



Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu



Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Rolnictwa, Ogrodnictwa i Bioinżynierii

Dziedzina: nauki rolnicze

Dyscyplina: rolnictwo i ogrodnictwo

Katedra Agronomii

mgr inż. Monika Grzanka

Rozprawa doktorska pt.:

„Wpływ wybranych olejków eterycznych oraz parametrów cieczy opryskowej na skuteczność zwalczania chwastów i grzybów chorobotwórczych”

Doctoral dissertation: "The impact of selected essential oils and spray solution parameters on the efficacy of control weeds and pathogenic fungi"

Praca doktorska wykonana
w Katedrze Agronomii pod kierunkiem:
dr. hab. Łukasza Sobiecha, promotora
dr. inż. Jakuba Danielewicza, promotora pomocniczego

Poznań, 2022

Cykl publikacji

Rozprawa doktorska została przygotowana na podstawie cyklu publikacji, w którego skład wchodzi następujące prace:

1. **Grzanka M.**, Sobiech Ł., Idziak R., Skrzypczak G. 2022. Effect of the time of herbicide application and the properties of the spray solution on the efficacy of weed control in maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Agriculture* 2022, 12, 353.
Punktacja wg MEiN (2021): 100 IF: 2,925
2. **Grzanka M.**, Sobiech Ł., Skrzypczak G., Piechota T. 2021. Herbicides efficacy against volunteer oilseed rape as influenced by spray solution pH. *Agronomy*, 11(5), 887.
Punktacja wg MEiN (2021): 100 IF: 3,417
3. **Grzanka M.**, Sobiech Ł., Stuper-Szablewska K., Danielewicz J., Skrzypczak G. 2022. Effect of selected essential oils on the efficacy of volunteer oilseed rape control and phytotoxicity in maize plants. *Chil. J. Agric. Res.* 82(1), 88-96.
Punktacja wg MEiN (2022): 40 IF: 1,677
4. **Grzanka M.**, Sobiech Ł., Danielewicz J., Horoszkiewicz-Janka J., Skrzypczak G., Sawinska Z., Radzikowska D., Świtek S. 2021. Impact of essential oils on the development of pathogens of the *Fusarium* genus and germination parameters of selected crops. *Open Chem.* 19, 884-893.
Punktacja wg MEiN (2021): 70 IF: 1,554

Sumaryczny IF: 9,573

Udział doktorantki w poszczególnych pracach

Oznaczenie publikacji	1	2	3	4
Publikacja	Grzanka i in. 2022	Grzanka i in. 2021	Grzanka i in. 2022	Grzanka i in. 2021
Opracowanie koncepcji badań	TAK	TAK	TAK	TAK
Przeprowadzenie badań	TAK	TAK	TAK	TAK
Opracowanie danych	TAK	TAK	TAK	TAK
Napisanie pracy	TAK	TAK	TAK	TAK

Dziękuję Promotorom pracy,
Współautorom publikacji,
Współpracownikom z Katedry Agronomii,
bez których ta praca nie mogłaby powstać
oraz wszystkim Osobom wspierającym mnie w trakcie jej tworzenia

Spis treści

1. Streszczenie	6
2. Summary	7
3. Wstęp	8
4. Hipotezy badawcze	15
5. Cele pracy	15
6. Metodyka	16
7. Wyniki	25
7.1. Wpływ terminu aplikacji herbicydów oraz właściwości cieczy opryskowej na skuteczność zwalczania chwastów w uprawie kukurydzy	25
7.2. Wpływ herbicydów zastosowanych w zmiennym pH na skuteczność zwalczania samosiewów rzepaku	29
7.3. Wpływ wybranych olejków eterycznych na skuteczność zwalczania samosiewów rzepaku i fitotoksyczność w stosunku do kukurydzy	32
7.3.1. Skład olejków eterycznych	33
7.3.2. Doświadczenie szklarniowe	33
7.4. Wpływ olejków eterycznych na rozwój patogenów z rodzaju <i>Fusarium</i> i parametry kiełkowania wybranych roślin uprawnych	37
7.4.1. Wpływ olejków eterycznych na rozwój patogenów z rodzaju <i>Fusarium</i>	37
7.4.2. Test wzrostu i porażenia siewek	38
8. Dyskusja	41
9. Wnioski	49
10. Spis literatury	50
11. Opis pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	70

1. Streszczenie

W cyklu publikacji wchodzącym w skład rozprawy doktorskiej podjęto próbę oceny wpływu wybranych olejków eterycznych oraz parametrów cieczy opryskowej na skuteczność zwalczania chwastów i grzybów chorobotwórczych. Tematyka taka została podjęta ze względu na konieczność poszukiwania rozwiązań, które pozwolą na ograniczenie wykorzystania syntetycznych środków ochrony roślin. W ramach prowadzonych badań wykonano doświadczenia laboratoryjne, szklarniowe oraz polowe. Przeprowadzono analizę składu chemicznego olejków eterycznych pochodzących z komercyjnego źródła. Testowano wpływ wybranych z nich (goździkowego oraz sosnowego) na skuteczność zwalczania samosiewów rzepaku ozimego oraz ich fitotoksyczność względem kukurydzy. Badano również wpływ olejków na rozwój grzybów z rodzaju *Fusarium* oraz zdolność kiełkowania ziaren pszenicy ozimej i kukurydzy. Oceniano także skuteczność działania herbicydów aplikowanych w różnym pH cieczy opryskowej. W przeprowadzonym trzyletnim doświadczeniu polowym określano efektywność środków chwastobójczych stosowanych w uprawie kukurydzy w różnych terminach oraz z dodatkiem związku żelaza i kwasu cytrynowego. Otrzymane wyniki badań wskazują, że wybrane olejki eteryczne posiadają potencjał do stosowania, jako preparaty do zwalczania chwastów i grzybów chorobotwórczych, jednak ich wprowadzenie do praktycznego wykorzystania wymaga dalszych badań. W przypadku ich aplikacji jako potencjalnych bioherbicydów obserwowano skuteczność działania olejku goździkowego na poziomie przekraczającym 40%, natomiast fitotoksyczność związku wynosiła maksymalnie 25%. Rozwijające się później liście nie wykazywały objawów uszkodzenia. Olejki eteryczne zastosowane w celu ograniczania rozwoju grzybów chorobotwórczych przyczyniły się do istotnego zahamowania ich wzrostu oraz zmniejszenia porażenia roślin, jednak przy określonych stężeniach obserwowano istotne zakłócenia w kiełkowaniu ziaren. W przeprowadzonych badaniach wykazano również wpływ terminu stosowania herbicydów oraz właściwości cieczy opryskowej na efektywność zabiegów chwastobójczych. Pomiar fluorescencji chlorofilu pozwolił ocenić stres roślin uprawnych wywołany konkurencją ze strony chwastów, co potwierdziło się także w poziomie plonowania kukurydzy. Poszukiwanie nowych metod ochrony roślin przed chwastami i porażeniem przez grzyby chorobotwórcze oraz udoskonalanie istniejących już sposobów ograniczania presji ze strony agrofagów jest ważnym elementem współczesnych badań w dziedzinie rolnictwa.

2. Summary

In the series of publications included in the doctoral dissertation, an attempt was made to evaluate the impact of selected essential oils and the parameters of the spray solution on the efficacy of weeds and pathogenic fungi control. This subject was undertaken due to the necessity to search for solutions that will allow limiting the use of synthetic plant protection products. As a part of the research, laboratory, greenhouse and field experiments were carried out. The chemical composition of essential oils obtained from a commercial source was analyzed. The effect of selected of them (clove and pine oils) on the efficacy of volunteer oilseed rape control and phytotoxicity to maize was tested. The influence of the essential oil on the development of fungi of the *Fusarium* genus and the germination capacity of winter wheat and maize seeds were also investigated. The efficacy of herbicides applied at different pH of spray solution was also assessed. In a three-year field experiment, the efficacy of herbicides applied in maize cultivation at different crop stage and with the addition of iron and citric acid was determined. The obtained research results indicate that the selected essential oils have the potential to be used as products for control weeds and fungal diseases, but their implementation for practical use requires further research. In the case of their application as a potential bioherbicides, the efficacy of clove oil was observed at a level exceeding 40%, while the phytotoxicity of the tested compound was up to 25%. Later developing leaves showed no signs of damage. Essential oils, used in limiting the fungal pathogens development, significantly inhibited their growth and infestation of plants, however, at certain concentrations, a significant inhibition of seeds germination was observed. The conducted research also showed the influence of the time of application of herbicides and the properties of the spray solution on the efficacy of herbicidal treatments. Measurement of chlorophyll fluorescence made it possible to assess the stress of crops caused by competition from weeds, which was also confirmed in the level of maize yield. The search for new methods of protecting plants against weeds and diseases, and the improvement of existing methods of reducing pressure from pests is an important element of current agricultural research.

3. Wstęp

Na poziom plonowania roślin uprawnych ma wpływ wiele czynników. Do najważniejszych z nich zaliczają się warunki glebowe i atmosferyczne, dobór odmiany oraz poziom nawożenia (van Ittersum i in. 2013; Linina i Ruza 2018). Bardzo ważna jest także ochrona roślin przed chwastami, chorobami oraz szkodnikami. Agrofagi mogą w znacznym stopniu przyczynić się do zmniejszenia ilości zbieranych płodów rolnych oraz pogorszenia ich jakości (Oerke, 2006). Chwasty mogą także utrudniać zbiór roślin (Chhokar i in. 2012).

Przed współczesnym rolnictwem stoi wiele istotnych wyzwań. Rosnąca liczba ludności przy zmniejszającej się powierzchni pól uprawnych niesie konieczność zwiększania wydajności produkcji rolnej (de Clercq i in. 2018). Jednocześnie wskazuje się na konieczność ograniczania ilości chemicznych środków ochrony roślin, które trafiają do środowiska (Carvalho 2017). Wzrasta także problem odporności agrofagów na herbicydy, fungicydy oraz insektycydy (Hawkins i in. 2019). Dodatkowym wyzwaniem jest wycofywanie z rynku Wspólnoty Europejskiej kolejnych środków ochrony roślin (Lamichhane i in. 2018). Mniejsza ilość zarejestrowanych do zastosowania substancji aktywnych niesie za sobą ryzyko wzrostu problemów odporności agrofagów (Ekspertyza IOR 2021). Stwarza to konieczność poszukiwania nowych metod zwalczania chwastów, chorób i szkodników oraz poprawy działania już istniejących produktów.

Obecna polityka Unii Europejskiej zmierza w kierunku dużych zmian w rolnictwie. Strategia „Od pola do stołu” będąca częścią tzw. „Zielonego Ładu” w najbliższym czasie będzie dla europejskiego rolnictwa dużym wyzwaniem. Zakłada ona między innymi zmniejszenie zużycia środków ochrony roślin o 50%, redukcji stosowania nawozów o 20% oraz przeznaczanie 25% gruntów rolnych na terenie Unii Europejskiej na cele produkcji ekologicznej do 2030 roku (Komisja Europejska 2020). W związku z tym prognozowany jest spadek produkcji rolnej w UE o 7 do 12% w wyniku przyjęcia wymienionych zasad. Dodatkowo przewiduje się zmniejszenie konkurencyjności unijnego rolnictwa w stosunku do produkcji prowadzonej na innych obszarach (Beckman i in. 2020). Z drugiej jednak strony zwraca się uwagę na pozytywne możliwości płynące z tej strategii, do których zalicza się stworzenie systemu gospodarki żywnościowej opartego o zintegrowane i zrównoważone metody, co wpłynie na bezpieczeństwo środowiska oraz zdrowia ludzi (Schebesta i Candel 2020).

Wyróżnia się różne metody zapobiegania występowaniu chwastów i chorób roślin, a także ich zwalczaniu. Integrowana ochrona roślin zakłada wykorzystanie wszystkich,

zwłaszcza nie chemicznych metod ograniczania występowania agrofagów (Sawinska i in. 2020). Niemniej jednak ochrona chemiczna ma ogromne znaczenie w utrzymaniu odpowiedniego plonowania roślin uprawnych. Należy jednak pamiętać, że stosowanie środków ochrony roślin jest jednym z elementów współczesnego rolnictwa oraz warunkiem zachowania bezpieczeństwa żywnościowego (Cooper i Dobson 2007). Wśród asortymentu środków ochrony roślin stosowanych w Polsce największe zużycie notuje się dla herbicydów, na drugim miejscu są fungicydy (GUS 2020).

Istnieje wiele metod pozwalających na osiągnięcie odpowiednio wysokiej skuteczności działania aplikowanych środków ochrony roślin. Jednym z warunków powodzenia wykonanego zabiegu jest odpowiedni dobór preparatu do zwalczanego agrofaga (Kudsk 2008). W przypadku chwastów poszczególne gatunki bywają charakterystyczne dla określonych upraw oraz typów siedlisk (Meiss i in. 2010; Pinke i in. 2010). W wielu płodozmianach istotnym problemem występującym na polach są samosiewy rzepaku (Krato i Petersen, 2012). Stanowią one zagrożenie w różnych rodzajach upraw (Weber i in. 2014; Streit i in. 2002). Nasiona wspomnianej rośliny cechują się długą żywotnością w glebie (Lutman i in. 2005). Dodatkowo liście rzepaku pokryte są grubą warstwą wosku, co utrudnia ich zwilżanie i zwalczanie (Cobb i Reade 2010).

Osiągnięcie odpowiedniej skuteczności wykonywanego zabiegu zależy także od terminu aplikacji określonych preparatów oraz warunków pogodowych (Metzger i in. 2019; Stewart i in. 2012). Nie można zapomnieć także o właściwościach wody. Nośnik ten jest głównym składnikiem cieczy opryskowej, a więc w dużej mierze może wpłynąć na skuteczność wykonywanych zabiegów (Roskamp i in. 2013). Kilka aspektów jest ważnych w tej kwestii. Odczyn cieczy opryskowej wpływa na rozpuszczanie herbicydów. Jest zatem jednym z czynników determinujących pobieranie środków ochrony roślin przez chwasty (Matocha i in. 2006). Poszczególne substancje aktywne cechują się odmiennymi wymaganiami względem odczynu cieczy opryskowej (Dávid i Máté 2009). Niewłaściwe pH może przyczynić się do zbyt szybkiej hydrolizy herbicydu (Scrano i in. 1999). Odpowiedni odczyn cieczy opryskowej może zapobiegać integracji substancji aktywnej z jonami zawartymi w wodzie (McMullan, 2000). Kolejnym aspektem związanym ze skutecznością działania herbicydów, który odnosi się do właściwości cieczy opryskowej jest zawartość w wodzie jonów różnych pierwiastków. Jednym z metali występujących w wodzie jest żelazo, którego zawartość w wodzie pitnej nie powinna przekraczać 0,2 mg/l (Kuziemska i in. 2016). Podaje się jednak przypadki wykrywania znacznych ilości tego pierwiastka w wodzie wodociągowej (Radzka i in. 2008; Fazullin i Fazylova 2020). Podwyższona zawartość jonów żelaza oraz jonów innych metali przyczynia

się do spadku skuteczności działania herbicydów (de Ruiter i in. 2001; Chahal i in. 2012). Jony zawarte w wodzie mogą łączyć się z jonami herbicydów, co prowadzi do powstania trudno rozpuszczalnych soli i uniemożliwia odpowiednie działanie aplikowanych preparatów (Penner 2000).

Jedną z najważniejszych roślin uprawianych na świecie jest kukurydza (Al-Mitewty i in. 2019). Wykorzystywana jest ona między innymi w produkcji żywności czy paszy dla zwierząt (Klopfenstein i in. 2013). W przemyśle użytkowana jest także w produkcji bioetanolu (del Río i in. 2020). Areał uprawy tej rośliny znacząco wzrósł w Polsce na przestrzeni lat (GUS 2020) i obecnie osiąga ok. 1,7 mln ha (ARiMR 2022). Plony kukurydzy mogą w znacznym stopniu zostać ograniczone przez zachwaszczenie (Shrestha i in. 2019). Roślina ta cechuje się wolnym początkowym wzrostem. Jest rośliną uprawianą w szerokich międzyrzędziach (Chassot i in. 2001). Skutkuje to silnym jej narażeniem na konkurencyjne oddziaływanie ze strony chwastów (Iqbal i in. 2020).

Chwasty na polach uprawnych pojawiają się w różnych terminach (Fried i in. 2020). Ważne jest zatem aby wybrać taki termin wykonania zabiegu, który pozwoli zwalczyć całe spektrum gatunkowe chwastów. Herbicydy w uprawie kukurydzy można stosować zarówno przedwschodowo jak i powschodowo (Tityanov i in. 2020). W przypadku zabiegu przedwschodowego roślina uprawna już na początku swego rozwoju nie podlega konkurencyjnemu oddziaływaniu ze strony chwastów (Ramesh i in. 2019). Warunkiem osiągnięcia wysokiej skuteczności tego typu zabiegu jest odpowiednia wilgotność gleby (Jursík i in. 2015). Zabiegi powschodowe dają z kolei możliwość dopasowania herbicydów do występującego w momencie aplikacji spektrum gatunkowego niepożądanych roślin (Loux i in. 2017). W tym przypadku jednak chwasty nie powinny być zbyt zaawansowane we wzroście (Dewar, 2009; Sarabi i in. 2014). W miarę upływu czasu warstwa wosku pokrywająca rośliny staje się coraz grubsza, co utrudnia działanie stosowanych preparatów (Krähmer i in. 2021; Placido i in. 2021). W uprawie kukurydzy można zastosować również ochronę herbicydową z wykorzystaniem dawek dzielonych środków ochrony roślin (Gołębiowska i Rola 2010). Pozwala to na dobór różnych terminów zabiegów do warunków panujących na plantacji i zwalczanie chwastów w okresie ich największej wrażliwości (Kierzek i in. 2011). Technologia ta znana jest już dobrze w uprawie buraków cukrowych (Wendt i in. 2016). Herbicydy w tym systemie aplikowane są w obniżonych dawkach, a do składu cieczy opryskowej dodawany jest adiuwant (Wujek i in. 2012).

W uprawie kukurydzy można stosować herbicydy o różnych mechanizmach działania (Kumawat i in. 2019). Nikosulfuron, rimsulfuron oraz tritosulfuron zaliczane są do pochodnych

sulfonylomocznika, natomiast tienkarbazon metylu należy do grupy chemicznej sulfonyloaminokarbonylotriazolinonów. Substancje te są inhibitorami funkcjonowania syntazy acetolaktanowej (ALS) (Forouzesh i in. 2015). Nikosulfuron, rimsulfuron i tienkarbazon metylu wykorzystywane są do zwalczania chwastów jednoliściennych oraz dwuliściennych, natomiast tritosulfuron zwalcza chwasty dwuliścienne (Faber i in. 2016; Serim i in. 2016; Lancaster i in. 2018; Liu i in. 2019). Substancje te hamują działania enzymu ALS, który jest ważnym elementem w szlaku syntezy aminokwasów rozgałęzionych: leucyny, waliny i izoleucyny (Anthimidou i in. 2020). Herbicydy sulfonylomocznikowe zwalczają szerokie spektrum gatunkowe chwastów, wykazują niską toksyczność w stosunku do zwierząt oraz dużą selektywność w stosunku do roślin uprawnych (Brown 1990). Herbicydy należące do tej grupy początkowo oddziałują na tkanki merystematyczne zakłócając ich wzrost. Po upływie 3-4 tygodni od aplikacji tych substancji dochodzi do chlorozy i martwicy tkanek oraz zamierania roślin (Baghestani i in. 2007). Nikosulfuron, rimsulfuron i tritosulfuron wykazują działanie systemiczne i stosowane są powschodowo (Scrano 1999; Sekutowski 2008; 50. de Lemos Barroso i in. 2012; EU Reference Laboratory 2017). Tienkarbazon metylu działa systemicznie, wykorzystywany jest w zabiegach przedwzrostowych i powschodowych (Tracchi i in. 2010; Santel i in. 2012; Leonie i in. 2014).

Bromoksynil jest pochodną hydroksybenzoniuryli, zaliczaną do inhibitorów fotosystemu II (PSII) (Cuthbert i in. 2001; Cutulle i in. 2014). Herbicydy należące do tej grupy wiążą białko, które powinno być związane z plastochinonem Qb, co prowadzi do zakłócenia przepływu elektronów z plastochinonu Qa do plastochinonu Qb. W konsekwencji prowadzi to do zaburzenia przebiegu procesu fotosyntezy. Objawami zastosowania herbicydów z grupy inhibitorów PSII są chlorozy i nekrozy roślin (Hess 2000). Bromoksynil wykazuje działanie kontaktowe, zwalcza chwasty dwuliścienne (Rosenbrock i in. 2004; McElroy 2006).

Dikamba należy do pochodnych kwasu benzoowego (Werle i in. 2018). Jest to syntetyczna auksyna (Pettinga i in. 2018). Ze względu na poziom skomplikowania szlaków sygnałowych auksyn, dokładny sposób działania substancji należących do regulatorów wzrostu nie jest do końca poznany (Todd i in. 2020). Objawem działania tych herbicydów jest grubienie tkanek, zwijanie łodyg, zahamowanie wzrostu, chlorozy oraz nekrozy roślin poddanych zabiegowi (Grossmann 2010). Dikamba wykazuje działanie systemiczne, stosowana jest powschodowo (Roesler i in. 2020). Substancja ta zwalcza niektóre chwasty dwuliścienne (Zhang i in. 2019a).

Izoksafłutol jest substancją należącą do isoksazoli, mezotrion natomiast zaliczany jest do trójketonów (Zheng i in. 2021; Barchanska i in. 2016). Mechanizm działania tych związków

polega na inhibicji 4-hydroksyfenylo-purywato-dwoksygenazy (HPPD) (O'Brien i in. 2018). Jest to enzym biorący udział w szlaku syntezy karotenoidów (Duke i in. 2020). Uczestniczy w procesie przekształcania tyrozyny w α -tokoferol i plastochinon (Kopsell i in. 2009). Zakłócenie tego procesu skutkuje zaburzeniami w syntezie karotenoidów, a w dalszym etapie uszkodzeniem chlorofilu i bieleniem roślin (Williams i Pataky 2010). Izoksaflutol stosowany jest przedwschodowo, natomiast mezo-trion aplikuje się przedwschodowo i powschodowo. Obie substancje wykazują działanie systemiczne (Mitchell i in. 2001; Sims i in. 2009). Wykorzystywane są do zwalczania chwastów jednoliściennych i dwuliściennych (Allemann i Molomo 2016; Zhao i in. 2017).

Obecnie w coraz szerszym zakresie prowadzone są badania dotyczące wykorzystania biologicznych środków ochrony roślin (Rajput i in. 2020; Samada i Tambunan 2020). Przewiduje się, że ich udział w rynku środków ochrony roślin będzie wzrastał na przestrzeni lat (Dent 2020). Biopestycydy mogą zawierać w swoim składzie mikroorganizmy, feromony, żywe organizmy oraz wyciągi lub oleje roślinne (Czaja i in. 2014). Przykładem potencjalnych bioherbicydów są olejki eteryczne (De Mastro i in. 2021). Trwają również badania nad możliwością wykorzystania tych substancji jako fungicydów i insektycydów (Moumni i in. 2021). Olejki eteryczne są to lotne związki charakteryzujące się intensywnym zapachem. Posiadają w swym składzie mieszaninę terpenów, głównie seskwiterpenów i monoterpenów (de las Heras i in. 2003; Božik i in. 2017; Anupama i in. 2019). Mogą zawierać także pochodne fenylopropanu (Bakkali i in. 2008). Olejki eteryczne są nierozpuszczalne w wodzie. Rozpuszczają się w olejach, eterach oraz w alkoholu (Dhifi i in. 2016). Są substancjami pochodzenia naturalnego wykazującymi działanie bakteriobójcze (Elshafie i in. 2019). Olejki eteryczne mogą być pozyskiwane z różnych części wielu gatunków roślin (Campolo i in. 2018; Okla i in. 2019). Związki bioaktywne wchodzące w ich skład mają właściwości przeciwdrobnoustrojowe i przeciwutleniające (Tongnuanchan i Benjakul 2014). Biologiczna metoda ochrony roślin niesie za sobą zalety, wśród których największą uwagę zwraca się na ich bezpieczeństwo względem środowiska oraz organizmów niebędących celem zabiegu (Liu i in. 2021). Istnieją jednak także wady biopestycydów, a wśród nich skomplikowane procedury rejestracyjne, trudniejsza aplikacja oraz obserwowana czasem mniejsza skuteczność w porównaniu do chemicznych środków ochrony roślin (Glare i in. 2012; Damalas i Koutroubas 2018; Constantine i in. 2020).

Istnieją przykłady, że substancje pochodzenia naturalnego cechują się nowymi mechanizmami działania, co wykorzystuje się później do opracowania syntetycznych środków ochrony roślin (Loiseleur 2017). Zaliczyć tu można leptospermon, który dał początek

herbicydom z grupy trójketonów (Ndikuryayo i in. 2017). Istnieją przykłady środków ochrony roślin opartych o olejki eteryczne, które zostały już wprowadzone na rynek (Shiffler 2019; Isman 2020). Są one dodatkowo mieszaninami kilku związków (Franz i Novak 2010). Aplikacja preparatu mającego w swym składzie różne substancje daje nadzieję na ograniczenie rozwoju odporności (Koul i in. 2008). Podejmowane są także próby wykorzystania pojedynczych substancji, które w olejkach eterycznych występują w największych ilościach (Jabeur i in. 2017; Koïou i in. 2020). Przed szerokim wykorzystaniem olejków eterycznych w praktyce rolniczej stoją jednak pewne wyzwania. Zaliczyć tu można między innymi konieczność opracowania metod pozyskiwania dużych ilości olejków eterycznych o wyrównanym składzie oraz stabilizacji aplikowanych związków (Pavela i Benelli 2016).

Do jednych z najważniejszych grzybów chorobotwórczych atakujących rośliny uprawne należą te zaliczane do rodzaju *Fusarium*. Mogą one porażać wiele gatunków roślin i występować w różnych fazach ich rozwoju. Grzyby z rodzaju *Fusarium* wykrywane są między innymi w glebie i na reszkach poźniwnych (Landschoot i in. 2010; Edel-Hermann i in. 2015). Ich obecność stwierdza się także na powierzchni oraz pod powierzchnią okrywy owocowo-nasiennej ziarniaków zbóż (Mačkinaitė i in. 2006). Do gatunków należących do rodzaju *Fusarium*, które są często spotykane w uprawie pszenicy i kukurydzy zalicza się między innymi *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. avenaceum*, *F. poae* (Basler 2016; Kuzdrałiński i in. 2017; Beule i in. 2019). Porażają one wyżej wymienione rośliny w trakcie całego okresu ich rozwoju (Hudec i Muchová 2010; Pfordt i in. 2020). Przyczyniają się do obniżenia plonowania roślin uprawnych, a także porażenia ziarna metabolitami wtórnymi – mykotoksynami (Perincherry i in. 2019). Do najbardziej znanych substancji produkowanych przez grzyby należące do wspomnianego rodzaju należą niwalenol (NIV), deoksyniwalenon (DON), zearalenon (ZEN), fumonizyna B1 i toksyna T-2 (Ji i in. 2019). Substancje te wykazują negatywne działanie na zdrowie ludzi i zwierząt (Rogowska i in. 2019; Buszewska-Forajta 2020; Schelstraete i in. 2020). Ochrona roślin przed patogenami z rodzaju *Fusarium* ma swój początek już w trakcie zaprawiania ziarna (Capo i in. 2020). Pozwala to na zabezpieczenie roślin przed rozwojem różnych chorób przenoszonych z nasionami oraz przed porażeniem przez patogeny bytujące w glebie (Shahbaz i in. 2018). W trakcie rozwoju roślin uprawnych również można wykonać zabiegi ochronne przeciwko omawianym grzybom chorobotwórczym (Mesterházy i in. 2011).

Szybkie i nieinwazyjne określenie efektywnego wykorzystania światła w fotosystemie II (PS II) możliwe jest dzięki pomiarowi fluorescencji chlorofilu (Peterson i in. 2001). Fluorescencja chlorofilu określana jest jako zwrot energii świetlnej, która została zaabsorbowana przez cząsteczki chlorofilu (Kalaji i Łoboda 2010). Pomiar pozwala na

określenie energii niewykorzystanej w trakcie fotosyntezy, a także tej nieutraconej w trakcie emisji ciepła (Misra i in. 2012). Fotosystem II wykazuje wrażliwość na czynniki stresowe (Murchie, Lawson 2013). Dzięki temu pomiar fluorescencji stał się jednym z narzędzi do określania stresu roślin wywołanego przez czynniki abiotyczne oraz biotyczne (Moustakas i in. 2021). Wykorzystywane są między innymi do badania stresu roślin wywołanego zastosowaniem herbicydów (Yanniccari i in. 2012). Innym czynnikiem wpływającym niekorzystnie na rozwój roślin jest konkurencja ze strony chwastów (Dass i in. 2017). Do najważniejszych parametrów określanych w trakcie fluorescencji chlorofilu po adaptacji ciemniowej zalicza się F_0 – fluorescencja zerowa (początkowa), F_v – fluorescencja zmienna, F_m – fluorescencja maksymalna, F_v/F_m – maksymalna fotochemiczna wydajność PSII (Zai i in. 2012). Fluorescencja zerowa (F_0) ma miejsce, gdy wszystkie centra reakcji PSII są otwarte, a akceptory elektronów - plastochinony Q_a są maksymalnie utlenione (Baker i Rosenqvist 2004). Poddanie roślin stresowi przyczynia się do wzrostu wartości tego parametru (Briantais i in. 1996; Gholamin i Khayatnezhad 2011). Niekorzystne warunki dla rozwoju roślin prowadzą do obniżenia wartości parametru F_m (Hazrati i in. 2016). Dowodzi to temu, że nie wszystkie akceptory elektronów w PSII zostały całkowicie zredukowane (Kalaji i Łoboda 2010). Obniżenie wartości parametru F_v świadczy o zmniejszeniu wydajności kwantowej PSII (Fernandez i in. 1997). Parametr F_v/F_m mówi o maksymalnej kwantowej wydajności fotosystemu II (Sharma i in. 2015). Jego wartość u zdrowych roślin mieści się w przedziale około 0,78-0,84 (Björkman i Demmig, 1987; Misra i in. 2012). W warunkach stresu roślin obserwuje się spadek wartości tego parametru (Baker 2008).

4. Hipotezy badawcze

1. Wykorzystanie wybranych olejków eterycznych pozwala na ograniczenie rozwoju grzybów chorobotwórczych oraz chwastów.
2. Właściwości cieczy opryskowej herbicydów oraz ich termin stosowania mają wpływ na efektywność zabiegu chwastobójczego.

5. Cele pracy

1. Określenie możliwości wykorzystania wybranych olejków eterycznych jako potencjalnych bioherbicydów.
2. Poznanie wpływu olejków eterycznych na rozwój patogenów z rodzaju *Fusarium* i możliwości ich stosowania w zabiegu przedsiewnym.
3. Określenie wpływu pH cieczy opryskowej na skuteczność zwalczania samosiewów rzepaku ozimego.
4. Analiza efektywności działania herbicydów stosowanych w różnych terminach wraz z dodatkiem związku żelaza i kwasu cytrynowego.

6. Metodyka

Wpływ terminu aplikacji herbicydów oraz właściwości cieczy opryskowej na skuteczność zwalczania chwastów w uprawie kukurydzy

Metodyka została podana na podstawie pracy: Grzanka M., Sobiech Ł., Idziak R., Skrzypczak G. 2022. Effect of the time of herbicide application and the properties of the spray solution on the efficacy of weed control in maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Agriculture* 2022, 12, 353.

Doświadczenie polowe było prowadzone w latach 2019-2021 w Zakładzie Doświadczalno-Dydaktycznym Uprawy Roli i Roślin Gorzyń, w filii w Brodach (52°25' N, 16°18' E). Gleby pól testowych zaliczane są do piasku gliniastego, o pH 6,1 – 6,8 i zawartości materii organicznej na poziomie 1,2%. Doświadczenie przeprowadzono w układzie bloków zrandomizowanych, z czterema powtórzeniami dla każdej z kombinacji. Poletka miały wymiary 2,5 m·9 m = 22,5 m². Na polu doświadczalnym prowadzona była uprawa konwencjonalna. W każdym poletku wysiano po cztery rzędy kukurydzy w rozstawie co 70 cm. Kukurydza (*Zea mays* L.) odmiany PR39H32 wysiewana była corocznie w ostatnich 10-ciu dniach kwietnia na głębokość 4 cm. Nawożenie mineralne zaplanowane było z uwzględnieniem zasobności gleby oraz potrzeb pokarmowych roślin. Fosfor stosowany był jesienią w roku poprzedzającym uprawę w dawce 50-75 kg·ha⁻¹. Wiosną przed siewem rośliny uprawnej stosowano 90 kg azotu na hektar, natomiast w fazie 7-8 liści kukurydzy podawano drugą dawkę azotu w ilości 70 kg·ha⁻¹. Wysokość kukurydzy mierzona była corocznie w miesiącu wrześniu. Plony zbierane były na przełomie września i października i przeliczane na 15% wilgotności ziarna.

Herbicydami zaaplikowanymi w przeprowadzonym doświadczeniu były Nicogan 040 SC (nikosulfuron - 40 g substancji aktywnej (s.a.)·l⁻¹; Adama Polska Sp. z o.o., Warszawa, Polska), Mocarz 75 WG (tritosulfuron - 250 g s.a.·kg⁻¹+ dikamba - 500 g s.a.·kg⁻¹; BASF SE, Ludwigshafen, Republika Federalna Niemiec) i Adengo 315 SC (tienkarbazon metylu - 90 g s.a.·l⁻¹ + izoksaflutol - 225 g s.a.·l⁻¹; Bayer S.A.S., Lyon, Republika Francuska). Zabieg A wykonywano przedwschodowo (BBCH 00-09), zabiegi B oraz C powschodowo (B - BBCH 12-13; C - BBCH 15-16). Poziom żelaza w wodzie podnoszono z wykorzystaniem FeSO₄·7H₂O (Chempur, Piekary Śląskie, Polska) w dawce 0,015 g·l⁻¹. W wybranych kombinacjach do składu cieczy opryskowej dodawano kwas cytrynowy (C₆H₈O₇, Archem, Lany, Poland) w dawce 0,25 g·l⁻¹. W kombinacjach, w których środki ochrony roślin były stosowane w systemie dawek dzielonych, do składu cieczy

opryskiwanej dodawano adiuwant Break-Thru Vibrant (Evonik Industries AG, Essen, Niemcy) w dawce 0,1% objętości cieczy opryskowej. Herbicydy zastosowano przy pomocy opryskiwacza poletkowego wyposażonego w dysze Tee Jet DG 11002-VS. Szerokość belki opryskowej wynosiła 2,5 m, natomiast jej wysokość od powierzchni gleby w zabiegu przedwschodowym oraz od wysokości roślin uprawnych w zabiegach powschodowych wynosiła 50 cm. Wizualną ocenę skuteczności działania herbicydów wykonywano po 21 dniach od aplikacji wszystkich herbicydów. Wyrażono ją w %, gdzie 0% to brak działania, a 100% to całkowite zniszczenie chwastów.

Tabela 1. Warunki meteorologiczne dla poszczególnych zabiegów

Terminy wykonania zabiegu	Data wykonania zabiegu	Suma opadów w okresie tygodnia przed zabiegiem [mm]	Temperatura w trakcie wykonywania zabiegu [°C]	Czas do pierwszych opadów po zabiegu	Suma pierwszych opadów po zabiegu [mm]	Suma opadów w okresie tygodnia po zabiegu [mm]
2019						
A	25.04.2019	0,1	17,8	3 dni	4,4	7,1
B	21.05.2019	28,0	20,6	9 godzin	9,4	9,4
C	30.05.2019	17,9	12,8	2 dni	0,1	0,1
2020						
A	27.04.2020	3,4	18,8	2 dni	1,2	6,3
B	19.05.2020	0,0	14,4	4 dni	8,4	17,0
C	01.06.2020	10,3	14,8	1 dzień	9,0	11,8
2021						
A	28.04.2021	0,0	12,0	1 dzień	0,6	26,9
B	24.05.2021	4,5	18,1	12 godzin	0,1	17,0
C	02.06.2021	22,7	23,4	1 dzień	0,1	0,1

Charakterystykę warunków termiczno-opadowych przedstawiono dla dekad oraz całych miesięcy przy użyciu współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa obliczanego zgodnie ze wzorem: $k = \frac{P}{0,1 \Sigma t}$

k - współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa

P - suma opadów atmosferycznych w mm

Σt - suma temperatur powietrza >0°C.

Otrzymane wyniki przedstawiono dla 10 klas omawianego współczynnika, zgodnie z metodyką Skowera i Puła (2004).

Analizę zachwaszczenia dokonywano na początku lipca w każdym roku prowadzenia badań. Chwasty pobierano z dwóch miejsc z każdego poletka (powierzchnia $1\text{m} \cdot 0,7\text{m} = 0,7\text{ m}^2$), a następnie ich liczbę uśredniono i przeliczono na 1 m^2 . Analizy zbiorowisk chwastów przeprowadzono na stałych powierzchniach badawczych, będących jednorodnymi płatami roślinnymi kukurydzy. Określono skład gatunkowy oraz łączną liczbę chwastów na wszystkich powierzchniach oraz liczbę osobników należących do danego taksonu, a następnie zaklasyfikowano je do odpowiedniego systemu fitosocjologicznego (Matuszkiewicz 2008). Skład gatunkowy zbiorowisk chwastów i liczbę roślin każdego gatunku wykorzystano do oceny bioróżnorodności za pomocą wskaźników Simpsona (D), Shannona-Wienera (H') i Margalefa (K) (Iglesias-Rios i Mazzoni 2014; Pawlonka i in. 2014), korzystając ze wzorów: $D = 1 / \sum p_i^2$; $H' = -\sum p_i \ln p_i$, gdzie k to liczba kategorii, p_i to udział każdego gatunku w próbie; natomiast $K = \log S / \log N$, gdzie S to liczba gatunków, a N to całkowita liczba osobników w próbie. W celu oceny proporcji poszczególnych gatunków roślin określono stopień stałości według Braun-Blanqueta, wyrażając go w skali: V – 80-100% wszystkich obszarów fitosocjologicznych; IV – 60-80%; III – 40-60%; II – 20-40%; I – 0,01-20%. Współczynnik pokrycia obliczono stosując wzór: sumę średniego procentu pokrycia gatunkowego występującego we wszystkich obszarach fitosocjologicznych podzielono przez ogólną liczbę obiektów fitosocjologicznych i pomnożono przez 100 (Janicka i in. 2021).

Badania fluorescencji chlorofilu wykonano przy użyciu fluorymetru Multi-Mode (OS5p, Opti-Sciences, Inc., Hudson, USA). Każdego roku prowadzenia badań pomiar wykonywano 37 dni po aplikacji ostatnich herbicydów. Badanie wykonywano na losowo wybranych roślinach kukurydzy, na najmłodszych, w pełni rozwiniętych liściach. Na każdym z poletek wykonano po dwa pomiary, co dawało osiem wyników dla kombinacji w każdym roku prowadzenia badań. Przed wykonaniem pomiaru liście przez 30 minut były poddawane adaptacji do ciemności przy pomocy białych klipsów do zaciemniania liści. Zgodnie z instrukcją urządzenia pomiarowego, przed rozpoczęciem badań parametry zostały ustawione tak, aby sygnał fluorescencji mieścił się w przedziale 150-250 jednostek i był stabilny.

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji (ANOVA) dla doświadczeń jednoczynnikowych w układzie bloków losowych, natomiast najmniejszą istotną różnicę (NIR) obliczono dla poziomu ufności $p < 0,05$ za pomocą testu Tukey'a.

Wpływ herbicydów zastosowanych w zmiennym pH na skuteczność zwalczania samosiewów rzepaku

Metodyka została podana na podstawie pracy: Grzanka M., Sobiech Ł., Skrzypczak G., Piechota T. 2021. Herbicides efficacy against volunteer oilseed rape as influenced by spray solution pH. *Agronomy*, 11(5), 887.

W warunkach szklarniowych oceniano wpływ wybranych herbicydów stosowanych w zmiennym pH na skuteczność zwalczania rzepaku ozimego (*Brassica napus* ssp *oleifera* L.) odmiany Quartz. Przeprowadzono dwie serie doświadczenia, wykonując cztery powtórzenia dla każdej z kombinacji w układzie całkowicie losowym. Nasiona rzepaku ozimego wysiewano do doniczek o pojemności 1 l, wypełnionych mieszaniną gleby i piasku w proporcjach 1:1. Wilgotność gleby określano przy użyciu sondy ThetaProbe (ThetaProbe, Eijkelkamp, Holandia), a niedobory wody uzupełniano przy użyciu wody wodociągowej do poziomu 65-75% pojemności wodnej. Fotoperiod utrzymywany był na poziomie 16 h dzień : 8 h noc. Naturalne światło słoneczne było uzupełniane przy pomocy lamp sodowych (HPS) o mocy 400 W (Elektro-Valo Oy, Uusikaupunki, Finlandia). Wilgotność powietrza w szklarni utrzymywana była na poziomie 50-80%, natomiast temperatura powietrza wynosiła $25 \pm 2^\circ\text{C}$ w dzień oraz $20 \pm 2^\circ\text{C}$ w nocy. Siedem dni po wykiełkowaniu rzepaku ozimego wykonano przerywkę, pozostawiając w każdej z doniczek osiem wyrównanych roślin.

Zabieg opryskiwania wykonano, gdy rzepak ozimy był w fazie 2-3 liści. W doświadczeniu wykorzystano następujące herbicydy: Kideka 100 SC (mezotriion - $100 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, Nufarm GmbH & Co KG, Republika Austrii) – $1 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$, Nicogan 040 SC (nikosulfuron - $40 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, Adama Polska Sp. z o.o., Polska) – $1 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$, Rimel 25 SG (rimsulfuron - $250 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, Innvigo Sp. z o.o., Polska) $60 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, Arigo 51 WG (mezotriion - $360 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ + nikosulfuron - $120 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ + rimsulfuron - $30 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, DuPont Poland Sp. z o.o., Polska) $0,33 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ + adiuwant Trend 90 EC (etoksyłowany alkohol izodecyłowy, DuPont, Francja) w dawce 0,1% objętości cieczy opryskowej, Emblem Pro 385 SC (bromoksynil– $385 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, Nufarm GmbH & Co KG, Republika Austrii) – $0,65 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$. Odczyn cieczy opryskowej modyfikowano dodając do składu kwas cytrynowy ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$, Archem, Lany, Polska) do pH 4 lub wodę amoniakalną ($\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$, TechlandLab, Tarnobrzeg, Polska) do pH 9. Próba kontrolna nie była opryskiwana. Zabieg wykonano przy użyciu opryskiwacza laboratoryjnego. Wydatek cieczy opryskowej wynosił $200 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ przy ciśnieniu 0,2 MPa. Wykorzystano rozpylacze Tee Jet 1102, które zamieszczone były 50 cm nad roślinami.

Badania fluorescencji chlorofilu wykonano na najmłodszych, w pełni rozwiniętych liściach rzepaku dla 3 roślin z każdego powtórzenia, uzyskując 12 wyników dla każdej z kombinacji. W tym celu wykorzystano fluorymeter Multi-Mode (OS5p, Opti-Sciences, Inc., Hudson, USA). Pomiary wykonano 5 oraz 7 dni po aplikacji herbicydów (5 DAA oraz 7 DAA). Przed pomiarami liście przez 30 minut były poddawane adaptacji ciemniowej z wykorzystaniem białych klipsów do zaciemniania liści. Przed rozpoczęciem badań, zgodnie z instrukcją urządzenia, parametry zostały ustawione tak, aby sygnał fluorescencji mieścił się w przedziale 150-250 jednostek i był stabilny. W trakcie pomiaru 7 DAA testom nie poddano roślin z kombinacji, w których zastosowano bromoksynil, gdyż ich uszkodzenia były zbyt duże i uniemożliwiły wykonanie pomiaru. 21 dni po aplikacji herbicydu wykonano wizualną ocenę skuteczności działania herbicydów, wykorzystując skalę 0-100% (0 – brak uszkodzeń, 100 – całkowite zniszczenie roślin). Oceniano również świeżą masę roślin.

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji (ANOVA) dla doświadczeń jednoczynnikowych w układzie losowym, natomiast najmniejszą istotną różnicę (NIR) obliczono dla poziomu ufności $p < 0,05$ za pomocą testu Tukey'a.

Wpływ wybranych olejków eterycznych na skuteczność zwalczania samosiewów rzepaku i fitotoksyczność w stosunku do kukurydzy

Metodyka została podana na podstawie pracy: Grzanka M., Sobiech Ł., Stuper-Szablewska K., Danielewicz J., Skrzypczak G. 2022. Effect of selected essential oils on the efficacy of volunteer oilseed rape control and phytotoxicity in maize plants. *Chil. J. Agric. Res.* 82(1), 88-96.

Skład olejków eterycznych

W badaniach wykorzystano olejki eteryczne pochodzące z komercyjnego źródła – firmy Etja, Elbląg, Poland. Badano dwa olejki eteryczne - goździkowy (*Eugenia caryophyllus* (Spreng.) Bullock & S. G. Harris) oraz sosnowy (*Pinus sylvestris* L.).

Składniki chemiczne z olejków eterycznych wyekstrahowano metodą mikroekstrakcji do fazy stałej (SPME). W tym celu próbki olejków eterycznych (8 ml) umieszczono w 20 ml fiolkach i wyekstrahowano za pomocą techniki nadpowierzchniowej SPME przez 30 min. w temperaturze 50°C z włóknem 200 mm 53/30 μm diwinylobenzen/karboksy/polidimetylosil oksanu StableFlex™ (DVB/Carboxen/PDMS) (Buśko i in. 2016; Perczak i in. 2019a). Analizy przeprowadzono na chromatografii gazowej (Agilent 7890A) połączonym ze spektrometrem

mas (TruTOF HT, LECO), stosując kolumnę kapilarną RTX-5 (0,20 mm x 10 m). Temperatura w komorze nastrykowej wynosiła 260°C bez dzielenia strumienia, temperatura separatora wynosiła 280°C. Podczas analizy temperatura początkowa wynosiła 40°C i była utrzymywana przez 1 min. Po czym temperatura wzrastała co 10°C/min do temperatury 180°C, a następnie temperatura wzrastała co 40°C/min do temperatury 260°C. Szybkość przepływu helu utrzymywano na stałym poziomie 0,8 ml/min. Widma uzyskano przy 50 widmach/s w zakresie 30-380 Da. Napięcie na detektorze wynosiło 2500 V, energia elektronów 70V. Zawartość substancji chemicznych oszacowano przez porównanie powierzchni ich pików całkowitego prądu jonowego (TIC) z wzorcem wewnętrznym (tridekan, 25 ng w pentanie) i wyrażono jako ich stosunek (RU). Identyfikacja związków odbywała się poprzez porównanie ich widm masowych z widmami z Narodowego Instytutu Standardów i Technologii ((NIST)/USA-Agencja Ochrony Środowiska (EPA)/National Institutes of Health (NIH), Biblioteka widma masowego (standard NIST), Reference Data Program, Gaithersburg, Maryland, USA)). Czasy retencji analizowanych związków porównano z danymi dostępnymi w literaturze.

Doświadczenie szklarniowe

W warunkach szklarniowych w układzie całkowicie losowym przeprowadzono dwie serie doświadczeń, w każdej z serii wykonując cztery powtórzenia dla kombinacji. Warunki panujące w szklarni były kontrolowane. Wilgotność powietrza utrzymywana była na poziomie 50-80%. Poziom światła uzupełniany był poprzez doświetlanie za pomocą pomocy lamp sodowych (HPS) o mocy 400 W (Elektro-Valo Oy, Uusikaupunki, Finlandia). Fotoperiod utrzymywany był na poziomie 16 h dzień: 8 h noc. Temperatura w szklarni wynosiła $25 \pm 2^\circ\text{C}$ w trakcie dnia oraz $20 \pm 2^\circ\text{C}$ w nocy.

W przeprowadzonym doświadczeniu roślinami testowymi były rzepak ozimy (*Brassica napus* ssp. *oleifera* L.) odmiany Quartz oraz kukurydza (*Zea mays* L.) odmiany SY Torino. W przypadku zabiegu wykonywanego doglebowo doniczki o pojemności 1l wypełniono glebą pochodzącą z pola. Do poszczególnych pojemników wysiano 15 nasion rzepaku lub 5 nasion kukurydzy. Zabieg wykonano jeden dzień po siewie. Dla aplikacji nalistnej nasiona wysiano do doniczek o takiej samej pojemności, wypełnionych ziemią torfową firmy Kronen. Po wykiełkowaniu roślin, w każdej z doniczek pozostawiono osiem roślin rzepaku ozimego lub cztery rośliny kukurydzy. Kiedy rzepak był w fazie 2-3 liści, a kukurydza w fazie 3-4 liści wykonano zabieg opryskiwania. Poszczególne substancje aplikowano przy użyciu opryskiwacza szklarniowego zaopatrzonego w dysze Tee Jet 1102 (TeeJet Technologies

GmbH, Schorndorf, Niemcy). Wydatek cieczy przy ciśnieniu 0,2 MPa wynosił 200 l·ha⁻¹. Próba kontrolna nie była opryskiwana. Próba kontrolna nie była opryskiwana. W jednej z kombinacji zaaplikowano herbicyd Kideka 100 SC w dawce 1 l·ha⁻¹ (mezotrion - 100 g·l⁻¹, Nufarm GmbH & Co KG, Republika Austrii) w przypadku aplikacji nalistnej lub herbicyd Tezosar 500 SC dawce 1 l·ha⁻¹ (terbutyloazyna - 500 g·l⁻¹, Ciech Sarzyna S.A., Poland) w przypadku aplikacji doglebowej. W kolejnych kombinacjach aplikowano goździkowy olejek eteryczny lub sosnowy olejek eteryczny wymieszane z etoksylovanym olejem rzepakowym (Rokacet RZ17, PCC group, Brzeg Dolny, Polska) w proporcji 4:1. Poszczególne olejki stosowano w czterech dawkach (5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹).

Pomiary fluorescencji chlorofilu wykonano przy użyciu fluorymetru Multi-Mode (OS5p, Opti-Sciences, Inc., Hudson, USA). Badania wykonano 1 oraz 6 DAA (dni po aplikacji). W obu terminach wykonano 12 powtórzeń dla każdej z kombinacji. W okresie 30 minut przed pomiarem liście poddawane były adaptacji do ciemności, z wykorzystaniem białych klipsów do zaciemniania liści. Przed wykonaniem pomiaru, zgodnie z instrukcją urządzenia, ustawiono parametry tak, aby sygnał fluorescencji mieścił się w przedziale 150-250 jednostek i był stabilny. Pomiarów dokonywano na najmłodszych, w pełni rozwiniętych liściach.

Wizualną ocenę skuteczności działania i fitotoksyczności poszczególnych substancji wykonano 3, 7, 14 oraz 21 DAA. Wyniki wyrażono w skali 0-100% (0 – brak efektu działania, 100 – całkowite zniszczenie roślin). 21 dni po wykonaniu zabiegu wykonano również pomiar świeżej masy roślin. W tym celu zebrano z każdego powtórzenia losowe rośliny (rzepak ozimy – 6 sztuk; kukurydza – 3 sztuki), które następnie zważono.

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji (ANOVA) dla doświadczeń jednoczynnikowych w układzie losowym, natomiast najmniejszą istotną różnicę (NIR) obliczono dla poziomu ufności $p < 0,05$ za pomocą testu Tukey'a.

Wpływ olejków eterycznych na rozwój patogenów z rodzaju *Fusarium* i parametry kiełkowania wybranych roślin uprawnych

Metodyka została podana na podstawie pracy: Grzanka M., Sobiech Ł., Danielewicz J., Horoszkiewicz-Janka J., Skrzypczak G., Sawinska Z., Radzikowska D., Świtek S. 2021. Impact of essential oils on the development of pathogens of the *Fusarium* genus and germination parameters of selected crops. Open Chem. 19, 884-893.

Wpływ olejków eterycznych na rozwój patogenów z rodzaju *Fusarium*

Badania przeprowadzono w laboratorium Zakładu Mykologii Instytutu Ochrony Roślin – Państwowego Instytutu Badawczego w Poznaniu. W doświadczeniu wykorzystano goździkowy (*Eugenia caryophyllus* (Spreng.) Bullock & S. G. Harris) olejek eteryczny oraz sosnowy (*Pinus sylvestris* L.) olejek eteryczny, pochodzące ze źródła komercyjnego (Etja, Elbląg, Polska). Olejki eteryczne wymieszano z etoksyłowanym olejem rzepakowym (Rokacet RZ17, grupa PCC, Brzeg Dolny, Polska) w stosunku 4:1, w celu stworzenia jednolitej formulacji, możliwej do rozpuszczenia w wodzie. Materiał do badań stanowiły patogeniczne grzyby: *Fusarium equiseti*, *F. culmorum*, *F. poae* oraz *F. avenaceum* (kolekcja chorobotwórczych mikroorganizmów Zakładu Mykologii IOR-PIB). Olejki eteryczne testowano w 4 dawkach - $5 \cdot 10^3$; $10 \cdot 10^3$; $15 \cdot 10^3$; $20 \cdot 10^3$ ppm. Do badań użyto izolaty grzybów rodzaju *Fusarium* wyizolowane z ziarniaków pszenicy o największej patogeniczności wytypowane w testach szklarniowych. Badane olejki eteryczne dodawano do sterylnej pożywki agarowo-glukozowo-ziemniaczanej (PDA) schłodzonej do temp. 45°C w takich ilościach, aby uzyskać odpowiednie stężenia. Uzyskaną mieszaninę pożywki i olejków rozlewano na szalki Petriego o średnicy 90 mm (do każdej po 18 ml). Na zestaloną pożywkę na szalkach Petriego w ich środkową część наносono krążki poszczególnych kultur grzybów o średnicy 4 mm. Kombinację kontrolną stanowiła czysta pożywka PDA (bez dodatku olejku). Płytki inkubowano w temperaturze 20°C przez 10 dni w kontrolowanych warunkach inkubacyjnych komory Bindera. Ocenę wykonano mierząc liniowy wzrost grzybni. Doświadczenie przeprowadzono w 2 seriach, każdorazowo w 3 powtórzeniach. Wynik przedstawiono jako średnią wartości. Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji (ANOVA) dla doświadczeń jednoczynnikowych w układzie losowym, natomiast najmniejszą istotną różnicę (NIR) obliczono dla poziomu ufności $p < 0,05$ za pomocą testu Tukey'a.

Test wzrostu i porażenia siewek

Badania przeprowadzono w laboratorium Katedry Agronomii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Wykorzystano olejki eteryczne wymieszane z etoksyłowanym olejem rzepakowym zgodnie z metodyką etapu 1.

W doświadczeniu oceniano wpływ wspomnianych związków na energię i zdolność kiełkowania ziaren, długość kiełków i korzeni oraz zdrowotność siewek kukurydzy odmiany PR39H32 oraz pszenicy ozimej odmiany Arkadia. W teście rulonowym, który założono z zastosowaniem bibuły filtracyjnej, wykorzystano ziarniaki zainokulowane grzybami

z rodzaju *Fusarium*. Inokulację ziarniaków przeprowadzono zgodnie z metodologią Jabera i Enkerli (2016). Konidia grzybów zebrano w sterylnych warunkach przez delikatne zeskrabanie powierzchni 21-dniowych zarodnikujących kultur *Fusarium*: *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. avenaceum* i *F. poae*. Grzybnię i zarodniki przefiltrowano przez kilka warstw sterylnej tkaniny do sterylnej szklanej butelki zawierającej 250 ml sterylnej wody destylowanej z dodatkiem 0,1% surfaktanta. W kolejnym etapie zawiesinę konidiów każdego szczepu grzyba homogenizowano mieszadłem magnetycznym przez 5 min (stężenie zarodników – 4 mln/ml). Ziarniaki o sterylnej powierzchni moczo w zawieszynie konidiów *Fusarium* spp. (Gurulingappa i in. 2010). Naczynia zawierające inokulowane ziarniaki przechowywano przez 24 w temperaturze 25°C w ciemności. Próbę kontrolną stanowiły zainokulowane ziarniaki, które nie zostały poddane moczeniu. W kolejnej kombinacji ziarniaki zamaczano przez 8 minut w wodzie destylowanej, pozostałe w roztworach olejków eterycznych o różnych dawkach - $5 \cdot 10^3$; $10 \cdot 10^3$; $15 \cdot 10^3$; $20 \cdot 10^3$ ppm. Dwie serie testu wykonano w trzech powtórzeniach dla obu gatunków roślin, w każdym z powtórzeń wykorzystano 25 ziarniaków. Rulony umieszczono w szafie termostatycznej, zapewniając stałą wilgotność (70%) w temperaturze 21°C. Po 4 dniach od momentu rozpoczęcia doświadczenia określono energię kiełkowania ziaren. Po 7 dniach od rozpoczęcia badań oceniano zdolność kiełkowania ziaren, długość kiełków oraz korzeni siewek. Na podstawie zebranych wyników określono indeks wigoru: Indeks wigoru (VI) = [długość kiełków (cm) × zdolność kiełkowania (%)]. W tym terminie określono także wizualnie porażenie powierzchni ziaren oraz siewek przez patogeny grzybowe.

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji (ANOVA) dla doświadczeń jednoczynnikowych w układzie losowym, natomiast najmniejszą istotną różnicę (NIR) obliczono dla poziomu ufności $p < 0,05$ za pomocą testu Tukey'a. Dla większości wyników określono również odchylenie standardowe.

7. Wyniki

7.1. Wpływ terminu aplikacji herbicydów oraz właściwości cieczy opryskowej na skuteczność zwalczania chwastów w uprawie kukurydzy

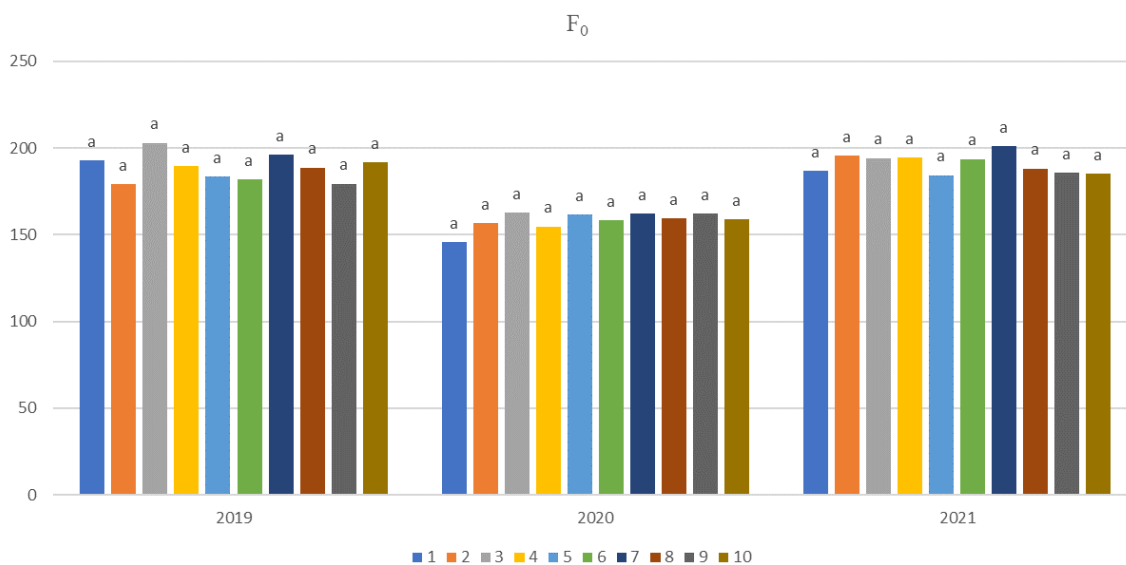
Najważniejsze wyniki na podstawie pracy: Metodyka została podana na podstawie pracy: Grzanka M., Sobiech Ł., Idziak R., Skrzypczak G. 2022. Effect of the time of herbicide application and the properties of the spray solution on the efficacy of weed control in maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Agriculture* 2022, 12, 353.

We wszystkich latach prowadzenia badań na polach doświadczalnych stwierdzono występowanie 14 gatunków chwastów (tab. 2). Niektóre gatunki, takie jak *Chenopodium album* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. zaklasyfikowano do rzędu *Polygono-Chenopodietalia*. Gatunek *Polygonum aviculare* L. zaklasyfikowano do klasy *Stellarietea mediae*, natomiast *Fallopia convolvulus* (L.) Löve została przyporządkowana do innych gatunków. Wymienione wyżej gatunki chwastów były bardziej rozpowszechnione w zbiorowisku, podczas gdy inne, w szczególności *Fumaria officinalis* L., *Lamium purpureum* L. (związek *Polygono-Chenopodion*), *Solanum nigrum* L. (rząd *Polygono-Chenopodietalia*) i inne odnotowane gatunki występowały znacznie rzadziej. Stopień stałości wskazuje jedynie na obecność gatunku w analizowanym obszarze, ale nie wskazuje na jego konkurencyjność. Rolę jaką poszczególne gatunki odgrywają w zbiorowisku chwastów, wyrażają wartości współczynnika pokrycia. Wyniki badań wskazują na dominującą rolę w zbiorowisku chwastów, głównie gatunków takich jak *Chenopodium album* (5492,0–7491,1), *Echinochloa crus-galli* (184,7–2030,7) i *Fallopia convolvulus* (248,6–2694,6).

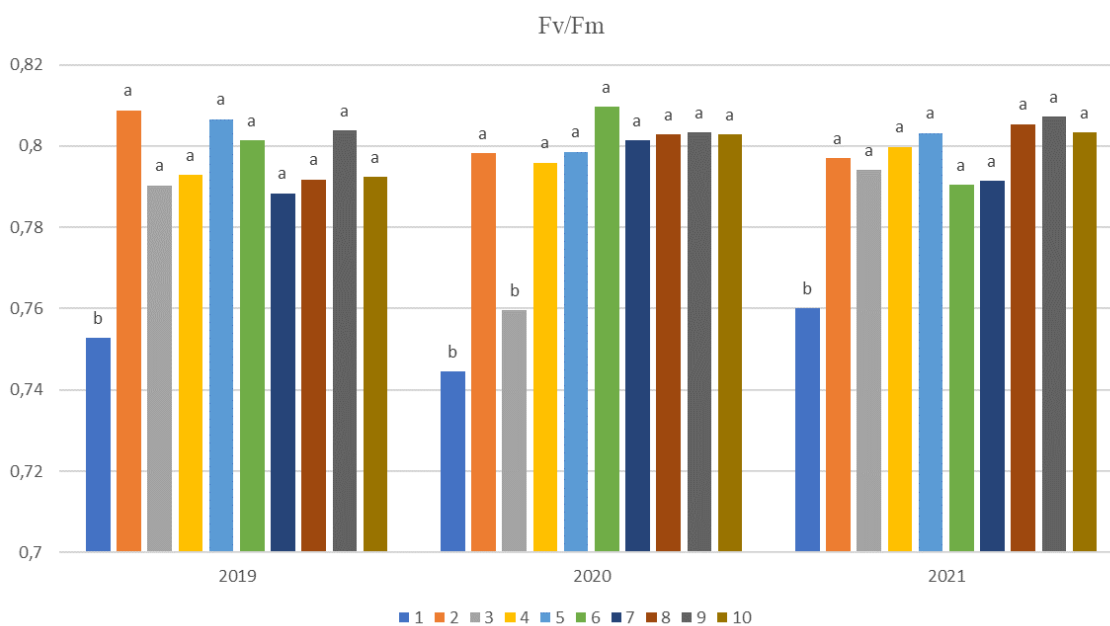
Tabela 2. Stopnie stałości i wartości współczynników pokrycia poszczególnych gatunków chwastów w uprawie kukurydzy

Gatunki	2019	2020	2021
Gatunki charakterystyczne dla związku (ChAll.) <i>Polygono-Chenopodion</i>			
<i>Fumaria officinalis</i>			I ^{79.4}
<i>Lamium purpureum</i>		II ^{63.3}	
Gatunki charakterystyczne dla rzędu (ChO.) <i>Polygono-Chenopodietalia</i>			
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	IV ^{85.4}	III ^{70.1}	III ^{207.6}
<i>Chenopodium album</i>	V ^{7491.1}	V ^{5917.1}	V ^{5492.0}
<i>Echinochloa crus-galli</i>	V ^{2030.7}	III ^{184.7}	III ^{250.8}
<i>Solanum nigrum</i>			III ^{65.7}
Gatunki charakterystyczne dla rzędu (ChO.) <i>Centauretalia cyani</i>			
<i>Anthemis arvensis</i>			III ^{52.9}
<i>Papaver rhoeas</i>		II ^{94.9}	
Gatunki charakterystyczne dla klasy (ChCl.) <i>Stellarietea mediae</i>			
<i>Anchusa arvensis</i>		IV ^{192.0}	II ^{26.9}
<i>Polygonum aviculare</i>	III ^{59.4}	IV ^{338.5}	IV ^{1779.9}
<i>Viola arvensis</i>		II ^{184.7}	
Gatunki charakterystyczne dla klasy (ChSCL.) <i>Galio-Urticenea</i>			
<i>Galium aparine</i>		II ^{260.0}	
Inne gatunki			
<i>Fallopia convolvulus</i>	IV ^{248.6}	V ^{2694.6}	V ^{2026.9}
<i>Polygonum lapathifolium ssp. brittingeri</i>	II ^{84.7}		

Pomiar fluorescencji chlorofilu pozwolił na ocenę stresu roślin uprawnych w wyniku konkurencji kukurydzy o zasoby środowiska z chwastami (rys. 1-2). Nie było to jednak potwierdzone statystycznie dla wszystkich badanych parametrów. W przypadku F₀ nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy poszczególnymi kombinacjami we wszystkich latach prowadzenia badań. Dla parametru F_v/F_m obserwowano natomiast istotny statystycznie spadek wartości dla kombinacji kontrolnej. Dodatkowo istotne statystycznie zmniejszenie wartości tego parametru obserwowane było w roku 2020 dla kombinacji, w której zastosowano jednokrotny powschodowy zabieg herbicydowy, a do składu cieczy opryskowej dodano związek żelaza.



Rysunek 1. Wyniki F_0 (jednostki nienominowane) dla rośliny uprawnej w poszczególnych latach prowadzenia badań. Numery kombinacji zgodne są z zapisami w tabelach 3-4. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($\rho < 0,05$)



Rysunek 2. Wyniki F_v/F_m (jednostki nienominowane) dla rośliny uprawnej w poszczególnych latach prowadzenia badań. Numery kombinacji zgodne są z zapisami w tabelach 3-4. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($\rho < 0,05$)

Najniższy poziom skuteczności herbicydów względem *Chenopodium album* oraz *Echinochloa crus-galli* (tab. 3) odnotowano w przypadku wybranych kombinacji, w których herbicydy zastosowano w systemie dawek dzielonych oraz przedwschodowo. Dodatek związku

żelaza do składu cieczy opryskowej przyczynił się do zmniejszenia poziomu zwalczania omawianych gatunków chwastów. Najniższą skuteczność zwalczania *Chenopodium album* oraz *Echinochloa crus-galli* (poniżej 80%) obserwowano we wszystkich latach prowadzenia badań w kombinacji, w której zastosowano jednokrotny powschodowy zabieg herbicydowy, a do składu cieczy opryskowej dodano związek żelaza. Wykorzystanie kwasu cytrynowego pozwoliło na ograniczenie negatywnego wpływu żelaza na skuteczność działania herbicydów. Tendencja ta obserwowana była we wszystkich latach prowadzenia badań.

Tabela 3. Wizualna ocena skuteczności zwalczania komosy białej (CHEAL) oraz chwastnicy jednostronnej (ECHCG) [%]

L.p.	Kombinacja*	Termin zabiegu	CHEAL			ECHCG		
			2019	2020	2021	2019	2020	2021
			Skuteczność zwalczania [%]					
1	Kontrola	-	0	0	0	0	0	0
2	N40+T50+D100	C	86 d	76 d	84 d	81 cd	80 d	79 d
3	N40+T50+D100 + żelazo	C	79 e	70 e	78 e	79 d	71 e	74 e
4	N40+T50+D100 + żelazo + k.c.	C	90 cd	83 c	89 c	83 cd	83 d	80 cd
5	N20+T25+D50 + BT	B; C	99 a	90 ab	98 a	94 ab	89 bc	93 ab
6	N20+T25+D50 + BT + żelazo	B; C	86 d	81 c	84 d	85 c	81 d	84 c
7	N20+T25+D50 + BT + żelazo + k.c.	B; C	98 a	89 ab	99 a	94 ab	90 b	93 ab
8	T29+I74	A	91 bc	90 ab	89 c	98 a	91 ab	95 a
9	T29+I74 + żelazo	A	81 e	88 b	79 e	91 b	86 c	89 b
10	T29+I74 + żelazo + k.c.	A	95 ab	91 a	94 b	96 b	94 a	95 a

*N40 - nikosulfuron (40 g s.a.·ha⁻¹); T50 - tritosulfuron (50 g s.a.·ha⁻¹); D100 - dikamba (100 g s.a.·ha⁻¹); N20 - nikosulfuron (20 g s.a.·ha⁻¹); T25 - tritosulfuron- (25 g s.a.·ha⁻¹); D50 – dikamba (50 g s.a.·ha⁻¹); T29 - tienkarbazon metylu (29,7 g s.a.·ha⁻¹); I74 - izoksaflutol (74,25 g s.a.·ha⁻¹); k.c. – kwas cytrynowy; A – BBCH 00-09; B – BBCH 12-13; C – BBCH 15-16. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR (p<0,05)

W roku 2019 nie obserwowano istotnych statystycznie różnic w wysokości roślin uprawnych w kombinacjach, w których zastosowano ochronę herbicydową (tab. 4). Rośliny były istotnie statystycznie niższe jedynie w przypadku kombinacji kontrolnej. W latach 2020 oraz 2021 dla kombinacji, w których zastosowano środki chwastobójcze, najniższe rośliny obserwowano dla wariantów, w których wykonano jednokrotny zabieg powschodowy. Aplikacja herbicydów przyczyniła się we wszystkich kombinacjach do wzrostu wysokości

kukurydzy w porównaniu do obiektów kontrolnych. W roku 2019 w obrębie wszystkich terminów stosowania środków ochrony roślin zaobserwować można było najwyższy statystycznie poziom plonowania rośliny uprawnej. W przypadku kolejnych lat najwyższe plony zebrano z kombinacji, w których herbicydy zastosowano powschodowo w systemie dawek dzielonych oraz jako zabieg przedwschodowy. Najniższy poziom plonowania odnotowano w roku 2020.

Tabela 4. Wysokość kukurydzy przed zbiorem [cm] oraz plon ziarna [$t \cdot ha^{-1}$]

L.p.	Kombinacja*	Termin zabiegu	Wysokość roślin			Plon ziarna		
			2019	2020	2021	2019	2020	2021
			[cm]			[$t \cdot ha^{-1}$]		
1	Kontrola	-	78b	108d	73e	0,7d	0,3e	0,0c
2	N40+T50+D100	C	167a	177c	197d	9,6abc	4,1cd	9,3b
3	N40+T50+D100 + żelazo	C	164a	191c	198cd	9,2bc	4,0d	9,3b
4	N40+T50+D100 + żelazo + k.c.	C	161a	200bc	201bcd	10,0ab	5,2bc	9,5b
5	N20+T25+D50 + BT	B; C	161a	224ab	209abc	10,1ab	6,2ab	10,2ab
6	N20+T25+D50 + BT + żelazo	B; C	163a	227a	210ab	9,7abc	6,5a	9,9ab
7	N20+T25+D50 + BT + żelazo + k.c.	B; C	161a	232a	207abcd	10,5a	6,6a	9,9ab
8	T29+I74	A	160a	231a	211ab	9,4bc	6,4a	10,6ab
9	T29+I74 + żelazo	A	160a	228a	214a	8,9c	6,2ab	10,3ab
10	T29+I74 + żelazo + k.c.	A	159a	224ab	212ab	10,1ab	6,8a	11,3a

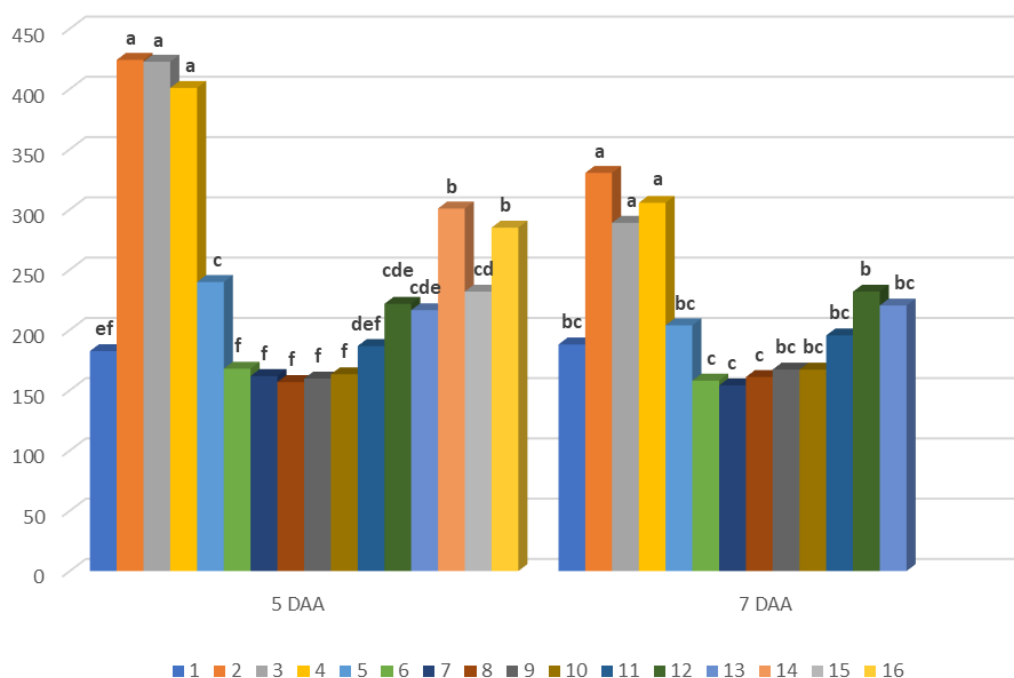
*N40 - nikosulfuron ($40 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$); T50 - tritosulfuron ($50 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$); D100 - dikamba ($100 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$); N20 – nikosulfuron ($20 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$); T25 tritosulfuron- ($25 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$); D50 - dikamba ($50 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$); T29 - tienkarbazon metylu ($29,7 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$); I74 - izoksaflutol ($74,25 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$); k.c. – kwas cytrynowy; A – BBCH 00-09; B – BBCH 12-13; C – BBCH 15-16. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$)

7.2. Wpływ herbicydów zastosowanych w zmiennym pH na skuteczność zwalczania samosiewów rzepaku

Najważniejsze wyniki na podstawie pracy: Grzanka M., Sobiech Ł., Skrzypczak G., Piechota T. 2021. Herbicides efficacy against volunteer oilseed rape as influenced by spray solution pH. *Agronomy*, 11(5), 887.

W kombinacjach, w których stosowano mezotrion nie wykazano istotnych statystycznie dla fluorescencji zerowej w obrębie kombinacji, w których wymieniona substancja aplikowana była w warunkach różnego odczynu. W przypadku kombinacji, w których zaaplikowano

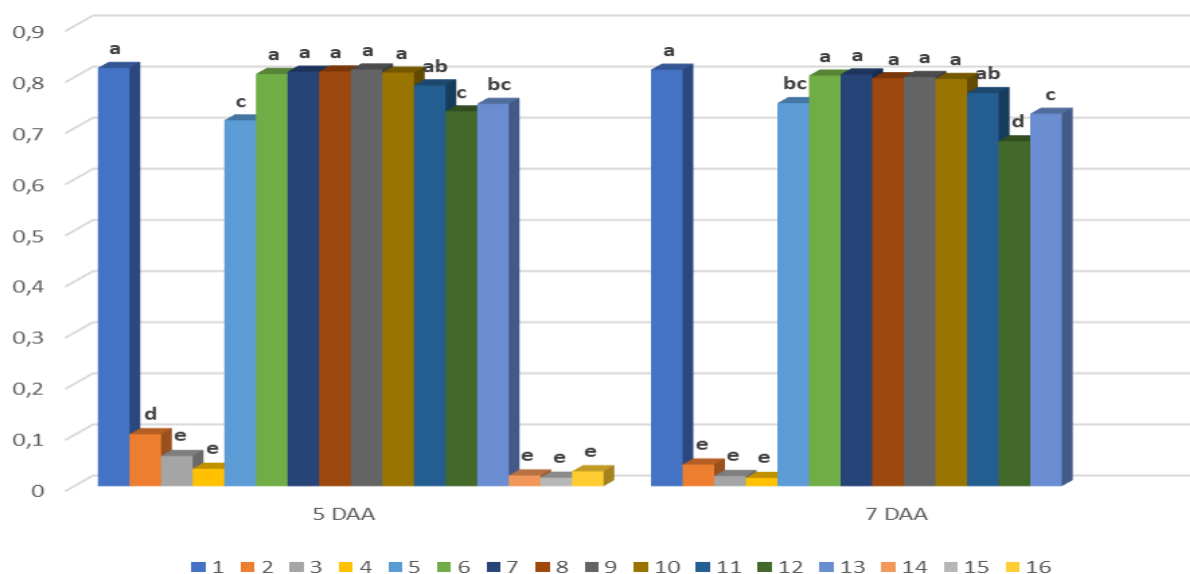
nikosulfuron najwyższe wartości F_0 w trakcie obu pomiarów wykazano dla kombinacji, w których substancja aktywna aplikowana była w roztworze obojętnym. 5 dni po wykonaniu zabiegu nie obserwowano różnic dla F_0 w obrębie kombinacji, w których zaaplikowano rimsulfuron. 7 dni po aplikacji tego herbicydu najniższa wartość omawianego parametru dla preparatu zawierającego rimsulfuron odnotowana była w przypadku kombinacji, w której środek ochrony roślin aplikowany był w cieczy opryskowej o odczynie obojętnym. Dla obiektów doświadczalnych, na których zastosowano herbicyd zawierający nikosulfuron, rimsulfuron i mezotrion stwierdzono wzrost wartości parametru F_0 dla których do składu cieczy opryskowej dodano kwas cytrynowy lub wodę amoniakalną. W przypadku herbicydu zawierającego bromoksynil istotny statystycznie spadek wartości omawianego parametru dla pomiaru wykonanego 5 dni po zabiegu odnotowano dla kombinacji, w której zaaplikowano ciecz opryskową o obniżonym pH (rys. 3).



Rysunek 3. Wpływ herbicydów aplikowanych w zmiennym pH na F_0 – fluorescencję zerową (jednostki nienominalne). Numery kombinacji zgodne są z zapisami w tabeli 5. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($\rho < 0,05$)

W kombinacjach w których zastosowano mezotrion dodatek zarówno kwasu cytrynowego, jak i wody amoniakalnej przyczynił się do istotnego statystycznie obniżenia wartości maksymalnej fotochemicznej wartości PSII w porównaniu do roztworu obojętnego,

co potwierdzono statystycznie dla pomiaru wykonanego 5 dni po zabiegu. Dla pomiaru wykonanego 7 dni po aplikacji herbicydu nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w obrębie różnych wariantów pH cieczy opryskowej zawierającej wspomnianą substancję aktywną. W przypadku kombinacji, w których zaaplikowano nikosulfuron, największy spadek wartości omawianego parametru, który został potwierdzony statystycznie, stwierdzono dla wariantu, w którym nie modyfikowano odczynu cieczy opryskowej. Zastosowanie rimsulfuronu nie przyczyniło się do obniżenia wartości parametru Fv/Fm. Dla wariantów, w których zaaplikowano herbicyd mający w swym składzie nikosulfuron, rimsulfuron oraz mezotrion, dodatek do składu cieczy opryskowej zarówno kwasu cytrynowego, jak i wody amoniakalnej, przyczynił się do istotnego statystycznie obniżenia wartości parametru Fv/Fm. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic dla omawianego parametru w obrębie kombinacji, w których bromoksynil aplikowano w warunkach odmiennego odczynu cieczy opryskowej (rys. 4).



Rysunek 4. Wpływ herbicydów aplikowanych w zmiennym pH na Fv/Fm – maksymalną fotochemiczną wydajność PSII (jednostki nienominowane). Numery kombinacji zgodne są z zapisami w tabeli 5. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$)

W ocenie wizualnej najwyższy poziom zwalczania samosiewów rzepaku stwierdzono dla kombinacji, w których zaaplikowano bromoksynil w roztworze obojętnym oraz w warunkach obniżonego pH (tab. 5). Wskazano również, że najmniejszą efektywność chwastobójczą w stosunku do rzepaku wykazują rimsulfuron, zarówno w warunkach obniżonego, jak i podwyższonego pH cieczy opryskowej oraz mieszanina nikosulfuronu, rimsulfuronu i mezotrionu zaaplikowana w roztworze obojętnym. W przypadku kombinacji, w których zastosowano mezotrion, najwyższy poziom zwalczania rzepaku obserwowany był

w warunkach obniżonego pH cieczy opryskowej. Dla obiektów doświadczalnych, na których zaaplikowano herbicyd zawierający nikosulfuron, najwyższy poziom zwalczania rzepaku w trakcie oceny wizualnej stwierdzono dla kombinacji, w której do składu cieczy opryskowej dodano kwas cytrynowy. Bromoksynil najwyższą efektywność wykazywał w warunkach odczynu obojętnego oraz obniżonego pH. Dodatek wody amoniakalnej do składu cieczy opryskowej przyczynił się do istotnego statystycznie spadku skuteczności działania wspomnianej substancji aktywnej.

Tabela 5. Wpływ herbicydów aplikowanych w zmiennym pH cieczy opryskowej na skuteczność zwalczania rzepaku ozimego

L.p.	Kombinacja	Odczyn dla poszczególnych herbicydów	pH	Wizualna ocena skuteczności działania [%]
1	Kontrola	-	-	0
2	mezotrion	obojętny	6,1	82,5 efg
3	mezotrion	kwaśny	4,0	87,5 bc
4	mezotrion	zasadowy	9,0	85 cde
5	nikosulfuron	obojętny	7,2	80 g
6	nikosulfuron	kwaśny	4,0	89,4 b
7	nikosulfuron	zasadowy	9,0	86,9 bcd
8	rimsulfuron	obojętny	7,5	85,6 cd
9	rimsulfuron	kwaśny	4,0	73,8 h
10	rimsulfuron	zasadowy	9,0	71,3 h
11	mezotrion + nikosulfuron + rimsulfuron + adiuwant	obojętny	6,3	71,9 h
12	mezotrion + nikosulfuron + rimsulfuron + adiuwant	kwaśny	4,0	84,4 def
13	mezotrion + nikosulfuron + rimsulfuron + adiuwant	zasadowy	9,0	81,9 fg
14	bromoksynil	obojętny	7,3	95,6 a
15	bromoksynil	kwaśny	4,0	96,6 a
16	bromoksynil	zasadowy	9,0	87,5 bc

Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$)

7.3. Wpływ wybranych olejków eterycznych na skuteczność zwalczania samosiewów rzepaku i fitotoksyczność w stosunku do kukurydzy

Najważniejsze wyniki na podstawie pracy: Grzanka M., Sobiech Ł., Stuper-Szablewska K., Danielewicz J., Skrzypczak G. 2022. Effect of selected essential oils on the efficacy of volunteer oilseed rape control and phytotoxicity in maize plants. *Chil. J. Agric. Res.* 82(1), 88-96.

7.3.1. Skład olejków eterycznych

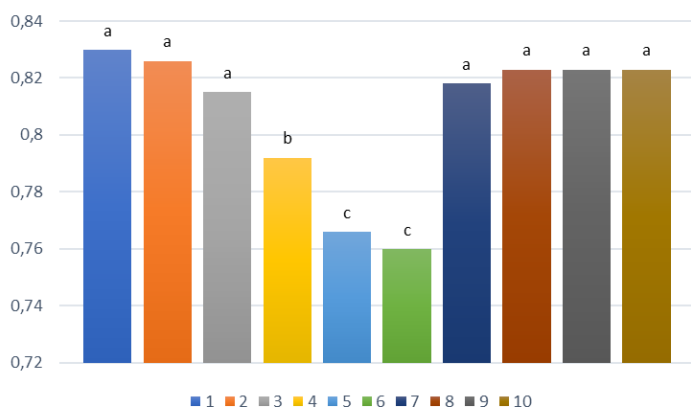
Substancją występującą w największym stężeniu w składzie goździkowego olejku eterycznego substancją był eugenol, a następnie octan eugenylu i β -kariofilen (tab. 6). Dla sosnowego olejku eterycznego dominującą substancją był α -pinen, wykryto również znaczne ilości β -pinenu i limonenu. W przypadku goździkowego olejku eterycznego dominująca substancja występowała w wyższym stężeniu.

Tabela 6. Skład olejków eterycznych wykorzystanych w doświadczeniu (podano po trzy substancje występujące w największych ilościach).

Goździkowy olejek eteryczny		Sosnowy olejek eteryczny	
Substancja	Zawartość [%]	Substancja	Zawartość [%]
Eugenol	87,1	α -pinen	21,13
Octan eugenylu	8,03	β -pinen	12,50
β -kariofilen	3,52	Limonen	10,38

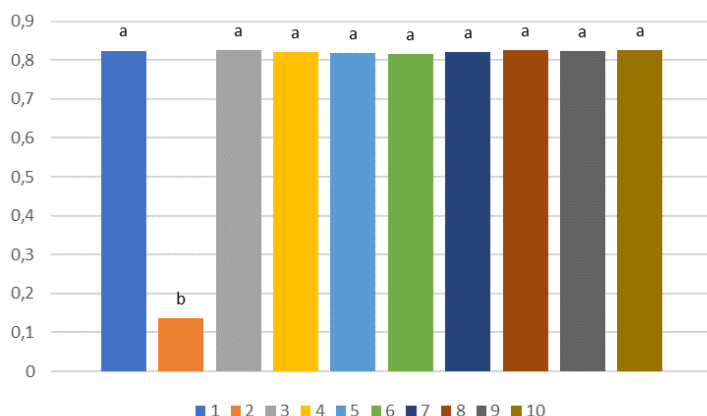
7.3.2. Doświadczenie szklarniowe

Goździkowy olejek eteryczny aplikowany w dawkach 15 oraz 20 l·ha⁻¹ przyczynił się w największym stopniu do zmniejszenia wartości parametru Fv/Fm badanego 1 DAA na roślinach rzepaku (rys. 5). Mezotrion, goździkowy olejek eteryczny zaaplikowany w najniższej dawce oraz wszystkie dawki sosnowego olejku eterycznego nie wpłynęły istotnie na obniżenie wartości maksymalnej fotochemicznej wydajności PSII w porównaniu do kontroli.



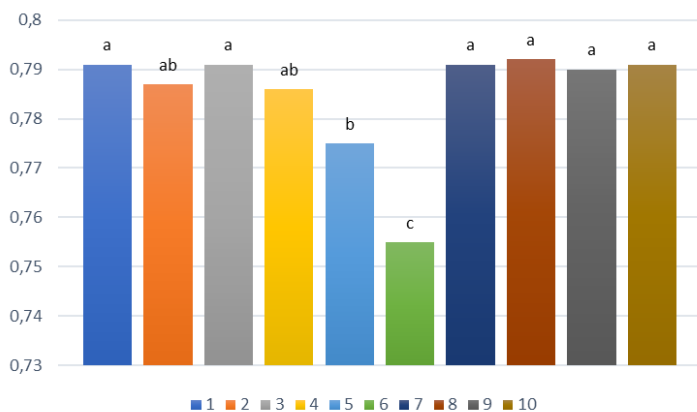
Rysunek 5. Wpływ herbicydu oraz olejków eterycznych na Fv/Fm - maksymalną fotochemiczną wydajność PSII (jednostki nienominowane); rzepak ozimy - 1 DAA (1 dzień po aplikacji); wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$); 1 - kontrola; 2 – mezotrion; 3-6 goździkowy olejek eteryczny (dawki: 5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹); 7-10 – sosnowy olejek eteryczny (dawki: 5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹)

Podczas pomiaru przeprowadzonego 6 dni po wykonaniu zabiegu jedynie w kombinacji, w której zastosowany był mezotrion, obserwowano istotny statystycznie spadek wartości Fv/Fm w porównaniu do kontroli (rys. 6).



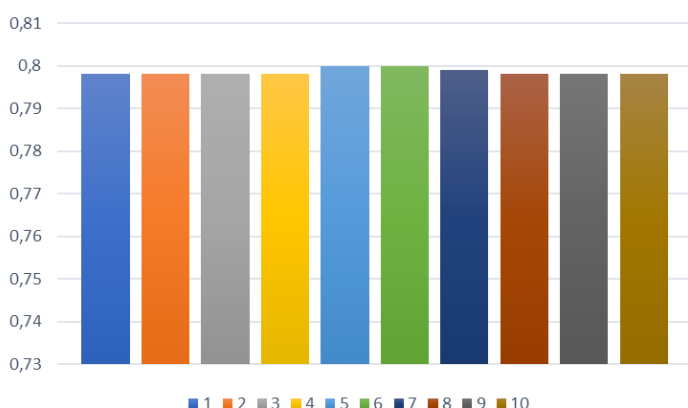
Rysunek 6. Wpływ herbicydu oraz olejków eterycznych na Fv/Fm - maksymalną fotochemiczną wydajność PSII (jednostki nienominowane); rzepak ozimy - 6 DAA (6 dni po aplikacji); wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$); 1 - kontrola; 2 – mezotrion; 3-6 goździkowy olejek eteryczny (dawki: 5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹); 7-10 – sosnowy olejek eteryczny (dawki: 5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹)

Goździkowy olejek eteryczny zastosowany w najwyższej dawce przyczynił się w największym stopniu do zmniejszenia wartości parametru Fv/Fm badanego 1 DAA na roślinach kukurydzy (rys. 7). Mezotrion, goździkowy olejek eteryczny zaaplikowany w najniższych dawkach oraz wszystkie dawki sosnowego olejku eterycznego nie wpłynęły na istotny statystycznie spadek wartości maksymalnej fotochemicznej wydajności PSII w porównaniu do obiektu kontrolnego.



Rysunek 7. Wpływ herbicydu oraz olejków eterycznych na Fv/Fm - maksymalną fotochemiczną wydajność PSII (jednostki nienominowane); kukurydza - 1 DAA (1 dzień po aplikacji); wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$); 1 - kontrola; 2 – mezotrion; 3-6 goździkowy olejek eteryczny (dawki: 5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹); 7-10 – sosnowy olejek eteryczny (dawki: 5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹)

Podczas pomiaru wykonywanego 6 dni po aplikacji wszystkich substancji na roślinach kukurydzy nie obserwowano istotnych statystycznie różnic w wartościach maksymalnej fotochemicznej wydajności PSII (rys. 8).



Rysunek 8. Wpływ herbicydu oraz olejków eterycznych na Fv/Fm - maksymalną fotochemiczną wydajność PSII (jednostki nienominowane); kukurydza - 6 DAA (6 dni po aplikacji); wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$); 1 - kontrola; 2 – mezotrion; 3-6 goździkowy olejek eteryczny (dawki: 5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹); 7-10 – sosnowy olejek eteryczny (dawki: 5; 10; 15; 20 l·ha⁻¹)

Goździkowy olejek eteryczny najszybciej przyczynił się do uszkodzenia rzepaku ozimego, co było obserwowane w najwyższym stopniu 3 DAA oraz 7 DAA (tab. 7). W miarę upływu czasu mezotrion przyczynił się do większego zniszczenia roślin. W przypadku kombinacji, w których aplikowany był olejek goździkowy, młode liście nie wykazywały objawów uszkodzeń, natomiast na roślinach, na których zaaplikowano herbicyd, obserwowano

bielenie liści. Sosnowy olejek eteryczny nie przyczynił się do widocznych wizualnie uszkodzeń badanych roślin.

Tabela 7. Wizualna ocena skuteczności działania zastosowanych nalistnie substancji w stosunku do samosiewów rzepaku ozimego

L.p.	Kombinacja	Dawka [l·ha ⁻¹]	Wizualna ocena skuteczności działania [%]*			
			3 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
1	Kontrola	-	0,0 e	0,0 e	0,0 f	0,0 e
2	Mezotrion	1	0,0 e	25,6 b	60,0 a	76,3 a
3	Goździkowy olejek eteryczny	5	7,5 d	7,5 d	7,5 e	6,3 d
4		10	20,0 c	16,3 c	12,5 d	11,3 c
5		15	32,5 b	27,5 b	18,8 c	13,8 bc
6		20	46,3 a	35,0 a	23,8 b	15,0 b
7	Sosnowy olejek eteryczny	5	0,0 e	0,0 e	0,0 f	0,0 e
8		10	0,0 e	0,0 e	0,0 f	0,0 e
9		15	0,0 e	0,0 e	0,0 f	0,0 e
10		20	0,0 e	0,0 e	0,0 f	0,0 e

Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$); *DAA - dni po aplikacji

Goździkowy olejek eteryczny jako jedyna zaaplikowana substancja przyczynił się do wizualnych uszkodzeń kukurydzy, co potwierdzono statystycznie (tab. 8). Efekt fitotoksyczności był przemijający. W trakcie ocen wykonywanych 14 DAA oraz 21 DAA na roślinach, na których zaaplikowano najniższą dawkę wspomnianej substancji nie obserwowano żadnych uszkodzeń. Zastosowany w badaniach herbicyd zawierający mezotrion oraz testowany sosnowy olejek eteryczny nie powodowały w żadnym okresie obserwacji uszkodzeń roślin kukurydzy.

Tabela 8. Wizualna ocena fitotoksyczności substancji zastosowanych nalistnie w stosunku do kukurydzy

L.p.	Kombinacja	Dawka [l·ha ⁻¹]	Wizualna ocena fitotoksyczności [%]*			
			3 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA
1	Kontrola	-	0,0 c	0,0 d	0,0 d	0,0 d
2	Mezotrion	1	0,0 c	0,0 d	0,0 d	0,0 d
3	Goździkowy olejek eteryczny	5	2,5 c	2,5 d	0,0 d	0,0 d
4		10	5,0 c	6,3 c	2,5 c	3,1 c
5		15	18,1 b	15,6 b	11,9 b	8,8 b
6		20	25,0 a	21,3 a	15,6 a	13,8 a
7	Sosnowy olejek eteryczny	5	0,0 c	0,0 d	0,0 d	0,0 d
8		10	0,0 c	0,0 d	0,0 d	0,0 d
9		15	0,0 c	0,0 d	0,0 d	0,0 d
10		20	0,0 c	0,0 d	0,0 d	0,0 d

Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($\rho < 0,05$); *DAA - dni po aplikacji

7.4. Wpływ olejków eterycznych na rozwój patogenów z rodzaju *Fusarium* i parametry kiełkowania wybranych roślin uprawnych

Najważniejsze wyniki na podstawie pracy: Grzanka M., Sobiech Ł., Danielewicz J., Horoszkiewicz-Janka J., Skrzypczak G., Sawinska Z., Radzikowska D., Świtek S. 2021. Impact of essential oils on the development of pathogens of the *Fusarium* genus and germination parameters of selected crops. Open Chem. 19, 884-893.

7.4.1. Wpływ olejków eterycznych na rozwój patogenów z rodzaju *Fusarium*

Wykorzystanie goździkowego olejku eterycznego we wszystkich zastosowanych stężeniach przyczyniło się do całkowitego zahamowania rozwoju patogenów poddanych testom (tab. 9). W przypadku wykorzystania sosnowego olejku eterycznego skuteczność działania zależna była od dawki substancji oraz gatunku grzyba. Wzrost stężenia olejku eterycznego prowadził do zwiększenia skuteczności jego działania. Najmniejszą efektywność tego związku obserwowano dla ograniczenia wzrostu grzyba *Fusarium avenaceum*.

Tabela 9. Wpływ zastosowanych olejków eterycznych na rozwój grzybni wybranych grzybów chorobotwórczych

Powierzchnia grzybni [cm]						
L.p.	Kombinacja	Dawka [ppm]	<i>Fusarium equiseti</i>	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Fusarium poae</i>	<i>Fusarium avenaceum</i>
1	Kontrola	-	4,60 ± 0,00 a	4,60 ± 0,00 a	4,60 ± 0,00 a	4,60 ± 0,00 a
2	Goździkowy olejek eteryczny	5·10 ³	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 f
3		10·10 ³	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 f
4		15·10 ³	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 f
5		20·10 ³	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 f
6	Sosnowy olejek eteryczny	5·10 ³	4,60 ± 0,00 a	3,44 ± 0,18 b	4,25 ± 0,12 b	4,29 ± 0,19 b
7		10·10 ³	2,31 ± 0,27 b	1,44 ± 0,21 c	1,43 ± 0,12 c	3,13 ± 0,21 c
8		15·10 ³	0,66 ± 0,08 c	0,60 ± 0,06 d	0,38 ± 0,22 d	2,38 ± 0,31 d
9		20·10 ³	0,49 ± 0,17 d	0,48 ± 0,13 d	0,30 ± 0,00 d	1,45 ± 0,29 e

Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($\rho < 0,05$)

7.4.2. Test wzrostu i porażenia siewek

W kolejnym etapie doświadczenia, najwyższy statystycznie istotny poziom zdolności kiełkowania ziarniaków pszenicy ozimej obserwowano w przypadku obiektów kontrolnych, dla kombinacji, w których ziarniaki moczone były w wodzie destylowanej oraz roztworach zawierających olejek sosnowy. Umieszczenie ziarniaków pszenicy w roztworach z olejkiem goździkowym przyczyniło się do całkowitego zahamowania ich kiełkowania. Najwyższe wartości zdolności kiełkowania ziarniaków kukurydzy obserwowano w przypadku kontroli, kombinacji, w których ziarniaki moczone były w wodzie destylowanej, najniższym stężeniu olejku goździkowego oraz roztworach zawierających 10·10³, 15·10³ i 20·10³ ppm olejku sosnowego (tab. 10).

Tabela 10. Wpływ olejków eterycznych na zdolność kiełkowania ziaren pszenicy ozimej i kukurydzy

L.p.	Kombinacja	Dawka [ppm]	Zdolność kiełkowania ziaren pszenicy ozimej [%]	Zdolność kiełkowania ziaren kukurydzy [%]
1	Kontrola	-	97,3 ± 2,3 ab	86,3 ± 5,7 a
2	Ziarniaki moczone w wodzie destylowanej	-	97,3 ± 2,3 ab	83,7 ± 12,0 ab
3	Goździkowy olejek eteryczny	5·10 ³	0,0 ± 0,0 c	75,3 ± 7,5 bc
4		10·10 ³	0,0 ± 0,0 c	5,3 ± 4,6 d
5		15·10 ³	0,0 ± 0,0 c	0,0 ± 0,0 d
6		20·10 ³	0,0 ± 0,0 c	0,0 ± 0,0 d
7	Sosnowy olejek eteryczny	5·10 ³	96,0 ± 4,0 b	68,0 ± 4,0 c
8		10·10 ³	97,3 ± 2,3 ab	78,3 ± 5,7 abc
9		15·10 ³	97,3 ± 2,3 ab	78,7 ± 12,2 abc
10		20·10 ³	100,0 ± 0,0 a	73,3 ± 4,6 bc

Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$)

W teście, w którym badano wpływ olejków eterycznych na parametry kiełkowania, oceniano także porażenie ziarniaków i siewek. Moczenie ziarniaków badanych gatunków roślin zarówno w wodzie destylowanej, jak i roztworach olejków eterycznych wykorzystanych w doświadczeniu przyczyniło się do istotnego statystycznie spadku porażenia powierzchni ziaren oraz siewek kukurydzy i pszenicy ozimej. Olejek goździkowy w wyższym stopniu wpłynął na obniżenie porażenia niż olejek sosnowy (tab. 11).

Tabela 11. Wpływ olejków eterycznych na porażenie ziarniaków i siewek kukurydzy oraz pszenicy ozimej

Porażenie ziarniaków i siewek [%]				
L.p.	Kombinacja	Dawka [ppm]	Kukurydza	Pszenica ozima
1	Kontrola	-	30,7 a	26,7 a
2	Ziarniaki moczone w wodzie destylowanej	-	14,0 b	18,7 b
3	Goździkowy olejek eteryczny	$5 \cdot 10^3$	13,0 b	0,0 d
4		$10 \cdot 10^3$	6,7 bcd	0,0 d
5		$15 \cdot 10^3$	0,0 d	0,0 d
6		$20 \cdot 10^3$	0,0 d	0,0 d
7	Sosnowy olejek eteryczny	$5 \cdot 10^3$	9,3 bc	6,7 c
8		$10 \cdot 10^3$	8,0 bc	2,7 d
9		$15 \cdot 10^3$	4,0 cd	2,7 d
10		$20 \cdot 10^3$	8,0 bc	2,7 d

Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie; NIR ($p < 0,05$)

8. Dyskusja

Odpowiednio dobrane techniki ochrony upraw przed chwastami, chorobami i szkodnikami są istotnymi punktami w uzyskaniu wysokich plonów roślin uprawnych. Ważnym elementem w ochronie plantacji jest prawidłowe rozpoznanie agrofagów. W przypadku chwastów należy pamiętać, że ich skład gatunkowy zależy od wielu czynników, między innymi gatunków i odmian uprawianych roślin, nastęstwa roślin, terminu i normy wysiewu, a także mulczowania gleby (Locke i in. 2002; Płaza i in. 2010; Gawęda i in. 2016). Oceniono, że w przeprowadzonym badaniu zbiorowiska chwastów cechowały się stabilnością we wszystkich latach trwania badań, przy czym najmniej zróżnicowany skład gatunkowy odnotowano w roku 2019.

W przeprowadzonym doświadczeniu polowym wysoką skuteczność chwastobójczą obserwowano dla kombinacji, w których tienkarbazon metylu i izoksafłutol aplikowano przedwschodowo. Środki przedwschodowe umożliwiają ochronę kukurydzy przed konkurencją ze strony chwastów już od początku jej rozwoju (Amosun i in. 2021). Należy jednak pamiętać, że warunkiem osiągnięcia odpowiedniej skuteczności działania tego typu zabiegu jest wilgotność gleby. Landau i in. (2021) wykazali, że niedobory wody w glebie mogą w znacznym stopniu obniżyć skuteczność herbicydów stosowanych w kukurydzy, które wykazują działanie doglebowe. W przeprowadzonych badaniach własnych we wszystkich latach prowadzenia doświadczenia, w krótkim okresie po aplikacji herbicydu przedwschodowego odnotowano opady deszczu, co pozwoliło na dobre pobranie środka przez kiełkujące chwasty. Wpłynęło to na osiągnięcie wysokiej skuteczności działania zaaplikowanych herbicydów.

Najniższą efektywność zastosowanych preparatów obserwowano w kombinacjach, w których nikosulfuron, tritosulfuron i dikamba aplikowane były jednorazowo, w fazie 5-6 liści kukurydzy. Chwasty występujące w tym okresie na plantacji były wówczas zaawansowane we wzroście, co utrudniło ich skuteczne zwalczanie. Rośliny w miarę swego rozwoju pokrywają się coraz grubszą warstwą wosku, która utrudnia wnikanie herbicydów do wnętrza komórek opryskiwanych roślin. Iwaschenko i Iwaschenko (2019) wykazali tę zależność dla komosy białej. Wspomniany gatunek był dominującym we wszystkich latach prowadzenia badań, a poziom jego zwalczania w dużym stopniu decydował o ogólnym stopniu zachwaszczenia. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym powstawaniu grubszej bariery wosku może być susza (Hatterman-Valenti i in. 2011). W miarę wzrostu chwastów zmniejsza się także stosunek dawki aplikowanych preparatów do powierzchni opryskiwanych roślin (Sarabi i in. 2011). Dlatego

w warunkach niesprzyjających działaniu herbicydów warto rozważyć zastosowanie środków ochrony roślin w systemie dawek dzielonych.

Wykorzystanie dawek dzielonych pozwala na skuteczne zwalczenie chwastów. Dodatkowo ogranicza ich zaleganie w glebie (Kaya 2012). Technologia ta znana jest od dawna w uprawie buraków cukrowych (Wendt i in. 2016). Obecnie wprowadzane wytyczne kładą duży nacisk na zmniejszanie ilości stosowanych środków ochrony roślin wykorzystywanych w rolnictwie (Prandecki i in. 2021). Wykorzystanie dawek dzielonych pozwala na ograniczenie ilości herbicydów, które trafiają do środowiska (Cioni i Maines 2011). Wyniki dostępne w literaturze również wskazują, że aplikacja herbicydów we wspomnianym systemie pozwala na osiągnięcie wyższej skuteczności działania niż w przypadku jednokrotnego zabiegu (Lockhart i Howatt 2004; Idziak i Woźnica 2010). Niska skuteczność działania herbicydów zastosowanych w zaawansowanej fazie rozwojowej chwastów może skutkować w praktyce ponowną aplikacją środków ochrony roślin. Odpowiednio wysoka efektywność herbicydów zaaplikowanych w systemie dawek dzielonych może pozwolić na wyeliminowanie tej konieczności. Dodatkowo pozwala to na dopasowanie terminów wykonania zabiegów do wschodów chwastów, które w uprawie kukurydzy pojawiają się w różnych okresach.

Jednym z warunków osiągnięcia odpowiedniej skuteczności działania herbicydów jest wykorzystywanie do przygotowania cieczy opryskowej wody o odpowiedniej jakości (Devkota i Johnson 2016). W przeprowadzonym doświadczeniu polowym podwyższona zawartość jonów żelaza przyczyniła się do spadku skuteczności działania zastosowanych herbicydów. Spadek efektywności chwastobójczej środków ochrony roślin spowodowany podwyższoną zawartością jonów żelaza oraz jonów różnych metali opisano w doświadczeniach innych naukowców dla różnych preparatów (de Ruiter i in. 2002; Patton i in. 2016). Dodatek kwasu cytrynowego pozwolił natomiast na zniwelowanie niekorzystnego wpływu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na skuteczność zwalczania chwastów. Kwas cytrynowy posiada właściwości sekwestrujące, a więc wiąże jony zawarte w twardej wodzie (Thelen i in. 1995). Dzięki tej właściwości zapobiega wytrącaniu się soli zawierających jony herbicydu, a więc pozwala zachować odpowiednią skuteczność działania zastosowanych środków ochrony roślin. Bernards i in. (2005) oraz Aliverdi i in. (2014) w swoich badaniach również wykazali pozytywny efekt wywołany dodatkiem wspomnianej substancji na skuteczność działania herbicydów.

Do czynników wywołujących stres roślin można zaliczyć między innymi herbicydy. Jest to pożądane działanie w kontekście reakcji chwastów i w efekcie ich zwalczania. W literaturze dostępnych jest jednak wiele wyników badań mówiących o stresie roślin uprawnych wywołanym przez zastosowane herbicydy. Jedną z metod oceny takiego działania

jest pomiar fluorescencji chlorofilu (Pigatto i in. 2020; Silva i in. 2014; Singh i Singh 2007; Sobiech i in. 2020). Należy jednak pamiętać, że w wielu przypadkach stres oraz uszkodzenia wywołane przez herbicydy są przemijające i nie mają wpływu na plonowanie (Robinson i in. 2015; Weber i in. 2017). Konkurencyjne oddziaływanie ze strony chwastów również przyczynia się do stresu roślin uprawnych (Lindquist, 2000; Ronay i in. 2021). W wyniku współzawodnictwa o zasoby środowiska brakuje im przestrzeni, światła, wody oraz składników pokarmowych (Qasem i Foy 2001). Wyniki pomiarów fluorescencji chlorofilu przeprowadzone w trakcie badań polowych wykazały stres kukurydzy na poletkach kontrolnych bez ochrony herbicydowej. W 2020 wykazano również stres roślin uprawnych mierzony na kombinacji, w której obserwowano najniższy poziom zwalczania chwastów. Zależność ta była obserwowana w odniesieniu do większości badanych parametrów. Jedynie w przypadku fluorescencji zerowej (początkowej) nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy poszczególnymi kombinacjami. Efeoğlu i in. (2009) oraz Yu-fang i Shi-qing (2011) wykazali, że reakcja roślin wywołana między innymi przez niedobory wody lub zawartość składników pokarmowych (czyli główne aspekty konkurencji ze strony chwastów) nie zawsze wpływa istotnie na wartość tego parametru.

Stres wywołany w wyniku konkurencji ze strony chwastów skutkuje obniżeniem plonowania kukurydzy (Cerrudo i in. 2012). W przypadku wykonania zabiegu herbicydowego w późnym terminie, rośliny uprawne przez znaczny okres swego rozwoju są narażone na konkurencyjne oddziaływanie ze strony chwastów, co przekłada się na poziom plonowania (Gantoli i in. 2013). W przeprowadzonym doświadczeniu największe spadki poziomu plonowania obserwowano na poletkach kontrolnych oraz w kombinacjach, w których poziom zwalczania chwastów był najniższy. Dla wspomnianych wariantów obserwowano również zmniejszenie wysokości roślin. Jest to zjawisko niekorzystne z punktu widzenia możliwości wykorzystania tej rośliny w żywieniu zwierząt lub na cele energetyczne, gdzie liczy się biomasa całych zebranych roślin.

W przeprowadzonym doświadczeniu szklarniowym nad wpływem odczynu cieczy opryskowej na skuteczność działania herbicydów, najwyższy poziom uszkodzenia samosiewów rzepaku (85% i więcej) obserwowano w kombinacjach, w których wykorzystano mezotrion zaaplikowano z dodatkiem kwasu cytrynowego lub wody amoniakalnej, nikosulfuron w środowisku kwaśnym i zasadowym, rimsulfuronu bez modyfikacji pH oraz bromoksynilu w każdym z wariantów odczynu cieczy opryskowej. Wysoki poziom zwalczania samosiewów rzepaku opisano w literaturze również w przypadku zastosowania bromoksynilu w uprawie pszenicy ozimej (Colbach i in. 2001). W badaniach innych autorów herbicydy

zawierające w swym składzie nikosulfuron i rimsulfuron oraz mezotrion i nikosulfuron wykazywały wysoką skuteczność działania w stosunku do samosiewów rzepaku występujących w uprawie kukurydzy (Sulewska i in. 2012). Według Idziaka i Woźnicy (2014) omawiany gatunek może być skutecznie zwalczony również przez inną substancję należącą do inhibitorów 4-HPPD - tembotrion.

Wykorzystane w doświadczeniu herbicydy wykazywały zróżnicowaną reakcję efektywności działania w zależności od modyfikacji odczynu cieczy opryskowej. W badaniach Green i Hale (2005) wykazano, że właściwości fizykochemiczne cieczy opryskowej, w tym jej pH powinny być dobrane do konkretnej substancji aktywnej oraz dopasowane do zwalczanych gatunków chwastów. W przypadku herbicydu zawierającego mezotrion, wzrost skuteczności działania obserwowany był zarówno w przypadku obniżenia, jak i podwyższenia pH. Podobne wyniki dostępne są w literaturze dla innych herbicydów z grupy inhibitorów 4-HPPD (Sobiech i in. 2018; Sobiech i in. 2019). W doświadczeniu innych naukowców określano wpływ pH cieczy opryskowej na skuteczność działania herbicydu zawierającego nikosulfuron oraz środka ochrony roślin mającego w składzie terbutyloazynę (inhibitor PSII) oraz mezotrion. Dávid i Máté (2009) wykazali, że odpowiedni dobór odczynu cieczy opryskowej może w istotny sposób poprawić skuteczność działania tych herbicydów. W przypadku herbicydów sulfonilomocznikowych istnieją badania mówiące o tym, że warto aplikować je w warunkach podwyższonego pH cieczy opryskowej (Green i Cahill 2003). Matocha i Senseman (2007) wskazują, że w przypadku herbicydu z grupy inhibitorów ALS obniżone pH przyczynia się do przyspieszenia hydrolizy substancji aktywnej w porównaniu do odczynu obojętnego lub zasadowego cieczy opryskowej, ale nie musi mieć to konsekwencji w obniżeniu skuteczności działania herbicydu.

Badania naukowców wskazują, że mechanizm działania herbicydu odgrywa ważną rolę w poziomie jego oddziaływania na fluorescencję chlorofilu (Dayan i Zaccaro 2012; Hassannejad i in. 2020). Omawiane pomiary wykorzystywane są również w badaniach nad wpływem adiuwantów aktywujących na skuteczność działania herbicydów (Skórska i Murkowski 2009; Zhang i in. 2019b). Brakuje jednak wyników badań naukowych na temat wpływu herbicydów zastosowanych w zmiennym pH na fluorescencję chlorofilu roślin poddanych zabiegowi. W przeprowadzonym doświadczeniu najwyższe wartości F_0 odnotowano dla kombinacji, w których zastosowany był mezotrion. W przypadku wybranych herbicydów stwierdzono istotne różnice dla wspomnianego parametru w kontekście zmiennego pH dla zaaplikowanych substancji aktywnych. W przeprowadzonym doświadczeniu szklarniowym do najwyższego obniżenia wartości F_v/F_m przyczyniły się mezotrion oraz

bromoksynil. Odnotowane zostały również istotne statystycznie różnice w wysokości Fv/Fm dla różnego odczynu w obrębie wybranych herbicydów.

Olejki eteryczne charakteryzują się obecnością w ich składzie wielu substancji (Khayyat i Roselin 2018). W przeprowadzonych doświadczeniach wykorzystano dwa olejki eteryczne – goździkowy i sosnowy. W składzie goździkowego olejku eterycznego dominował eugenol, natomiast w składzie sosnowego olejku eterycznego α -pinen był substancją wykrytą w największej ilości. Są to związki charakterystyczne dla tych olejków (Kamatou i in. 2012; Yang i in. 2016). W literaturze opisane są próby wykorzystania eugenolu jako pojedynczej substancji w celu określenia jego efektywności chwastobójczej (Bainard i in. 2006; Vaid i in. 2010).

Goździkowy olejek eteryczny jeden dzień po wykonaniu zabiegu opryskiwania roślin wpłynął na parametry fluorescencji chlorofilu. W przypadku substancji syntetycznej ten efekt obserwowany był później. Mezo-trion jest substancją o działaniu systemicznym (O'Brien i in. 2018). Goździkowy olejek eteryczny natomiast wykazał działanie kontaktowe. Substancje systemiczne swoje działanie wykazują później niż substancje o działaniu kontaktowym. Potwierdziło się to również w przypadku oceny wizualnej. Goździkowy olejek eteryczny w krótkim czasie po wykonaniu zabiegu wykazywał działanie herbicydowe. Widoczne było w tym przypadku dokładne miejsce kontaktu kropli cieczy opryskowej z powierzchnią liści roślin poddawanych zabiegowi. Synowiec i in. (2017) dokonali podobnych obserwacji. Ważne jest zatem osiągnięcie jak największej powierzchni pokrycia opryskiwanych roślin. Wśród metod, które pozwalają na osiągnięcie tego efektu wyróżnia się między innymi wykorzystanie adiuwantów (Nuyttens i in. 2009). Może to jednak doprowadzić do zwiększenia tempa parowania cieczy opryskowej (Li i in. 2019). W przypadku lotnych olejków eterycznych może to stanowić istotny problem wpływający na skrócenie czasu działania aplikowanych substancji.

Działanie goździkowego olejku eterycznego zaobserwowane było w krótszym okresie czasu w porównaniu do mezo-trionu, jednak jego wpływ na rozwój rzepaku był przemijający. Pojawiające się kolejne liście roślin testowych nie były uszkodzone. Dalszy rozwój chwastów pomimo wykonania zabiegu z wykorzystaniem olejku eterycznego w praktyce rolniczej byłby powodem do wykonania kolejnego zabiegu. Pożądanym efektem działania herbicydu jest utrzymanie pola wolnego od chwastów przez dłuższy czas. Chwasty pozostające na plantacji nie tylko konkurują z roślinami uprawnymi o zasoby środowiska, ale utrudniają także ich zbiór (Jat i in. 2011).

Aplikacja goździkowego olejku eterycznego przyczyniła się do uszkodzeń obu gatunków roślin poddawanych zabiegowi, zaliczanych do różnych taksonów. Efekt taki świadczy o braku selektywności wspomnianej substancji względem wybranych gatunków.

Z punktu widzenia metody zwalczania chwastów po wschodach rośliny uprawnej nie jest to korzystne działanie. Ważne jest, poszukiwanie środków ochrony roślin, które nie tylko będą skuteczne wobec zwalczanych chwastów, ale i bezpieczne w stosunku do roślin uprawnych (Wang i in. 2018). Należy jednak pamiętać, że duże znaczenie w zwalczaniu chwastów mają substancje nieselektywne, a wśród nich glifosat. Herbicydy zawierające glifosat stanowią znaczną część środków chwastobójczych sprzedawanych na świecie (Duke 2020). W ostatnich latach jednak w niektórych regionach świata dąży się do ograniczenia lub nawet całkowitego zakazu stosowania wspomnianej substancji aktywnej (Beckie i in. 2020). Odnalezienie alternatywy dla glifosatu, która byłaby jednocześnie substancją bezpieczną, oznaczałoby ważny element rozwoju ochrony roślin. W literaturze dostępne są także informacje mówiące o nieselektywności olejków eterycznych aplikowanych jako herbicydy (Dayan i Duke 2010). Pojawiają się jednak prace na temat potencjalnego selektywnego wykorzystania opisywanych substancji jako bioherbicydów (Synowiec i in. 2019; Grul'ová i in. 2020).

Zastosowane w doświadczeniu szklarniowym olejki eteryczne aplikowane były w dawce wielokrotnie wyższej niż herbicyd syntetyczny. Obecnie dużą uwagę zwraca się na łatwość aplikacji środków ochrony roślin, skrócenie czasu oraz koszty wykonywanego zabiegu. Konieczność potencjalnego wykorzystania wysokich dawek olejków eterycznych mogłaby stanowić czynnik zmniejszający powszechność stosowania tych substancji w praktyce (Boyd i Brennan 2006). W przypadku gospodarstw ekologicznych, w których zakazane jest stosowanie chemicznych środków ochrony roślin ta perspektywa mogłaby jednak być możliwa do zrealizowania po opracowaniu metod, które zapewniłyby wyższą skuteczność omawianych substancji. Z drugiej jednak strony prace związane z wykorzystaniem olejków eterycznych w rolnictwie lub substancji chemicznych syntetyzowanych na wzór omawianych związków mogłoby przyczynić się do zmniejszenia dawki koniecznej do zastosowania. Odnotowane było to między innymi w kontekście inhibitorów 4-HPPD, które opracowano na bazie leptospermonu (Dumas i in. 2017).

Ograniczona skuteczność działania olejków eterycznych może być związana z właściwościami tych substancji. Cechują się one wysokim poziomem lotności oraz krótkim okresem półtrwania. Modyfikacja tych parametrów mogłaby w znacznym stopniu przyczynić się do poprawy skuteczności działania badanych związków. Naukowcy podejmują temat modyfikacji właściwości olejków eterycznych i konieczności ich stabilizacji (Pavoni i in. 2020). Należy jednak wcześniej zbadać potencjał działania poszczególnych związków, który może różnić się dla różnych substancji (Verdeguer i in. 2020). Aplikacja sosnowego olejku eterycznego nie przyczyniła się do uszkodzenia roślin poddanych zabiegowi. Świadczy to

o tym, że nie wszystkie olejki eteryczne wykazują taką samą skuteczność działania. W literaturze dostępne są jednak informacje na temat efektywności chwastobójczej wyciągów z sosny (James i in. 2002; Giepen i in. 2014). Brak działania w stosunku do roślin testowych może świadczyć o selektywności sosnowego olejku eterycznego względem badanych roślin lub konieczności zwiększenia aplikowanej dawki. Może to być również związane z tym, że sosnowy olejek eteryczny pozyskiwany jest z różnych gatunków sosny.

Choroby roślin wpływają na poziom plonowania oraz jakość zebranych płodów (Figuroa i in. 2018). W poszukiwaniu nowych, bezpiecznych metod ochrony roślin, które pozwalają na ograniczenie ilości środków chemicznych trafiających do środowiska naturalnego zaczęto badać możliwość ograniczania występowania chorób grzybowych poprzez moczenie nasion w roztworach zawierających wyciągi z roślin (Shabana i in. 2017). Należy jednak pamiętać, że są to metody wymagające jeszcze wielu badań. Moczenie ziaren zbóż w roztworach olejków eterycznych może wpłynąć na hamowanie kiełkowania (Anžlovar i in. 2017). W przeprowadzonym doświadczeniu laboratoryjnym moczenie ziarniaków pszenicy ozimej oraz kukurydzy w roztworach goździkowego olejku eterycznego doprowadziło do istotnego, w większości przypadków całkowitego zahamowania kiełkowania. Karaca i in. (2017) również wykazali, że umieszczanie ziaren pszenicy w roztworze wspomnianej substancji przy określonym stężeniu może w znacznym stopniu przyczynić się do ograniczenia ich kiełkowania. Wykorzystanie sosnowego olejku eterycznego, zależnie od stężenia, w mniejszym stopniu wpłynęło na kiełkowanie lub nie miało żadnego istotnego statystycznie wpływu na ten parametr. Wyniki uzyskane przez innych naukowców wskazują, że wspomniany związek w mniejszym stopniu przyczynia się do zahamowania wzrostu korzeni oraz pędów siewek niż inne badane olejki eteryczne wykorzystane w kontekście badania wpływu tych substancji na rozwój niektórych gatunków roślin (Ibáñez i Blázquez 2019). Należy jednak pamiętać, że zaprawy syntetyczne również mogą doprowadzić do zakłócenia wzrostu siewek (Hames i in. 2012). Ponadto porażenie ziarniaków zbóż przez patogeny z rodzaju *Fusarium* również może przyczynić się do zaburzenia poziomu kiełkowania nasion (Tekle i in. 2012; Kaur i in. 2020). Może doprowadzić także do zakłóceń we wzroście pędów i korzeni siewek (Yates i in. 1997; Zhou i in. 2018; Buzón-Durán i in. 2020).

Moczenie ziarniaków w wodzie destylowanej przyczyniło się także do spadku porażenia siewek. Jest to jak najbardziej uzasadnione w przypadku patogenów występujących na powierzchni ziaren, przepłukanie materiału siewnego może doprowadzić do istotnego obniżenia poziomu porażenia roślin przez grzyby chorobotwórcze. Dodatek olejków eterycznych do wody destylowanej pozwolił jednak w znacznie większym stopniu zahamować

rozwój patogenów w przeprowadzonym doświadczeniu. Substancje te doprowadziły także do ograniczenia wzrostu grzybnii na płytkach Petriego. W literaturze można znaleźć również informacje, że zastosowanie olejków eterycznych może w znacznym stopniu ograniczyć rozwój patogenów z rodzaju *Fusarium* (Gwiazdowska i in. 2022). Perczak i in. (2019b) wykazali także, że wykorzystanie omawianych substancji pozwala na zmniejszenie poziomu mykotoksyn produkowanych przez grzyby. Dane dostępne w literaturze oraz wyniki badań własnych wskazują, że olejki eteryczne potencjalnie mogłyby znaleźć zastosowanie w ochronie roślin, wymaga to jednak dalszych badań.

W ostatnich latach na rynku środków ochrony roślin pojawiają się nowe substancje, jednak konieczne jest jeszcze wiele badań nad kolejnymi bezpiecznymi rozwiązaniami (Umetsu i Shirai 2020). Dotyczy to zwłaszcza nowych mechanizmów działania herbicydów (Dayan 2019). Poszczególne rośliny uprawne narażone są na negatywne oddziaływanie ze strony licznych agrofagów. Zasadne jest zatem prowadzenie doświadczeń nad poszukiwaniem możliwych do zastosowania rozwiązań, które będą łączyć ze sobą skuteczność działania oraz bezpieczeństwo stosowania.

9. Wnioski

1. Dodatek związku żelaza do roztworu opryskowego przyczynił się do spadku efektywności chwastobójczej zastosowanych środków ochrony roślin.
2. Wykorzystanie kwasu cytrynowego jako dodatku do cieczy opryskowej pozwoliło na zmniejszenie negatywnego wpływu jonów żelaza zawartych w wodzie wykorzystanej do zabiegu ochrony roślin.
3. W przeprowadzonych badaniach dogłębowa aplikacja herbicydów oraz zastosowanie środków ochrony roślin w systemie dawek dzielonych pozwoliło na osiągnięcie wyższego poziomu zwalczania chwastów w porównaniu do jednokrotnego zabiegu wykonywanego w zaawansowanej fazie rozwojowej rośliny uprawnej.
4. W opisanym doświadczeniu brak zwalczania chwastów oraz niski poziom skuteczności zabiegu herbicydowego przyczyniły się do stresu roślin kukurydzy wykazywanego w pomiarach fluorescencji chlorofilu, spadku wysokości roślin oraz plonu ziarna.
5. Spośród badanych substancji aktywnych herbicydów poszczególne z nich wykazywały najwyższą skuteczność działania w różnych odczynach cieczy opryskowej, dlatego pH powinno być dostosowane do konkretnego środka ochrony roślin.
6. Odczyn cieczy opryskowej istotnie różnicował parametry fluorescencji chlorofilu w badanej roślinie testowej.
7. W przeprowadzonym doświadczeniu goździkowy olejek eteryczny aplikowany nalistnie przyczynił się do znacznych uszkodzeń roślin testowych, które jednak regenerowały się w miarę upływu czasu od wykonania zabiegu. Sosnowy olejek eteryczny nie wywołał efektu fitotoksyczności.
8. Goździkowy olejek eteryczny wykazał nieselektywne działanie w stosunku do roślin testowych.
9. Olejki eteryczne przyczyniły się do istotnego ograniczania rozwoju patogenów z rodzaju *Fusarium*.
10. Olejki eteryczne zastosowane do moczenia ziarniaków mogą w znacznym stopniu przyczynić się do ograniczenia kiełkowania materiału siewnego, co wykazano zwłaszcza dla olejku goździkowego.

10. Spis literatury

1. Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa. 2022. Publikacja dostępna on line: <https://rejestrupraw.arimr.gov.pl>. Data dostępu: 15.03.2022.
2. Aliverdi A., Ganbari A., Rashed Mohassel M., Nassiri-Mahallati M., Zand E. 2014. Overcoming hard water antagonistic to glyphosate or imazethapyr with water conditioners. *Not. Sci. Biol.* 6 (2), 244-249.
3. Allemann J., Molomo J. M. 2016. Sensitivity of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to mesotrione in a simulated carry-over trial. *S. Afr. J. Plant Soil* 33(3), 229-235.
4. Al-Mitewty M. I., Yahya A., Razif M., Mat N. 2019. Physical and mechanical properties of sweet corn plant. *Agric. Eng. Int.: CIGR Journal* 21(4), 152-160.
5. Amosun J. O., Aluko O. A., Ilem D. O. 2021. Comparative effect of weed control methods on Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*) in maize. *Afr. J. Plant Sci.* 15(4), 115-122.
6. Anthimidou E., Ntoanidou S., Madesis P., Eleftherohorinos I. 2020. Mechanisms of *Lolium rigidum* multiple resistance to ALS- and ACCase-inhibiting herbicides and their impact on plant fitness. *Pestic. Biochem. Phys.* 164, 65-72.
7. Anupama G., Netravathi D. K. K., Avinash M. 2019. Essential oils: a novel source for food preservation. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 8(1), 2098-2101.
8. Anžlovar S., Likar M., Koce J. D. 2017. Antifungal potential of thyme essential oil as a preservative for storage of wheat seeds. *Acta Bot. Croat.* 76(1), 64-71.
9. Baghestani M. A., Zand E., Soufizadeh S., Eskandari A., Pourazar R., Veysi M., Nassirzadeh N. 2007. Efficacy evaluation of some dual purpose herbicides to control weeds in maize (*Zea mays* L.). *Crop Prot.* 26(7), 936-942.
10. Bainard L. D., Isman M. B., Upadhyaya M. K. 2006. Phytotoxicity of clove oil and its primary constituent eugenol and the role of leaf epicuticular wax in the susceptibility to these essential oils. *Weed Sci.* 54, 833-837.
11. Baker N. R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 89-113.
12. Baker N. R., Rosenqvist E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J. Exp. Bot.* 55(403), 1607-1621.

13. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. 2008. Biological effects of essential oils – a review. *Food Chem. Toxicol.* 46, 446-475.
14. Barchanska H., Kluza A., Krajczewska K., Maj J. 2016. Degradation study of mesotrione and other triketone herbicides on soils and sediments. *J. Soils Sediments* 16, 125-133.
15. Basler R. 2016. Diversity of *Fusarium* species isolated from UK forage maize and the population structure of *F. graminearum* from maize and wheat. *PeerJ* 4, e2143.
16. Beckie H. J., Flower K. C., Ashworth M. B. 2020. Farming without glyphosate? *Plants* 9, 96.
17. Beckman J., Ivanic M., Jelliffe J. L., Baquedano F. G., Scott S. G. 2020. Economic and food security impacts of agricultural input reduction under the European Union Green Deal's Farm. Publikacja dostępna on line: <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=99740>. Data dostępu: 15.03.2022.
18. Bernards M. L., Thelen K. D., Penner D. 2005. Glyphosate efficacy is antagonized by manganese. *Weed Technol.* 19(1), 27-34.
19. Beule L., Lehtsaar E., Rathgeb A., Karlovsky P. 2019. Crop diseases and mycotoxin accumulation in temperate agroforestry systems. *Sustainability* 11, 2925.
20. Björkman O., Demmig B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170, 489-504.
21. Boyd N. S., Brennan E. B. 2006. Burning nettle, common purslane, and rye response to a clove oil herbicide. *Weed Technol.* 20, 646-650.
22. Božik M., Nový P., Klouček P. 2017. Chemical composition and antimicrobial activity of cinnamon, thyme, oregano and clove essential oils against plant pathogenic bacteria. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun.* 65(4), 1129-1134.
23. Briantais J.-M., Dacosta J., Goulas Y., Ducruet J.-M., Moya I. 1996. Heat stress induces in leaves an increase of the minimum level of chlorophyll fluorescence, F_o: a time-resolved analysis. *Photosynth. Res.* 48, 189-196.
24. Brown H.M. 1990. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonyleurea herbicides. *Pestic. Sci.* 29, 263-281.
25. Buško M., Stuper K., Jeleń H., Góral T., Chmielewski J., Tyrakowska B., Perkowski J. 2016. Comparison of volatiles profile and contents of trichothecenes group B, ergosterol, and ATP of bread wheat, durum wheat, and *Triticale* grain naturally contaminated by mycobiota. *Front. Plant Sci.* 7, 1243-1251.

26. Buszewska-Forajta M. 2020. Mycotoxins, invisible danger of feedstuff with toxic effect on animals. *Toxicon* 182, 34-53.
27. Buzón-Durán L., Martín-Gil J., del Carmen Ramos-Sánchez M., Pérez-Lebeña E., Marcos-Robles J. L., Fombellida-Villafruela Á., Martín-Ramos P. 2020. Antifungal activity against *Fusarium culmorum* of stevioside, *Silybum marianum* seed extracts, and their conjugate complexes. *Antibiotics* 9, 440.
28. Campolo O., Giunti G., Russo A., Palmeri V., Zappalá L. 2018. Essential oils in stored product insect pest control. *J. Food Qual.* 2018, 6906105.
29. Capo L., Zappino A., Reyneri A., Blandino M. 2020. Role of the fungicide seed dressing in controlling seed-borne *Fusarium* spp. infection and in enhancing the early development and grain yield of maize. *Agronomy* 10, 784.
30. Carvalho F. P. 2017. Pesticides, environment, and food safety. *Food Energy Secur.* 6(2), 48-60.
31. Cerrudo D., Page E.R., Tollenaar M., Stewart G., Swanton C.J. 2012. Mechanisms of yield loss in maize caused by weed competition. *Weed Sci.* 60, 225-232.
32. Chahal G. S., Jordan D. L., Burton J. D., Danehower D., York A. C., Eure P. M., Clewis B. 2010. Influence of water quality and coapplied agrochemicals on efficacy of glyphosate. *Weed Technol.* 26, 167-176.
33. Chassot A., Stamp P., Richner W. 2001. Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement. *Plant Soil* 231, 123-135.
34. Chhokar R. S., Sharma R. K., Sharma I. 2012. Weed management strategies in wheat-a review. *J. Wheat Res.* 4(2), 1-21.
35. Cioni F., Maines G. 2011. Weed control in sugarbeet. *Sugar Tech* 12(3), 243-255.
36. Cobb A. H., Reade J. P. H. 2010. *Herbicides and Plant Physiology*, 2nd edn. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, 286.
37. Colbach N., Clermont-Dauphin C., Meynard J. 2001. GeneSys: a model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers. *Agric. Ecosyst. Environ.* 83, 235-253.
38. Constantine K. L., Kansiime M. K., Mugambi I., Nunda W., Chacha D., Rware H., Makale F., Mulema J., Lamontagne-Godwin J., Williams F., Edgington S., Day R. 2020. Why don't smallholder farmers in Kenya use more biopesticides? *Pest. Manag. Sci.* 76, 3615-3625.
39. Cooper J., Dobson H. 2007. The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop Prot.* 26, 1337-1348.

40. Cuthbert J. L., McVetty P. B. E., Freyssinet G., Freyssinet M. 2001. Comparison of the performance of bromoxynil-resistant and susceptible near-isogenic populations of oilseed rape. *Can. J. Plant Sci.* 81, 367-372.
41. Cutulle M. A., Armel G. R., Brosnan J. T., Best M. D., Kopsell D. A., Bruce B. D., Bostic H. E., Layton D. S. 2014. Synthesis and evaluation of heterocyclic analogues of bromoxynil. *J. Agric. Food Chem.* 62, 329-336.
42. Czaja K., Góralczyk K., Struciński P., Hernik A., Korcz W., Minorczyk M., Łyczewska M., Ludwicki J. K. 2014. Biopesticides – towards increased consumer safety in the European Union. *Pest Manag. Sci.* 71(1), 3-6.
43. Damalas Ch. A., Koutroubas S. D. 2018. Current status and recent developments in biopesticide use. *Agriculture* 8, 13.
44. Dass A., Shekhawat K., Choudhary A. K., Sepat S., Rathore S. S., Mahajan G., Chauhan B. S. 2017. Weed management in rice using crop competition-a review. *Crop Prot.* 95, 45-52.
45. Dávid I., Máté E. 2009. Efficacy of herbicides influenced by spray carrier water pH and hardness. *J. Agric. Sci.* 30, 141-146.
46. Dayan F. E. 2019. Current status and future prospects in herbicide discovery. *Plants* 8, 341.
47. Dayan F. E., Duke S. O. 2010. Natural products for weed management in organic farming in the USA. *Outlooks Pest Manag.* 21(4), 156-160.
48. Dayan, F.E.; Zaccaro, M.L.D.M. 2012. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. *Pestic. Biochem. Physiol.* 102, 189-197.
49. De Clercq M., Vats A., Biel A. 2018. Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology. W: Proceedings of the World Government Summit, Dubai, United Arab Emirates, 11–13 lutego 2018, 1-30.
50. De las Heras B., Rodríguez B., Boscá L., Villar A. M. 2003. Terpenoids: sources, structure elucidation and therapeutic potential in inflammation. *Curr. Top. Med. Chem.* 3, 53-67.
51. de Lemos Barroso A. L., Filho W. C. F., Menezes C. C. E., Dan H. A., de Moraes Dan L. G., Filho L. C. M. 2012. Selectivity of nicosulfuron and atrazine on different corn hybrids. *Comun. Sci.* 3(4), 255-262.
52. De Mastro G., El Mahdi J., Ruta C. 2021. Bioherbicidal potential of the essential oils from mediterranean *Lamiaceae* for weed control in organic farming. *Plants* 10, 818.

53. De Ruiter H., Downer R. A., Uffing A. J. M., Ebert T. A., Pikaar P. J. J., Hall F. R. 2001. The influence of inorganic cations on glyphosate activity – review and perspectives. *Pesticide Formulations and Application Systems: A New Century for Agricultural Formulations, Twenty First Volume, ASTM STP 1414*, J. C. Mueninghoff, A. K Viets, and R. A. Downer, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2002, 23-36.
54. del Río P. G., Gullón P., Rebelo F. R., Romaní A., Garrote G., Gullón B. 2020. A whole-slurry fermentation approach to high-solid loading for bioethanol production from corn stover. *Agronomy* 2020, 10, 1790.
55. Dent M. 2020. *Biostimulants and Biopesticides 2021-2031: Technologies, Markets and Forecasts*. Publikacja dostępna on line: <https://www.idtechex.com/en/research-report/biostimulants-and-biopesticides-2021-2031-technologies-markets-and-forecasts/773>. Data dostępu: 15.03.2022.
56. Devkota P., Johnson W. G. 2016. Glufosinate efficacy as influenced by carrier water pH, hardness, foliar fertilizer, and ammonium sulfate. *Weed Technol.* 30, 848-859.
57. Dewar A. M. 2009. Weed control in glyphosate-tolerant maize in Europe. *Pest Manag. Sci.* 65, 1047-1058.
58. Dhifi W., Bellili S., Jazi S., Bahloul N., Mnif W. 2016. Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: a critical review. *Medicines* 3, 25.
59. Duke S. O. 2020. Glyphosate: environmental fate and impact. *Weed Sci.* 68, 201–207.
60. Duke S. O., Pan Z., Bajsa-Hirschel J. 2020. Proving the mode of action of phytotoxic phytochemicals. *Plants* 9, 1756.
61. Dumas E., Giraud M., Goujon E., Halma M., Khili E., Stauffert M., Batisson I., Besse-Hoggan P., Bohatier J., Bouchard P. i in. 2017. Fate and ecotoxicological impact of new generation herbicides from the triketone family: an overview to assess the environmental risks. *J. Hazard. Mater.* 325, 136-156.
62. Edel-Hermann V., Gautheron N., Mounier A., Steinberg Ch. 2015. *Fusarium* diversity in soil using a specific molecular approach and a cultural approach. *J. Microbiol. Methods* 111, 64-71.
63. Efeoğlu B., Ekmekçi Y., Çiçek N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *S. Afr. J. Bot.* 75, 34-42.
64. Ekspertyza dla Polskiego Stowarzyszenia Producentów Oleju Zwiększenie efektywności integrowanej ochrony rzepaku ozimego zgodnie z założeniami

- Europejskiego Zielonego Ładu. Publikacja pod kierownictwem Mrówczyńskiego M. 2021. Zwiększenie efektywności integrowanej ochrony rzepaku ozimego zgodnie z założeniami Zielonego Ładu. Wyd. Polskie Stowarzyszenie Producentów Oleju, Warszawa, 182 ss. ISBN 978-83-959757-5-2
65. Elshafie H. S., Grul'ová D., Baranová B., Caputo L., De Martino L., Sedlák V., Camele I., De Feo V. 2019. Antimicrobial activity and chemical composition of essential oil extracted from *Solidago canadensis* L. growing wild in Slovakia. *Molecules* 24, 1206.
66. EURL-SRM-Analytical observations report. Analysis of the tritosulfuron metabolite AMTT by QuEChERS method using LC-MS/MS. Version 1 (Last Update: 30.03.2017); EU Reference Laboratory for Pesticides Requiring Single Residue Methods CVUA Stuttgart, Schaflandstr: Fellbach, Niemcy, 2017.
67. Faber B., Bean T., Daugovish O., De Soto J., Howell A. 2016. Comparison of three herbicides and combinations for weed management in citrus. *Citrus Res. Technol.* 37(1), 94-97.
68. Fazullin D. D., Fazylova R. D. 2020. Purification of water from heavy metal ions by a dynamic membrane with a surface layer of cellulose acetate. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 421, 062032.
69. Fernandez R. T., Perry R. L., Flore J. A. 1997. Drought response of young apple trees on three rootstock. II. Gas exchange, chlorophyll fluorescence, water relations, and leaf abscisic acid. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(6), 841-848.
70. Figueroa M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S. 2018. A review of wheat diseases- a field perspective. *Mol. Plant Pathol.* 19, 1523–1536.
71. Forouzesh A., Zand E., Soufizadeh S., Foroushani S. S. 2015. Classification of herbicides according to chemical family for weed resistance management strategies – an update. *Weed Res.* 55(4), 334-358.
72. Franz C., Novak J. 2015. Sources of essential oils. W: *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*; Baser, K.H.C., Buchbauer, G., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2015; s. 39–82. ISBN 978-1-4200-6315-8.
73. Fried G., Chauvel B., Munoz F., Reboud X. 2020. Which traits make weeds more successful in maize crops? Insights from a three-decade monitoring in France. *Plants* 9, 40.
74. Gantoli G., Ayala V.R., Gerhards R. 2013. Determination of the critical period of weed control in corn. *Weed Technol.* 27, 63-71.

75. Gawęda D., Cierpiała R., Harasim E., Haliniarz M. 2016. Effect of tillage systems on yield, weed infestation and seed quality elements of soybean. *Acta Agrophys.* 23, 175-187.
76. Gholamin R., Khayatnezhad M. 2011. The effect of end season drought stress on the chlorophyll content, chlorophyll fluorescence parameters and yield in maize cultivars. *Sci. Res. Essays* 6(25), 5351-5357.
77. Giepen M., Skora Neto F., Köpke U. 2014. Controlling weeds with natural phytotoxic substances (NPS) in direct seeded soybean. W: Rahmann G., Aksoy U. Ed. Proceedings of the 4th ISO FAR Scientific Conference, 13-15 październik 2014, Istanbul, Turcja, 469-472.
78. Glare T., Caradus J., Gelernter W., Jackson T., Keyhani N., Köhl J., Marrone P., Morin L., Stewart A. 2012. Have biopesticides come of age? *Trends Biotechnol.* 30, 250-258.
79. Główny Urząd Statystyczny, 2020. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Komitet Redakcyjny Głównego Urzędu Statystycznego, Redaktor Główny: Dominik Rozkrut. Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa, ISSN 2080-8798, ss. 447.
80. Gołębiowska H., Rola H. 2010. The assessment of grain quality of maize cultivars depending on the way and term of herbicides application. *Pol. J. Agron.* 2, 11-17.
81. Green J. M., Cahill W. R. 2003. Enhancing the biological activity of nicosulfuron with pH adjusters. *Weed Technol.* 17(2), 338-345.
82. Green J.M., Hale T. 2005. Increasing and decreasing pH to enhance the biological activity of nicosulfuron. *Weed Technol.* 19, 468-475.
83. Grossmann K. 2010. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. *Pest Manag. Sci.* 66, 113-120.
84. Grul'ová D., Caputo L., Elshafie H.S., Baranová B., De Martino L., Sedlák V., Gogal'ová Z., Poráčová, J.; Camele I., De Feo V. 2020. Thymol chemotype *Origanum vulgare* L. essential oil as a potential selective bio-based herbicide on monocot plant species. *Molecules* 25, 595.
85. Gurulingappa P., Sword G. A., Murdoch G., McGee P. A. 2010. Colonization of crop plants by fungal entomopathogens and their effects on two insect pests when in planta. *Biol. Control* 55, 34-41.
86. Gwiazdowska D., Marchwińska K., Juś K., Uwineza P.A., Gwiazdowski R., Waśkiewicz A., Kierzek R. 2022. The concentration-dependent effects of essential oils on the growth of *Fusarium graminearum* and mycotoxins biosynthesis in wheat and maize grain. *Appl. Sci.* 12, 473.

87. Hames A. W., Trevathan L. E., Tomaso-Peterson M. 2012. Germination, shoot growth, root growth and seedborne fungi of fungicide treated wheat seed in Mississippi. *J. Miss. Acad. Sci.* 57(4), 235-239.
88. Hassannejad S., Lotfi R., Ghafarbi S.P., Oukarroum A., Abbasi A., Kalaji H.M., Rastogi A. 2020. Early identification of herbicide modes of action by the use of chlorophyll fluorescence measurements. *Plants* 9, 529.
89. Hatterman-Valenti H., Pitty A., Owen M. 2011. Environmental effects on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) epicuticular wax deposition and herbicide absorption. *Weed Sci.* 59, 14-21.
90. Hawkins N. J., Bass Ch., Dixon A., Neve P. 2019. The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biol. Rev.* 94, 135-155.
91. Hazrati S., Tahmasebi-Sarvestani Z., Modarres-Sanavy S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli A., Nicola S. 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. *Plant Physiol. Biochem.* 106, 141-148.
92. Hess F. D. 2000. Light-dependent herbicides: an overview. *Weed Sci.* 48(2), 160-170.
93. Hudec K., Muchová D. 2010. Influence of temperature and species origin on *Fusarium* spp. and *Microdochium nivale* pathogenicity to wheat seedlings. *Plant Protect. Sci.* 46, 59-65.
94. Ibáñez M. D., Blázquez M. A. 2019. Phytotoxic effects of commercial *Eucalyptus citriodora*, *Lavandula angustifolia*, and *Pinus sylvestris* essential oils on weeds, crops, and invasive species. *Molecules* 24, 2847.
95. Idziak R., Woźnica Z. 2010. Efficiency assessment of limited doses of herbicide mixtures applied with adjuvants in maize protection. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 9(4), 17-28.
96. Idziak R., Woźnica Z. 2014. Impact of tembotrione and flufenacet plus isoxaflutole application timings, rates, and adjuvant type on weeds and yield of maize. *Chil. J. Agric. Res.* 74, 129-134.
97. Iglesias-Rios R., Mazzoni R. 2014. Measuring diversity: Looking for processes that generate diversity. *Nat. Conserv.* 12, 156-161.
98. Iqbal S., Tahir S., Dass A., Bhat M. A., Rashid Z. 2020. Bio-efficacy of pre-emergent herbicides for weed control in maize: a review on weed dynamics evaluation. *J. Exp. Agric. Int.* 42(8), 13-23.
99. Isman M. B. 2020. Bioinsecticides based on plant essential oils: a short overview. *Z. Naturforsch.* 75(7–8)c, 179-182.

100. Ivaschenko O., Ivaschenko O. 2019. Physiological role of epicuticular waxes for plants and their practical significance. *Visnyk Agrar. Nauk.* 97, 12-20.
101. Jaber L. R., Enkerli J. 2016. Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum*. *Biol. Control* 103, 187-195.
102. Jabeur M. B., Somai-Jemmali L., Hamada W. 2017. Thyme essential oil as an alternative mechanism: biofungicide-causing sensitivity of *Mycosphaerella graminicola*. *J. Appl. Microbiol.* 122, 932-939.
103. James T. K., Rahman A., Trolove M., Frith H. 2002. Efficacy of a certified organic herbicide based on pine essence. *N. Z. Plant Prot.* 55, 207-212.
104. Janicka M., Kutkowska A., Paderewski J. 2021. Diversity of segetal flora in *Salix viminalis* L. crops established on former arable and fallow lands in central Poland. *Agriculture* 11, 25.
105. Jat R. S., Meena H. N., Singh A. L., Surya J. N., Misra J. B. 2011. Weed management in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in India-a review. *Agri. Reviews* 32(3), 155-171.
106. Ji F., He D., Olaniran A. O., Mokoena M. P., Xu J., Shi J. 2019. Occurrence, toxicity, production and detection of *Fusarium* mycotoxin: a review. *Food Prod. Process. Nutr.* 1(1), 1-14.
107. Jursík M., Soukup J., Holec J., Andr J., Hamauzová K. 2015. Efficacy and selectivity of pre-emergent sunflower herbicides under different soil moisture conditions. *Plant Protect. Sci.* 51(4), 214-222.
108. Kalaji H. M., Łoboda T. 2010. Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. *Wyd. SGGW, Warszawa*, ss. 116. ISBN: 978-83-7583-119-1.
109. Kamatou G.P., Vermaak I., Viljoen A.M. 2012. Eugenol-from the remote Maluku Islands to the international market place: a review of a remarkable and versatile molecule. *Molecules* 17, 6953-6981.
110. Karaca G., Bilginturan M., Olgunsoy P. 2017. Effects of some plant essential oils against fungi on wheat seeds. *Indian J. Pharm. Educ.* 51(3), S385-8.
111. Kaur N., Sehgal S. K., Glover K. D., Byamukama E., Ali S. 2020. Impact of *Fusarium graminearum* on seed germination and seedling blight in hard red spring wheat in south Dakota. *J. Plant Pathol. Microbiol.* 11(5), 495.
112. Kaya R. 2012. Possibilities of reducing herbicide use in weed control in sugar beet production. *Anadolu J. Agr. Sci.* 27(3), 133-139.

113. Khayyat S. A., Roselin L. S. 2018. Recent progress in photochemical reaction on main components of some essential oils. *J. Saudi Chem. Soc.* 22, 855-875.
114. Kierzek R., Paradowski A., Krawczyk R. 2011. Effectiveness of weed control in maize (*Zea mays* L.) depending on the date and method of herbicide application. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 10(2), 57-73.
115. Klopfenstein T. J., Erickson G. E., Berger L. L. 2013. Maize is a critically important source of food, feed, energy and forage in the USA. *Field Crops Res.* 153, 5-11.
116. Koiou K., Vasilakoglou I., Dhima K. 2020. Herbicidal potential of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) essential oil components on bristly foxtail (*Setaria verticillata* (L.) P. Beauv.): comparison with carvacrol, carvone, thymol and eugenol. *Arch. Biol. Sci.* 72(2), 223-231.
117. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego. Bruksela, dnia 20.5.2020 r. COM(2020) 381 final.
118. Kopsell D. A., Armel G. R., Mueller T. C., Sams C. E., Deyton D. E., McElroy J. S., Kopsell D. E. 2009. Increase in nutritionally important sweet corn kernel carotenoids following mesotrione and atrazine applications. *J. Agric. Food Chem.* 57, 6362-6368.
119. Koul O., Walia S., Dhaliwal G. S. 2008. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopestic. Int.* 4(1), 63-84.
120. Krähmer H., Walter H., Jeschke P., Haaf K., Baur P., Evans R. 2021. What makes a molecule a pre- or a postherbicide – how valuable are physicochemical parameters for their design? *Pest Manag. Sci.* 77, 4863-4873.
121. Kratochvíl Ch., Petersen J. 2012. Competitiveness and yield impact of volunteer oilseed rape (*Brassica napus*) in winter and spring wheat (*Triticum aestivum*). *J. Plant Dis. Prot.* 119 (2), 74-82.
122. Kudsk P. 2008. Optimising herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of side effects of herbicides. *Environmentalist* 28, 49-55.
123. Kumawat N., Yadav R. K., Bangar K. S., Tiwari S. C., Morya J., Kumar R. 2019. Studies on integrated weed management practices in maize - A review. *Agric. Rev.* 40(1), 29-36.
124. Kuzdrałiński A., Nowak M., Szczerba H., Dudziak K., Muszyńska M., Leśniowska-Nowak J. 2017. The composition of *Fusarium* species in wheat husks and grains in south-eastern Poland. *J. Integr. Agric.* 16(7), 1530-1536.

125. Kuziemska B., Klej P., Trebicka J., Popek M. 2016. Prawne aspekty kontroli jakości wody. Zesz. Nauk. UPH w Siedlcach. Ser. Rol. 4 (1-2), 23-37.
126. Lamichhane J.R., Akbas B., Andreasen C.B., Arendse W., Bluemel S., Dachbrodt-Saaydeh S., Fuchs A., Jansen J.P., Kiss J., Kudsk P. i in. 2018. A call for stakeholders to boost Integrated Pest Management in Europe: A vision based on the three-year European research area network project. Int. J. Pest Manag. 2018, 64, 352-358.
127. Lancaster, Z. D.; Norsworthy, J. K.; Barber, L T.; Scott, R. C. 2018. Residual Activity of Thiencarbazone-Methyl Compared to 484 Common Residual Herbicides in Soybean. W: Ross, J. 2018. Arkansas Soybean Research Studies 2016. Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series., s. 73-75.
128. Landau Ch. A., Hager A. G., Tranel P. J., Davis A. S., Martin N. F., Williams II M. M. 2021. Future efficacy of pre-emergence herbicides in corn (*Zea mays*) is threatened by more variable weather. Pest Manag. Sci.77(6), 2683-2689.
129. Landschoot S., Audenaert K., Waegeman W., Pycke B., Bekaert B., De Baetts B., Haesaert G. 2010. Connection between primary *Fusarium inoculum* on gramineous weeds, crop residues and soil samples and the final population on wheat ears in Flanders. Crop Prot. 30(10), 1297-1305.
130. Leonie W., Krähmer H., Santel H.-J., Claupein W., Gerhards R. 2014. Thiencarbazone-methyl efficacy, absorption, translocation, and metabolism in vining weed species. Weed Sci. 62, 512-519.
131. Li H., Travlos I., Qi L., Kanatas P., Wang P. 2019. Optimization of herbicide use: study on spreading and evaporation characteristics of glyphosate-organic silicone mixture droplets on weed leaves. Agronomy 9(9), 547.
132. Lindquist J.L. 2001. Mechanisms of crop loss due to weed competition. W: Biotic stress and yield loss. Peterson, R.K.D., Higley, L.G., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2001; s. 233-253.
133. Linina A., Ruza A. 2018. The influence of cultivar, weather conditions and nitrogen fertilizer on winter wheat grain yield. Agron. Res. 16(1), 147-156.
134. Liu X., Bi B., Xu X., Li B., Tian S., Wang J., Zhang H., Wang G., Han Y., McElroy J. S. 2019. Rapid identification of a candidate nicosulfuron sensitivity gene (Nss) in maize (*Zea mays* L.) via combining bulked segregant analysis and RNA-seq. Theor. Appl. Genet. 132(5), 1351-1361.
135. Liu X., Cao A., Yan D., Ouyang C., Wang Q., Li Y. 2021. Overview of mechanisms and uses of biopesticides. Int. J. Pest Manag. 67(1), 65-72.

136. Lockhart S. J., Howatt K. A. 2004. Split applications of herbicides at reduced rates can effectively control Wild Oat (*Avena fatua*) in Wheat. *Weed Technol.* 18, 369-374
137. Locke M. A., Reddy K. N., Zablotowicz R. M. 2002. Weed management in conservation crop production system. *Weed Biol. Manag.* 2, 123-132.
138. Loiseleur O. 2019. Natural products in the discovery of agrochemicals. *Chimia* 71, 810-822.
139. Loux M.M., Doohan D., Dobbels A.F., Johnson W.G., Young B.G., Legleiter T.R., Hager, A. 2016. Weed control guide for Ohio, Indiana and Illinois. Ext. Publ. WS16. Bull. 789/IL15. Ohio State Univ., Columbus, s. 5.
140. Lutman P. J. W., Berry K., Payne R. W., Simpson E., Sweet J. B., Champion G. T., May M. J., Wightman P., Walker K., Laisbury M. 2005. Persistence of seeds from crops of conventional and herbicide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*). *Proc. R. Soc. B.* 272, 1909-1915.
141. Mačkinaityė R., Kačergius A., Lugauskas A., Repečkienė J. 2006. Contamination of cereal grain by *Fusarium* micromycetes and their mycotoxins under Lithuanian climatic conditions. *Ekologija* 3, 71-79.
142. Matocha M. A., Krutz L. J., Senseman S. A., Koger C. H., Reddy K. N., Palmer E. W. 2006. Spray carrier pH effect on absorption and translocation of trifloxysulfuron in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and Texasweed (*Caperonia palustris*). *Weed Sci.* 54, 969-973.
143. Matocha M.A., Senseman S.A. 2007. Trifloxysulfuron dissipation at selected pH levels and efficacy on Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Technol.* 21, 674-677.
144. Matuszkiewicz W. 2008. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wyd. Nauk. PWN Warszawa, ss. 537.
145. McElroy J. S., Breeden G. K. 2006. Tall fescue seedling tolerance of carfentrazone, bromoxynil, quinclorac, and siduron. *HortScience* 41(1), 252-254.
146. McMullan P. M. 2000. Utility adjuvants. *Weed Technol.* 14, 792-797.
147. Meiss H., Mediene S., Waldhardt R., Caneill J., Munier-Jolain N. 2010. Contrasting weed species composition in perennial alfalfas and six annual crops: implications for integrated weed management. *Agron. Sustain. Dev.* 30(3), 657-666.
148. Mesterházy Á., Tóth B., Varga M., Bartók T., Szabó-Hevér Á., Farády L., Lehoczki-Krsjak Sz. 2011. Role of fungicides, application of nozzle types, and the resistance level

- of wheat varieties in the control of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol. *Toxins* 3, 1453-1483.
149. Metzger B. A., Soltani N., Raeder A. J., Hooker D. C., Robinson D. E., Sikkema P. H. 2019. Influence of application timing and herbicide rate on the efficacy of tolpyralate plus atrazine. *Weed Technol.* 33, 448-458.
150. Misra A.N., Misra M., Singh R. 2012. Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology. W: Biophysics; Misra A.N., Ed.; InTech: Londyn, Wielka Brytania, 2012; ss. 220, ISBN 978-953-51-0376-9.
151. Mitchell G., Bartlett D. W., Fraser T. E. M., Hawkes T. R., Holt D. C., Townson J. K., Wichert R. A. 2001. Mesotrione: a new selective herbicide for use in maize. *Pest Manag. Sci.* 57, 120-128.
152. Moumni M., Romanazzi G., Najar B., Pistelli L., Ben Amara H., Mezrioui K., Karous O., Chaieb I., Allagui M.B. 2021. Antifungal activity and chemical composition of seven essential oils to control the main seedborne fungi of cucurbits. *Antibiotics* 2021, 10, 104.
153. Moustakas M., Calatayud Á. Guidi L. 2021. Editorial: chlorophyll fluorescence imaging analysis in biotic and abiotic stress. *Front. Plant Sci.* 12, 658500.
154. Murchie E. H., Lawson T. 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *J. Exp. Bot.* 64(13), 3983-3998.
155. Ndikuryayo F., Moosavi B., Yang W.-Ch., Yang G.-F. 2017. 4-Hydroxyphenylpyruvate dioxygenase inhibitors: from chemical biology to agrochemicals. *J. Agric. Food Chem.* 65, 8523-8537.
156. Nuyttens D., De Schampheleire M., Verboven P., Brusselman E., Dekeyser D. 2009. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays. *Trans. ASABE*, 52(5), 1471-1480.
157. O'Brien S. R., Davis A. S., Riechers D. E. 2018. Quantifying resistance to isoxaflutole and mesotrione and investigating their interactions with metribuzin post in waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*). *Weed Sci.* 66, 586-594.
158. Oerke E.-C. 2006. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 144, 31-43.
159. Okla M. K., Alamri S. A., Salem M. Z. M., Ali H. M., Behiry S. I., Nasser R. A., Alaraidh I. A., Al-Ghtani S.M., Soufan W. 2019. Yield, phytochemical constituents, and antibacterial activity of essential oils from the leaves/twigs, branches, branch wood, and branch bark of Sour Orange (*Citrus aurantium* L.). *Processes* 7, 363.

160. Patton A. J., Weisenberger D. V., Johnson W. G. 2016. Divalent cations in spray water influence 2,4-D efficacy on dandelion (*Taraxacum officinale*) and broadleaf plantain (*Plantago major*). *Weed Technol.* 30, 431-440.
161. Pavela R., Benelli G. 2016. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. *Trends Plant Sci.* 21(12), 1000-1007.
162. Pavoni L., Perinelli D. R., Bonacucina G., Cespi M., Palmieri G. F. 2020. An overview of micro- and nanoemulsions as vehicles for essential oils: formulation, preparation and stability. *Nanomaterials* 10, 135.
163. Pawlonka Z., Rymuza K., Starczewski K., Bombik A. 2014. Biodiversity of segetal weed communities when chlorsulfuron-based weed control is being used on continuous winter wheat. *J. Plant Prot. Res.* 54, 300-305.
164. Penner D. 2000. Activator Adjuvants. *Weed Technol.* 14, 785-791.
165. Perczak A., Gwiazdowska D., Marchwińska K., Juś K., Gwiazdowski R., Waśkiewicz A. 2019a. Antifungal activity of selected essential oils against *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* and their secondary metabolites in wheat seeds. *Arch. Microbiol.* 201, 1085-1097.
166. Perczak A., Juś K., Gwiazdowska D., Marchwińska K., Waśkiewicz A. 2019b. The efficiency of deoxynivalenol degradation by essential oils under in vitro conditions. *Foods* 8(9), 403.
167. Perincherry L., Lalak-Kańczugowska J., Stępień Ł. 2019. *Fusarium*-produced mycotoxins in plant-pathogen interactions. *Toxins* 11, 664.
168. Peterson R. B., Oja V., Laisk A. 2001. Chlorophyll fluorescence at 680 and 730 nm and leaf photosynthesis. *Photosynth. Res.* 70, 185-196.
169. Pettinga D. J., Ou J., Patterson E. L., Jugulam M., Westra P., Gaines T. A. 2018. Increased chalcone synthase (CHS) expression is associated with dicamba resistance in *Kochia scoparia*. *Pest Manag. Sci.* 74(10), 2306-2315.
170. Pfordt A., Romero L. R., Schiwiek S., Karlovsky P., von Tiedemann A. 2020. Impact of environmental conditions and agronomic practices on the prevalence of *Fusarium* species associated with ear- and stalk rot in maize. *Pathogens* 9, 236.
171. Pigatto C.S., Tarouco C.P., Nicoloso F.T., Berghetti Á.L.P., Leães G.P., Werle I.S., Ulguim A.D.R. 2020. Barnyardgrass control using tank-mixed herbicides with saflufenacil and its influence in photosynthesis and chlorophyll fluorescence. *Ciência Rural* 50, e20190919.

172. Pinke G., Pál R., Botta-Dukát Z. 2010. Effects of environmental factors on weed species composition of cereal and stubble fields in western Hungary. *Cent. Eur. J. Biol.* 5(2), 283-292.
173. Placido H. F., Santos R. F., Oliveira Júnior R. S., Marco L. R., Silva A. F. M., Barroso A. A. M., Albrecht A. J. P., Filho R. V. 2021. Morphological characterization of the foliar surface in glyphosate-resistant tall windmill grass. *Agron. J.* 114, 641-650.
174. Płaza A., Ceglarek F., Królikowska A., Próchnicka M. 2010. Działanie następce wsiewek międzyplonowych i słomy jęczmienia jarego na plonowanie i elementy struktury plonu pszenżyta ozimego. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* 276 (13), 31–38
175. Prandecki K., Wrzaszcz W., Zieliński M. 2021. Environmental and climate challenges to agriculture in Poland in the context of objectives adopted in the European Green Deal Strategy. *Sustainability* 13, 10318.
176. Qasem J.R., Foy C.L. 2001. Weed allelopathy, its ecological impacts and future prospects: a review. *J. Crop Prod.* 4, 43-92.
177. Radzka E., Koc G., Rak J. 2008. Ocena jakości wody pitnej w powiecie siedleckim. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.* 3, 78-86.
178. Rajput V. S., Jhala J., Acharya V. S. 2020. Biopesticides and their mode of action against insect pests: a review. *Int. J. Chem. Stud.* 8(2), 2856-2862.
179. Ramesh S., Baradhan G., Jawahar S., Suseendran K., Suresh Kumar S. M., Sudhagar Rao G. B. 2019. Effect of different herbicides on weed control index, growth and grain yield on hybrid maize. *Plant Arch.* 19(1), 1313-1316.
180. Robinson M.A., Letarte J., Cowbrough M.J., Sikkema P.H., Tardif F.J. 2015. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) response to herbicides as affected by application timing and temperature. *Can. J. Plant Sci.* 95, 325-333.
181. Roesler G. D., Jonck L. C. G., Silva R. P., Jeronimo A. V., Hirata A. C. S., Monquero P. A. 2020. Decontamination methods of tanks to spray 2,4-D and dicamba and the effects of these herbicides on citrus and vegetable species. *AJCS* 14(08), 1302-1309.
182. Rogowska A., Pomastowski P., Sagandykova G., Buszewski B. 2019. Zearalenone and its metabolites: effect on human health, metabolism and neutralisation methods. *Toxicon* 162, 46-56.
183. Ronay I., Ephrath J.E., Eizenberg H., Blumberg D.G., Maman S. 2021. Hyperspectral reflectance and indices for characterizing the dynamics of crop–weed competition for water. *Remote Sens.* 13, 513.

184. Rosenbrock P., Munch J. C., Scheunert I., Dörfler U. 2004. Biodegradation of the herbicide bromoxynil and its plant cell wall bound residues in an agricultural soil. *Pestic. Biochem. Phys.* 78, 49-57.
185. Roskamp J. M., Turco R. F., Bischoff M., Johnson W. G. 2013. The influence of carrier water pH and hardness on saflufenacil efficacy and solubility. *Weed Technol.* 27, 527-533.
186. Samada L. H., Tambunan U. S. F. 2020. Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: a review of their current and future status. *Online J. Biol. Sci.* 20 (2), 66-76.
187. Santel H.-J. 2012. Thiencarbazone-methyl (TCM) and cyprosulfamide (CSA)—A new herbicide and a new safener for use in corn. *Jul.-Kühn-Archiv.* 2, 499-505.
188. Sarabi V., Mohassel M. H. R., Valizadeh M. 2011. Response of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) to tank mixtures of 2,4-D plus MCPA with foramsulfuron. *AJCS* 5(5), 605-610.
189. Sarabi V., Ghanbari A., Mohassel M. H. R., Mahallati M. N., Rastgoo M. 2014. Evaluation of dicotyledonous weeds control with some post-emergence herbicides in maize (*Zea mays* L.) in Iran. *Int. J. Plant Prod.* 8, 19-32.
190. Sawinska Z., Świtek S., Głowicka-Wołoszyn R., Kowalczewski P. K. 2020. Agricultural practice in Poland before and after mandatory IPM implementation by the European Union. *Sustainability* 12, 1107.
191. Schebesta H., Candel J. J. L. 2020. Game-changing potential of the EU's Farm to Fork Strategy. *Nat. Food.* 1 586-588.
192. Schelstraete W., Devreese M., Croubels S. 2020. Comparative toxicokinetics of *Fusarium* mycotoxins in pigs and humans. *Food Chem. Toxicol.* 137, 111140.
193. Scrano L., Bufo S. A., Perucci P., Meallier P., Mansour M. 1999. Photolysis and hydrolysis of rimsulfuron. *Pestic. Sci.* 55, 955-961.
194. Sekutowski T. 2008. Effect of different tillage systems on maize yield and degradation dynamics of rimsulfuron in soil. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 8(2), 9-20.
195. Serim A. T., Maden S. 2012. Soil persistence of tritosulfuron+dicamba in the central Anatolia region in Turkey. W: *International Symposium: Current Trends in Plant Protection-Proceedings*; Institute for Plant Protection and Environment: Belgrade, Serbia, 25-28 Września 2012, 64-69.

196. Shabana Y. M., Abdalla M. E., Shahin A. A., El-Sawy M. M., Draz I. S., Youssif, A. W. 2017. Efficacy of plant extracts in controlling wheat leaf rust disease caused by *Puccinia triticina*. Egypt. J. Basic Appl. Sci. 4, 67-73.
197. Shahbaz M., Riaz M., Ali S., Ahmad F., Hussain A., Nabi G., Chaudhry M. T., Muhammad S. 2018. Effect of seed dressing chemicals on emergence, yield and against soil & seed borne diseases of wheat. Pak. J. Phytopathol. 31(02), 183-189.
198. Sharma D. K., Andersen S.B., Ottosen C.O., Rosenqvist E. 2015. Wheat cultivars selected for high Fv/Fm under heat stress maintain high photosynthesis, total chlorophyll, stomatal conductance, transpiration and dry matter. Physiol. Plant. 153, 284–298.
199. Shiffler A. 2019. Natural weed killers: a guide to organic herbicides. Publikacja dostępna on line: <https://www.lawnstarter.com/blog/lawn-care-2/natural-weed-killers-a-guide-to-organic-herbicides/>. Data dostępu: 15.03.2022.
200. Shrestha J., Timsina K. P., Subedi S., Pokhrel D., Chaudhary A. 2019. Sustainable weed management in maize (*Zea mays* L.) production: a review in perspective of southern Asia. Turk. J. Weed Sci. 2(1), 133-143.
201. Silva F.B., Costa A.C., Alves R.R.P., Megguer C.A. 2014. Chlorophyll fluorescence as an indicator of cellular damage by glyphosate herbicide in *Raphanus sativus* L. plants. Am. J. Plant Sci. 5, 2509-2519.
202. Sims G. K., Taylor-Lovell S., Tarr G., Maskel S. 2009. Role of sorption and degradation in the herbicidal function of isoxaflutole. Pest Manag. Sci. 65, 805-810.
203. Singh S., Singh M. 2007. Effect of adjuvants on trifloxysulfuron efficacy and chlorophyll fluorescence of sicklepod, guineagrass, yellow nutsedge and cotton. Indian J. Weed Sci. 39, 1-12.
204. Skórska E., Murkowski A. 2009. Comparison of susceptibility of crop oat cv. Akt and wild oat leaves to Dicuran 80 WP in mixture with two adjuvants, measured by chlorophyll fluorescence. Acta Agrophys. 14, 463-468.
205. Skowera, B.; Puła, J. 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. Acta Agrophys. 3, 171-177.
206. Sobiech Ł., Grzanka M., Kurasiak-Popowska D., Radzikowska D. 2020. Phytotoxic effect of herbicides on various camelina [*Camelina sativa* (L.) Crantz] genotypes and plant chlorophyll fluorescence. Agriculture 10, 185.
207. Sobiech Ł., Idziak R., Skrzypczak G. 2018. Wpływ pH i napięcia powierzchniowego cieczy opryskowej na skuteczność działania mezotrionu. Przem. Chem. 97, 1325-1327.

208. Sobiech Ł., Skrzypczak G., Grzanka M. 2019. Wpływ pH cieczy opryskowej i adiuwantów należących do różnych grup chemicznych na skuteczność działania tembotrionu. *Przem. Chem.* 98, 1551-1554.
209. Stewart Ch. L., Soltani N., Nurse R. E., Hamill A. S., Sikkema P. H. 2012. Precipitation influences pre- and post-emergence herbicide efficacy in corn. *Am. J. Plant Sci.* 3, 1193-1204.
210. Streit B., Rieger S. B., Stamp P., Richner W. 2002. The effect of tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 92, 211-224.
211. Sulewska H., Koziara W., Śmiatacz K., Szymańska G., Panasiewicz K. 2012. Efficacy of selected herbicides in weed control of maize. *Fragm. Agron.* 29, 144-151.
212. Synowiec A., Halecki W., Wielgusz K., Byczyńska M., Czaplicki S. 2017. Effect of fatty acid methyl esters on the herbicidal effect of essential oils on corn and weeds. *Weed Technol.* 31, 301-309.
213. Synowiec A., Możdżeń K., Krajewska A., Landi M., Araniti F. 2019. *Carum carvi* L. essential oil: a promising candidate for botanical herbicide against *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. in maize cultivation. *Ind. Crops Prod.* 140, 111652.
214. Tekle S., Skinnnes H., Bjørnstad Å. 2013. The germination problem of oat seed lots affected by *Fusarium* head blight. *Eur. J. Plant Pathol.* 135:147-158.
215. Thelen K. D., Jackson E.P., Penner D. 1995. Utility of nuclear magnetic resonance for determining the molecular influence of citric acid and an organosilicone adjuvant on glyphosate activity. *Weed Sci.* 43, 566-571.
216. Tityanov M., Tonev T., Rankova Z., Moskova C., Mitkov A., Yanev M., Neshev N., Velinova E. 2020. Influence of the application time on the herbicides efficacy against the weeds in maize (*Zea mays* L.). *Sci. Papers Ser. A, Agron.* 63(2), 221-225.
217. Todd O. E., Figueiredo M. R. A., Morran S., Soni N., Preston Ch., Kubeš M. F., Napier R., Gaines T. A. 2020. Synthetic auxin herbicides: finding the lock and key to weed resistance. *Plant Sci.* 300, 110631.
218. Tongnuanchan P., Benjakul S. 2014. Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *J. Food Sci.* 79(7), R1231-R1249.
219. Tracchi G., Arcangeli G., Boebel A., Campani E., Cauzzi D., Gualco A., Cantoni A. Thiencarbazone-methyl (Adengo®), nuovo erbicida di pre e post emergenza del mais. 2010. W: Giornate Fitopatologiche 2010, Cervia (RA), Włochy, 9–12 Marca 2010. Università di Bologna: Bologna, Włochy, 339-346.

220. Umetsu N., Shirai Y. 2020. Development of novel pesticides in the 21st century. *J. Pestic. Sci.* 45(2), 54-74.
221. Vaid S., Batish D. R., Singh H. P., Kohli R.K. 2010. Phytotoxic effect of eugenol towards two weedy species. *The Bioscan* 5(3), 339-341.
222. van Ittersum M. K., Cassman K. G., Grassini P., Wolf J., Tittone P., Hochman Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance - a review. *Field Crops Res.* 143, 4-17.
223. Verdeguer M., Sánchez-Moreiras A. M., Araniti F. 2020. Phytotoxic effects and mechanism of action of essential oils and terpenoids. *Plants* 9, 1571.
224. Wang H., Liu W., Zhao K., Yu H., Zhang J., Wang J. 2018. Evaluation of weed control efficacy and crop safety of the new HPPD-inhibiting herbicide-QYR301. *Sci. Rep.* 8(1), 1-11.
225. Weber E. A., Gruber S., Claupein W. 2014. Emergence and performance of volunteer oilseed rape (*Brassica napus*) in different crops. *Europ. J. Agron.* 60, 33-40.
226. Weber J. F., Kunz Ch., Peteinatos G. G., Santel H.-J., Gerhards R. 2017. Utilization of chlorophyll fluorescence imaging technology to detect plant injury by herbicides in sugar beet and soybean. *Weed Technol.* 31, 523-535.
227. Wendt M. J., Wegener M., Ladewig E., Märlander B. 2016. Efficacy of foramsulfuron + thien carbazole-methyl towards different development stages of weed species in sugar beet cultivation. *Sugar Industry* 141(7), 436-445.
228. Werle R., Oliveira M. C., Jhala A. J., Proctor C. A., Rees J., Klein R. 2018. Survey of Nebraska farmers' adoption of dicamba-resistant soybean technology and dicamba off-target movement. *Weed Technol.* 32, 754-761.
229. Williams II M. M., Pataky J. K. 2010. Factors affecting differential sensitivity of sweet corn to HPPD-inhibiting herbicides. *Weed Sci.* 58, 289-294.
230. Wujek B., Kucharski M., Domaradzki K. 2012. Weed control programs in sugar beet (*Beta vulgaris* L.): Influence on herbicidal residue and yield quality. *J. Food Agric. Environ.* n10 (3&4), 606-609.
231. Yang H., Woo J., Pae A.N., Um M.Y., Cho N.-C., Park K.D., Yoon M., Kim J., Lee C. J., Cho S. 2016. α -Pinene, a major constituent of pine tree oils, enhances non-rapid eye movement sleep in mice through GABAA-benzodiazepine receptors. *Mol. Pharmacol.* 90, 530-539.

232. Yannicari M., Tambussi E., Istilart C., Castro A. M. 2012. Glyphosate effects on gas exchange and chlorophyll fluorescence responses of two *Lolium perenne* L. biotypes with differential herbicide sensitivity. *Plant Physiol. Biochem.* 57, 210-217.
233. Yates I. E., Bacon C. W., Hinton D. M. 1997. Effects of endophytic infection by *Fusarium moniliforme* on corn growth and cellular morphology. *Plant Dis.* 81, 723-728.
234. Yu-fang S., Shi-qing L. 2011. Effects of the spatial coupling of water and fertilizer on the chlorophyll fluorescence parameters of winter wheat leaves. *ASC* 10(12), 1923-1931.
235. Zai X. M., Zhu S. N., Qin P., Wang X. Y., Che L., Luo F. X. 2012. Effect of *Glomus mosseae* on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence parameters, and chloroplast ultrastructure of beach plum (*Prunus maritima*) under NaCl stress. *Photosynthetica* 50 (3), 323-328.
236. Zhang J., Huang Y., Reddy K. N., Wang B. 2019a. Assessing crop damage from dicamba on non-dicamba-tolerant soybean by hyperspectral imaging through machine learning. *Pest Manag. Sci.* 75, 3260-3272.
237. Zhang J., Jäck O., Menegat A., Li G., Wang X. 2019b. Chlorophyll fluorescence measurement: a new method to test the effect of two adjuvants on the efficacy of topramezone on weeds. W: Proceedings of the International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture, Jilin, China, 12–15 sierpnia 2017, 206-216.
238. Zhao N., Zuo L., Li W., Guo W., Liu W., Wang J. 2017. Greenhouse and field evaluation of isoxaflutole for weed control in maize in China. *Sci. Rep.* 7(1), 1-9.
239. Zheng B., Yan Y., Fu C., Huang G., Zhao L., Chen Q., Qu R., Yang G. 2021. Discovery of triketone-quinoxaline hybrids as potent HPPD inhibitors using structure-based drug design. *Front. Agr. Sci. Eng.* 9, 133-145.
240. Zhou S., Bae J. S., Bergstrom G. C., Jander G. 2018. *Fusarium graminearum*-induced shoot elongation and root reduction in maize seedlings correlate with later seedling blight severity. *Plant Direct.* 2(7), e00075.

11. Opis pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moje zainteresowania badawcze związane są głównie z ochroną roślin. Zmiana formy substancji aktywnej lub parametrów cieczy opryskowej może pozwolić na osiągnięcie odpowiednio wysokich skuteczności działania herbicydów. Tematykę taką podjęłam wraz ze współautorami w kilku artykułach. Wyniki zawarte w publikacjach naukowych wskazują na możliwość poprawy efektywności aplikowanych środków ochrony roślin. Może pozwolić to na ograniczenie ilości ich zużycia przy jednoczesnym utrzymaniu odpowiedniej skuteczności działania. Jest to ważne ze względu na aspekt ekonomiczny i środowiskowy. Należy również pamiętać, że aplikowane preparaty powinny być nie tylko skuteczne, ale i bezpieczne w stosunku do rośliny uprawnej. W pracach realizowanych wraz ze współautorami podejmowałam także tematykę stresu roślin wywołwanego przez różne czynniki oraz selektywności różnych preparatów w stosunku do roślin uprawnych.

Podczas studiów doktoranckich brałam udział w konferencjach naukowych, na których mogłam prezentować wyniki swoich badań. Uczestniczyłam także w projektach badawczych realizowanych w Katedrze Agronomii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Ważnym aspektem mojej działalności jest upowszechnianie wyników badań naukowych, czego efektem jest współautorstwo monografii oraz publikacji popularnonaukowych.

Sumaryczny Impact Factor moich publikacji wynosi 29,312, w tym po odliczeniu prac stanowiących rozprawę doktorską wynosi 19,739. Opublikowane artykuły według bazy Web of Science cytowane były 23 razy. Mój indeks Hirscha według bazy Web of Science wynosi 3. Łączna suma uzyskanych przeze mnie punktów zgodnie z listą czasopism MEiN z uwzględnieniem prac stanowiących rozprawę doktorską wynosi 1147.

Publikacje naukowe

1. Sobiech Ł., Idziak R., Skrzypczak G., Szulc P., **Grzanka M.** 2018. Bioróżnorodność zachwaszczenia w uprawie kukurydzy na glebie płowej. Prog. Plant Prot. 58(4), 282-287

Punktacja wg MEiN (2018): 12

2. Sobiech Ł., Skrzypczak G., **Grzanka M.** 2018. Wpływ dodatku etoksylowanej aminy tłuszczowej oraz innych adiuwantów na skuteczność działania glifosatu. Przem. Chem. 97(7), 1135-1137.

Punktacja wg MEiN (2018): 15

IF: 0,428

3. Wołoszyn A., Głowicka-Wołoszyn R., Świtek S., **Grzanka M.** 2019. Wielowymiarowa subiektywna ocena materialnych warunków życia i dobrostanu w gospodarstwach domowych rolników w Polsce. *Fragm. Agron.* 36(4), 15-26.
Punktacja wg MEiN (2019): 20
4. Sobiech Ł., Skrzypczak G., **Grzanka M.** 2019. Wpływ pH cieczy opryskowej i adiuwantów należących do różnych grup chemicznych na skuteczność działania tembotrionu. *Przem. Chem.* 98(10), 1551-1554.
Punktacja wg MEiN (2019): 70 IF: 0,428
5. Sobiech Ł., Skrzypczak G., Khachatryan, K., **Grzanka M.** 2019. Wpływ nanosurfaktantów na skuteczność działania herbicydów. *Przem. Chem.* 98(8), 1268-1271.
Punktacja wg MEiN (2019): 70 IF: 0,428
6. Sobiech Ł., **Grzanka M.**, Skrzypczak G., Idziak R., Włodarczak S., Ochowiak M. 2020. Effect of adjuvants and pH adjuster on the efficacy of sulcotrione herbicide. *Agronomy*, 10(4), 530.
Punktacja wg MEiN (2020): 100 IF: 3,417
7. Radzikowska D., **Grzanka M.**, Kowalczewski P. Ł., Głowicka-Wołoszyn R., Bleharczyk A., Nowicki M., Sawinska Z. 2020. Influence of SDHI seed treatment on the physiological conditions of spring barley seedlings under drought stress. *Agronomy*, 10(5), 731.
Punktacja wg MEiN (2020): 100 IF: 3,417
8. Sobiech Ł., **Grzanka M.**, Kurasiak-Popowska D., Radzikowska D. 2020. Phytotoxic effect of herbicides on various camelina [*Camelina sativa* (L.) Crantz] genotypes and plant chlorophyll fluorescence. *Agriculture*, 10(5), 185
Punktacja wg MEiN (2020): 100 IF: 2,925
9. Jagła M., Sobiech Ł., Szulc P., Nowosad K., Bocianowski J., **Grzanka M.** 2020. Sensitivity assessment of varieties, effectiveness of weed control by selected herbicides, and infection of the *Fusarium* in maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Agronomy*, 10(8), 1115.
Punktacja wg MEiN (2020): 100 IF: 3,417
10. Niemczak M., Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2020. Iodosulfuron-methyl-based herbicidal ionic liquids comprising alkyl betainate cation as novel active ingredients with reduced environmental impact and excellent efficacy. *J. Agric. Food Chem.* 68 (47), 13661-13671.

Monografie i rozdziały monografii

1. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2017: Trafny wybór herbicydu. Kukurydza: Fundamenty plonu. Top Agrar Polska. Poradnik Eksperta. s. 52-57, ISBN: 978-83-61078-70-8
2. Michalski T., Bereś P. K., Sobiech Ł., Szczepaniak W., Potarzycki J., Skudlarski J., Sawinska Z., Piechota T., Strzelińska J., Świtek S., Siekaniec Ł., Kolan K., Dziubek M., Piecuch K., Grzeszczyk K., Wieremczuk A., Andrzejewska A., Wachowski A., Żurawki P., Szychowiak P., **Grzanka M.**, Śmigielski D., Wasak M., Rychter P. 2018: Kukurydza. Agro Wydawnictwo, ss. 112, ISBN: 978-83-946130-7-5.
3. Mrówczyński M., Korbas M., Szczepaniak W., Sobiech Ł., Jajor E., Strażyński P., Horoszkiewicz-Janka J., Szychowiak P., Danielewicz J., **Grzanka M.**, Antkowiak D. 2018: Rzepak : Identyfikacja agrofagów oraz niedoborów pokarmowych. Agro Wydawnictwo, ss. 144, ISBN: 978-83-950876-0-8.
4. Grzebisz W., Kordan B., Sawinska Z., Sobiech Ł., Antkowiak D., **Grzanka M.**, Najewski A., Strzelińska J., Świtek S., Wieremczuk A., Zawieja A. 2018: Zboża : Identyfikacja agrofagów oraz niedoborów pokarmowych. Agro Wydawnictwo, ss. 236, ISBN: 978-83-950876-2-2.
5. Biernacki J., Czubiński T., Daleszyński J., **Grzanka M.**, Korbas M., Sobiech Ł., Walerowska M. 2019: Pszenica ozima : przewodnik polowy. Wyd. PWR, Poznań, ss. 151, ISBN: 978-83-61078-91-3.
6. Biernacki J., Bereś P., Czubiński T., Daleszyński J., **Grzanka M.**, Piechota T., Sobiech Ł. Walerowska M. 2020. Kukurydza: Na ziarno i kiszonkę. Top Agrar Polska. Przewodnik polowy. s. 20-21, ISBN: 978-83-7940-004-1.
7. Korbas M., Szczepaniak W., Bubniewicz P., Horoszkiewicz-Janka J., Kardasz P., Klejdysz T., Sobiech Ł., Strażyński P., Jajor E., Nijak K., Antkowiak D., Broniarz J., **Grzanka M.**, Szychowiak P., Danielewicz J., Zwolińska A. 2020. Rzepak: Identyfikacja agrofagów oraz niedoborów pokarmowych. Agro Wydawnictwo, ss. 256, ISBN: 978-83-958358-0-3.

Udział w konferencjach

1. **Grzanka M.**, Sobiech Ł., Skrzypczak G. 2018. Wpływ odczynu cieczy opryskowej i adiuwantów na skuteczność działania tembotrionu – substancji aktywnej z grupy

- trójketonów, 43. Międzynarodowe Seminarium Naukowo – Techniczne „Chemistry for Agriculture” 25 – 28 listopad 2018, Karpacz, poster.
2. Sobiech Ł., Skrzypczak G., Idziak R., **Grzanka M.** 2018. Odporność miotły zbożowej (*Apera spica-venti*) na herbicydy o różnych mechanizmach działania. Rola odmiany i ochrony roślin w intensyfikacji produkcji roślinnej : Poznań - Dymaczewo Nowe, 09-11 maja 2018 r., streszczenie (str. 21).
 3. **Grzanka M.**, Sawinska Z., Sobiech Ł., Świtek S., Radzikowska D., Skrzypczak G. 2019. Wpływ olejków eterycznych na parametry wzrostu siewek kukurydzy porażonej *Fusarium spp.* Kukurydza i sorgo - produkcja i wykorzystanie : Poznań-Dymaczewo Nowe, 22-24 maja 2019, poster, streszczenie (str. 36).
 4. **Grzanka M.**, Sawinska Z., Sobiech Ł., Świtek S., Radzikowska D. 2019. Wpływ olejków eterycznych na parametry wzrostu siewek pszenicy porażonej *Fusarium spp.* the effect of essential oils on the growth parameters of wheat seedlings infested with *Fusarium spp.* Konferencja Naukowa "Nowe trendy badawcze w zakresie ogólnej uprawy roli i roślin" : Kraków-Zakopane, 24-26 czerwca 2019, poster, streszczenie (str. 45-47).
 5. **Grzanka M.**, Sobiech Ł., Skrzypczak G., Khachatryan K. 2018. Wpływ nanosurfaktantów na skuteczność działania herbicydów, 43. Międzynarodowe Seminarium Naukowo – Techniczne „Chemistry for Agriculture” 25 – 28 listopad 2018, Karpacz, poster.
 6. **Grzanka M.**, Sobiech Ł., Skrzypczak G., Idziak R. 2019. Wpływ pH cieczy opryskowej i adiuwantów należących do różnych grup chemicznych na skuteczność działania sulkotrionu. 44. Międzynarodowe Seminarium Naukowo – Techniczne „Chemistry for Agriculture” 24 – 27 listopad 2019, Karpacz, poster.
 7. Radzikowska D., **Grzanka M.**, Sawinska Z. 2019. Stan fizjologiczny roślin jęczmienia jarego w warunkach stresu suszy po zastosowaniu zapraw nasiennych zawierających substancje czynne z grup: fenylopiroli, karboksamidów i triazoli. 44. Międzynarodowe Seminarium Naukowo – Techniczne „Chemistry for Agriculture” 24 – 27 listopada 2019, Karpacz, poster.

Projekty NCN, NCBR, FNP, MEiN zarejestrowane w UPP

Projekt badawczy: Strategia przeciwdziałania uodparnianiu się chwastów na herbicydy jako istotny czynnik zapewnienia zrównoważonego rozwoju agroekosystemu, BIOSTRATEG3/347445/1/NCBR/2017

Wykonawstwo prac naukowych, realizowanych w ramach UPP na zlecenie podmiotów spoza sektora szkolnictwa wyższego i nauki

1. Projekt badawczy: Ocena wpływu substancji z grupy SDHI zawartych w zaprawach nasiennych na wzrost i parametry fizjologiczne roślin kukurydzy”. Syngenta Crop Protection AG, Basel, Switzeland. Umowa zarejestrowana w UP Poznań Nr ewidencyjny umowy w UP Poznań 50/2020/B

2. Projekt badawczy: „Opracowanie technologii wytwarzania nawozu organicznego (w postaci peletu/granulatu) na bazie odchodów *Hermetia illucens* i zbadanie jego oddziaływania na wybrane rośliny” HiProMine Spółka Akcyjna z siedzibą w Robakowie ul. Poznańska 12F, 62-023 Robakowo. Umowa zarejestrowana w UP Poznań Nr ewidencyjny umowy w UP Poznań 62/2020/B

Publikacje popularnonaukowe

1. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2017. Wycofanie glifosatu i innych herbicydów - czy taka będzie przyszłość polskiego rolnictwa? Świat Zbóż 33, 46-47.
2. **Grzanka M.**, Sobiech Ł. 2017. Zapobiec wyleganiu. Agrotechnika 3, 28-32.
3. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2017. Jeśli przeoczysz zachwaszczenie. Top Agrar Pol. 4, 90-92, 94.
4. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2017. Skuteczna eliminacja chwastów w zbożach. Świat Zbóż 35, 47-48, 50.
5. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2017. Doglebowe odchwaszczanie rzepaku ozimego. Agro Profil 7, 44-47.
6. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2017. Powschodowe zwalczanie chwastów w rzepaku. Agro Profil 8, 32-35.
7. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2017. Doglebowe zwalczanie chwastów w zbożach. Agro Profil 9, 14-17.
8. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2017. Jak powschodowo zwalczać chwasty w zbożach? Agro Profil 10, 26-28.
9. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2018. Doglebowa walka z chwastami. Świat Zbóż 36, 60-61.
10. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2018. Jesienna walka z chwastami w zbożach. Świat Zbóż 38, 38.
11. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2018. Jak skuteczniej odchwaszczać kukurydżę? Top Agrar Pol. 2, 86-88

12. Sobiech Ł., Skrzypczak G., **Grzanka M.** 2018. Czyste pole strączkowych. Top Agrar Pol. 3, 128-132
13. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2018. Jakim herbicydom nie służy twarda woda? Top Agrar Pol. 9, 110-114.
14. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2019. Niechciany spadek po herbicydach. Top Agrar Pol. 2, 124-125.
15. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2019. Sposoby na chwasty w strączkowych. Top Agrar Pol. 3, 146-148.
16. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2019. Uciążliwi sąsiedzi rzepaku. Top Agrar Pol. 8, 98-102.
17. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2019. Nowe wyzwania w ochronie roślin przed chwastami. Świat Zbóż 39, 52, 54.
18. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2019. Desykacja i sklejanie zbóż. Świat Zbóż 40, 52-53.
19. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2019. Jesienna walka z chwastami w rzepaku ozimym. Agro Profil 9: 48-51.
20. **Grzanka M.**, Sobiech Ł. 2020. Herbicyd a roślina następcza. Agro Profil 1, 39-40.
21. **Grzanka M.**, Sobiech Ł. 2020. Wiosenna regulacja wzrostu rzepaku i zbóż. Agro Profil 2, 38-39.
22. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2020. Niedobitki zwalcz wiosną. Top Agrar Pol. 2, 126-129.
23. **Grzanka M.**, Sobiech Ł. 2021. Zastosowane herbicydy a następstwo roślin. Agro Profil 1, 26-27.
24. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2021. Zimujące zmorą ozimin. Top Agrar Pol. 1, 82-84.
25. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2021. Czy burak jest w opałach? Top Agrar Pol. 3, 134-138.
26. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2021. W odchwaszczaniu najważniejsza jesień. Top Agrar Pol. Dodatek specjalny: Ochrona zbóż w dobie zmian klimatu, 10-13.
27. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2021. Wiosną najlepiej korekta. Top Agrar Pol. Dodatek specjalny: Ochrona zbóż w dobie zmian klimatu, 16-17.
28. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2021. Sposób na czysty rzepak. Top Agrar Pol. 8, 98-103.
29. **Grzanka M.**, Sobiech Ł. 2022. Korekta herbicydowa w oziminach. Agro Profil 2, 49-50, 52.
30. Sobiech Ł., **Grzanka M.** 2022. Burak bez chwastów. Top Agrar Pol. 3, 144-146.

Tabelaryczne zestawienie dorobku według oceny punktowej czasopism

Czasopismo	Rok wydania	Punkty MEiN	Ilość prac	Suma Punktów MEiN	IF w roku wydania	IF sumaryczny
Czasopisma z IF						
Przemysł Chemiczny	2018	15	1	15	0,428	0,428
	2019	70	2	140	0,428	0,856
Agronomy	2020	100	3	300	3,417	10,251
	2021	100	1	100	3,417	3,417
Agriculture	2021	100	1	100	2,925	2,925
	2022	100	1	100	2,925	2,925
Journal of Agricultural and Food Chemistry	2021	140	1	140	5,279	5,279
Open Chemistry	2021	70	1	70	1,554	1,554
Chilean Journal of Agricultural Research	2022	40	1	40	1,677	1,677
Czasopisma bez IF						
Progress in Plant Protection	2018	12	1	12	-	-
Fragmenta Agronomica	2019	20	1	20	-	-
Monografie	2018	20	3	60	-	-
	2019	20	1	20	-	-
	2020	20	1	20	-	-
Rozdział w monografii	2017	5	1	5	-	-
	2020	5	1	5	-	-
Razem	-	-	21	1147	-	29,312