czynnikiem przy wyborze herbicydu jest termin wykonania zabiegu [Paradowski i Czubiński 2011]. Na polach, na których stwierdzono masowe występowanie *Apera spica-venti* zaleca się jesienne stosowanie preparatów. Wiosenne zwalczanie, powinno być uzupełnieniem zabiegów przeprowadzonych w okresie jesiennym i należy je wykonać jak najwcześniej, po przeanalizowaniu opłacalności oprysku [Kukowski 1977; Rhein 2007; Czubiński i Paradowski 2018]. Również Vanaga i in. [2010] wykazali, iż stosowanie jesiennych zabiegów herbicydowych przynosi zadowalające efekty w zwalczaniu *Apera spica-venti*, a przełożenie wykonania zabiegu na okres wiosenny, skutkuje dużym zagęszczeniem chwastów oraz rzadkim łanem rośliny uprawnej.

Najlepszym terminem do wykonania zabiegu jest czas, w którym roślina uprawna znajduje się w optymalnej fazie rozwojowej, a chwasty osiągnęły nasilenie zagrażające roślinie uprawnej – przekroczyły próg szkodliwości. Zabiegi wykonane zbyt wcześnie lub zbyt późno nie zapewnią prawidłowej ochrony łanu, okazując się tym samym zbyt kosztowne z ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia [Zalecenia Ochrony Roślin 2016]. Znaczenie wybranych czynników na aktywność biologiczną herbicydów stosowanych doglebowo i dolistnie przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wpływ wybranych czynników na skuteczność działania herbicydów [Praczyk i Skrzypczak 2004] XX – czynnik bardzo ważny, X – czynnik ważny

Czynniki	Herbicydy doglebowe	Herbicydy nalistne
Stopień zachwaszczenia	XX	XX
Temperatura powietrza	X	XX
Przymrozki nocne	X	XX
Nasłonecznienie	X	XX
Opady	XX	XX
Rodzaj gleby	XX	X
Struktura gleby	XX	X
Temperatura gleby	XX	X
Wilgotność gleby	XX	X

Bardzo ważne jest również wykonanie zabiegu w optymalnych warunkach atmosferycznych. Nie należy decydować się na oprysk bezpośrednio przed i po deszczu oraz na rośliny mokre – wyjątek stanowią herbicydy doglebowe. Istotnymi czynnikami klimatycznymi decydującymi o skuteczności chwastobójczej herbicydów są temperatura i wilgotność powietrza oraz wiatr (maksymalnie 4 m s⁻¹). Wykonanie zabiegu w temperaturze optymalnej skutkuje najwyższą skutecznością herbicydu w stosunku do chwastów, bez ujemnego wpływu na roślinę uprawną [Zalecenia Ochrony Roślin 2016].

*Tabela 3. Działanie wybranych substancji aktywnych zwalczających *Apera spica-venti* w zależności od temperatury powietrza [Zalecenia Ochrony Roślin 2016]*

Substancja aktywna	Grupa HRAC	Temperatura powietrza °C		
		Minimalna	Optymalna	Maksymalna
beflubutamid	12	4-5	>5	-
chinomerak	4	5-8	10-20	25
chlorotoluron	5	-3	0-15	20
cykloksydym	1	5-8	15-25	25
diflufenikan	12	8	10-20	22
fenoksapop-P-etylu	1	10	15-22	28
fluazyfop-P-butylu	1	5-8	15-25	27
flufenacet	15	10	10-20	25
fluorochloridon	12	0	>0	25
glifosat	9	0	>15	28
jodosulfuron metylosodowy	2	6-10	11-15	20
pendimetalina	3	0	5-15	25
pinoksaden	1	1	4-20	20
piroksysulam	2	5	-	25
propoksykarbazon sodowy	2	7	15-20	20
propyzamid	3	0	-	15
prosulfokarb	15	>0	-	-
tifensulfuron metylowy	2	12	15-25	25

Wysoka temperatura sprzyja intensywnemu pobieraniu substancji biologicznie czynnej przez chwasty, jednakże powoduje także szybkie wysychanie kropeł cieczy użytkowej – ograniczając tym samym absorpcję herbicydu. Najlepsze efekty uzyskuje się w zakresie temperatur 10-25°C [Praczyk i Skrzypczak 2004]. Stosowanie herbicydów w zbyt niskiej temperaturze ogranicza ilość pobranej substancji aktywnej, a tym samym zmniejsza jej wpływ na procesy fizjologiczne. Wykonanie zabiegu w warunkach temperatury powyżej maksymalnej, grozi uszkodzeniem rośliny uprawnej (poparzenia), a w skrajnych

przypadkach zniszczeniem całej plantacji [Woźnica 2008]. Na podstawie tabeli 3 można zauważyć, że wśród substancji aktywnych zwalczających miotłę zbożową znajdują się zarówno herbicydy dobrze działające w niskich temperaturach (od -3 do 5°C) oraz te o nieco wyższych wymaganiach (6-12°C).

W badaniach Kieloch [2009] najlepsze efekty zastosowania propoksykarbazonu sodowego uzyskano w zakresie temperatur 25/16°C. W tych warunkach zniszczenie miotły zbożowej było na poziomie 95 %. Obniżenie temperatury powietrza do 8/2°C, powodowało spadek skuteczności działania herbicydu Attribut 70 SG do zaledwie 76 %.



Fotografia 4. Łan pszenicy ozimej zachwaszczony *Apera spica-venti* (autor: J. Łukasz)

Zdaniem Urbana [2009] grupa herbicydów sulfonilomocznikowych ALS (HRAC 2), tj. chlorosulfuron, jodosulfuron metylosodowy, mezosulfuron metylowy, sulfosulfuron i propoksykarbazon sodowy, niewystarczająco zwalczała populację *Apera spica-venti* w pszenicy ozimej (Fotografia 4). Najniższą skuteczność (16,5 % w przypadku aplikacji wiosennej i 33,2 % przy aplikacji jesiennej) wykazał chlorosulfuron. Aplikacja jodosulfuronu metylosodowego wykazywała skuteczność na poziomie 52,1 %. Pozostałe herbicydy z grupy ALS zwalczały miotłę zbożową znacznie lepiej (76,6 – 85,1 %). Natomiast substancje z innych grup chemicznych, tj. izoproturon (HRAC 5), diflufenikan (HRAC 12), fenoksaprop-P-etylu i pinoksaden (HRAC 1) oraz prosulfokarb (HRAC 15) niszczyły chwasty na poziomie 92,3 – 99,9 %. Wysoką skuteczność w zwalczaniu miotły zbożowej uzyskano również stosując herbicydy łącznie z regulatorami wzrostu (chlorek

chloromekwatu, chlorek mepikwatu i proheksadion wapnia) [Marczewska-Kolasa i Kieloch 2009; Miziniak i Matysiak 2019].

Wielu autorów [Rhein 2007; Adamczewski 2014; Czubiński i Paradowski 2018] podkreśla, że walka z miotłą zbożową wymaga kompleksowego stosowania zarówno metod agrotechnicznych, jak i chemicznych, aby skutecznie wyeliminować ją z ładu. Integrowana ochrona roślin przed chwastami opiera się na łączeniu wszystkich dostępnych w gospodarstwie metod ich zwalczania. Zadaniem jej jest zminimalizowanie zagrożenia ze strony flory segetalnej, przy możliwie najmniejszym zagrożeniu dla środowiska [Woźnica 2008].

1.2. Odporność chwastów na herbicydy

1.2.1. Odporność i jej rodzaje

Tolerancja roślin na herbicydy jest to zdolność gatunku do przeżycia i reprodukcji po zastosowaniu zalecanej dawki herbicydu (cecha dziedziczna). Roślina przeciwdziała niszczącym skutkom aplikacji substancji aktywnej, ograniczając jej wpływ na procesy fizjologiczne i biochemiczne. Tolerancja chwastu na herbicydy nie jest synonimem odporności chwastów na herbicydy [Adamczewski 2014].

Odporność chwastów na herbicydy jest to dziedziczna zdolność roślin do przeżycia i rozmnażania się po zastosowaniu dawki herbicydu zwykle zwalczającej tę populację. Może występować naturalnie - być wynikiem przypadkowej mutacji lub być indukowana takimi technikami, jak inżynieria genetyczna lub selekcja wariantów wytwarzanych przez hodowlę tkankową lub mutagenezę [www.hracglobal.com]. Adamczewski [2014] opisuje odporność na herbicydy jako naturalną lub indukowaną zdolność wybranych osobników danego gatunku (populacji) do przetrwania i rozmnażania się po zaaplikowaniu śmiertelnej dawki herbicydu; podczas gdy pozostała część populacji tego samego gatunku zostaje uszkodzona i w rezultacie ginie. Woźnica [2008] zaznacza, że nie należy mylić tego zjawiska z naturalną odpornością niektórych gatunków chwastów na określone substancje aktywne oraz niedokładnym zniszczeniem ich, poprzez popełnione błędy w agrotechnice czy niesprzyjające warunki pogodowe. Do cech determinujących odporność chwastów na herbicydy zalicza m.in.: nieaktywne miejsce działania herbicydu, zdolność do jego metabolizowania oraz ograniczania transportu do miejsca działania, nadprodukcję związków funkcjonalnych, a także specyficzną budowę morfologiczno-anatomiczną roślin.

Wyróżniamy trzy rodzaje odporności:

- Odporność prosta inaczej pojedyncza występuje, gdy roślina wykazuje odporność na jeden mechanizm działania jednego herbicydu z jednej grupy chemicznej, np. gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*) odporna na izoproturon, ale wrażliwa na chlorotoluron, chociaż obie substancje aktywne należą do tej samej grupy chemicznej.
- Odporność krzyżowa występuje wówczas, gdy roślina nie zostaje zwalczana przez co najmniej dwie substancje aktywne z jednej grupy chemicznej o takim samym mechanizmie działania. Przykładem odporności krzyżowej jest populacja miotły zbożowej (*Apera spica-venti*) odporna na chlorosulfuron i sulfosulfuron, ale wrażliwa na mezosulfuron metylowy i jodosulfuron metylosodowy.
- Odporność wielokrotna występuje, gdy roślina nie jest zwalczana przez co najmniej dwa herbicydy o różnych mechanizmach działania. Zjawisko to jest bardzo niebezpieczne dla praktyki rolniczej, gdyż utrudnia lub wręcz uniemożliwia zwalczenie populacji odpornej w łanie. Przykładem odporności wielokrotnej jest *Apera spica-venti* uodporniona na chlorosulfuron, sulfosulfuron, mezosulfuron metylowy i jodosulfuron metylosodowy oraz fenoksaprop-P-etylu i pinoksaden, a także izoproturon [Woźnica 2008; Adamczewski 2014; www.hracglobal.com].

Odporność chwastów na herbicydy może być wywołana różnymi mechanizmami. Odporność w miejscu działania herbicydu (ang. *target-site resistance* – TSR) występuje, gdy nastąpiła zmiana w miejscu działania herbicydu, np. zmiana sekwencji aminokwasów w białku, wynikająca z mutacji w sekwencji kodującego je genu, uniemożliwiająca przyłączenie się substancji aktywnej, w wyniku czego herbicyd nie wpływa na procesy metaboliczne danej rośliny. Mechanizm ten odpowiada za odporność wśród wielu gatunków chwastów, m.in. na triazyny, inhibitory syntazy acetylmleczanowej (ALS), inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCazy), a także na glifosat, inhibitory podziału komórek, syntetyczne auksyny oraz inhibitory oksydazy protoporfirynogenowej. Ten typ odporności traktowany jest jako monogeniczny. Nie ma możliwości przełamania jej, nawet zwiększając dawkę substancji aktywnej kilkadziesiąt razy. Odporność nie związana z miejscem działania herbicydu (ang. *non-target-site resistance* – NTSR) jest bardziej złożona i trudna do rozpoznania. Zależy od jednego mechanizmu lub kombinacji mechanizmów, które uniemożliwiają dotarcie substancji aktywnej do docelowego miejsca działania herbicydu w roślinie. Przykładem takiego mechanizmu jest metaboliczna

detoksykacja poprzez utlenianie, redukcję, hydrolizę, dekarboksylację lub rozkład cząsteczki herbicydu, w wyniku czego do miejsca docelowego dociera zmniejszona ilość substancji. Może to być również zmiana w pobieraniu lub przemieszczaniu się herbicydu w roślinie (np. glifosat, parakwat), odporność związana z cytochromem P450 monoksygenazy oraz glutationem S-transferazą (GST). Odporność poza miejscem działania jest traktowana jako poligeniczna [Adamczewski 2014; www.hracglobal.com].

1.2.2. Fitness chwastów

Chwasty wykazują duże zdolności przystosowawcze. W ich genach zachodzą spontaniczne mutacje, a sukces reprodukcyjny uzyskują te osobniki, których zestaw genów okazuje się najbardziej odpowiedni dla danych warunków stresowych, wynikających z zastosowania herbicydu (przetrwanie oraz wytworzenie żywotnego pyłku i nasion). Zjawisko to określane jest jako „fitness chwastów”. W wyniku przystosowania fizjologicznego i biochemicznego chwastów na działanie herbicydów, może dojść do mutacji o charakterze dziedzicznym, co oznacza, że następne pokolenie populacji odpornej będzie posiadać cechę odporności [Adamczewski i Dobrzański 2012]. Adamczewski [2014] stwierdza, że badania prowadzone nad fitnessem chwastów w kontekście odporności na herbicydy dotyczą m.in.: określenia różnic pomiędzy populacjami odpornymi (R) i wrażliwymi (S), stosunków ilościowych R do S w populacji, wystąpienia zmian genetycznych i biochemicznych oraz oznaczenia potencjału reprodukcyjnego.

Badania wykazały duże różnice pomiędzy wrażliwymi i odpornymi populacjami chwastów. Populacje odporne chwastów wytwarzają z reguły mniejszą liczbę nasion w porównaniu do populacji wrażliwych, odznaczają się również mniejszym wzrostem, niższym wskaźnikiem LAI i ograniczoną akumulacją biomasy [Leroux 1993]. Według Babineau i in. [2017b] fitness populacji odpornych i wrażliwych *Apera spica-venti* nie różni się znacząco. Autorzy nie stwierdzili istotnych korelacji między stopniem wrażliwości osobników, a badanymi cechami w całym cyklu rozwojowym roślin; tj. liczbą pędów, biomasą, długością faz rozwojowych, plennością itp. Shrestha i in. [2010] wskazują, iż różnice w fitnessie populacji odpornych i wrażliwych są korzystniejsze wśród uodpornionych roślin, co znalazło swoje odzwierciedlenie zarówno w wysokości roślin w fazie kwitnienia, suchej masie jak i liczbie kwiatów i ziarniaków. Według wyników badań przeprowadzonych przez Rissel i Ulber [2018], pokolenie F1 posiada zmniejszoną wrażliwość na jodosulfuron metylosodowy w porównaniu do populacji rodzicielskiej,

co skutkuje zwiększaniem się poziomu odporności w następnych pokoleniach. Adamczewski i Matysiak [2009] wykazali, że ziarniki populacji odpornych miotły zbożowej miały istotnie większą masę tysiąca ziaren, były znacząco dłuższe i szersze oraz posiadały dłuższe ości, jednakże nie jest to jednoznaczne z łatwiejszym rozprzestrzenianiem się tych osobników względem populacji wrażliwych. Podczas swoich badań, autorzy zauważyli deformacje wiech na polach, gdzie występowała *Apera spica-venti* odporna na sulfonilomoczniki. Zdeformowane wiechy obecne były na całej roślinie, niezależnie od ilości kwiatostanów. Czasami występowały deformacje tylko podstawy wiechy.

1.2.3. Czynniki powstawania odporności

Rozwój odporności jest wynikiem zarówno presji selekcyjnej środowiska, poprzez stworzenie roślinom czynników stresowych, jak również potencjału genetycznego większości gatunków chwastów, który pozwala ten stres przetrwać. Presję selekcyjną generuje wielokrotne stosowanie herbicydów o tym samym mechanizmie działania. Sposób oddziaływania substancji aktywnych na rośliny determinuje prawdopodobieństwo i tempo powstawania odporności. Na podstawie liczby przypadków odporności na poszczególne mechanizmy działania sklasyfikowano grupy HRAC według ryzyka wystąpienia odporności. Wyróżniono następujące grupy [Moss i in. 2019]:

- grupa wysokiego ryzyka - liczba gatunków, które wytworzyły odporność na herbicydy w tej grupie stanowi 10 % lub więcej spośród wszystkich zgłoszonych przypadków odporności;
- grupa średniego ryzyka - obejmuje 5–10 % gatunków odpornych;
- grupa niskiego ryzyka - obejmuje 1–5 % gatunków odpornych;
- grupa bardzo niskiego ryzyka - obejmuje < 1 % gatunków odpornych.

Wysokie ryzyko wystąpienia odporności u chwastów stwarza stosowanie inhibitorów ACCazy (HRAC 1), ALS (HRAC 2) oraz inhibitorów fotosystemu II z grupy triazyn (HRAC 5). O średnim ryzyku powstania odporności można mówić, gdy stosuje się substancje aktywne z grup HRAC 9, 4, 22 oraz inhibitory fotosystemu II z grupy pochodnych mocznika (HRAC 5). Pozostałe grupy HRAC stanowią małe i bardzo małe ryzyko wystąpienia odporności u chwastów [Moss i in. 2019].

Na ryzyko rozwinięcia się odporności na herbicydy u danego gatunku chwastu wpływają jego cechy biologiczne i genetyczne. U gatunków jednorocznych, o krótkim cyklu rozwojowym znacznie szybciej rozwija się odporność niż u roślin dwuletних i wieloletnich.

Gatunki jednoroczne charakteryzują się szybką wymianą pokoleniową, rozmnażają się generatywnie, a wiele z nich cechuje obcopylność. Skutkuje to dużą zmiennością genetyczną, szybką ewolucją odporności i jej rozprzestrzenianiem [Holt i in. 2013; Moss i in. 2019]. Samozapylenie nie stanowi jednak skutecznej bariery w powstawaniu i rozwijaniu odporności. Przykładem są gatunki z rodzaju *Avena* ssp., które są w większości samopylne, a odporne ich populacje występują w wielu krajach [Moss i in. 2019; Heap 2023]. Rozprzestrzenianiu odporności sprzyja również duża plenność roślin i wiatrosiewność, dzięki której diaspory mogą być przenoszone na znaczne odległości od rośliny matecznej [Jasieniuk i in. 1996; Moss i in. 2019]. Do gatunków o wysokim stopniu ryzyka wystąpienia odporności należą m.in.: *Apera spica-venti*, *Digitaria sanguinalis*, *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne*, *Phalaris minor*, *Poa annua*, *Alopecurus myosuroides*, *Papaver rhoeas*, *Amaranthus* ssp., *Chenopodium album*, *Raphanus raphanistrum*, *Senecio vulgaris* i *Solanum nigrum*. Chwasty charakteryzujące się średnim ryzykiem rozwoju odporności to: *Echinochloa crus-galli*, *Conyza* ssp., *Avena* ssp., *Matricaria* ssp. oraz *Stellaria media* [Moss i in. 2019; Ngow i in. 2020].

Maxwell i Mortimer [1994] uważają, że głównym czynnikiem dokonującym selekcji populacji odpornych jest herbicyd, którego zastosowanie powoduje eliminację osobników wrażliwych danego gatunku, stanowiących początkowo zdecydowaną większość zbiorowiska. Odporne populacje chwastów podczas długiego działania tego samego czynnika stresowego, mogą zacząć dominować w niszy ekologicznej, a rozpoznanie odporności chwastów w warunkach polowych nie jest łatwe. W przypadku, gdy pomimo zastosowania herbicydu, na polu nadal występują chwasty, nie zawsze oznacza to, iż mamy do czynienia z odpornością. Niska skuteczność działania środków ochrony roślin może być wynikiem: niekorzystnych warunków pogodowych podczas zabiegu, niewłaściwej fazy rozwojowej chwastów, złej dawki lub terminu zastosowania herbicydu, a także techniki wykonania oprysku. Dopiero po wykluczeniu wyżej wymienionych czynników, należy podejrzewać uodpornienie i zlecić wykonanie odpowiednich badań [Adamczewski 2014]. Bardzo trudno jest zauważyć początek powstawania odporności, ponieważ przez pierwsze lata stosowania herbicydu, liczebność osobników odpornych nie przekracza zazwyczaj 1 % całej populacji [Woźnica 2012].

Presję na rośliny ze strony środków ochrony roślin można zmniejszyć poprzez działania mające na celu dywersyfikację herbicydów na danym polu. Najważniejsze jest wymienne stosowanie substancji aktywnych o różnym mechanizmie działania

z jednoczesnym wprowadzeniem do programu ochrony roślin substancji aktywnych stwarzających małe lub bardzo małe ryzyko wystąpienia odporności. Wskazane jest również wprowadzenie do ochrony roślin herbicydów przedwzrostowych, które w mniejszym stopniu niż powszchodowe wywołują odporność u chwastów. Stosowanie tej grupy herbicydów jest szczególnie zalecane w uprawach wysiewanych w szerokich międzyrzędziach oraz roślinach o powolnym początkowym tempie wzrostu. Zwalczanie chwastów preparatami zarówno przedwzrostowymi, jak i powszchodowymi zmniejsza ryzyko powstawania odporności zwłaszcza wśród chwastów jednoliściennych [Fernandez-Cornejo i in. 2012; Rey-Caballero i in. 2017b; Beckie i in. 2019; Moss i in. 2019]. Wybór substancji aktywnej powinien być przemyślany i dostosowany do stanu zachwaszczenia oraz składu gatunkowego roślin występujących w łanie. Zabieg herbicydowy powinien zostać przeprowadzony w optymalnych warunkach pogodowych i w najkorzystniejszej fazie rozwojowej rośliny uprawnej i chwastów [Sobiech 2013; Fernandez-Moreno i in. 2017; Moss i in. 2019]. Na polach, na których występują odporne populacje chwastów nie zaleca się stosowania zmniejszonych dawek herbicydów, ponieważ mogą one w niewystarczającym stopniu zniszczyć chwasty i przyspieszyć tempo powstawania odporności. Małe dawki preparatów powodują stres u chwastów i przez to zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia w roślinie mutacji [Beckie 2006; Manalil i in. 2011; Norsworthy i in. 2012]. Badania przeprowadzone przez Adamczewskiego [2014] wykazały, że u miotły zbożowej aplikowanie zmniejszonych dawek substancji biologicznie czynnych należących do grupy inhibitorów syntazy acetylmleczanowej (ALS) przyspieszyło wystąpienie odporności, natomiast nie stwierdzono takiego wpływu, stosując izoproturon, chlorotoluron i inhibitory fotosystemu II. Wykorzystując efekt synergizmu związków chemicznych zalecane jest łączenie herbicydów o różnym mechanizmie działania w mieszaniny. Zastosowanie dwóch lub trzech substancji aktywnych zazwyczaj skuteczniej eliminuje rośliny niepożądane w łanie, niż herbicydy jedno składnikowe [Ganie i Jhala 2017; Moss i in. 2019].

W ograniczeniu powstawania odporności na herbicydy ważną rolę odgrywa zróżnicowany płodozmian [Torun i Uygur 2021]. W łanie roślin o różnej biologii, morfologii oraz pokroju występują zbiorowiska chwastów o innym składzie gatunkowym, co chroni uprawy przed masowym namnożeniem się i dominacją jednego gatunku. Zalecane jest również wprowadzenie do zmianowania upraw jarych i przemienna w latach uprawa gatunków o różnym terminie wysiewu, albowiem do odchwaszczania poszczególnych

gatunków roślin uprawnych i chwastów dedykowane są różne substancje aktywne. Dzięki temu można zminimalizować aplikację związków chemicznych o takim samym mechanizmie działania w kolejnych latach [Soukup i in. 2006; Moss i in. 2019].

Na powstawanie i rozprzestrzenianie się odporności chwastów na herbicydy wpływa również uprawa roli. Praktykowanie przez wiele lat na tym samym polu uprawy bezorkowej zwiększa prawdopodobieństwo pojawienia się populacji odpornych. Wykonując orkę warstwa orna gleby ulega odwróceniu i wymieszaniu. Substancja aktywna skumulowana w wierzchniej warstwie zostaje przemieszczona do głębszych poziomów. W konsekwencji zmniejsza się jej stężenie i negatywny wpływ na roślinność. Ponadto nasiona populacji odpornych osypane na glebę zostają przemieszczone do jej głębszych pokładów, z których niewiele gatunków chwastów ma szansę na wykiełkowanie. Niemniej jednak w kolejnym roku mogą one zostać ponownie wyorane na powierzchnię. Pewien odsetek nasion straci już zdolność kiełkowania, ale te, które pozostały żywe mogą w kolejnym roku wykiełkować. Aby uniknąć przemieszczenia zaoranych nasion do płytszych warstw gleby zalecane jest przemienne stosowanie uprawy płużnej i bezorkowej lub wykonywanie uprawek na różną głębokość [Cirujeda i in. 2003; Soukup i in. 2006; Moss i in. 2019].

W celu ograniczenia rozprzestrzeniania się populacji odpornych chwastów preferowane jest opóźnienie terminu siewu roślin uprawnych. Umożliwia to zniszczenie chwastów, które weszły przed siewem rośliny i w konsekwencji zmniejszenie ich liczebności w łanie [Torra i in. 2011; Rey-Caballero i in. 2017b; Moss i in. 2019]. Działania te są szczególnie polecane do walki z odpornymi populacjami chwastów jednoliściennych, takich jak: *Alopecurus myosuroides* oraz *Lolium rigidum* [Gill i Holmes 1997; Moss i in. 2007]. Ponadto należy podjąć wszelkie działania, aby zwiększyć konkurencyjność rośliny uprawnej względem chwastów. Dlatego należy wysiewać gatunki szybko wschodzące oraz te o szybkim wzroście, zwłaszcza we wczesnych fazach rozwojowych. Również rośliny intensywnie krzewiące się i rozgałęziające są dla chwastów dużą konkurencją o miejsce w łanie i światło [Moss i in. 2019].

Skuteczne zarządzanie odpornością na herbicydy wymaga integracji różnych praktyk związanych z chemicznym i nie chemicznym odchwaszczaniem roślin uprawnych [Beckie 2006; Soukup i in. 2006; Shaner 2014]. W uprawach wysiewanych w szerokich rzędach chwasty mogą być skutecznie eliminowane pielnikami międzyrzędowymi, natomiast

w zwartych łańcach zadawalające rezultaty można uzyskać stosując bronę chwastownik [Cirujeda i in. 2003; Beckie i Harker 2017; Beckie i in. 2019].

Badania Köhlera i in. [2018] wykazały, że stosowanie na polach w regionie Hanoweru (Niemcy) - gdzie występuje odporna na ALS miotła zbożowa - płodozmianę i uprawy orkowej, wpłynęło ograniczająco na występowanie tego gatunku w łańcu. Aplikacja propyzamidu (HRAC 3) w rzepaku znacząco obniżyła liczebność populacji *Apera spica-venti* w następnych latach uprawy, co wiąże się z odmiennym trybem działania herbicydu. Autorzy wykazali również, że spośród herbicydów zalecanych w uprawie zbóż, najlepszym wariantem jest jesienna aplikacja takich substancji jak: diflufenikan i flufenacet. Potwierdzają to badania Niehoffa [2015]. Według Kucharskiego i Roli [2007] uprawa kukurydzy w monokulturze powoduje wzrost liczebności odpornych na atrazynę populacji, o kilka do kilkunastu procent w ciągu 3 lat badań. Zmiana uprawy i stosowanych herbicydów spowodowała spadek liczebności tych gatunków do kilkadziesiąt procent – ograniczając, ale nie eliminując całkowicie problemu odporności. Zamojska i Malinowski [2012] stwierdzają, iż w ramach integrowanej ochrony roślin sprawdzoną metodą redukującą zjawisko uodparniania się agrofagów jest całkowite wyeliminowanie środka ochrony roślin, na który wystąpiła odporność i zastąpienie go innym – o odmiennym mechanizmie działania. Badania Deveikyte i in. [2007] dowodzą, że stosowanie mieszanin różnych substancji aktywnych zapobiega tworzeniu i rozprzestrzenianiu się odporności. Aby nie dopuścić do szerzenia się odporności rozpowszechniono na Białorusi stosowanie mieszanek herbicydowych oraz płodozmianę i odpowiednich technologii uprawy roli [Soroka 2007].

W ostatniej dekadzie najbardziej znaczącą zmianą w strategii zarządzania chwastami odpornymi na herbicydy (HR) na świecie było zwiększanie nacisku na ograniczenie banku nasion chwastów i utrzymywanie jego niskiego poziomu wszelkimi możliwymi metodami [Beckie i in. 2019]. Na wielu polach bank nasion chwastów składa się prawdopodobnie z gatunków odpornych na jedną lub więcej substancji aktywnych, w związku z tym obecnie zalecana jest polityka zerowej tolerancji [Bayer CropScience 2019; Beckie i in. 2019]. Opracowane zostały systemy wspomagania decyzji (DSS), których celem jest wspieranie rolników i doradców w podejmowaniu właściwych decyzji dotyczących zarządzania uprawami i chwastami. Systemy DSS mogą pomóc rolnikom i doradcom w wyborze odpowiednich herbicydów dla danego pola i zasugerować minimalne dawki stosowania herbicydów, które mogą skutkować optymalną kontrolą chwastów bez ryzyka niskiej skuteczności lub odporności na herbicydy [Kanatatas i in. 2020]. W ramach projektu

„Strategia przeciwdziałania uodpornianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu” wdrożono bezpłatny, internetowy system wspomagania decyzji w zakresie zarządzania odpornością chwastów na herbicydy - ResiHerb [www.zwalczchwasty.pl].

1.2.4. Problem odporności chwastów na herbicydy na świecie

1.2.4.1. Historia rozwoju odporności

Po drugiej wojnie światowej rozpoczął się bardzo intensywny rozwój chemicznej ochrony roślin. Oprócz korzystnego wpływu na plonowanie roślin, powszechne stosowanie środków ochrony roślin przyniosło także negatywne skutki – jednym z nich jest uodpornienie się zwalczanych agrofagów na stosowane preparaty. Początkowo dotyczyło to fungicydów i insektycydów, ale obecnie w głównej mierze spotyka się przypadki uodpornienia chwastów na herbicydy [Adamczewski 2014].

Pod koniec lat 40. XX wieku rozpoczęto stosowanie selektywnych herbicydów z grupy syntetycznych auksyn, tj. MCPA i 2,4-D. Rozwój tej odporności nastąpił wówczas bardzo szybko, gdyż już pod koniec lat 50. odnotowano pierwsze przypadki słabego zwalczania niektórych gatunków chwastów [Adamczewski 2014]. Zidentyfikowana w Kanadzie w 1957 roku dzika marchew (*Daucus carota*) nie została zwalczona pomimo zastosowania kilkakrotnie wyższych dawek 2,4-D [Whitehead i Switzer 1963]. Jak podaje Soroka [2007], wieloletnie stosowanie w Białorusi 2,4-D oraz MCPA w uprawach zbożowych, doprowadziło do wytworzenia populacji odpornych wielu gatunków chwastów. Są to m.in.: ostrożeń polny (*Cirsium arvense*), mlecz polny (*Sonchus arvensis*), bniec biały (*Melandrium album*), gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*), niezapominajka polna (*Myosotis arvensis*), wiechlina roczna (*Poa annua*), chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli*), miotła zbożowa (*Apera spica-venti*) i wiele innych.

Na przełomie lat 50. i 60. XX wieku wprowadzono do praktyki rolniczej inhibitory fotosyntezy w fotosystemie II (PSII). Już w roku 1968 w USA potwierdzono występowanie w szkółce drzewek owocowych starca zwyczajnego (*Senecio vulgaris*) odpornego na substancje aktywne z tej grupy, tj. atrazynę i symazynę [Ryan 1970]. Powszechne stosowanie triazyn w uprawie kukurydzy, sadach i nieużytkach rolniczych spowodowało, iż kolejne lata przynosiły doniesienia o innych uodpornionych gatunkach, takich jak: komosa biała (*Chenopodium album*), szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*), chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli*), wiechlina roczna (*Poa annua*) i wiele innych [Adamczewski 2014]. Zdaniem Mechant i in. [2008] powszechne stosowanie w przeszłości

atrazyny na plantacjach kukurydzy oraz obecnie metamitronu w burakach cukrowych i metrybuzyny w ziemniakach doprowadziło do powstania odporności krzyżowej spowodowanej mutacją w genie *psb* u wielu populacji *Chenopodium album* m.in. z Francji, Holandii, Belgii i Szwecji. Mayor i Maillard [1997] w Szwajcarii w 1994 roku, potwierdzili pierwszy przypadek miotły zbożowej odpornej na izoproturon, a jej mechanizm odporności polegał wówczas na zwiększonej degradacji herbicydów, związanej z cytochromem P450. Niemann [2000] wykazał występowanie *Apera spica-venti* odpornej na ww. herbicyd z grupy inhibitorów fotosyntezy w fotosystemie II (PSII) w Niemczech w 1997 roku.

Wprowadzenie do walki z chwastami środków hamujących działanie enzymu syntazy acetylmleczanowej (ALS) spowodowało szybkie powstawanie odporności na te preparaty. Stosowanie na szeroką skalę inhibitorów ALS doprowadziło do pojawienia się w 1988 roku w Kanadzie populacji gwiazdnicy pospolitej (*Stellaria media*) odpornej na chlorosulfuron [O'Donovan i in. 1994]. Obecnie jest to najczęściej występująca odporność (krzyżowa lub wielokrotna) i obejmuje takie gatunki jak: miotła zbożowa (*Apera spica-venti*), owies głuchy (*Avena fatua*), wyczyniec polny (*Alopecurus myosuroides*), życica sztywna i wielokwiatowa (*Lolium rigidum* i *multiflorum*), chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli*) oraz różne gatunki szarłatu (*Amaranthus* ssp.), a w Polsce dodatkowo: chaber bławatek (*Centaurea cyanus*), mak polny (*Papaver rhoeas*) i maruna bezwonna (*Matricaria maritima* ssp. *inodora*) [Heap 2023]. Salava i Chodova [2007] wykryły odporność na imazapyr w czeskich populacjach *Kochia scoparia* (mietelnik żakula), która została nadana przez mutację w kodonie 574 genu syntazy acetylmleczanowej (substytucja leucyny przez tryptofan).

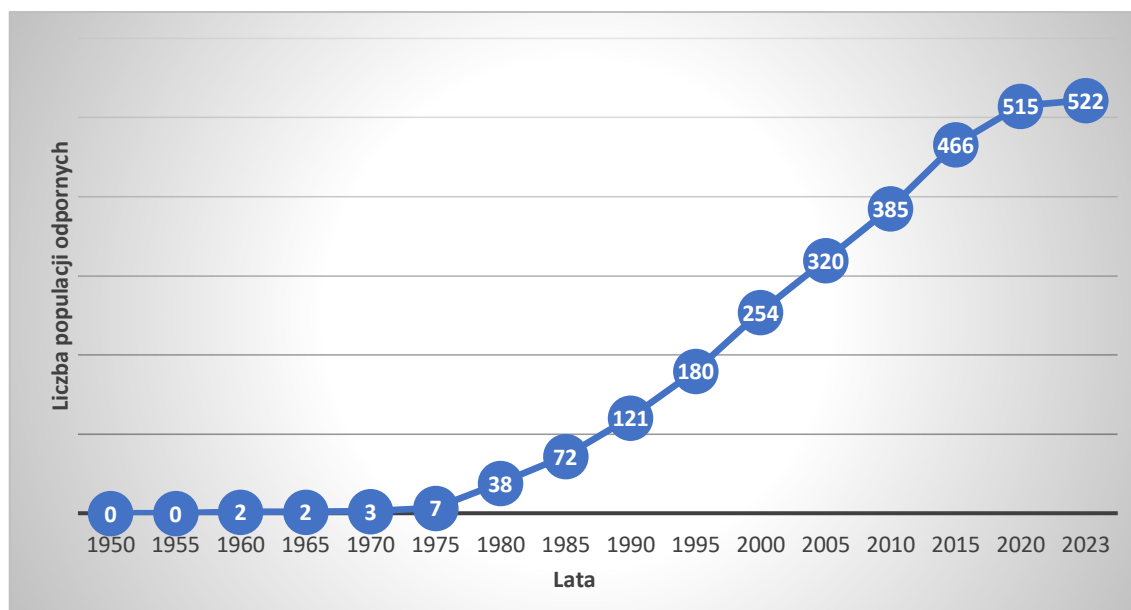
Na terenie Wielkiej Brytanii Marshall i Moss [2008] zidentyfikowali kilka populacji *Alopecurus myosuroides*, w których wysoki odsetek osobników wykazywał odporność na herbicydy hamujące syntazę acetylmleczanową (ALS). Populacje wyczyńca polnego odporne na sulfometuron po dokonaniu pełnej analizy, wykazywały substytucje pojedynczego nukleotydu w pozycji Pro197 oraz Trp574, co czyni je jednymi z pierwszych w pełni scharakteryzowanymi przypadkami odporności wyczyńca polnego na inhibitory ALS w Europie o mechanizmie wynikającym z mutacji w miejscu docelowym.

Kolejną grupą herbicydów, które powodują powstawanie odporności wielu gatunków chwastów są inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCazy). Na świecie zanotowano wiele takich przypadków, co stanowi bardzo duże zagrożenie dla zbóż.

Pierwszym potwierdzonym okazem jest *Lolium rigidum* (życica sztywna) pobrana z pola pszenicy w Australii w 1982 roku [Heap i Knight 1982]. Badania Boutsalis i in. [2012] wykazały odporność tego gatunku na pinoksaden, jeszcze przed wprowadzeniem tej substancji aktywnej na rynek chemiczny Australii. Heap [2023] wśród gatunków odpornych na inhibitory ACCazy w Ameryce Południowej wymienia m.in. *Sorghum halepense*, *Urochloa plantaginea*, *Digitaria ciliaris* i *insularis*, *Eleusine indica*, a także powszechnie znane w naszym kraju *Avena fatua*, *Lolium multiflorum* i *Echinochloa crus-galli*. Delye i in. [2010] dodają, że w Wielkiej Brytanii, Francji, Belgii, Holandii i Niemczech występują populacje *Alopecurus myosuroides* odporne na fenoksaprop-P-etylu. Cocker i in. [1999] badając europejskie populacje wyczyńca polnego dowiedli, że głównym mechanizmem odporności na ww. substancję, okazał się być zwiększony metabolizm u większości ocenianych populacji. Osuna i in. [2012] w swoich badaniach wykazali, że *Eleusine indica* pobrana z pól Brazylii, odznacza się odpornością na herbicydy z grupy ACCazy, tj. fenoksaprop-P-etylu, haloksydym, setoksydym i fluazyfop-P-butyli (RI=58-143), a przyczyną jej zmniejszonej wrażliwości jest mutacja w miejscu docelowym. Zdaniem autorów tylko niewielka liczba populacji, u których potwierdzono odporność na inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A w Ameryce Południowej ma wyjaśniony mechanizm odporności. Według Gemelli'ego i in. [2013] kletodym jest najczęściej stosowanym herbicydem z tej grupy chemicznej w Brazylii i służy do zwalczania m.in. odpornej na glifosat *Digitaria insularis*, ale jego powszechność doprowadzi do szybkiego rozwoju odporności.

Znaczącym etapem w rozwoju odporności na świecie jest wprowadzenie do walki z chwastami glifosatu. Pierwszym potwierdzonym okazem odporności na tę substancję aktywną jest pochodząca z Australii z 1996 roku - *Lolium rigidum* [Gut 1998]. Powszechne stosowanie glifosatu jako selektywnego herbicydu w uprawach GMO doprowadziło do rozprzestrzeniania się tego problemu tak, iż obecnie potwierdzono występowanie 356 populacji chwastów odpornych na glifosat, głównie w USA – 178, a także w Australii, Brazylii, Argentynie i Kanadzie [Heap 2023].

Każdego roku liczba przypadków odporności na herbicydy zwiększa się, co przedstawiono na wykresie 1. Począwszy od lat 70. XX wieku notowano stały wzrost liczby populacji chwastów odpornych na herbicydy. W latach 80. i 90. XX wieku corocznie przybywało 9-14 nowych przypadków na świecie. Do roku 1990 potwierdzono występowanie 121 przypadków chwastów odpornych na herbicydy, do 2000 – było ich już 2-krotnie więcej. Kolejne dekady przynosiły dalszy gwałtowny wzrost liczebności odpornych na herbicydy chwastów. W 2010 roku było ich już 385, zaś w 2020 – 515.



Wykres 1. Liczba przypadków (gatunek x grupa HRAC) chwastów odpornych na herbicydy w latach [Heap 2023]

1.2.4.2. Odporność chwastów na herbicydy na świecie w ujęciu statystycznym według Heap [2023]

Odporność chwastów na herbicydy została odnotowana w 72 krajach. Gatunki roślin z klasy jednoliściennych stanowią 43 %, spośród wszystkich – 269 gatunków chwastów. Łącznie potwierdzono występowanie 522 przypadków chwastów (gatunek x grupa HRAC) odpornych na herbicydy (stan 04 sierpnia 2023). Odporność zanotowano w stosunku do 21 różnych mechanizmów działania i dotyczy 166 herbicydów [Heap 2023].

W tabeli 4 przedstawiono wykaz krajów z największą liczbą zgłoszonych przypadków odporności (gatunek x HRAC) oraz liczbą gatunków chwastów odpornych według najważniejszych grup HRAC. Zagrożenie występowania odporności, jest silniejsze w krajach, gdzie zwalczanie chwastów oparto głównie na ochronie chemicznej łąnu oraz stosowano liczne uproszczenia w uprawie. Aż 203 różnych przypadków zidentyfikowano

w USA, 104 – w Australii, a 77 – w Kanadzie. Spośród krajów europejskich, najwięcej gatunków odpornych na różne grupy HRAC zgłoszono we Francji, Hiszpanii i Włoszech (odpowiednio 61, 41 i 37 przypadków).

*Tabela 4. Liczba gatunków odpornych na poszczególne grupy HRAC
w wybranych krajach [Heap 2023]*

Kraj	Liczba przypadków (gatunek x HRAC)	Liczba gatunków w grupie HRAC						
		1	2	5	22	9	3	4
USA	203	16	56	29	6	18	6	10
Australia	104	14	28	8	11	21	3	4
Kanada	77	5	25	13	3	8	1	7
Francja	61	7	23	22	0	3	0	1
Brazylia	54	6	20	5	1	11	0	3
Chiny	44	8	17	3	5	2	0	5
Hiszpania	41	2	10	19	0	8	0	1
Włochy	37	8	12	6	0	4	0	1
Japonia	37	2	21	1	7	3	2	0
Niemcy	33	5	12	15	0	0	0	0
Izrael	33	6	14	13	0	2	0	0
Argentyna	32	2	5	0	0	18	0	4
Wielka Brytania	28	4	11	10	2	0	1	1
Polska	25	3	8	9	0	1	0	1
Nowa Zelandia	23	3	4	3	2	2	0	5
Belgia	21	2	5	8	3	0	1	0
Malezja	20	1	6	1	7	2	0	4
Chile	19	5	10	0	0	1	0	0
Grecja	17	3	5	3	0	4	0	1
Turcja	16	6	9	0	0	1	0	1
Iran	16	7	5	1	0	0	0	1
Południowa	15	3	13	0	0	1	0	0
Południowa	13	3	6	1	2	4	0	0
Meksyk	12	3	2	0	0	7	0	0
Kolumbia	12	2	4	1	1	4	0	1
Wenezuela	10	2	7	3	0	1	0	0
Dania	10	4	8	0	0	0	1	0

Najwięcej gatunków chwastów jedno- i dwuliściennych uodporniło się na substancje aktywne należące do inhibitorów syntazy acetylmleczanowej (HRAC 2) – 172, inhibitory fotosyntezy w fotosystemie II (HRAC 5) – 87 oraz inhibitory syntazy kwasu 5-endolopirogrono-3-fosfoshikimowego (HRAC 9) – 57 (Tabela 5). W grupie chwastów jednoliściennych stwierdzono występowanie dużej liczby odporności również na inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A (HRAC 1) – 51. Gatunki chwastów odpornych na pozostałe mechanizmy działania herbicydów występują rzadziej. Najwięcej gatunków odpornych na świecie zidentyfikowano na atrazynę (HRAC 5) – 66, glifosat (HRAC 9) – 58 i tribenuron metylu (HRAC 2) – 48 (Wykres 2).

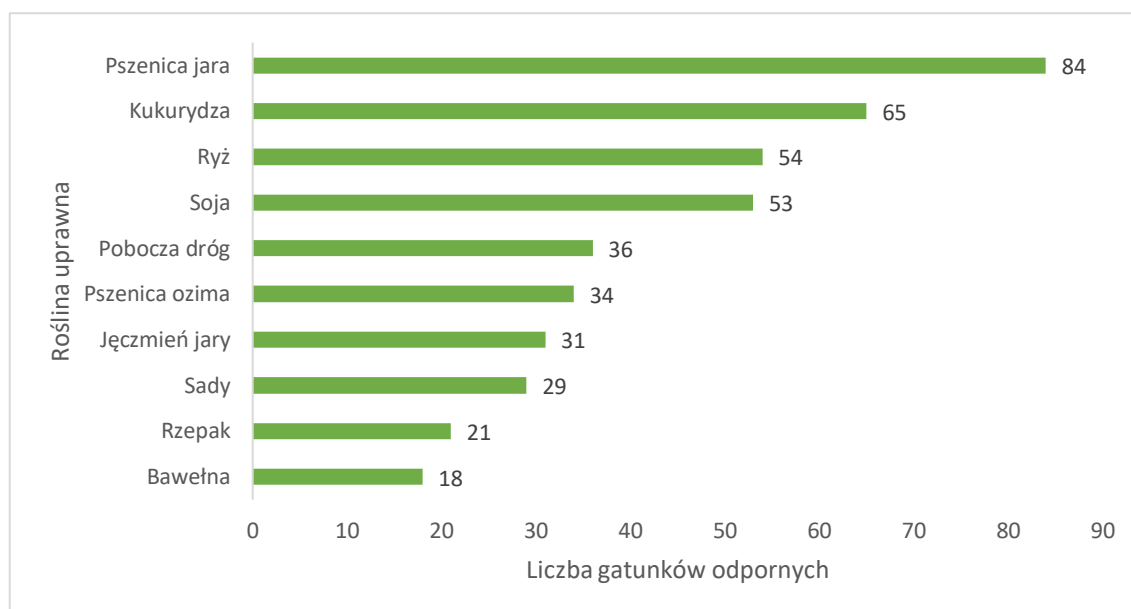


Wykres 2. Liczba gatunków chwastów odpornych na 15 najważniejszych substancji aktywnych [Heap 2023]

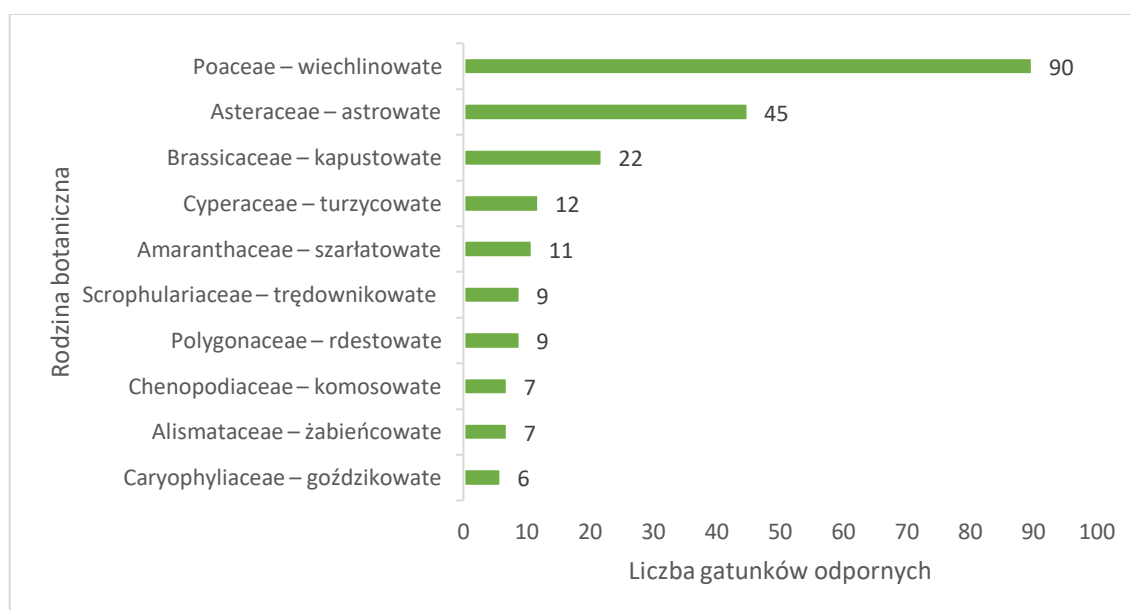
*Tabela 5. Liczba gatunków chwastów odpornych na herbicydy
o różnym mechanizmie działania [Heap 2023]*

Mechanizm działania herbicydów	Grupa HRAC	Liczba gatunków odpornych		
		Dwuliścienne	Jednoliścienne	Razem
Inhibitory syntazy acetylmleczanowej (ALS)	2	105	67	172
Inhibitory fotosyntezy w fotosystemie II (triazyny)	5	53	34	87
Inhibitory syntazy kwasu 5-endolopirogrono-3-fosfoszikiowego	9	28	30	58
Inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCazy)	1	0	51	51
Syntetyczne auksyny	4	34	8	42
Zakłócenie w działaniu fotosystemu I (dwupirydyliny)	22	22	10	32
Inhibitory oksydazy protoporfirynogenowej (PPO)	14	11	4	15
Inhibitory biosyntezy kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach	15	2	11	13
Inhibitory tworzenia mikrotubuli	3	2	10	12
Inhibitory biosyntezy karotenoidów (triazole)	34	1	5	6
Inhibitory syntezy glutaminowej	10	1	5	6
Inhibitory fotosyntezy w fotosystemie II (nityle)	6	4	1	5
Inhibitory biosyntezy karotenoidów - działania desaturazy fitonowej (PDS)	12	4	1	5
Inhibitory biosyntezy karotenoidów na poziomie 4-hydroksyfenylo-pyruwato-dioksygenazy (4-HPPD)	27	4	0	4
Inhibitory syntezy ścian komórkowych (celulozy)	29	0	4	4
Inhibitory syntezy mikrotubuli	13	0	3	3
Inhibitory mitozy	23	0	1	1
Nieznany mechanizm działania	0	1	5	6

Wykres 3 przedstawia stan odporności na świecie z podziałem na poszczególne rośliny uprawne lub miejsca, w których zidentyfikowano gatunki odporne chwastów. 84 gatunki znaleziono w pszenicy jarej, 65 – w kukurydzy, 54 – w ryżu oraz 53 – w soi. Gatunki odporne oprócz pól uprawnych, występowały również na poboczach dróg (36) oraz w sadach (29).



Wykres 3. Liczba gatunków chwastów odpornych na herbicydy według najważniejszych roślin uprawnych [Heap 2023]



Wykres 4. Liczba gatunków chwastów odpornych na herbicydy według 10 najważniejszych rodzin botanicznych [Heap 2023]

Najliczniejszą grupę stanowią gatunki chwastów odpornych na herbicydy z rodziny *Poaceae* – 90 oraz rodziny *Asteraceae* – 45 [Wykres 4]. Pozostałe rodziny botaniczne stanowią zaledwie po kilka procent wśród 269 gatunków odpornych na światcie.

1.2.4.3. Odporność *Apera spica-venti* (L.) P.B. na światcie



Fotografia 5. Wiechy odpornej na herbicydy populacji Apera spica-venti w pszenicy ozimej (autor: J. Łukasz)

Moss i in. [2019] w swoich badaniach zakwalifikowali *Apera spica-venti* do grupy chwastów wysokiego ryzyka (Fotografia 5), stwierdzając tym samym, iż dalszy rozwój odporności tego gatunku na herbicydy jest nieunikniony w przyszłości. Do międzynarodowej bazy chwastów odpornych na herbicydy (International Herbicide – Resistant Weed Database) zgłoszono jak dotąd 18 przypadków *Apera spica-venti* odpornej na różne substancje aktywne herbicydów z 11 krajów (Tabela 6).

Miotła zbożowa w latach 90. XX wieku uodporniła się na substancje z grupy inhibitorów fotosyntezy fotosystemu II. Pierwszymi potwierdzonymi populacjami są *Apera spica-venti* odporne na izoproturon (HRAC 5), pochodzące z terytorium Szwajcarii oraz Niemiec. Następnie na początku XXI wieku zidentyfikowano zmniejszoną wrażliwość na substancje z grupy inhibitorów syntazy acetylomleczanowej (HRAC 2) oraz inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A (HRAC 1). Pojawiły się również populacje *Apera spica-venti* o stwierdzonej odporności wielokrotnej. Najwięcej populacji odpornych zgłoszono w takich krajach jak: Polska, Niemcy, Dania i Szwecja.

Tabela 6. Wykaz populacji odpornej *Apera spica-venti*, zgłoszonych do bazy *International Herbicide – Resistant Weed Database [Heap 2023]* * s.a. wycofana z UE

Rok	Kraj	Grupa HRAC	Substancja aktywna
1994	Szwajcaria	5	izoproturon*
1997	Niemcy	5	izoproturon*
2005	Czechy	2+5	chlorosulfuron, jodosulfuron metylosodowy, mezosulfuron metylowy, piroksysulam, sulfosulfuron, izoproturon*
2005	Niemcy	2	chlorosulfuron, florasulam, flupyrasulfuron metylu, jodosulfuron metylosodowy, mezosulfuron metylowy, piroksysulam, sulfometuron metylowy*, sulfosulfuron
2005	Polska	2	chlorosulfuron, jodosulfuron metylosodowy, propoksykarbazon sodowy, sulfosulfuron
2006	Francja	2	jodosulfuron metylosodowy, mezosulfuron metylowy, piroksysulam
2006	Szwecja	5	izoproturon*
2009	Austria	2+5	jodosulfuron metylosodowy, izoproturon*
2009	Niemcy	1+2+5	fenoksaprop-P-etylu, pinoksaden, jodosulfuron metylosodowy, mezosulfuron metylowy, piroksysulam, sulfosulfuron, izoproturon*
2010	Polska	1	fenoksaprop-P-etylu, pinoksaden
2010	Szwecja	2	jodosulfuron metylosodowy, piroksysulam, sulfosulfuron
2011	Dania	2	jodosulfuron metylosodowy, sulfosulfuron
2011	Polska	1+2	fenoksaprop-P-etylu, pinoksaden, chlorosulfuron, sulfometuron metylu*, sulfosulfuron
2012	Polska	5	izoproturon*
2013	Litwa	2	jodosulfuron metylosodowy
2015	Łotwa	2	jodosulfuron metylosodowy
2016	Dania	1+2	fenoksaprop-P-etylu, pinoksaden, florasulam, jodosulfuron metylosodowy, mezosulfuron metylowy
2019	Belgia	2	jodosulfuron metylosodowy, foramsulfuron, mezosulfuron metylowy

Soukup i in. [2006] w swoich badaniach potwierdzili występowanie pojedynczych okazów *Apera spica-venti* odpornych na chlorosulfuron, ale jednocześnie wrażliwych na izoproturon. Hamouzova i in. [2010] uzyskali podobne wyniki. Według nich na terenie Czech występują populacje odporne krzyżowo na inhibitory syntazy acetylmleczanowej (ALS), tj. chlorosulfuron, jodosulfuron metylosodowy i sulfosulfuron, ale dobrze zwalczane przez herbicydy alternatywne, takie jak izoproturon i fenoksaprop-P-etylu. Badania

Babineau i in. [2017a] wykazały wysoką odporność na jodosulfuron metylosodowy i fenoksaprop-P-etylu (RI=0,1-372) populacji miotły zbożowej pochodzącej z terytorium Danii. Z przeprowadzonych przez Auskalniene i in [2020] badań wynika, że na terenie Litwy występują populacje *Apera spica-venti* odporne na inhibitory syntazy acetylomleczanowej (ALS). Około 43 % próbek nie wykazało wrażliwości na sulfosulfuron, jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam, co świadczy o rozprzestrzenianiu się tego typu odporności. Delabays i in. [2006] w swoich badaniach, odkryli pierwszy przypadek miotły zbożowej odpornej na herbicydy sulfonylomocznikowe w Szwajcarii, natomiast Balgheim i in. [2007] w Niemczech w 2005 roku, stwierdzając że dziedziczenie tej odporności jest determinowane przez pojedynczy gen. Zdaniem Powles'a i Yu [2010] dzieje się tak z powodu zmiany sekwencji nukleotydów w genie kodującym białko, będącym miejscem działania herbicydu, np. w wyniku tej mutacji w genie syntazy acetylomleczanowej w pozycji 197 aminokwas prolinę zastępuje treonina, glutamina czy kwas asparaginowy. Populacje miotły zbożowej bez mutacji w genie *als*, wykazujące odporność poza miejscem działania na inhibitory ALS były również stwierdzane [Babineau i in. 2017a]. Mathiassen i in. [2013] zanotowali występowanie miotły zbożowej odpornej na inhibitory ALS oraz ACCazy na terenach Danii i Szwecji, zaś Warnecke-Busch i in. [2018] w Dolnej Saksonii (Niemcy). Auskalniene i Zadorozhnyi [2020] w wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzili występowania na terenie Ukrainy odpornych na ALS populacji *Apera spica-venti*.

1.2.5. Problem odporności chwastów na herbicydy w Polsce

1.2.5.1. Zarys historyczny

Pierwsze doniesienie o występowaniu odporności w Polsce pochodzi z lat 80. XX wieku, kiedy to w sadach w rejonie Lublina zostały odnalezione populacje tasznika pospolitego (*Capsella bursa-pastoris*) odpornego na symazynę [Lipecki 1988]. Rola [1988] na podstawie przeprowadzonych badań stwierdził, że w okolicach Wrocławia na plantacjach kukurydzy występują populacje *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* oraz *Echinochloa crus-galli* odporne na triazyny. Zauważył również, że w sadach można było zaobserwować populacje *Convolvulus arvensis*, u których rozwija się tego typu odporność.

Powszechne stosowanie w Polsce herbicydów triazynowych w uprawach kukurydzy, sadach oraz terenach przemysłowych i szlakach kolejowych doprowadziło do liczego pojawienia się populacji odpornych. Stwierdzono występowanie takich gatunków odpornych jak: chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli*), komosa biała (*Chenopodium album*), palusznik krwawy (*Digitaria sanguinalis*), psianka czarna (*Solanum*

nigrum), szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*) i wierzbownica gruczołowata (*Epilobium ciliatum*) [Adamczewski 2014]. Kucharski [2005] w przeprowadzonych badaniach zidentyfikował w południowo-zachodniej części Polski populacje *Polygonum aviculare*, *Polygonum convolvulus*, *Polygonum persicaria*, *Lamium amplexicaule*, *Anthemis arvensis*, *Capsella bursa-pastoris*, *Centaurea cyanus* i *Papaver rhoeas* wykazujące odporność na tę grupę herbicydów. Według Kucharskiego [2008] w większości przypadków populacje *Polygonum* odznaczały się wysokim poziomem odporności ($RI > 6$). Autor zidentyfikował odporność krzyżową na atrazynę i inne substancje z grupy triazyn (symazyna, metrybuzyna i metamitron), jak również atrazynę i lenacil oraz lenacil i chlorydazon. Zdaniem Adamczewskiego [2014] w latach 90. XX wieku na terenie południowo-zachodniej Polski oraz Wielkopolski stwierdzono poważny problem z komosą białą odporną na atrazynę w uprawach kukurydzy. Jej uodpornienie dotyczyło mutacji Ser264-Gly w genie *psb-A*, co wpływa na spowolnienie wzrostu, mniejszą konkurencyjność i plenność. Zaprzeszanie stosowania herbicydów triazynowych pozwoliło na zmniejszenie tempa pojawiania się nowych przypadków odpornych populacji *Chenopodium album*.

Wprowadzenie na rynek krajowy w latach 90. XX wieku herbicydów działających jako inhibitory syntazy acetylomleczanowej (ALS) oraz inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCazy) do ograniczenia zachwaszczenia w zbożach, okazało się być krokiem milowym w stronę zwiększenia problemu odporności w Polsce. Już na początku XXI wieku stwierdzono odporne populacje miotły zbożowej (*Apera spica-venti*), wyczyńca polnego (*Alopecurus myosuroides*), owsa głuchego (*Avena fatua*) i chabra bławatka (*Centaurea cyanus*) na herbicydy sulfonylomocznikowe [Adamczewski 2014].

1.2.5.2. Odporność chwastów na herbicydy w Polsce w ujęciu statystycznym według Heap [2023]

Zakres substancji aktywnych oraz gatunków chwastów odpornych na herbicydy stale się poszerza. Na przestrzeni 40 lat zostało zidentyfikowanych 25 przypadków odporności na terenie Polski (Tabela 7). Najliczniej występującymi populacjami chwastów odpornych na herbicydy okazały się gatunki należące do rodziny traw tj. *Apera spica-venti*, *Alopecurus myosuroides* i *Avena fatua*. Stanowiły one łącznie 40 % wszystkich stwierdzonych w Polsce przypadków odporności. Spośród gatunków dwuliściennych, najliczniej wykazano odporność *Centaurea cyanus* i *Cozyza canadensis*.

Populacje chwastów odpornych na terenie naszego kraju odznaczały się odpornością głównie na herbicydy z grupy inhibitorów syntazy acetylmleczanowej ALS (HRAC 2) – 32 % oraz inhibitorów fotosyntezy fotosystemu II (HRAC 5) – 36 %. 12 % populacji wykazało odporność na inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A ACCazy (HRAC 1) oraz odporność wielokrotną na ALS i ACCazy (HRAC 1 + HRAC 2). Na terenie Polski występują populacje chwastów odpornych na takie substancje aktywne, jak chlorosulfuron i jodosulfuron metylosodowy (HRAC 2), a także fenoksaprop-P-etylu i pinoksaden (HRAC 1). Około 11 % potwierdzonych populacji chwastów wykazało odporność na atrazynę - substancję wycofaną w Polsce w 2007 roku.

Tabela 7. Gatunki chwastów odpornych na substancje aktywne herbicydów w Polsce, zgłoszone do bazy *International Herbicide - Resistant Weed Database* [Heap 2023]

* s.a. wycofana w UE

Gatunek	Grupa HRAC	Substancja aktywna
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1, 2	fenoksaprop-P-etylu, pinoksaden, jodosulfuron metylosodowy, mezosulfuron metylowy, sulfometuron metylu*
<i>Amaranthus retroflexus</i>	5	atrazyna*, metamitron
<i>Apera spica-venti</i>	1, 2, 5	fenoksaprop-P-etylu, pinoksaden, chlorosulfuron, jodosulfuron metylosodowy, propoksykarbazon sodowy, sulfometuron metylu*, sulfosulfuron, izoproturon*
<i>Avena fatua</i>	1, 2	fenoksaprop-P-etylu, pinoksaden, jodosulfuron metylosodowy, metsulfuron metylu, mezosulfuron metylowy, propoksykarbazon sodowy, sulfometuron metylu*
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	5	symazyna*
<i>Centaurea cyanus</i>	2, 4	chlorosulfuron, imazapyr*, sulfometuron metylu*, tribenuron metylu, dikamba
<i>Chenopodium album</i>	5	atrazyna*, metamitron
<i>Conyza canadensis</i>	2, 5, 9	imazapyr*, symazyna*, glifosat*
<i>Digitaria sanguinalis</i>	5	atrazyna*
<i>Echinochloa crus-galli</i>	5	atrazyna*
<i>Epilobium ciliatum</i>	5	atrazyna*
<i>Matricaria chamomilla</i>	2	tribenuron metylu
<i>Matricaria maritima</i> ssp. <i>inodora</i>	2	tribenuron metylu
<i>Papaver rhoeas</i>	2	tribenuron metylu
<i>Solanum nigrum</i>	5	atrazyna*

1.2.5.3. Odporność *Apera spica-venti* (L.) P.B. na herbicydy w Polsce



*Fotografia 6. Pole uprawne na terenie województwa podlaskiego z dominacją odpornej populacji *Apera spica-venti* w łanie (autor: J. Łukasz)*

W Polsce najczęściej populacji odpornej miotły zbożowej (Fotografia 6) zidentyfikowano dla herbicydów z grupy inhibitorów ALS, ze względu na ich powszechne stosowanie wynikające z niskiej ceny oraz niewielkich zalecanych dawek substancji biologicznie czynnych. Gen odporności na herbicydy tej grupy jest obecny u *Apera spica-venti* w pyłku, co w przypadku uprawy zbóż w monokulturach lub krótkich zmianowaniach sprzyja szybkiemu rozprzestrzenianiu się tej odporności [Adamczewski 2014]. Adamczewski i Kierzek [2007] podczas 3-letnich badań zebrali 263 próby *Apera spica-venti*, głównie z północnej i zachodniej części Polski oraz Śląska i Podkarpacia. Autorzy stwierdzili, że na około 40 % analizowanych pól występują populacje miotły zbożowej odporne na herbicydy sulfonilomocznikowe, a najczęściej z nich pochodziło z województwa warmińsko-mazurskiego, pomorskiego i zachodniopomorskiego.

Marczewska [2006] w swoich badaniach wykazała występowanie miotły zbożowej odpornej na chlorosulfuron. Pod wpływem zróżnicowanych dawek substancji aktywnej, ilość wolnych aminokwasów w częściach nadziemnych u populacji odpornej zmienia się, wykazując wyższe wartości w porównaniu do obiektu kontrolnego oraz populacji wrażliwej. Analiza zawartości wolnych aminokwasów może być wskaźnikiem odporności miotły zbożowej na chlorosulfuron [Marczewska i in. 2006; 2007]. Rola i in. [2004] oraz Marczewska i Rola [2006] na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzili,

że *Apera spica-venti* odporna na chlorosulfuron jest skutecznie eliminowana z ładu (88-95 % zniszczenia) przez środki zawierające inną substancję aktywną np. izoproturon oraz jego mieszaninę z diflufenikanem lub karfentrazonem, chlorotoluron oraz mieszaninę z triasulfuronem, tralkoksydym czy fenoksaprop-P-etylu.

Badania Adamczewskiego i Matysiak [2007] dowodzą, że populacje miotły zbożowej o zielonym zabarwieniu wiech są bardziej wrażliwe na stosowany chlorosulfuron i izoproturon od populacji posiadających antocjanowe wybarwienie kwiatostanów. Autorzy stwierdzają również, że osobniki odporne i średnio odporne, po zastosowaniu herbicydów sulfonilomocznikowych, wytwarzają większą masę zarówno części nadziemnych jak i korzeni. Zaobserwowane cechy wskazują, że odzwierciedleniem wrażliwości na herbicydy z tej grupy chemicznej jest występowanie u *Apera spica-venti* zmienności biologicznej oraz jak twierdzi Krzakowa i Adamczewski [2007] genetycznej (wyraźnie widoczny polimorfizm, potwierdzony badaniami enzymatycznymi).

Adamczewski i Kierzek [2007; 2011b] stwierdzają, iż odporność miotły zbożowej na sulfonilomoczniki staje się nie tylko problemem lokalnym, ale również regionalnym i dotyczy w szczególności województwa warmińsko-mazurskiego, pomorskiego (Żuławy) oraz południowej części zachodniopomorskiego. Zdaniem Adamczewskiego i in. [2019] współczynnik odporności miotły zbożowej na chlorosulfuron zależy od miejsca pochodzenia danej populacji, a najbardziej odporne pochodzą z ww. regionów, gdzie rolnicy dużych gospodarstw przez wiele lat stosowali tę substancję aktywną w zbożach.

Zdaniem Adamczewskiego i in. [2017] występowanie miotły zbożowej odpornej na izoproturon - herbicyd z grupy inhibitorów fotosyntezy w fotosystemie II - w północnej części Polski, jest wynikiem wieloletniego stosowania tej substancji aktywnej. Autorzy stwierdzili, iż populacje odporne odznaczały się zróżnicowanym mechanizmem odporności, co wynikało z ich różnego poziomu uodpornienia. Część osobników wykazywała wysokie współczynniki odporności ($RI=50,8-91,4$) i prawdopodobnie miała ona charakter odporności w miejscu działania (target-site resistance). Natomiast pozostałe populacje charakteryzował znacznie niższy poziom odporności ($RI=10,8-15,2$) nie związanej z miejscem działania (non target-site resistance).

1.2.5.4. Odporność na herbicydy wybranych gatunków chwastów w Polsce



Fotografia 7. *Alopecurus myosuroides* w łanie pszenżyta ozimego (autor: J. Łukasz)

Kolejnym gatunkiem z rodziny *Poaceae*, u którego potwierdzono występowanie odporności na substancje aktywne herbicydów jest *Alopecurus myosuroides* (Fotografia 7). Adamczewski i in. [2009b] udowodnili występowanie populacji tego gatunku odpornych na chlorotoluron, mezosulfuron metylowy + jodosulfuron metylosodowy oraz fenoksaprop-P-etylu. Adamczewski i Kierzek [2011b] wykazali, iż badane populacje wyczyńca polnego posiadają różne mechanizmy odporności. Zidentyfikowano populacje z odpornością w miejscu docelowym (mutacja w kodonie Pro 197) na jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metylowy oraz sulfometuron metylu, a także odpornością metaboliczną na dwie pierwsze substancje aktywne. Krysiak i in. [2011b] również potwierdzili występowanie w Polsce populacji odpornej na mieszaninę mezosulfuronu metylowego i jodosulfuronu metylosodowego. Analiza PCR wykazała mutację Pro197His, powodującą odporność w miejscu działania na pochodne sulfonilomoczników. Obecność populacji *Alopecurus myosuroides* odpornych na inhibitory syntazy acetylomleczanowej (ALS) i inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCase) Adamczewski i in. [2016] stwierdzili głównie na Żuławach, w pld.-zach. i pñ.-wsch. części kraju oraz w powiecie chełmińskim, kołobrzescim i Dolinie Wisły. Większość badanych roślin wykazywała odporność na jedną substancję lub jedną grupę substancji o tym samym mechanizmie działania, a więc odporność krzyżową. Dwie populacje wykazały odporność wielokrotną na sześć badanych herbicydów, a ich współczynniki odporności były bardzo zróżnicowane: jodosulfuron

metylosodowy + mezosulfuron metylowy – RI=24,6-26,6; sulfometuron metylu – RI=24,1-31,1; imazapyr – RI=28,2-30,5; fenoksaprop-P-etylu – RI=11,7-14,7; pinoksaden – RI=10,0-11,9 i kletodym – RI=2,8-4,1. Wyraźny wzrost liczby występujących populacji odpornych wyczyńca polnego, jest skutkiem stosowania uprawy bezorkowej oraz osypywania się ciężkich nasion na glebę przed zbiorem rośliny uprawnej. *Alopecurus myosuroides* stanowi poważne zagrożenie dla upraw szczególnie na Pomorzu Zachodnim, Pomorzu oraz w płn. części Warmii i Mazur [Adamczewski i in. 2019].



*Fotografia 8. Centaurea cyanus i Papaver rhoeas w łanie rzepaku ozimego
(autor: J. Łukasz)*

Adamczewski i Kierzek [2010] wykazali, że populacje *Centaurea cyanus* (Fotografia 8) zebrane z okolic Kętrzyna (warmińsko-mazurskie) odznaczają się wysokim współczynnikiem odporności na tribenuron metylu (7,3 – 8,3) i chlorosulfuron (6,7 – 7,1). Wskazuje to jednoznacznie, że w Polsce występuje odporność krzyżowa ww. gatunku na inhibitory syntazy acetylmleczanowej (ALS), co stanowi ogromne zagrożenie dla zbóż ozimych. Badania Adamczewskiego i Kierzka [2011a] dowodzą, że populacje chabra bławatka o odporności krzyżowej na sulfonylomoczniki charakteryzują się odpornością w miejscu działania wynikającą z substytucji w Pro-197 lub mutacją w dwóch miejscach: Pro-197 oraz Trp-574. Nie były to jednak badania molekularne, typ odporności stwierdzono pośrednio poprzez traktowanie roślin sulfometuronem metylu i imazapyrem.

Badania Adamczewskiego i in. [2019] wykazały, że w Polsce istnieją 23 populacje *Centaurea cyanus* odporne na tribenuron metylu oraz jedna odporna na dikambę.

Największe skupiska tych okazów znajdują się w północnej części kraju (Pomorze, Warmia i Mazury) oraz w Wielkopolsce i na Dolnym Śląsku. Populacje chabra odporne na inhibitory ALS odznaczały się wyższym współczynnikiem odporności na tribenuron metylu niż na chlorosulfuron. Stankiewicz-Kosyl i in. [2020] analizując dostępną literaturę stwierdzili, że chaber bławatek mimo tego, że jest gatunkiem zanikającym na świecie – może być zagrożeniem dla upraw nie tylko w Polsce, ale i w Europie. Odporność *Centaurea cyanus* stwierdzono jak dotąd tylko w Polsce [Heap 2023]. Są to populacje odporne na imazapyr, chlorosulfuron, tribenuron metylu i sulfometuron metylu (HRAC 2) oraz populacje odporne na dikambę (HRAC 4). Badania Stankiewicz-Kosyl i in. [2021] wykazały występowanie na terenie Polski (głównie na północy i wschodzie kraju) 83 populacji chabra bławatka odpornych na inhibitory ALS (HRAC 2). 28 z nich było odpornych tylko na tribenuron metylu, osiem na florasulam, a 47 wykazywało odporność krzyżową na obie ww. substancje aktywne. Zidentyfikowano również trzy populacje *Centaurea cyanus* z odpornością wielokrotną na inhibitory ALS - HRAC 2 (tribenuron metylu i florasulam) i syntetyczne auksyny – HRAC 4 (2,4-D i dikambę).

Analiza stanu odporności na herbicydy *Papaver rhoeas* (Fotografia 8) wykazała, że populacje odporne na inhibitory ALS oraz syntetyczne auksyny są szczególnym zagrożeniem dla zbóż w płd. i półn. części Europy (Grecja, Włochy, Hiszpania oraz Wielka Brytania) [Stankiewicz-Kosyl i in. 2020]. W Europie środkowej populacje odporne maku polnego występują znacznie rzadziej. Na świecie zgłoszono odporności na metsulfuron metylu, jodosulfuron metylosodowy, florasulam, mezosulfuron metylowy i chlorosulfuron (HRAC 2) oraz 2,4-D, MCPA i aminopyralid (HRAC 4). Potwierdzono również występowanie populacji *Papaver rhoeas* o odporności wielokrotnej na inhibitory ALS oraz syntetyczne auksyny. Badania przeprowadzone przez Adamczewskiego i in. [2014] pozwoliły na identyfikację dwóch odpornych na tribenuron metylu populacji maku polnego, których współczynnik odporności był bardzo wysoki (RI=24,5-26,5). Są to pierwsze potwierdzone w Polsce przypadki odporności tego gatunku [Heap 2023]. Badania prowadzone w Polsce przez Stankiewicz-Kosyl i in. [2023] w latach 2017-2020, pozwoliły na identyfikację 14 populacji maku polnego odpornych na inhibitory syntazy acetylmleczanowej (ALS). Osiem populacji było odpornych krzyżowo na jodosulfuron metylosodowy i tribenuron metylu, a jedna na jodosulfuron metylosodowy i florasulam. Dodatkowo potwierdzono występowanie trzech populacji *Papaver rhoeas* odpornych na tribenuron metylu, jednej na jodosulfuron metylosodowy oraz jednej populacji

o zmniejszonej wrażliwości na florasulam. U ośmiu populacji zidentyfikowano odporność w miejscu docelowym (TSR) wynikającą z mutacji w genie *als* w kodonie 197 (Ala197, Arg197, His197, Leu197, Ser197 i Thr197).

Proces uodporniania się *Avena fatua* w Polsce południowo-wschodniej zachodzi w różny sposób dla poszczególnych odmian botanicznych [Kieć 1999]. Stokłosa i Kieć [2006a, 2006b] donoszą zidentyfikowanie populacji różnych odmian botanicznych owsa głuchego odpornych na fenoksaprop-P-etylu i diklofop metylu, a testowany materiał cechowała duża zmienność wrażliwości na ww. substancje. Według Adamczewskiego i in. [2019] w Polsce występują populacje owsa głuchego odporne na inhibitory z grupy ALS i ACCazy. Zaobserwowany w ostatnich latach wzrost zachwaszczenia upraw tym gatunkiem oraz jego szybkie rozprzestrzenianie sprawia, iż można podejrzewać wystąpienie intensywnego rozwoju odporności *Avena fatua* (Fotografia 9).



Fotografia 9. *Avena fatua* w łanie owsa siewnego (autor: J. Łukasz)

Powszechne stosowanie atrazyny w 10-letniej monokulturze kukurydzy doprowadziło do uodpornienia się szarłatu szorstkiego na triazyny [Rola i Rola 1999]. Badania prowadzone przez Rolę i Rolę [2002b] w rejonie Wrocławia wykazały występowanie chwastnicy jednostronnej, komosy białej i szarłatu szorstkiego odpornych na atrazynę. U dwóch gatunków wykryto odporność w miejscu działania herbicydu (odpowiednio 2 populacje *Echinochloa crus-galli* i 54 *Amaranthus retroflexus*) [Rola i Rola 2002a]. Rola i in. [2004] na podstawie przeprowadzonych eksperymentów wykazali, że *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Echinochloa crus-galli* pochodzące

z upraw kukurydzy, odporne na atrazynę, mogą zostać zwalczone poprzez stosowanie mieszanek herbicydowych zawierających rimsulfuron, mezotrion czy metrybuzynę + flufenacet. Natomiast populacje z plantacji buraka cukrowego odporne na chlorydazon, lenacil i metamitron, przy pomocy takich substancji, jak: fenmedifan, desmedifan, chlopyralid, etofumesat i triflusulfuron.

Według Kucharskiego i Roli [2003] na Dolnym Śląsku występują populacje *Chenopodium album* i *Amaranthus retroflexus* odporne na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy PSII. Większość z nich odporna jest wyłącznie na triazyny (odpowiednio 87 % i 93 % prób wymienionych gatunków). Dodatkowo na chlorydazon i lenacil odpornych jest 64 % populacji komosy białej i 72 % szarłatu szorstkiego, wykazując tym samym odporność krzyżową. Odporność wielokrotną (triazyny + chlorydazon oraz lenacil + chlorotoluron i izoproturon) wykryto u kilkunastu populacji każdego gatunku. Badania Kucharskiego i Roli [2004] dowodzą, że na Dolnym Śląsku na plantacjach buraka cukrowego oprócz *Chenopodium album* i *Amaranthus retroflexus* odpornych na metamitron, chlorydazon i lenacil występują także populacje *Polygonum persicaria* i *Polygonum convolvulus* odporne na ww. substancje. Badania przeprowadzone przez Jędruszczak i Antoszek [2002a] wykazały niską skuteczność zwalczania populacji *Echinochloa crus-galli* przez atrazynę i metrybuzynę, co świadczyło o nabywaniu wówczas odporności na te substancje aktywne w rejonie Lubelszczyzny. Natomiast Kapeluszy i Haliniarz [2002] potwierdzili występowanie w tym regionie odpornej na atrazynę populacji komosy białej.

Adamczewski i Kierzek [2011b] w swoim doświadczeniu wyselekcjonowali populacje komosy białej słabo reagującej na metamitron w plantacji buraka cukrowego (RI=2,9 i 4,4). Uzyskane wyniki utwierdzają w przekonaniu, że zachodzi stopniowy proces uodparniania się *Chenopodium album* na tą substancję aktywną (PSII). Z badań autorów wynika, że jedna próba szarłatu szorstkiego także wykazała odporność na metamitron. Współczynnik odporności wynosił 7,4, co świadczy o występowaniu odporności na poziomie średnim. Rola i Kucharski [2005] oraz Kucharski [2005] wykazali, że populacje chwastnicy jednostronnej i komosy białej odznaczają się głównie odpornością poza miejscem działania (detoksyfikacja herbicydu) na atrazynę, natomiast szarłatu szorstkiego – odpornością w miejscu działania. Badania Paradowskiego i Stacheckiego [2004] wykazały, że odporne na triazyny populacje *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Solanum nigrum* są skutecznie usuwane z łąnu kukurydzy poprzez stosowanie mieszaniny florasulamu i 2,4-D.

2. Cel i hipoteza badań

Celem badań była ocena stopnia odporności *Apera spica-venti* występującej w agrocenozach województwa lubelskiego i podlaskiego na wybrane substancje aktywne z grupy inhibitorów syntazy acetylmleczanowej (ALS) – HRAC 2, inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCazy) – HRAC 1, inhibitorów fotosyntezy fotosystemu II (PSII) – HRAC 5 oraz inhibitorów tworzenia mikrotubuli (HRAC 3), wyjaśnienie mechanizmu odporności wybranych populacji oraz scharakteryzowanie praktyk rolniczych na polach, na których występowała miotła zbożowa odporna na herbicydy.

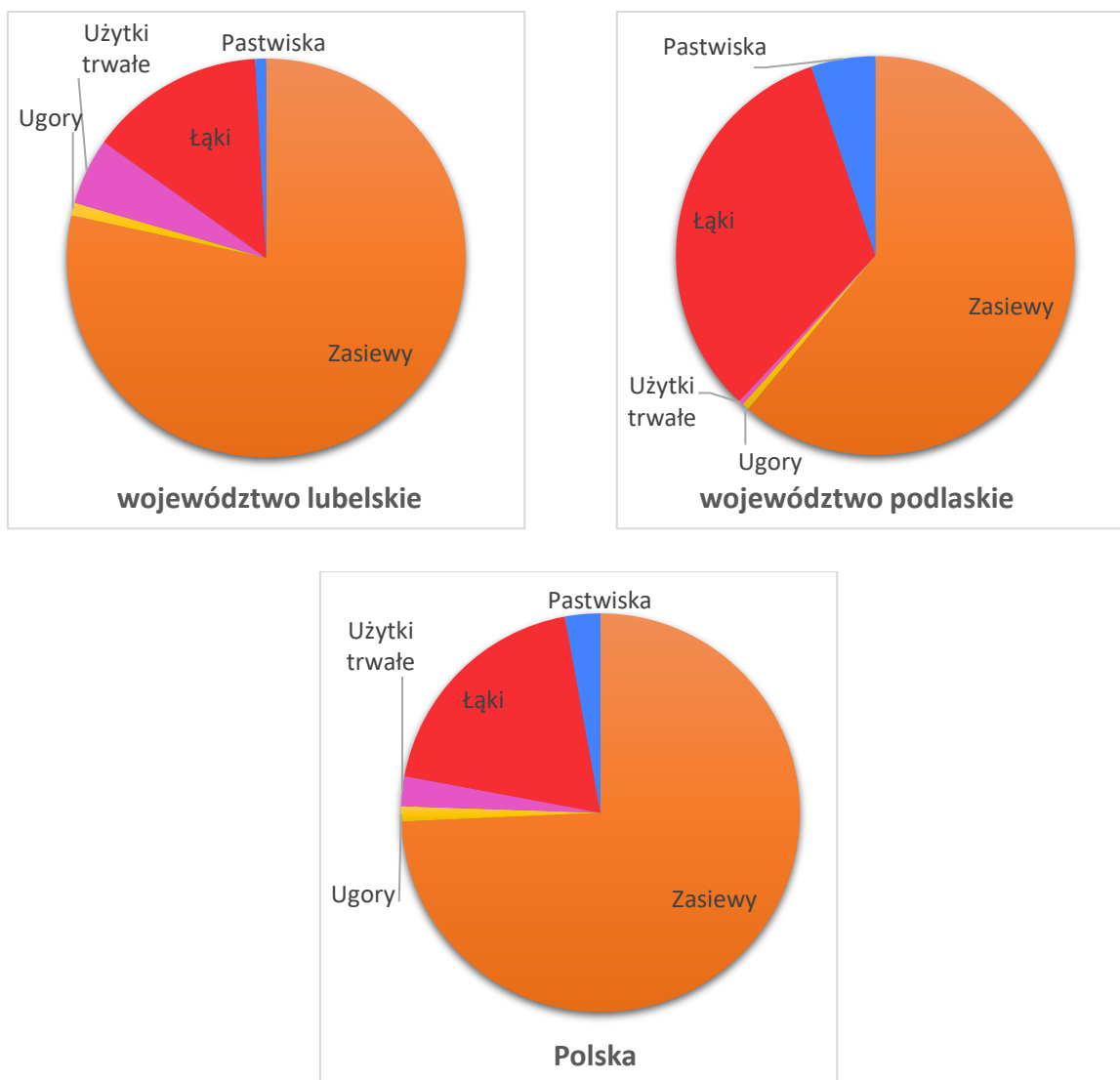
W hipotezie badawczej założono, że na terenie badanych województw występują populacje *Apera spica-venti* odporne na badane substancje aktywne, a najwięcej populacji charakteryzuje się odpornością na inhibitory ALS. Na podstawie analizy struktury zasiewów oraz informacji uzyskanych od rolników założono, że na terenie województwa lubelskiego występuje więcej odpornych na herbicydy populacji miotły zbożowej.

3. Charakterystyka obszaru badań

Potencjał przyrodniczy województwa lubelskiego, a więc korzystne warunki klimatyczne oraz dobre gleby sprawiają, iż na terenie województwa lubelskiego występują dogodne warunki dla wzrostu i rozwoju roślin. Województwo to charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem przestrzennym, zarówno pod względem agroklimatu, jak i jakości i przydatności rolniczej gleb [US w Lublinie 2023]. Biorąc pod uwagę pierwszą z cech, rozpiętość punktowa dla gmin Lubelszczyzny wynosi od 8,8 do 13,0 punktów (skala piętnastopunktowa, gdzie 15 oznacza klimat najkorzystniejszy). Najlepszym agroklimatem odznacza się południowo-zachodnia część województwa, zaś najgorszym północno-wschodnia. Znaczący wpływ dla opłacalności rolnictwa ma także jakość gleb. Województwo lubelskie charakteryzuje się zróżnicowaniem glebowym (30-90 pkt w skali 100-punktowej). Najlepsze gleby znajdują się w okolicach Nałęczowa oraz w powiecie hrubieszowskim, najgorsze zaś w powiecie włodawskim, bialskim, w okolicach Parczewa, Lubartowa, Biłgoraja i wschodniej części powiatu łukowskiego i janowskiego. Wskaźnik wartości rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WRPP) dla województwa lubelskiego wynosi 74,1 pkt i jest jednym z najwyższych w kraju (po województwach: opolskim – 81,4 pkt i dolnośląskim – 74,9 pkt). Dla Polski wskaźnik ten wynosi 66,6 pkt [Stuczyński i in. 2000; 2007].

Znacząca rozpiętość województwa podlaskiego w kierunku południkowym sprawia, że część północna Podlasia, tj. powiaty: suwalski, sejneński oraz północny obszar powiatu grajewskiego i augustowskiego istotnie różni się pod względem klimatycznym od części południowej. Województwo to przejawia swego rodzaju odrębność klimatyczną wyrażoną m.in.: długością zimy, stosunkowo krótkim przedwiośniem, najkrótszym w Polsce okresem wegetacyjnym i najniższą średnią temperaturą (od 5,6 do 7,0°C). Gleby województwa są ubogie w próchnicę, zakwaszone i niezbyt żyzne. W przeważającej mierze są to gleby klasy IV i V, tzw. gleby lekkie o małej pojemności wodnej lub zakamienione, przez co nadają się do uprawy tylko mniej wymagających roślin [Roszkowska-Mądra 2002]. Surowy klimat panujący w województwie podlaskim oraz słabej jakości gleby powodują, że wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej wynosi dla Podlasia 55,0 pkt, stawiając to województwo na ostatnim miejscu w kraju [Stuczyński i in. 2000]. Jedynie cztery południowo-zachodnie powiaty (wysokomazowiecki, zambrowski, bielski i siemiatycki) odznaczają się średnio korzystnymi warunkami do produkcji rolniczej (WRPP = 60,6-67,0). Najgorszym wskaźnikiem cechują się tereny północne województwa,

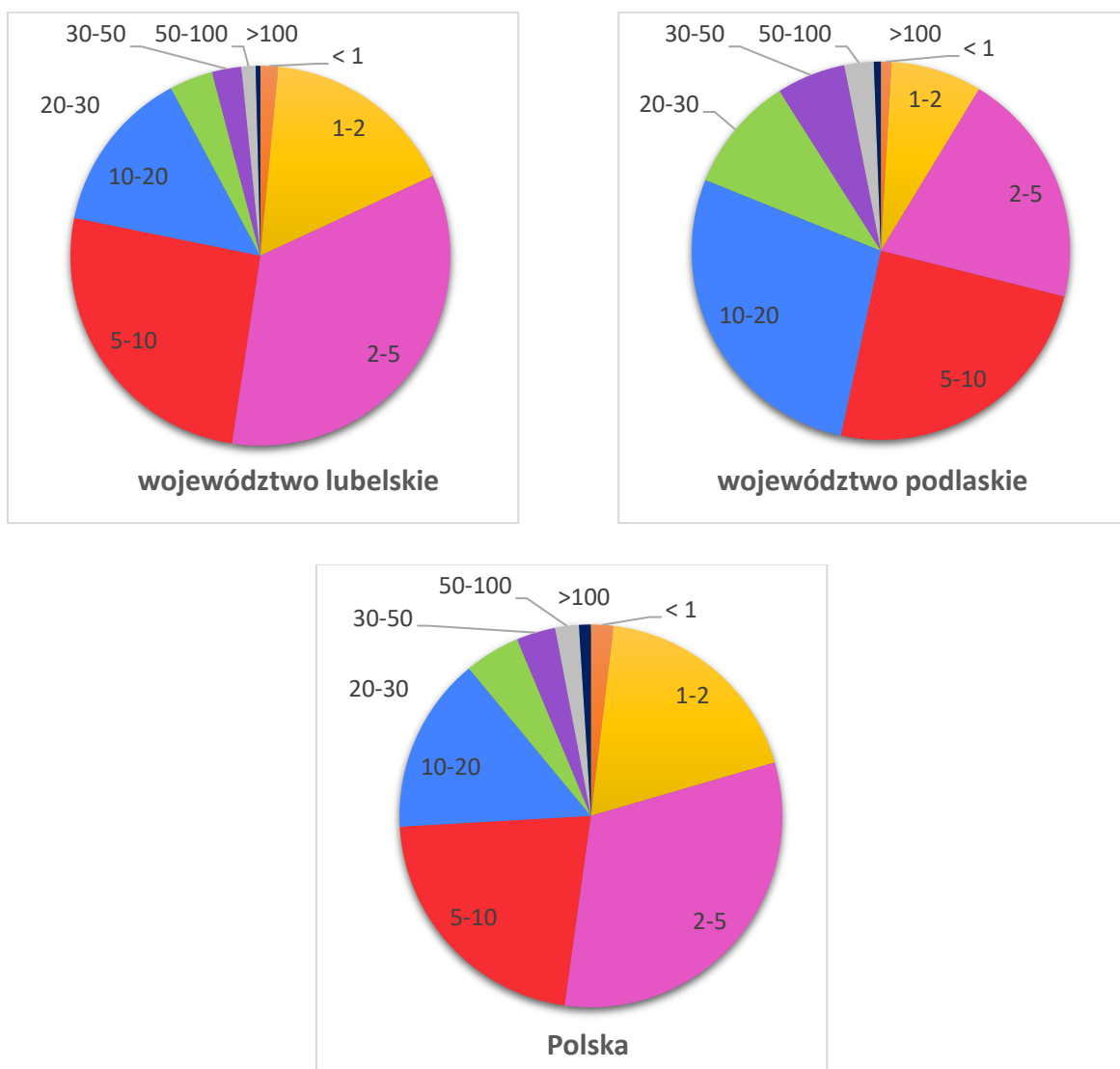
tj. powiaty sejneński, suwalski, grajewski i kolneński (WRPP = 48,5-49,6). Podlasie odznacza się niskim wskaźnikiem jakości i przydatności rolniczej gleb (41,0 pkt w skali 100-stopniowej), gorszym agroklimatem (7,5 pkt w skali 10-cio punktowej) oraz mało korzystnymi warunkami wodnymi. Sprawia to, iż województwo podlaskie uznawane jest za mało przyjazne dla rolnictwa. Jednakże zważając na jego czyste i naturalne obszary oraz niski poziom zanieczyszczenia gleb, może stać się potencjalną bazą dla rozwoju sektora ekologicznego [Madej 2015].



Wykres 5. Struktura użytków rolnych (tys. ha) [Powszechny Spis Rolny 2021]

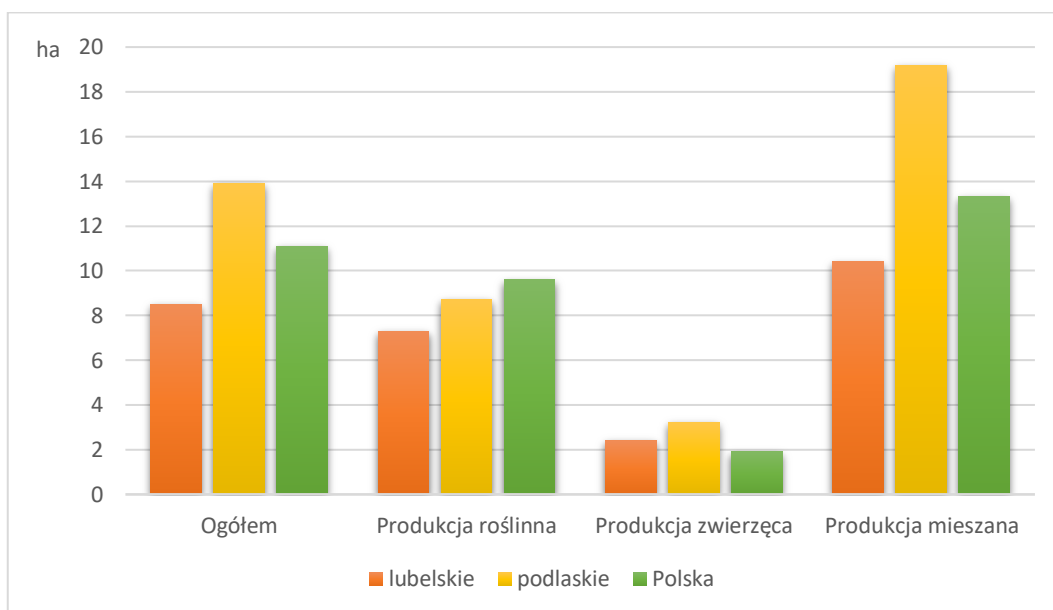
Województwo lubelskie rozciąga się na powierzchni 2 512,3 tys. hektarów [US w Lublinie 2023]. W 2020 roku użytki rolne zajmowały 1 372 tys. ha, z czego użytki rolne utrzymane w dobrej kulturze stanowiły aż 98,7 %. Zasiwy zajmowały 77,1 %, uprawy trwałe 5,3 %, a łąki i pastwiska 14,9 % powierzchni użytków rolnych województwa

(Wykres 5). Dla kraju dane te wynoszą odpowiednio 73,2 %, 2,4 % oraz 21,7 %. Województwo podlaskie zajmuje 2 018,7 tys. hektarów. Użytki rolne w 2020 roku zajmowały 1 070 tys. ha, w tym grunty orne 645 tys. ha. Istotnym elementem w strukturze użytków rolnych Podlasia są łąki i pastwiska, zajmujące aż 402 tys. ha. Powierzchnia ta stanowi 37,6 % gruntów użytkowanych rolniczo w województwie, przewyższając tym samym średnią w kraju o ponad 73 %.



Wykres 6. Struktura gospodarstw rolnych (%) według grup obszarowych użytków rolnych w ha [Powszechny Spis Rolny 2021]

Według danych z 2020 roku [Powszechny Spis Rolny 2021] w województwie lubelskim liczba gospodarstw rolnych wynosiła 161,4 tys., z czego gospodarstwa o powierzchni do 10 ha stanowiły aż 78,2 % ogółu. Zaledwie 1,6 % to gospodarstwa o powierzchni powyżej 50 ha (średnio w Polsce jest ich 3,0 %), co wskazuje na bardzo duże rozdrobnienie rolnictwa na Lubelszczyźnie (Wykres 6). W województwie podlaskim w 2020 roku istniało 76,7 tys. gospodarstw rolnych. Gospodarstwa o powierzchni 1-10 ha stanowiły 52,5 %. Duży odsetek stanowiły gospodarstwa średniej wielkości (10-30 ha) – 37,6 % oraz gospodarstwa duże (>30 ha) – 9,0 %. W kraju wartości te są mniejsze i wynoszą odpowiednio 19,6 % i 6,3 %.



Wykres 7. Średnia powierzchnia użytków rolnych (ha) w gospodarstwach rolnych według rodzaju działalności rolniczej [Powszechny Spis Rolny 2021]

W 2020 roku średnia powierzchnia gospodarstwa rolnego na Lubelszczyźnie wynosiła 8,5 hektara, w Polsce – 11,1 ha, zaś na Podlasiu – 13,9 hektarów (Wykres 7). Na terenie województwa lubelskiego wyłącznie produkcją roślinną zajmowało się 99,6 tysięcy gospodarstw (61,7 %), których średnia powierzchnia użytków rolnych wynosiła 7,3 hektara (Tabela 8). Analizując wykres 7 i tabelę 8 można zauważyć, iż w kraju gospodarstwa te stanowiły 55,8 %, a ich średni areal był większy i wynosił 9,6 ha. Tylko 0,3 % gospodarstw rolnych Lubelszczyzny nastawionych było wyłącznie na produkcję zwierzęcą. Pozostałe 38,0 % to gospodarstwa o profilu mieszanym – trudniące się zarówno uprawą roślin, jak i hodowlą zwierząt. Średnia powierzchnia użytków rolnych w tych gospodarstwach wynosiła 10,4 ha. W Polsce gospodarstwa mieszane o średniej powierzchni

13,3 ha stanowiły 43,6 %. Produkcją roślinną w województwie podlaskim trudniło się 49,3 % gospodarstw, a ich średnia powierzchnia wynosiła 8,7 ha. Produkcją mieszaną zajmowało się 50,4 % gospodarstw o średniej powierzchni 19,2 ha, co znacząco przewyższa średnią w Polsce.

Tabela 8. Liczba gospodarstw rolnych (tys.) według rodzaju prowadzonej działalności rolniczej [Powszechny Spis Rolny 2021]

Województwo	Produkcja roślinna	Produkcja zwierzęca	Produkcja mieszana
lubelskie	99,6 (61,7 %)	0,5 (0,3 %)	61,3 (38,0 %)
podlaskie	37,8 (49,3 %)	0,2 (0,3 %)	38,7 (50,4 %)
Polska	734,9 (55,8 %)	7,9 (0,6 %)	574,2 (43,6 %)

Największą powierzchnię upraw na Lubelszczyźnie w 2020 roku (Tabela 9) zajmowały rośliny zbożowe (733 tys. ha) oraz rzepak i rzepik (128 tys. ha) – stanowiąc łącznie 81,4 % powierzchni zasiewu. Rośliny okopowe tj. buraki cukrowe i ziemniaki obejmowały zaledwie 4,5 % gruntów ornych. Powyższe wartości są zbliżone do średniej krajowej (zboża oraz rzepak i rzepik - 78,1 %, rośliny okopowe - 4,4 %). W województwie podlaskim największy odsetek wśród zasiewów stanowiła uprawa roślin zbożowych – 62,5 %, w tym zbóż podstawowych – 39,5 %. Bardzo ważna na terenie tego województwa jest uprawa kukurydzy z przeznaczeniem na ziarno lub zielonkę dla produkcji zwierzęcej, która w ostatnich latach zajmowała około 150 tys. ha (około 20 % wszystkich zasiewów) [US w Białymstoku 2023].

Tabela 9. Powierzchnia zasiewów (tys. ha) roślin uprawnych [Powszechny Spis Rolny 2021]

Województwo	Ogółem	Zboża ogółem	Zboża podstawowe	Ziemniaki	Buraki cukrowe	Rzepak i rzepik	Warzywa gruntowe
lubelskie	1 058	733	631	12	36	128	12
podlaskie	645	403	255	6	0	18	1
Polska	10 742	7 411	5 781	226	246	981	143

4. Materiał i metody badań

4.1. Pobieranie i ewidencjonowanie prób *Apera spica-venti* (L.) P.B.

Ziarniaki roślin *Apera spica-venti* potencjalnie odpornych na herbicydy zostały zebrane w latach 2017-2020 na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego. Próbkę pobierano głównie z pól, na których rolnicy mieli trudności w zwalczaniu miotły zbożowej oraz z upraw, w których potencjalnie występowała zmniejszona wrażliwość na herbicydy dedykowane do zwalczania tego gatunku. Szczególną uwagę zwracano na pola uprawne, na których pozostała niewielka liczba roślin miotły zbożowej, których nie zniszczył zastosowany herbicyd. Łącznie zebrano 133 próby ziarniaków, w tym 108 z województwa lubelskiego i 25 z województwa podlaskiego. Badania były częścią projektu pt. „Strategia przeciwdziałania uodpornianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu”, dotyczącego oceny występowania odporności na herbicydy u czterech ważnych w Polsce gatunków chwastów: *Apera spica-venti*, *Alopecurus myosuroides*, *Centaurea cyanus* i *Papaver rhoeas*.

Dojrzałe i dobrze wykształcone ziarniaki zbierano w optymalnym dla gatunku terminie zbioru, tj. w lipcu, z kilku/kilkunastu miejsc na danym polu. Następnie próbki oczyszczano i umieszczano w torebkach papierowych oznaczonych etykietą. Materiał do badań był przechowywany w suchym i wentylowanym pomieszczeniu w temperaturze pokojowej.

Na polu, z którego pobierano materiał do badań w lewym dolnym narożniku sczytywano współrzędne GPS. Z właścicielami pól, którzy wyrażali zgodę, przeprowadzano ankietę (załącznik 1) w celu uzyskania informacji na temat historii pola. W formularzu znajdowały się pytania dotyczące: systemu uprawy roli, klasy gleby, przedplonów oraz stosowanych zabiegów herbicydowych w ostatnich trzech latach. Wyniki ankiet zostały przeanalizowane, zestawione i przedstawione w formie graficznej. Na ich podstawie dla populacji odpornych wyliczono częstość stosowania substancji aktywnych (PT – population treatment) przeznaczonych do zwalczania *Apera spica-venti* w ocenianym okresie [Stankiewicz-Kosyl i in. 2021]:

PT = łączna liczba zastosowań substancji aktywnych w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych / liczba populacji odpornych na daną substancję aktywną.

4.2. Testy biologiczne w szklarniach

Testy biologiczne przeprowadzono w pomieszczeniu wegetacyjnym [Fotografia 10] w warunkach kontrolowanych, w temperaturze 20°C (\pm 2°C), wilgotności powietrza 70 % (\pm 5 %), przy oświetleniu świetłówkami LED o natężeniu 14 000 luxów ($100\text{--}120 \mu\text{M m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Cykl doświetlania (dzień/noc) wynosił 14 h – dzień i 10 h – noc. Do przeprowadzenia testów biologicznych używano nasion o wysokiej zdolności kiełkowania. Wysiewano je do palet rozsadowych o średnicy 5,5 cm, napełnionych odpowiednio przygotowanym podłożem, na głębokość 0,5 cm. W przypadku herbicydów powschodowych było to podłoże warzywnicze Kronen wymieszane z piaskiem w proporcji 2:1, natomiast w przypadku herbicydów przedwschodowych była to gleba pobrana z pola Gospodarstwa Doświadczalnego w Czesławicach należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Gleba ta charakteryzowała się wysoką zawartością fosforu i potasu oraz średnią zawartością magnezu. Zawartość próchnicy kształtowała się na poziomie 1,59–1,63 %, natomiast pH gleby wynosiło 6,1–6,4. Do każdej doniczki wysiewano około 10 sztuk ziarniaków. Obiekty oznaczano odpowiednimi etykietami i podlewano utrzymując wilgotność podłoża na poziomie 60 % połowej pojemności wodnej.



Fotografia 10. Palety rozsadowe przygotowane do przeprowadzenia testów szczegółowych w pomieszczeniu wegetacyjnym w GD w Czesławicach (autor: J. Łukasz)

Testy biologiczne przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Odporność *Apera spica-venti* badano wobec sześciu herbicydów, w tym czterech powschodowych (Autumn 10 WG, Nomad 75 WG, Axial 50 EC i Puma Uniwersal 069 EW) oraz dwóch doglebowych (Lentipur Flo 500 SC i Stomp Aqua 455 CS) (Tabela 10).

Tabela 10. Charakterystyka herbicydów stosowanych w badaniach biologicznych

Nr	Obiekt	Substancja aktywna	Mechanizm działania	Grupa HRAC	Dawka s.a. (g ha ⁻¹)	Termin zabiegu
1	Obiekt kontrolny	-	-	-	-	-
2	Autumn 10 WG	jodosulfuron metylosodowy	inhibitory ALS	2	10 g	BBCH 12-13
3	Nomad 75 WG + Dassoil (adiuwant)	piroksysulam	inhibitory ALS	2	9 g	BBCH 12-13
4	Axial 50 EC	pinoksaden	inhibitory ACCazy	1	45 g	BBCH 12-13
5	Puma Uniwersal 069 EW	fenoksaprop-P-etylu	inhibitory ACCazy	1	82,8 g	BBCH 12-13
6	Lentipur Flo 500 SC	chlorotoluron	inhibitory PSII	5	1500 g	BBCH 00
7	Stomp Aqua 455 CS	pendimetalina	inhibitory tworzenia mikrotubuli	3	1592,5 g	BBCH 00

Kilka dni przed zabiegiem herbicydowym w doniczkach dokonywano przerywki roślin miotły zbożowej, pozostawiając w każdej po trzy okazy. Herbicydy powschodowe aplikowano w fazie 2-3 liści właściwych miotły zbożowej, natomiast herbicydy doglebowe zawierające chlorotoluron i pendimetalinę, stosowano bezpośrednio po siewie. Ciecz opryskową przygotowywano w plastikowych butelkach o pojemności 200 ml bezpośrednio przed zabiegiem. Do aplikacji herbicydów wykorzystywano opryskiwacz kabinowy firmy APORO (Fotografia 11) wyposażony w rozpylacz TeeJet XR 11002 VP zapewniający wydatek cieczy użytkowej na poziomie 200 L ha⁻¹ przy ciśnieniu 200 barów. Rozpylanie odbywało się z wysokości 40 cm nad roślinami. Skuteczność działania herbicydów porównywano z obiektem kontrolnym, na którym nie stosowano zabiegu herbicydowego.



Fotografia 11. Stacjonarna komora opryskowa „Aporo” w GD w Czesławicach
(autor: J. Łukasz)

4.2.1. Testy wstępne

Testy wstępne przeprowadzono w celu wstępnej oceny reakcji badanych populacji *Apera spica-venti* na testowane substancje aktywne. Rośliny opryskiwano 100 % dawką herbicydu zalecaną przez producenta na etykiecie (1 N). Ocenę skuteczności działania preparatów powschodowych przeprowadzano 21 dni od daty zabiegu, natomiast herbicydów doglebowych po upływie pięciu tygodni od oprysku. Ocena polegała na wizualnym oszacowaniu redukcji biomasy (VEB) w skali 0-100 % w porównaniu z obiektem kontrolnym opryskiwanym tylko wodą destylowaną (0 N), gdzie 0 % oznaczało brak działania, zaś 100 % całkowite zniszczenie testowanych roślin. Uzyskane wyniki interpretowano, klasyfikując badane populacje jako:

- wrażliwe (podatne) S – $VEB > 50 \%$,
- potencjalnie odporne R? – $VEB < 50 \%$.

4.2.2. Testy szczegółowe i wyznaczenie współczynnika odporności (RI)

Testy szczegółowe wykonywano dla wszystkich potencjalnie odpornych oraz wrażliwych populacji *Apera spica-venti* badanych w doświadczeniu. W testach szczegółowych miotłę zbożową opryskiwano siedmioma dawkami herbicydów: dla populacji potencjalnie odpornych były to dawki: 1/2 N, 1 N, 2 N, 4 N, 8 N, 16 N i 32 N, natomiast dla populacji wrażliwych: 1/16 N, 1/8 N, 1/4 N, 1/2 N, 1 N, 2 N i 4 N, gdzie N oznacza pełną dawkę substancji aktywnej (Tabela 11).

Tabela 11. Dawki herbicydów stosowanych w testach szczegółowych (g ha⁻¹)

Dawka	Autumn 10 WG (g s.a. ha ⁻¹)	Nomad 75 WG (g s.a. ha ⁻¹)	Axial 50 EC (g s.a. ha ⁻¹)	Puma Uniwersal 069 EW (g s.a. ha ⁻¹)	Lentipur Flo 500 SC (g s.a. ha ⁻¹)	Stomp Aqua 455 CS (g s.a. ha ⁻¹)
1/16 N	0,63	0,56	2,81	5,18	93,75	99,53
1/8 N	1,25	1,13	5,63	10,35	187,50	199,06
1/4 N	2,50	2,25	11,25	20,70	375,00	398,13
1/2 N	5,00	4,50	22,50	41,40	750,00	796,25
1 N	10,00	9,00	45,00	82,80	1500,00	1592,50
2 N	20,00	18,00	90,00	165,60	3000,00	3185,00
4 N	40,00	36,00	180,00	331,20	6000,00	6370,00
8 N	80,00	72,00	360,00	662,40	12000,00	12740,00
16 N	160,00	144,00	720,00	1324,80	24000,00	25480,00
32 N	320,00	288,00	1440,00	2649,60	48000,00	50960,00

Roztwory herbicydów przygotowano stosując metodę rozcieńczeń, w której roztworem podstawowym była najwyższa dawka herbicydu (32-krotność dawki polowej). Oceny skuteczności działania herbicydów powschodowych dokonywano po upływie 21 dni od zabiegu opryskowego, natomiast dla herbicydów doglebowych po upływie 5 tygodni. W celu oceny wrażliwości miotły zbożowej na herbicydy, rośliny z każdej doniczki ścinano tuż nad podłożem glebowym i ważono ich masę części nadziemnej na wadze laboratoryjnej (Radwag) z dokładnością do 0,001g.

Uzyskane wyniki opracowano w programie Microsoft Excel oraz za pomocą pakietu „drc” [Knezevic i in. 2007] w programie statystycznym R wer. 4.0.1 [R CoreTeam]. Zarówno dla populacji odpornych, jak i wrażliwych wyznaczono dawkę efektywną (ED₅₀, ang. median effective dose) oraz błąd standardowy ED₅₀ populacji odpornych. Otrzymane wyniki pozwoliły na określenie współczynnika odporności RI dla odpornych populacji *Apera spica-venti*. Do obliczeń RI wykorzystano wartości ED₅₀ populacji wrażliwych (S) i odpornych (R). W celu wyznaczenia referencyjnej populacji wrażliwej dla poszczególnych substancji aktywnych wyliczono średnią z ED₅₀ dziesięciu populacji wrażliwych, których wartość dawki efektywnej oscylowała koło połowy dawki zalecanej przez producenta. Wyjątek stanowił jodosulfuron metylosodowy dla którego referencyjne ED₅₀ wyliczono na podstawie trzech populacji. Referencyjne ED₅₀ dla jodosulfuronu metylosodowego wynosiło 4,43 g ha⁻¹, dla piroksysulamu – 4,27 g ha⁻¹, dla pinoksadenu – 17,60 g ha⁻¹, dla fenoksapro-p-etylu – 40,08 g ha⁻¹, dla chlorotoluronu – 230,82 g ha⁻¹ i dla pendimetaliny – 637,26 g ha⁻¹.

Współczynnik odporności (RI) wyliczono wg następującego wzoru:

$$RI = ED_{50} (R?) / ED_{50} (S)$$

Wyniki zinterpretowano wg zmodyfikowanej skali Beckie i Tardif [2012]:

S – populacja *Apera spica-venti* wrażliwa (RI < 2)

r - populacja *Apera spica-venti* o zmniejszonej podatności (2 ≤ RI ≤ 3)

R - populacja *Apera spica-venti* o niskim poziomie odporności (3 < RI ≤ 5)

RR - populacja *Apera spica-venti* o średnim poziomie odporności (5 < RI ≤ 10)

RRR - populacja *Apera spica-venti* o wysokim poziomie odporności (10 < RI ≤ 100)

RRRR - populacja *Apera spica-venti* o bardzo wysokim poziomie odporności (RI > 100).

W opracowaniu wyników badań populacje miotły zbożowej o zmniejszonej wrażliwości na substancje aktywne (r), z uwagi na potwierdzone testami biologicznymi trudności z ich zwalczaniem, zostały zakwalifikowane do populacji odpornych.

4.3. Analiza molekularna genu *als* wybranych populacji *Apera spica-venti* (L.) P.B.

Badania molekularne zostały przeprowadzone w Katedrze Ochrony Roślin w Instytucie Nauk Ogrodniczych w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Do analizy molekularnej wybrano cztery populacje miotły zbożowej z województwa lubelskiego oraz dwie populacje z województwa podlaskiego, u których w testach biologicznych stwierdzono odporność na jodosulfuron metylosodowy.

Z każdej populacji pobrano po 3 rośliny, które przeżyły traktowanie dawką 4 N jodosulfuronu metylosodowego. Izolację DNA przeprowadzono oddzielnie z każdej rośliny (w sumie z 18 osobników) za pomocą metody Doyle i Doyle [1987] przy użyciu CTAB. Koncentrację oraz czystość wyizolowanego DNA oceniono za pomocą spektrofotometru BioPhotometer (Eppendorf, Germany) przy długości fali 260 i 280 nm. Na podstawie uzyskanych wyników próby rozcieńczono do stężenia 100 ng μL^{-1} . Do czasu użycia w reakcji PCR przechowywano je w temperaturze -20°C .

Reakcje PCR przeprowadzono w termocyklerze SimplyAmp™ Thermal Cycler (Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA). Powielenie domen A i B oraz obszaru międzydomenowego genu *als* wykonano techniką PCR według metodyki opisaną przez Krysiaka [2010] z drobnymi modyfikacjami. Powielenie domeny A przeprowadzono w objętości 30 μL roztworu zawierającego 100 ng DNA, 0.8 M każdego ze starterów, 0.2 mM dNTP, 1 x bufor HF + MgCl_2 , 0.03 u μL^{-1} High Fidelity PCR Enzyme Mix (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) i 20 % CES5x. CES5x jest wzmacniaczem reakcji PCR zawierającym betainę, ditiotreitól, dimetylosulfotlenek i albuminę BSA [Ralser i in. 2006]. Reakcję PCR przeprowadzono w następujących warunkach: 95°C przez 5 min, następnie 40 cykli 95°C przez 1 min, 63°C przez 30 s, 72°C przez 30 s oraz elongacja końcowa – 72°C przez 10 min.

Powielenie domeny B oraz obszaru międzydomenowego genu *als* przeprowadzono w objętości 30 μL roztworu zawierającego 100 ng DNA, 1 M każdego ze starterów, 0.2 mM dNTP, 1 x bufor HF + MgCl_2 , 0.03 u μL^{-1} High Fidelity PCR Enzyme Mix (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) i 20 % CES5x. Reakcję powielenia domeny B przeprowadzono w następujących warunkach: 95°C przez 5 min, następnie 35 cykli 95°C przez 1 min, 51°C przez 30 s, 72°C przez 40 s oraz elongacja końcowa – 72°C przez 10 min. Powielenie obszaru międzydomenowego przebiegało w następujących warunkach: 95°C

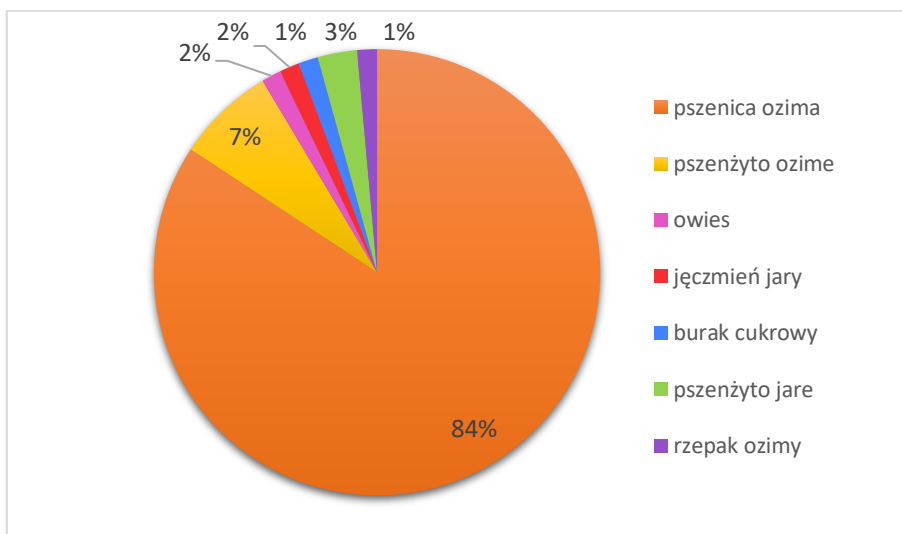
przez 5 min, następnie 40 cykli 95°C przez 1 min, 54°C przez 30 s, 72°C przez 75 s oraz elongacja końcowa 72°C – 5 min.

Ilość i czystość produktów PCR sprawdzano przeprowadzając elektroforezę w 1,5 % żelu agarozowym. Sekwencjonowanie powielonych fragmentów genu zlecono firmie Genomed Sp. z o.o. w Warszawie. Do analizy chromatogramów i porównania sekwencji w celu stwierdzenia obecności lub braku mutacji warunkujących odporność na herbicydy z grupy inhibitorów ALS użyto programów FinchTV (Geospiza, USA) i ClustalW (GenomeNet, Japan). Uzyskane sekwencje zostały porównane z sekwencją genu *als* miotły zbożowej wrażliwej na inhibitory ALS HM854301 z GenBank. Numerację kodonów w sekwencji DNA oraz odpowiadających im aminokwasów przyjęto zgodnie z sekwencją genu syntazy acetylomleczanowej *Arabidopsis thaliana* (GenBank: X51514).

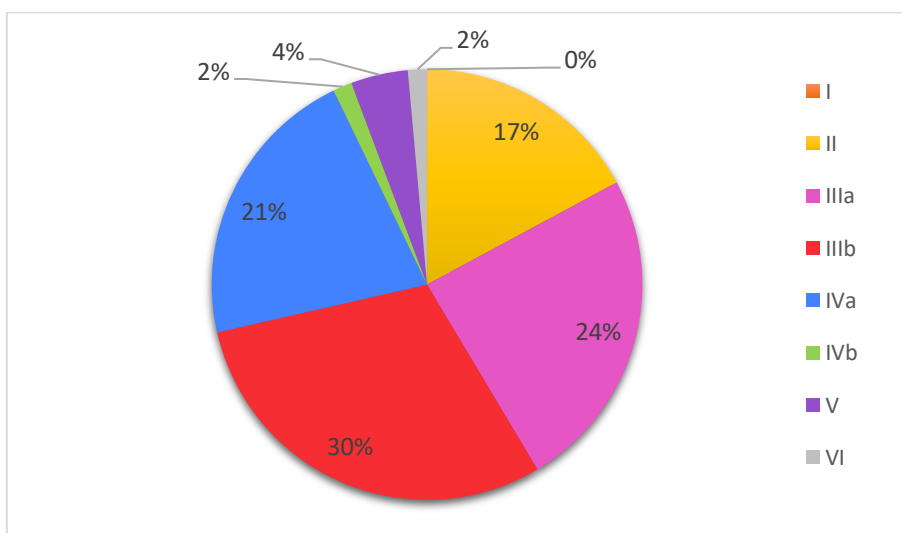
5. Omówienie wyników badań

5.1. Badania ankietowe

Ankiety z pełną historią pola uzyskano dla 70 populacji spośród 133 prób *Apera spica-venti* pobranych z Lubelszczyzny i Podlasia. Populacje miotły zbożowej wykazujące odporność występowały głównie w roślinach zbożowych (Wykres 8). Aż 59 prób pozyskano z pszenicy ozimej, 5 z pszenżyta ozimego, a pozostałe 6 z innych roślin uprawnych (owies, jęczmień jary, burak cukrowy, pszenżyto jare i rzepak ozimy).



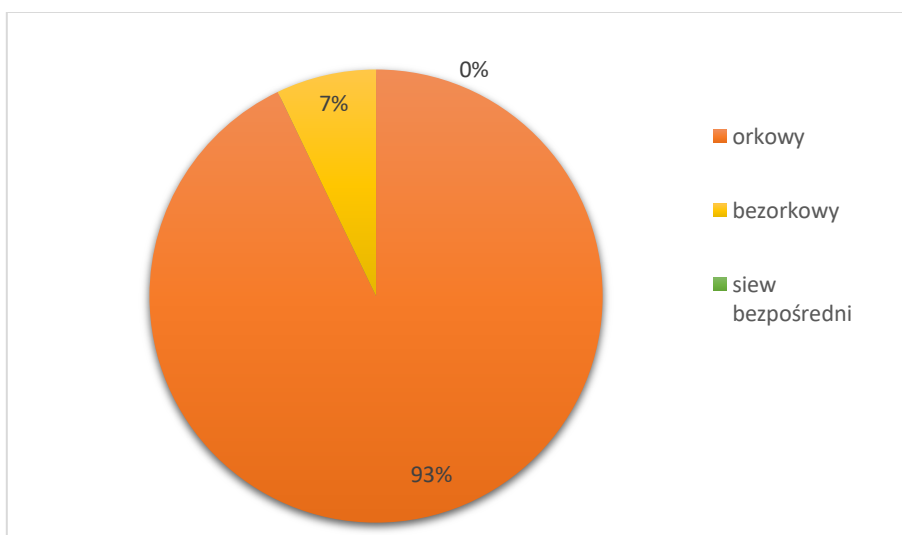
Wykres 8. Występowanie odpornych populacji *Apera spica-venti* w roślinach uprawnych na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego



Wykres 9. Występowanie populacji odpornych *Apera spica-venti* na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego z uwzględnieniem poszczególnych klas gleb

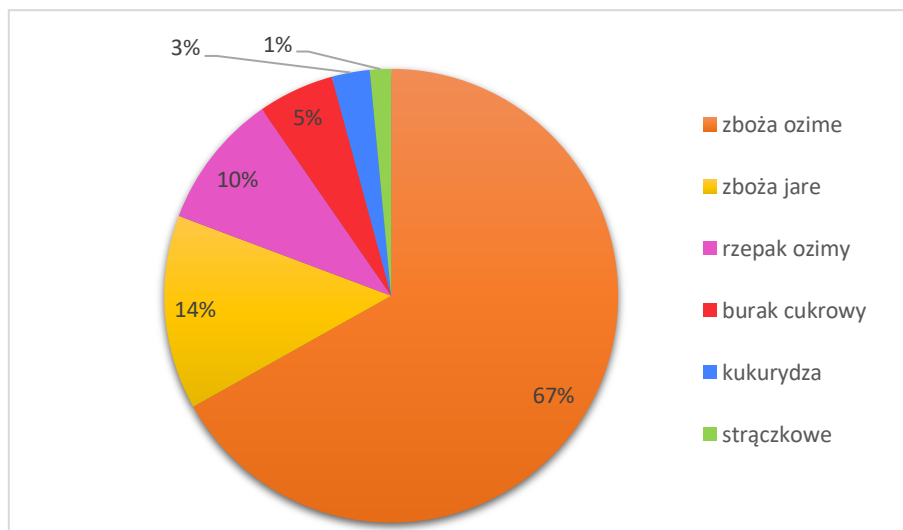
Odporne populacje miotły zbożowej występowały na niemal wszystkich klasach bonitacyjnych gleb, z wyjątkiem gleb klasy I – gruntów ornych najlepszych (Wykres 9). Na glebach zaliczanych do II klasy bonitacyjnej występowało 12 populacji odpornych, na glebach dobrych (IIIa) – 17 populacji, na średnio dobrych (IIIb) – 21, natomiast na średnich (IVa i IVb) – 15 [Dz.U. 2012 poz. 1246]. Pozostałe 5 populacji rosło na gruntach słabych i najsłabszych.

W większości gospodarstw rolnicy stwierdzili, że stosują tradycyjny system uprawy roli (Wykres 10). Wykorzystanie w uprawie pługa zadeklarowano na 93 % pól, natomiast uprawa bezorkowa stanowiła zaledwie 7 %. Żaden z rolników nie potwierdził w swoim gospodarstwie stosowania siewu bezpośredniego.



Wykres 10. Struktura uprawy roli w dwóch lub trzech kolejnych okresach wegetacyjnych na polach, na których występowały odporne populacje Apera spica-venti na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego

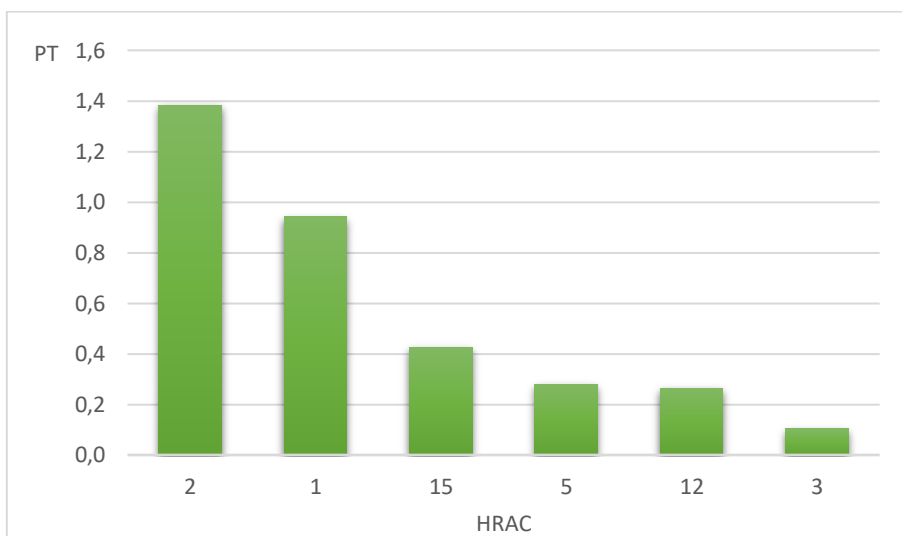
W strukturze roślin uprawianych w dwóch lub trzech kolejnych okresach wegetacyjnych na polach, na których występowały odporne populacje miotły zbożowej dominowały ozime rośliny zbożowe (67 %) (Wykres 11), z których największy udział miały pszenica ozima – 53 % i pszenżyto ozime – 11 %. Zboża jare stanowiły 14 % w strukturze zasiewów, rzepak ozimy - 10%. Najrzadziej uprawiano buraki cukrowe, kukurydzę i rośliny strączkowe, takie jak: bobik i groch siewny.



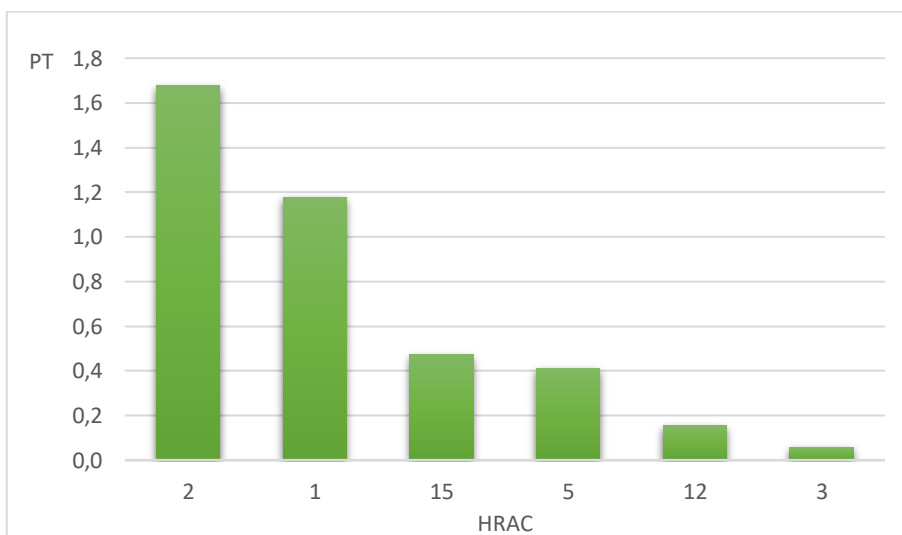
Wykres 11. Struktura roślin uprawnych w dwóch lub trzech kolejnych okresach wegetacyjnych na polach, na których występowały odporne populacje *Apera spica-venti* na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego

Analiza dwu lub trzyletniej historii chemicznego odchwaszczania pól uprawnych, na których występowała odporna miotła zbożowa wykazała, że w ocenianym okresie na polach uprawnych z *Apera spica-venti* wykazującą odporność na jodosulfuron metylosodowy (Wykres 12) oraz piroksysulam (Wykres 13) najczęściej stosowane przez rolników były herbicydy na bazie inhibitorów syntazy acetylmleczanowej ALS (HRAC 2), do których zaliczane są również ww. substancje aktywne. Na polach, na których występowały populacje *Apera spica-venti* odporne na piroksysulam PT dla inhibitorów ALS wynosił 1,68. Można zatem przypuszczać, że w analizowanych okresach wegetacyjnych rolnicy co drugi rok lub nawet co roku aplikowali substancje o tym mechanizmie działania. Mniejszą częstotliwość stosowania inhibitorów ALS udowodniono w przypadku populacji odpornych na jodosulfuron metylosodowy, gdzie PT wynosiło 1,38. W grupie populacji miotły zbożowej odpornej na inhibitory syntazy acetylmleczanowej równie ważną grupą preparatów służących do jej zwalczania były inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCazy) – HRAC 1, które w analizowanym okresie były stosowane średnio raz na każdym polu. W uprawach, w których stwierdzono występowanie populacji odpornych na piroksysulam PT wynosił 1,18, natomiast w przypadku odporności na jodosulfuron metylosodowy $PT=0,94$. Mniejsze zainteresowanie wśród rolników odnotowano w odniesieniu do substancji aktywnych z grup HRAC 15, 5, 12 i 3. Częstotliwość stosowania inhibitorów biosyntezy kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach (HRAC 15) kształtowała się na poziomie $PT=0,43-0,47$. Substancje biologicznie czynne z grupy

inhibitorów fotosyntezy PSII (HRAC 5) były częściej stosowane tam, gdzie występowała miotła zbożowa odporna na piroksysulam (PT=0,41). Preparaty z grup inhibitorów biosyntezy karotenoidów PDS (HRAC 12) i inhibitorów tworzenia mikrotubuli (HRAC 3) stosowano sporadycznie, a ich udział w zwalczaniu analizowanych populacji *Apera spica-venti* można określić jako niewielki.

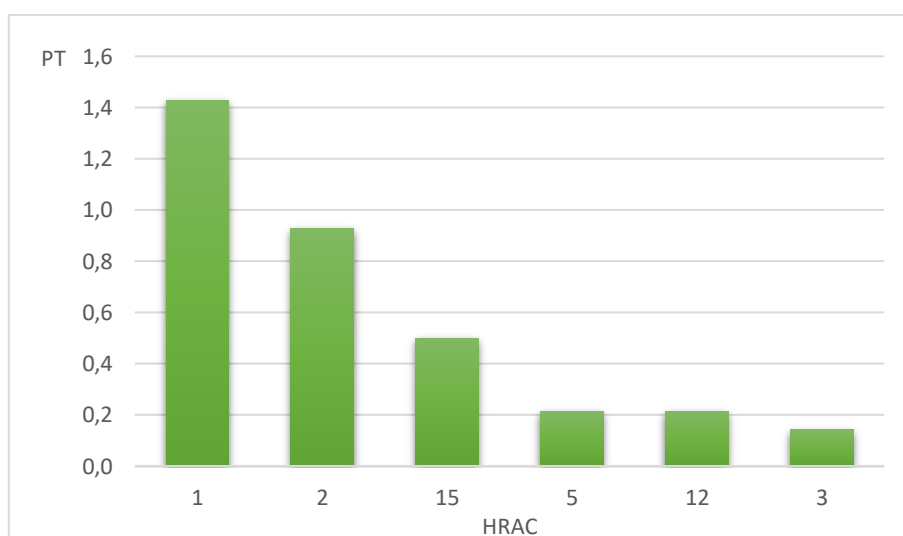


Wykres 12. Częstotliwość stosowania (PT) grup HRAC na polach uprawnych z populacjami *Apera spica-venti* odpornymi na jodosulfuron metylosodowy (HRAC 2) w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych



Wykres 13. Częstotliwość stosowania (PT) grup HRAC na polach uprawnych z populacjami *Apera spica-venti* odpornymi na piroksysulam (HRAC 2) w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych

W grupie populacji miotły zbożowej wykazującej odporność na fenoksaprop-P-etylu (HRAC 1) najczęściej stosowanymi substancjami były inhibitory acetylokoenzymu A – ACCazy (PT=1,43) oraz inhibitory syntazy acetylomleczanowej – ALS (PT=0,93) (Wykres 14). Z mniejszą częstotliwością w badanym okresie rolnicy stosowali na swoim polu substancje aktywne z grupy inhibitorów biosyntezy kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach – HRAC 15 (PT=0,50). Najmniejsze znaczenie w zwalczaniu miotły zbożowej odpornej na fenoksaprop-P-etylu na objętym badaniami obszarze miały substancje z grup HRAC 3, 5 i 12 (PT=0,14-0,21).



Wykres 14. Częstotliwość stosowania (PT) grup HRAC na polach uprawnych z populacjami *Apera spica-venti* odpornymi na fenoksaprop-P-etylu (HRAC 1) w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych

Najwięcej substancji biologicznie czynnych zastosowanych do zwalczania miotły zbożowej należy do grupy inhibitorów enzymu syntazy acetylomleczanowej (HRAC 2) (Tabela 12). Spośród nich w agrofitocenozach z populacjami *Apera spica-venti* odpornymi na jodosulfuron metylosodowy najczęściej stosowany był jodosulfuron metylosodowy (PT=0,68) oraz ze znacznie mniejszą częstotliwością piroksysulam (PT=0,38). Na polach z odpornymi na piroksysulam populacjami miotły zbożowej częstotliwość stosowania ww. substancji z grupy inhibitorów syntazy acetylomleczanowej była niemalże na identycznym poziomie (PT=0,68-0,71). W agrofitocenozach z populacjami odpornymi na fenoksaprop-P-etylu najczęściej spośród substancji aktywnych należących do inhibitorów ALS stosowano również jodosulfuron metylosodowy (PT=0,51) oraz chlorosulfuron i piroksysulam (PT=0,21). W zwalczaniu miotły zbożowej licznie reprezentowana była również grupa substancji należących do inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A -

HRAC 1. W grupie populacji odpornych na inhibitory ALS do zwalczania miotły zbożowej najczęściej stosowano fenoksaprop-P-etylu i pinoksaden, których PT wynosiło dla populacji odpornych na jodosulfuron metylosodowy odpowiednio 0,29 i 0,38, zaś dla odpornych na piroksysulam 0,47 i 0,41. W przypadku odporności na fenoksaprop-P-etylu w aplikowanych substancjach aktywnych dominował również pinoksaden (PT=0,64) oraz fenoksaprop-P-etylu (PT=0,50). W agrofitocenozach, w których potwierdzono odporność *Apera spica-venti* na jodosulfuron metylosodowy, piroksysulam lub fenoksaprop-P-etylu rolnicy zadeklarowali częste stosowanie inhibitorów kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach (HRAC 15), spośród których dominował metazachlor (PT=0,31-0,43). Na uwagę zasługuje także duży udział w zwalczaniu miotły zbożowej odpornej na inhibitory ALS herbicydów na bazie chlorotoluronu z grupy HRAC 5 (PT w przedziale 0,25-0,35), a także diflufenikanu z grupy HRAC 12 dla populacji odpornych na jodosulfuron metylosodowy (PT=0,26). Na podstawie zebranych danych dotyczących liczby zabiegów herbicydowych można stwierdzić, iż na polach z populacjami miotły zbożowej odpornymi na jodosulfuron metylosodowy i fenoksaprop-P-etylu wykonano średnio odpowiednio 3,40 i 3,43 zabiegi w badanym okresie. Największą liczbę herbicydów zastosowano na polach, na których występowały populacje odporne na piroksysulam - średnio 3,94 zabiegów.

Tabela 12. Częstotliwość stosowania (PT) substancji czynnych herbicydów na polach uprawnych z populacjami *Apera spica-venti* odpornymi na inhibitory ALS (HRAC 2) i ACCazy (HRAC 1) w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych
J – jodosulfuron metylosodowy, *P* – piroksysulam, *F* – fenoksaprop-P-etylu

HRAC	substancja aktywna	J	P	F
1	chizalofop-P-etylowy	0,06	0,03	0,08
	fenoksaprop-P-etylu	0,29	0,47	0,50
	fluazyfop-P-butylowy	0,06	0,03	0,21
	pinoksaden	0,38	0,41	0,64
	propachizafop	0,15	0,24	-
	Razem	0,94	1,18	1,43
2	chlorosulfuron	0,12	0,06	0,21
	flupyrasulfuron metylowy	0,03	0,03	-
	jodosulfuron metylosodowy	0,68	0,68	0,51
	mezosulfuron metylowy	0,12	0,15	-
	piroksysulam	0,38	0,71	0,21
	propoksykarbazon sodowy	0,04	0,03	-
	sulfosulfuron	0,01	0,02	-
Razem	1,38	1,68	0,93	
5	chlorotoluron	0,25	0,35	0,21
	izoproturon	0,03	0,06	-
	Razem	0,28	0,41	0,21
12	diflufenikan	0,26	0,15	0,21
3	pendimetalina	0,10	0,06	0,14
15	flufenacet	0,12	0,09	0,07
	metazachlor	0,31	0,38	0,43
	Razem	0,43	0,47	0,50
Liczba populacji odpornych		68	34	14
Średnia liczba zabiegów herbicydowych		3,40	3,94	3,43
PT=	0-0,19	0,20-0,39	0,40-0,59	0,60-0,79

5.2. Ocena wrażliwości na herbicydy miotły zbożowej występującej w województwie lubelskim i podlaskim

W czasie 3-letnich wyjazdów terenowych zebrano do badań 133 próby *Apera spica-venti*, z czego 108 w województwie lubelskim i 25 w województwie podlaskim. Po przeprowadzeniu wstępnych badań stwierdzono, że 98 % populacji wykazało odporność na przynajmniej jedną z analizowanych w doświadczeniu substancji aktywnych.

Przeprowadzenie wstępnych testów biologicznych pozwoliło na selekcję pobranych w terenie populacji *Apera spica-venti* na wrażliwe i potencjalnie odporne (Tabela 13). W wyniku wizualnego porównania roślin przypuszczalnie wykazujących odporność na herbicydy z populacją wrażliwą (S) stwierdzono, iż wszystkie populacje wymagają dalszych badań w celu identyfikacji ich poziomu odporności.

Tabela 13. Liczba wrażliwych i potencjalnie odpornych populacji *Apera spica-venti* po przeprowadzeniu wstępnych testów biologicznych

Substancja aktywna	Populacje	
	Wrażliwe	Potencjalnie odporne
jodosulfuron metylosodowy	0	133
piroksysulam	21	112
fenoksaprop-P-etylu	89	44
pinoksaden	95	38
chlorotoluron	112	21
pendimetalina	126	7

Testy szczegółowe w większości przypadków potwierdziły wstępne wyniki badań (Tabela 14). Spośród 133 prób *Apera spica-venti* potencjalnie odpornych na jodosulfuron metylosodowy (inhibitory ALS), aż 97 % potwierdziło obniżoną wrażliwość lub odporność na tę substancję aktywną. 72 populacje ze 112 wstępnie odpornych na piroksysulam (inhibitory ALS) wykazało posiadanie tej cechy. Mniejszą liczbę prób miotły zbożowej zakwalifikowano do dalszej analizy w przypadku inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A. Zaledwie 19 spośród 44 badanych okazów potwierdziło odporność na fenoksaprop-P-etylu. Testy szczegółowe wykazały, że dwie populacje *Apera spica-venti* wykazują zmniejszoną wrażliwość na pinoksaden (poziom r, RI=2-3). Wszystkie

analizowane próby miotły zbożowej potwierdziły swą wrażliwość na pendimetalinę, a tylko 1 ze 133 – odporność na chlorotoluron.

*Tabela 14. Liczba odpornych i wrażliwych populacji *Apera spica-venti* po przeprowadzeniu testów szczegółowych*

Substancja aktywna	Populacje	
	Wrażliwe	Odporne i o zmniejszonej wrażliwości
jodosulfuron metylosodowy	4	129
piroksysulam	61	72
fenoksaprop-P-etylu	114	19
pinoksaden	131	2
chlorotoluron	132	1
pendimetalina	133	0

5.2.1. Wrażliwość *Apera spica-venti* (L.) P.B. na inhibitory syntazy acetylomleczanowej (ALS) (HRAC 2)

Analizowane w doświadczeniu populacje *Apera spica-venti* występujące w województwie lubelskim w zróżnicowany sposób reagowały na stosowane dawki herbicydów w testach biologicznych. W przypadku miotły zbożowej odpornej na inhibitory syntazy acetylomleczanowej (Tabela 15), w oparciu o ED₅₀, stosunek R/S wahał się od 2,48 do 333,00 dla jodosulfuronu metylosodowego oraz od 2,12 do 43,02 dla piroksysulamu. Odporność na jodosulfuron metylosodowy stwierdzono u 105 populacji miotły zbożowej. Średni poziom odporności stwierdzono u 16, natomiast wysoki aż u 67 populacji. U trzech populacji (9358, 9365, 9394) wykazano bardzo wysoki poziom odporności, gdzie stosunek R/S wynosił powyżej 100. Odporność lub zmniejszoną wrażliwość na piroksysulam stwierdzono u 57 populacji *Apera spica-venti*. 15 populacji wykazywało zmniejszoną wrażliwość (r) na tę substancję aktywną, a 13 – odporność na niskim poziomie. U 19 populacji wykazano odporność na wysokim poziomie (RRR). ED₅₀ dla piroksysulamu u tych populacji wynosiło od 44,48 do 183,87 g ha⁻¹. Spośród 106 populacji odpornych na inhibitory ALS, aż 56 wykazywało odporność krzyżową na jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam, a aż 21 populacji odznaczało się wysokim i/lub bardzo wysokim poziomem odporności na obie substancje aktywne.

ED₅₀ populacji *Apera spica-venti* wrażliwej na jodosulfuron metylosodowy kształtował się na poziomie 50 % dawki pełnej. Spośród 49 populacji *Apera spica-venti* wrażliwych na piroksysulam, aż 31 % wykazało nadwrażliwość na tę substancję aktywną (Tabela 15). Ich bardzo niski poziom ED₅₀, wynoszący od 0,01 do 0,54 g ha⁻¹ stanowi mniej niż 1/16 dawki rekomendowanej (9 g ha⁻¹). Natomiast ED₅₀ dwóch populacji (8493, 8493) było niewiele niższe od dawki rekomendowanej przez producenta do zwalczania miotły zbożowej piroksysulame.

Tabela 15. Współczynnik odporności (RI) i ED₅₀ populacji *Apera spica-venti* odpornych na jodosulfuron metylosodowy i/lub piroksysulam w województwie lubelskim

Numer populacji	Jodosulfuron metylosodowy			Piroksysulam		
	RI (R/S)		ED ₅₀ (g ha ⁻¹)	RI (R/S)		ED ₅₀ (g ha ⁻¹)
8414	RRR	11,46	50,77 ± 7,25	RRR	10,46	44,67 ± 7,64
8415	RRR	22,38	99,15 ± 13,24	S	-	5,05 ± 0,54
8416	RRR	13,76	60,96 ± 5,84	RR	6,36	27,16 ± 5,07
8417	RRR	14,00	62,04 ± 4,90	R	3,86	16,50 ± 4,93
8482	RRR	52,72	233,54 ± 19,33	r	2,51	10,70 ± 3,78
8484	RRR	36,04	159,64 ± 13,90	S	-	7,29 ± 1,39
8485	RRR	84,37	373,74 ± 18,90	RR	6,22	26,58 ± 6,58
8487	R	3,76	16,68 ± 1,96	S	-	0,01 ± 0,30
8488	RRR	25,56	113,22 ± 15,37	RRR	10,93	46,67 ± 1,22
8489	RR	6,53	28,94 ± 1,87	S	-	0,82 ± 0,99
8493	RRR	20,94	92,75 ± 7,98	S	-	8,77 ± 1,81
8495	RRR	11,63	51,53 ± 4,37	S	-	5,81 ± 1,16
8510	RR	9,81	43,44 ± 2,60	S	-	1,73 ± 0,60
8511	RRR	11,89	52,67 ± 5,94	S	-	0,28 ± 0,47
8513	RR	8,41	37,26 ± 1,97	S	-	0,03 ± 0,56
8515	RRR	18,20	80,64 ± 9,83	S	-	0,44 ± 0,53
8517	RRR	13,60	60,25 ± 5,72	S	-	0,87 ± 0,85
8518	RRR	15,64	69,31 ± 1,32	RRR	25,75	109,97 ± 11,87
8519	RR	9,25	40,97 ± 3,67	RR	6,14	26,21 ± 4,76
8520	RRR	83,92	371,77 ± 15,27	r	2,26	9,64 ± 1,21
8521	RRR	31,03	137,45 ± 16,30	R	3,10	13,24 ± 1,85
8522	RRR	58,55	259,39 ± 18,74	r	2,62	11,21 ± 1,61
8523	S	-	5,33 ± 0,86	r	2,17	9,27 ± 1,10
8525	RRR	10,33	45,76 ± 7,30	S	-	5,19 ± 1,32
8715	RRR	22,01	97,52 ± 11,77	R	3,37	14,40 ± 1,78
8718	RRR	16,60	73,54 ± 6,37	S	-	6,60 ± 1,80
8719	RRR	18,30	81,07 ± 8,37	S	-	2,95 ± 0,74
8720	RRR	19,54	86,56 ± 5,56	S	-	3,21 ± 0,98

Tabela 15. cd

Numer populacji	Jodosulfuron metylosodowy			Piroksysulam		
	RI (R/S)	ED ₅₀ (g ha ⁻¹)		RI (R/S)	ED ₅₀ (g ha ⁻¹)	
8721	RRR	57,47	254,59 ± 18,40	R	4,72	20,15 ± 3,67
8722	RRR	27,51	121,89 ± 15,61	S	-	8,65 ± 1,82
8724	RRR	34,10	151,08 ± 13,15	S	-	2,07 ± 0,65
8725	RRR	16,67	73,84 ± 9,85	S	-	0,46 ± 0,42
8728	RRR	17,51	77,58 ± 4,45	S	-	2,30 ± 0,59
8730	RRR	15,14	67,07 ± 6,49	R	3,55	15,15 ± 1,77
8731	RRR	33,28	147,45 ± 13,96	RR	9,08	38,78 ± 5,03
8732	RRR	22,82	101,09 ± 13,98	R	4,84	20,68 ± 4,09
8733	RR	9,29	41,15 ± 6,30	S	-	2,92 ± 0,53
8736	RRR	32,52	144,08 ± 12,62	RR	9,01	38,46 ± 6,98
8751	RRR	31,10	137,79 ± 18,17	RRR	43,02	183,67 ± 15,66
8752	RRR	24,37	107,98 ± 14,56	RRR	27,84	118,88 ± 14,26
8754	RR	5,88	26,04 ± 1,67	S	-	0,11 ± 0,43
9348	RRR	12,65	56,03 ± 3,09	r	2,93	12,53 ± 2,60
9350	RRR	29,00	128,45 ± 13,93	RRR	38,76	165,50 ± 12,46
9352	RRR	27,30	120,96 ± 14,72	RR	8,81	37,63 ± 4,38
9354	RRR	21,64	95,86 ± 9,98	RRR	23,87	101,90 ± 13,43
9355	RRR	17,80	78,85 ± 5,81	RRR	23,65	100,98 ± 13,44
9356	RR	6,34	28,07 ± 5,46	S	-	4,27 ± 1,46
9358	RRRR	102,74	455,15 ± 11,93	RRR	29,21	124,73 ± 12,12
9359	RRR	43,82	194,13 ± 14,82	RRR	12,80	54,67 ± 4,21
9360	RRR	60,20	266,68 ± 7,08	RRR	26,73	114,13 ± 15,72
9361	r	2,63	11,64 ± 1,60	S	-	1,11 ± 0,68
9362	RRR	30,75	136,22 ± 18,24	RR	7,38	31,52 ± 7,19
9363	RRR	38,11	168,82 ± 18,68	r	2,87	12,27 ± 1,36
9365	RRRR	333,00	1475,19 ± 17,23	r	2,97	12,70 ± 2,62
9366	RR	6,27	27,77 ± 1,98	S	-	0,02 ± 0,10
9367	R	4,33	19,19 ± 5,08	S	-	0,02 ± 0,54
9368	RRR	61,13	270,79 ± 14,95	RR	8,63	36,86 ± 5,38
9369	RR	7,45	33,02 ± 5,48	S	-	0,54 ± 0,18
9371	RRR	27,23	120,61 ± 12,97	RRR	25,81	110,20 ± 14,14
9373	R	4,64	20,57 ± 3,74	S	-	0,02 ± 0,16
9374	R	4,10	18,15 ± 2,71	S	-	0,05 ± 0,97
9394	RRRR	110,20	488,20 ± 14,75	RRR	11,74	50,14 ± 5,20
9405	RRR	21,73	96,27 ± 7,37	R	3,91	16,70 ± 3,00
9406	RRR	41,41	183,43 ± 2,51	RRR	30,22	129,02 ± 13,64
9407	RRR	31,51	139,59 ± 17,23	S	-	2,19 ± 0,81
9408	RRR	68,57	303,76 ± 18,14	RRR	35,07	149,73 ± 13,41
9409	RRR	84,83	375,81 ± 11,28	RRR	24,78	105,82 ± 3,96

Tabela 15. cd

Numer populacji	Jodosulfuron metylosodowy			Piroksysulam		
	RI (R/S)		ED ₅₀ (g ha ⁻¹)	RI (R/S)		ED ₅₀ (g ha ⁻¹)
9410	RRR	11,91	52,74 ± 10,18	S	-	1,59 ± 0,34
9411	RRR	12,88	57,04 ± 4,69	RRR	21,29	90,90 ± 13,37
9412	RR	9,90	43,84 ± 3,65	S	-	2,86 ± 0,25
9413	RRR	12,22	54,15 ± 6,65	S	-	1,03 ± 0,71
9415	RRR	10,64	47,16 ± 7,15	S	-	3,85 ± 0,33
9416	R	3,58	15,84 ± 2,06	S	-	0,42 ± 0,20
9417	R	4,32	19,12 ± 3,02	S	-	0,52 ± 0,92
9418	RR	7,48	33,16 ± 5,51	S	-	0,19 ± 0,06
10371	RRR	27,97	123,92 ± 16,72	r	2,12	9,05 ± 1,98
10372	RRR	15,14	67,08 ± 1,97	R	3,08	13,15 ± 3,29
10379	RRR	22,92	101,53 ± 14,87	R	3,80	16,22 ± 1,43
10381	RR	8,25	36,55 ± 7,33	R	3,63	15,49 ± 2,97
10382	RR	6,93	30,68 ± 7,42	R	3,01	12,85 ± 1,66
10386	r	2,96	13,12 ± 1,58	S	-	1,31 ± 0,17
10388	RR	6,78	30,04 ± 4,79	S	-	6,61 ± 1,02
10391	RRR	38,45	170,32 ± 16,43	R	3,40	14,51 ± 1,50
10392	RRR	31,56	139,79 ± 14,50	r	2,18	9,33 ± 1,56
10394	R	3,64	16,14 ± 1,80	r	2,16	9,24 ± 1,63
10395	R	3,17	14,03 ± 2,00	S	-	6,97 ± 0,61
10397	r	2,65	11,73 ± 2,39	S	-	2,37 ± 0,97
10398	R	3,91	17,33 ± 2,31	S	-	0,19 ± 0,39
10399	r	2,62	11,62 ± 1,35	S	-	0,79 ± 0,92
10400	r	2,61	11,56 ± 0,93	S	-	5,19 ± 0,90
10402	r	2,48	10,97 ± 1,49	S	-	2,44 ± 0,54
10403	r	2,92	12,95 ± 1,71	S	-	3,64 ± 0,62
10404	RRR	36,29	160,76 ± 13,25	S	-	3,51 ± 0,46
10405	R	4,79	21,20 ± 1,71	S	-	2,38 ± 0,32
10408	RRR	17,61	78,03 ± 7,82	RRR	39,90	170,37 ± 10,70
10412	RRR	16,81	74,45 ± 11,75	RRR	25,14	107,34 ± 11,77
10468	RRR	24,86	110,13 ± 8,96	r	2,79	11,91 ± 1,71
10473	RRR	13,72	60,77 ± 9,34	R	3,66	15,62 ± 1,63
10476	RR	7,57	33,53 ± 3,51	r	2,89	12,36 ± 2,64
10477	R	4,54	20,10 ± 1,97	r	2,12	9,05 ± 1,82
10478	RRR	18,93	83,88 ± 6,59	RRR	10,42	44,48 ± 2,89
10479	RRR	12,28	54,38 ± 6,93	S	-	7,92 ± 1,59
10480	RRR	30,15	133,59 ± 7,36	r	2,38	10,16 ± 1,85
10481	RR	6,83	30,24 ± 1,05	r	2,13	9,11 ± 2,36
10482	RRR	60,12	266,31 ± 11,16	RRR	23,32	99,58 ± 9,67
10483	r	2,76	12,22 ± 0,76	S	-	3,90 ± 0,07

W województwie podlaskim 24 populacje wykazywały odporność na jodosulfuron metylosodowy (Tabela 16). Spośród nich 14 populacji odznaczało się wysokim stopniem odporności (RRR), ich ED₅₀ wynosiło od 55,00 do 187,67 g ha⁻¹. U pięciu populacji stwierdzono średni stopień odporności (RR).

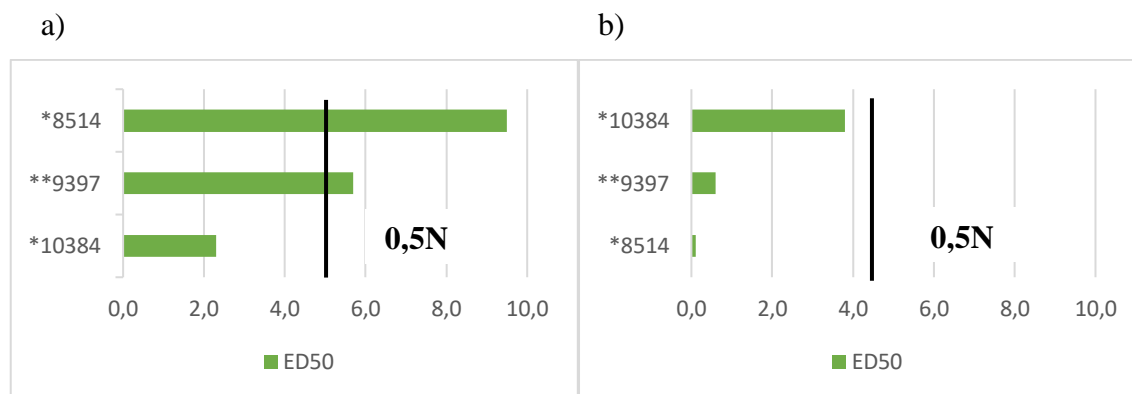
Tabela 16. Współczynnik odporności (RI) i ED₅₀ populacji *Apera spica-venti* odpornych na jodosulfuron metylosodowy i/lub piroksysulam w województwie podlaskim

Numer populacji	Jodosulfuron metylosodowy			Piroksysulam		
	RI (R/S)	ED ₅₀ (g ha ⁻¹)		RI (R/S)	ED ₅₀ (g ha ⁻¹)	
9383	RRR	38,29	168,50 ± 12,09	r	2,83	12,08 ± 1,34
9393	RRR	17,55	77,20 ± 3,42	S	-	5,02 ± 1,09
9395	RRR	14,35	63,14 ± 4,13	RRR	26,24	112,03 ± 13,28
9396	RRR	35,44	155,92 ± 14,05	R	3,29	14,03 ± 3,90
9399	RRR	16,43	72,30 ± 7,90	S	-	0,02 ± 0,15
9401	RR	9,47	41,68 ± 1,39	S	-	0,05 ± 0,70
9403	RRR	31,91	140,42 ± 8,15	RR	7,80	33,30 ± 2,47
9404	RRR	42,65	187,67 ± 14,15	RRR	21,01	89,70 ± 14,35
10491	RRR	12,50	55,00 ± 6,68	R	3,17	13,54 ± 1,30
10492	r	2,83	12,46 ± 1,58	S	-	0,15 ± 0,52
10493	RRR	30,42	133,83 ± 18,07	r	2,32	9,89 ± 2,53
10496	RRR	34,15	150,25 ± 14,01	R	3,49	14,89 ± 1,58
10497	R	3,21	14,12 ± 1,56	S	-	0,03 ± 0,30
10499	RR	5,50	24,19 ± 1,40	S	-	0,24 ± 0,20
10500	RRR	34,42	151,45 ± 15,77	r	2,42	10,31 ± 1,29
10501	RRR	16,78	73,85 ± 11,63	RRR	10,18	43,48 ± 4,08
10503	RRR	32,64	143,60 ± 16,15	r	2,23	9,52 ± 1,67
10504	RR	9,14	40,20 ± 3,52	r	2,19	9,33 ± 1,64
10505	RRR	12,58	55,36 ± 4,30	R	3,81	16,25 ± 1,30
10506	r	2,94	12,94 ± 1,94	S	-	3,70 ± 0,41
10507	RR	5,21	22,90 ± 1,53	r	2,74	11,69 ± 1,71
10509	RR	6,30	27,71 ± 4,33	S	-	0,42 ± 0,50
10510	R	3,23	14,20 ± 1,86	r	2,19	9,36 ± 1,88
10511	r	2,63	11,59 ± 2,02	S	-	2,42 ± 0,66

Odporność lub zmniejszoną wrażliwość na piroksysulam wykazano u 15 populacji miotły zbożowej. Trzy z nich odznaczały się wysokim stopniem odporności (RRR). ED₅₀ tych populacji kształtowało się od 43,48 do 112,03 g ha⁻¹. Średni poziom odporności stwierdzono u jednej populacji. Zmniejszoną wrażliwość na piroksysulam wykazano u siedmiu populacji, spośród których ED₅₀ czterech populacji było niewiele wyższe niż dawka tej substancji aktywnej zalecana przez producenta. Odporność krzyżową

na jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam stwierdzono u 15 populacji, a u trzech z nich (9404, 10501, 9395) odporność na obie substancje była na wysokim poziomie (RRR). Dziewięć populacji odznaczało się wrażliwością, z czego sześć nadwrażliwością na piroksysulam.

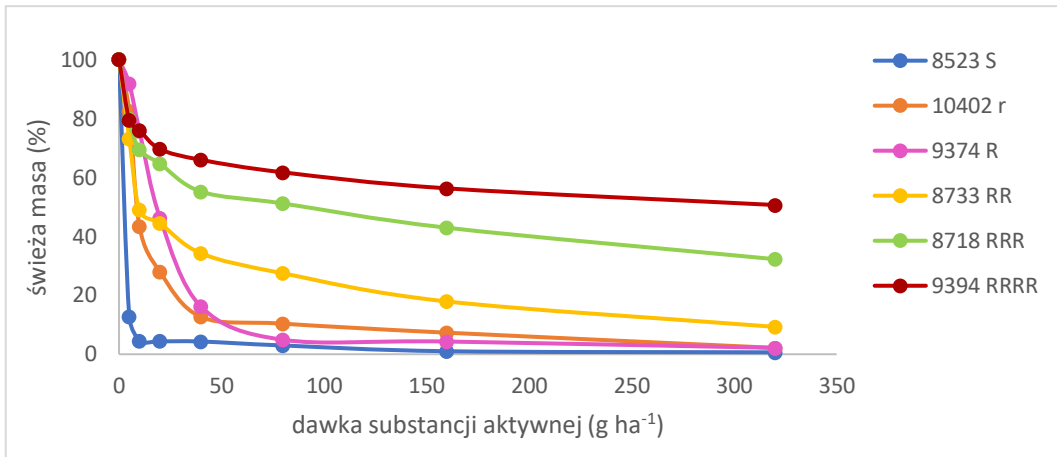
Spośród badanych populacji *Apera spica-venti* trzy z nich odznaczały się wrażliwością na dwie substancje aktywne należące do inhibitorów ALS, dwie z województwa lubelskiego i jedna z województwa podlaskiego (Wykres 15). ED₅₀ tych populacji w odniesieniu do piroksysulamu było znacznie mniejsze niż dawka zalecana tej substancji (9 g ha⁻¹), natomiast w przypadku jodosulfuronu metylosodowego ED₅₀ populacji 8514 było mniejsze tylko o 0,47 g ha⁻¹ od dawki rekomendowanej przez producenta.



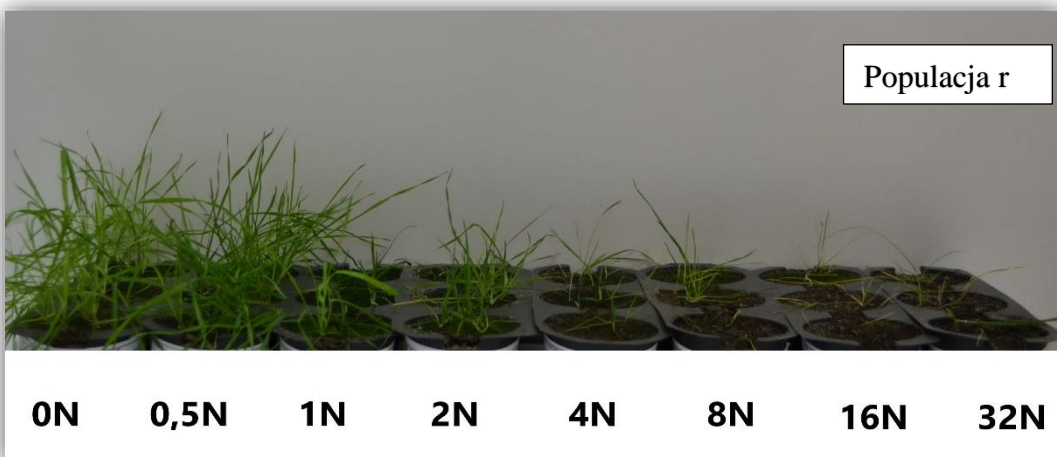
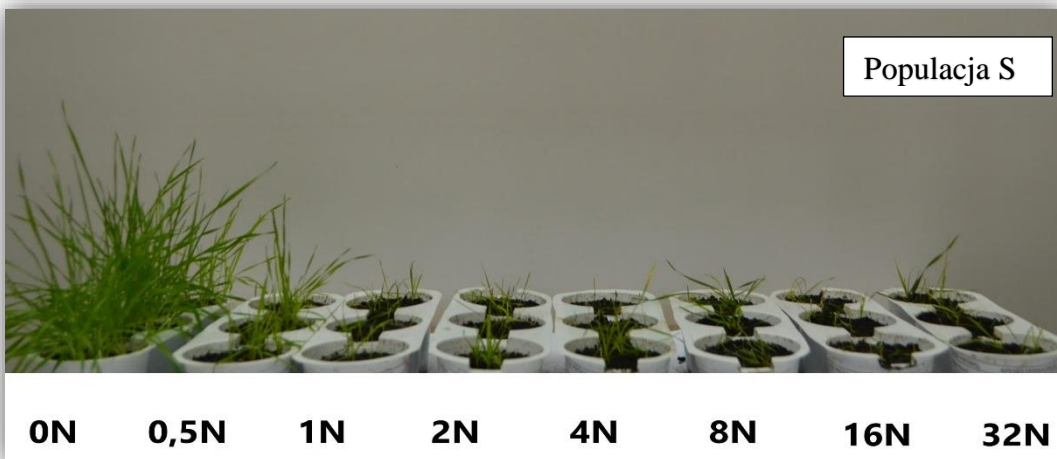
Wykres 15. ED₅₀ populacji *Apera spica-venti* wrażliwych na jodosulfuron metylosodowy (a) i piroksysulam (b) – inhibitory ALS

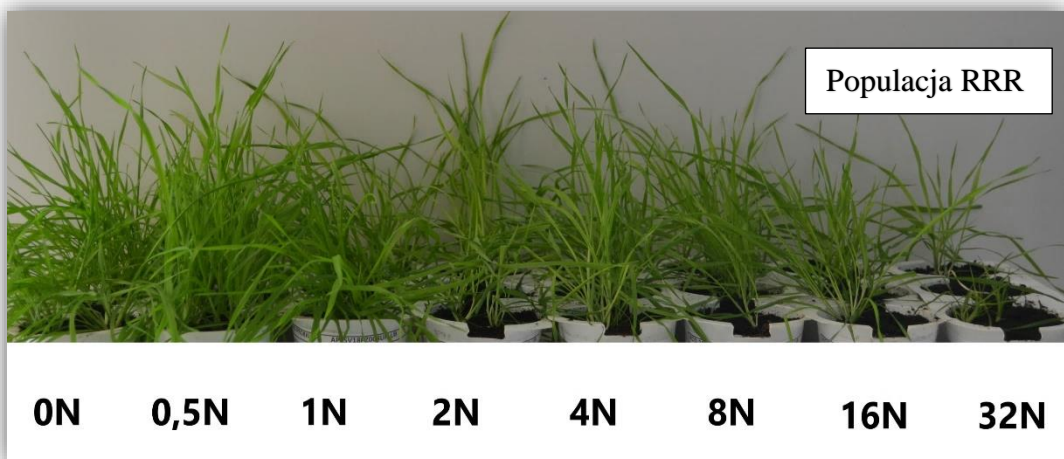
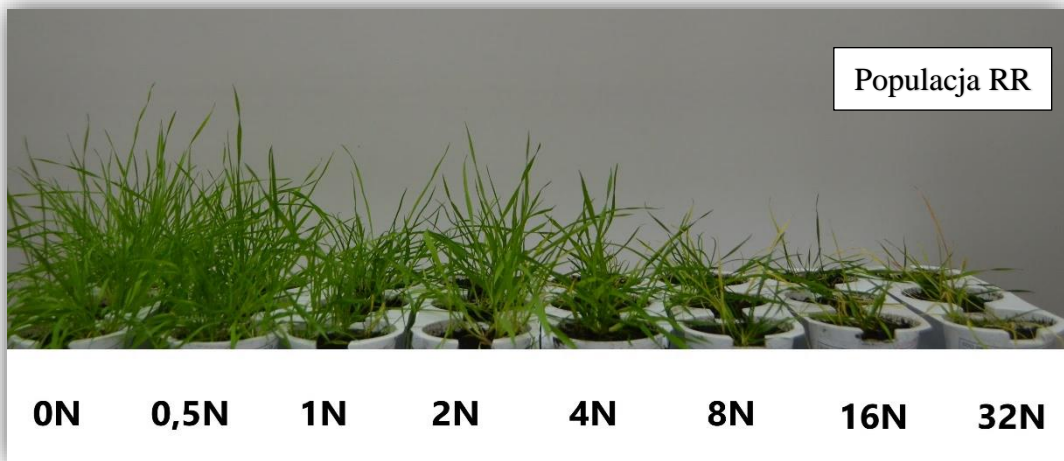
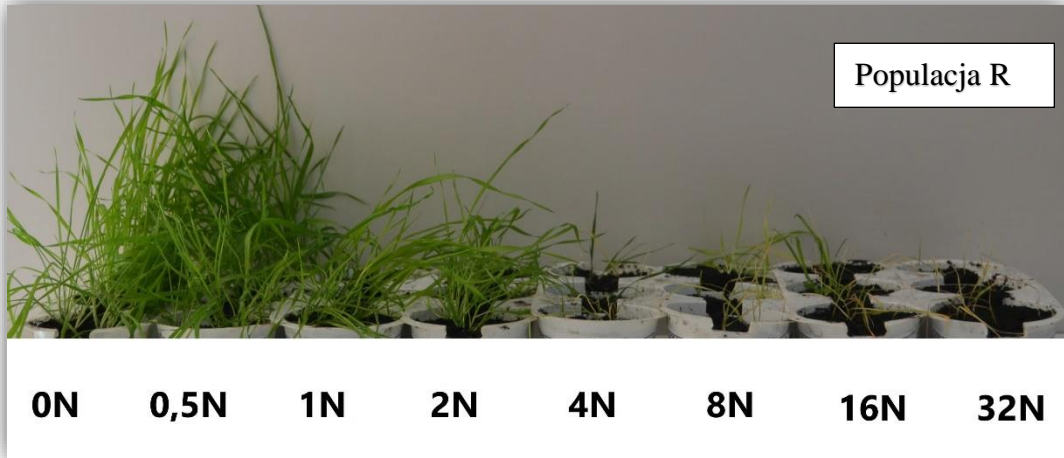
* województwo lubelskie, ** województwo podlaskie

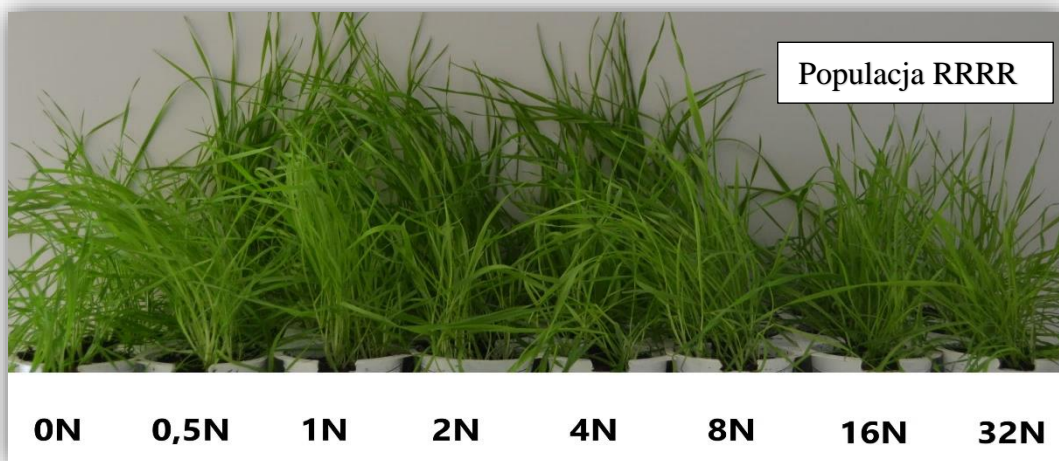
Zalecana dawka jodosulfuronu metylosodowego (10 g ha⁻¹) powodowała redukcję biomasy populacji wrażliwej o 95,5 % (Wykres 16, Fotografia 12). Populacje o wysokim i bardzo wysokim stopniu odporności reagowały na tę dawkę redukcją masy odpowiednio o 30,6 % i 24,0 %. W przypadku tych populacji zwiększenie dawki stosowanego herbicydu do 320 g ha⁻¹ (32 N) spowodowało redukcję biomasy części nadziemnej roślin odpowiednio o 67,8 % i 49,4 %.



Wykres 16. Redukcja świeżej masy populacji *Apera spica-venti* odpornych na jodosulfuron metylosodowy (r, R, RR, RRR, RRRR) i populacji wrażliwej (S)

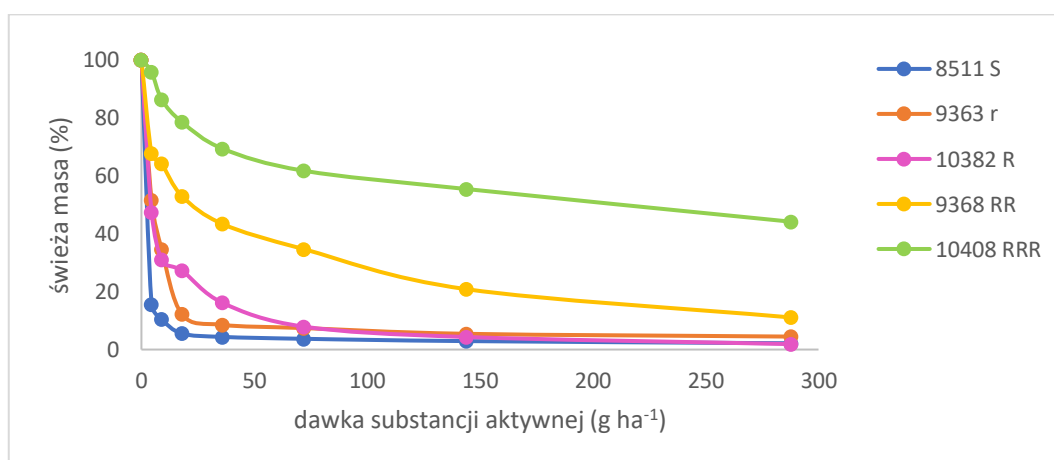




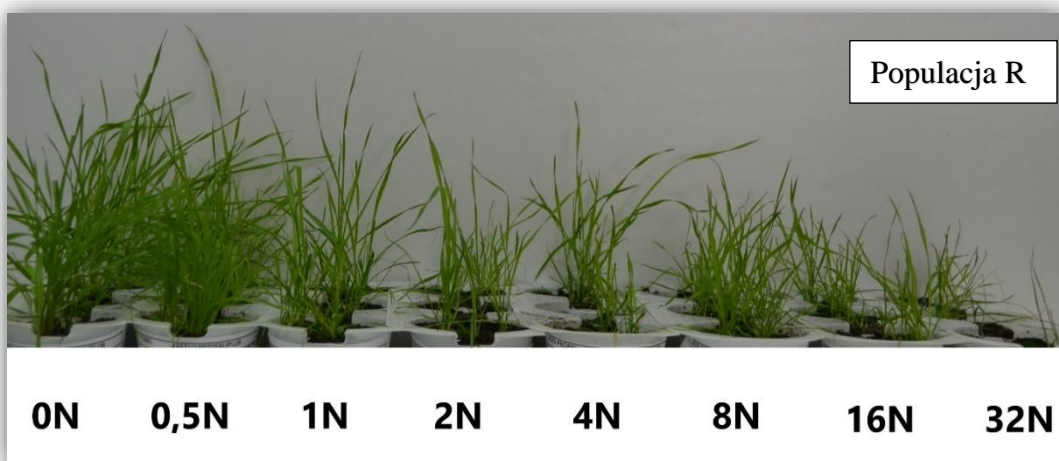
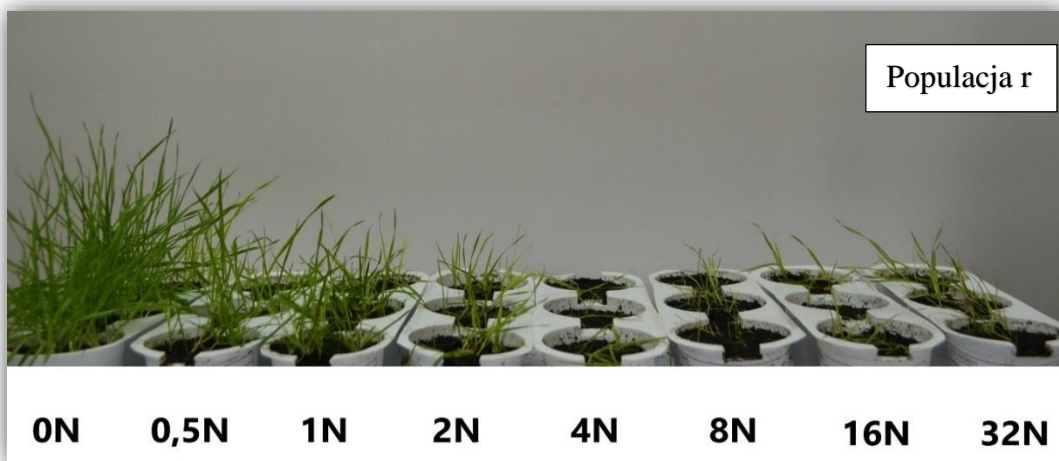
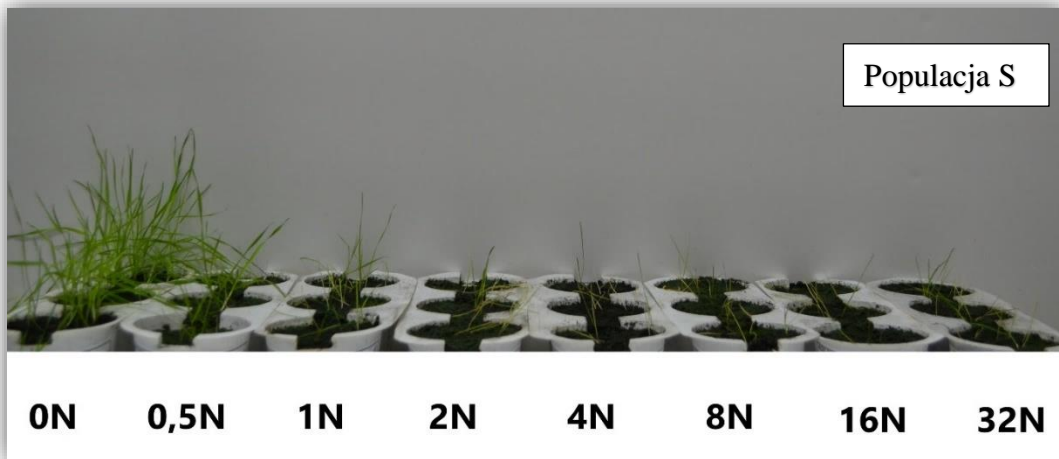


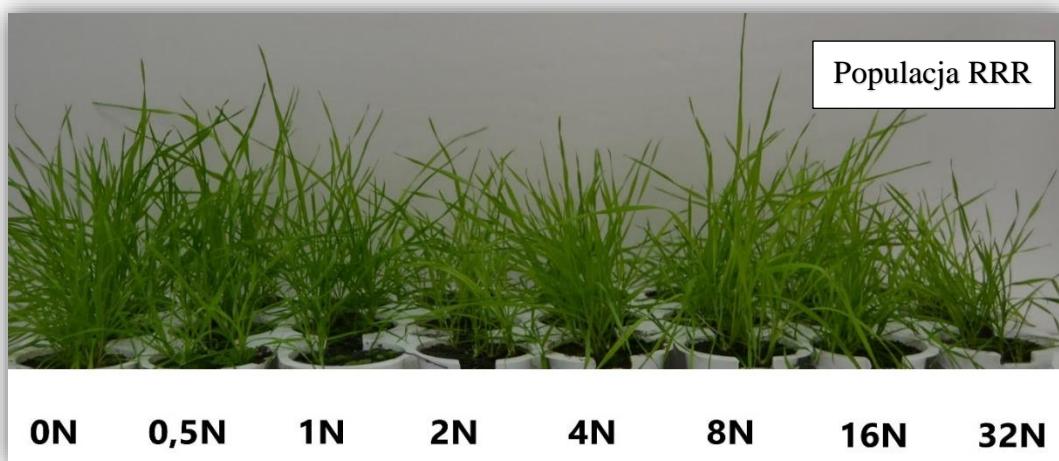
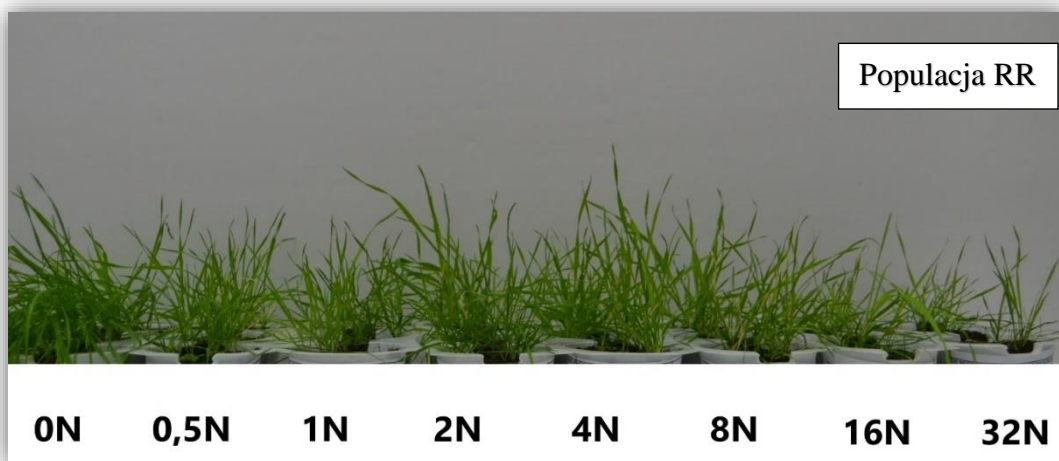
Fotografia 12. Reakcja populacji wrażliwej (S) *Apera spica-venti* oraz populacji o różnym poziomie odporności na jodosulfuron metylosodowy (r/R/RR/RRR/RRRR) na zróżnicowane dawki herbicydu

Na wykresie 17 i fotografii 13 przedstawiono reakcję populacji wrażliwej oraz populacji odpornych na stosowanie różnych dawek piroksysulamu. Potraktowanie roślin dawką rekomendowaną substancji aktywnej, tj. 9 g ha⁻¹ spowodowało spadek masy części nadziemnej populacji wrażliwej o 89,6 %, zaś o 35,9 % i 13,7 % - populacji o średnim i wysokim stopniu odporności na tę substancję. W przypadku populacji o średnim stopniu odporności znaczący ubytek biomasy, wynoszący 65,4 %, nastąpił dopiero przy 8-krotnym zwiększeniu dawki piroksysulamu, natomiast u populacji RRR zastosowanie tej dawki spowodowało redukcję biomasy o 38,3 %. Potraktowanie populacji 10408 (RRR) dawką 288 g ha⁻¹ s.a. (32 N) spowodowało spadek biomasy zaledwie o 55,9 %.



Wykres 17. Redukcja świeżej masy populacji *Apera spica-venti* odpornych na piroksysulam (r, R, RR, RRR) i populacji wrażliwej (S)





Fotografia 13. Reakcja populacji wrażliwej (S) *Apera spica-venti* oraz populacji o różnym poziomie odporności na piroksysulam (r/R/RR/RRR) na zróżnicowane dawki herbicydu

5.2.2. Wrażliwość *Apera spica-venti* (L.) P.B. na inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A (ACCase) (HRAC 1)

Przeprowadzone szczegółowe testy biologiczne wykazały, że 19 ze 133 badanych populacji wykazywała odporność lub zmniejszoną wrażliwość na fenoksaprop-P-etylu (Tabela 17). Tylko trzy populacje (8415, 9412, 10394) pochodzące z województwa lubelskiego charakteryzowały się wysoką odpornością (RRR) na tę substancję aktywną, ich ED_{50} wynosiło od 458,34 do 1838,78 g ha⁻¹. Jedna populacja charakteryzowała się średnim, a dwie niskim poziomem odporności. Aż 13 populacji wykazywało zmniejszoną wrażliwość (r) na fenoksaprop-P-etylu, gdzie ED_{50} wynosiło od 83,32 do 115,20 g ha⁻¹. Tylko dwie (9412 i 10473) spośród 133 badanych populacji *Apera spica-venti* odznaczały

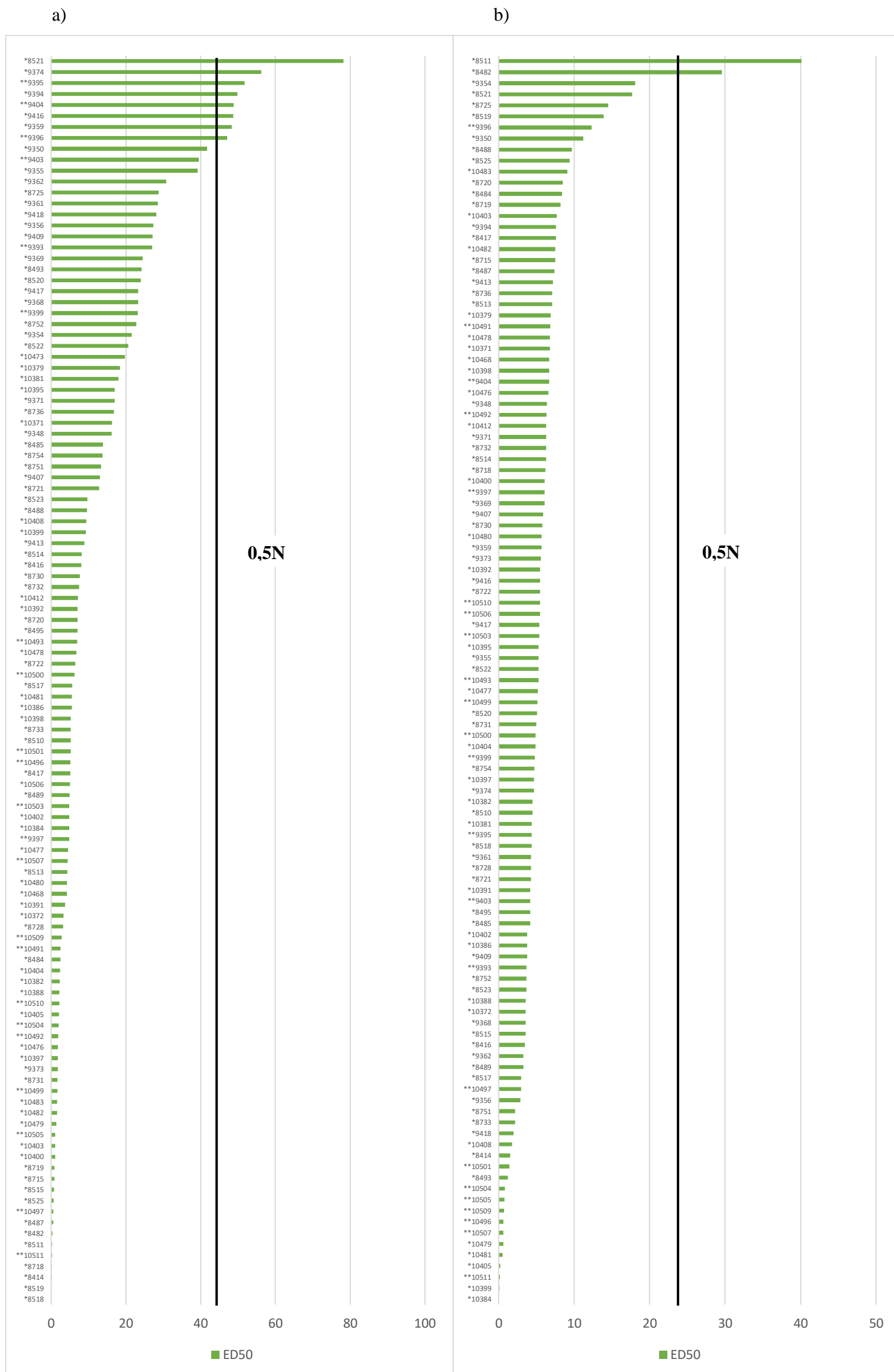
się zmniejszoną wrażliwością (r) na pinoksaden. Rośliny te pochodziły z województwa lubelskiego. ED₅₀ tych populacji było nieznacznie wyższe od dawki zalecanej przez producenta. Pierwsza z tych populacji wykazywała odporność krzyżową na pinoksaden i fenoksaprop-P-etylu. Dokładna analiza uzyskanych wyników pozwala wnioskować, że 20 spośród badanych populacji jest odporna zarówno na inhibitory ACCazy (HRAC 1), jak i inhibitory ALS (HRAC 2) i jest to tym samym odporność wielokrotna.

Tabela 17. Współczynnik odporności (RI) i ED₅₀ populacji Apera spica-venti odpornych na fenoksaprop-P-etylu i/lub pinoksaden (inhibitory ACCazy) w województwie lubelskim i podlaskim

Numer populacji	Fenoksaprop-P-etylu			Pinoksaden			
	RI (R/S)	ED ₅₀ (g ha ⁻¹)		RI (R/S)		ED ₅₀ (g ha ⁻¹)	
województwo lubelskie							
8415	RRR	19,18	768,60 ± 2,37	S	-	14,37 ± 3,28	
8724	R	4,99	199,90 ± 2,59	S	-	29,70 ± 0,65	
9352	r	2,29	91,95 ± 4,65	S	-	5,25 ± 1,52	
9358	r	2,56	102,59 ± 10,75	S	-	3,44 ± 0,71	
9360	r	2,41	96,51 ± 11,01	S	-	9,97 ± 2,47	
9363	RR	7,63	305,77 ± 3,81	S	-	10,61 ± 2,82	
9365	r	2,11	84,63 ± 6,30	S	-	4,99 ± 0,67	
9366	r	2,08	83,20 ± 3,41	S	-	4,59 ± 1,35	
9367	r	2,41	96,58 ± 8,49	S	-	3,55 ± 0,89	
9405	r	2,37	94,90 ± 5,94	S	-	3,55 ± 0,16	
9406	R	3,72	148,99 ± 2,21	S	-	12,72 ± 2,76	
9408	r	2,47	98,90 ± 3,62	S	-	4,13 ± 0,26	
9410	r	2,87	115,20 ± 5,51	S	-	4,66 ± 0,27	
9411	r	2,23	89,37 ± 6,34	S	-	3,55 ± 0,45	
9412	RRR	45,88	1838,78 ± 13,73	r	2,90	50,99 ± 4,85	
9415	r	2,08	83,32 ± 3,17	S	-	2,35 ± 0,57	
10394	RRR	11,44	458,34 ± 4,40	S	-	5,23 ± 0,83	
10473	S	-	19,73 ± 2,26	r	2,67	46,92 ± 7,69	
województwo podlaskie							
9383	r	2,67	107,21 ± 6,31	S	-	6,52 ± 0,48	
9401	r	2,24	89,87 ± 2,86	S	-	3,54 ± 0,36	

Ze 133 przebadanych populacji 113 wykazywała wrażliwość na obie substancje aktywne z grupy inhibitorów ACCazy, w tym 90 w województwie lubelskim i 23 w województwie podlaskim (Wykres 18). Niespełna 45 % spośród populacji *Apera spica-venti* wrażliwych na fenoksaprop-P-etylu wykazało w badaniach nadwrażliwość na tę substancję aktywną, a ich ED₅₀ wynosiło 0,09-5,16 g ha⁻¹. Dawka efektywna herbicydu

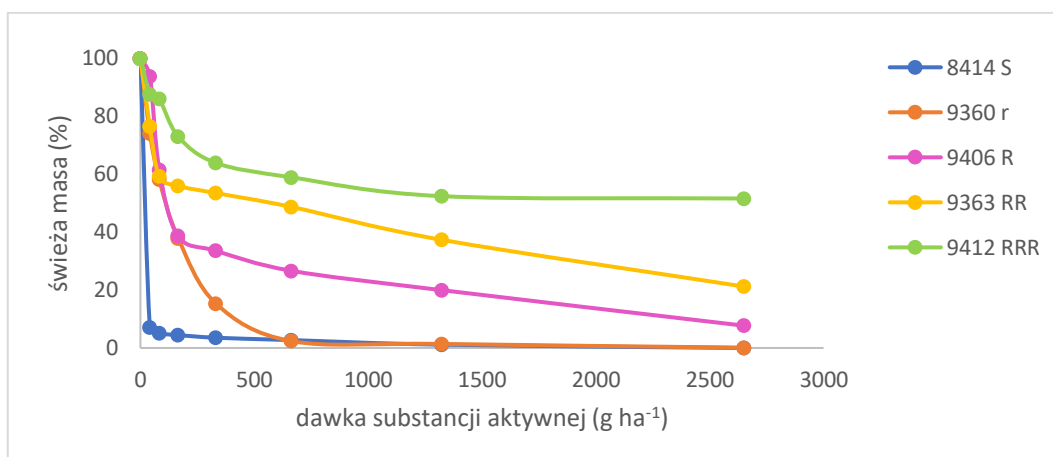
(ED₅₀) dla pozostałych wrażliwych populacji kształtowała się w granicach od 5,19 do 78,17 g ha⁻¹. Przy tym ED₅₀ dziewięciu populacji było powyżej połowy dawki pełnej fenoksaprofu-P-etylu, co świadczy o tym, że ich wrażliwość na tę substancję aktywną zaczęła się zmniejszać. 19 ze 113 populacji miotły zbożowej wykazywało nadwrażliwość na pinoksaden, ich ED₅₀ wynosiło poniżej 2,81 g ha⁻¹, a tylko dwie populacje charakteryzowały się dawką efektywną powyżej połowy dawki zalecanej przez producenta.



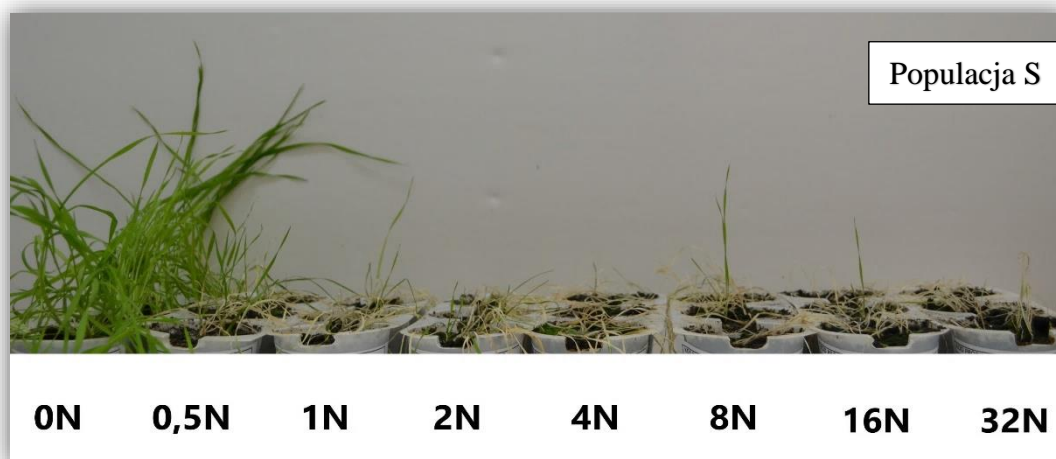
Wykres 18. ED₅₀ populacji *Apera spica-venti* wrażliwych na fenoksaprop-P-etylu (a) i pinoksaden (b) – inhibitory ACCazy

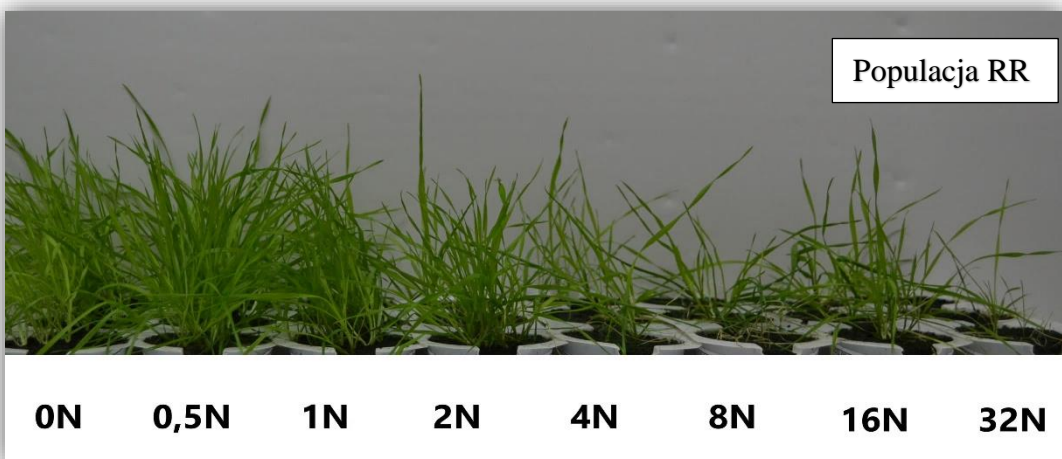
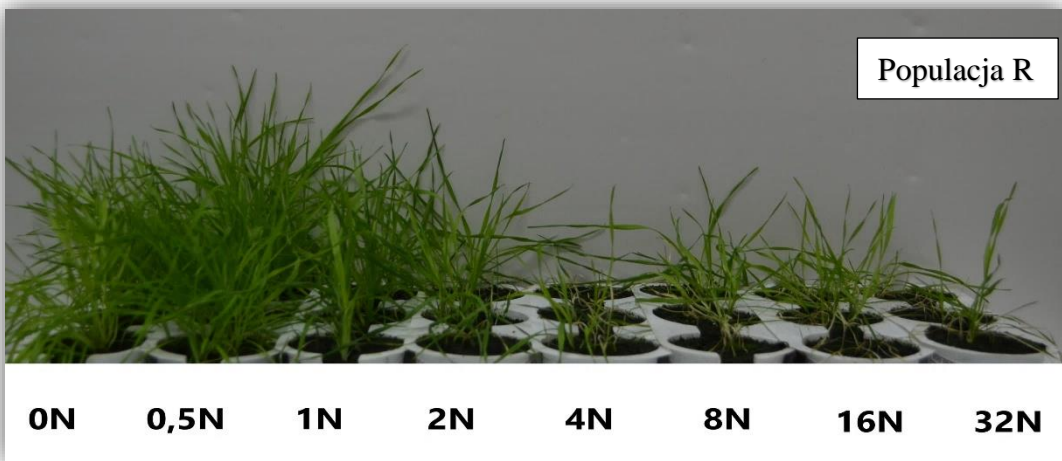
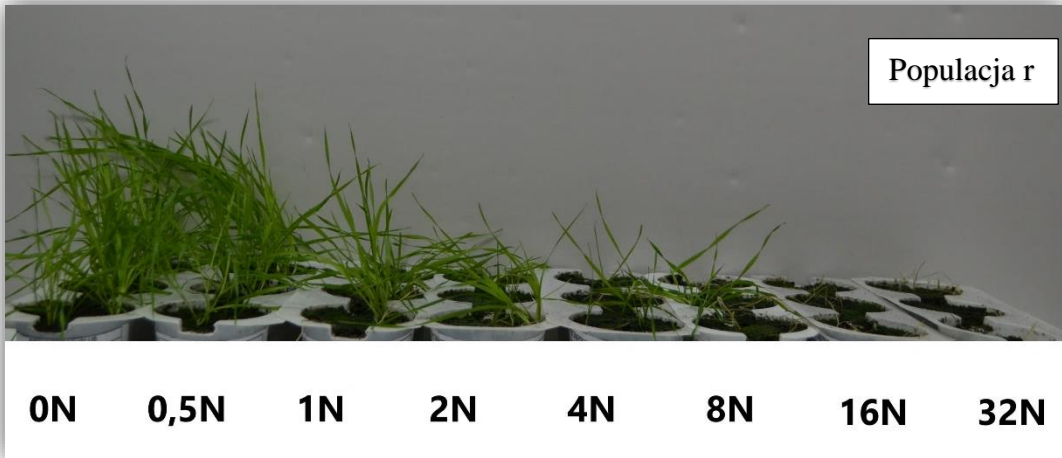
* województwo lubelskie, ** województwo podlaskie

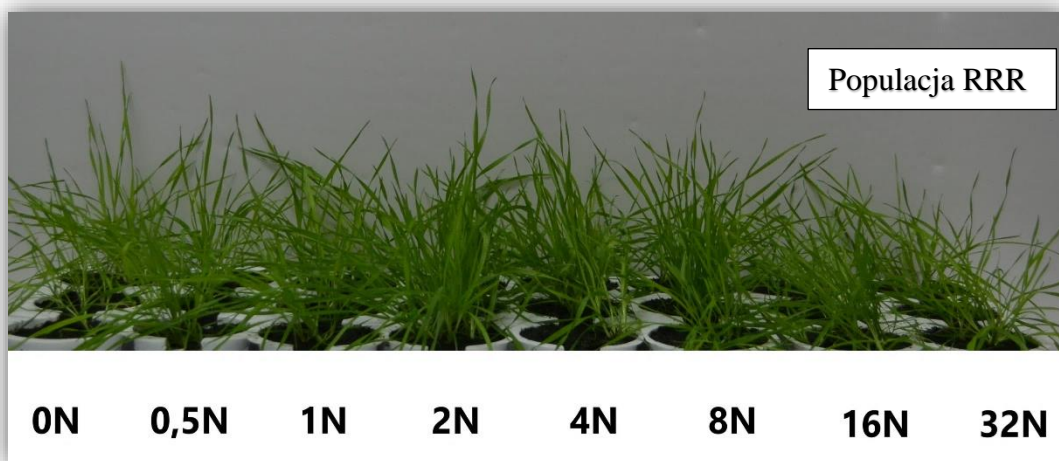
Działanie na rośliny miotły zbożowej dawką rekomendowaną fenoksaprofu-P-etylu, tj. $82,8 \text{ g ha}^{-1}$, spowodowało redukcję masy populacji wrażliwej o 94,9 %, natomiast populacji o średniej i wysokiej odporności na tę substancję aktywną o 40,7 % i 14,0 % (Wykres 19). Zastosowanie 32-krotnie wyższej dawki herbicydu spowodowało ubytek masy o 78,8 % u populacji RR i 48,4 % u populacji RRR. Odzwierciedleniem uzyskanych wyników są również fotografie umieszczone poniżej (Fotografia 14).



Wykres 19. Redukcja świeżej masy populacji *Apera spica-venti* odpornych na fenoksaprop-P-etylu (r/R/RR/RRR) i populacji wrażliwej (S)

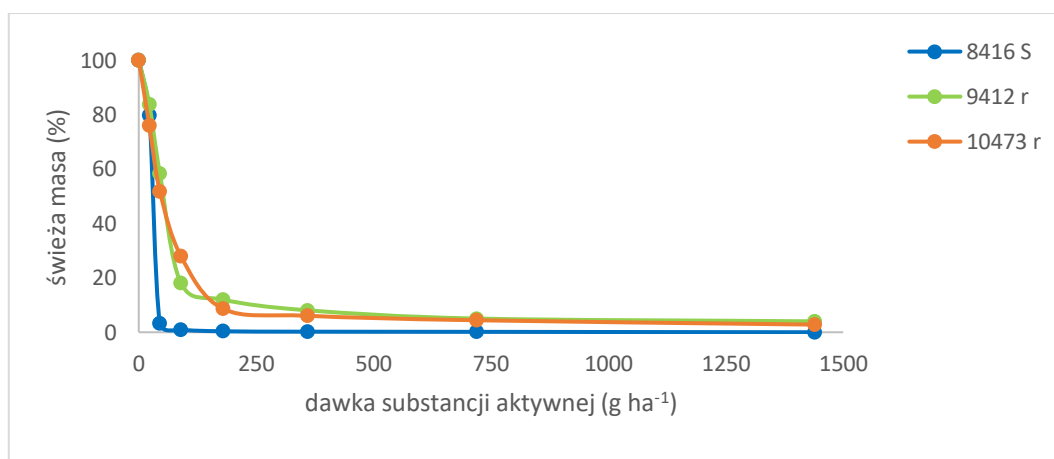




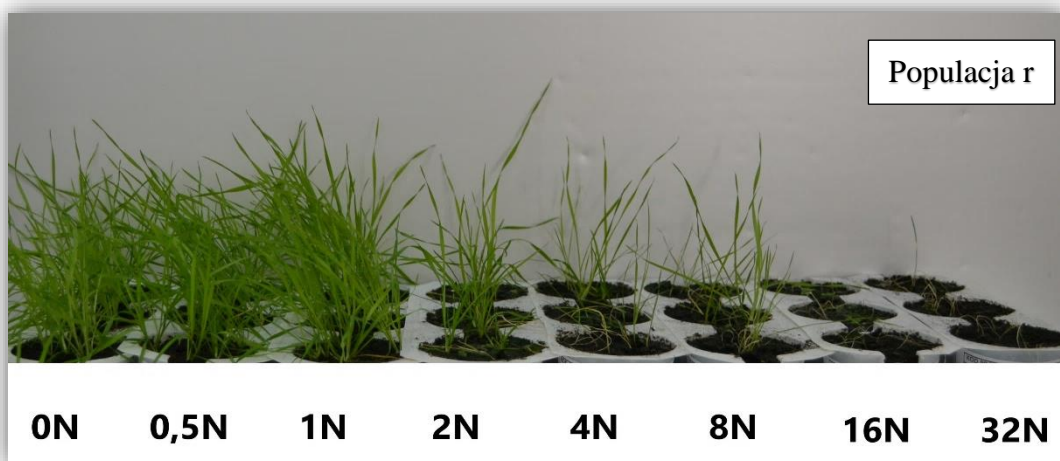
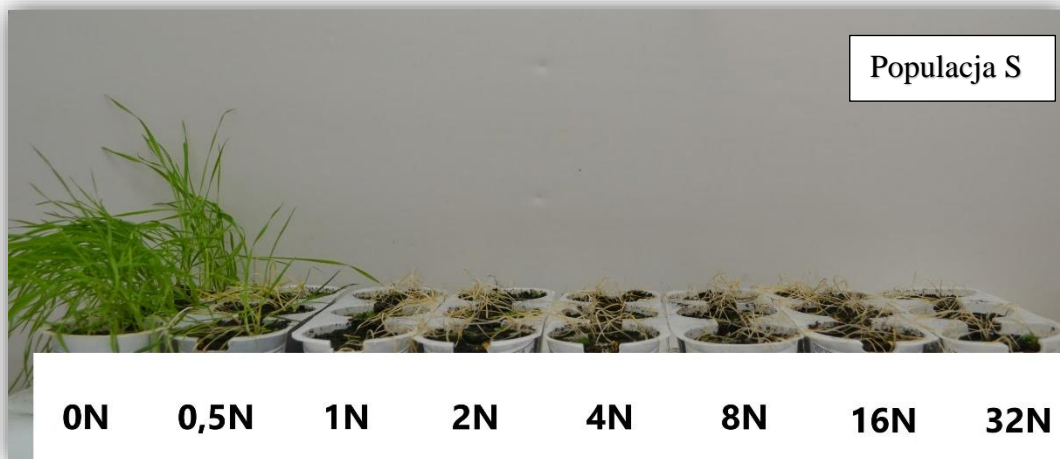


Fotografia 14. Reakcja populacji wrażliwej (S) Apera spica-venti oraz populacji o różnym poziomie odporności na fenoksaprop-P-etylu (r/R/RR/RRR) na zróżnicowane dawki herbicydu

Na wykresie 20 i fotografii 15 przedstawiono reakcję populacji wrażliwej oraz populacji o zmniejszonej wrażliwości na stosowanie różnych dawek pinoksadenu. Dawka rekomendowana spowodowała redukcję świeżej masy populacji wrażliwej o 96,8 %, zaś populacji r o 41,8-48,2 %. Zastosowanie zaledwie 2-krotnie wyższej ilości od dawki polowej herbicydu (90 g ha^{-1}) zmniejszyło biomasę populacji wrażliwej o 99,0 %, natomiast populacji o zmniejszonej wrażliwości o 72,1-82,0 %.



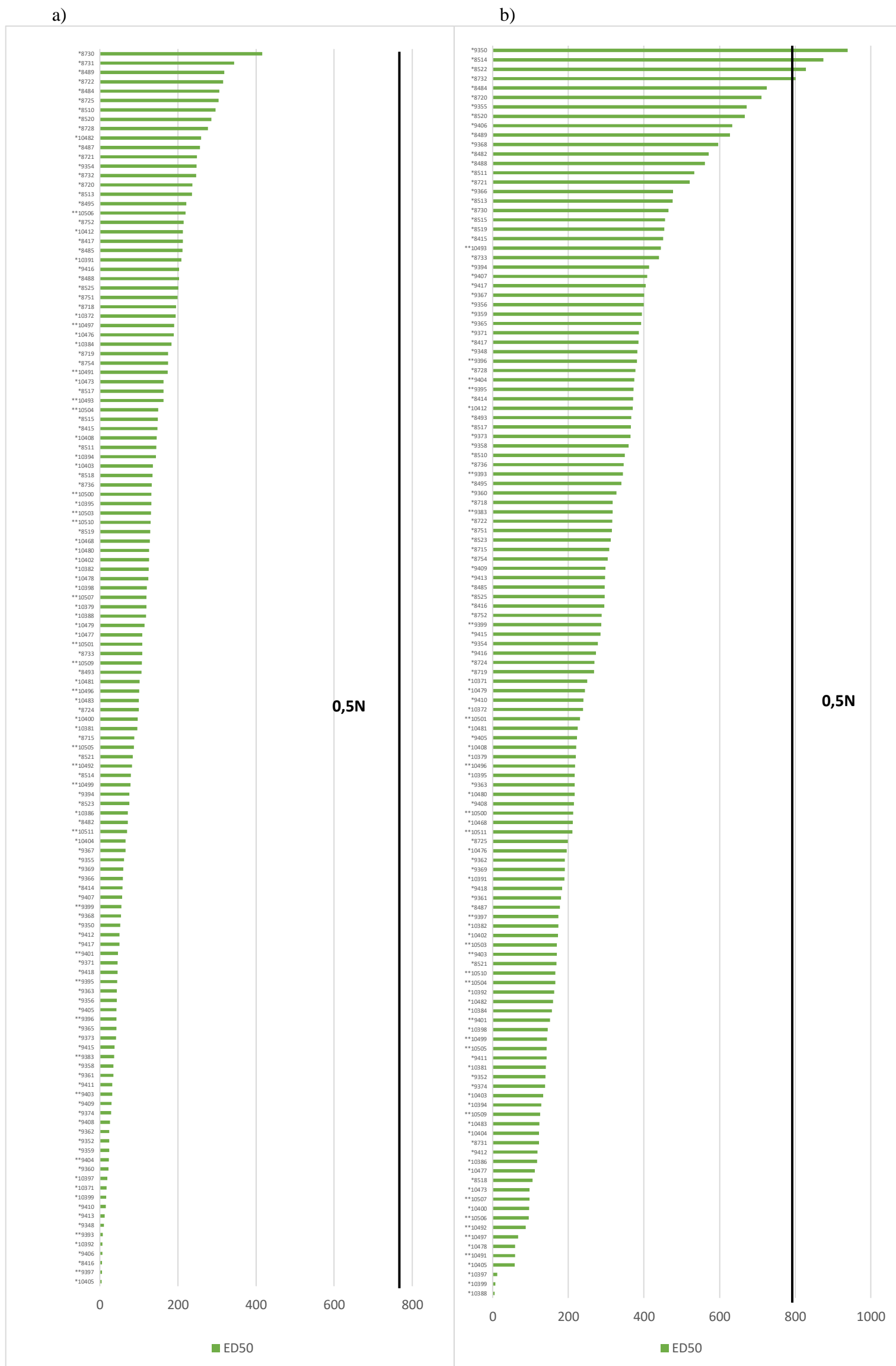
Wykres 20. Redukcja świeżej masy populacji Apera spica-venti o zmniejszonej wrażliwości na pinoksaden (r) i populacji wrażliwej (S)



Fotografia 15. Reakcja populacji wrażliwej (S) *Apera spica-venti* oraz populacji o zmniejszonej wrażliwości na pinoksaden (r) na zróżnicowane dawki herbicydu

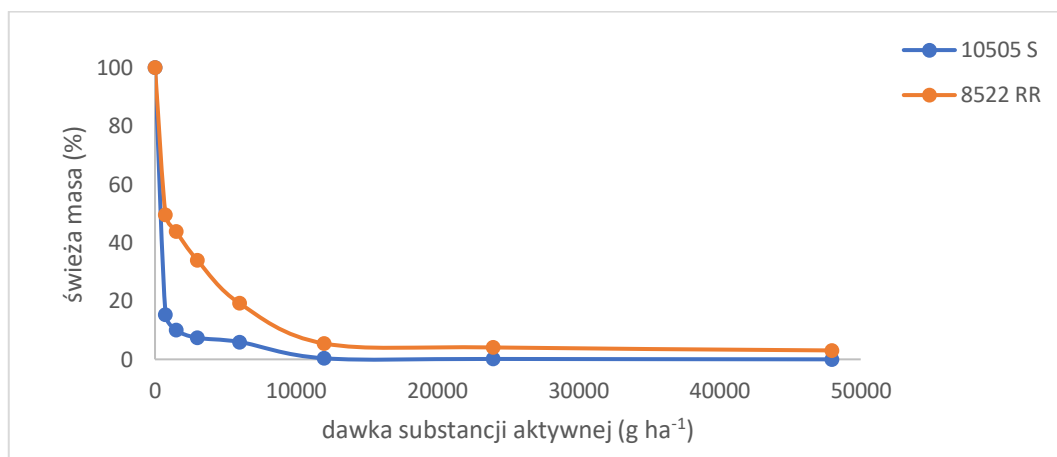
5.2.3. Wrażliwość *Apera spica-venti* (L.) P.B. na inhibitory fotosyntezy fotosystemu II (PSII) (HRAC 5) i inhibitory tworzenia mikrotubuli (HRAC 3)

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych testów szczegółowych wykazały, iż tylko populacja 8522 pochodząca z Lubelszczyzny odznaczała się średnim stopniem odporności (RR) na chlorotoluron. Jej współczynnik odporności (RI) wynosił 9,23, a dawka efektywna (ED_{50}) – 2129,59 g ha⁻¹. Spośród badanych populacji, 132 były wrażliwe na chlorotoluron, z czego 45 % odznaczało się nadwrażliwością (ED_{50} = 4,89-87,15 g ha⁻¹) (Wykres 21). Wszystkie badane w doświadczeniu populacje *Apera spica-venti* okazały się wrażliwe na pendimetalinę, a 12 z nich – nadwrażliwe (ED_{50} = 4,67-97,02 g ha⁻¹) (Wykres 21). Tylko cztery wrażliwe populacje miały ED_{50} powyżej 800 g ha⁻¹, czyli 50-59 % dawki zalecanej.

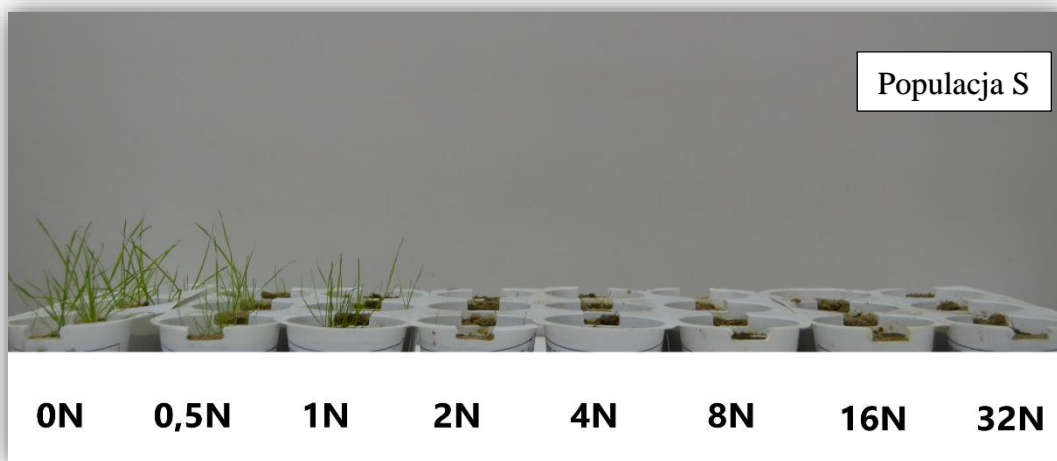


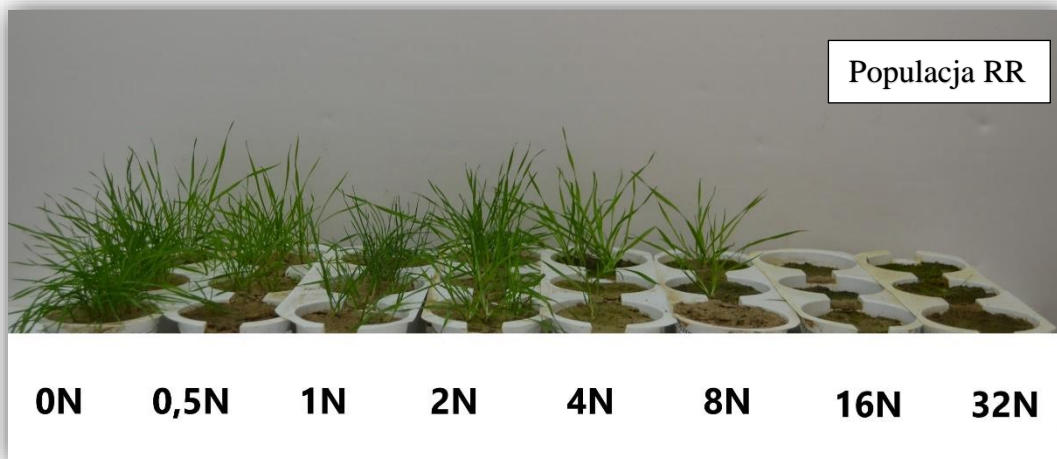
Wykres 21. ED_{50} populacji *Apera spica-venti* wrażliwych na chlorotoluron – inhibitory PSII (a) i pendimetalinę – inhibitory tworzenia mikrotubuli (b) * województwo lubelskie, ** województwo podlaskie

Na wykresie 22 i fotografii 16 przedstawiono różnice w ubytku biomasy części nadziemnej populacji wrażliwej i odpornej na chlorotoluron. Dawka pełna (1500 g ha⁻¹ s.a.) chlorotoluronu spowodowała redukcje biomasy populacji 10505 o 89,9 %, natomiast populacji 8522 o 56,2 %. Dopiero 8-krotne zwiększenie dawki herbicydu spowodowało ubytek masy populacji o średnim poziomie odporności o 94,6 %.



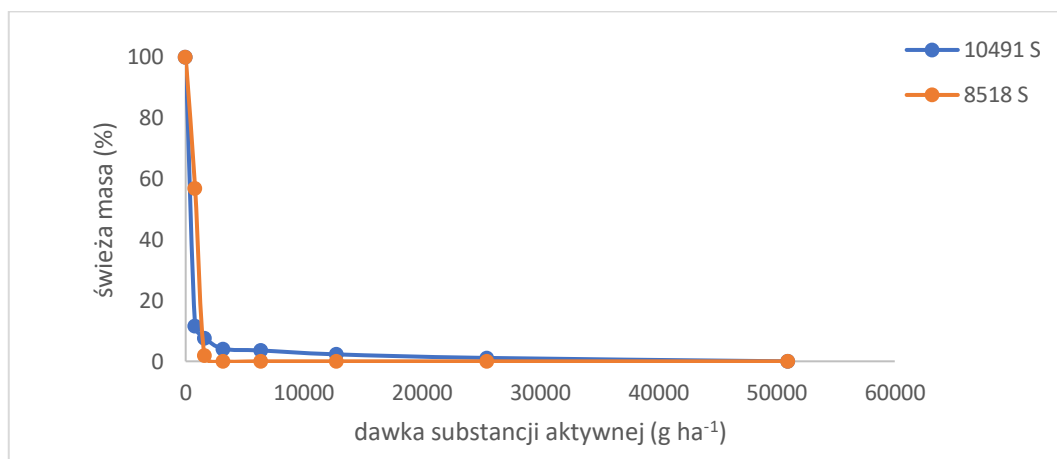
Wykres 22. Redukcja świeżej masy populacji *Apera spica-venti* o średnim poziomie odporności (RR) i populacji wrażliwej (S) na chlorotoluron



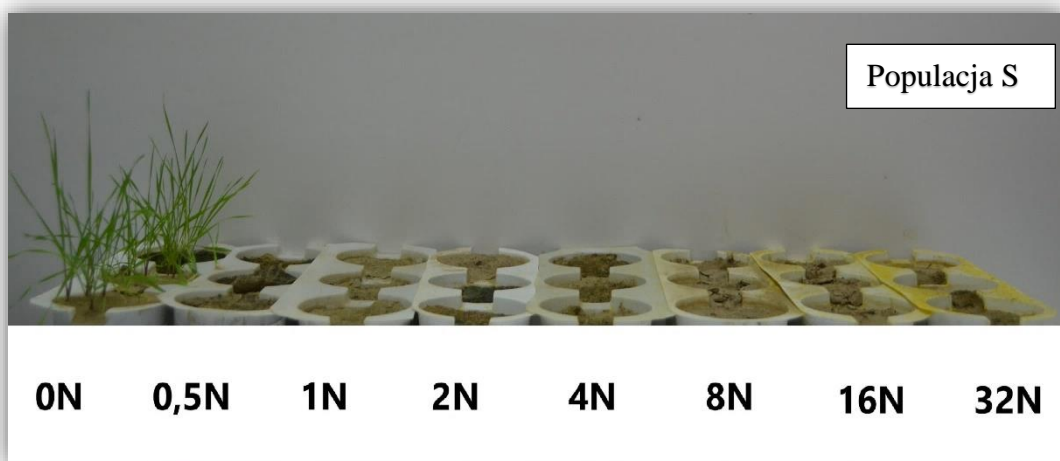
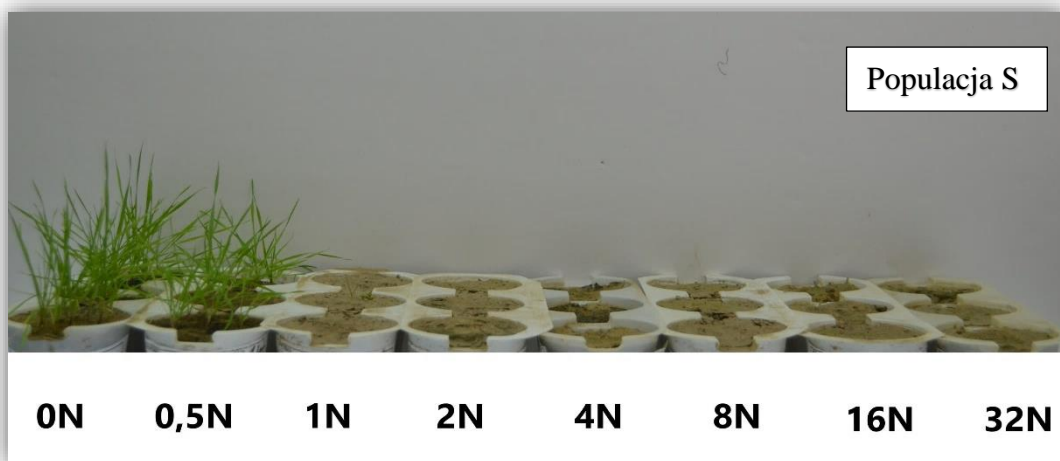


Fotografia 16. Reakcja populacji wrażliwej (S) *Apera spica-venti* oraz populacji o średnim poziomie odporności (RR) na chlorotoluron na zróżnicowane dawki herbicydu

Na wykresie 23 i fotografii 17 przedstawiono reakcję populacji wrażliwej *Apera spica-venti* na zastosowane w doświadczeniu różne dawki pendimetaliny. Aplikacja rekomendowanej dawki substancji aktywnej ($1592,5 \text{ g ha}^{-1}$) spowodowała ubytek masy populacji wrażliwych o 95,9-98,1 %.



Wykres 23. Redukcja świeżej masy populacji *Apera spica-venti* wrażliwych (S) na pendimetalinę



*Fotografia 17. Reakcja populacji *Apera spica-venti* wrażliwych (S) na pendimetalinę na zróżnicowane dawki herbicydu*

5.3. Populacje *Apera spica-venti* (L.) P.B. o odporności wielokrotnej

Na terenie województw: lubelskiego i podlaskiego znaleziono 21 populacji *Apera spica-venti* wykazujących odporność wielokrotną na substancje aktywne badane w doświadczeniu (Tabela 18). Większość z nich stanowiły populacje odporne jednocześnie na trzy substancje aktywne, tj. jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam (inhibitory ALS) oraz fenoksaprop-P-etylu (inhibitory ACCazy) – 11. Siedem populacji miotły zbożowej było odpornych na jodosulfuron metylosodowy (HRAC 2) i fenoksaprop-P-etylu (HRAC 1), jedna populacja – na jodosulfuron metylosodowy, piroksysulam (HRAC 2) i pinoksaden (HRAC 1) oraz jedna – na jodosulfuron metylosodowy i obie substancje aktywne z grupy inhibitorów acetylokoenzymu A. Jedna populacja spośród 133 przebadanych wykazywała

odporność wielokrotną na substancje aktywne z grupy HRAC 2 - jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam oraz HRAC 5 - chlorotoluron.

Tabela 18. Populacje *Apera spica-venti* wykazujące odporność wielokrotną

Numer populacji	Jodosulfuron metylosodowy	Piroksysulam	Fenoksaprop-P-etylu	Pinoksaden	Chlorotoluron
województwo lubelskie					
8415	RRR	S	RRR	S	S
8522	RRR	r	S	S	RR
8724	RRR	S	R	S	S
9352	RRR	RR	r	S	S
9358	RRRR	RRR	r	S	S
9360	RRR	RRR	r	S	S
9363	RRR	r	RR	S	S
9365	RRRR	r	r	S	S
9366	RR	S	r	S	S
9367	R	S	r	S	S
9405	RRR	R	r	S	S
9406	RRR	RRR	R	S	S
9408	RRR	RRR	r	S	S
9410	RRR	S	r	S	S
9411	RRR	RRR	r	S	S
9412	RR	S	RRR	r	S
9415	RRR	S	r	S	S
10394	R	r	RRR	S	S
10473	RRR	R	S	r	S
województwo podlaskie					
9383	RRR	r	r	S	S
9401	RR	S	r	S	S

5.4. Analiza molekularna genu syntazy acetylomleczanowej wybranych populacji *Apera spica-venti* (L.) P.B.

DNA zostało wyizolowane z 18 osobników należących do 6 populacji odpornych na jodosulfuron metylosodowy: czterech z województwa lubelskiego i dwóch z podlaskiego. Odporność populacji, z których izolowano DNA, została potwierdzona testem RI.

Zastosowana metodyka izolacji DNA umożliwiła uzyskanie DNA w ilości i jakości pozwalającej na wykonanie reakcji PCR i sekwencjonowania poszczególnych fragmentów genu *als*. Uzyskano chromatogramy pozwalające na ustalenie sekwencji w kodonach znanych z literatury jako warunkujących odporność na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Produkty powielenia domeny A miały długość około 380 pz i obejmowały kodony A122, P197 i A205. Produkty powielenia domeny B o długości około 530 pz obejmowały kodony W574, S653, G654, natomiast amplikony o długości około 1200 pz uzyskane wskutek powielenia obszaru międzysydomenowego obejmowały kodony D376, R377.

```

HM854301          ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGTTCGCATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ080_1   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ080_2   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV17PZ050_1   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19Z2079_1   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ061_2   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV17PZ050_3   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV17PZ050_2   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTMCCCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19KU037_3   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTTCCCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ052_1   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTMCCCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ061_1   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTMCCCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ052_2   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTACCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ052_3   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTACCGCGCCGATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19Z2079_2   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGTTCGCATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19Z2079_3   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGTTCGCATGATCGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ080_3   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTTCCCGTTCGCATGATTGGCACGGACGCC TTC
APESV19PZ061_3   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGTTCGCATGATTGGCACGGACGCC TTC
APESV19KU037_2   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGYCGCATGATTGGCACGGACGCC TTC
APESV19KU037_1   ATCCCGATGGTCGCCATCACGGGGCAGGTTCCCGTTCGCATGATYGGCACGGACGCC TTC
*****          *****

```

Rysunek 1. Fragment domeny A genu *als* z uwidocznioną zmiennością sekwencji w obrębie kodonu 197 i 205.

W pięciu populacjach spośród sześciu przebadanych stwierdzono mutacje niesynonimiczne w kodonie P197 należącym do domeny A genu *als* (Rysunek 1).

W populacji 10473 pochodzącej z województwa lubelskiego u wszystkich przebadanych osobników zidentyfikowano mutację na pierwszej pozycji w kodonie 197, skutkującą zamianą proliny na treoninę w sekwencji aminokwasowej (Tabela 19). Tę samą mutację zaobserwowano w dwóch innych populacjach z tego województwa: 8522 i 10482, jednak w każdej z nich tylko u jednego osobnika z trzech analizowanych. U każdego z tych dwóch osobników mutacja wystąpiła tylko w jednym allelu. W dwóch populacjach: 10408 z województwa lubelskiego oraz w 10501 z województwa podlaskiego również stwierdzono mutację w pierwszej pozycji w kodonie 197, jednak w tym przypadku nastąpiła zamiana cytozyny na tyminę, a w konsekwencji zamiana proliny na serynę w sekwencji aminokwasowej. W populacji 10500 u przeanalizowanych osobników nie zidentyfikowano mutacji w kodonie 197.

Tabela 19. Zestawienie zmienności genetycznej w obrębie kodonu 197 genu als badanych populacji miotły zbożowej. Symbole nukleotydów i aminokwasów według kodu IUPAC.

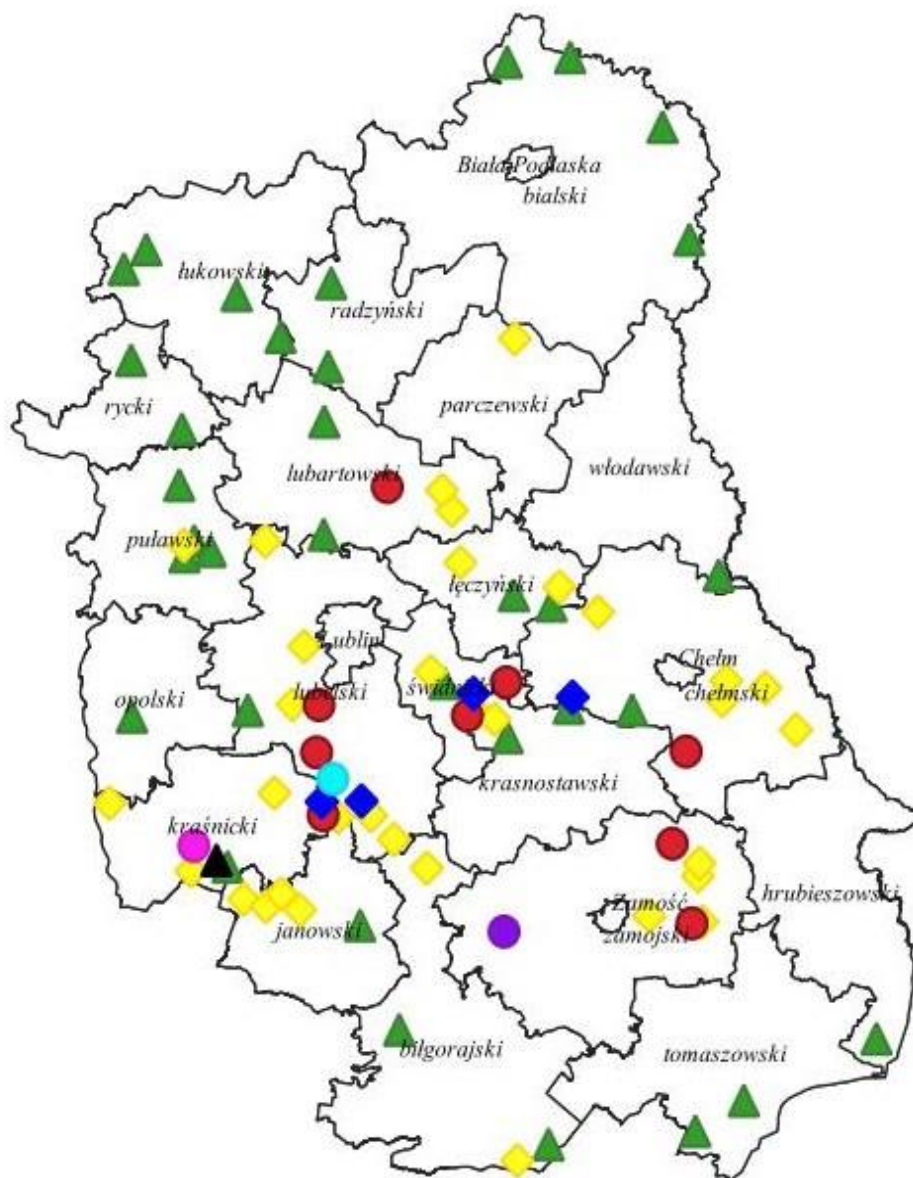
Populacja	Osobnik	Województwo	Kodon 197	
			Nukleotydy	Aminokwas
8522	1	lubelskie	CCC	P
	2		MCC	P/T
	3		CCC	P
10408	1	lubelskie	CCC	P
	2		CCC	P
	3		TCC	S
10473	1	lubelskie	MCC	P/T
	2		ACC	T
	3		ACC	T
10482	1	lubelskie	MCC	P/T
	2		CCC	P
	3		CCC	P
10500	1	podlaskie	CCC	P
	2		CCC	P
	3		CCC	P
10501	1	podlaskie	CCC	P
	2		CCC	P
	3		YCC	S

Poza substytucjami w kodonie P197 w DNA analizowanych osobników w żadnej z sześciu populacji w obrębie domeny A, B ani obszaru międzydomenowego genu *als* nie stwierdzono innych mutacji niesynonimicznych, o których wiadomo z literatury, że warunkują odporność na herbicydy z grupy inhibitorów ALS (mutacje w kodonach A122, A205, D376, R377, W574, S653 oraz G654). W kodonie A205 u jednego z osobników z populacji 10482 zidentyfikowano mutację synonimiczną (Rysunek 1). Zamiana nukleotydu na trzeciej pozycji w tym przypadku nie wpływa na sekwencję aminokwasową.

5.5. Występowanie populacji odpornych *Apera spica-venti* (L.) P.B.

Rozkład zidentyfikowanych na Lubelszczyźnie stanowisk, w których stwierdzono odporne na herbicydy populacje *Apera spica-venti* przedstawiono na mapie 2. Na mapie widoczne są lokalizacje 85 populacji ze 106 odpornych, ponieważ pozostała część stanowisk miała bardzo zbliżone współrzędne, przez co punkty nakładają się na siebie. *Apera spica-venti* odporna na jodosulfuron metylosodowy (HRAC 2) – 105 populacji – występuje na terenie całego województwa. Natomiast 56 populacji tego gatunku, które są odporne krzyżowo na inhibitory syntazy acetylmleczanowej ALS, tj. jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam, występują głównie w powiatach: lubelskim, kraśnickim, janowskim, zamojskim, chełmskim, łączyńskim i lubartowskim. Jedyna zidentyfikowana populacja cechująca się obniżoną wrażliwością na piroksysulam z jednoczesną 100 % wrażliwością na jodosulfuron metylosodowy pochodziła z okolic Kraśnika.

W centralnej części województwa lubelskiego potwierdzono występowanie 17 populacji miotły zbożowej wykazujących odporność na fenoksaprop-P-etylu (inhibitory ACCazy) oraz dwóch odpornych na pinoksaden (inhibitory ACCazy), z czego jednej na obie badane w doświadczeniu substancje z grupy inhibitorów acetylokoenzymu A (HRAC 1). Wszystkie wspomniane wyżej populacje odporne na fenoksaprop-P-etylu lub/i pinoksaden wykazywały również odporność na substancje należące do grupy inhibitorów ALS (HRAC 2). Jedyna zidentyfikowana populacja *Apera spica-venti* odporna na chlorotoluron – inhibitory PSII (HRAC 5) pochodziła z okolic Kraśnika i była odporna również na substancje aktywne z grupy inhibitorów ALS. Na terenie Lubelszczyzny nie potwierdzono występowania odporności na pendimetalinę – dinitroaniliny (HRAC 3).

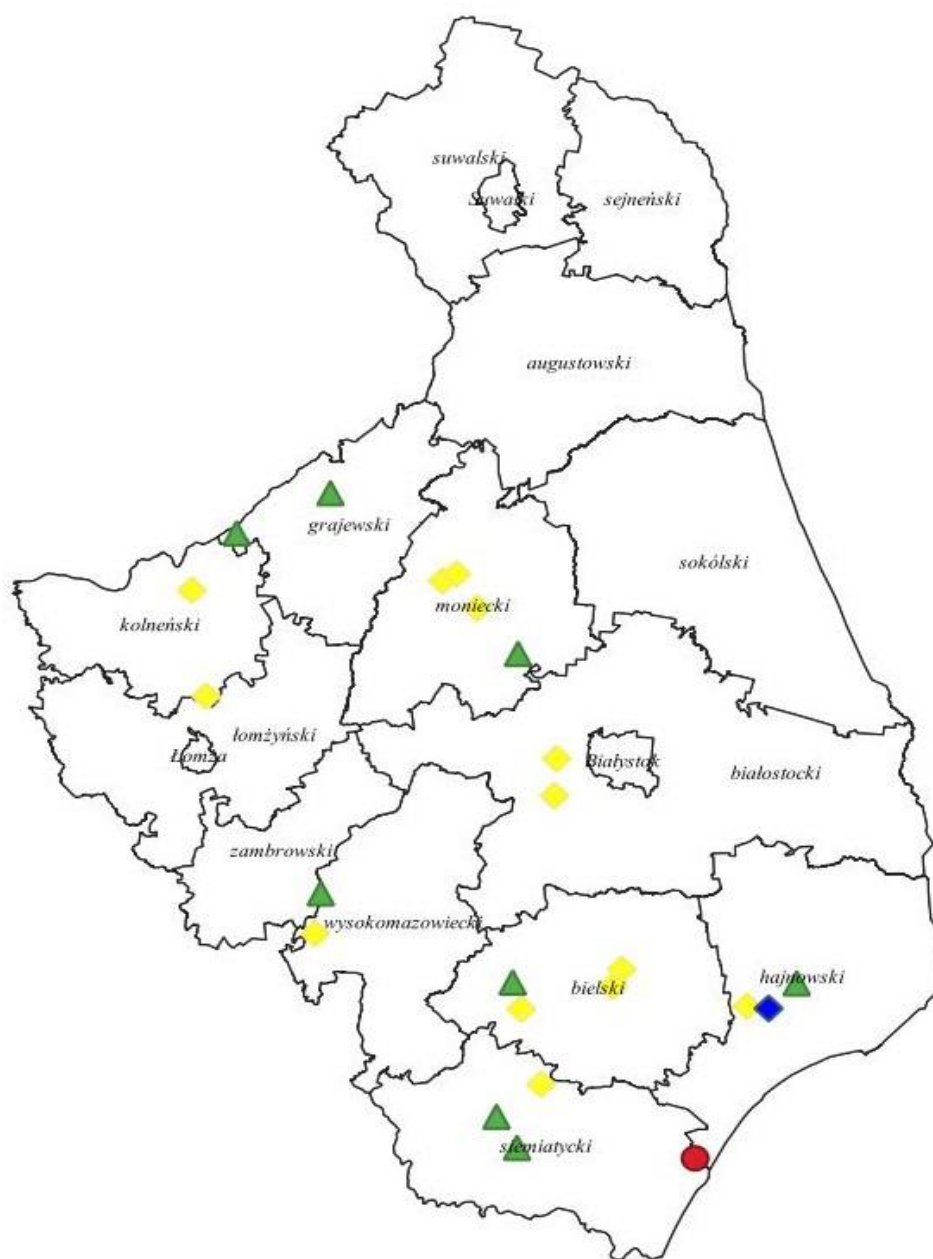






Legenda:	
▲	odporna na jodosulfuron metylosodowy
▲	odporna na piroksysulam
◆	odporna na jodosulfuron metylosodowy + piroksysulam
◆	odporna na jodosulfuron metylosodowy + fenoksaprop-P-etylu
●	odporna na jodosulfuron metylosodowy + piroksysulam + fenoksaprop-P-etylu
●	odporna na jodosulfuron metylosodowy + pinoksaden + fenoksaprop-P-etylu
●	odporna na jodosulfuron metylosodowy + piroksysulam + chlorotoluron
●	odporna na jodosulfuron metylosodowy + piroksysulam + pinoksaden

Mapa 2. Rozmieszczenie populacji *Apera spica-venti* odpornych na inhibitory ALS, ACCazy i PSII na terenie województwa lubelskiego

Analiza mapy 2 pozwala stwierdzić, iż największy problem z obniżoną wrażliwością *Apera spica-venti*, występuje w centralnej części województwa lubelskiego, gdzie mamy do czynienia z kompensacją populacji miotły zbożowej o odporności krzyżowej i wielokrotnej. Na południu i północy występują głównie populacje o odporności prostej na jodosulfuron metylosodowy.

Na mapie 3 przedstawiono lokalizację 24 odpornych populacji *Apera spica-venti* na terenie województwa podlaskiego, z czego dwie mają zbliżone koordynaty GPS i punkty nakładają się. W centralnej i południowej części Podlasia zidentyfikowano 24 przypadki odporności na jodosulfuron metylosodowy (HRAC 2). 15 z nich wykazywało również brak wrażliwości na piroksysulam (HRAC 2) – odporność krzyżowa. W południowej części województwa, tj. w powiatach siemiatyckim i hajnowskim zidentyfikowano dwie populacje niewrażliwe na fenoksaprop-P-etylu z grupy inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A (HRAC 1). Były one odporne wielokrotnie zarówno na inhibitory ALS, jak i ACCazy. Wśród populacji pobranych z pól województwa podlaskiego nie znaleziono okazów *Apera spica-venti* odpornych na herbicydy doglebowe, tj. chlorotoluron i pendimetalinę.



Legenda:	
	odporna na jodosulfuron metylosodowy
	odporna na jodosulfuron metylosodowy + piroksysulam
	odporna na jodosulfuron metylosodowy + fenoksaprop-P-etylu
	odporna na jodosulfuron metylosodowy + piroksysulam + fenoksaprop-P-etylu

Mapa 3. Rozmieszczenie populacji Apera spica-venti odpornych na inhibitory ALS i ACCazy na terenie województwa podlaskiego

6. Dyskusja

W ostatnich latach straty w plonach spowodowane przez chwasty z rodziny *Poaceae* stały się poważnym problemem na całym świecie, co zagraża światowemu bezpieczeństwu żywnościowemu [Matzrafi i in. 2014]. *Apera spica-venti* jest jednym z najgroźniejszych chwastów należących do tej rodziny botanicznej. Aktualnie można zauważyć gwałtowny wzrost liczebności miotły zbożowej, która jest gatunkiem ekspansywnym nie tylko w Polsce, ale również na terenie innych krajów. Występuje głównie w uprawach zbóż, zwłaszcza ozimych, znacznie rzadziej pojawia się w rzepaku ozimym, roślinach okopowych czy strączkowych [Soukup i in. 2006; Gerhards i Massa 2011; Marko i Jakska 2019]. Podobnie na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego badania potwierdziły, że oceniane populacje miotły zbożowej zachwasczały przede wszystkim zboża ozime, a spośród nich najczęściej występowały w pszenicy ozimej.

W ostatniej dekadzie pojawiło się wiele doniesień na temat odpornych populacji zarówno miotły zbożowej, jak i innych gatunków należących do rodziny *Poaceae* [Soukup i in. 2006; Matzrafi i in. 2014; Schulz i in. 2014; Babineau i in. 2017b]. Problem ten z roku na rok coraz bardziej się pogłębia. Rygorystyczne wymogi rejestracji herbicydów oraz przepisy dotyczące ochrony środowiska i troski o zdrowie człowieka spowodowały drastyczny spadek dopuszczonych do stosowania substancji aktywnych [Beckie i Tardif 2012]. W zamian za wycofane substancje tylko nieliczne są rejestrowane, a od 30 lat nie wprowadzono na rynek żadnego nowego mechanizmu działania [Duke 2012; Westwood i in. 2018; Moss i in. 2019]. W konsekwencji coraz mniej herbicydów dostępnych na rynku może być wykorzystywana do ochrony roślin przeciwko chwastom.

W Polsce, podobnie jak i w innych krajach, do zwalczania chwastów jednoliściennych najczęściej używane są substancje aktywne należące do inhibitorów ALS (HRAC 2) i inhibitorów ACCazy (HRAC 1) [Soukup i in. 2006; Adamczewski 2009; Beckie i in. 2019]. W badaniach własnych rolnicy również deklarowali, że do zwalczania miotły zbożowej stosowali głównie preparaty z tych dwóch grup. Odporność chwastów na herbicydy tworzy się w wyniku częstego stosowania na danym polu takich samych substancji aktywnych lub substancji należących do grup chemicznych o takim samym mechanizmie działania [Beckie i in. 2019]. Papapanagiotou i in. [2022] stwierdzili, że miotła zbożowa wykazuje mniejszą odporność na produkty później wprowadzone na rynek. Dodatkowo gatunek ten ze względu

na wysoki poziom zmienności genetycznej, dużą ilość wytwarzanych nasion rozprzestrzenianych przez wiatr, charakteryzujących się krótkim pierwotnym okresem spoczynku oraz dynamicznym kiełkowaniem, szybko uodparnia się na stosowane substancje aktywne, a populacje, które nabyły odporność – szybko rozprzestrzeniają się [Warwick i in. 1987; Soukup i in. 2006]. Przeprowadzone badania potwierdziły, że na polach, na których występowała *Apera spica-venti* odporna na jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam do zwalczania tego gatunku najczęściej stosowano substancje aktywne należące do inhibitorów ALS, natomiast tam, gdzie stwierdzono miotłę zbożową odporną na fenoksaprop-P-etylu najczęściej aplikowano inhibitory ACCazy. Podobnie Adamczewski i in. [2017] wykazali, że populacje miotły zbożowej odpornej na izoproturon, stwierdzono tam, gdzie występowały duże gospodarstwa i do zwalczania tego gatunku stosowane były herbicydy zawierające tę substancję aktywną. Marczevska i Rola [2006] stwierdziły odporność populacji *Apera spica-venti* na chlorosulfuron na polach z długotrwałą monokulturą pszenicy ozimej, w której stosowano tę substancję biologicznie czynną. W badaniach Massa i Gerhards [2011] historia pola również potwierdziła, że większość populacji zidentyfikowanych jako odporne pochodziła z miejsc, które były wielokrotnie narażone na działanie inhibitorów ALS, w niektórych przypadkach nawet dwa razy w roku. Do zwalczania chwastów najczęściej stosowano tam chlorosulfuron i sulfosulfuron, następnie mezosulfuron metylowy + jodosulfuron metylosodowy i flupyrsulfuron metylowy. Sporadycznie wprowadzano zabiegi izoproturonem i fenoksapropem-P-etylu, a nie aplikowano kletodymu. Podobnie badania ankietowe przeprowadzone przez Stankiewicz-Kosyl i in. [2021] udowodniły, że populacje *Cenaturea cyanus* odporne na tribenuron metylowy lub/i florasulam występowały na polach, na których do zwalczania tego gatunku najczęściej stosowano substancje aktywne z grupy HRAC 2. Wykazano, że populacje z odpornością krzyżową występowały w stanowiskach, w których inhibitory ALS aplikowane były najczęściej. Przytoczone powyżej wyniki badań wskazują, że poziomy odporności odzwierciedlają intensywność i częstotliwość stosowania herbicydów, potwierdzając w ten sposób stosowność diagnozowania odporności na herbicydy w przypadku populacji wielu gatunków chwastów.

Aplikowanie substancji aktywnych należących zarówno do inhibitorów ALS, jak i inhibitorów ACCazy stwarza wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia odporności u chwastów [Moss i in. 2019]. Adamczewski [2009] udowodnił, że po sześciu latach stosowania na polu tych samych herbicydów zostały wyselekcjonowane populacje odporne na sulfonylomoczniki. W największym stopniu zjawisko to uwidoczniło się na poletkach, na

których stosowano chlorosulfuron, w mniejszym stopniu po aplikacji sulfosulfuronu, a najmniejszym – jodosulfuronu metylosodowego. Populacje odporne stwierdzono również na poletkach nieopryskanych, co świadczy o tym, że odporność na inhibitory ALS jest przenoszona przez pyłek.

Częstość stosowania inhibitorów ALS połączona z wysokim ryzykiem powstawania odporności u chwastów na te substancje aktywne sprawiają, że w Polsce i na świecie stwierdzono najwięcej odpornych populacji *Apera spica-venti* właśnie na te herbicydy [Heap 2023]. W przeprowadzonych badaniach na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego aż 129 populacji wykazywała odporność na jodosulfuron metylosodowy i 72 na piroksysulam. W Polsce pierwszy przypadek odporności miotły zbożowej na inhibitory syntazy acetylomleczanowej (ALS) stwierdziły Rola i Marczevska [2002] w okolicach Wrocławia. Liczne populacje miotły zbożowej odpornej na inhibitory ALS występującej w innych rejonach Polski potwierdził prof. dr hab. Kazimierz Adamczewski wraz z zespołem [Adamczewski i in. 2019]. Spośród 498 prób nasion *Apera spica-venti* zebranych w latach 2004-2017 z terenu całej Polski, 52,4 % wykazywała odporność na substancje aktywne herbicydów. Najwięcej populacji było odpornych na inhibitory ALS. Zidentyfikowano 196 populacji odpornych na chlorosulfuron, 168 – na jodosulfuron metylosodowy + mezosulfuron metylowy, 159 – na sulfosulfuron, 104 – na propoksykarbazon sodowy oraz 101 – na piroksysulam. Odporne populacje miotły zbożowej występowały na terenie całej Polski, jednakże największą ich liczebność stwierdzono w województwach warmińsko-mazurskim, pomorskim i zachodnio-pomorskim. Populacje z tych województw odznaczały się również największym stopniem odporności na inhibitory ALS. Marczevska i Rola [2006] potwierdziły występowanie odpornych populacji miotły zbożowej na Dolnym Śląsku. Populacje *Apera spica-venti* odporne na inhibitory ALS zostały zidentyfikowane również w Austrii, Czechach, Niemczech, Francji, Szwecji, Danii, Łotwie, Belgii i na Litwie [Heap 2023]. W Czechach Hamouzova i in. [2010] stwierdzili, że wszystkie badane populacje wykazywały bardzo wysoki poziom odporności na chlorosulfuron, sulfosulfuron i jodosulfuron metylosodowy oraz potwierdzili odporność krzyżową na wszystkie trzy substancje aktywne. Występowanie licznych populacji miotły zbożowej odpornych na substancje aktywne o tym mechanizmie działania stwierdzono na terenie Niemiec [Krato i Petersen 2010; Gehring i in. 2016; 2020; Rissel i Ulber 2018; Warnecke-Busch i in. 2018]. W Bawarii Gehring i in. [2016; 2020] w pierwszym okresie badań przetestowali 162 populacje miotły zbożowej, natomiast w drugim – 192. Populacje

odporne na inhibitory ALS stanowiły odpowiednio aż 77,0 % i 64,1 % przebadanych prób. Na Litwie Auskalniene i in. [2020] spośród 159 przebadanych populacji u 43 % prób zidentyfikowali odporność na inhibitory ALS, spośród których 69 populacji wykazywała odporność na sulfosulfuron, 59 – na jodosulfuron metylosodowy, a 30 – na piroksysulam. W badaniach własnych populacje *Apera spica-venti* wykazywały duże różnice w reakcji na stosowane herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Maksymalna wartość ED_{50} dla jodosulfuronu metylosodowego wynosiła $1475,19 \text{ g ha}^{-1}$, a współczynnik odporności (RI) – 333,00, dla piroksysulamu najwyższe ED_{50} wynosiło $183,87 \text{ g ha}^{-1}$, a współczynnik RI był równy 43,02. Podobnie Babineau i in. [2017a] wykazali zróżnicowaną reakcję populacji miotły zbożowej występującej w Danii na jodosulfuron metylosodowy, ich współczynnik odporności (RI) kształtował się od 0,1 do 372.

Kolejną grupą substancji aktywnych, na którą wiele populacji miotły zbożowej wykazuje odporność są inhibitory karboksylazy acetylokoenzymu A. W Dolnej Saksonii pierwszy przypadek miotły zbożowej odpornej na pinoksaden stwierdzono w 2012 roku [Wolber 2014]. W Polsce pierwsze populacje odporne na inhibitory ACCazy opisali Adamczewski i Matysiak [2010]. Współczynnik odporności tych populacji dla fenoksapropu-P-etylu wynosił od 2,1 do 6,4, natomiast dla pinoksadenu – od 2,6 do 10,5. Inne populacje *Apera spica-venti* przebadane przez w/w autorów odznaczały się wyższymi wartościami współczynnika odporności kształtującymi się od 10,9 do 16,8 [Adamczewski i Matysiak 2012]. Massa i Gerhards [2011] przebadali 265 populacji *Apera spica-venti*, zebranych z pól uprawnych w Europie Środkowej i Wschodniej, gdzie herbicydy nie zapewniały zadowalającej kontroli. Wyniki wykazały, że tylko w 6 przypadkach, co stanowi 2 %, zaobserwowano odporność na fenoksaprop-P-etylu (inhibitory ACCazy). W ocenie przeprowadzonej przez Babineau i in. [2017a] współczynnik odporności dla fenoksapropu-P-etylu wynosił od 0,7 do 776. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono 19 populacji odpornych na fenoksaprop-P-etylu oraz dwie na pinoksaden. Współczynnik odporności (RI) populacji odpornych na fenoksaprop-P-etylu był niższy niż w badaniach Babineau i in. [2017a], kształtował się od 2,11 do 45,88. Spośród nich, aż 13 populacji wykazywało tylko zmniejszoną wrażliwość na tę substancję aktywną. Współczynnik odporności dwóch populacji odpornych na pinoksaden wynosił 2,67 i 2,90, co świadczy o zmniejszonej ich wrażliwości na ten herbicyd. Pozostałe badane populacje były wrażliwe na tę substancję aktywną. Na Litwie wysoką skuteczność pinoksadenu w zwalczaniu miotły zbożowej potwierdzili Auskalniene i in. [2020] wykazując, że prawie wszystkie badane populacje były

wrażliwe na tę substancję biologicznie czynną. W Belgii wrażliwość wielu populacji *Apera spica-venti* na inhibitory ACCazy wykazali Henriët i in. [2013] stwierdzając, że tylko nieliczne populacje tego gatunku odznaczają się odpornością na preparaty należące do tej grupy HRAC.

Badania własne wykazały, że nieliczne populacje miotły zbożowej odznaczają się odpornością na chlorotoluron (inhibitory PSII – HRAC 5) oraz pendimetalinę (inhibitory tworzenia mikrotubuli – HRAC 3). W literaturze przedmiotu doniesień na temat występowania populacji badanego gatunku, odpornych na wyżej wymienione grupy herbicydów jest znacznie mniej niż w przypadku odporności na inhibitory ALS i ACCazy. W Belgii Henriët i in. [2013] zauważyli problem w zwalczaniu miotły zbożowej izoproturonem (HRAC 5), co autorzy tłumaczą wieloletnim okresem jego stosowania w zwalczaniu chwastów. Populacje odporne na tę substancję aktywną stwierdzili również Niemann i Zwerger [2006]. Przy czym zgodnie z rozporządzeniem wykonawczym Komisji (UE) 2016/872 z dnia 1 czerwca 2016 r. do 30 września 2017 roku wszystkie herbicydy zawierające izoproturon powinny zostać zużyte [Rozp. Komisji UE 2016/872]. Po tym terminie substancja ta nie może być stosowana. W związku z tym obecnie nie ma niebezpieczeństwa powstawania nowych odporności na izoproturon. W Polsce pierwsze przypadki odporności na izoproturon zidentyfikowali Adamczewski i in. [2017]. W późniejszych badaniach Adamczewski i in. [2019] na 498 przebadanych populacji miotły zbożowej odporność na inhibitory PSII stwierdzili w 2,4 % populacji (12 prób wykazało odporność na izoproturon, z czego 7 również na inhibitory ALS). Odporność miotły zbożowej na chlorotoluron potwierdzili w Czechach Kosnarova i in. [2021]. Z kolei Auskalniene i in. [2020] nie stwierdzili występowania na terenie Litwy populacji odpornej na izoproturon, a Massa i Gerhards [2011] analizując 265 populacji występujących na terenie Czech, Polski i Niemiec nie zaobserwowali odporności *Apera spica-venti* na izoproturon i kletodym.

Rosnącym problemem w agrocenozach jest występowanie w wielu populacjach *Apera spica-venti* odporności krzyżowej i wielokrotnej. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono 71 populacji, które były odporne jednocześnie na jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam, a 20 populacji miotły zbożowej o odporności wielokrotnej na inhibitory ALS (HRAC 2) i inhibitory ACCazy (HRAC 1) oraz jednej o odporności wielokrotnej na inhibitory ALS (HRAC 2) i inhibitory PSII (HRAC 5). Hamouzova i in. [2010] potwierdzili odporność krzyżową wszystkich badanych populacji na chlorosulfuron, sulfosulfuron

i jodosulfuron metylosodowy. Występowanie odporności krzyżowej *Apera spica-venti* na herbicydy sulfonylomocznikowe i wielokrotnej na inhibitory ALS i ACCazy w przebadanych populacjach stwierdzili Adamczewski i Matysiak [2012]. W populacjach z odpornością wielokrotną zidentyfikowano mutację punktową genu w pozycji P197. Osobniki wykazywały odporność na trzy badane substancje aktywne: fenoksaprop-P-etylu, chlorosulfuron i sulfometuron. W badaniach Auskalniene i in. [2020] na Litwie wszystkie oceniane populacje miotły zbożowej odporne na piroksysulam były również niewrażliwe na jodosulfuron metylosodowy i sulfosulfuron. Odporność wielokrotną *Apera spica-venti* na inhibitory ALS i ACCazy potwierdzili również Adamczewski i Kierzek [2011b], Mathiassen i in. [2013], Papanagiotou i in. [2022], natomiast odporność na inhibitory ALS i PSII Adamczewski i in. [2019].

Ze względu na rozprzestrzenianie się odpornych populacji miotły zbożowej oraz pojawianie się nowych – niewrażliwych na stosowane substancje aktywne, zwalczanie tego gatunku w uprawach rolniczych będzie z roku na rok coraz trudniejsze. Wielu autorów wskazuje, że w zwalczaniu odpornych populacji *Apera spica-venti* najlepiej stosować mieszaniny substancji aktywnych. Wyniki badań Petersena [2018] sugerują, że do zwalczania odpornych na inhibitory ALS populacji miotły zbożowej mogą być użyteczne połączenia pinoksadenu z florasulamem i piroksysulamem. Jednakże stosowanie inhibitorów ALS i ACCazy oprócz polimorfizmu pojedynczego nukleotydu w obrębie dwóch genów docelowych powodującego odporność, może wywoływać także NTSR w przypadku obu mechanizmów działania. W rezultacie w dłuższej perspektywie mieszanina inhibitorów ALS i ACCazy niesie ze sobą ryzyko selekcji wielu odpornych populacji, nawet jeśli krótkoterminowa skuteczność może zostać zwiększona przez stosowanie tej mieszaniny substancji aktywnych.

Zdaniem Auskalniene i in. [2020] rosnąca liczebność odpornych na inhibitory ALS populacji *Apera spica-venti* znacznie ogranicza wybór herbicydów dostępnych do zwalczania chwastów wiosną, dlatego też jesienne stosowanie herbicydów w zbożach ozimych może w przyszłości stać się niezwykle ważne, szczególnie na polach, na których występuje duża liczebność tego gatunku. Alternatywą dla inhibitorów ALS w zwalczaniu chwastów mogą być środki chemiczne z grupy inhibitorów syntezy kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach (HRAC 15) [Beckie i Tardif 2012]. Własne badania ankietowe wykazały, że rolnicy na polach, na których zidentyfikowano populacje odporne na inhibitory ALS i ACCazy do zwalczania miotły zbożowej wykorzystywali również substancje aktywne

z grupy HRAC 15. Ich częstotliwość stosowania (PT) wynosiła od 0,43 do 0,50. Spośród nich najczęściej aplikowano metazachlor (PT=0,31-0,43), natomiast znacznie rzadziej rolnicy stosowali na polach flufenacet (PT=0,07-0,12). Badania Petersena i Raffena [2020] przeprowadzone na 1137 populacjach *Alopecurus myosuroides* i 737 populacjach *Apera spica-venti* wykazały bardzo dynamiczny rozwój odporności gatunków na herbicydy powschodowe, co może spowodować brak efektywności w zwalczaniu chwastów tymi preparatami. Rolnicy z województwa lubelskiego i podlaskiego, którzy wypełnili ankietę deklarowali, że miotłę zbożową zwalczają głównie zabiegami nalistnymi, preparaty doglebowe stosują znacznie rzadziej. Z uwagi na występowanie na tych polach odpornych populacji miotły zbożowej, może to wpływać na niesatysfakcjonującą skuteczność zabiegów herbicydowych.

Stopień odporności miotły zbożowej na inhibitory ALS w dużej mierze zależy od mechanizmu odporności. Populacje charakteryzujące się odpornością w miejscu działania (target-site resistance) mają wysoki stopień odporności, natomiast populacje o mniejszym stopniu odporności często charakteryzuje odporność nie związana z miejscem działania (non target-site resistance) [Adamczewski i Matysiak 2012; Krysiak i in. 2011a; Massa i in. 2011; Adamczewski i in. 2017]. Również skuteczność herbicydów względem odpornych populacji *Apera spica-venti* uzależniona jest od rodzaju odporności. Informacje dostępne w literaturze przedmiotu wskazują, że trudniejsze do zwalczania przy użyciu różnych herbicydów są populacje z odpornością NTSR [Beckie i Tardif 2012; Delye i in. 2011; Stankiewicz-Kosyl i in. 2017]. Wiedza na temat rodzaju odporności występującej w osobnikach danej populacji może być pomocna w opracowaniu strategii jej zwalczania [Stankiewicz-Kosyl i in. 2017]. Jednakże należy mieć na uwadze, że często rośliny w obrębie danej populacji cechują się dużą zmiennością [Stankiewicz-Kosyl i in. 2017; Stankiewicz-Kosyl i Haliniarz 2023]. Potwierdzeniem tego jest również przeprowadzona analiza molekularna. W jednej populacji spośród sześciu przebadanych nie wykazano mutacji w genie *als* u wszystkich analizowanych osobników, co wskazuje na odporność poza miejscem działania (NTSR) jako jedyny mechanizm odporności na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Populacje miotły zbożowej z odpornością na jodosulfuron metylosodowy bez żadnej mutacji w genie *als* wykazali również Krysiak [2010] i Babineau i in. [2017a]. W pięciu badanych populacjach zidentyfikowano mutacje niesynonimiczne w kodonie P197, co pozwala na stwierdzenie, że w tych populacjach odporność na inhibitory ALS przynajmniej części osobników jest spowodowana odpornością w miejscu działania. Nie można jednak

wykluczyć w nich współlistnienia mechanizmu odporności poza miejscem działania, ponieważ w populacjach 8522, 10482, 10408 i 10501 mutację zidentyfikowano tylko u jednego na trzy przeanalizowane osobniki, a DNA było izolowane z roślin, które przeżyły traktowanie dawką 4 N jodosulfuronu metylosodowego. Współlistnienie TSR i NTSR w jednej populacji, a nawet w jednej roślinie było już opisywane w literaturze zarówno w przypadku roślin jednoliściennych, takich jak miotła zbożowa [Krysiak i in. 2011a; Jursík i in. 2011], życica sztywna [Yu i in. 2014; Han i in. 2016; Chen i in. 2019; Torra i in. 2021], wyczyńiec polny [Delye i in. 2011], jak i dwuliściennych, takich jak mak polny [Rey-Caballero i in. 2017a; Stankiewicz-Kosyl i in. 2023].

W celu przeciwdziałania rozprzestrzenianiu się odpornych populacji *Apera spica-venti* ważne jest wprowadzenie zintegrowanych praktyk ochrony roślin przed chwastami. Przede wszystkim należy wprowadzić płodozmianowy system uprawy, co z kolei przyczyni się do konieczności stosowania substancji aktywnych o różnym mechanizmie działania [Beckie i Harker 2017]. W Grecji po wielu latach uprawy pszenicy w monokulturze, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się odpornych populacji miotły zbożowej, coraz powszechniej praktykuje się płodozmian z wprowadzeniem do uprawy ozimych roślin strączkowych [Papapanagiotou i in. 2022]. W innych krajach również zaleca się zmniejszanie w strukturze zasiewów udziału zbóż, zwłaszcza ozimych i wprowadzanie do uprawy innych grup roślin, np. roślin bobowatych [Gerhards i Massa 2011; Beckie i in. 2019]. Według Gehring i in. [2012] skutecznym sposobem na ograniczenie powstawania i rozprzestrzeniania odporności na herbicydy jest zróżnicowany płodozmian z udziałem zbóż do 50 %. W Polsce na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego w gospodarstwach, w których stwierdzono występowanie odpornych populacji miotły zbożowej w strukturze zasiewów dominują zboża ozime (67 %), a rośliny strączkowe stanowią zaledwie 1 %. Wskazuje to na konieczność podjęcia działań w kierunku zmiany tych proporcji i zwiększenia powierzchni zasiewu roślin bobowatych. Przeprowadzone badania potwierdzają również, że struktura upraw ma duże znaczenie w rozprzestrzenianiu się populacji odpornych. W województwie lubelskim, gdzie grunty orne pod zasiewami stanowią aż 78 % powierzchni województwa, a w strukturze dominują rośliny zbożowe, zidentyfikowano aż 106 odpornych populacji *Apera spica-venti*, natomiast w województwie podlaskim, gdzie znaczącą powierzchnię zajmują łąki i pastwiska (łącznie 38%), stwierdzono tylko 24 populacje odporne tego gatunku. W literaturze przedmiotu podkreśla się, że ważnym elementem ograniczającym powstawanie i rozprzestrzenianie populacji odpornych na herbicydy jest: regularne

stosowanie uprawy płużnej, mechaniczna uprawa ścierniska zaraz po zbiorze rośliny przedplonowej czy wczesne zastosowanie brony chwastownik w sprzyjających warunkach glebowych. Doniesienia publikacyjne wskazują, że stosowanie uprawy bezorkowej zwiększa tempo powstawania odporności u chwastów i występuje większe prawdopodobieństwo, że w takich warunkach pojawią się odporne populacje chwastów [Gehring i in. 2012]. Natomiast Schulz i in. [2014] po przeprowadzeniu dwuletniego monitorowania agrocenoz w północno-wschodnich Niemczech stwierdzili, że odporne populacje *Apera spica-venti* występowały na polach, gdzie dominował mieszany system uprawy roli, czyli przemiennie stosowana uprawa płużna i bezorkowa. W przeprowadzonych badaniach własnych większość odpornych populacji miotły zbożowej występowało na polach, na których stosowano tradycyjną uprawę roli, tylko 7 % populacji odpornych pochodziło z pól uprawianych systemem bezorkowym. W głównej mierze wynika to z tego, że w Polsce, podobnie jak w wielu krajach Europy, płużna uprawa jest w dalszym ciągu dominującym systemem uprawy roli [Zegar 2014]. W działaniach zapobiegających powstawaniu populacji odpornych należy również pamiętać o unikaniu regularnego stosowania herbicydów z grupy inhibitorów ALS, ACCazy i PSII oraz zastąpieniu ich herbicydami z innych grup – mniej zagrożonych wystąpieniem odporności. Środki chwastobójcze doglebowe i powschodowe rolnicy powinni aplikować przemiennie, tak aby maksymalnie wydłużyć odstęp czasowy pomiędzy substancjami o takim samym mechanizmie działania. Herbicydy powinny być aplikowane w optymalnych warunkach pogodowych (temperatura, wiatr), w odpowiedniej fazie rozwojowej chwastów oraz optymalnej dawce, ponieważ dzięki temu będzie można osiągnąć maksymalną skuteczność chwastobójczą preparatów. Nie należy również zapominać o dostosowaniu do warunków pogodowych i stanu agrofitycenozy odpowiedniej techniki aplikacji środka, poprzez dobór odpowiedniej ilości i jakości wody, dobór dysz itp. [Gerhards i Massa 2011; Gehring i in. 2012; Massa i in. 2013; Beckie i Harker 2017; Beckie i in. 2019]. Czasami populacje odporne wcześniej kielkują, kwitną i dojrzewają. Wymienione cechy roślin można wykorzystać, opóźniając termin siewu zbóż ozimych, czy modyfikując czas stosowania herbicydów lub innych zabiegów zwalczania chwastów, aby zmniejszyć presję populacji odpornych [Gehring i in. 2012; Babineau i in. 2017b]. Schulz i in. [2014] wykazali, że odporna na herbicydy *Apera spica-venti* występowała głównie w pszenicy ozimej wysiewanej w optymalnym dla danego regionu terminie. Populacje miotły zbożowej odporne na inhibitory ALS należy zwalczać substancjami aktywnymi o innym mechanizmie działania lub/i mieszaninami preparatów [Gehring i in. 2012]. Przy tym należy mieć na

uwadze, że w tej samej populacji miotły zbożowej osobniki mogą różnie reagować na zastosowane herbicydy ze względu na różny mechanizm odporności na inhibitory ALS (TSR lub NTSR) [Stankiewicz-Kosyl i in. 2017]. Adamczewski i in. [2009a] wysoką skuteczność zwalczania miotły zbożowej odpornej na inhibitory ALS uzyskali stosując pinoksaden i prosulfokarb, natomiast chlorotoluron odznaczał się mniejszą efektywnością chwastobójczą. Natomiast Krysiak [2014] zaleca jesienne odchwaszczanie zbóż preparatami zawierającymi diflufenikan, flufenacet czy metrybuzynę, które jak stwierdza przełamują odporność miotły zbożowej na herbicydy sulfonilomocznikowe. Według Stankiewicz-Kosyl i in. [2017] włączenie flufenacetu, metazachloru i prosulfokarbu do odchwaszczania upraw może być skuteczne w eliminacji populacji miotły zbożowej odpornej na inhibitory ALS. Na polach, na których często wysiewane są zboża nie zaleca się aplikowania zmniejszonych dawek herbicydów [Beckie 2006; Manalil i in. 2011; Norsworthy i in. 2012]. Małe dawki preparatów wywołują stres u chwastów i zwiększają prawdopodobieństwo wyselekcjonowania osobników o zmniejszonej wrażliwości. Krzyżowanie się osobników o obniżonej wrażliwości na herbicyd może prowadzić do kumulacji genów odporności, a w konsekwencji wyselekcjonowania populacji z odpornością poza miejscem działania [Delye 2013]. Szybkość pojawienia się odporności na herbicydy zależy od gatunku rośliny i rodzaju substancji biologicznie czynnej, a szczególnie narażone na nią są chwasty obcopolne, takie jak *Apera spica-venti* [Manalil i in. 2011; Adamczewski 2014]. Badania przeprowadzone w IOR-PIB wykazały, że u miotły zbożowej aplikowanie zmniejszonych dawek substancji aktywnych z grupy inhibitorów ALS przyspieszyło wystąpienie odporności. Nie stwierdzono takiego wpływu, stosując izoproturon, chlorotoluron i inhibitory fotosytemu II (HRAC 5) [Adamczewski 2009; 2014].

Odporność *Apera spica-venti* i innych gatunków chwastów na herbicydy stanowi rosnący problem, który w nadchodzących latach będzie zyskiwał na znaczeniu [Schulz i in. 2014]. Stwierdzono, że większość populacji miotły zbożowej podejrzanych o odporność, jest rzeczywiście odporna na inhibitory ALS, a około 2 % populacji wykazuje odporność również na fenoksaprop-P-etylu. Może to wskazywać na początek zmian w kierunku powszechnego występowania mechanizmów wielooporności (tj. odporności na herbicydy o różnych mechanizmach działania), co w najbliższej przyszłości może stać się głównym wyzwaniem dla naukowców i rolników.

Nie zawsze jednak zauważona przez rolników mniejsza wrażliwość chwastu na stosowane herbicydy związana jest z odpornością na te preparaty. W badaniach własnych

z ocenianych 133 prób miotły zbożowej, aż 98 % populacji wykazało odporność na przynajmniej jedną z analizowanych substancji aktywnych. Na podstawie monitoringu przeprowadzonego w Niemczech, Czechach i Polsce Massa i Gerhards [2011] wykazali, że tylko 33 % z 265 badanych populacji polowych było wrażliwych na wszystkie testowane herbicydy. Odmiennie proporcje populacji odpornych i wrażliwych uzyskali inni badacze. W północnych i wschodnich Niemczech Schulz i in. [2014] zbadali 38 populacji *Apera spica-venti*, których zwalczanie było dla rolników problemem, a odporność stwierdzili w 39 %. W Czechach Novakova i in. [2006] na polach, na których w przeszłości stosowano herbicydy sulfonilomocznikowe zidentyfikowali tylko 18 % populacji odpornych na chlorosulfuron. Zbliżone zależności wykazali Niemann i Zwerger [2006] w odniesieniu do izoproturonu, pomimo małej efektywności herbicydów, tylko 23 % populacji było odpornych na tę substancję aktywną. Przytoczone badania wskazują, że za nieodpowiednie działanie herbicydu może odpowiadać wiele czynników. Bez przeprowadzenia badań trudno jest rozróżnić słabą skuteczność herbicydów wynikającą z wpływów środowiska z rozwiniętą odpornością na herbicydy.

7. Stwierdzenia i wnioski

1. W województwie lubelskim i podlaskim populacje *Apera spica-venti* odporne na herbicydy występowały głównie w agrocenozach, gdzie w strukturze zasiewu dominowała pszenica ozima uprawiana w systemie orkowym. Na polach, na których występowały populacje miotły zbożowej odporne na jodosulfuron metylosodowy i piroksysulam rolnicy do zwalczania tego gatunku najczęściej stosowali substancje aktywne należące do inhibitorów syntazy acetylomleczanowej (HRAC 2), a ich częstotliwość stosowania (PT) wynosiła od 1,38 do 1,68. Z kolei tam, gdzie występowały populacje odporne na fenoksaprop-P-etylu – substancje aktywne należące do inhibitorów karboksylazy acetylokoenzymu A (HRAC 1; PT=1,43).
2. Na podstawie przeprowadzonych testów biologicznych, spośród 133 populacji *Apera spica-venti* (108 z województwa lubelskiego i 25 z województwa podlaskiego) potencjalnie odpornych na herbicydy, zidentyfikowano 129 populacji odpornych na jodosulfuron metylosodowy (HRAC 2), 72 – na piroksysulam (HRAC 2), 19 – na fenoksaprop-P-etylu (HRAC 1), 2 – na pinoksaden (HRAC 1) oraz 1 – na chlorotoluron (HRAC 5).
3. Populacje *Apera spica-venti* odporne na inhibitory ALS (HRAC 2) odznaczały się zróżnicowanym stopniem wrażliwości, a ich dawka efektywna (ED_{50}) wynosiła dla jodosulfuronu metylosodowego od 10,97 do 1475,19 g ha⁻¹, natomiast dla piroksysulamu od 9,05 do 183,67 g ha⁻¹. Większość analizowanych populacji odpornych na jodosulfuron metylosodowy wykazywała średni (RR) lub wysoki (RRR) stopień odporności. Bardzo wysoki (RRRR) poziom odporności ($RI > 100$) potwierdzono dla trzech populacji z województwa lubelskiego. W grupie miotły zbożowej odpornej na piroksysulam przeważały populacje o wysokim stopniu odporności (RRR) oraz o zmniejszonej wrażliwości (r) na tę substancję aktywną.
4. Dawka efektywna (ED_{50}) fenoksaprop-P-etylu (HRAC 1) dla populacji miotły zbożowej odpornych na tę substancję aktywną wynosiła od 83,20 do 1838,78 g ha⁻¹. Spośród 19 populacji odpornych na fenoksaprop-P-etylu, 13 wykazywało zmniejszoną wrażliwość (r) na tę substancję aktywną, a trzy wysoki stopień odporności (RRR). Populacje *Apera spica-venti* odporne na pinoksaden (HRAC 1) charakteryzowały się zmniejszoną wrażliwością (r) na tę substancję aktywną, a ich ED_{50} wynosiło od 46,92 do 50,99 g ha⁻¹.

5. Na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego tylko jedna populacja charakteryzowała się odpornością na średnim poziomie (RR, ED₅₀=2129,59 g ha⁻¹) na chlorotoluron (HRAC 5). Nie stwierdzono występowania populacji *Apera spica-venti* o obniżonej wrażliwości lub odporności na pendimetalinę (HRAC 3).
6. Na podstawie przeprowadzonych badań potwierdzono występowanie 20 populacji miotły zbożowej o odporności wielokrotnej na inhibitory ALS (HRAC 2) i inhibitory ACCazy (HRAC 1) oraz jednej populacji o odporności wielokrotnej na inhibitory ALS (HRAC 2) i inhibitory PSII (HRAC 5).
7. Analiza molekularna sześciu badanych populacji *Apera spica-venti* odpornych na jodosulfuron metylosodowy wykazała w pięciu występowanie odporności w miejscu działania (TSR). Z kolei w szóstej populacji brak mutacji w genie *als* u wszystkich analizowanych osobników wskazuje na odporność poza miejscem działania (NTSR) jako jedyny mechanizm odporności na herbicydy z grupy inhibitorów ALS.

8. Piśmiennictwo

1. Adamczewski K. 2009. Wpływ sześcioletniego stosowania herbicydów na uodpornienie się miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) na preparaty sulfonilomocznikowe. *Fragmenta Agronomica*, 26 (2): 7-15.
2. Adamczewski K. 2014. Odporność chwastów na herbicydy. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, ss. 277.
3. Adamczewski K., Dobrzański A. 2012. Fitnes chwastów w badaniach odporności na herbicydy. *Progress in Plant Protection*, 52 (3): 549-555.
4. Adamczewski K., Kierzek R. 2007. Występowanie biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti* L.) odpornej na herbicydy sulfonilomocznikowe. *Progress in Plant Protection*, 47 (3): 333-340.
5. Adamczewski K., Kierzek R. 2010. Chaber bławatek (*Centaurea cyanus* L.) odporny na inhibitory ALS (herbicydy sulfonilomocznikowe). *Progress in Plant Protection*, 50 (1): 285-290.
6. Adamczewski K., Kierzek R. 2011a. Mechanizm odporności chabra bławatka (*Centaurea cyanus* L.) na herbicydy sulfonilomocznikowe. *Progress in Plant Protection*, 51 (1): 317-324.
7. Adamczewski K., Kierzek R. 2011b. Problem odporności chwastów na herbicydy w Polsce. *Progress in Plant Protection*, 51 (4): 1666-1674.
8. Adamczewski K., Kierzek R., Matysiak K. 2014. Biotypes of scentless chamomile *Matricaria maritima* (L.) ssp. *inodora* (L.) Dostal and common poppy *Papaver rhoeas* (L.) resistant to tribenuron methyl, in Poland. *Journal of Plant Protection Research*, 54 (4): 401-406.
9. Adamczewski K., Kierzek R., Matysiak K. 2016. Multiple resistance to acetolactate synthase (ALS)- and acetyl-coenzyme A carboxylase (ACCCase)-inhibiting herbicides in black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) populations from Poland. *Journal of Plant Protection Research*, 56 (4): 402-410.
10. Adamczewski K., Kierzek R., Urban M., Pietryga J. 2009a. Ocena działania pinoksadenu i prosulfokarbu w zwalczaniu miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) odpornej na herbicydy sulfonilomocznikowe. *Progress in Plant Protection*, 49 (1): 307-311.
11. Adamczewski K., Matysiak K. 2007. Zmienność biologiczna *Apera* species i jej wrażliwość na herbicydy. *Progress in Plant Protection*, 47 (3): 341-349.

12. Adamczewski K., Matysiak K. 2009. Niektóre aspekty biologii *Apera spica-venti* (L.) P.B. Pamiętnik Puławski, 150: 7-17.
13. Adamczewski K., Matysiak K. 2010. Odporne biotypy miotły zbożowej (*Apera spica-venti* L.) na inhibitory karboksylazy acetyloCoA (ACCCase). Progress in Plant Protection, 50 (1): 291-296.
14. Adamczewski K., Matysiak K. 2012. The mechanism of resistance to ALS-inhibiting herbicides in biotypes of wind bent grass (*Apera spica-venti* L.) with cross and multiple resistance. Polish Journal of Agronomy, 10: 3-8.
15. Adamczewski K., Matysiak K., Kierzek R. 2009b. Szybki test do oceny odporności wyczyńca polnego (*Alopecurus myosuroides* L.) na herbicydy. Progress in Plant Protection, 49 (1): 313-320.
16. Adamczewski K., Matysiak K., Kierzek R. 2017. Występowanie biotypów miotły zbożowej (*Apera spica-venti* L.) odpornej na izoproturon. Fragmenta Agronomica, 34 (3): 7-13.
17. Adamczewski K., Matysiak K., Kierzek R., Kaczmarek S. 2019. Significant increase of weed resistance to herbicides in Poland. Journal of Plant Protection Research, 59 (2): 139-150.
18. Adamiak E., Adamiak J., Stępień A., Balicki T. 2003. Wpływ następstwa roślin i poziomu ochrony na zachwaszczenie odmian pszenicy ozimej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 490: 15-22.
19. Auskalniene O., Zadorozhnyi V. 2020. *Apera spica-venti* (L.) P.B. resistance to herbicides in Lithuania and Ukraine. Quarantine and Plant Protection, 2-3: 50-52.
20. Auskalniene O., Kadziene G., Stafanovicene R., Jomantaite B. 2020. Development of herbicides resistance in *Apera spica-venti* in Lithuania. Zemdirbyste-Agriculture, 107 (2): 99-104.
21. Babineau M., Mathiassen S.K., Kristensen M., Holst N., Beffa R., Kudsk P. 2017a. Spatial distribution of acetolactate synthase resistance mechanisms in Neighboring populations of silky windgrass (*Apera spica-venti*). Weed Science, 65 (4): 479-490.
22. Babineau M., Mathiassen S.K., Kristensen M., Kudsk P. 2017b. Fitness of ALS-Inhibitors herbicide resistant population of loose silky bentgrass (*Apera spica-venti*). Frontiers in Plant Science, 8: 1660.
23. Balgheim N., Wagner J., Gerhards R. 2007. ALS-inhibitor resistant *Apera spica-venti* (L.) Beauv. due to target-site mutation. Proceedings 14th European Weed Research Society Symposium, 147, Norway, Hamar.

24. Bayer CropScience. 2019. How a Zero Tolerance Approach can Mimimize Weed Resistance. Online: <https://www.cropscience.bayer.us/learning-center/articles/how-a-zero-tolerance-approach-canminimize-weed-resistance> (dostęp 01.05.2019).
25. Beckie H.J. 2006. Herbicide-Resistant Weeds: Management Tactics and Practices. *Weed Technology*, 20 (3): 793-814.
26. Beckie H.J., Tardif F.J. 2012. Herbicide cross resistance in weeds. *Crop Protection*, 35: 15-28.
27. Beckie H.J., Harker K.N. 2017. Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. *Pest Management Science*, 73 (6): 1045-1052.
28. Beckie H.J., Ashworth M.B., Flower K.C. 2019. Herbicide resistance management: Recent developments and trends. *Plants*, 8 (6): 161.
29. Bitarafan Z., Andreasen C. 2020. Seed production and retention at maturity of blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) and silky windgrass (*Apera spica venti*) at wheat harvest. *Weed Science*, 68 (2): 151-156.
30. Bleharczyk A., Małecka I., Piechota T. 2003. Wpływ płodozmianu, monokultury i nawożenia na zachwaszczenie żyta ozimego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 490: 23-29.
31. Błażewicz-Woźniak M., Kęsik T., Konopiński M. 2013. Uprawa roli i roślin z elementami herbologii. Wyd. UP, Lublin, ss. 303.
32. Boutsalis P., Gill G.S., Preston C. 2012. Incidence of herbicide resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) across southeastern Australia. *Weed Technology*, 26: 391-398.
33. Brzozowska I., Brzozowski J. 2001. Chwasty. Biologia, ekologia, regulacja zachwaszczenia. Wyd. WSA, Łomża, ss. 120.
34. Chen J., Chu Z., Han H., Goggin D.E., Yu Q., Sayer C., Powles S.B. 2019. A Val-202-Phe α -tubulin mutation and enhanced metabolism confer dinitroaniline resistance in a single *Lolium rigidum* population. *Pest Management Science*, 76 (2): 645-652.
35. Cici S.Z.H., Acker R.C. 2009. A review of the recruitment biology of winter annual weeds in Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 89: 575-589.
36. Cirujeda A., Recasens J., Taberner A. 2003. Effect of Ploughing and Harrowing on a Herbicide Resistant Corn Poppy (*Papaver rhoeas*) Population. *Biological Agriculture & Horticulture*, 21 (3): 231-246.

37. Cocker K.M., Moss S.R., Colemon J.O.D. 1999. Multiple mechanism of resistance fenoxaprop-P-ethyl in United Kingdom and other European populations of herbicide-resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 65: 169-180.
38. Czubiński T., Paradowski A. 2018. Atlas chwastów dla praktyków. Wyd. PWR, Poznań, ss. 288.
39. Delabays N., Mermillord G., Bohren C. 2006. First case of resistance to sulfonylurea herbicides reported in Switzerland: a biotype of loose silky-bent (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.). *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XX*: 89-94.
40. Delye C. 2013. Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Management Science*, 69 (2): 176-187.
41. Delye C., Michel S., Berard A., Chauvel B., Brunel D., Guillemin J.P, Dessaint F., Le Corre V. 2010. Geographical variation in resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase-inhibiting herbicides across the range of the arable weed *Alopecurus myosuroides* (black-grass). *New Phytologist*, 186: 1005-1017.
42. Delye C., Gardin J., Boucansaud K., Chauvel B., Petit C. 2011. Non-target-site-based resistance should be the centre of attention for herbicide resistance research: *Alopecurus myosuroides* as an illustration. *Weed Research*, 51 (5): 433-437.
43. Demianowiczowa Z. 1949. Chwasty. Wyd. PZWS, Warszawa, ss. 45.
44. Deveikyte I., Auskalnis A., Seibutis V. 2007. Stosowanie mieszanek herbicydowych w buraku cukrowym i jęczmieniu jarym jako element zapobiegający powstawaniu odporności chwastów na Litwie. *Progress in Plant Protection*, 47 (3): 350-357.
45. Diercks R. 1957. Der windhalm ind seine bekämpfung, amtlicher pflanzenschutzdienst. *Markblatt*, 20, Munchen.
46. Domańska H. 1980. Chwasty i ich zwalczanie. Wyd. PWRiL, Warszawa, ss. 313.
47. Domaradzki K. 2006. Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczania dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych. *Monografie i rozprawy naukowe IUNG-PIB Puławy*, 17, ss. 111.
48. Doyle J.J., Doyle J.L. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemistry*, 19: 11-15.
49. Duer I. 1996. Zachwaszczenie i sposoby jego ograniczania w rolnictwie integrowanym. *Materiały szkoleniowe IUNG Puławy*, 46/96, ss. 36.

50. Duke S.O. 2012. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? *Pest Management Science*, 68 (4): 505-512.
51. Fernandez-Cornejo J., Hallahan C., Nehring R., Wechsler S. 2012. Conservation tillage, herbicide use, and genetically engineered crops in the United States: The case of soybeans. *AgBioForum*, 15 (3): 231-241.
52. Fernandez-Moreno P.T., Bastida F., de Prado R. 2017. Evidence, Mechanism and Alternative Chemical Seedbank-Level Control of Glyphosate Resistance of a Rigid Ryegrass (*Lolium rigidum*) Biotype from Southern Spain. *Frontiers in Plant Science*, 8: 450.
53. Ganie Z.A., Jhala A.J. 2017. Interaction of 2,4-D or dicamba with glufosinate for control of glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida* L.) in glufosinate-resistant maize (*Zea mays* L.). *Frontiers in Plant Science*, 8: 1207.
54. Gehring K., Balgheim R., Meinlschmidt E., Schleich-Saidfar C. 2012. Principles of resistance management for the control of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in the view of the official plant protection service. *Julius-Kühn-Archiv*, 434: 89-101.
55. Gehring K., Thyssen S., Festner T. 2016. Development of herbicide resistance in loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) in Bavaria. *Julius-Kühn-Archiv*, 452: 418-423
56. Gehring K., Thyssen S., Festner T. 2020. Development of herbicide resistance in loose silky-bent grass (*Apera spica-venti*) in Bavaria. *Julius-Kühn-Archiv*, 464: 395-399
57. Gemelli A., Oliveira Junior R.S., Constantin J., Braz G.B.P., Campos Jumes T.M., Gheno E.A., Rios F.A., Franchini L.H.M. 2013. Strategies to control of sourgrass (*Digitaria insularis*) glyphosate resistant in the out-of-season corn crop. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 12 (2): 162-170.
58. Gerhards R., Massa D. 2011. Two-year investigations on herbicide-resistant silky bent grass (*Apera spica-venti* L. Beauv.) populations in winter wheat - population dynamics, yield losses, control efficacy and introgression into sensitive population. *Gesunde Pflanzen*, 63 (2): 75-82.
59. Gierasimiuk P., Kwiecińska-Poppe E., Bojarczyk M., Andruszczak S., Pałys E., Wesołowski M., Różyło K., Kraska P. 2017. Zmienność morfologiczna nasion wybranych gatunków flory segetalnej Polski. *Wyd. UP w Lublinie*, ss. 90.
60. Gill G.S., Holmes J.E. 1997. Efficacy of cultural control methods for combating herbicide-resistant *Lolium rigidum*. *Pesticide Science*, 51 (3): 352-358.
61. Gut D. 1998. First weed resistant to glyphosate. *Obst- und Weinbau*, 134 (8): 223-224.

62. Hamouzova K., Soukup J., Jursik M., Hamouz P., Venclova V., Tumova P. 2010. Cross-resistance to three frequently used sulfonylurea herbicides in populations of *Apera spica-venti* from the Czech Republic. *Weed Research*, 51 (2): 113-122.
63. Han H., Yu Q., Owen M. J., Cawthray G.R., Powles S.B. 2016. Widespread occurrence of both metabolic and target-site herbicide resistance mechanisms in *Lolium rigidum* populations. *Pest Management Science*, 72 (2): 255-263.
64. Harasim E., Staniak M., Feledyn-Szewczyk B., Berbec A., Stalenga J. 2017. Wpływ różnych praktyk rolniczych na różnorodność flory na gruntach ornych. Monografie i rozprawy naukowe IUNG-PIB Puławy, 52, ss. 105.
65. Heap I.M. 2023. International survey of herbicide resistant weeds. Online: www.weedscience.org (dostęp 04.08.2023).
66. Heap I.M., Knight R. 1982. A population of ryegrass tolerant to the herbicide diclofop-methyl. *Australian Journal of Agricultural Research*, 48: 156-157.
67. Henriët F., Bodson B., Meza Morales R. 2013. Silky bent grass resistance to herbicides: one year of monitoring in Belgium. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 78 (3): 665-670
68. Holt J.S., Welles S.R., Silvera K., Heap I.M., Heredia S.M., Martinez-Berdeja A., Palenscar K.T., Sweet L.C., Ellstrand N.C. 2013. Taxonomic and life history bias in herbicide resistant weeds: implications for deployment of resistant crops. *PLoS One*, 8 (9): e71916.
69. Hołubowicz-Kliza G. 2011. Rolniczy atlas chwastów. Wyd. IUNG-PIB Puławy, ss. 314.
70. Hołubowicz-Kliza G., Praczyk T. 2001. Chwasty w roślinach uprawnych: Rolniczy Poradnik Agrochemiczny. Wyd. IUNG Puławy, ss. 74.
71. HRAC 2023. Herbicide Resistance Action Committee. Online: www.hracglobal.com (dostęp 01.09.2023).
72. Jasieniuk M., Brûlé-Babel A.L., Morrison I.N. 1996. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Science*, 44 (1): 176-193.
73. Jędruszczak M., Antoszek R. 2002a. Ocena wrażliwości *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. na atrazynę i metrybuzynę. *Pamiętnik Puławski*, 129: 51-59.
74. Jędruszczak M., Antoszek R. 2002b. Wpływ zabiegów agrotechnicznych na wybrane cechy biologiczne *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. zasiedlającej łąn krótkotrwałej monokultury pszenicy ozimej. *Progress in Plant Protection*, 42 (2): 554-556.

75. Jursík M., Hamouzova K., Soukup J., Holec J. 2011. Important aspects of chemical weed control: herbicide resistance in weeds and problems with resistant populations in the Czech Republic. *Listy Cukrovarnické a Řepářské*, 127 (4): 123-129.
76. Kanatas P., Travlos I.S., Gazoulis I., Tataridas A., Tsekoura A., Antonopoulos N. 2020. Benefits and Limitations of Decision Support Systems (DSS) with a Special Emphasis on Weeds. *Agronomy*, 10 (4): 548.
77. Kapeluszny J. 1986. Badania nas progami szkodliwości miotły zbożowej – *Apera spica-venti* i owsa głuchego – *Avena fatua* w pszenicy ozimej. *Roczniki Nauk Rolniczych*, s. A, 106 (2): 117-132.
78. Kapeluszny J., Haliniarz M. 2002. Ocena wrażliwości na herbicydy triazynowe kilku populacji *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Echinochloa crus-galli* z terenu województwa lubelskiego. *Pamiętnik Puławski*, 129: 161-167.
79. Kapeluszny J., Haliniarz M. 2010. Ekspansywne i zagrożone gatunki flory segetalnej w środkowo-wschodniej Polsce. *Annales UMCS*, s. E, 65 (1), 26-33.
80. Kapeluszny K., Dyńska M., Haliniarz M. 2012. The effect of weed control methods on weed infestation of two durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines. *Progress in Plant Protection*, 52 (2): 287-293.
81. Kees H. 1968. Zur konkurrenz zwischen Windhalm (*Apera spica-venti* P.B.) und winterweizen, *zeitschrift fur pflanzenkrankheiten und pflanzenschutz*. Sonderheft, 4: 71-74.
82. Kieć J. 1999. Ocena wrażliwości odmian botanicznych owsa głuchego (*Avena fatua* L.) na herbicydy. *Progress in Plant Protection*, 39 (1): 379-381.
83. Kieloch R. 2009. Przyrodnicze i agrotechniczne uwarunkowania skuteczności zabiegów chwastobójczych. W: *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia*. *Studia i raporty IUNG-PIB*, 18: 79-88.
84. Kieloch R. 2014. Wpływ niektórych warunków klimatycznych i glebowych na działanie tribenuronu metylu w zależności od dawki i adiuwanta. *Progress in Plant Protection*, 54 (1): 38-43.
85. 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.
86. Köhler L., Warnecke-Busch G., Wolber D.M., Breiding M. 2018. Sanierung einer ALS-resistenten *Apera spica-venti*-Population - Ein drei-faktorieller Dauerversuch. *Julius-Kühn-Archiv*, 458: 155-160.

87. Korbas M., Paradowski A., Węgorzek P., Jajor E., Horoszkiewicz-Janka J., Zamojska J., Strażyński P., Szczepaniak W., Sobiech Ł., Kardasz P., Bereś P., Danielewicz J., Najewski A., Czyczewski M., Dworżańska D., Skrzypek A. 2018. *Vademecum ochrony i nawożenia pszenicy*. Wyd. Agronom, Poznań, ss. 276.
88. Kosnarova P., Hamouz P., Hamouzova K., Linn A., Sen M., Mikułka J., Šuk J., Soukup J. 2021. *Apera spica-venti* in the Czech Republic develops resistance to three herbicide modes of action. *Weed Research*, 61 (5): 420-429.
89. Kościelniak W., Dreczka M. 2009. *Nowoczesna uprawa zbóż*. Wyd. Apra, Poznań, ss. 238.
90. Krato C., Petersen J. 2010. The situation of herbicide resistance of monocotyledonous weeds in Germany. *Julius-Kühn-Archiv*, 428: 273.
91. Krysiak M. 2010. *Molekularne podstawy odporności miotły zbożowej Apera spica-venti L. na herbicydy z grupy inhibitorów syntazy acetylmleczanowej*. Rozprawa doktorska. SGGW w Warszawie.
92. Krysiak M. 2014. *Różnorodność to przyszłość – o odporności chwastów raz jeszcze*. Agrotechnika. Poradnik Rolnika, 08: 54.
93. Krysiak M., Gawroński S.W., Adamczewski K., Kierzek R. 2011a. ALS gene mutations in *Apera spica-venti* confer broad-range resistance to herbicides. *Journal of Plant Protection Research*, 51 (3): 261-267.
94. Krysiak M., Gawroński S., Kierzek R., Adamczewski K. 2011b. Molecular basis of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) resistance to sulfonylurea herbicides. *Journal of Plant Protection Research*, 51 (2): 130-133.
95. Krzakowa M., Adamczewski K. 2007. *Genetyczna zmienność wybranych biotypów Apera spica-venti odpornych i wrażliwych na herbicydy sulfonylomocznikowe*. *Progress in Plant Protection*, 47 (3): 358-364.
96. Kucharski M. 2005. *Odporność chwastów na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy PSII na polach uprawnych południowo-zachodniej Polski*. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 14, ss.103.
97. Kucharski M. 2008. Populations of *Polygonum* spp. resistant to photosystem II inhibiting herbicides in South-Western Poland. *Journal of Plant Protection Research*, 48 (3): 337-345.
98. Kucharski M., Rola H. 2003. Identyfikacja biotypów *Amaranthus retroflexus* i *Chenopodium album* wykazujących odporność krzyżową na herbicydy – inhibitory fotosyntezy fotosystemu II. *Progress in Plant Protection*, 43 (1): 218-223.

99. Kucharski M., Rola H. 2004. Identyfikacja wybranych biotypów chwastów odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy w uprawie buraka cukrowego. *Progress in Plant Protection*, 44 (2): 884-886.
100. Kucharski M., Rola H. 2007. Zmianowanie roślin i herbicydów elementem ograniczającym rozwój odporności chwastów. *Progress in Plant Protection*, 47 (3): 365-370.
101. Kukowski T. 1977. Metody zwalczania miotły zbożowej w uprawie zbóż i rzepaku ozimego. Materiały szkoleniowe IUNG, Puławy, ss. 14.
102. Kukowski T. 1978. Badania nad ekologią i zwalczaniem miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) w pszenicy ozimej. *Prace OTPN, Wydz. III Nauk Przyrodniczych*, Wyd. PWN Warszawa, ss. 102.
103. Kulpa W. 1988. Nasionoznawstwo chwastów. Wyd. PWRiL, Warszawa, ss. 413.
104. Lejman A., Parylak D. 2022. Ocena wschodów miotły zbożowej (*Apera spica-venti*) w zależności od wieku diaspor i miejsca występowania. *Progress in Plant Protection*, 62 (1): 1-6.
105. Lejman A., Ogórek R., Parylak D. 2022. The influence of the habitat on the chemical composition and morphology of silky bent grass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) occurring in arable fields (Lower Silesia, Poland). *Agronomy*, 12: 1883.
106. Leroux G.D. 1993. Relative fitness of s-triazine susceptible and resistant biotypes of *Chenopodium album*. *Phytoprotection*, 74 (3): 143-152.
107. Lipecki J. 1988. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Med. – another weed resistant to simazine? *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 57 (1): 187-189.
108. Listowski A., Pawłowska J. 1967. Obserwacje nad mietlicą zbożową (*Agrostis spica-venti*). Cz. II. *Roczniki Nauk Rolniczych, s. A*, 93 (2): 217-228.
109. Madej A. 2015. Przestrzenne zróżnicowanie zrównoważenia rolnictwa w województwie podlaskim. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 17 (2): 150-157.
110. Manalil S., Busi R., Renton M., Powles S.B. 2011. Rapid evolution of herbicide resistance by low herbicide dosages. *Weed Science*, 59 (2): 210-217.
111. Marczewska K. 2006. Phytotoxicity and efficacy of chlorsulfuron in winter wheat. *Journal of Plant Protection Research*, 46 (4): 387-396.
112. Marczewska K., Rola H. 2006. Identyfikacja odpornych na chlorosulfuron biotypów *Apera spica-venti* i *Centaurea cyanus* oraz sposoby ich chemicznego zwalczania w pszenicy ozimej. *Progress in Plant Protection*, 46 (1): 215-222.

113. Marczewska K., Rola H., Sadowski J. 2007. Wolne aminokwasy wskaźnikiem odporności na chlorosulfuron. *Progress in Plant Protection*, 47 (3): 199-205.
114. 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.
115. Marczewska-Kolasa K., Kieloch R. 2009. Możliwości łącznego stosowania bioregulatorów i herbicydów w zbożach. W: *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia. Studia i raporty IUNG-PIB*, 18: 89-102.
116. Marko G., Jaksa F. 2019. The current status of the loose silky-bent [*Apera spica-venti* (L.) P.B.]: a weed control review. *Növényvédelem*, 55 (9): 392-403.
117. Marshall R., Moss S.R. 2008. Characterisation and molecular basis of ALS inhibitor resistance in the grass weed *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research*, 48 (5): 439-447.
118. Massa D., Gerhards R. 2011. Investigations on herbicide resistance in European silky bent grass (*Apera spica-venti*) populations. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 118 (1): 31-39.
119. Massa D., Kaiser Y.I, Andújar-Sánchez D., Carmona-Alfárez R., Mehrtens J., Gerhards R. 2013. Development of a Geo-Referenced Database for Weed Mapping and Analysis of Agronomic Factors Affecting Herbicide Resistance in *Apera spica-venti* L. Beauv. (Silky Windgrass). *Agronomy*, 3 (1): 13-27.
120. Massa D., Krenz B., Gerhards R. 2011. Target-site resistance to ALS-inhibiting herbicides in *Apera spica-venti* populations is conferred by documented and previously unknown mutations. *Weed Research*, 51 (3): 294-303.
121. Mathiassen S., Kudsk P., Hensen L. 2013. First cases of herbicide resistance in *Apera spica-venti* in Scandinavia. *Global Herbicide Resistance Challenge Conference*, Fremantle, Australia.
122. Matzrafi M., Gadri Y., Frenkel E., Rubin B., Peleg Z. 2014. Evolution of herbicide resistance mechanisms in grass weeds. *Plant Science*, 229: 43-52.
123. Maxwell B.D., Mortimer A.M. 1994. Selection for herbicide resistance. W: *Herbicide resistance in Plant*, 1-25.
124. Mayor J.P., Maillard A. 1997. Discovery of a wind bent grass biotype resistant to the herbicide isoproturon at changins [Switzerland]. *Revue Suisse de Agriculture*, 29 (1): 39-44.

125. Mechant E., De Marez T., Hermann O., Olsson R., Bulcke R. 2008. Target site resistance to metamitron in *Chenopodium album* L. Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XXI: 37-40.
126. Meza Morales R., Vanbellinghen C., Bodson B., Henriët F. 2013. Study of factors influencing the germination of *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. in controlled conditions. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 78 (3): 701-706.
127. Milberg P., Andersson L., Noronha A. 1996. Seed germination after short-duration light exposure: implications for the photo-control of weeds. Journal of Applied Ecology, 33: 1469-1478.
128. Miziniak W., Matysiak K. 2019. Interaction of herbicides with mepiquat chloride and prohexadione calcium in winter wheat. Journal of Plant Protection Research, 59 (4): 498-502.
129. Moss S.R., Peryman S.A.M., Tatnell L.V. 2007. Managing herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*): theory and practice. Weed Technology, 21 (2): 300-309.
130. Moss S., Ulber L., Hoed I. 2019. A herbicide resistance risk matrix. Crop Protection, 115: 13-19.
131. Mowszowicz J. 1983. Pospolite rośliny naczyniowe Polski. Wyd. PWN, Łódź, ss. 798.
132. Ngow Z., Chynoweth R.J., Gunnarsson M., Rolston P., Buddenhagen C.E. 2020. A herbicide resistance risk assessment for weeds in wheat and barley crops in New Zealand. PLoS One, 15 (6): e0234771.
133. Niehoff T. 2015. Windhalm auf problemstandorten bekämpfen. Getreidemagazin, 5: 23-29.
134. Niemann P. 2000. Resistenz von windhalm (*Apera spica-venti*) gegenüber isoproturon. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 376: 147-148.
135. Niemann P., Zwerger P. 2006. On herbicide resistance within *Apera spica-venti* (L.) P.B. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz-Sonderheft-, 20: 81-88.
136. Norsworthy J.K., Ward S.M., Shaw D.R., Llewellyn R.S., Nichols R.L., Webster T.M., Bradley K.W., Frisvold G., Powles S.B., Burgos N.R., Witt W.W., Barrett M. 2012. Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. Weed Science, 60 (SP1): 31-62.

137. Northam F.E., Callihan R.H. 1992. The Windgrasses (*Apera* Adans., *Poaceae*) in North America. *Weed Technology*, 6: 445-450.
138. Novakova K., Soukup J., Wagner J.E., Hamouz P., Namestek J. 2006. Chlorsulfuron resistance in silky bent-grass (*Apera spica-venti* L. Beauv.) in the Czech Republic. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XX*: 139-146.
139. O'Donovan J.T., Jeffers G.M., Maurice D., Sharma M.P. 1994. Investigation of a chlorsulfuron-resistant chickweed [*Stellaria media* (L.) Vill.] population. *Canadian Journal of Plant Science*, 74 (4): 693-697.
140. Orzech K., Nowicki J., Marks M. 2003. Wpływ różnych sposobów uprawy gleby średniej na zachwaszczenie i plonowanie pszenicy ozimej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 490: 171-177.
141. Osuna M., Goulart I.C.G.R., Vidal R.A., Kalsing A., Ruiz Santaella J.P., De Prado R. 2012. Resistance to ACCase inhibitors in *Eleusine indica* from Brazil involves a target site mutation. *Planta Daninha*, 30: 675-681.
142. Pallut B., Moll E. 2008. Langzeitwirkung reduzierter herbizidaufwandmengen auf verunkrautung und kornertrag von wintergetreide in einem 12-jährigen dauerversuch. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XXI*: 501-508.
143. Papapanagiotou A.P., Damalas C.A., Bosmali I., Madesis P., Menexes G., Eleftherohorinos I. 2022. Multiple resistance of silky windgrass to acetolactate synthase- and acetyl-CoA synthase-inhibiting herbicides. *Weed Technology*, 36 (3): 334-343.
144. Paradowski A. 2015. *Herbologia w tabelach*. Wyd. Grupa Osadkowski, ss. 499.
145. Paradowski A. 2017. *Atlas chwastów roślin rolniczych, sadowniczych i warzywniczych*. Wyd. Hortpress, Warszawa, ss. 224.
146. Paradowski A., Czubiński T. 2011. *Chwasty: zwalczaj w zbożach i rzepaku*. Wyd. PWR, Poznań, ss. 38.
147. Paradowski A., Stachecki S. 2004. Wykorzystanie w uprawie kukurydzy mieszaniny florosulamu i 2,4-D (Mustang 306 SE) do zwalczania chwastów uodpornionych na triazyny. *Progress in Plant Protection*, 44 (2): 1008-1013.
148. Pawlonka Z., Skrzyczyńska J. 2007. Ontogeneza *Apera spica-venti* w pszenżycie ozimym. *Annales UMCS, s. E*, 62 (2): 90-98.
149. Pawlonka Z., Skrzyczyńska J., Ługowska M. 2010. Rozwój *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. w pszenżycie ozimym w warunkach różnej uprawy roli i nawożenia. *Fragmenta Agronomica*, 27 (2): 94-101.

150. Petersen J. 2018. Herbicide mixtures for control of herbicide resistant *Apera spica-venti* populations. *Julius-Kühn-Archiv*, 458: 106-112.
151. Petersen J., Rafflen H. 2020. Evolution of herbicide resistance in *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* in German cereal during the last 15 years. *Julius-Kühn-Archiv*, 464: 326-332.
152. Piekarczyk M., Jaskulski D. 2016. Chwasty i ich zwalczanie – element polowej produkcji roślinnej. Wyd. UTP, Bydgoszcz, ss. 162.
153. Powles S.B., Yu Q. 2010. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology*, 61: 317-347.
154. Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2021. Online: www.stat.gov.pl (dostęp 10.02.2023).
155. Praczyk T., Skrzypczak G. 2004. Herbicydy. Wyd. PWRiL, Poznań, ss. 274.
156. R Core Team. A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Online: www.R-project.org (dostęp 10.12.2020).
157. Ralser M., Querfurth R., Warnatz H.J., Lehrach H., Yaspo M.L., Krobotsh S. 2006. An efficient and economic enhancer mix for PCR. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 347: 747-751.
158. ResiHerb – system doradczy w zakresie zarządzania odpornością chwastów na herbicydy. Online: www.zwalczchwasty.pl (dostęp 10.09.2023).
159. Rey-Caballero J., Menéndez J., Osuna M.D., Salas M., Torra J. 2017a. Target-site and non-target-site resistance mechanisms to ALS inhibiting herbicides in *Papaver rhoeas*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 138: 57-65.
160. Rey-Caballero J., Royo-Esnal A., Recasens J., González I., Torra J. 2017b. Management options for multiple herbicide-resistant corn poppy (*Papaver rhoeas*) in Spain. *Weed Science*, 65 (2): 295-304.
161. Rhein E. 2007. Uciążliwe chwasty w uprawie zbóż. Wyd. MODR, Karniowice, ss. 14.
162. Rissel D., Ulber L. 2018. Selection for reduced iodosulfuron sensitivity in *Apera spica-venti*. *Julius-Kühn-Archiv*, 458: 94-98.
163. Rola J. 1988. Zjawisko uodparniania się niektórych gatunków chwastów na herbicydy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 349: 153-159.
164. Rola H., Rola J. 1999. Badania nad występowaniem chwastów odpornych na triazyny na Dolnym Śląsku. *Progress in Plant Protection*, 39 (1): 372-378.

165. Rola H., Marczevska K. 2002. Sulfonylurea herbicide resistant biotype of weeds in Wroclaw Region. *Progress in Plant Protection*, 42 (2): 575-577.
166. Rola H., Rola J. 2002a. Teoria i praktyka uodparniania się chwastów segetalnych na herbicydy stosowane w Polsce. *Progress in Plant Protection*, 42 (1): 375-382.
167. Rola H., Rola J. 2002b. Występowanie *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli* – biotypów odpornych na triazyny w kukurydzy na terenie południowo-zachodniej Polski. *Pamiętnik Puławski*, 129: 11-23.
168. Rola H., Kucharski M. 2005. Zastosowanie różnych metod identyfikacji odporności chwastów na herbicydy na przykładzie taksonów występujących w kukurydzy. *Pamiętnik Puławski*, 140: 227-237.
169. Rola H., Domaradzki K., Rola J. 2003. Skład florystyczny zbiorowisk chwastów segetalnych na różnych kompleksach glebowych w rejonie Wrocławia jako bioindykator właściwości siedlisk. W: *Rośliny segetalne. Bioindykacja – chorologia – zmienność*. Wyd. PAP, Słupsk, 79-90.
170. Rola H., Rola J., Kucharski M., Marczevska K. 2004. Zabezpieczenie roślin uprawnych przed chwastami odpornymi na herbicydy. *Progress in Plant Protection*, 44 (1): 339-346.
171. Rola H., Rola J., Domaradzki K., Gołębiowska H. 2009. Strategia regulacji zachwaszczenia w agrocenozach. W: *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia. Studia i raporty IUNG-PIB*, 18: 57-78.
172. Rola H., Domaradzki K., Kaczmarek S., Kapeluszy J. 2013. Znaczenie progów szkodliwości w integrowanych metodach regulacji zachwaszczenia w zbożach. *Progress in Plant Protection*, 53 (1): 96-104.
173. Roszkowska-Mądra B. 2002. Rolnictwo województwa podlaskiego w aspekcie integracji europejskiej. W: *Podlasie - determinanty wzrostu, praca zbiorowa pod red. Andrzeja F. Bociana*: 226-232.
174. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 września 2012 r. w sprawie gleboznawczej klasyfikacji gruntów. *Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej*, poz.1246.
175. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2016/872 z dnia 1 czerwca 2016 r. w sprawie nieodnawiania zatwierdzenia substancji czynnej izoproturon, zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009 dotyczącym wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin, oraz w sprawie zmiany

- rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) nr 540/2011 (Tekst mający znaczenie dla EOG). Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 2.6.2016.
176. Ryan G.F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Science*, 18 (5): 614-616.
177. Rzymowska Z. 2013. Współczesne zmiany we florze i zbiorowiskach segetalnych Podlaskiego Przełomu Bugu. Wyd. UP-H, Siedlce, ss.125.
178. Salava J., Chodova D. 2007. The present state of herbicide resistance of weed populations in the Czech Republic. *Journal of Plant Protection Research*, 47 (4): 437-444.
179. Schulz A., Mathiassen S., de Mol F. 2014. Approaches to early detection of herbicide resistance in *Apera spica-venti* regarding intra- and inter-field situations. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 121 (3): 138-148.
180. Schwarz J. 2018. Effect of different soil cultivation methods on the emergence of *Apera spica-venti*. *Julius-Kühn-Archiv*, 458: 302-305.
181. Shaner D.L. 2014. Lessons learned from the history of herbicide resistance. *Weed Science*, 62 (2): 427-431.
182. Shrestha A., Hanson B.D., Fidelibus M.W., Alcorta M. 2010. Growth, phenology and intraspecific competition between glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible horseweeds (*Conyza canadensis*) in the San Joaquin Valley of California. *Weed Science*, 58 (2): 147-153.
183. Sobiech Ł. 2013. Odporność chwastów na herbicydy. *Agrotechnika. Poradnik Rolnika*, 12: 34-35.
184. Soroka S. 2007. Antyodpornościowa strategia stosowania herbicydów w Białorusi. *Progress in Plant Protection*, 47 (3): 371-381.
185. Soukup J, Novakova K, Hamouz P., Namestek J. 2006. Ecology of silky bent grass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.), its importance and control in the Czech Republic. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XX*: 73-80.
186. Stankiewicz-Kosyl M., Haliniarz M. 2023. Diversified germination strategies of *Centaurea cyanus* populations resistant to ALS inhibitors. *Plant Protection Science*, DOI:10.17221/62/2023-PPS.
187. Stankiewicz-Kosyl M., Haliniarz M., Wrochna M., Obrepalska-Stęplowska A., Kuc P., Łukasz J., Wińska-Krysiak M., Wrześcińska-Krupa B., Puła J., Podsiadło C., Domaradzki K., Piekarczyk M., Bednarczyk M., Marcinkowska K. 2023. Occurrence

- and mechanism of *Papaver rhoeas* ALS inhibitors resistance in Poland. Agriculture, 13: 82.
188. Stankiewicz-Kosyl M., Haliniarz M., Wrochna M., Synowiec A., Wenda-Piesik A., Tendziagolska E., Sobolewska M., Domaradzki K., Skrzypczak G., Łykowski W., Krysiak M., Bednarczyk M., Marcinkowska K. 2021. Herbicide resistance of *Centaurea cyanus* L. in Poland in the context of its management. Agronomy, 11: 1954.
189. Stankiewicz-Kosyl M., Synowiec A., Haliniarz M., Wenda-Piesik A., Domaradzki K., Parylak D., Wrochna M., Pytlarz E., Gala-Czekaj D., Marczevska-Kolasa K., Marcinkowska K., Praczyk T. 2020. Herbicide resistance and management options of *Papaver rhoeas* L. and *Centaurea cyanus* L. in Europe: A Review. Agronomy, 10: 874.
190. Stankiewicz-Kosyl M., Wrochna M., Salas M., Gawroński S. 2017. A strategy of chemical control of *Apera spica-venti* L. resistant to sulfonylureas traced on the molecular level. Journal of Plant Protection Research, 57 (2): 113-119.
191. Stokłosa A., Kieć J. 2006a. Badania nad odpornością odmian botanicznych owsa głucho (*Avena fatua* L.) na herbicydy z grupy inhibitorów ACC-azy. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 242: 121-130.
192. Stokłosa A., Kieć J. 2006b. Stopień odporności owsa głucho na inhibitory ACC-azy w Polsce południowo-wschodniej. Acta Agrobotanica, 59 (2): 263-274.
193. Stuczyński T., Budzyńska K., Gawrysiak L., Zaliwski A. 2000. Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. Biuletyn Informacyjny IUNG, 12: 4-17.
194. Stuczyński T., Kozyra J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyzyn J., Koza P., Doroszewski A., Wawer A., Nowocień E. 2007. Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 7: 77-115.
195. Szekeres F. 1976. Effect of light, temperature, mulching on germination of caryopses of apera (*Apera spica-venti* (L.) P.B.). Novenytermeles, 25: 43-50.
196. Torra J., Montull J.M., Taberner A., Onkokesung N., Boonham N., Edwards R. 2021. Target-site and non-target-site resistance mechanisms confer multiple and cross-resistance to ALS and ACCase inhibiting herbicides in *Lolium rigidum* from Spain. Frontiers in Plant Science, 12: 625138.
197. Torra J., Royo-Esnal A., Recasens J. 2011. Management of herbicide-resistant *Papaver rhoeas* in dry land cereal fields. Agronomy for Sustainable Development, 31: 483-490.

198. Torun H., Uygur F.N. 2021. The importance of crop rotations for wild oat (*Avena sterilis* L.) resistance to herbicides in Cukurova Region, Turkey. *Journal of Research in Weed Science*, 4 (1): 122-141.
199. Tutin T.G. 1980. 32. *Apera* Adanson. W: *Flora Europaea*. Cambridge University Press, 5: 172-173.
200. Tymrakiewicz W. 1962. Atlas chwastów. Wyd. PWRiL, Warszawa, ss. 366.
201. Urban M. 2009. Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od wrażliwości miotły zbożowej na zastosowane herbicydy. *Progress in Plant Protection*, 49 (4): 1838-1842.
202. Urząd Statystyczny w Lublinie, 2023. Rolnictwo w województwie lubelskim w 2022 roku. Online: www.lublin.stat.gov.pl (dostęp 10.02.2023).
203. Urząd Statystyczny w Białymstoku, 2023. Rolnictwo w województwie podlaskim w 2022 roku. Online: www.bialystok.stat.gov.pl (dostęp 10.02.2023).
204. Vanaga I., Mintale Z., Smirnova O. 2010. Control possibilities of *Apera spica-venti* (L.) P.B. in winter wheat with autumn and spring applications of herbicides in Latvia. *Agronomy Research*, 8, Special Issue II: 493-498.
205. Warnecke-Busch G., Wolber D., Köhler L., Breiding M. 2018. Resistance of herbicides against *Apera spica-venti* in Lower Saxony. *Julius-Kühn-Archiv*, 458: 148-155.
206. Warwick S.I., Black L.D., Zilkey B.F. 1985. Biology of Canadian weeds. 72. *Apera spica-venti*. *Canadian Journal of Plant Science*, 65: 711-721.
207. Warwick S.I., Thomson B.K., Black L.D. 1987. Genetic variation in Canadian and European populations of the colonizing weed species *Apera spica-venti*. *New Phytologist*, 106: 301-317.
208. Wehsarg O. 1961. Chwasty polne: biologia: ogólne zasady walki z chwastami i sposoby zwalczania poszczególnych chwastów polnych. Wyd. PWRiL, Warszawa, ss. 326.
209. Westwood J., Charudattan R., Duke S., Fennimore S., Marrone P., Slaughter D., Swanton C., Zollinger R. 2018. Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. *Weed Science*, 66 (3): 275-288.
210. Whitehead C.W., Switzer C.M. 1963. The differential response of strains of wild carrot to 2,4-D and related herbicides. *Canadian Journal of Plant Science*, 43 (3): 255-262.

211. Wolber D. 2014. Development of resistance of *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Loose silky-bent) in Lower Saxony in 2013 - also increasingly against Pinoxaden. *Julius-Kühn-Archiv*, 443: 280-286.
212. Woźnica Z. 2008. *Herbologia. Podstawy biologii, ekologii i zwalczania chwastów*. Wyd. PWRiL, Poznań, ss. 438.
213. Woźnica Z. 2012. Odporność chwastów na herbicydy. *Agrotechnika. Poradnik Rolnika*, 03: 60-63.
214. Yu Q., Han H., Powles S. 2014. Metabolism-Based Herbicide Resistance and Cross-Resistance in Crop Weeds: A Threat to Herbicide Sustainability and Global Crop Production. *Plant Physiology*, 166 (3): 1106-1118.
215. Zalecenia Ochrony Roślin na lata 2016/2017. Cz. 1. Wykaz Środków Ochrony Roślin. Wyd. IOR-PIB, Poznań.
216. Zamojska J., Malinowski H. 2012. Integrowana metoda ochrony roślin, a odporność agrofagów na pestycydy w Polsce. *Progress in Plant Protection*, 52 (4): 1222-1226.
217. Zegar J.S. 2014. *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym*. Warszawa, ss. 129.
218. Zemanek J. 1972. Influence of environmental factors and chemical substances on the germination and emergence of the weed *Apera spica-venti* P. Beauv. *Ochrana Rostlin*, 8: 29-36.

9. Spis fotografii, map, rysunków, tabel i wykresów

9.1. Spis fotografii

<i>Fotografia 1. Budowa morfologiczna <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.</i>	10
<i>Fotografia 2. Wiechy <i>Apera spica-venti</i> w łanie pszenicy (autor: J. Łukasz)</i>	11
<i>Fotografia 3. Ziarniaki <i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B. (autor: J. Łukasz)</i>	12
<i>Fotografia 4. Łan pszenicy ozimej zachwaszczony <i>Apera spica-venti</i> (autor: J. Łukasz)</i> ...	23
<i>Fotografia 5. Wiechy odpornej na herbicydy populacji <i>Apera spica-venti</i> w pszenicy ozimej (autor: J. Łukasz)</i>	40
<i>Fotografia 6. Pole uprawne na terenie województwa podlaskiego z dominacją odpornej populacji <i>Apera spica-venti</i> w łanie (autor: J. Łukasz)</i>	45
<i>Fotografia 7. <i>Alopecurus myosuroides</i> w łanie pszenżyta ozimego (autor: J. Łukasz)</i>	47
<i>Fotografia 8. <i>Centaurea cyanus</i> i <i>Papaver rhoeas</i> w łanie rzepaku ozimego (autor: J. Łukasz)</i>	48
<i>Fotografia 9. <i>Avena fatua</i> w łanie owsa siewnego (autor: J. Łukasz)</i>	50
<i>Fotografia 10. Palety rozsadowe przygotowane do przeprowadzenia testów szczegółowych w pomieszczeniu wegetacyjnym w GD w Czesławicach (autor: J. Łukasz)</i>	59
<i>Fotografia 11. Stacjonarna komora opryskowa „Aporo” w GD w Czesławicach (autor: J. Łukasz)</i>	61
<i>Fotografia 12. Reakcja populacji wrażliwej (S) <i>Apera spica-venti</i> oraz populacji o różnym poziomie odporności na jodosulfuron metylosodowy (r/R/RR/RRR/RRRR) na zróżnicowane dawki herbicydu</i>	82
<i>Fotografia 13. Reakcja populacji wrażliwej (S) <i>Apera spica-venti</i> oraz populacji o różnym poziomie odporności na piroksysulam (r/R/RR/RRR) na zróżnicowane dawki herbicydu</i> ..	84
<i>Fotografia 14. Reakcja populacji wrażliwej (S) <i>Apera spica-venti</i> oraz populacji o różnym poziomie odporności na fenoksaprop-P-etylu (r/R/RR/RRR) na zróżnicowane dawki herbicydu</i>	90
<i>Fotografia 15. Reakcja populacji wrażliwej (S) <i>Apera spica-venti</i> oraz populacji o zmniejszonej wrażliwości na pinoksaden (r) na zróżnicowane dawki herbicydu</i>	91
<i>Fotografia 16. Reakcja populacji wrażliwej (S) <i>Apera spica-venti</i> oraz populacji o średnim poziomie odporności (RR) na chlorotoluron na zróżnicowane dawki herbicydu</i>	94
<i>Fotografia 17. Reakcja populacji <i>Apera spica-venti</i> wrażliwych (S) na pendimetalinę na zróżnicowane dawki herbicydu</i>	95

9.2. Spis map

<i>Mapa 1. Występowanie <i>Apera spica-venti</i> w krajach Europy [www.hracglobal.com]</i>	16
<i>Mapa 2. Rozmieszczenie populacji <i>Apera spica-venti</i> odpornych na inhibitory ALS, ACCazy i PSII na terenie województwa lubelskiego</i>	100
<i>Mapa 3. Rozmieszczenie populacji <i>Apera spica-venti</i> odpornych na inhibitory ALS i ACCazy na terenie województwa podlaskiego</i>	102

9.3. Spis rysunków

<i>Rysunek 1. Fragment domeny A genu als z uwidocznioną zmiennością sekwencji w obrębie kodonu 197 i 205</i>	97
--	----

9.4. Spis tabel

<i>Tabela 1. Wykaz substancji aktywnych zwalczających miotłę zbożową według mechanizmu działania herbicydu</i>	20
<i>Tabela 2. Wpływ wybranych czynników na skuteczność działania herbicydów [Praczyk i Skrzypczak 2004] XX – czynnik bardzo ważny, X – czynnik ważny</i>	21
<i>Tabela 3. Działanie wybranych substancji aktywnych zwalczających <i>Apera spica-venti</i> w zależności od temperatury powietrza [Zalecenia Ochrony Roślin 2016]</i>	22
<i>Tabela 4. Liczba gatunków odpornych na poszczególne grupy HRAC w wybranych krajach [Heap 2023]</i>	36
<i>Tabela 5. Liczba gatunków chwastów odpornych na herbicydy o różnym mechanizmie działania [Heap 2023]</i>	38
<i>Tabela 6. Wykaz populacji odpornych <i>Apera spica-venti</i>, zgłoszonych do bazy International Herbicide – Resistant Weed Database [Heap 2023] * s.a. wycofana z UE</i>	41
<i>Tabela 7. Gatunki chwastów odpornych na substancje aktywne herbicydów w Polsce, zgłoszone do bazy International Herbicide - Resistant Weed Database [Heap 2023] * s.a. wycofana w UE</i>	44
<i>Tabela 8. Liczba gospodarstw rolnych (tys.) według rodzaju prowadzonej działalności rolniczej [Powszechny Spis Rolny 2021]</i>	57

Tabela 9. Powierzchnia zasiewów (tys. ha) roślin uprawnych [Powszechny Spis Rolny 2021]	57
Tabela 10. Charakterystyka herbicydów stosowanych w badaniach biologicznych	60
Tabela 11. Dawki herbicydów stosowanych w testach szczegółowych ($g\ ha^{-1}$)	62
Tabela 12. Częstotliwość stosowania (PT) substancji czynnych herbicydów na polach uprawnych z populacjami <i>Apera spica-venti</i> odpornymi na inhibitory ALS (HRAC 2) i ACCazy (HRAC 1) w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych J – jodosulfuron metylosodowy, P – piroksysulam, F – fenoksaprop-P-etylu	72
Tabela 13. Liczba wrażliwych i potencjalnie odpornych populacji <i>Apera spica-venti</i> po przeprowadzeniu wstępnych testów biologicznych	73
Tabela 14. Liczba odpornych i wrażliwych populacji <i>Apera spica-venti</i> po przeprowadzeniu testów szczegółowych	74
Tabela 15. Współczynnik odporności (RI) i ED_{50} populacji <i>Apera spica-venti</i> odpornych na jodosulfuron metylosodowy i/lub piroksysulam w województwie lubelskim	75
Tabela 16. Współczynnik odporności (RI) i ED_{50} populacji <i>Apera spica-venti</i> odpornych na jodosulfuron metylosodowy i/lub piroksysulam w województwie podlaskim	78
Tabela 17. Współczynnik odporności (RI) i ED_{50} populacji <i>Apera spica-venti</i> odpornych na fenoksaprop-P-etylu i/lub pinoksaden (inhibitory ACCazy) w województwie lubelskim i podlaskim	85
Tabela 18. Populacje <i>Apera spica-venti</i> wykazujące odporność wielokrotną	96
Tabela 19. Zestawienie zmienności genetycznej w obrębie kodonu 197 genu <i>als</i> badanych populacji miotły zbożowej. Symbole nukleotydów i aminokwasów według kodu IUPAC. ..	98

9.5. Spis wykresów

<i>Wykres 1. Liczba przypadków (gatunek x grupa HRAC) chwastów odpornych na herbicydy w latach [Heap 2023]</i>	<i>35</i>
<i>Wykres 2. Liczba gatunków chwastów odpornych na 15 najważniejszych substancji aktywnych [Heap 2023]</i>	<i>37</i>
<i>Wykres 3. Liczba gatunków chwastów odpornych na herbicydy według najważniejszych roślin uprawnych [Heap 2023]</i>	<i>39</i>
<i>Wykres 4. Liczba gatunków chwastów odpornych na herbicydy według 10 najważniejszych rodzin botanicznych [Heap 2023]</i>	<i>39</i>
<i>Wykres 5. Struktura użytków rolnych (tys. ha) [Powszechny Spis Rolny 2021]</i>	<i>54</i>
<i>Wykres 6. Struktura gospodarstw rolnych (%) według grup obszarowych użytków rolnych w ha [Powszechny Spis Rolny 2021]</i>	<i>55</i>
<i>Wykres 7. Średnia powierzchnia użytków rolnych (ha) w gospodarstwach rolnych według rodzaju działalności rolniczej [Powszechny Spis Rolny 2021]</i>	<i>56</i>
<i>Wykres 8. Występowanie odpornych populacji <i>Apera spica-venti</i> w roślinach uprawnych na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego</i>	<i>66</i>
<i>Wykres 9. Występowanie populacji odpornych <i>Apera spica-venti</i> na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego z uwzględnieniem poszczególnych klas gleb</i>	<i>66</i>
<i>Wykres 10. Struktura uprawy roli w dwóch lub trzech kolejnych okresach wegetacyjnych na polach, na których występowały odporne populacje <i>Apera spica-venti</i> na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego.....</i>	<i>67</i>
<i>Wykres 11. Struktura roślin uprawnych w dwóch lub trzech kolejnych okresach wegetacyjnych na polach, na których występowały odporne populacje <i>Apera spica-venti</i> na terenie województwa lubelskiego i podlaskiego</i>	<i>68</i>
<i>Wykres 12. Częstotliwość stosowania (PT) grup HRAC na polach uprawnych z populacjami <i>Apera spica-venti</i> odpornymi na jodosulfuron metylosodowy (HRAC 2) w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych</i>	<i>69</i>
<i>Wykres 13. Częstotliwość stosowania (PT) grup HRAC na polach uprawnych z populacjami <i>Apera spica-venti</i> odpornymi na piroksysulam (HRAC 2) w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych.....</i>	<i>69</i>

Wykres 14. Częstotliwość stosowania (PT) grup HRAC na polach uprawnych z populacjami <i>Apera spica-venti</i> odpornymi na fenoksaprop-P-etylu (HRAC 1) w dwóch lub trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych	70
Wykres 15. ED ₅₀ populacji <i>Apera spica-venti</i> wrażliwych na jodosulfuron metylosodowy (a) i piroksysulam (b) – inhibitory ALS * województwo lubelskie, ** województwo podlaskie.....	79
Wykres 16. Redukcja świeżej masy populacji <i>Apera spica-venti</i> odpornych na jodosulfuron metylosodowy (r, R, RR, RRR, RRRR) i populacji wrażliwej (S)	80
Wykres 17. Redukcja świeżej masy populacji <i>Apera spica-venti</i> odpornych na piroksysulam (r, R, RR, RRR) i populacji wrażliwej (S).....	82
Wykres 18. ED ₅₀ populacji <i>Apera spica-venti</i> wrażliwych na fenoksaprop-P-etylu (a) i pinoksaden (b) – inhibitory ACCazy * województwo lubelskie, ** województwo podlaskie.....	87
Wykres 19. Redukcja świeżej masy populacji <i>Apera spica-venti</i> odpornych na fenoksaprop-P-etylu (r/R/RR/RRR) i populacji wrażliwej (S)	88
Wykres 20. Redukcja świeżej masy populacji <i>Apera spica-venti</i> o zmniejszonej wrażliwości na pinoksaden (r) i populacji wrażliwej (S)	90
Wykres 21. ED ₅₀ populacji <i>Apera spica-venti</i> wrażliwych na chlorotoluron – inhibitory PSII (a) i pendimetalinę – inhibitory tworzenia mikrotubuli (b) * województwo lubelskie, ** województwo podlaskie	92
Wykres 22. Redukcja świeżej masy populacji <i>Apera spica-venti</i> o średnim poziomie odporności (RR) i populacji wrażliwej (S) na chlorotoluron.....	93
Wykres 23. Redukcja świeżej masy populacji <i>Apera spica-venti</i> wrażliwych (S) na pendimetalinę.....	94

Karta charakterystyki próbki nasion (KCPN)**1. KOD PRÓBK**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

NAZWA CHWASTU (łac.)	
-----------------------------	--

2. LOKALIZACJA

WOJEWÓDZTWO			
POWIAT			
GMINA			
MIEJSCOWOŚĆ		KOD POCZTOWY	
WSPÓLRZĘDNE GPS			
E-MAIL WŁAŚCICIELA POŁA			
NR TEL. WŁAŚCICIELA POŁA			

3. CHARAKTERYSTYKA STANOWISKA

ROŚLINA UPRAWNA LUB INNE STANOWISKO					
PRZEDPLON (OSTATNIE 3 LATA)					
KLASA BONITACYJNA GLEB					
SYSTEM UPRAWY ROLI (WŁAŚCIWE ZAZNACZ „X”)					
ORKA		SYSTEM BEZORKOWY		SIEW BEZPOŚREDNI	
STOSOWANE HERBICYDY					
	NAZWA HANDLOWA	DAWKA NA 1 HA	TERMIN ZABIEGU (WŁAŚCIWE ZAZNACZ „X”)		
BIEŻĄCY SEZON			WIOSENNY		JESIENNY
			WIOSENNY		JESIENNY
			WIOSENNY		JESIENNY
POPZEDNI SEZON			WIOSENNY		JESIENNY
			WIOSENNY		JESIENNY
			WIOSENNY		JESIENNY
2 LATA TEMU			WIOSENNY		JESIENNY
			WIOSENNY		JESIENNY
			WIOSENNY		JESIENNY