

Załącznik 3

dr inż. Marta Stankiewicz-Kosyl

Katedra Ochrony Roślin  
Instytut Nauk Ogrodniczych  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 166  
02-787 Warszawa

### **AUTOREFERAT**

### **W POSTĘPOWANIU HABILITACYJNYM W DZIEDZINIE NAUK ROLNICZYCH W DYSCYPLINIE ROLNICTWO I OGRODNICTWO**

Warszawa, 2024 r.



**1. Imię i nazwisko:**

**dr inż. Marta Stankiewicz-Kosyl**

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.**

**1998 r. – dyplom magistra inżyniera:** Wydział Ogrodniczy, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, kierunek Ogrodnictwo.

**Tytuł pracy magisterskiej:** Analiza na poziomie molekularnym – techniką RAPD – rozprzestrzeniania się odpornych na herbicydy biotypów psianki czarnej (*Solanum nigrum* L.)

Promotor: prof. dr hab. Stanisław Gawroński

**2002 r. – stopień doktora nauk rolniczych w zakresie ogrodnictwa** - Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

**Tytuł rozprawy doktorskiej:** Identyfikacja markerów molekularnych genów odporności jabłoni na *Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salm.

Promotor: prof. dr hab. Stanisław Gawroński

Recenzenci: prof. dr hab. Stefan Malepszy

prof. dr hab. Edward Żurawicz

**3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.**

**1.10.1998 – 23.10.2002: Studia Doktoranckie** na Wydziale Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu SGGW w Warszawie

**15.12.2002 – obecnie\*:** adiunkt w Katedrze Sadownictwa i Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa Wydziału Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu SGGW w Warszawie, z której w 2006 r. wydzielił się w Samodzielny Zakład Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa, a który w 2019 r. jako Zakład Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa został włączony do Katedry Ochrony Roślin w Instytucie Nauk Ogrodniczych SGGW w Warszawie

\* Urlop macierzyński: 24.04.2004 – 15.08.2004, 28.08.2007 – 14.01.2008, 25.12.2009 – 27.05.2010

Urlop wychowawczy: 11.10.2004 – 30.12.2004, 4.04.2008 – 28.02.2009, 2.09.2010 – 31.08.2011

**4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.**

4.1. Osiągnięcie naukowe będące cyklem powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod tytułem:

**Wybrane aspekty zjawiska odporności na herbicydy uciążliwych gatunków chwastów segetalnych oraz możliwości jego ograniczania**

**W skład cyklu wchodzi następujące publikacje (P) (wymienione w kolejności chronologicznej)**

**P1. Stankiewicz-Kosyl, M.,** Wrochna, M., & Tołłoczko, M. (2020). Increase in resistance to sulfonylurea herbicides in *Alopecurus myosuroides* populations in north-eastern Poland. *Zemdirbyste-Agriculture*, 107(3), 249–254. DOI:10.13080/z-a.2020.107.032

IF<sub>2020</sub> = 1,083, MNiSW<sub>2020</sub> = 40 pkt

Mój indywidualny wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji i założeń pracy, postawieniu hipotezy badawczej, przeglądzie literatury, wyborze metod badawczych, współuczestnictwie w wykonaniu doświadczeń dotyczących oceny wybranych parametrów morfologicznych, wydajności aparatu fotosyntetycznego badanych populacji wyczyńca polnego i skuteczności chwastobójczej badanego herbicydu. Ponadto nadzorowałam pracę oraz współuczestniczyłam w analizach molekularnych w celu identyfikacji mutacji warunkujących odporność wyczyńca polnego na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Dokonałam syntezy danych i zinterpretowałam wyniki wyciągając odpowiednie wnioski z badań. Uczestniczyłam w graficznym przedstawieniu wyników oraz brałam udział w przygotowaniu manuskryptu. Jako **autor korespondencyjny** po otrzymaniu recenzji opracowałam odpowiedzi na uwagi recenzentów i przygotowałam ostateczną wersję publikacji do druku.

**P2. 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(10), 1954. DOI:10.3390/agronomy11101954

IF<sub>2021</sub> = 3,949, MNiSW<sub>2021</sub> = 100 pkt

Mój indywidualny wkład w powstanie pracy polegał na opracowaniu koncepcji manuskryptu i koordynowaniu prac współautorów z 9 jednostek naukowych i 3 firm fitofarmaceutycznych oraz wykonaniu części testów biologicznych określających poziom odporności badanych populacji chabry bławatka na wybrane herbicydy. Ponadto przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, uczestniczyłam w graficznym ich przedstawieniu oraz brałam udział w przygotowaniu manuskryptu. Jako **autor korespondencyjny** uczestniczyłam w opracowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów i przygotowaniu wersji publikacji do druku.

Przeprowadzone badania wynikały z mojej działalności naukowej w projekcie BioHerOd\*, umowa nr BIOSTRATEG3/347445/1/NCBR/2017, współfinansowanego przez NCBR.

**P3. Stankiewicz-Kosyl, M.,** Haliniarz, M., Wrochna, M., Obrępańska-Stęplowska, A., Kuc, P., Łukasz, J., Wińska-Krysiak M., Wrzeńska-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(1), 82. DOI:10.3390/agriculture13010082

IF<sub>2023</sub> = 3,3, MNiSW<sub>2023</sub> = 140 pkt

Mój indywidualny wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji manuskryptu i koordynowaniu prac współautorów z 9 jednostek naukowych i firmy fitofarmaceutycznej, opracowaniu koncepcji badań i założeń metodycznych analiz molekularnych, przeprowadzeniu

części testów biologicznych określających poziom odporności badanych populacji maku polnego na wybrane herbicydy, opracowaniu starterów do powielenia obszaru międzydomenowego genu syntazy acetylmleczanowej u maku polnego, wykonaniu analiz molekularnych większości badanych populacji w celu identyfikacji mutacji warunkujących odporność maku polnego na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Ponadto przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, uczestniczyłam w graficznym ich przedstawieniu oraz brałam udział w przygotowaniu manuskryptu. Jako **autor korespondencyjny** uczestniczyłam w ustosunkowaniu się do uwag recenzentów i przygotowaniu wersji publikacji do druku.

Przeprowadzone badania wynikały z mojej działalności naukowej w ramach projektu BioHerOd\*, umowa nr BIOSTRATEG3/347445/1/NCBR/2017, współfinansowanego przez NCBR.

**P4.** Wrochna, M., **Stankiewicz-Kosyl, M.**, & Wińska-Krysiak, M. (2023). Stimulation of early post-emergence growth of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* following spray application of ACCase inhibitors. *Agriculture*, 13(2), 483. DOI:10.3390/agriculture13020483

IF<sub>2023</sub> = 3,3, MNiSW<sub>2023</sub> = 140 pkt

Mój indywidualny wkład w powstanie pracy polegał na: współudziale w opracowaniu koncepcji i założeń pracy, postawieniu hipotezy badawczej, przeglądzie literatury, wyborze metod badawczych. Ponadto współuczestniczyłam w wykonaniu doświadczeń dotyczących skuteczności chwastobójczej herbicydów, syntezie danych i interpretacji wyników oraz sformułowaniu na ich podstawie odpowiednich wniosków. Brałam także udział w przygotowaniu manuskryptu. Jako **autor korespondencyjny** po otrzymaniu recenzji uczestniczyłam w opracowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów i przygotowaniu ostatecznej wersji publikacji do druku.

Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu BioHerOd\*, umowa nr BIOSTRATEG3/347445/1/NCBR/2017, współfinansowanego przez NCBR.

**P5.** **Stankiewicz-Kosyl, M.**, & Haliniarz, M. (2023). Diversified germination strategies of *Centaurea cyanus* populations resistant to ALS inhibitors. *Plant Protection Science*, 59(4), 379-388. DOI:10.17221/62/2023-PPS

IF<sub>2023</sub> = 1,7, MNiSW<sub>2023</sub> = 100 pkt

Mój indywidualny wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji badań i założeń metodycznych, udziale w prowadzeniu doświadczeń oceniających kiełkowanie oraz reakcję na herbicydy badanych populacji chabra bławatka w zależności od terminu wschodów, interpretacji uzyskanych wyników oraz udziale w przygotowaniu manuskryptu. Ponadto uczestniczyłam w ustosunkowaniu się do uwag recenzentów i przygotowaniu wersji publikacji do druku.

Przeprowadzone badania wynikały z mojej działalności naukowej w ramach stażu naukowego w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie.

**P6. Stankiewicz-Kosyl, M.,** Wińska-Krysiak, M., Wrochna, M., Haliniarz, M., & Marcinkowska, K. (2024). Regional diversity of the ALS gene and hormesis due to tribenuron-methyl in *Centaurea cyanus* L. *Scientific Reports*, 14(1), 25197. DOI:10.1038/s41598-024-76345-6

IF<sub>2023</sub> = 3,8, MNiSW<sub>2024</sub> = 140 pkt

Mój indywidualny wkład w powstanie pracy polegał na: opracowaniu koncepcji manuskryptu i koordynowaniu prac współautorów z trzech jednostek badawczych, postawieniu hipotezy badawczej, opracowaniu koncepcji badań i założeń metodycznych analiz molekularnych, przeprowadzeniu części testów biologicznych określających poziom odporności badanych populacji chabra bławatka na wybrane herbicydy, opracowaniu starterów do powielenia genu syntazy acetylomleczanowej u chabra bławatka, wykonaniu analiz molekularnych części badanych populacji w celu identyfikacji mutacji warunkujących odporność chabra bławatka na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Ponadto przeprowadziłam analizę i interpretację wyników, uczestniczyłam w graficznym ich przedstawieniu oraz brałam udział w przygotowaniu manuskryptu. Jako **autor korespondencyjny** uczestniczyłam w ustosunkowaniu się do uwag recenzentów i przygotowaniu wersji publikacji do druku.

Przeprowadzone badania wynikały z mojej działalności naukowej w ramach projektu BioHerOd\*, umowa nr BIOSTRATEG3/347445/1/NCBR/2017, współfinansowanego przez NCBR.

Łączna liczba punktów za publikacje wskazane do osiągnięcia habilitacyjnego wynosi **660** (zgodnie z punktacją obowiązującą dla roku publikacji). Sumaryczny IF tych publikacji wynosi **17,132**. Szczegółowe przedstawienie wskaźników naukometrycznych i cytowań przedstawiłam w Wykazie Osiągnięć (Załącznik 4, pkt. IV – Dane naukometryczne). **We wszystkich publikacjach jestem pierwszym autorem i/lub autorem korespondencyjnym.**

## **Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników**

### **Wstęp**

We współczesnym rolnictwie odporność chwastów na herbicydy stanowi poważne zagrożenie zarówno dla uzyskiwanych plonów roślin uprawnych, jak i dla bioróżnorodności terenów rolniczych (Arslan 2018, Peterson i in. 2018, Varah i in. 2024). Zjawisko to definiowane jest jako dziedziczna zdolność rośliny do przeżycia i reprodukcji po zastosowaniu dawki herbicydu, która zwykle powoduje jej zniszczenie (Weed Science Society of America Terminology Committee 1998). Obecnie regulacja zachwaszczenia w produkcji roślinnej opiera się w dużej mierze na metodzie chemicznej, co przy niewłaściwym stosowaniu herbicydów i ograniczaniu niechemicznych metod zwalczania chwastów prowadzi do selekcionowania biotypów chwastów odpornych na herbicydy. Grupą herbicydów, na którą zidentyfikowano najwięcej biotypów chwastów odpornych, są inhibitory syntazy acetylomleczanowej (ALS). Wśród pięciu grup, na które odnotowano najwięcej doniesień o biotypach odpornych, znajdują się także inhibitory acetylokoenzymu A (ACCazy) oraz syntetyczne auksyny (Heap 2024).

Herbicydy z grupy inhibitorów ALS, zgodnie z klasyfikacją Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) należą do grupy 2 i hamują aktywność syntazy acetylomleczanowej, enzymu

biorącego udział w syntezie aminokwasów izoleucyny, leucyny i waliny. Zostały wprowadzone na rynek w latach 80-tych XX wieku i szybko zyskały popularność m.in. dzięki szerokiemu spektrum zwalczanych gatunków chwastów, niskiej dawce substancji aktywnej wykazującej działanie chwastobójcze i niskiej szkodliwości dla ssaków (Zhou i in. 2007). Herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy trafiły na rynek w latach 70-tych XX wieku. Należą do grupy HRAC 1, ich działanie polega na hamowaniu karboksylazy acetylokoenzymu A, enzymu uczestniczącego w syntezie lipidów. Używane są do zwalczania chwastów z rodziny wiechlinowatych, gdyż występuje u nich forma ACCazy wrażliwa na tę grupę herbicydów (Kaundun 2014). Herbicydy z grupy syntetycznych auksyn należą do najstarszych. Stosuje się je do zwalczania chwastów, głównie dwuliściennych, już od lat 40-tych XX wieku. Syntetyczne auksyny wykazują działanie podobne do naturalnych endogennych auksyn. Podawane są jednak w herbicydach w znacznie większych ilościach niż endogenne auksyny występujące w roślinach, co powoduje zaburzenia w funkcjonowaniu i śmierć roślin (Grossmann 2010). Inhibitory ALS i ACCazy hamują działanie jednego enzymu, natomiast syntetyczne auksyny, podobnie jak endogenne auksyny, działają na wiele różnych procesów w roślinie. Mimo iż syntetyczne auksyny są grupą herbicydów najdłużej stosowaną do zwalczania chwastów, ich wielotorowe działanie spowodowało, że wśród opisanych powyżej są grupą na którą uodporniło się najmniej chwastów (Busi i in. 2018).

Mechanizmy odporności chwastów na herbicydy są podzielone na dwie grupy: odporność w miejscu działania (ang. *target-site resistance* – TSR) i odporność poza miejscem działania (ang. *nontarget-site resistance* – NTSR). Mechanizm NTSR polega na zmniejszeniu ilości substancji aktywnej herbicydu, która może wejść w interakcję z białkiem będącym celem herbicydu. Obejmuje on redukcję wnikania herbicydu do rośliny i jego przemieszczania, stymulację sekwestracji i/lub wzmożoną degradację herbicydu. Mechanizm TSR najczęściej wynika z mutacji w genie kodującym białko będące celem herbicydu. Zmiany w sekwencji genu przekładają się na zmianę sekwencji aminokwasowej białka, co może powodować brak lub słabsze wiązanie się herbicydu z białkiem docelowym i uniemożliwia zablokowanie działania białka. Odporność w miejscu działania może też być efektem duplikacji lub wzmożonej ekspresji genu kodującego białko będące celem herbicydu. Wskutek duplikacji lub wzmożonej ekspresji genu potrzeba więcej herbicydu do zablokowania działania białka docelowego (Gaines i in. 2020). W genie kodującym syntazę acetylmleczanową jako odpowiedzialne za odporność na inhibitory ALS i pojawiające się w warunkach naturalnych zidentyfikowano mutacje w kodonach: Ala122, Pro197, Ala205, Phe206, Asp376, Arg377, Trp574, Ser653 i Gly654 (Gaines i in. 2020, Li i in. 2022, Heap 2024). Genetyczne podłoże odporności poza miejscem działania nie zostało jak dotąd tak dobrze poznane jak w przypadku odporności w miejscu działania i warunkujących ją mutacji w genie ALS. Odporność poza miejscem działania jest zwykle wielogenowa, tak więc poznanie jej przyczyn jest trudniejsze i bardziej pracochłonne, wymaga wprowadzenia narzędzi i technologii z zakresu genomiki i transkryptomiki. Jednymi z ważniejszych z punktu widzenia odporności poza miejscem działania są rodziny genów kodujących monooksygenazy cytochromu P450 i S-transferazy glutationu, a tylko w obrębie rodziny P450 genów u danego gatunku rośliny jest kilkadziesiąt (Gaines i in. 2020).

Duże zagrożenie dla upraw rolniczych stanowi występowanie chwastów segetalnych, takich jak wyczyniec polny (*Alopecurus myosuroides* Huds.), miotła zbożowa (*Apera spica-venti* L.), mak polny (*Papaver rhoeas* L.) i chaber bławatek (*Centaurea cyanus* L.). Gatunki te należą do chwastów intensywnie konkurujących z roślinami uprawnymi (A10, Synowiec i in. 2021, Wacławowicz i in. 2022, Wenda-Piesik i in. 2022).

Wyczyniec polny jest jednorocznym gatunkiem z rodziny Poaceae spotykanym w ponad 60 krajach na świecie. Chwast ten produkuje duże ilości nasion wschodzących głównie jesienią, odznacza się dużą plastycznością w odpowiedzi na stresy abiotyczne, jest jednym z gatunków chwastów bardzo trudnych do zwalczania. W związku ze zwiększaniem się udziału roślin ozimych w strukturze zasiewów oraz tworzeniem populacji odpornych na herbicydy jego znaczenie jako chwastu znacząco wzrosło (Hull i in. 2014). Pierwszy na świecie biotyp tego gatunku odporny na herbicydy zaobserwowano w Wielkiej Brytanii w 1982 roku, charakteryzował się odpornością na chlorotoluron i izoproturon, substancje aktywne z grupy inhibitorów fotosystemu II (Moss i Cussans 1985). Gatunek ten w wielu krajach na świecie wytworzył populacje uodpornione na herbicydy, m.in. na inhibitory ACCazy i ALS (Menchari in. 2008, Keshtkar i in. 2015, Peterson i in. 2018, Li i in. 2022, Heap 2024). W Polsce pierwszy biotyp wyczynca polnego odporny na herbicydy z grupy inhibitorów ALS zidentyfikowano w województwie opolskim (Krysiak i in. 2011b). W 2016 roku Adamczewski i in. (2016) opisali występowanie kolejnych kilkunastu populacji tego gatunku odpornych na inhibitory ALS oraz ACCazy w południowo-zachodniej, zachodniej i północnej części naszego kraju.

Miotła zbożowa, podobnie jak wyczyniec polny, należy do jednorocznych chwastów jednoliściennych z rodziny wiechlinowatych. Gatunek ten występuje przede wszystkim w Europie Środkowej, Wschodniej i Północnej (Kremer i Bell 2019). Jest trawą ozimą lub jarą, będącą uporczywym chwastem szczególnie w uprawach ozimych, ale spotykaną także w jarych (Adamczewski i Matysiak 2009). W sprzyjających jej warunkach potrafi obniżyć plon nawet o 30% (Melander 1993). Charakteryzuje się dużą zmiennością i plastycznością w odpowiedzi na niekorzystne warunki środowiska, co m.in. pozwoliło na wytworzenie wielu biotypów odpornych na herbicydy w różnych krajach Europy (Babineau i in. 2017, Peterson i in. 2018, Heap 2024). Najwięcej populacji odpornych tego gatunku stwierdzono na inhibitory ALS (Peterson i in. 2018). Pierwsze doniesienie o biotypie miotły zbożowej odpornej na herbicydy w Polsce pochodzi z 2002 roku (Rola i Marczevska 2002). Był to biotyp odporny na chlorsulfuron, substancję aktywną należącą do inhibitorów ALS. Wkrótce pojawiły się kolejne sygnały z różnych stron kraju o populacjach odpornych na inne substancje z tej grupy oraz na inne grupy herbicydów, w tym inhibitory ACCazy (Adamczewski i Kierzek 2007, Krysiak i in. 2011a, **A17**, Adamczewski i in. 2019).

Mak polny jest przedstawicielem grupy chwastów dwuliściennych z rodziny Papaveraceae. Jest powszechny w wielu krajach Europy, szczególnie w części centralnej i południowej, występuje także w innych rejonach świata. Najczęściej powoduje straty w plonie pszenicy ozimej, chociaż notowany jest także jako chwast w innych zbożach ozimych, rzepaku ozimym, a także w roślinach jarych (Mitich 2000, Torra i in. 2008, **A10**). Jest gatunkiem bardzo płodnym, jedna roślina maku polnego w łanie rośliny uprawnej potrafi wytworzyć 10 000 – 20 000 nasion, a nasiona tego gatunku przez wiele lat potrafią zachować żywotność w glebie (Holm i in. 1997). Populacje maku polnego odporne na inhibitory ALS i syntetyczne auksyny w warunkach europejskich sprawiają duże problemy w rejonie Morza Śródziemnego (Kaloumenos i in. 2009, Delye et al. 2011, Rey-Caballero i in. 2017, Torra i in. 2017, Koreki i in. 2024). W Polsce pierwszy przypadek odporności maku na herbicydy opisano w 2014 roku, był to biotyp odporny na tribenuron-metylu, substancję aktywną z grupy inhibitorów ALS (Adamczewski i in. 2014).

Chaber bławatek jest gatunkiem szczególnie interesującym. Chwast ten należy do roślin dwuliściennych, rodziny Asteraceae. Kielkuje głównie na jesieni i zachwaszcza przede wszystkim uprawy ozime zbóż i rzepaku, choć bywa także spotykany w zbożach jarych,



roślinach okopowych i warzywach (Haliniarz i Kapeluszy 2006, Jursik 2009, Májeková i in. 2019). W Europie Zachodniej jest obecnie stosunkowo rzadki (Petit i in. 2015, EHRAC 2023), jednak w Europie Środkowej i Wschodniej występuje częściej i w niektórych rejonach bywa uciążliwym chwastem (Májeková i in. 2019, **A10**, Gudžinskas 2022, EHRAC 2023, Mayerová i in. 2023), choć jak dotąd populacje tego gatunku odporne na herbicydy zostały opisane tylko w Polsce (Rola i Marczewska 2002, Adamczewski i Kierzek 2010, **P2, P6**, Heap 2024). Chaber bławatek wytworzył głównie populacje odporne na inhibitory ALS, choć notuje się pojedyncze populacje odporne na syntetyczne auksyny. W 2012 roku prof. dr hab. K. Adamczewski zgłosił do International Herbicide-Resistant Weed Database pierwszą w Polsce populację chabra bławatka odporną na dikambę, należącą do syntetycznych auksyn (Heap 2024). Jak pokazują badania Palma-Bautista i in. (2023) prowadzone na roślinach z rodzaju *Centaurea* pochodzących z Półwyspu Iberyjskiego, chaber bławatek może mieć wrodzoną tolerancję na tribenuron metylu oraz inne substancje aktywne należące do inhibitorów ALS wynikającą z metabolizowania substancji aktywnej herbicydu.

Uodpornienie się chwastów na herbicydy może powodować nie tylko brak skutecznego ich zwalczania za pomocą herbicydu, ale także stymulację wzrostu osobników odpornych, co może przekładać się na zwiększenie ich sukcesu reprodukcyjnego. Hormeza przejawiająca się stymulacją akumulacji biomasy roślin po traktowaniu herbicydem była opisywana w literaturze naukowej. Może mieć ona różny poziom, od akumulacji biomasy wyższej o kilka do nawet 150% w porównaniu do nietraktowanej kontroli (Belgers i in. 2007, Pflieger i in. 2012, Belz i Duke 2014, Belz i in. 2022). Do roku 2023, w którym opublikowano wyniki dowodzące stymulacji wzrostu indukowanej herbicydami u miotły zbożowej i chabra bławatka (**P4 – P6**), hormeza herbicydowa u tych gatunków chwastów nie była opisywana. W przypadku wyczyńca polnego stwierdzono hormezę po zastosowaniu fenoksaprofu-P etylu, kłodinafopu i cykloksydymu (Beltz i in. 2018), ale dopiero w roku 2023 wykazano stymulujący wpływ pinoksadenu na ten gatunek chwastu (**P4**).

Opracowanie strategii zapobiegania odporności chwastów na herbicydy oraz zwalczania biotypów odpornych wymaga identyfikacji populacji odpornych, poznania ich biologii, a także mechanizmu warunkującego odporność na herbicydy. Częstość stosowania herbicydu, rotacja mechanizmów działania substancji aktywnych, niechemiczne metody ograniczania zachwaszczenia, takie jak rodzaj uprawy gleby, płodozmian, termin siewu rośliny uprawnej są wymieniane jako czynniki modyfikujące prawdopodobieństwo wyselekcjonowania populacji odpornych na herbicydy. Jednak rola każdego z tych czynników bywa specyficzna gatunkowo (Moss i in. 2019). Powstrzymanie narastania zjawiska odporności na herbicydy jest możliwe tylko w przypadku holistycznej strategii zwalczania chwastów obejmującej różne metody (Beckie i in. 2021).

## **Cel i zakres badań**

Celem moich badań było poznanie wybranych aspektów zjawiska odporności chwastów na herbicydy w Polsce oraz możliwości jego ograniczania. Jako obiekt moich badań wybrałam cztery gatunki uciążliwych chwastów segetalnych: wyczyńca polnego, miotłę zbożową, mak polny i chabra bławatka.

Cel główny zrealizowano poprzez cztery szczegółowe:

1. Identyfikacja populacji wyczyńca polnego, miotły zbożowej, chabra bławatka i maku polnego odpornych na herbicydy w Polsce.
2. Identyfikacja mutacji w genie syntazy acetylomleczanowej jako jednego z mechanizmów odporności na herbicydy z grupy inhibitorów ALS wyczyńca polnego, chabra bławatka i maku polnego.
3. Ocena stymulującego wpływu herbicydów na początkowy wzrost roślin wyczyńca polnego, miotły zbożowej i chabra bławatka odpornych na herbicydy.
4. Ocena wpływu wybranych aspektów biologii chabra bławatka, elementów agrotechniki i doboru herbicydów na występowanie odporności i możliwości zwalczania tego gatunku.

### **Hipotezy badawcze**

W pracy postawiono następujące hipotezy badawcze:

**H1.** W Polsce występują populacje wyczyńca polnego, miotły zbożowej, chabra bławatka i maku polnego odporne na herbicydy. Zjawisko odporności tych gatunków chwastów na herbicydy dotyczy herbicydów z grupy inhibitorów ALS, inhibitorów ACCazy i syntetycznych auksyn.

**H2.** W populacjach wyczyńca polnego, maku polnego i chabra bławatka odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS są osobniki z mutacją lub mutacjami w genie syntazy acetylomleczanowej odpowiedzialnymi za odporność w miejscu działania.

**H3.** Herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy mogą stymulować początkowy wzrost wyczyńca polnego i miotły zbożowej, natomiast herbicydy z grupy inhibitorów ALS mogą wywierać taki wpływ na chabra bławatka. Efekt stymulujący odporne na herbicydy populacje chwastów mogą mieć zarówno dawki niższe jak i wyższe niż rekomendowana według etykiety rejestracyjnej preparatu.

**H4.** Biologia kiełkowania chabra bławatka, stosowany płodozmian, system uprawy roli oraz dobór herbicydów mogą wpływać na prawdopodobieństwo wyselekcjonowania i możliwości zwalczania populacji odpornych tego gatunku.

### **Omówienie osiągnięć w ramach założonych celów**

#### **Cel 1. Identyfikacja populacji wyczyńca polnego, miotły zbożowej, chabra bławatka i maku polnego odpornych na herbicydy w Polsce (P1, P2, P3, P4, P6)**

W prowadzonych przeze mnie badaniach skupiłam się na dwóch gatunkach uciążliwych chwastów jednoliściennych: wyczyńcu polnym i miotle zbożowej oraz dwóch gatunkach dwuliściennych: chabrze bławatku i maku polnym. Zajmowałam się identyfikacją populacji odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS, inhibitorów ACCazy oraz syntetycznych auksyn.

Na skutek sygnałów od rolników i przedstawicieli firm fitofarmaceutycznych o niesatysfakcjonującej skuteczności zabiegów herbicydowych poddano badaniom cztery populacje wyczyńca polnego pochodzące z województwa warmińsko-mazurskiego z nasion zebranych w 2016 roku. Stwierdzono ich odporność na herbicydy z grupy inhibitorów ALS na podstawie zmniejszenia akumulacji suchej masy części nadziemnej i ogólnej kondycji roślin

traktowanych rekomendowaną oraz podwójną dawką preparatu Atlantis 12 OD zawierającego mieszaninę jodosulfuronu metylosodowego i mezosulfuronu metylowego naniesioną na rośliny wyczyńca w fazie BBCH 12–13. Akumulację suchej masy części nadziemnej oraz ogólną kondycję roślin analizowano w porównaniu do nietraktowanej kontroli oraz populacji wrażliwej na inhibitory ALS. Uzyskane wyniki były prezentowane podczas konferencji naukowej (**K15**) oraz zostały opublikowane w **P1**. Województwo warmińsko-mazurskie jest regionem, w którym odporność wyczyńca polnego jest problemem sygnalizowanym również przez Adamczewskiego i in. (2016, 2019).

Kolejnym gatunkiem, który znalazł się w obszarze moich zainteresowań badawczych dotyczących identyfikacji populacji odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS i syntetycznych auksyn, jest chaber bławatek. Badania były prowadzone w ramach projektu BIOSTRATEG3/347445/NCBR/2017 (akronim: BioHerOd). Nasiona 159 populacji chabra bławatka podejrzanych o odporność na herbicydy zebrano w latach 2017–2020 z pól uprawnych w różnych rejonach Polski. Badania przeprowadzono przy użyciu dwóch preparatów należących do inhibitorów ALS (zawierających tribenuron metylu i florasulam) oraz dwóch preparatów z grupy analogów hormonów roślinnych (mających w składzie 2,4-D i dikambę). Populacje poddano testom biologicznym polegającym na traktowaniu siedmioma dawkami (od 0,5 do 32 N, gdzie N jest dawką rekomendowaną według etykiety preparatu) każdego z czterech herbicydów. W badaniach uwzględniono obiekt kontrolny opryskany wodą destylowaną dla każdej populacji oraz populacje wrażliwe na herbicydy z obu grup. Uzyskanie zniszczenia roślin z populacji wrażliwych stanowiło kontrolę prawidłowości wykonania zabiegu herbicydowego. Przy użyciu analizy regresji świeżej masy części nadziemnej badanych roślin obliczono dawkę ED<sub>50</sub>, czyli dawkę powodującą 50% redukcji biomasy u roślin traktowanych herbicydem, zarówno dla populacji odpornych (R) jak i wrażliwych (S). Dla populacji odpornych obliczono indeks odporności wyrażający się stosunkiem ED<sub>50R</sub>/ED<sub>50S</sub>, a na bazie jego wartości, po zmodyfikowaniu skali Beckie i Tardiff (2012) dla potrzeb niniejszych badań, przypisano populacje do klas odporności r – obniżona wrażliwość (2–2,9), R – niska odporność (3–5), RR – średnia odporność (6–10), RRR – wysoka odporność (11–71,4), RRRR – bardzo wysoka odporność (>71,4). Zidentyfikowano 83 populacje chabra bławatka odporne na co najmniej jedną testowaną substancję aktywną, w tym 47 populacji z odpornością krzyżową jednocześnie na tribenuron i florasulam, 28 i 8 populacji z odpornością pojedynczą, odpowiednio na tribenuron i florasulam. Większość populacji określonych jako odporne na inhibitory ALS charakteryzowała się wysoką i bardzo wysoką odpornością na co najmniej jedną testowaną substancję z tej grupy. Najwięcej takich populacji stwierdzono w województwie warmińsko-mazurskim. Wiele populacji odpornych zidentyfikowano także w województwie lubelskim, dolnośląskim i zachodniopomorskim. Szczególnie niebezpiecznym zjawiskiem, które zaobserwowano, było pojawienie się trzech populacji chabra bławatka o odporności wielokrotnej na inhibitory ALS i syntetyczne auksyny. Uzyskane wyniki dotyczące odporności chabra bławatka na inhibitory ALS i syntetyczne auksyny zostały opublikowane w **P2** oraz były prezentowane podczas konferencji naukowej (**K23**).

Część moich badań w zakresie identyfikacji populacji chabra bławatka odpornych na herbicydy dotyczyła tylko tribenuronu metylu. Nasiona populacji chabra bławatka podejrzanych o odporność na tę substancję aktywną zebrano w latach 2017–2021 z pól uprawnych w różnych rejonach Polski. W latach 2018–2022 populacje poddano testom biologicznym polegającym na traktowaniu roślin siedmioma dawkami herbicydu (od 0,5 do 32 N) zawierającego tribenuron metylu. Metodyka zbioru prób nasion, testów biologicznych oraz obliczania dawki ED<sub>50</sub> była

taka sama jak w **P2**. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono odporność na tribenuron metylu u kolejnych 11 populacji chabra bławatka. Wszystkie pięć populacji pochodzących z województwa warmińsko-mazurskiego charakteryzowało się wysoką odpornością na testowaną substancję aktywną osiągając wartość ED<sub>50</sub> powyżej 13-krotności dawki tribenuronu metylu zalecanej według etykiety rejestracyjnej. Dwie populacje zebrano w województwie podlaskim, a ich odporność kształtowała się na wysokim i średnim poziomie. Niskim poziomem odporności na tribenuron metylu odznaczały się trzy populacje z województwa lubelskiego i jedna ze świętokrzyskiego, ich ED<sub>50</sub> było 1,1–1,88 razy wyższe niż zalecana dawka tej substancji aktywnej zarejestrowana do odchwaszczania w warunkach polowych. Uzyskane wyniki dotyczące odporności chabra bławatka na inhibitory ALS i syntetyczne auksyny zostały opublikowane w **P6**.

Wyniki badań nad populacjami chabra bławatka odpornymi na herbicydy wskazują, że problem odporności tego gatunku chwastu w Polsce nasila się. Pierwszy przypadek chabra bławatka odpornego na herbicydy z grupy HRAC 2 pochodzi z roku 2006 z południowo-zachodniej Polski. Marczewska i Rola (2006) opisali biotyp odporny na chlorsulfuron. Adamczewski i Kierzek (2010) wskazali kolejny przypadek identyfikując biotyp tego gatunku zebrany w północno-wschodniej Polsce, odporny na chlorsulfuron i tribenuron metylu. Herbicydy z grupy inhibitorów ALS pełnią kluczową rolę w zwalczaniu chemicznym chabra bławatka w uprawach zbóż ozimych i rzepaku ozimego (**A10**), tak więc odporność chwastów na te herbicydy jest dużym problemem zarówno w Polsce, jak i w innych krajach (Peterson i in. 2018). Jak pokazały badania Adamczewskiego i in. (2019) oraz opisane w **P2** i **P6** szczególne nasilenie problemu odporności chabra bławatka na herbicydy z grupy inhibitorów ALS ma miejsce w województwie warmińsko-mazurskim. Jest to prawdopodobnie spowodowane faktem, że według badań ankietowych w tym regionie stosowano więcej herbicydów niż w innych województwach (**P2**). Ponadto średnia wielkość powierzchni gruntów ornych gospodarstwa rolnego w tym województwie jest ponad dwa razy większa niż wynosi średnia dla Polski (Dziennik Urzędowy Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi 2023). Oprócz odporności na inhibitory ALS na świecie odnotowano także ponad 40 gatunków chwastów z odpornością na syntetyczne auksyny (Heap 2024). W bazie The International Herbicide-Resistant Weed Database prowadzonej przez Heap znajduje się jeden biotyp chabra bławatka z północno-wschodniej Polski odporny na dikambę zgłoszony w roku 2012 przez prof. dr hab. K. Adamczewskiego. Jak dotąd odporność chabra bławatka na herbicydy opisano jedynie w Polsce, jednak w ostatnich latach w krajach ościennych obserwuje się nasilenie problemu ze zwalczaniem tego gatunku chwastu (EHRAC 2023, Gudžinskas 2022, Májeková i in. 2019, Mayerová i in. 2023).

W badaniach nad makiem polnym w ramach projektu BIOSTRATEG3/347445/NCBR/2017 w latach 2017–2020 z pól uprawnych w różnych rejonach Polski zebrano nasiona 157 populacji maku polnego podejrzanych o odporność na herbicydy. Próby pochodziły z gospodarstw, w których rolnicy sygnalizowali problemy ze zwalczaniem tego gatunku chwastu. W latach 2018–2020 populacje poddano testom biologicznym polegającym na traktowaniu roślin siedmioma dawkami każdego z trzech herbicydów należących do inhibitorów ALS (zawierających tribenuron metylu, florasulam i jodosulfuron metylosodowy). W badaniach uwzględniono nietraktowaną kontrolę dla każdej populacji oraz populacje wrażliwe na herbicydy z obu grup. Przy użyciu analizy regresji świeżej masy części nadziemnej badanych roślin obliczono dawkę ED<sub>50</sub> dla populacji odpornych i wrażliwych oraz indeks odporności dla populacji odpornych. Na podstawie skali Beckie i Tardiff (2012) zmodyfikowanej dla potrzeb niniejszych badań przypisano populacje do klas odporności r – obniżona wrażliwość (2–2,9), R – niska odporność

(3–4,9), RR – średnia odporność (5–9,9), RRR – wysoka odporność (10–68,1), RRRR – bardzo wysoka odporność (>68,1). Opisane powyżej badania pozwoliły na identyfikację 14 populacji maku polnego odpornych na testowane substancje aktywne z grupy inhibitorów ALS w województwach lubelskim, dolnośląskim, świętokrzyskim, warmińsko-mazurskim i wielkopolskim. Osiem z nich wykazało odporność krzyżową na tribenuron i jodosulfuron, trzy populacje charakteryzowały się pojedynczą odpornością na tribenuron, a jedna na jodosulfuron. W jednej populacji ze świętokrzyskiego stwierdzono obniżoną wrażliwość na florasulam, natomiast w jednej populacji z lubelskiego odporność krzyżową na wszystkie trzy testowane substancje aktywne. Po raz pierwszy w Polsce biotyp maku polnego z odpornością na tribenuron metylu został opisany przez Adamczewskiego i in. (2014). Niniejsze wyniki wskazują na nasilanie się odporności maku polnego na herbicydy z grupy inhibitorów ALS w naszym kraju. Warto zauważyć, że ED<sub>50</sub> wielu populacji określonych jako wrażliwe na testowane substancje aktywne było bliskie połowy dawki rekomendowanej do zwalczania maku polnego. Jest to sygnał wskazujący na zagrożenie dalszym narastaniem problemu odporności na inhibitory ALS w Polsce również u tego gatunku. Konieczne są działania zaradcze, aby nie doprowadzić do nasilenia odporności maku polnego na herbicydy do rozmiarów obserwowanych w innych krajach Europy (Torra i in. 2011, Rey-Caballero i in. 2017, **A10**, Koreki et al. 2024). Uzyskane wyniki dotyczące odporności maku polnego na herbicydy z grupy inhibitorów ALS w Polsce zostały opublikowane w **P3**.

Badania nad identyfikacją populacji chwastów odpornych na herbicydy rozszerzyłam o kolejną grupę preparatów – inhibitory ACCazy. W ramach badań prowadzonych w projekcie BIOSTRATEG3/347445/NCBR/2017 oceniono reakcję siedmiu populacji wyczyńca polnego i trzech populacji miotły zbożowej na fenoksaprop-P etylu i pinoksaden. Nasiona zostały zebrane na polach pszenicy w Polsce centralnej (województwo mazowieckie) i północnej (województwo pomorskie i warmińsko-mazurskie). W fazie BBCH 12–13 rośliny z badanych populacji traktowano fenoksapropem-P etylu i pinoksadenem w pięciu dawkach (od połowy rekomendowanej do 8-krotnie wyższej dawki). Na podstawie analizy akumulacji świeżej masy części nadziemnej badanych populacji obliczono dawkę substancji aktywnej powodującą 50% redukcję masy. Wszystkie oceniane populacje wyczyńca polnego były odporne na obie substancje aktywne, w tym szczególnie wysoko na fenoksaprop-P etylu. W przypadku sześciu spośród siedmiu populacji wyczyńca polnego nawet najwyższa z zastosowanych dawek tej substancji nie redukowała akumulacji świeżej masy o połowę. Wszystkie trzy przebadane populacje miotły zbożowej określono jako odporne na fenoksaprop-P etylu, w tym jedna z nich wykazała wysoką odporność na obie substancje aktywne (**P4**). Zdaniem Adamczewskiego i in. (2019) odporność miotły zbożowej w Polsce na herbicydy z grupy inhibitorów ACCazy obserwowana jest znacznie rzadziej niż na inhibitory ALS, podczas gdy częstość notowanej odporności wyczyńca polnego na obie grupy herbicydów jest podobna.

Podsumowując, badania opisane powyżej pozwoliły na identyfikację w Polsce populacji odpornych na herbicydy w obrębie wszystkich czterech badanych gatunków chwastów. Zidentyfikowano cztery populacje wyczyńca polnego z odpornością na inhibitory ALS, a także siedem populacji wyczyńca i trzy miotły zbożowej z odpornością na inhibitory ACCazy. Prowadzone badania doprowadziły również do identyfikacji 94 populacji chabra bławatka odpornych na inhibitory ALS, w tym trzech populacji z odpornością wielokrotną, jednocześnie na inhibitory ALS i syntetyczne auksyny. Odporność wielokrotna na inhibitory ALS i syntetyczne auksyny jest szczególnie groźna dla produkcji roślinnej, gdyż są to dwie bardzo ważne grupy herbicydów do zwalczania wielu uporczywych gatunków chwastów. W Polsce w

porównaniu do chabry bławatka populacje maku polnego odporne na inhibitory ALS występują rzadziej – cechę tę stwierdzono jedynie w 14 populacjach tego gatunku. Trzeba podkreślić, że wartość obliczonego w wyniku prowadzonych badań parametru ED<sub>50</sub> dla wielu populacji maku polnego wrażliwych na tę grupę herbicydów była bliska połowy dawki rekomendowanej przez producenta. Na tej podstawie można prognozować, że problem odporności maku polnego na inhibitory ALS w Polsce będzie narastał.

## **Cel 2. Identyfikacja mutacji w genie syntazy acetylomleczanowej jako jednego z mechanizmów odporności na herbicydy z grupy inhibitorów ALS (P1, P3, P6)**

Pierwsze doniesienie o zidentyfikowaniu mutacji w genie ALS wyczyńca polnego z Polski pochodzi z roku 2011. Krysiak i in. (2011) opisali biotyp tego gatunku z województwa lubuskiego posiadający mutację Pro197His stwierdzoną u roślin odpornych na mieszaniny: jodosulfuron + mezosulfuron oraz jodosulfuron + amidosulfuron. Moje badania dotyczyły molekularnych podstaw odporności na inhibitory ALS czterech populacji tego gatunku z województwa warmińsko-mazurskiego zebranych w roku 2016. DNA wyizolowano z trzech roślin z każdej populacji. W przypadku populacji wrażliwej materiał roślinny do analiz pochodził z osobników opryskanych wodą destylowaną, natomiast do badań populacji odpornych pobrano próby z osobników, które przeżyły traktowanie preparatem Atlantis 12 OD (jodosulfuron + mezosulfuron). W badaniach populacji odpornych uwzględniono osobniki poddane działaniu rekomendowanej oraz podwójnej dawki herbicydu. Powielone fragmenty genu syntazy acetylomleczanowej zostały zsekwencjonowane przez firmę Genomed S.A. Uzyskane chromatogramy poddano analizie w programie FinchTV i ClustaW i na tej podstawie zidentyfikowano mutacje w domenie A i/lub B genu ALS. We wszystkich badanych populacjach odnotowano substytucje Pro197Thr (domena A) i/lub Trp574Leu (domena B) (**P1**). Mutacje tego typu były stwierdzane wcześniej u wyczyńca polnego w innych krajach (Heap 2024), jednak u tego gatunku w Polsce zostały odnotowane po raz pierwszy.

Nie we wszystkich osobnikach, które przeżyły traktowanie herbicydem, stwierdzono mutacje, jednak poziom odporności badanych populacji wyczyńca polnego był powiązany z ilością osobników z mutacją w danej populacji oraz z ilością mutacji przypadających na jednego osobnika. Najmniejszym ubytkiem suchej masy części nadziemnej po traktowaniu mieszaniną jodosulfuronu i mezosulfuronu charakteryzowała się populacja, w której wszystkie analizowane rośliny posiadały mutację w genie ALS, w tym 2/3 osobników miało stwierdzone obydwie mutacje Pro197Thr i Trp574Leu jednocześnie. Największy ubytek masy po zastosowaniu herbicydu odnotowano w populacji, w której zaobserwowano najmniej osobników z mutacją (**P1**). Podobną zależność opisano wcześniej dla odpornych na inhibitory ALS populacji *Descurainia sophia* (Deng i in. 2017).

Zidentyfikowanie mutacji Pro197Thr i Trp574Leu pozwoliło mi na stwierdzenie istnienia mechanizmu odporności typu TSR na herbicydy z grupy inhibitorów ALS w badanych populacjach wyczyńca polnego. Jednakże ze względu na fakt, że nie wszystkie osobniki, które przeżyły traktowanie herbicydem, posiadały mutację w genie ALS, można postawić hipotezę, że u tych roślin za odporność na inhibitory ALS może być odpowiedzialny mechanizm NTSR (**P1**). Podobna sytuacja była obserwowana u innych gatunków chwastów w badaniach własnych (**P3**, **P6**) oraz innych autorów (Delye i in. 2011, Keshkar i in. 2015, Rey-Caballero i in. 2017).

Badania związane z identyfikacją mutacji w genie ALS warunkujących odporność na herbicydy z grupy inhibitorów ALS prowadzone były także na maku polnym w ramach projektu BioHerOd.

Badaniom poddano osiem populacji odpornych i siedem wrażliwych na inhibitory ALS. DNA wyizolowano z trzech roślin z każdej populacji. W przypadku populacji wrażliwych materiał roślinny pochodził z osobników opryskanych wodą destylowaną, natomiast z populacji odpornych pobierano próby z osobników, które przeżyły traktowanie dawką 4N tribenuronu metylu, gdzie N oznaczało dawkę rekomendowaną według etykiety rejestracyjnej herbicydu. W jednej z populacji z województwa lubelskiego wzięto do badań również rośliny traktowane dawką 2N i 1N, gdyż nie było wystarczającej ilości osobników, które przeżyły dawkę 4N. W trzech populacjach odpornych (10303, 8727, 8961) w celu pogłębienia analizy poddano badaniom odpowiednio kolejne 12, 5 i 3 osobniki. Powielone fragmenty genu ALS zostały zsekwencjonowane i poddane analizie bioinformatycznej, w wyniku czego zidentyfikowano sześć substytucji w kodonie 197 genu ALS: Pro197Ala, Pro197Arg, Pro197His, Pro197Leu, Pro197Ser, Pro197Thr (**P3**). Jest to pierwsza analiza molekularna polskich populacji maku polnego z odpornością na tę grupę herbicydów. Wyniki są zgodne z uzyskanymi przez innych badaczy dla populacji tego gatunku w innych krajach europejskich (Heap 2024). W sześciu z ośmiu populacji odpornych wszystkie trzy osobniki posiadały mutację w kodonie 197, tak więc w tych populacjach stwierdzono odporność w miejscu działania. Populacje te pochodziły z województwa warmińsko-mazurskiego, lubelskiego, dolnośląskiego i wielkopolskiego. Populacja 8961 pochodząca z województwa warmińsko-mazurskiego była najbardziej zróżnicowana w kodonie 197, zidentyfikowano w niej 3 różne substytucje – Pro197Ala, Pro197His, Pro197Ser, ponadto 4 z 6 osobników były trans-heterozygotami – każdy z osobników posiadał dwa różne zmutowane allele genu ALS (**P3**). Podobna sytuacja była notowana w niektórych greckich, włoskich i hiszpańskich populacjach maku polnego odpornego na inhibitory ALS (Kaloumenos i in. 2009, Delye i in. 2011, Rey-Caballero i in. 2017).

W populacji 8727 tylko w jednym osobniku spośród ośmiu badanych zidentyfikowano mutację w kodonie 197, natomiast w populacji 8491 nie stwierdzono żadnych mutacji w tym kodonie. Obie populacje pochodziły z województwa lubelskiego. W DNA 43 spośród 69 osobników pochodzących z populacji odpornych na inhibitory ALS poza zmianami w kodonie 197 zidentyfikowano w pięciu kodonach mutacje niesynonimiczne. Ze względu na fakt, że ich obecność odnotowano także w co najmniej jednym osobniku z populacji wrażliwych, stwierdzono że nie mają one związku z odpornością na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Uzyskane wyniki pozwalają postawić hipotezę, że u roślin, które przeżyły traktowanie herbicydem, ale nie posiadają substytucji w genie syntazy acetylomleczanowej warunkujących odporność na inhibitory ALS, za cechę tą może być odpowiedzialny mechanizm NTSR (**P3**). Mak polny z odpornością typu NTSR na herbicydy z grupy inhibitorów ALS był wcześniej opisywany w populacjach tego gatunku pochodzących z rejonu Morza Śródziemnego (Delye i in. 2011, Rey-Caballero i in. 2017).

Badania związane z identyfikacją mutacji w genie syntazy acetylomleczanowej warunkujących odporność na herbicydy z grupy inhibitorów ALS prowadziłam w ramach projektu BioHerOd także w populacjach chabra bławatka. Badaniom poddano 17 populacji odpornych i 2 wrażliwe na inhibitory ALS. DNA wyizolowano z 3 roślin z każdej populacji. W przypadku populacji wrażliwych materiał roślinny pochodził z osobników nie poddanych działaniu herbicydu zawierającego tribenuron metylu, natomiast z populacji odpornych pobierano próby z osobników, które przeżyły traktowanie dawką 4N. W celu powielenia sekwencji genu syntazy acetylomleczanowej chabra bławatka na bazie sekwencji tego genu u innych roślin z rodziny Asteraceae dostępnych w bazie GenBank zaprojektowano startery. Uzyskane startery zapewniały powielenie regionów genu syntazy acetylomleczanowej, w których obserwowano mutacje

warunkujące odporność na inhibitory ALS i/lub wskazano je na podstawie analizy krystalograficznej oraz bioinformatycznej (Tranel i Wright 2002, Duggleby i in. 2008, Garcia i in. 2017, Li i in. 2019, Chen i in. 2021, Fang i in. 2022, Tranel i in. 2024). Powielone fragmenty genu ALS zsekwencjonowano, poddano analizie i na tej podstawie zidentyfikowano mutacje. Sekwencja dzikiego typu genu ALS została wygenerowana na podstawie porównania sekwencji z sześciu osobników z populacji wrażliwych uzyskanych w niniejszych badaniach oraz 13 sekwencji genu syntazy acetylomleczanowej chabry bławatka pochodzących z osobników wrażliwych na inhibitory ALS i znajdujących się w bazie GenBank.

Uzyskane amplikony wykazały 90,69 – 99,93% podobieństwa do sekwencji genu ALS chabry bławatka z GenBank. Porównanie uzyskanych sekwencji z osobników odpornych na tribenuron metylu z sekwencją dzikiego typu genu ALS pozwoliło zidentyfikować niesynonimiczne mutacje w 10 kodonach, które są lub mogą być odpowiedzialne za odporność. W 15 osobnikach chabry bławatka z ośmiu populacji odpornych na tribenuron metylu stwierdzono mutacje w kodonie Pro197 (Pro197Ser, Pro197Gln, Pro197Thr, Pro197Ala). Substytucje w kodonie Pro197 stwierdzono w populacjach z województw warmińsko-mazurskiego (42,86% osobników) i podlaskiego (40% osobników). Obecne wyniki opublikowane w **P6** są pierwszym na świecie doniesieniem o odporności w miejscu działania (mechanizm TSR) na inhibitory ALS u chabry bławatka potwierdzonym analizą genu syntazy acetylomleczanowej.

Inne substytucje u chabry bławatka odpornego na inhibitory ALS w niniejszych badaniach stwierdzono w kodonach 230, 236, 254, 260, 317, 353, 364, 584 i 629. Mutacje te zaobserwowano w osobnikach odpornych na tribenuron metylu, natomiast nie były obecne w żadnej analizowanej sekwencji z roślin wrażliwych. Substytucje Leu317Val, Ser364Arg, Gln260His i Arg584Ala wydają się być szczególnie interesujące ze względu na częstość ich występowania w analizowanych populacjach (odpowiednio 23,53%, 9,8%, 5,88%, 5,88%). Mogą one przynajmniej częściowo przyczyniać się do odporności na inhibitory ALS. Hipoteza dotycząca substytucji w innych kodonach niż 197 wymaga dalszych badań w celu potwierdzenia ich wpływu na odporność. Podobne przypuszczenia, choć dotyczące innych kodonów genu syntazy acetylomleczanowej u chabry bławatka odpornego na inhibitory ALS (Leu179Ile, Asn404Arg, Ile468Val i Val525Ile) formułowali Wrzeńska i Praczyk (2021). W przypadku maku polnego z cechą odporności na tę samą grupę herbicydów Koreki i in. (2024) wskazywali na potencjalną rolę substytucji w kodonach 119, 120, 194, 202 i 351 genu ALS.

Mutacja Pro197Ser jest drugą co do częstości mutacją zidentyfikowaną w niniejszym badaniu i najczęściej występującą w kodonie 197. Była obserwowana częściej w województwie podlaskim niż warmińsko-mazurskim. Mutacje Pro197Thr i Pro197Gln stwierdzano około dwa razy rzadziej niż Pro197Ser i wystąpiły jedynie w osobnikach z województwa warmińsko-mazurskiego. Najrzadszą okazała się substytucja Pro197Ala. Stwierdzono ją jedynie u jednego osobnika z województwa podlaskiego. W trzech populacjach odpornych (po jednej populacji z województwa warmińsko-mazurskiego, podlaskiego i świętokrzyskiego) w DNA osobników, które przeżyły traktowanie dawką 4N tribenuronu metylu, nie obserwowano mutacji niesynonimicznych w genie ALS. Może to wskazywać, że w tych populacjach odporność na inhibitory ALS jest warunkowana odpornością typu NTSR lub innym mechanizmem typu TSR niż mutacja w genie kodującym białko będące celem herbicydu. Wśród populacji chabry bławatka analizowanych w niniejszych badaniach stwierdzono także sześć populacji, w których tylko część osobników miała mutacje w kodonie 197 genu ALS, mimo że wszystkie badane molekularnie osobniki przeżyły traktowanie dawką 4N tribenuronu metylu. W tych populacjach



mogą współistnieć różne mechanizmy odporności. Taka sytuacja była opisywana dla innych gatunków chwastów, takich jak *P. rhoeas* (Delye i in. 2011, Rey-Caballero i in. 2017), *Sinapis alba* (Palma-Bautista i in. 2022) czy *Lolium* sp. (Scarabel i in. 2020).

Wyniki niniejszych badań wskazują, że odporność na inhibitory ALS co najmniej w części analizowanych populacji chabry bławatka powstała niezależnie. Świadczy o tym fakt, iż substytucje Pro197Gln i Pro197Thr zidentyfikowano jedynie w województwie warmińsko-mazurskim, Pro197Ala tylko w podlaskim, a u trzech populacji odpornych nie stwierdzono mutacji niesynonimicznych w genie ALS. Podobne wnioski sformułowano wcześniej dla innych gatunków chwastów, u których zidentyfikowano odporność na herbicydy – populacje *Senecio vulgaris* odporne na inhibitory ALS, populacje *Bromus tectorum* odporne na inhibitory ACCazy, czy populacje *Lolium multiflorum* odporne na glifosat (Delye i in. 2016, Brunharo i Streisfeld 2022, Ribeiro i in. 2023). Jednak w przypadku dwóch populacji chabry bławatka z warmińsko-mazurskiego oraz dwóch populacji z podlaskiego można podejrzewać wspólne pochodzenie odporności ze względu na niewielki dystans pomiędzy lokalizacjami i tę samą mutację w genie ALS, odpowiednio Pro197Gln i Pro197Ser.

Badania prowadzone na odpornych na inhibitory ALS populacjach wyczyńca polnego, maku polnego i chabry bławatka pozwoliły na identyfikację mutacji w genie syntazy acetylomleczanowej jako jednego z mechanizmów odporności. W każdym z gatunków stwierdzono osobniki, u których odporność na tę grupę herbicydów jest warunkowana mechanizmem w miejscu działania wynikającym z mutacji w genie ALS. Mak polny jest gatunkiem, u którego w badanych polskich populacjach przeważa odporność w miejscu działania na inhibitory ALS, a kodon 197 genu ALS jest najbardziej zróżnicowany wśród trzech analizowanych gatunków chwastów, o czym świadczy największa ilość wykrytych substytucji w tym kodonie, obecność różnych substytucji w obrębie jednej populacji, a także obecność transheterozygot. Wyczyńca polny jest jedynym gatunkiem spośród trzech analizowanych, u którego w polskich populacjach zidentyfikowano mutację w kodonie 574 genu syntazy acetylomleczanowej. Oprócz populacji z odpornością w miejscu działania w każdym z analizowanych gatunków chwastów obserwowano osobniki lub populacje, u których za odporność odpowiedzialna była inna przyczyna – prawdopodobnie odporność poza miejscem działania lub odporność w miejscu działania, ale nie wynikająca z mutacji w genie ALS. Przeprowadzone badania są pierwszą i jak dotąd jedyną opublikowaną analizą molekularną polskich populacji maku polnego z odpornością na inhibitory ALS. W przypadku chabry bławatka uzyskane rezultaty są pierwszymi na świecie i obecnie jedynymi wynikami opublikowanymi na bazie analizy molekularnej potwierdzającymi odporność w miejscu działania u populacji chabry bławatka odpornych na tę grupę herbicydów.

### **Cel 3. Ocena stymulującego wpływu herbicydów na początkowy wzrost roślin wyczyńca polnego, miotły zbożowej i chabry bławatka odpornych na herbicydy (P4, P5, P6)**

Badania nad stymulacją wzrostu chwastów traktowanych herbicydami rozpoczęłam w ramach badań prowadzonych w projekcie BIOSTRATEG3/347445/NCBR/2017. Dotyczyły one reakcji siedmiu populacji wyczyńca polnego i trzech populacji miotły zbożowej na fenoksaprop-P etylu i pinoksaden, substancje aktywne z grupy inhibitorów ACCazy. W fazie BBCH 12–13 rośliny z badanych populacji traktowano fenoksapropem-P etylu i pinoksadenem w 5 dawkach (od połowy dawki rekomendowanej przez producenta do 8-krotnie wyższej dawki). U roślin poddanych działaniu herbicydu oraz u nietraktowanej kontroli oceniano akumulację świeżej masy części

nadziemnej. Dla badanych populacji obliczono także dawkę ED<sub>10</sub>, czyli dawkę substancji aktywnej powodującą 10% redukcji świeżej masy części nadziemnej. Na podstawie uzyskanej wartości ED<sub>10</sub> oraz wskaźnika ekstrapolacji o wartości 3 (EFSA PPR Panel 2014) oszacowano sukces reprodukcyjny badanych populacji wyrażony wartością ED<sub>repro10</sub>, czyli dawki powodującej 10% redukcji potencjału reprodukcyjnego roślin traktowanych herbicydem.

Sześć z siedmiu testowanych populacji wyczyńca polnego zareagowało wzrostem akumulacji świeżej masy części nadziemnej po traktowaniu fenoksapropem-P etylu. Największą stymulację obserwowano w populacji AMIV, w tym statystycznie istotny wzrost biomasy względem obiektu kontrolnego stwierdzono dla dawki 1/2N (świeża masa wyższa o 46% od kontroli). W przypadku traktowania pinoksadenem w czterech populacjach z siedmiu analizowanych odnotowano wzrost akumulacji biomasy w porównaniu do obiektu kontrolnego, w tym różnicę istotną statystycznie stwierdzono w populacji AMIV dla dawki 1N (świeża masa wyższa o 57% od kontroli). Wszystkie trzy populacje miotły zbożowej odporne na inhibitory ACCazy wykazały stymulację wzrostu akumulacji świeżej masy po traktowaniu fenoksapropem w dawce 1/2N, a populacja APSII także na inne testowane dawki. Akumulacja biomasy populacji APSII była wyższa o 6-33,5% względem obiektu kontrolnego, jednak różnice nie były istotne statystycznie. U tej samej populacji miotły stwierdzono istotny efekt hormezy po dawce 1/2N pinoksadenu (świeża masa wyższa o 43% od kontroli). Warto zwrócić uwagę, że jak wynika z wartości ED<sub>repro10</sub>, sukces reprodukcyjny populacji charakteryzujących się wzrostem akumulacji świeżej masy po traktowaniu fenoksapropem-P etylu i/lub pinoksadenem może nie być obniżony wskutek zabiegu herbicydowego. Opisane powyżej wyniki zostały opublikowane w **P4**.

Wiele obserwacji hormezy indukowanej herbicydem dotyczy dawek subtoksycznych (Beltz i Duke 2014). Jednak jak opisują Belz i in. (2022) szczególnie w przypadku populacji o wysokim stopniu odporności rekomendowana dawka preparatu może być dawką hormetyczną i sprzyjać rozprzestrzenianiu się osobników odpornych. Uzyskane wyniki wskazują, że w przypadku populacji chwastów, które uodporniły się na herbicydy, poleganie wyłącznie na metodzie chemicznej regulacji zachwaszczenia może być nie tylko niewystarczające, ale wręcz sprzyjać rozprzestrzenianiu się tego zjawiska. Konieczne jest stosowanie metod niechemicznych, kiedy to tylko możliwe.

Kolejnym zagadnieniem, któremu poświęciłam badania w obszarze stymulacji herbicydowej, był wpływ herbicydów z grupy inhibitorów ALS na populacje chabra bławatka odporne na tę grupę preparatów. Badania nad wpływem florasulamu wykonałam w ramach stażu naukowego na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie.

Rośliny traktowano w czterech terminach rekomendowaną dawką herbicydu Saracen 050 SC, zawierającego florasulam. Termin 1 obejmował rośliny, które siewkowały w ciągu pierwszych 7 dni, termin 2, między 8 a 12 dniem, termin 3 między 13 a 15 dniem, termin 4 między 16 a 20 dniem. Populacje chabra bławatka różniły się reakcją na traktowanie zalecaną dawką florasulamu. W populacji 8401 stwierdzono stymulację akumulacji świeżej masy u części roślin pochodzących ze wszystkich terminów kiełkowania, podczas gdy populacja 9307 wykazywała ją u roślin z trzech terminów (**P5**). Hormezę po zabiegu herbicydem obserwowano w populacjach odpornych innych gatunków chwastów, zarówno przy dawkach subtoksycznych, jak i przy dawce zalecanej według etykiety rejestracyjnej preparatu (Beltz i in. 2022, **P4**, **P6**). Testy biologiczne wykonane we wcześniejszych naszych badaniach wykazały, że populacje 8401 i 9307 są wysoce odporne na tribenuron metylu i florasulam (**P2**). W przypadku populacji wysoce

odpornych na dany herbicyd, zalecana według etykiety dawka może stymulować akumulację biomasy roślin (Beltz i in. 2022, **P4**).

Kolejnym nurtem moich badań w zakresie stymulacji herbicydowej początkowego wzrostu chwastów była ocena wpływu tribenuronu metylu na rośliny chabra bławatka. Badania prowadzono na 17 populacjach tego gatunku odpornych na inhibitory ALS w ramach projektu BIOSTRATEG3/347445/NCBR/2017. W fazie BBCH 12 rośliny z badanych populacji traktowano herbicydem Lumer 50 WG (zawierającym tribenuron metylu) w siedmiu dawkach (od połowy zalecanej przez producenta do 32-krotnie wyższej dawki). W celu sprawdzenia wpływu tribenuronu metylu u roślin traktowanych herbicydem (dawki 1/2N, 1N i 2N) oraz u nietraktowanej kontroli oceniano akumulację świeżej masy części nadziemnej. W badaniach uwzględniono dawki herbicydu, które mogą występować w warunkach polowych. Dla badanych populacji na podstawie mas uzyskanych po traktowaniu wszystkimi dawkami herbicydu obliczono dawkę ED<sub>10</sub>. Na podstawie obliczonej wartości ED<sub>10</sub> oraz wskaźnika ekstrapolacji o wartości 3 (EFSA PPR Panel 2014) oszacowano sukces reprodukcyjny badanych populacji wyrażony wartością ED<sub>repro10</sub> (**P6**).

Najwyższa stymulacja akumulacji świeżej masy części nadziemnej była obserwowana wskutek traktowania populacji odpornych chabra bławatka połową rekomendowanej dawki tribenuronu metylu. Efekt hormezy odnotowano u pięciu spośród 17 populacji, jednak nie zawsze był istotny statystycznie. W dwóch populacjach z województwa warmińsko-mazurskiego i jednej z podlaskiego świeża masa części nadziemnej była istotnie wyższa odpowiednio o 57%, 28% i 25% od nietraktowanej kontroli. Były to populacje o wysokim poziomie odporności na tribenuron metylu, ich ED<sub>50</sub> kształtowało się na ponad 10-ciokrotnie wyższym poziomie niż zalecana w Polsce polowa dawka tej substancji aktywnej. Zgodnie z obliczonym w niniejszych badaniach wskaźnikiem ED<sub>repro10</sub>, ich potencjał reprodukcyjny nie będzie obniżony przez połowę dawkę tribenuronu metylu (**P6**). Zatem stosowanie pełnych zalecanych dawek tribenuronu metylu i unikanie znoszenia cieczy roboczej na otaczające pola jest ważnym elementem zapobiegania i zwalczania odporności chabra bławatka na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Jak pokazały badania prowadzone przez inne zespoły badaczy, u wielu gatunków chwastów wyselekcjonowano odporność na herbicydy wskutek stosowania obniżonych dawek herbicydów (Busi i in. 2012, Belz 2020, Vieira i in. 2020). Ponadto, zaniżanie dawek herbicydu może stymulować wzrost odpornych na nie osobników (Belz i in. 2022).

Badania prowadzone na odpornych na inhibitory ACCazy populacjach wyczyńca polnego i miotły zbożowej oraz odpornych na inhibitory ALS populacjach chabra bławatka dowiodły stymulacji akumulacji świeżej masy części nadziemnej u części analizowanych populacji wszystkich trzech gatunków chwastów wskutek traktowania herbicydem. Efekt hormezy stwierdzano zarówno w przypadku połowy dawki zalecanej według etykiety, jak i dawki rekomendowanej oraz wyższej. Uzyskane wyniki dowodzą, że stosowanie pełnych zalecanych dawek herbicydu i unikanie znoszenia cieczy roboczej na otaczające pola jest nie tylko elementem dobrej praktyki ochrony roślin, ale także ważnym elementem zapobiegania i zwalczania odporności wyczyńca polnego i miotły zbożowej na inhibitory ACCazy oraz chabra bławatka na herbicydy z grupy inhibitorów ALS.

**Cel 4. Ocena wpływu wybranych aspektów biologii chabra bławatka, elementów agrotechniki i doboru herbicydów na występowanie odporności i możliwości zwalczania tego gatunku (P2, P5)**

W ostatnich dziesięcioleciach w Polsce znacząco wzrósł areał uprawy ozimych roślin uprawnych, szczególnie zbóż i rzepaku (Madej 2018, Sokólski i in. 2020), tak więc chwasty zimujące i ozime stają się coraz poważniejszym zagrożeniem dla roślin uprawnych. Jest to powiązane z intensyfikacją produkcji roślinnej, w tym stosowaniem agrochemikaliów i uproszczeniami w płodozmianach. Wskutek sygnałów dochodzących od rolników dotyczących narastających problemów ze zwalczaniem chabra bławatka, jednego z gatunków chwastów ozimych, podjęłam się ustalenia wpływu wybranych aspektów agrotechniki i doboru herbicydów na występowanie odporności chabra bławatka i możliwości jego zwalczania. Częstość stosowania herbicydu, sposób rotacji mechanizmów działania, oraz dobór niechemicznych metod zwalczania chwastów wpływają na prawdopodobieństwo wyselekcjonowania populacji odpornych na herbicydy, jednak rola każdego z tych czynników w zapobieganiu i zwalczaniu zjawiska odporności chwastów na herbicydy bywa specyficzna gatunkowo (Moss i in. 2019).

W latach 2017–2020 w ramach projektu BIOSTRATEG3/347445/NCBR/2017 przeprowadzono badania ankietowe dotyczące wybranych aspektów agrotechniki i doboru herbicydów na przestrzeni 3 lat (w roku zbioru nasion chabra bławatka oraz w dwóch poprzedzających latach) w 159 gospodarstwach w różnych rejonach Polski. Zbieranie danych ankietowych było połączone ze zbiorem nasion chabra bławatka potencjalnie odpornych na herbicydy w gospodarstwach, w których rolnicy sygnalizowali problemy ze zwalczaniem tego gatunku chwastu. Pytania ankietowe dotyczyły gatunku rośliny uprawnej, stosowanego systemu uprawy roli (uprawa płuzna/system bezorkowy) oraz aplikowanych herbicydów. Wyniki z ankiet zostały opracowane wraz z uzyskaną na podstawie testów biologicznych informacją o reakcji każdej z populacji chabra bławatka na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Ponadto w celu obliczenia częstości stosowania przez rolników każdej z substancji aktywnych herbicydów zaproponowano wskaźnik PT (population treatment) będący ilorazem łącznej ilości aplikacji danej substancji aktywnej w okresie objętym ankietą i ilości populacji odpornych lub wrażliwych na daną substancję. Obliczenie wskaźnika PT pozwoliło na porównanie częstości stosowania substancji aktywnych z różnych grup HRAC w gospodarstwach z odpornymi i wrażliwymi populacjami chabra bławatka pomimo różnej liczebności grup populacji (odporne na tribenuron metylu, odporne na florasulam, odporne na obie substancje aktywne, wrażliwe na obie substancje aktywne).

Analiza historii chemicznego zwalczania wykazała, że do zwalczania populacji chabra bławatka odpornych na herbicydy rolnicy użyli średnio 4,78 różnych substancji aktywnych, podczas gdy wskaźnik PT dla populacji wrażliwych wyniósł 3,97. Porównując częstość stosowania różnych substancji aktywnych stwierdzono, że najwyższy wskaźnik PT charakteryzował grupę populacji odpornych jednocześnie na tribenuron metylu i florasulam i wynosił 5,85. Wśród województw, z których pochodziły populacje odporne, najwyższy wskaźnik PT, równy 7,4, odnotowano dla województwa warmińsko-mazurskiego. Najniższy wskaźnik PT, równy 1,44, stwierdzono dla użycia herbicydów z grupy inhibitorów ALS wśród populacji wrażliwych (**P2**). Wysoka wartość wskaźnika PT na polach z chabrem bławatkiem odpornym na herbicydy oraz najwyższa jego wartość dla województwa warmińsko-mazurskiego potwierdzają tezę postawioną przez Varah i in. (2020), że na polach, gdzie obserwowana jest wysoka odporność na herbicydy, intensywne zwalczanie chemiczne chwastów może być nieefektywne i wręcz nieopłacalne, ponieważ koszty herbicydów przewyższają korzyści z regulacji zachwaszczenia. Ponadto, jak wskazuje Comont i in. (2019) w takich lokalizacjach intensywna ochrona chemiczna przed chwastami może przyczynić się do potęgowania problemu z odpornością wskutek nasilonej selekcji osobników odpornych. Zgodnie z naszymi obliczeniami na polach z populacjami chabra bławatka

odpornymi jednocześnie na tribenuron metylu i florasulam częstość stosowania herbicydów z grupy inhibitorów ALS wyrażona wskaźnikiem PT wynosiła 2,59 i była wyższa niż na polach, gdzie stwierdzono populacje z odpornością na tylko jedną substancję aktywną (**P2**). Biorąc pod uwagę, że herbicydy z grupy inhibitorów ALS są jedną z grup szczególnie zagrożonych wyselekcjonowaniem odporności, redukcja ich stosowania jest rekomendowana zarówno na podstawie niniejszych badań, jak również innych autorów (Moss i in. 2019). Jednym z elementów prawidłowego zarządzania odpornością chwastów na herbicydy jest rotacja herbicydów uwzględniająca różne mechanizmy działania.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że udział gospodarstw z uprawą płużną i bezorkową był podobny dla populacji chabra bławatka odpornych i wrażliwych na herbicydy. W obu grupach populacji dominowała uprawa płużna, pochodziło z niej 78% populacji odpornych i 77% wrażliwych na herbicydy (**P2**). Uważa się, że taki typ uprawy roli przyczynia się do redukcji zachwaszczenia, w tym osobnikami odpornymi na herbicydy. Jednak wpływ uprawy płużnej na zwalczanie chwastów zależy od gatunku i wydaje się być ona bardziej skuteczna w eliminacji roślin jednoliściennych (Moss i in. 2019). Wyniki uzyskane w niniejszych badaniach dla chabra bławatka potwierdzają tę tezę. Ponadto, podobną sytuację opisują Torra i in. (2018) w przypadku maku polnego odpornego na herbicydy, gatunku o typie wzrostu podobnym do chabra bławatka. U tego gatunku notowano podobną częstość występowania biotypów odpornych na polach z uprawą płużną i w siewie bezpośrednim.

Analizując ankiety odnotowano natomiast różnice w płodozmianie stosowanym na polach, z których pochodziły próby chabra bławatka. W lokalizacjach, z których pochodziły populacje odporne, dominowały rośliny ozime, stanowiąc 81%. Wśród nich największy udział miały: pszenica ozima (45%), rzepak ozimy (21%) i pszenżyto ozime (12%). W płodozmianie stosowanym na polach, z których pochodziły populacje wrażliwe, stwierdzono o 5% większy udział jarych roślin uprawnych. Rośliny ozime także przeważały w płodozmianie, ale udział pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego był mniejszy niż na polach z chabrem bławatkiem odpornym na herbicydy, stanowiąc odpowiednio 33% i 10% (**P2**). Wyniki niniejszych badań potwierdzają rezultaty uzyskane dla innych gatunków chwastów (Peterson i in. 2018, Varah i in. 2020), że płodozmiian, szczególnie uwzględniający rośliny jare, jest bardzo skutecznym narzędziem w walce z odpornością chwastów na herbicydy. Ponadto, jak opisują Weisberger i in. (2019), zróżnicowanie czasu siewu lub sadzenia rośliny uprawnej jest bardziej efektywne niż zwiększanie ilości gatunków w płodozmianie.

Uzyskane wyniki dotyczące wpływu agrotechniki na częstość występowania populacji chabra bławatka na herbicydy stanowiły inspirację dla kolejnych badań, które wykonałam w ramach stażu naukowego na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie. Nasiona czterech populacji tego gatunku (8401, 8717, 9294, 9307) odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS wyłożono na szalki Petriego i umieszczono w warunkach kontrolowanych w komorze klimatycznej. Warunki doświadczenia odpowiadały temperaturze oraz długości dnia i nocy w terminie siewu pszenicy ozimej w Polsce. Skiełkowane nasiona liczono 4, 7, 12, 15 i 20 dnia, aż do czasu, gdy ustało kiełkowanie nasion, a następnie przenoszono do multiplatów w celu wykonania testu reakcji na florasulam. Rośliny traktowano rekomendowaną dawką herbicydu Saracen 050 SC w fazie 2-3 liści właściwych w czterech terminach. Termin 1 obejmował rośliny, które skiełkowały w ciągu pierwszych 7 dni, termin 2, między 8 a 12 dniem, termin 3 między 13 a 15 dniem, termin 4 między 16 a 20 dniem. Po 21 dniach od zabiegu oceniano akumulację świeżej masy części nadziemnej w porównaniu do nietraktowanej kontroli.

Zestawiając dane ze wszystkich czterech populacji stwierdzono, że istotnie najwięcej nasion kiełkowało w terminie pierwszym (do 4-tego dnia), a istotnie najmniej pod koniec eksperymentu (po 12-tym dniu). Populacje różniły się dynamiką i zdolnością kiełkowania. Trzy z czterech populacji (8401, 9294, 9307) osiągnęły maksimum kiełkowania czwartego dnia doświadczenia, do tego czasu kiełkowało około 50% nasion. W przypadku populacji 8401 i 9307 liczba nasion kiełkujących w każdym kolejnym terminie spadała, w trzeciej populacji wzrosła między 7 a 12 dniem, ale nie do poziomu z początku eksperymentu. W czwartej populacji (8717) dynamika kiełkowania była odmienna – do 12 dnia liczba kiełkujących nasion była podobna, przy czym najwięcej skielkowanych nasion stwierdzono 7 i 12 dnia. Po 12 dniu odnotowano spadek kiełkowania nasion w tej populacji. Zgodnie z obliczonym dla analizowanych populacji indeksem kiełkowania populacja 8717 kiełkowała istotnie dłużej od populacji 9307 i charakteryzowała się istotnie wyższą zdolnością kiełkowania od populacji 8401 i 9294 (**P5**). Badania innych autorów wskazują, że na kiełkowanie nasion chwastów ma wpływ środowisko rośliny matecznej, które może wpływać na długość spoczynku nasion (Steadman i in. 2004, Maity i in. 2022). Populacje 8401, 9294 i 9307 pochodziły z uprawy zbóż ozimych, natomiast nasiona populacji 8717 zebrano z pola obsianego łubinem wąskolistnym, który jest rośliną jarą bobowatą. Różnice w dynamice kiełkowania stwierdzili także Saja i in. (2016) dla dwóch populacji chabry bławatka odpornych na inhibitory ALS oraz Kumar i in. (2018) wśród badanych przez nich odpornych na herbicydy populacji mietelnika żakuli. Jak donoszą Dyer i in. (1993), Park i in. (2004) oraz Babineau i in. (2017) różnice w kiełkowaniu populacji odpornych na herbicydy pojawiają się lub nasilają w niższych temperaturach. Różny przebieg kiełkowania w obrębie populacji i między populacjami wskazuje na adaptację roślin do różnych warunków środowiskowych, w których rosły. Zaobserwowane różnice mogą sugerować wpływ zabiegów uprawowych wykonywanych w danej roślinie uprawnej na strategię kiełkowania i wschodów chwastów (Owen i in. 2010).

Rośliny chabry bławatka różniły się reakcją na rekomendowaną dawkę florasulamu mierzona akumulacją świeżej masy części nadziemnej zarówno w obrębie populacji, jak i między populacjami. W populacji 8401 rośliny z terminu 1 i 4 osiągnęły po traktowaniu herbicydem Saracen 050 SC istotnie większą świeżą masę od roślin z terminu 3, podczas gdy w populacji 8717 istotnie większą świeżą masę osiągnęły rośliny z terminu 4 w porównaniu z tymi z terminu 1 i 3. W populacji 9294 istotnie bardziej odporne na florasulam osobniki pochodziły z terminu 2 w porównaniu do terminu 1 i 4.

Przeprowadzone badania wskazują, że biologia kiełkowania populacji chabry bławatka odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS jest zróżnicowana, co stanowi wyzwanie przy opracowywaniu uniwersalnej strategii zapobiegającej odporności i mającej zastosowanie w zwalczaniu populacji tego gatunku odpornych na herbicydy. Jedynym skutecznym rozwiązaniem jest opracowanie zróżnicowanego programu zwalczania chwastów (Menchari i in. 2008). Wczesne wschody pozwalają chwastom wygrać konkurencję z rośliną uprawną, natomiast późne umożliwiają uniknięcie zabiegów chemicznego lub mechanicznego zwalczania (Delye i in. 2013). Biorąc pod uwagę fakt, że najwyższa akumulacja świeżej masy po zabiegu herbicydem w trzech spośród czterech populacji była obserwowana wśród osobników pochodzących z ostatniego terminu kiełkowania, należy rozważyć opóźnienie siewu rośliny uprawnej w celu eliminacji późno kiełkujących roślin chabry bławatka z wysokim poziomem odporności.

Badania dotyczące wpływu wybranych aspektów agrotechniki i doboru herbicydów na występowanie odporności chabry bławatka i możliwości jego zwalczania wskazują, że herbicydy

z grupy inhibitorów ALS są jedną z grup szczególnie wpływających na wyselekcjonowanie odporności. W oparciu o powyższe wyniki badań rekomendowana jest redukcja stosowania tej grupy preparatów i rotacja herbicydów uwzględniająca różne mechanizmy działania. Należy położyć większy nacisk na konstruowanie płodozmianu włączając do niego rośliny jare oraz rozważenie opóźnienia siewu ozimych roślin uprawnych.

## **Podsumowanie**

Wykonane badania pozwoliły na identyfikację w Polsce populacji odpornych na herbicydy wyczyńca polnego, miotły zbożowej, maku polnego i chabra bławatka. Stwierdzono cztery populacje wyczyńca polnego z odpornością na inhibitory ALS, a także siedem populacji wyczyńca i trzy miotły zbożowej z odpornością na inhibitory ACCazy. Prowadzone badania doprowadziły do identyfikacji 94 populacji chabra bławatka odpornych na inhibitory ALS, w tym trzech populacji z odpornością wielokrotną, jednocześnie na inhibitory ALS i syntetyczne auksyny. Odporność wielokrotna na inhibitory ALS i syntetyczne auksyny jest szczególnie groźna dla produkcji roślinnej, gdyż są to dwie bardzo ważne grupy herbicydów do zwalczania wielu uporczywych gatunków chwastów. Mimo przebadania podobnej liczby populacji, co w przypadku chabra bławatka, u maku polnego stwierdzono tylko 14 populacji odpornych na inhibitory ALS. Niestety u tego gatunku odnotowano wiele populacji wrażliwych, u których ED<sub>50</sub> było bliskie połowy dawki rekomendowanej do zwalczania maku polnego. Jest to sygnał wskazujący na zagrożenie dalszym narastaniem problemu odporności na inhibitory ALS w Polsce również u tego gatunku chwastu.

W analizowanych populacjach wyczyńca polnego, maku polnego i chabra bławatka odpornych na inhibitory ALS zidentyfikowano mutacje w genie syntazy acetylomleczanowej odpowiedzialne za odporność w miejscu działania na tę grupę herbicydów. Mak polny jest gatunkiem, u którego w badanych polskich populacjach przeważa odporność w miejscu działania na inhibitory ALS, a kodon 197 genu ALS jest najbardziej zróżnicowany wśród trzech analizowanych gatunków chwastów. Wyczyniec polny jest jedynym gatunkiem spośród trzech analizowanych, u którego w polskich populacjach zidentyfikowano mutację w kodonie 574 genu syntazy acetylomleczanowej. W każdym z analizowanych gatunków chwastów obserwowano populacje, u których za odporność odpowiedzialna była inna przyczyna niż mutacja w genie syntazy acetylomleczanowej. Można postawić hipotezę, iż jest to prawdopodobnie inny mechanizm (odporność poza miejscem działania) lub odporność w miejscu działania, ale nie wynikająca z mutacji w genie ALS. Ponadto u niektórych populacji wszystkich analizowanych gatunków wyniki wskazują na współistnienie więcej niż jednego mechanizmu odporności.

Badania prowadzone na odpornych na inhibitory ACCazy populacjach wyczyńca polnego i miotły zbożowej oraz odpornych na inhibitory ALS populacjach chabra bławatka dowiodły stymulacji akumulacji świeżej masy części nadziemnej u części analizowanych populacji wszystkich trzech gatunków chwastów wskutek traktowania herbicydem. Uzyskane wyniki wskazują, że stosowanie pełnych zalecanych dawek herbicydu i unikanie znoszenia cieczy roboczej na otaczające pola jest nie tylko elementem dobrej praktyki ochrony roślin, ale także ważnym elementem zapobiegania i zwalczania odporności wyczyńca polnego i miotły zbożowej na inhibitory ACCazy oraz chabra bławatka na herbicydy z grupy inhibitorów ALS.

Badania dotyczące wpływu wybranych aspektów agrotechniki i doboru herbicydów na występowanie odporności chabra bławatka i możliwości jego zwalczania wskazują, że herbicydy z grupy inhibitorów ALS są jedną z grup szczególnie zagrożonych wyselekcjonowaniem

odporności, dlatego rekomendowana jest redukcja ich stosowania i rotacja herbicydów uwzględniająca różne mechanizmy działania. Należy położyć większy nacisk na konstruowanie płodozmianu włączając do niego rośliny jare oraz rozważyć opóźnienie siewu ozimych roślin uprawnych.

Wyniki uzyskane w opisanych powyżej badaniach zwiększają stan wiedzy na temat odporności chwastów na herbicydy i stanowią mój wkład w badane zagadnienie. Mogą one wspomóc producentów rolnych w walce z tym zjawiskiem na polach uprawnych. Wspólne działania zespołu naukowców, w ramach którego prowadzę badania, a także firm fitofarmaceutycznych są dobrym prognostykiem do wdrożenia do praktyki rolniczej strategii zapobiegania i zwalczania zjawiska odporności chwastów na herbicydy w Polsce.

### Moje najważniejsze osiągnięcia dotyczą:

- identyfikacji populacji wyczyńca polnego, miotły zbożowej, maku polnego i chabra bławatka odpornych na herbicydy w Polsce, z jednoczesnym wskazaniem zagrożenia nasilaniem się zjawiska odporności na inhibitory ALS u maku polnego;
- identyfikacji mutacji w genie syntazy acetylomleczanowej wyczyńca polnego, maku polnego i chabra bławatka odpowiedzialnych za odporność w miejscu działania na herbicydy z grupy inhibitorów ALS – **substytucje te w populacjach chabra bławatka zostały opisane po raz pierwszy na świecie, dla maku polnego po raz pierwszy w Polsce, natomiast w wyczyńcu polnym po raz pierwszy w Polsce stwierdzono mutację Pro197Thr i Trp574Leu;**
- wykazania stymulacji początkowego wzrostu niektórych odpornych populacji wyczyńca polnego i miotły zbożowej wskutek traktowania herbicydami z grupy inhibitorów ACCazy oraz populacji chabra bławatka po zastosowaniu preparatów z grupy inhibitorów ALS – **stymulacja herbicydowa miotły zbożowej i chabra bławatka została opisana po raz pierwszy na świecie, a w przypadku wyczyńca polnego po raz pierwszy stwierdzono stymulację wywołaną zastosowaniem pinoksadenu;**
- opracowania zaleceń dla praktyki rolniczej pozwalających na przeciwdziałanie uodparnianiu się chabra bławatka na herbicydy i zwalczanie populacji odpornych tego gatunku.

### Spis literatury

- Adamczewski, K., Kaczmarek, S., Kierzek, R., & Matysiak, K. (2019). Significant increase of weed resistance to herbicides in Poland. *Journal of Plant Protection Research*, 59(2), 139–150.
- 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.
- Adamczewski, K., & Kierzek, R. (2010). Chaber bławatek (*Centaurea cyanus* L.) odporny na inhibitory ALS (herbicydy sulfonilomocznikowe). *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 50, 287–290.
- 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, 401–406.



- 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.
- Adamczewski, K., & Matysiak, K. (2009). Some biological aspects of *Apera spica-venti* (L.) P.B. *Pamiętnik Puławski*, 150, 285–290.
- Arslan, Z. F. (2018). Decrease in biodiversity in wheat fields due to changing agricultural practices in five decades. *Biodiversity and Conservation*, 27(12), 3267–3286.
- Babineau, M., Mathiassen, S. K., Kristensen, M., & Kudsk, P. (2017). Fitness of ALS-inhibitors herbicide resistant population of loose silky bentgrass (*Apera spica-venti*). *Frontiers in Plant Science*, 8, 1660.
- Beckie, H. J., & Tardif, F. J. (2012). Herbicide cross resistance in weeds. *Crop Protection*, 35, 15–28.
- Beckie, H. J., Busi, R., Lopez-Ruiz, F. J., & Umina, P. A. (2021). Herbicide resistance management strategies: how do they compare with those for insecticides, fungicides and antibiotics? *Pest Management Science*, 77(7), 3049–3056.
- Belgers, J. D. M., Van Lieverloo, R. J., Van der Pas, L. J., & Van den Brink, P. J. (2007). Effects of the herbicide 2, 4-D on the growth of nine aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*, 86(3), 260–268.
- Belz, R. G. (2020). Low herbicide doses can change the responses of weeds to subsequent treatments in the next generation: Metamitron exposed PSII-target-site resistant *Chenopodium album* as a case study. *Pest Management Science*, 76, 3056–3065.
- Belz, R. G., Carbonari, C. A., & Duke, S. O. (2022). The potential influence of hormesis on evolution of resistance to herbicides. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 27, 100360.
- Belz, R. G., & Duke, S. O. (2014). Herbicides and plant hormesis. *Pest Management Science*, 70(5), 698–707.
- Belz, R. G., Farooq, M. B., & Wagner, J. (2018). Does selective hormesis impact herbicide resistance evolution in weeds? ACCase-resistant populations of *Alopecurus myosuroides* Huds. as a case study. *Pest Management Science*, 74(8), 1880–1891.
- Brunharo, C. A., & Streisfeld, M. A. (2022). Multiple evolutionary origins of glyphosate resistance in *Lolium multiflorum*. *Evolutionary Applications*, 15(2), 316–329.
- Busi, R., Gaines, T. A., Walsh, M. J. & Powles, S. B. (2012). Understanding the potential for resistance evolution to the new herbicide pyroxasulfone: field selection at high doses versus recurrent selection at low doses. *Weed Research*, 52, 489–499.
- Busi, R., Goggin, D. E., Heap, I. M., Horak, M. J., Jugulam, M., Masters, R. A., ... & Wright, T. R. (2018). Weed resistance to synthetic auxin herbicides. *Pest Management Science*, 74(10), 2265–2276.
- Chen, L., Gu, G., Wang, C., Chen, Z., Yan, W., Jin, M., ... & Tang, X. (2021). Trp548Met mutation of acetolactate synthase in rice confers resistance to a broad spectrum of ALS-inhibiting herbicides. *The Crop Journal*, 9(4), 750–758.
- Comont, D., Hicks, H., Crook, L., Hull, R., Cocciantelli, E., Hadfield, J., ... & Neve, P. (2019). Evolutionary epidemiology predicts the emergence of glyphosate resistance in a major agricultural weed. *New Phytologist*, 223(3), 1584–1594.
- Délye, C., Causse, R., & Michel, S. (2016). Genetic basis, evolutionary origin and spread of resistance to herbicides inhibiting acetolactate synthase in common groundsel (*Senecio vulgaris*). *Pest Management Science*, 72(1), 89–102.
- Délye, C., Menchari, Y., Michel, S., Cadet, E., & Le Corre, V. (2013). A new insight into arable weed adaptive evolution: mutations endowing herbicide resistance also affect germination dynamics and seedling emergence. *Annals of Botany*, 111(4), 681–691.

- Délye, C., Pernin, F., & Scarabel, L. (2011). Evolution and diversity of the mechanisms endowing resistance to herbicides inhibiting acetolactate-synthase (ALS) in corn poppy (*Papaver rhoeas* L.). *Plant Science*, 180(2), 333–342.
- Deng, W., Yang, Q., Zhang, Y., Jiao, H., Mei, Y., Li, X., & Zheng, M. (2017). Cross-resistance patterns to acetolactate synthase (ALS)-inhibiting herbicides of flixweed (*Descurainia sophia* L.) conferred by different combinations of ALS isozymes with a Pro-197-Thr mutation or a novel Trp-574-Leu mutation. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 136, 41–45.
- Duggleby, R. G., McCourt, J. A., & Guddat, L. W. (2008). Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(3), 309–324.
- Dyer, W. E., Chee, P. W., & Fay, P. K. (1993). Rapid germination of sulfonylurea-resistant *Kochia scoparia* L. accessions is associated with elevated seed levels of branched chain amino acids. *Weed Science*, 41(1), 18–22.
- Dziennik Urzędowy Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. (2023). Ogłoszenie nr 1 Prezesa Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa z dnia 18 września 2023 r. w sprawie wielkości średniej powierzchni gruntów rolnych w gospodarstwie w poszczególnych województwach oraz średniej powierzchni gruntów rolnych w gospodarstwie w kraju w 2023 roku. Dziennik Urzędowy Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, poz. nr 53.
- EFSA PPR Panel (EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues) (2014). Scientific opinion addressing the state of the science on risk assessment of plant protection products for non-target terrestrial plants. *EFSA Journal*, 12, 3800.
- EHRAC Global Weed Fact Sheet *Centaurea cyanus* (hracglobal.com). <https://hracglobal.com/europe/publications-1> (data dostępu: 23.11.2024).
- Fang, J., Yang, D., Zhao, Z., Chen, J., & Dong, L. (2022). A novel Phe-206-Leu mutation in acetolactate synthase confers resistance to penoxsulam in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.). *Pest Management Science*, 78(6), 2560–2570.
- Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A., Tranel, P. J., Küpper, A., & Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295(30), 10307–10330.
- Garcia, M. D., Wang, J. G., Lonhienne, T., & Guddat, L. W. (2017). Crystal structure of plant acetohydroxyacid synthase, the target for several commercial herbicides. *The FEBS Journal*, 284(13), 2037–2051.
- Grossmann, K. (2010). Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. *Pest Management Science*, 66(2), 113–120.
- Gudžinskas, Z. (2022). A review of the subtribe *Centaureinae* (Asteraceae, Cardueae) in Lithuania with information on new alien species. *Botanica* 28(1), 15–26.
- Haliniarz, M., & Kapeluszyński, J. (2006). Segetal flora of landscape parks in the Lublin region [Poland]. *Pamiętnik Puławski*, 143, 67–74.
- Heap, I. The International Herbicide-Resistant Weed Database. [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org) (data dostępu: 30.10.2024).
- Holm, L., Doll, J., Holm, E., Pancho, J., & Herberger, J. (1997). World weeds: Natural histories and distribution; John Wiley: New York, NY, USA, p. 129.
- Hull, R., Tatnell, L. V., Cook, S. K., Beffa, R., & Moss, S. R. (2014). Current status of herbicide-resistant weeds in the UK. *Aspects of Applied Biology*, 127, 261–272.
- Jursík, M., & Holec, J. (2009). Biology and control of another important weeds of the Czech Republic: Cornflower (*Centaurea cyanus* L.). *Listy Cukrovarnické a Reparské*, 125(3), 90–93.
- Kaloumenos, N. S., Dordas, C. A., Diamantidis, G. C., & Eleftherohorinos, I. G. (2009). Multiple Pro197 substitutions in the acetolactate synthase of corn poppy (*Papaver rhoeas*) confer resistance to tribenuron. *Weed Science*, 57(4), 362–368.

- Kaundun, S. S. (2014). Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides. *Pest Management Science*, 70(9), 1405–1417.
- Keshtkar, E., Mathiassen, S. K., Moss, S. R., & Kudsk, P. (2015). Resistance profile of herbicide-resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass) populations in Denmark. *Crop Protection*, 69, 83–89.
- Koreki, A., Michel, S., Lebeaux, C., Trouilh, L., & Délye, C. (2024). Prevalence, spatial structure and evolution of resistance to acetolactate-synthase (ALS) inhibitors and 2, 4-D in the major weed *Papaver rhoeas* (L.) assessed using a massive, country-wide sampling. *Pest Management Science*, 80(2), 637–647.
- Kraehmer, H., & Bell, C. (2019). Dominance of grasses as weeds. In Grasses: Crops, competitors, and ornamentals. Kraehmer, H., Ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, pp. 497–502.
- Krysiak, M., Gawroński, S., Adamczewski, K., & Kierzek, R. (2011a). ALS gene mutations in *Apera spica-venti* confer broad-range resistance to herbicides. *Journal of Plant Protection Research*, 51, 261–267.
- 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.
- Li, J., Li, Y., Fang, F., Xue, D., Li, R., Gao, X., & Li, M. (2022). A novel naturally Phe206Tyr mutation confers tolerance to ALS-inhibiting herbicides in *Alopecurus myosuroides*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 186, 105156.
- Li, Y., Netherland, M. D., Zhang, C., Hong, H., & Gong, P. (2019). In silico identification of genetic mutations conferring resistance to acetohydroxyacid synthase inhibitors: a case study of *Kochia scoparia*. *PLoS ONE*, 14(5), e0216116.
- Madej, A. (2018). Procesy koncentracji w produkcji zbóż w Polsce. *Polish Journal of Agronomy*, 35, 23–31.
- Maity, A., Rocha, R. L., Khalil, Y., Bagavathiannan, M., Ashworth, M. B., & Beckie, H. J. (2022). Concurrent evolution of seed dormancy and herbicide resistance in field populations of dominant weed species in Western Australian cropping systems. *Weed Science*, 70(3), 309–318.
- Májeková, J., Zaliberová, M., & Škodová, I. (2019). Weed vegetation of arable land in Slovakia: diversity and species composition. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 88(4), 3637.
- Mayerová, M., Mikulka, J., Kolárová, M., & Soukup, J. (2023) Impact of 40 years use of different herbicide strategies and crop rotations on weed communities in two sites of the Czech Republic. *Agriculture*, 13, 102.
- Melander, B. (1993). Population dynamics of *Apera spica-venti* as influenced by cultural methods. In Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference—Weeds, Brighton, UK, 22–25 November 1993, pp. 107–112.
- Menchari, Y., Chauvel, B., Darmency, H., & Délye, C. (2008). Fitness costs associated with three mutant acetyl-coenzyme A carboxylase alleles endowing herbicide resistance in black-grass *Alopecurus myosuroides*. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 939–947.
- Mitich, L.W. (2000). Corn poppy (*Papaver rhoeas* L.). *Weed Technology*, 14, 826–829.
- Moss, S. R. & Cussans, G.W. (1985) Variability in the susceptibility of *Alopecurus myosuroides* Huds. (black-grass) to chlortoluron and isoproturon. *Aspects of Applied Biology*, 9, 91–98.
- Moss, S., Ulber, L., & den Hoed, I. (2019). A herbicide resistance risk matrix. *Crop Protection*, 115, 13–19.
- Owen, M. J., Michael, P. J., Renton, M., Steadman, K. J., & Powles, S. B. (2011). Towards large-scale prediction of *Lolium rigidum* emergence. II. Correlation between dormancy and herbicide resistance levels suggests an impact of cropping systems. *Weed Research*, 51(2), 133–141.

- Palma-Bautista, C., Vázquez-García, J. G., Osuna, M. D., Garcia-Garcia, B., Torra, J., Portugal, J., & De Prado, R. (2022). An Asp376Glu substitution in ALS gene and enhanced metabolism confers high tribenuron-methyl resistance in *Sinapis alba*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1011596.
- Palma-Bautista, C., Vázquez-García, J. G., de Portugal, J., Bastida, F., Alcántara-de la Cruz, R., Osuna-Ruiz, M. D., ... & De Prado, R. (2023). Enhanced detoxification via Cyt-P450 governs cross-tolerance to ALS-inhibiting herbicides in weed species of *Centaurea*. *Environmental Pollution*, 322, 121140.
- Park, K. W., Mallory-Smith, C. A., Ball, D. A., & Mueller-Warrant, G. W. (2004). Ecological fitness of acetolactate synthase inhibitor-resistant and-susceptible downy brome (*Bromus tectorum*) biotypes. *Weed Science*, 52(5), 768–773.
- Peterson, M. A., Collavo, A., Ovejero, R., Shivrain, V., & Walsh, M. J. (2018). The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Management Science*, 74(10), 2246–2259.
- Petit, C., Arnal, H., & Darmency, H. (2015). Effects of fragmentation and population size on the genetic diversity of *Centaurea cyanus* (Asteraceae) populations. *Plant Ecology and Evolution*, 148(2), 191–198.
- Pfleeger, T., Blakeley-Smith, M., King, G., Henry Lee, E., Plocher, M., & Olszyk, D. (2012). The effects of glyphosate and aminopyralid on a multi-species plant field trial. *Ecotoxicology*, 21, 1771–1787.
- Rey-Caballero, J., Royo-Esnal, A., Recasens, J., González, I., & Torra, J. (2017). Management options for multiple herbicide-resistant corn poppy (*Papaver rhoeas*) in Spain. *Weed Science*, 65(2), 295–304.
- Ribeiro, V. H. V., Brunharo, C. A., Mallory-Smith, C., Walenta, D. L., & Barroso, J. (2023). First report of target-site resistance to ACCase-inhibiting herbicides in *Bromus tectorum* L. *Pest Management Science*, 79(10), 4025–4033.
- Rola, H., & Marczevska, K. (2002). Biotypy chwastów odporne na chlorosulfuron w rejonie Wrocławia. *Progress in Plant Protection*, 42, 575–577.
- Saja, D., Rys, M., Stawoska, I., & Skoczowski, A. (2016). Metabolic response of cornflower (*Centaurea cyanus* L.) exposed to tribenuron-methyl: one of the active substances of sulfonylurea herbicides. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1–13.
- Scarabel, L., Panozzo, S., Loddo, D., Mathiassen, S. K., Kristensen, M., Kudsk, P., ... & Sattin, M. (2020). Diversified resistance mechanisms in multi-resistant *Lolium* spp. in three European countries. *Frontiers in Plant Science*, 11, 608845.
- Sokółski, M., Jankowski, K. J., Załuski, D., & Szatkowski, A. (2020). Productivity, energy and economic balance in the production of different cultivars of winter oilseed rape. A case study in north-eastern Poland. *Agronomy*, 10(4), 508.
- Stankiewicz-Kosyl, M., Synowiec, A., Haliniarz, M., Wenda-Piesik, A., Domaradzki, K., Parylak, D., ... & Praczyk, T. (2020). Herbicide resistance and management options of *Papaver rhoeas* L. and *Centaurea cyanus* L. in Europe: A review. *Agronomy*, 10(6), 874.
- Steadman, K. J., Ellery, A. J., Chapman, R., Moore, A., & Turner, N. C. (2004). Maturation temperature and rainfall influence seed dormancy characteristics of annual ryegrass (*Lolium rigidum*). *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(10), 1047–1057.
- Synowiec, A., Jop, B., Domaradzki, K., Podsiadło, C., Gawęda, D., Wacławowicz, R., ... & Praczyk, T. (2021). Environmental factors effects on winter wheat competition with herbicide-resistant or susceptible silky bentgrass (*Apera spica-venti* L.) in Poland. *Agronomy*, 11(5), 871.
- Torra, J., & Recasens, J. (2008). Demography of corn poppy (*Papaver rhoeas*) in relation to emergence time and crop competition. *Weed Science*, 56(6), 826–833.

- 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.
- Torra, J., Royo-Esnal, A., Rey-Caballero, J., Recasens, J., & Salas, M. (2018). Management of herbicide-resistant corn poppy (*Papaver rhoeas*) under different tillage systems does not change the frequency of resistant plants. *Weed Science*, 66(6), 764–772.
- Tranel, P. J., & Wright, T. R. (2002). Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Science*, 50(6), 700–712.
- Tranel, P. J., Wright, T. R., & Heap, I. M. Mutations in herbicide-resistant weeds to inhibition of acetolactate synthase. <http://www.weedscience.com>, (data dostępu: 23.10.2024).
- Wacławowicz, R., Tendziagolska, E., Synowiec, A., Bocianowski, J., Podsiadło, C., Domaradzki, K., ... & Piekarczyk, M. (2022). Competition between winter wheat and cornflower (*Centaurea cyanus* L.) resistant or susceptible to herbicides under varying environmental conditions in Poland. *Agronomy*, 12(11), 2751.
- Weed Science Society of America Terminology Committee (1998): Herbicide resistance and herbicide tolerance definitions. *Weed Technology* 12. <https://wssa.net/wssa/weed/resistance/herbicide-resistance-and-herbicidetolerance-definitions/> (data dostępu: 30.10.2024).
- Weisberger, D., Nichols, V., & Liebman, M. (2019). Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. *PLoS One*, 14(7), e0219847.
- Wenda-Piesik, A., Synowiec, A., Marcinkowska, K., Wrzesińska, B., Podsiadło, C., Domaradzki, K., ... & Kwiecińska-Poppe, E. (2022). Intra-and interspecies competition of blackgrass and wheat in the context of herbicidal resistance and environmental conditions in Poland. *Scientific Reports*, 12(1), 8720.
- Wrzesińska, B. & Praczyk, T. (2021). Genetic variability of acetolactate synthase (ALS) sequence in *Centaurea cyanus* plants resistant and susceptible to tribenuron-methyl. *Agronomy* 11, 2311.
- Varah, A., Ahodo, K., Coutts, S. R., Hicks, H. L., Comont, D., Crook, L., ... & Norris, K. (2020). The costs of human-induced evolution in an agricultural system. *Nature Sustainability*, 3(1), 63–71.
- Varah, A., Ahodo, K., Childs, D. Z., Comont, D., Crook, L., Freckleton, R. P., ... & Norris, K. (2024). Acting pre-emptively reduces the long-term costs of managing herbicide resistance. *Scientific Reports*, 14(1), 6201.
- Vieira, B. C., Luck, J. D., Amundsen, K. L., Werle, R., Gaines, T. A., & Kruger, G. R. (2020). Herbicide drift exposure leads to reduced herbicide sensitivity in *Amaranthus* spp. *Scientific Reports*, 10(1), 2146.
- Zhou, Q., Liu, W., Zhang, Y., & Liu, K. K. (2007). Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 89(2), 89–96.

## 4.2. Inne osiągnięcia niż wymieniony w punkcie 4.1. cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych

### 4.2.1. Identyfikacja mechanizmu odporności psianki czarnej na herbicydy triazynowe oraz analiza rozprzestrzeniania się odpornych populacji tego gatunku

Początek mojej pracy naukowej związany był z badaniami prowadzonymi w ramach pracy magisterskiej, które wykonywałam w Zakładzie Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa (ZPPO) Wydziału Ogrodniczego SGGW w Warszawie. W ZPPO zapoznałam się z innowacyjnymi metodami diagnostyki odporności chwastów na herbicydy triazynowe. Pozwoliło mi to na przeprowadzenie badań i obronę pracy magisterskiej pt. „Analiza na poziomie molekularnym – techniką RAPD – rozprzestrzeniania się odpornych na herbicydy biotypów psianki czarnej

(*Solanum nigrum* L.)”. Badaniom poddano 25 populacji psianki czarnej z Polski, Francji i Wielkiej Brytanii. Odporność na herbicydy triazynowe sprawdzono za pomocą naniesienia na liść kropli 2% roztworu herbicydu Azoprim zawierającego atrazynę. Po tygodniu oceniono uszkodzenia spowodowane herbicydem i na tej podstawie badane populacje określono jako odporne lub wrażliwe na dany preparat. Z roślin należących do analizowanych populacji wyizolowano DNA i poddano badaniom. We wszystkich sześciu populacjach odpornych (pięciu z Polski i jednej z Francji) zidentyfikowano mutację punktową Gly264Ser w chloroplastowym genie *psbA*, co daje podstawę do stwierdzenia odporności w miejscu działania na herbicydy triazynowe. Za pomocą techniki RAPD (ang. *random amplified polymorphic DNA*) oraz metody najbliższego sąsiedztwa UPGMA (ang. *unweighted pair group method for arithmetic averages*) ustalono podobieństwo genetyczne analizowanych populacji. Wykazano, że niektóre populacje odporne z okolic Grójca i Gąbina są bardzo podobne pod względem genetycznym do przebadanych populacji z Francji. Wyodrębniono trzy grupy populacji, w których odporność na herbicydy triazynowe pojawiła się niezależnie. Na podstawie uzyskanych wyników oraz analizy tras migracji szpaków i kwiczołów, które żywią się m.in. jagodami psianki czarnej, postawiono hipotezę, że ptaki te mogą odgrywać ważną rolę w rozprzestrzenianiu się nasion tego gatunku chwastu. Wyniki uzyskane w przeprowadzonych badaniach zostały opublikowane w międzynarodowym czasopiśmie *Weed Research* (IF<sub>2001</sub>=0,989) (**A1**), a także zaprezentowane w formie ustnego wystąpienia na międzynarodowej konferencji naukowej (**K1**).

#### **4.2.2. Identyfikacja i wykorzystanie markerów molekularnych genów odporności jabłoni na *Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salm.**

**Badania prowadzone w ramach pracy doktorskiej** pt. „Identyfikacja markerów molekularnych genów odporności jabłoni na *Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salm.” były częścią grantu finansowanego przez KBN pt. „Identyfikacja markerów molekularnych do wczesnej selekcji mieszańców jabłoni tolerancyjnych na mączniaka w potomstwach parchoodpornego klonu U211 na tle metody klasycznej” (5 P06C 032 19), w którym byłam głównym wykonawcą. Parch i mączniak prawdziwy, wywoływane przez *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. i *Podosphaera leucotricha* (Ellis et Ev.) Salm. są najważniejszymi chorobami jabłoni. Klon jabłoni U 211 jest odporny na parcha i jest również wysoce odporny na mączniaka prawdziwego w warunkach polowych. Pochodzi z wolnego zapylenia odmiany Primula posiadającej gen *Vf* odpowiadający za odporność na parcha jabłoni. Do identyfikacji regionów genomowych nadających odporność U 211 na mączniaka prawdziwego zastosowano metodę mapowania interwałowego. Mapy genetyczne części genomu ‘Idared’ i U 211 skonstruowano przy użyciu markerów AFLP (ang. *amplified fragment length polymorphism*) i SSR (ang. *simple sequence repeats*) oraz 98 osobników z potomstwa ‘Idared’× U 211. Na podstawie danych fenotypowych i markerów molekularnych zidentyfikowano 10 loci ilościowych cech odporności na mączniaka prawdziwego (ang. *quantitative trait loci* - QTL) w U 211 i ‘Idared’. Jeden z QTL w klonie U 211 odpowiadał za 48–72% zmienności fenotypowej, a jego wpływ utrzymywał się przez lata, co czyni go cennym locus w selekcji wspomaganej markerami w hodowli odpornościowej jabłoni. Część wyników z pracy doktorskiej zostało opublikowanych (**A2**, **RM1**) oraz zaprezentowanych na międzynarodowej konferencji naukowej w Edynburgu (**K2**) przed obroną doktoratu w 2002 roku. W publikacji **A2** opisano wyniki analizy klonu U211, prowadzonej przy użyciu markerów molekularnych, potwierdzające obecność genu *Vf*

warunkującego odporność na parcha jabłoni oraz wykluczające obecność genu *Pl2* odpowiadającego za odporność na mączniaka jabłoni. W rozdziale w monografii **RM1** opublikowano wynik analiz molekularnych wykluczających obecność innego genu odporności na mączniaka jabłoni *Pl1*. Zarówno gen *Pl1* jak i *Pl2* pochodzą od *Malus zumi*. Ich brak w klonie U 211 dowodzi, że odporność klonu U 211 ma inne podłoże genetyczne.

W 2003 roku otrzymałam nagrodę indywidualną JM Rektora SGGW za osiągnięcia w dziedzinie badań naukowych, tj. za wyróżnioną pracę doktorską pt. „Identyfikacja markerów molekularnych genów odporności jabłoni na *Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salm.”. Wyniki uzyskane w ramach pracy doktorskiej dotyczące skonstruowania map genetycznych części genomu ‘Idared’ i U 211 oraz identyfikacji 10 QTL odporności na mączniaka prawdziwego jabłoni zostały opublikowane w międzynarodowym czasopiśmie (**A3**).

**Po uzyskaniu stopnia doktora** prowadziłam badania nad przydatnością opracowanych przeze mnie markerów QTL w hodowli jabłoni odpornej na mączniaka na innym potomstwie jabłoni niż to, na którym został zidentyfikowany. Marker QTL U7 (NZ28f04) został przetestowany na potomstwie ‘Granny Smith’ x U 211. Stopień porażenia mączniakiem był oceniany szacunkowo w skali 0–5 przez 2 lata w szkółce i przez rok w sadzie. Na podstawie obecności/braku markera w poszczególnych osobnikach stwierdzono, że selekcja prowadzona przy użyciu markera mikrosatelitarnego NZ28f04 pozwoliłaby na eliminację 33–72% roślin zakwalifikowanych do klasy 3 porażenia oraz 100% roślin z klasy 4. W potomstwie ‘Granny Smith’ x U 211 w ciągu 2 lat obserwacji w szkółce i jednego roku w sadzie żadnego z osobników posiadających marker NZ28f04 nie zakwalifikowano do klas 4 i 5 (**A13**).

#### **4.2.3. Identyfikacja czynników genetycznych kontrolujących jakość jabłek oraz charakterystyka materiałów hodowlanych jabłoni**

W projekcie projekcie badawczym „High-quality resistant apples for a sustainable agriculture” (akronim: HiDRAS) w V Ramowym Programie Badawczym Unii Europejskiej (QLK5-CT-2002-01492) brałam udział w badaniach obejmujących 88 markerów mikrosatelitarnych (SSR) zgrupowanych w multipleksy, równomiernie rozmieszczonych we wszystkich 17 grupach sprzężeń genomu jabłoni. Dwadzieścia jeden multipleksów wykorzystano do genotypowania około 2000 próbek DNA z europejskich, wysokiej jakości, odpornych na choroby odmian jabłoni. Testowanie 80 markerów SSR na dużej liczbie różnych genotypów pozwoliło na lepsze oszacowanie poziomu ich polimorfizmu, a także zakresu wielkości amplifikowanych alleli oraz identyfikację dodatkowych niezmapowanych loci niektórych SSR znajdujących się w genomie w więcej niż jednym locus. Dane te doprowadziły do wybrania 75 markerów SSR z 80, które są dobrze dostosowane i zalecane do dużych projektów genotypowania (**RM2, A4**).

W tym samym projekcie we współpracy z innymi jednostkami badawczymi uczestniczyłam w badaniach pokrewieństwa odmian i linii hodowlanych jabłoni, wykorzystywanych w europejskich programach hodowlanych. Zostały one zbadane pod kątem prawdziwości ich tożsamości i pokrewieństwa poprzez spójność rodowodu z wynikami 80 markerów SSR. Sto dwadzieścia pięć osobników zostało zweryfikowanych pod kątem zgodności z typem obojga rodziców, a 49 zostało przebadanych pod kątem jednego z rodziców, ponieważ ich drugi rodzic był nieznan (23 osobniki) lub niedostępny w tym badaniu (26 osobników). Ponadto 15 osobników, dla których brakowało jednego lub obojga rodziców, zostało zweryfikowanych pod kątem zgodności z testowanymi przodkami z wcześniejszych pokoleń w rodowodzie.



Przebadano także tożsamość 28 odmian założycielskich, których wyniki markerów były zgodne z odmianami zstępującymi i liniami hodowlanymi. W przypadku czterech z ośmiu zidentyfikowanych triploidów wykazano, że powstały z niezredukowanych komórek jajowych. Przypuszczalny rodowód 15 kolejnych osobników okazał się nieprawidłowy. W pełni spójne rodowody zostały zaproponowane dla trzech odmian. Rodowody kolejnych ośmiu osobników zostały potwierdzone poprzez wnioskowanie z danych molekularnych (A6).

Kolejnym wątkiem badawczym, w którym uczestniczyłam w ramach projektu HiDRAS, było oszacowanie parametrów genetycznych dla zewnętrznych cech owoców jabłoni (*Malus x domestica*) (wielkość owocu, kolor skórki, powierzchnia rumieńca i atrakcyjność) oraz cech sensorycznych (jędrność, kruchość, tekstura, soczystość, smak, cukier, kwasowość i smak globalny) przy użyciu 2207 genotypów rodowodowych z programów hodowlanych w sześciu krajach europejskich. Ocenę powyższych parametrów prowadzono przez trzy lata, w każdym roku w czterech terminach: bezpośrednio po zbiorze jabłek, po 2 i 4 miesiącach przechowywania oraz po 2 miesiącach przechowywania i okresie symulowanego obrotu. Analizy przeprowadzono za pomocą ograniczonej metody maksymalnego prawdopodobieństwa przy użyciu oprogramowania VCE 5.1.2. Oszacowana odziedziczalność kształtowała się od średniej do wysokiej dla cech instrumentalnych. Korelacja genetyczna między jędrnością a zawartością cukru była średnia, natomiast niska między jędrnością a kwasowością. Cechy sensoryczne wykazały niską do wysokiej odziedziczalność, kwasowość okazała się najbardziej odziedziczalna. Smakowitość była silnie skorelowana z teksturą i soczystością, a stosunkowo słabo skorelowana z chrupkością i kwasowością. Zawartość cukru i kwasowość oceniane sensorycznie wykazały silnie ujemne korelacje, podczas gdy ich pomiary instrumentalne wykazały niskie i rosnące dodatnie korelacje od zbioru do 4 miesięcy po zbiorze. W przypadku zawartości cukru stwierdzono wysoką rozbieżność między oceną sensoryczną i instrumentalną, podczas gdy jędrność oceniana instrumentalnie i sensorycznie była silnie skorelowana. Cechy zewnętrzne owoców miały średnią odziedziczalność. Atrakcyjność owoców korelowała w najwyższym i najniższym stopniu odpowiednio z rozmiarem owoców i kolorem skórki. Najlepsze liniowe nieobciążone predyktory wartości hodowlanych obliczono dla wszystkich genotypów za pomocą oprogramowania PEST. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane dla zwiększenia efektywności programów hodowlanych jabłoni ukierunkowanych na jakość owoców (A5).

W projekcie HiDRAS uczestniczyłam także w analizie loci cech ilościowych jabłoni, ze szczególnym uwzględnieniem cechy jędrności owocu. Zastosowane podejście Bayesowskie do mapowania sprzężeń QTL zapewnia elastyczność w jednoczesnej analizie wielu częściowo spokrewnionych potomstw ze znanymi rodowodami. Wspólna analiza zwiększa prawdopodobieństwo wykrycia QTL i zapewnia wgląd w znaczenie QTL na różnych tłach genetycznych. W ramach badań przeanalizowano jędrność owoców na dużym zestawie danych. Analiza objęła wyniki jędrności otrzymane dla 1347 osobników należących do 27 pełnych potomstw oraz znanych przodków. Dane te analizowano razem z wynikami genotypowania wszystkich osobników z udziałem 87 markerów SSR zlokalizowanych na 17 chromosomach. Zidentyfikowano 14 QTL dla jędrności owoców na ośmiu chromosomach, co potwierdziło słuszność podejścia zastosowanego w projekcie, ponieważ kilka z tych QTL zostało zidentyfikowanych wcześniej na podstawie badań opartych na pojedynczych populacjach



mapujących. Szczegółowa wiedza a posteriori na temat QTL potencjalnych rodziców ma kluczowe znaczenie dla skuteczności hodowli wspomaganej markerami (A7).

#### **4.2.4. Identyfikacja mutacji w genie syntazy acetylomleczanowej jako mechanizmu odporności miotły zbożowej na herbicydy z grupy inhibitorów ALS oraz możliwości zwalczania populacji odpornych tego gatunku**

Ważny obszar mojej działalności naukowej związany jest odpornością chwastów na herbicydy z grupy inhibitorów syntazy acetylomleczanowej. Jednym z gatunków, który znalazł się w kręgu moich zainteresowań badawczych w tym zakresie, jest miotła zbożowa. Nad odpornością populacji tego gatunku chwastu wraz z zespołem prowadziłam badania w latach 2012–2015 w ramach projektu badawczego pt. „Ocena wpływu wybranych kombinacji herbicydów na wrażliwy i odporne na herbicydy sulfonilomocznikowe biotypy miotły zbożowej” (nr 01/SPPO/2012) finansowanego przez firmę DuPont. Pełniłam w nim rolę kierownika projektu i współwykonawcy. Badaniom poddano trzy populacje miotły zbożowej – jedną wrażliwą i dwie odporne (oznaczone jako RB i RM) na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. W doświadczeniu wazonowym oceniono skuteczność zwalczania populacji miotły zbożowej różnymi herbicydami, a za pomocą technik biologii molekularnej w analizowanych populacjach sprawdzono obecność mutacji w genie syntazy acetylomleczanowej warunkujących odporność w miejscu działania na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. W badanych populacjach odpornych stwierdzono obecność mutacji punktowych w genie syntazy acetylomleczanowej Pro197Thr, Pro197Ala i Pro197Ser warunkujących odporność w miejscu działania na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. W analizowanych populacjach nie wszystkie osobniki, które przeżyły traktowanie chlorsulfuronem, posiadały substytucję w genie ALS. Pozwala to stwierdzić, że w badanych populacjach za odporność na inhibitory ALS odpowiadał także inny mechanizm niż odporność w miejscu działania wynikająca z mutacji w genie ALS. Oceniono także wpływ występowania mutacji na skuteczność różnych zabiegów chemicznych. Jako trzy najsukcesywniejsze schematy rotacji herbicydów w trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych wskazano: 1) chlorosulfuron + izoproturon, etametsulfuron + metazachlor + chinomerak, chlorosulfuron + izoproturon; 2) prosulfokarb + diflufenikan, etametsulfuron + chizalofop-p-etylowy, prosulfokarb + diflufenikan; 3) diflufenikan + flufenacet, chizalofop-p-etylowy, diflufenikan + flufenacet. W większości schematów rotacji herbicydów trudniej było uzyskać całkowite zwalczenie roślin z odpornej populacji, w której większość osobników nie miała mutacji w genie ALS. W drugiej odpornej populacji było znacznie więcej roślin z mutacją w genie ALS, wykazujących odporność w miejscu działania. Określenie mechanizmu odporności danej populacji roślin odpornych może być pomocne w zaplanowaniu odpowiedniego schematu zwalczania chemicznego. Na rynku pojawia się niewiele nowych substancji czynnych herbicydów, dlatego mieszanki istniejących mogą pomóc w zapobieganiu i zwalczaniu odporności chwastów. Uzyskane wyniki zostały opublikowane (RM4, A17) oraz zaprezentowane na konferencji naukowej (K5, K8, K11).

W moich badaniach nad odpornością miotły zbożowej na herbicydy z grupy inhibitorów ALS przeprowadziłam również wstępne badania nad kiełkowaniem dwóch populacji różniących się wrażliwością na tę grupę herbicydów. W doświadczeniu szalkowym w dwóch wariantach temperatury dzień/noc: 15/12 °C i 25/22 °C, założonym w czterech powtórzeniach oceniono zdolność i dynamikę kiełkowania. Populacja wrażliwa na herbicydy charakteryzowała się

wyższą zdolnością kiełkowania od populacji odpornej. Nie stwierdzono istotnych różnic w dynamice kiełkowania wyrażonej indeksem Pippa między badanymi populacjami (**RM5, K9**). Wyniki dotyczące biologii kiełkowania populacji odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów ALS mogą stanowić wskazówkę przy opracowywaniu strategii zapobiegającej odporności i mającej zastosowanie w zwalczaniu populacji odpornych na herbicydy.

#### **4.2.5. Ocena możliwości wykorzystania roślin do oczyszczania środowiska z zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego**

Kolejny wątek badawczy mojej działalności naukowej dotyczy fitoremediacji. Został on zapoczątkowany we współpracy z prof. dr hab. Heleną Gawrońską i dr hab. Arkadiuszem Przybyszem, prof. SGGW oraz z zespołem dr hab. Katarzyny Pawlak z Katedry Chemii Analitycznej Politechniki Warszawskiej w trakcie badań nad reakcją *Arabidopsis thaliana* L. na związki platyny (Pt). W stężeniach rejestrowanych w środowiskach miejskich platyna nie jest jeszcze fitotoksyczna, ale stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi, szczególnie gdy występuje w unoszących się w powietrzu cząstkach stałych. W badaniach podjęto próbę oceny pobierania, dystrybucji i toksyczności Pt(II) przez *A. thaliana* L. Rośliny uprawiano w hydroponice w warunkach rosnącego stężenia Pt(II) w zakresie 0,025–100 µM. Stwierdzono pobranie platyny przez korzenie roślin i przetransportowanie jej do części nadziemnych. W niższych stężeniach Pt(II) ( $\leq 2,5$  µM) odnotowano efekt hormezy objawiający się stymulacją wzrostu roślin, większą wydajnością aparatu fotosyntetycznego i zwiększoną akumulacją biomasy. Wyższe stężenia Pt(II) były fitotoksyczne i powodowały zahamowanie wzrostu, upośledzenie aparatu fotosyntetycznego, uszkodzenia błon komórkowych i zmniejszenie akumulacji biomasy. Narażenie *A. thaliana* na Pt(II) spowodowało również zwiększoną zawartość fitochelatyn w całej roślinie i glutationu w rożecie. Pobieranie i translokacja Pt(II) do łatwych do zebrania organów *A. thaliana* sugeruje, że gatunki o wyższej akumulacji biomasy z rodziny Brassicaceae prawdopodobnie mogą być wykorzystywane do fitoekstrakcji platyny z miejsc nią zanieczyszczonych (**A8**).

W zakresie fitoremediacji uczestniczyłam także w szeregu badań poświęconych roli nieużytków i łąk kwietnych w oczyszczaniu powietrza w warunkach miejskich. Badania podjęte we współpracy z dr hab. Arkadiuszem Przybyszem, prof. SGGW, dr hab. Marzeną Wińską-Krysiak z ZPPO (Instytut Nauk Ogrodniczych SGGW w Warszawie) oraz z dr hab. Piotrem Sikorskim, prof. SGGW z Katedry Teledetekcji i Badań Środowiska (Instytut Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie) obejmowały zagadnienia związane z wpływem roślinności nieużytków na jakość powietrza. Celem badań było udokumentowanie akumulacji pyłu zawieszonego i pierwiastków śladowych przez gatunki rosnące na nieużytkach miejskich Europy Środkowej o różnym poziomie zanieczyszczenia powietrza, takie jak: *Robinia pseudoacacia* L., *Populus × canescens* (Aiton) Sm., *Acer negundo* L., *Solidago gigantea* (Aiton) i rośliny z rodziny Poaceae. Średnio największe ilości cząstek pyłu zawieszonego gromadziły się na liściach *R. pseudoacacia* i *S. gigantea*, a najmniejsze na liściach *P. × canescens*. Akumulacja cząstek pyłu zawieszonego zależała jednakże bardziej od odległości od źródła emisji niż od gatunku i była wyższa na zanieczyszczonych nieużytkach, gdzie wymiana gazowa roślin była najniższa. Wyniki sugerują również, że aby skutecznie akumulować pył zawieszony z powietrza, kluczowa jest odpowiednia konfiguracja roślin w warstwowej strukturze roślinności nieużytków. *P. × canescens*

akumulowała najwyższe stężenia kadmu i cynku, *S. gigantea* gromadziła najwyższe stężenie miedzi, a rośliny z rodziny Poaceae – chromu i niklu. Wyniki te mają implikacje dla zarządzania roślinnością miejską na obszarach, na których nie ma zorganizowanej zieleni i stanowią dowód na to, że roślinność na obszarach nieużytków powinna być utrzymywana, ponieważ jest doskonałym narzędziem do redukcji stężeń pyłu zawieszonego (A9).

Kontynuacją moich zainteresowań badawczych dotyczących roli nieużytków w oczyszczaniu powietrza z pyłu zawieszonego były badania tolerancji na warunki miejskie i akumulację pyłu zawieszonego w bezpośrednim sąsiedztwie dróg przez wybrane gatunki roślin na łąkach miejskich. Akumulację cząstek pyłu zawieszonego przez rośliny łąk jednorocznych i wieloletnich porównano z ich zatrzymywaniem przez roślinność trawników. Wyniki zinterpretowano w kontekście składu gatunkowego, produkcji biomasy, warunków glebowych i stężeń cząstek pyłu zawieszonego w otoczeniu. Spośród gatunków występujących na łąkach jednorocznych najwyższą akumulację stwierdzono u *Achillea millefolium* L., *Chenopodium album* L. i *Echium vulgare* L., natomiast na łąkach wieloletnich u *Centaurea scabiosa* L., *E. vulgare* L. i *Convolvulus arvensis* L. Depozycja cząstek pyłu zawieszonego na roślinach była dodatnio skorelowana z pierzastym kształtem liści. W przypadku gatunków na łąkach jednorocznych stwierdzono również dodatnią korelację między akumulacją pyłu zawieszonego a zawartością wosku na roślinach. Obecność włosków na liściach, wielkość liści i typ wzrostu roślin nie miały wpływu na depozycję cząstek pyłu zawieszonego na roślinach. Akumulacja cząstek pyłu zawieszonego na jednym metrze kwadratowym łąki miejskiej była średnio większa niż na trawniku, niezależnie od składu gatunków łąkowych, wieku i lokalizacji. Największą akumulację stwierdzono na łące wieloletniej o niskiej bioróżnorodności, ale największej biomasy. Wydaje się, że biomasa produkowana przez łąki i cechy morfologiczne roślin mają kluczowy wpływ na ilość cząstek pyłu zawieszonego akumulowanych przez gatunki łąkowe. Uzyskane wyniki wskazują, że łąki mogą być ważnym elementem rozwiązań opartych na naturze w celu łagodzenia zanieczyszczenia powietrza na obszarach zurbanizowanych (A11).

Opisane powyżej badania wykonano w pełni sezonu wegetacyjnego, natomiast kolejnym etapem była ocena, czy gatunki jednorocznych i wieloletnich roślin zielnych pochodzących z klimatu umiarkowanego nadal są zdolne do filtrowania powietrza z cząstek pyłu zawieszonego pod koniec sezonu wegetacyjnego. Badania przeprowadzono w listopadzie na dwóch łąkach miejskich położonych w uczęszczanych obszarach Białegostoku. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że pomimo późnej pory roku, badane gatunki nadal były zdolne do akumulacji pyłu zawieszonego. Depozycja cząstek pyłu zawieszonego przekraczająca  $100 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  została stwierdzona na *Silene vulgaris*, *Silene latifolia*, *Trifolium pratense*, *E. vulgare* i *Anchusa officinalis*. Najdrobniejsza i najbardziej toksyczna frakcja pyłu zawieszonego była akumulowana najskuteczniej przez *S. latifolia*, *E. vulgare* i *Leucanthemum vulgare* ( $>12 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ). *Taraxacum officinale* i *Malva sylvestris* zatrzymały około 60% pyłu zawieszonego w swoim wosku epikutylarnym. Stwierdzono niewielką istotną korelację między typem wzrostu rosety a depozycją pyłu zawieszonego na liściach, przy czym akumulacja najdrobniejszej jego frakcji była skorelowana z prostym kształtem liścia. Wyniki te potwierdzają przydatność łąk miejskich jako długotrwałych biofiltrów powietrza, pod warunkiem, że ich skład obejmuje gatunki o przedłużonej zdolności akumulacji pyłu zawieszonego i łąka pozostaje nieskoszona do późnej jesieni (A12).

**5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

Od początku mojej pracy naukowej prowadzone badania uwzględniały techniki biologii molekularnej. W trakcie Studiów Doktoranckich na Wydziale Ogrodnictwa i Architektury SGGW w Warszawie odbyłam **3-miesięczny staż zagraniczny (20.09–20.12.2000) w Institut National de la Recherche Agronomique w Angers we Francji**, na który uzyskałam stypendium fundowane przez rząd francuski. Opiekunem stażu był dr Charles Eric Durel. Staż umożliwił mi poznanie nowych technik badawczych z zakresu biologii molekularnej, takich jak: klonowanie, markery SSR, AFLP, RGA-AFLP, które następnie wykorzystałam w mojej dalszej pracy naukowej. Nawiązana współpraca i zdobyta wiedza umożliwiły mi **udział w międzynarodowym projekcie badawczym „High-quality resistant apples for a sustainable agriculture”** (akronim: HiDRAS) w V Ramowym Programie Badawczym Unii Europejskiej (QLK5-CT-2002-01492). Jako wykonawca w tym projekcie współpracowałam z jednostkami naukowymi z różnych krajów: INRA (Angers, Francja), Plant Breeding, Wageningen University and Research (Wageningen, Holandia), Institute of Integrative Biology (IBZ), ETH Zurich (Szwajcaria), Institute für Obstzüchtung (Dresden, Niemcy), East Malling Research (East Malling, Wielka Brytania), Instytut Ogrodnictwa (Skierniewice, Polska), University of Bologna (Bologna, Włochy), University of Milan (Milan, Włochy), IASMA Research and Innovation Centre (Trento, Włochy), Walloon Agricultural Research Centre (Gembloux, Belgia). Celem projektu była identyfikacja czynników genetycznych kontrolujących jakość owoców. Efektem współpracy badawczej były **rozdziały w monografiach oraz publikacje naukowe (RM2, RM3, A4–A7)**.

Kolejnym wątkiem badawczym, w ramach którego współpracowałam z inną jednostką naukową, była ocena wpływu platyny na *A. thaliana* oraz możliwości wykorzystania tego gatunku do fitoekstrakcji. Badania zostały wykonane **we współpracy z zespołem dr hab. Katarzyny Pawlak z Katedry Chemii Analitycznej Politechniki Warszawskiej**, a wyniki opublikowano w **A8**.

W kolejnych latach w kręgu moich zainteresowań badawczych ponownie znalazło się zjawisko odporności na herbicydy. W latach 2017–2021 brałam **udział w projekcie BIOSTRATEG3/347445/1/NCBR/2017, w którym oprócz SGGW uczestniczyło 13 partnerów**: Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy z Poznania (Lider projektu), Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, Politechnika Poznańska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy im. i. J. i J. Śniadeckich, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, BASF Polska Sp. z o.o., Bayer Sp. z o.o. i Syngenta Polska Sp. z o.o. **Pełniłam rolę Koordynatora projektu w SGGW oraz koordynatora zadania 2 „Analizy molekularne chwastów odpornych na inhibitory ALS i ACCase”, byłam także współwykonawcą w projekcie**. Celem projektu było opracowanie i przygotowanie do wdrożenia holistycznej strategii mającej na celu zmniejszenie ryzyka rozprzestrzeniania się populacji chwastów odpornych na herbicydy oraz sposobów ich zwalczania. Przedmiotem badań były cztery gatunki chwastów

występujące głównie w uprawie zbóż i rzepaku ozimego: miotła zbożowa, wyczyniec polny, mak polny i chaber bławatek. W projekcie prowadzone były badania laboratoryjne i polowe, były one poprzedzone dogłębną analizą literatury naukowej z zakresu odporności tych gatunków na herbicydy, czego efektem była **publikacja przeglądowa**. Autorzy opisują w niej aktualny stan wiedzy na temat biologii i zjawiska odporności na herbicydy maku polnego i chabra bławatka w Europie (A10). Efektem współpracy badawczej były **publikacje naukowe (P2, P3, P6)**.

Doświadczenie zdobyte w badaniach molekularnych podstaw odporności chwastów na herbicydy zaowocowało **rolą promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr inż. Justyny Łukasz z Katedry Herbologii i Technik Uprawy Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie**. Celem badań była ocena stopnia odporności miotły zbożowej występującej w agrocenozach województwa lubelskiego i podlaskiego na wybrane substancje aktywne z grupy inhibitorów ALS, inhibitorów ACCazy, inhibitorów fotosystemu II oraz inhibitorów tworzenia mikrotubuli, wyjaśnienie mechanizmu odporności wybranych populacji oraz scharakteryzowanie praktyk rolniczych na polach, na których występowała miotła zbożowa odporna na herbicydy. Sprawowałam opiekę naukową i nadzorowałam badania polegające na analizie molekularnej ocenianych populacji miotły zbożowej odpornych na inhibitory ALS. Rozprawa doktorska mgr inż. Justyny Łukasz pt. „Ocena poziomu odporności miotły zbożowej (*Apera spica-venti* (L.) P.B.) na wybrane substancje aktywne herbicydów” **uzyskała pozytywne recenzje, publiczna obrona odbyła się 18.03.2024 roku**.

W celu zdobycia wiedzy, poznania nowych technik i obszarów badawczych w zakresie herbologii w terminie **od 30.05. do 10.07.2022 odbyłam staż naukowy w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie**. Celem stażu był: (i) monitoring występowania populacji chabra bławatka potencjalnie odpornych na herbicydy, (ii) ocena wybranych aspektów biologii populacji chabra bławatka odpornych na herbicydy oraz (iii) ocena bioróżnorodności flory segetalnej rędzin województwa lubelskiego. Najważniejsze osiągnięcia stażu dotyczą aktualizacji występowania zagrożonych wyginięciem gatunków flory segetalnej rędzin województwa lubelskiego oraz wskazania różnic w dynamice kiełkowania między populacjami chabra bławatka różniącymi się reakcją na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Mimo stwierdzonego postępującego ubożenia flory segetalnej, na badanym obszarze zaobserwowano gatunki rzadkie, takie jak: kurzyślak błękitny (*Anagalis foemina* Mill.), miłek letni (*Adonis aestivalis* L.) i szafirek miękkolistny (*Muscari comosum* L. (Mill.)). W badaniach nad chabrem bławatkiem u niektórych populacji stwierdzono zależność terminu kiełkowania od statusu odporności/wrażliwości osobnika na herbicydy z grupy inhibitorów ALS. Wyniki takich badań dla chabra bławatka nie były dotąd publikowane w literaturze naukowej. **Efektem badań prowadzonych w trakcie i po zakończeniu stażu była publikacja** poświęcona zróżnicowanym strategiom kiełkowania chabra bławatka (**P5**). Nawiązana współpraca i prowadzone badania w ramach projektu BioHerOd oraz w ramach stażu naukowego w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie zaowocowały w 2023 roku **wspólnym z dr hab. Małgorzatą Haliniarz, prof. Uczelni, przygotowaniem materiałów na temat występowania, biologii i zwalczania chabra bławatka: Weed Fact Sheet *Centaurea cyanus***. Opracowanie zostało przygotowane na zlecenie European Herbicide Resistance Action Committee (**zał. 4, III.2.**).

Kolejny **staż naukowy** odbyłam w terminie **2.05–18.06.2024 w Instytucie Ochrony Roślin – Państwowym Instytucie Badawczym, w Zakładzie Herbologii i Technik Ochrony Roślin**. Zakres stażu obejmował aspekty związane z przeprowadzaniem biologicznych testów

przesiewowych w celu zidentyfikowania odpornych na herbicydy populacji chwastów oraz badaniami kompatybilności cieczy użytkowej. **Badania rozpoczęte w trakcie stażu są kontynuowane i będą stanowiły podstawę do publikacji naukowej.**

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.**

Zarówno moja praca dydaktyczna jak i organizacyjna są powiązane z podejmowaną przeze mnie aktywnością naukową. Po podjęciu pracy jako adiunkt w Katedrze Sadownictwa i Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa (obecnie Zakład Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa w Katedrze Ochrony Roślin) prowadziłam działalność dydaktyczną na kilku kierunkach studiów. W trakcie lat pracy opracowałam lub współuczestniczyłam w opracowaniu treści przedmiotów (sylabusy), przygotowałam materiały i prowadziłam zajęcia z następujących przedmiotów:

Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu (od 2019 roku Wydział Budownictwa i Inżynierii), Kierunek Architektura Krajobrazu – I stopień:

- **Uprawa roli i nawożenie gleby** – prowadzenie ćwiczeń

Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu (od 2019 roku Wydział Ogrodnictwa i Biotechnologii, od 2021 roku Wydział Biologii i Biotechnologii), Kierunek Biotechnologia – I stopień studiów:

- **Herbologia** – opracowanie treści przedmiotu, prowadzenie wykładów i ćwiczeń

Wydział Ogrodnictwa i Biotechnologii, Kierunek General Horticulture – II stopień:

- **Natural and legal basis of landscape and ecological infrastructure protection** – udział w opracowaniu treści przedmiotu, prowadzenie części wykładów i ćwiczeń

Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu (od 2019 roku Wydział Ogrodnictwa i Biotechnologii, od 2021 roku Wydział Ogrodniczy), Kierunek Ogrodnictwo - I i II stopień studiów:

- **Gospodarowanie środowiskiem glebowym** – prowadzenie ćwiczeń
- **Herbologia I** – opracowanie treści przedmiotu, prowadzenie ćwiczeń
- **Herbologia II** – opracowanie treści przedmiotu, prowadzenie wykładów i ćwiczeń
- **Nowoczesne metody taksonomii odmian uprawnych roślin drzewiastych** – opracowanie treści przedmiotu, prowadzenie ćwiczeń
- **Prawno-przyrodnicze podstawy ochrony krajobrazu i infrastruktury ekologicznej** – udział w opracowaniu treści przedmiotu, prowadzenie części wykładów i ćwiczeń
- **Uprawa roli i żywienie roślin I** – prowadzenie ćwiczeń
- **Uprawa roli i żywienie roślin II** – prowadzenie ćwiczeń
- **Żywienie mineralne roślin** – prowadzenie ćwiczeń
- **ETO i zastosowanie informatyki** – prowadzenie ćwiczeń

Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu (od 2019 roku Wydział Ogrodnictwa i Biotechnologii), Kierunek Ochrona zdrowia roślin – I stopień studiów:

- **Ćwiczenia specjalistyczne** – udział w opracowaniu treści przedmiotu, prowadzenie ćwiczeń

- **Ćwiczenia terenowe** – udział w opracowaniu treści przedmiotu, prowadzenie ćwiczeń
- **Infrastruktura ekologiczna gospodarstw** – udział w opracowaniu treści przedmiotu, prowadzenie części wykładów i ćwiczeń
- **Integrowana ochrona roślin przed chwastami** – opracowanie treści przedmiotu, prowadzenie wykładów i ćwiczeń
- **Żywnienie mineralne i choroby fizjologiczne roślin** – prowadzenie ćwiczeń

Wydział Ogrodniczy, Kierunek Ogrodnictwo miejskie i arborystyka – I stopień

- **Herbologia miejska** – opracowanie treści przedmiotu, prowadzenie wykładów i ćwiczeń
- **Metody ochrony roślin w zieleni miejskiej przed chorobami i chwastami** – udział w opracowaniu treści przedmiotu, prowadzenie części wykładów
- **Permakultura miejska** – udział w opracowaniu treści przedmiotu, prowadzenie części wykładów i ćwiczeń

Jestem autorem/współautorem następujących rozdziałów w skrypcie akademickim:

- **Stankiewicz-Kosyl, M.** (2019). Pobieranie prób materiału roślinnego do analiz, W: Przewodnik do ćwiczeń z uprawy roli i nawożenia roślin ogrodniczych, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, s. 62-63, ISBN 978-83-7244-912-2
- **Stankiewicz-Kosyl, M.** (2019). Analiza chemiczna roślin jako weryfikacja skuteczności nawożenia doglebowego, W: Przewodnik do ćwiczeń z uprawy roli i nawożenia roślin ogrodniczych, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, s. 64-71, ISBN 978-83-7244-912-2
- **Stankiewicz-Kosyl, M.** (2019). Analiza wody i pożywek, W: Przewodnik do ćwiczeń z uprawy roli i nawożenia roślin ogrodniczych, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, s. 72-76, ISBN 978-83-7244-912-2
- **Stankiewicz-Kosyl, M., & Wińska-Krysiak, M.** (2019). Chemiczne właściwości gleb, ziem i podłoży ogrodniczych, W: Przewodnik do ćwiczeń z uprawy roli i nawożenia roślin ogrodniczych, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, s. 18–30, ISBN 978-83-7244-912-2

Byłam promotorem 16 obronionych prac inżynierskich i magisterskich, obecnie sprawuję opiekę nad jedną dyplomantką. Przygotowałam także recenzje ponad 33 prac dyplomowych absolwentów studiów zarówno pierwszego, jak i drugiego stopnia.

Brałam aktywny udział w pracach nad tworzeniem nowego kierunku studiów na Wydziale Ogrodnictwa i Biotechnologii (Ochrona zdrowia roślin), a od 1.12.2024 jestem zaangażowana w realizację zadania „Modyfikacja programu kształcenia na kierunku Ogrodnictwo” w ramach projektu pt. „Zrównoważony Kampus SGGW – kształcenie na rzecz branż kluczowych” (FERS.01.05-IP.08-0067/23).

Moja działalność organizacyjna wiąże się z pełnieniem następujących funkcji i zadań:

- udział w organizacji Warszawskiej Konferencji Inaugurującej Szósty Program Ramowy Unii Europejskiej (25–26.11.2002).
- członek komitetu naukowego i organizacyjnego Mini-symposium „Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides: mechanisms, epidemiology and prevention”. Warszawa, 28.02.2013.

- członek komitetu naukowego i organizacyjnego Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej XVI Zjazdu Katedr Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, 15–16.09.2016
- koordynacja i układanie rozkładu zajęć dydaktycznych w Samodzielnym Zakładzie Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa (lata 2013–2019) oraz w Zakładzie Przyrodniczych Podstaw Ogrodnictwa (lata 2020–2023).
- członek Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na Wydziale Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu (2013) oraz na Wydziale Ogrodniczym (2024)
- członek Komisji ds. kierunku Ochrona zdrowia roślin – (lata 2013–2014)
- członek Komisji Hospitacyjnej (obecnie Zespół ds. Hospitacji) na kierunkach Ogrodnictwo (2016 – obecnie), Ochrona zdrowia roślin 2016–2022 i Ogrodnictwo miejskie i arborystyka (2022 – obecnie)
- członek Zespołu ds. Dydaktyki na Wydziale Ogrodniczym (2023 – obecnie)
- opiekun roku na kierunku Ochrona zdrowia roślin, rocznik 2015/16
- opiekun roku na kierunku Ogrodnictwo stacjonarne i niestacjonarne, rocznik 2022/23
- opiekun roku na kierunku Ogrodnictwo miejskie i arborystyka, rocznik 2023/2024

Mój wkład w popularyzację nauki polegał na wygłoszeniu wykładów oraz opublikowaniu artykułów popularnonaukowych, których wykaz przedstawiam poniżej.

Wygłoszone wykłady:

- wykład pt. "Odporność chwastów na herbicydy" na konferencji firmy Bayer dla największych gospodarstw rolnych regionu warmińsko-mazurskiego i pomorskiego, 2.02.2018
- wykład pt. "Odporność chwastów na herbicydy" dla nauczycieli szkół rolniczych ponadpodstawowych podczas X Ogólnopolskiego Konkursu Wiedzy o Ergonomii i Bezpieczeństwie Pracy w Rolnictwie, 18.04.2018
- wykład pt. „Mechanizmy odporności chwastów” na szkoleniu pt. „Odporność chwastów jako wyzwanie w ochronie roślin” dla doradców Wojewódzkich Ośrodków Doradztwa Rolniczego, 13.11.2019
- wykład pt. „Odporność chwastów na herbicydy” na zebraniu naukowym oddziału lubelskiego Polskiego Towarzystwa Agronomicznego, 22.06.2022

Artykuły popularyzujące naukę:

- Stankiewicz-Kosyl M. 2017. Co dalej z tą miotłą? Problem odporności miotły zbożowej na herbicydy. Hektar 8–9.
- Wrochna M., Stankiewicz-Kosyl M. 2019. Badania naukowe wspierają rolników w walce z odpornością chwastów. Hektar 50–51.
- Marcinkowska K., Stankiewicz Kosyl M. 2023. „Chaber bławatek – nie taki wrażliwy, jakby się wydawało”. Farmer 68–71.
- Weed Fact Sheet *Centaurea cyanus*. 2023. – materiały na temat występowania, biologii i zwalczania chabra bławatka przygotowane wspólnie z dr hab. Małgorzatą Haliniarz, prof.



uczelnii, na zlecenie European Herbicide Resistance Action Committee (<https://hracglobal.com/europe/publications-1>)

## 7. Zestawienie publikacji z podziałem na rozdziały w monografiach oraz artykuły naukowe z uwzględnieniem obecności w bazie JCR.

### 7.1. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.

*Przed uzyskaniem stopnia doktora:*

**RM1. Stankiewicz-Kosyl, M.,** Pitera, E., & Gawroński, S. (2001). Genetic analysis of a Polish apple selection U 211 as a new source of high resistance to apple powdery mildew; W: International Symposium on Molecular Markers for Characterizing Genotypes and Identifying Cultivars in Horticulture / Doré C., Dosba F., Baril C. (red. ), *Acta Horticulturae*, nr 546, International Society for Horticultural Science, s. 641-644, ISBN 978-90-66057-64-7

MNiSW<sub>2001</sub> = 3 pkt

*Po uzyskaniu stopnia doktora:*

**RM2. Patocchi, A.,** Fernández-Fernández, F., Evans, K., Silfverberg-Dilworth, E., Matasci, C.L., Gobbin, D., Rezzonico, F., Boudichevskaia, A., Dunemann, F., **Stankiewicz-Kosyl M.,** Mathis, F., Durel, C.E., Soglio, V., Gianfranceschi, L., Costa, F., Toller, C., Cova, V., Mott, D., Komjanc, M., Barbaro, E., Voorrips, R.E., Rikkerink, E., Yamamoto, T., Cevik, V., Gessler, C., & van de Weg, W.E. (2009). Development of a set of apple SSRs markers spanning the apple genome, genotyping of HiDRAS plant material and validation of genotypic data, W: XII EUCARPIA Symposium on Fruit Breeding and Genetics / Espiau M.T., Alonso J.M. (red. ), *Acta Horticulturae*, nr 814, International Society for Horticultural Science, s. 603-608, ISBN 978-90-66052-90-1. DOI:10.17660/ActaHortic.2009.814.102

MNiSW<sub>2009</sub> = 3 pkt

**RM3. Perini, D.,** Cova, V., Keller-Przybyłkowicz, S., **Stankiewicz-Kosyl, M.,** Soglio, V., Komjanc, M., & Gianfranceschi, L. (2009). New polymorphic EST-Based molecular markers in three *Malus X domestica* (Borkh.) cultivars (Fiesta, Prima, Discovery), W: XII EUCARPIA Symposium on Fruit Breeding and Genetics / Espiau M.T., Alonso J.M. (red. ), *Acta Horticulturae*, nr 814, International Society for Horticultural Science, s. 651-658, ISBN 978-90-66052-90-1. DOI:10.17660/ActaHortic.2009.814.111

MNiSW<sub>2009</sub> = 3 pkt

**RM4. Stankiewicz-Kosyl, M.,** Wrochna, M., Nowak, P., Popek, R., Salas, M., & Gawroński, S. (2013). Effect of herbicide combinations on biotypes of wind bentgrass (*Apera spica-venti*) sensitive and resistant to sulfonylureas. W: 22e Conference du COLUMA: Journées Internationales sur la Lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, France, 10-12.12.2013, Alfortville, Association Française de Protection des Plantes (AFPP), s. 612-617, ISBN 978-2-905550-36-1

MNiSW<sub>2013</sub> = 5 pkt

**RM5. Stankiewicz-Kosyl, M., & Ciepka, A. (2014).** Germination characteristics of *Apera spica-venti* biotypes susceptible and resistant to ALS inhibitors. In: Landscape Management for Functional Biodiversity: proceedings of the meeting at Poznań, Poland, 21-23.05.2014 / Holland John (et al.) (eds.), *IOBC-WPRS Bulletin*, 100, s. 127-130, ISBN 978-92-9067-280-7

MNiSW<sub>2014</sub> = 5 pkt

## **7.2. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych.**

**Publikacje P1-P6 stanowią cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących osiągnięcie naukowe opisane w punkcie 4.1. Pozostałe publikacje obejmują pozycje A1–A17.**

### **7.2.1. Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie JCR**

*Przed uzyskaniem stopnia doktora:*

**A1. Stankiewicz, M.,** Gadamski, G., & Gawronski, S.W. (2001). Genetic variation and phylogenetic relationships of triazine-resistant and triazine-susceptible biotypes of *Solanum nigrum* – analysis using RAPD markers. *Weed Research*, 41(4), 287-300. DOI:10.1046/j.1365-3180.2001.00238.x.

IF<sub>2001</sub> = 0,989, MNiSW<sub>2001</sub> = 11 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 30)

**A2. Stankiewicz, M.,** Pitera, E., & Gawronski, S.W. (2002). The use of molecular markers in apple breeding for disease resistance. *Cellular & Molecular Biology Letters*. 7, 445-448.

IF<sub>2002</sub> = 0,651, MNiSW<sub>2002</sub> = 5 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 5)

*Po uzyskaniu stopnia doktora:*

**A3. Stankiewicz-Kosyl, M.,** Pitera, E., & Gawronski, S. W. (2005). Mapping QTL involved in powdery mildew resistance of the apple clone U 211. *Plant Breeding*, 124(1), 63-66. DOI:10.1111/j.1439-0523.2004.01049.x.

IF<sub>2005</sub> = 0,823, MNiSW<sub>2005</sub> = 20 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 17)

**A4.** Patocchi, A., Fernández-Fernández, F., Evans, K., Gobbin, D., Rezzonico, F., Boudichevskaja, A., Dunemann, F., **Stankiewicz-Kosyl, M.,** Mathis-Jeanneteau, F., Durel, C.E., Gianfranceschi, L., Costa, F., Toller, C., Cova V, Mott, D., Komjanc M., Barbaro, E., Kodde, L., Rikkerink, E., Gessler, C., & van de Weg, W. E. (2009). Development and test of 21 multiplex PCRs composed of SSRs spanning most of the apple genome. *Tree Genetics & Genomes*, 5, 211-223. DOI:10.1007/s11295-008-0176-7.

IF<sub>2009</sub> = 2,018, MNiSW<sub>2009</sub> = 20 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 55)

**A5.** Kouassi, A. B., Durel, C. E., Costa, F., Tartarini, S., van de Weg, E., Evans, K., Fernandez-Fernandez, F. Govan, C., Boudichevskaja, A., Dunemann, F., Antofie, A., Lateur, M., **Stankiewicz-Kosyl, M.,** Soska, A., Tomala, K., Lewandowski, M., Rutkowski, K., Zurawicz, E., Guerra, W., & Laurens, F. (2009). Estimation of genetic parameters and prediction of breeding values for apple fruit-quality traits using pedigreed plant material in Europe. *Tree Genetics & Genomes*, 5, 659-672. DOI:10.1007/s11295-009-0217-x.

IF<sub>2009</sub> = 2,018, MNiSW<sub>2009</sub> = 20 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 71)

**A6.** Evans, K. M., Patocchi, A., Rezzonico, F., Mathis, F., Durel, C. E., Fernandez-Fernandez, F., Boudichevskaia, A., Dunemann, F., **Stankiewicz-Kosyl, M.**, Gianfranceschi, L., Komjanc, M., Lateur, M., Madduri, M., Noordijk, Y., & Van de Weg, W. E. (2011). Genotyping of pedigreed apple breeding material with a genome-covering set of SSRs: trueness-to-type of cultivars and their parentages. *Molecular Breeding*, 28, 535-547. DOI:10.1007/s11032-010-9502-5.

IF<sub>2009</sub> = 2,852, MNiSW<sub>2009</sub> = 24 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 67)

**A7.** Bink, M. C. A. M., Jansen, J., Madduri, M., Voorrips, R. E., Durel, C. E., Kouassi, A. B., Laurens F., Mathis F., Gessler C., Gobbin D., Rezzonico F., Patocchi A., Kellerhals M., Boudichevskaia A., Dunemann F., Peil A., Nowicka A., Lata B., **Stankiewicz-Kosyl M.**, Jeziorek K., Pitera E., Soska A., Tomala K., Evans K. M., Fernandez-Fernandez F., Guerra W., Korbin M., Keller S., Lewandowski M., Plochanski W., Rutkowski K., Zurawicz E., Costa F., Sansavini S., Tartarini S., Komjanc M., Mott D., Antofie A., Lateur M., Rondia A., Gianfranceschi L., & Van De Weg, W. E. (2014). Bayesian QTL analyses using pedigreed families of an outcrossing species, with application to fruit firmness in apple. *Theoretical and Applied Genetics*, 127, 1073-1090. DOI:10.1007/s00122-014-2281-3.

IF<sub>2009</sub> = 3,790, MNiSW<sub>2009</sub> = 24 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 120)

**A8.** Gawrońska, H., Przybysz, A., Szalacha, E., Pawlak, K., Brama, K., Miszczak, A., **Stankiewicz-Kosyl, M.**, & Gawroński, S. W. (2018). Platinum uptake, distribution and toxicity in *Arabidopsis thaliana* L. plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 982-989. DOI:10.1016/j.ecoenv.2017.09.065.

IF<sub>2018</sub> = 4,527, MNiSW<sub>2018</sub> = 30 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 19)

**A9.** Przybysz, A., Wińska-Krysiak, M., Małecka-Przybysz, M., **Stankiewicz-Kosyl, M.**, Skwara, M., Kłos, A., Kowalczyk, S., Jarocka, K., & Sikorski, P. (2020). Urban wastelands: On the frontline between air pollution sources and residential areas. *Science of the Total Environment*, 721, 137695. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.137695.

IF<sub>2020</sub> = 7,963, MNiSW<sub>2020</sub> = 200 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 23)

**A10.** **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(6), 874. DOI:10.3390/agronomy10060874.

IF<sub>2020</sub> = 3,417, MNiSW<sub>2020</sub> = 100 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 18)

**P1.** **Stankiewicz-Kosyl, M.**, Wrochna, M., & Tołłoczko, M. (2020). Increase in resistance to sulfonylurea herbicides in *Alopecurus myosuroides* populations in north-eastern Poland. *Zemdirbyste-Agriculture*, 107(3), 249–254. DOI:10.13080/z-a.2020.107.032.

IF<sub>2020</sub> = 1,083, MNiSW<sub>2020</sub> = 40 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 3)

**Publikacja włączona w cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

**A 11.** Przybysz, A., Popek, R., **Stankiewicz-Kosyl, M.**, Zhu, C. Y., Małecka-Przybysz, M., Maulidyawati, T., Mikowska, K., Deluga, D., Griżuk, K., Sokalski-Wieczorek, J. Wolszczak, K., & Wińska-Krysiak, M. (2021). Where trees cannot grow – Particulate matter accumulation by urban meadows. *Science of the Total Environment*, 785, 147310. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.147310.

IF<sub>2021</sub> = 10,754, MNiSW<sub>2021</sub> = 200 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 34)

**P2.** **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(10), 1954. DOI:10.3390/agronomy11101954.

IF<sub>2021</sub> = 3,949, MNiSW<sub>2021</sub> = 100 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 12)

#### **Publikacja włączona w cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

**P3.** **Stankiewicz-Kosyl, M.**, Haliniarz, M., Wrochna, M., Obrepalska-Stęplowska, A., Kuc, P., Łukasz, J., Wińska-Krysiak M., Wrzesińska-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(1), 82. DOI:10.3390/agriculture13010082.

IF<sub>2023</sub> = 3,3, MNiSW<sub>2023</sub> = 140 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 5)

#### **Publikacja włączona w cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

**P4.** Wrochna, M., **Stankiewicz-Kosyl, M.**, & Wińska-Krysiak, M. (2023). Stimulation of early post-emergence growth of *Alopecurus myosuroides* and *Apera spica-venti* following spray application of ACCase inhibitors. *Agriculture*, 13(2), 483. DOI:10.3390/agriculture13020483.

IF<sub>2023</sub> = 3,3, MNiSW<sub>2023</sub> = 140 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 1)

#### **Publikacja włączona w cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

**P5.** **Stankiewicz-Kosyl, M.**, & Haliniarz, M. (2023). Diversified germination strategies of *Centaurea cyanus* populations resistant to ALS inhibitors. *Plant Protection Science*, 59(4), 379-388. DOI:10.17221/62/2023-PPS.

IF<sub>2023</sub> = 1,7, MNiSW<sub>2023</sub> = 100 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 0)

#### **Publikacja włączona w cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

**A.12.** Moniuszko, H., Popek, R., Nawrocki, A., **Stankiewicz-Kosyl, M.**, Grylewicz, S., Podoba, S., & Przybysz, A. (2024). Urban meadow—a recipe for long-lasting anti-smog land cover. *International Journal of Phytoremediation*, 1-10. DOI:10.1080/15226514.2024.2367137.

IF<sub>2023</sub> = 3,4, MNiSW<sub>2024</sub> = 100 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 1)

**P6.** **Stankiewicz-Kosyl, M.**, Wińska-Krysiak, M., Wrochna, M., Haliniarz, M., & Marcinkowska, K. (2024). Regional diversity of the ALS gene and hormesis due to tribenuron-

methyl in *Centaurea cyanus* L. *Scientific Reports*, 14(1), 25197. DOI:10.1038/s41598-024-76345-6.

IF<sub>2023</sub> = 3,8, MNiSW<sub>2024</sub> = 140 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – 0)

### **Publikacja włączona w cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

#### **7.2.2. Publikacje w czasopismach nieuwzględnionych w bazie JCR**

*Przed uzyskaniem stopnia doktora: – nie dotyczy*

*Po uzyskaniu stopnia doktora:*

**A13. Stankiewicz-Kosyl, M.,** Pitera, E., & Gawronski, S. W. (2006). Przydatność markera QTL w hodowli jabłoni odpornej na mączniaka (*Podosphaera leucotricha* (Ellis et Ev.) Salm.). *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 242, 295-301.

MNiSW<sub>2006</sub> = 1 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – n/a)

**A14. Stankiewicz-Kosyl, M.,** & Gawronski, S. W. (2006). Sequence analysis of apple powdery mildew resistance marker. *Plodovodstvo*, 18(2), 68-71.

MNiSW<sub>2006</sub> = 0 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – n/a)

**A15. Hawliczek, A., Stankiewicz-Kosyl, M.,** & Gawronski, S. W. (2007). Wykorzystanie markerów SSR do molekularnej charakterystyki zasobów genowych jabłoni. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Ogrodnictwo*, 41, 315-319.

MNiSW<sub>2007</sub> = 2 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – n/a)

**A16. Ciarka, D., Stankiewicz-Kosyl, M.,** Sztyber, M., Gawronska, H., & Gawronski, S. W. (2014). Response of 33 weed species germination to allelocompounds contained in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Horticulture and Landscape Architecture*, 35, 15-23.

MNiSW<sub>2014</sub> = 7 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – n/a)

**A17. Stankiewicz-Kosyl, M.,** Wrochna, M., Salas, M., & Gawroński, S. W. (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. DOI:10.1515/jppr-2017-0015.

MNiSW<sub>2017</sub> = 15 pkt (liczba cytowań wg Bazy WoS – n/a)

## **8. PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWEGO**

**Tabela 1. Parametryczna ocena dorobku naukowego**

Parametry dorobku naukowego	Przed doktoratem	Po doktoracie	Łącznie
IF	1,64	58,694	60,334
MNiSW/MEiN	19	1471	1490

Liczba cytowań wg Web of Science (stan na dzień 16.12.2024)	0	487	487
Liczba cytowań wg Web of Science bez autocytowań (stan na dzień 16.12.2024)	0	468	468
Liczba cytowań wg Scopus (stan na dzień 16.12.2024)	0	519	519
Liczba cytowań wg Scopus bez autocytowań (stan na dzień 16.12.2024)	0	496	496
Indeks Hirscha według Web of Science (stan na dzień 16.12.2024)	0	11	11
Indeks Hirscha według Scopus (stan na dzień 16.12.2024)	0	11	11

**Tabela 2. Zestawienie dorobku naukowego według udziału habilitantki w publikacji**

Miejsce publikacji	Przed doktoratem			Po doktoracie			Suma
	Liczba wszystkich publikacji	Pierwszy autor	Autor korespondencyjny	Liczba wszystkich publikacji	Pierwszy autor	Autor korespondencyjny	
Publikacje w czasopismach posiadających IF	<b>2</b>	2	2	<b>16</b>	7	7	<b>18</b>
Publikacje w czasopismach nieposiadających IF	<b>0</b>	0	0	<b>5</b>	3	5	<b>5</b>
Rozdziały w monografiach	<b>1</b>	1	1	<b>4</b>	2	2	<b>5</b>
Suma:	<b>3</b>	3	3	<b>25</b>	12	14	<b>28</b>

**Tabela 3. Zestawienie liczbowe publikacji z listy JCR**

Czasopismo	Ilość	Rok wydania	Impact Factor	Pkt MNiSW
Weed Research	1	2001	0,989	11
Cellular & Molecular Biology Letters	1	2002	0,651	5
Plant Breeding	1	2005	0,823	20
Tree Genetics & Genomes	2	2009	2,018	20
Molecular Breeding	1	2011	2,852	35
Theoretical and Applied Genetics	1	2014	3,79	45
Ecotoxicology and Environmental Safety	1	2018	4,527	30

Science of the Total Environment	2	2020	7,963	200
		2021	10,754	200
Agronomy - Basel	2	2020	3,417	100
		2021	3,949	100
Zemdirbyste-Agriculture	1	2020	1,083	40
Agriculture - Basel	2	2023	3,3	140
Plant Protection Science	1	2023	1,7	100
Journal of Phytoremediation	1	2024	3,4	100
Scientific Reports	1	2024	3,8	140

*Marta Stankiewicz-Koryl*  
 (podpis wnioskodawcy)