



Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Rolnictwa, Ogrodnictwa i Biotechnologii
Katedra Agronomii
Dziedzina: nauki rolnicze
Dyscyplina: rolnictwo i ogrodnictwo

mgr inż. Violetta Szuba-Adamska

**WPŁYW ADIUWANTÓW I SIARCZANU CYNKU NA SKUTECZNOŚĆ
CHWASTOBÓJCZĄ HERBICYDÓW ORAZ ROZWÓJ KUKURYDZY**

**Praca doktorska wykonana
w Katedrze Agronomii
pod kierunkiem
prof. UPP dr. hab. Roberta Idziaka**

Poznań 2024

SPIS TREŚCI

1. Wstęp	3
2. Metodyka badań	9
2.1. Doświadczenie szklarniowe	13
2.2. Badania laboratoryjne	16
2.3. Doświadczenie polowe	17
2.4. Analiza statystyczna	21
3. Warunki prowadzenia doświadczeń	21
3.1. Warunki pogodowe	21
3.2. Warunki glebowe i agrotechnika	30
4. Wyniki badań	32
4.1. Wyniki doświadczenia laboratoryjnego i szklarniowego	32
4.1.1. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na właściwości fizykochemiczne cieczy opryskowej zawierającej mieszaninę bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem	32
4.1.2. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na skuteczność chwastobójczą mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem	35
4.2. Wyniki doświadczenia polowego	39
4.2.1. Skład gatunkowy zbiorowisk chwastów na poletkach badawczych w kukurydzy w ZDD Brody w latach 2018–2020 oraz ich klasyfikacja fitosocjologiczna	39
4.2.2. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na skuteczność zwalczania chwastów przez mieszaninę bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem	40
4.2.3. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na rośliny kukurydzy oraz plon ziarna i jego parametry	49
4.2.4. Wpływ badanych kombinacji herbicydowych oraz dodatku adiuwantów i terminu aplikacji na opłacalność odchwaszczania kukurydzy w ZDD Brody w latach 2018-2020	57
5. Dyskusja	61
6. Stwierdzenia i wnioski	84
7. Wykaz literatury	87

1. WSTĘP

Jedną z najistotniejszych sił napędowych rozwoju rolnictwa jest postęp biologiczny. To część składowa postępu w rolnictwie. Wiąże się on nierozłącznie z doskonaleniem genetycznych cech roślin, co czyni je coraz wydajniejszymi, a z punktu widzenia wymagań człowieka lepszymi jakościowo (**Gao i in. 2023; Rudnicki i Piekarczyk 2018; Wicki 2018; Gacek 2017; Arseniuk i Olesiak 2009; Runowski 1994**). Efektem postępu biologicznego są nowe metody krzyżowania i selekcji oraz nowe sposoby korygowania genotypu roślin i pozyskiwanie nowych odmian a także gatunków (**Nowak 2023; Gracz 2015; Szymczyk 1995**). Niemniej jednak do ujawnienia się efektów powstałych przez postęp biologiczny należy zapewnić roślinie odpowiednie warunki do wzrostu i rozwoju, tj. zapewnienie odpowiednich warunków glebowych, odpowiedni dla rośliny następczej przedplon, prawidłową uprawę gleby i właściwe nawożenie oraz skuteczną, skierowaną na zwalczanie obecnych w łanie rośliny uprawnej agrofagów, ochronę roślin (**Małecka-Jankowiak i in. 2018; Biskupski i in. 2014; Pabin 2007; Runowski 1997**). Współczesne rolnictwo realizując cele produkcyjne i ekonomiczne musi mieć ponadto na uwadze ekologię, co oznacza ochronę środowiska przed zagrożeniami i skażeniami wynikającymi z charakteru działalności rolniczej (**Góral i Rembisz 2017; Macpherson i in. 2009**). To na rolników spada istotna część odpowiedzialności za ochronę przestrzeni podczas produkcji rolnej (**Kitczak i Jarnuszewski 2021**).

Agrofagi nie tylko obniżają wartość produktów rolnych, ale też generują koszty produkcji związane z dodatkową uprawą czy pielęgnacją roślin oraz utrudnionym zbiorem plonu. Kukurydza jest rośliną, która narażona jest na silną presję chwastów. Niewielka obsada, rzadki siew, początkowy wolny wzrost a czasami opóźnione wschody spowodowane warunkami atmosferycznymi dają chwastom sprzyjające warunki do rozwoju (**Idziak i in. 2019; Dereje i in. 2018; Ramesh i in. 2017; Naeem i in. 2012**). Chwasty konkurują o wodę, składniki pokarmowe i światło z innymi roślinami (**Rudnicki i Jaskulski 2006**). Próg szkodliwości chwastów w uprawie kukurydzy dla komosy białej wynosi 0,5 szt./m², rdestówki powojowej oraz szarłatu szorstkiego po 2 szt./m², a chwastnicy jednostronnej 6 szt./m² (**Kitczak i Jarnuszewski 2021**). Podstawowym źródłem zachwaszczenia jest gleba. To w niej znajdują się nasiona chwastów, a także organy ich wegetatywnego rozmnażania. Szacuje się, że na 1 m² warstwy ornej może znajdować się nawet do kilkudziesięciu tysięcy nasion chwastów (**Hossain i Begum 2015**). Duża ich część przez wiele lat ma zdolność kiełkowania (**Kieloch 2020; Bochenek 1998**). Na pola uprawne chwasty przedostają się również z materiałem siewnym, który jest niedoczyszczony bądź z kompostem czy słabo prefermentowanym

obornikiem (**Piechota i Dach 2007**), a z miejsc nieużytkowanych rolniczo między innymi przy pomocy wiatru (**Wan i in. 2017; Ziska i in. 2011; Fenner i Thompson 2006**). Przewaga agrofagów nad rośliną rolniczą wynika z ich różnych możliwości rozprzestrzeniania się, ale też z ich ogromnej plenności. Jeden chwast potrafi wytworzyć od kilku a nawet kilkuset tysięcy sztuk nasion (**Kurdyukova 2018; Kwiecińska 2004**). Niektóre nasiona chwastów popadają w tzw. okresowy spoczynek co powoduje ich nierównomierne wschody. W glebie nasiona te mogą przetrwać od roku do kilkudziesięciu lat (**Poczta i in. 2016**).

Powierzchnia uprawy kukurydzy zwiększa się z roku na rok. Według danych GUS w latach 2013-2019, przeciętna powierzchnia uprawy kształtowała się między 0,6 a 0,7 mln ha. Rok później zwiększyła się o ponad 200 tys. ha, co umożliwiło zebranie 6,8 mln ton surowca. Rok 2021 był rokiem przełomowym jeśli chodzi o zasiewy tego zboża. Kukurydzą obsiano wówczas 1,7 mln ha, przy zbiorach na poziomie 7,5 mln ton (**KOWR/GUS 2022**).

Zwalczanie chwastów w kukurydzy jest zabiegiem niezbędnym i głównie opiera się na zabiegach herbicydowych. W fazie od 1 do 15 liści, czyli w najbardziej krytycznym okresie, zachwaszczenie może doprowadzić do spadku plonu nawet kilkudziesięciu procent (**Księżak i in. 2011; Zystro i in. 2012; Ghanizadeh i in. 2010, Skrzypczak i in. 2008; Isik i in. 2006**). Według zaleceń (**PORR 2023; ZORR 2020**) w Polsce powschodowe zwalczanie chwastów w kukurydzy prowadzi się w fazie od 2 do 7-8 liści. Zabieg wykonany zbyt wcześnie lub zbyt późno skutkuje spadkiem plonu kukurydzy. Badania wykazują, że jednym z najistotniejszych czynników wpływających na skuteczność chwastobójczą herbicydów jest faza rozwojowa chwastów w momencie wykonywania oprysku (**Chauhan i Abugho 2012; Woźnica 2008**). Według **Woźnicy i Idziaka** (2010) dobrym rozwiązaniem jest stosowanie dawek dzielonych środków w okresie największej wrażliwości chwastów, czyli w ich wczesnej fazie rozwojowej, co pozwala uzyskać nie tylko oczekiwany efekt w formie skutecznej eliminacji chwastów, ale także poprawienie ekonomicznej efektywności zabiegu. Stosowanie chemicznych środków ochrony roślin wiąże się z wpływem na organizmy nie będące celem ich stosowania, a w szerszym ujęciu na środowisko naturalne, dlatego należy tak dobierać rozwiązania, aby osiągnąć najwyższą efektywność przy jak najmniejszym obciążeniu środowiska (**Dz.U. 2013; Pruszyński i in. 2012**).

Stosując się do zasad integrowanej ochrony roślin rolnik przed zastosowaniem chemicznych środków zwalczających agrofagi, powinien wykorzystać wszystkie możliwie dostępne metody ochrony a chemiczną metodę traktować jako rozwiązanie stosowane wówczas, gdy inne metody nie zagwarantowały pełnej kontroli agrofagów (**Paradowski 2014**). **Bereś i in. (2019)** wskazują, że dzieje się tak, gdy nie w pełni skutecznymi w ograniczaniu

zachwaszczenia okazują się płodozmian, zabiegi uprawowe, np. zwalczanie chwastów przed siewem, stosowanie wsiewek, dobór odpowiedniej normy wysiewu i przestrzegania terminu, stosowanie kwalifikowanego materiału siewnego.

Zachwaszczenie kukurydzy reguluje się herbicydami stosowanymi doglebowo bądź nalistnie. Gwarancją oczekiwanego efektu jest wykonanie zabiegu na rośliny suche oraz w odpowiednim czasie przed deszczem (**Pruszyński i in. 2007**). Wprowadzając do praktyki stosowanie zabiegów systemowych mamy bezpośredni wpływ na dynamikę rozkładu substancji oraz jej pozostałości w glebie. Herbicydy zawierające substancje aktywne z grupy pochodnych sulfonilomocznika są najliczniejszą grupą środków dostępnych do stosowania w ochronie kukurydzy, najczęściej w formie zabiegu powschodowego, którego działanie jest znacznie krótsze niż herbicydów aplikowanych doglebowo, a skuteczność w stosunku do komosy białej nie zawsze wystarczająco wysoka. Łączenie nikosulfuronu - pochodnej sulfonilomocznika, z bromoksynilem (hydroksybenzonitryl, wycofany z użycia w UE po 2021 roku) zwiększa skuteczność działania, co za tym idzie zwiększa pulę zwalczanych chwastów o komosę białą i gatunki rdestowate. Dodanie do tej mieszaniny terbutyloazyny wydłuża okres oddziaływania i ogranicza zachwaszczenie wtórne kukurydzy (**Ehsas i in. 2016**). Warto pamiętać, że część herbicydu przed dojściem do miejsca działania jest tracona, nie zatrzymuje się na liściach chwastów i nie przedostaje się przez kutikulę i inne bariery do wnętrza rośliny. Należy liczyć się wtedy ze znacznym ograniczeniem skuteczności środków i mniejszą opłacalnością zabiegów. Aby poprawić skuteczność działania środków należy stosować je z rekomendowanymi lub właściwie dobranym z adiuwantem (**Idziak i in. 2019; Kierzek i in. 2014; Woźnica 2012**).

Adiuwantem nazywa się substancję, która wzmacnia działanie innego środka (**PWN 2024a**). Adiuwant jest dodawany do zbiornika opryskiwacza lub znajduje się już w formulacji pestycydu w celu wspomaganie działania środka ochrony roślin lub modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszaniny (**Cox i Zeiss 2022; Pacanoski 2015; Woźnica 2012; Hazen 2000**). Zadaniem adiuwantów jest zatem zwiększenie ilości substancji aktywnej zatrzymywanej w danym miejscu na roślinie oraz poprawienie właściwości użytkowych cieczy roboczej. Wyróżnia się adiuwanty aktywujące i modyfikujące (**Jastrzębska i in. 2003**). Kryterium podziału substancji, które pełnią funkcję wspomagaczy jest ich budowa chemiczna. W tej sytuacji do adiuwantów aktywujących zalicza się surfaktanty, sole nieorganiczne, oleje oraz adiuwanty wielofunkcyjne (wieloskładnikowe), w których skład wchodzi mieszanina dwu lub więcej związków (**Somerville i in. 2012; Praczyk i Skrzypczak 2004; Woźnica i Skrzypczak 1998**).

Głównym zadaniem adiuwantów aktywujących jest zmniejszenie napięcia powierzchniowego kropeł cieczy opryskowej, co ogranicza ich zmywalność, wydłuża czas zatrzymania na powierzchni liści chwastów, wpływa pozytywnie na retencję oraz absorpcję, czyli wnikanie składnika aktywnego w głąb rośliny i transport do miejsca działania (**Kucharski i Sadowski J. 2007**). Adiuwanty spełniające jedną lub więcej z wyżej wymienionych funkcji to surfaktanty, zemulgowane oleje i ich pochodne, adiuwanty wielokomponentowe oraz niektóre związki mineralne (**Woźnica 2012**).

Adiuwanty wieloskładnikowe zawierają co najmniej dwa związki o różnym działaniu umieszczone w jednej formulacji (**Idziak i in. 2023; Wernecke et al. 2021**). Najczęściej składają się one z dwóch lub więcej surfaktantów lub adiuwantów należących do różnych grup, np. z połączeniu surfaktanta z siarczanem amonowym, oleju z mieszaniną surfaktantów lipo i hydrofilowych czy nawet z adiuwantami mineralnymi. Adiuwanty, w których skład wchodzi tylko pojedynczy składnik mają wąski zakres działania. Przykładowo potrafią wzmacniać retencję kropli na powierzchni rośliny, ale nie ułatwiają jej przenikania do komórek. Zaletą stosowania wieloskładnikowego wspomagacza jest możliwość stosowania go z większą liczbą herbicydów w różnych warunkach siedliskowych (**Woźnica 2012**).

Głównym kryterium podziału adiuwantów modyfikujących jest mechanizm ich działania. Bardziej bezpieczne i dokładniejsze wykonanie zabiegu zawdzięcza się zmianom właściwości fizykochemicznych cieczy opryskowej z adiuwantem. Ma to również działanie ochraniające elementy konstrukcyjne aparatury przed korozją (**Jastrzębska i in. 2003**). Adiuwanty modyfikujące są wprowadzane do formulacji herbicydu już na etapie procesu produkcji. Wpływa to między innymi na trwałość przechowywania środka. Wśród tego rodzaju adiuwantów można wyróżnić emulgatory umożliwiające połączeniu się wody i oleju, stabilizatory, które zabezpieczają przed rozwarstwieniem się zawiesiny oraz humektanty wpływające na czas odparowania wody z kropeł. Poprawa jakości wody, działanie przeciw pienieniu się cieczy jak i zapobieganie sedymentacji cząsteczek to następne cechy adiuwantów modyfikujących (**Tyszka 2019**).

Jakość wody wykorzystywana podczas wykonywanych zabiegów również ma duże znaczenie dla skuteczności chwastobójczej. Niektóre modyfikatory pH są stosowane do obniżania (zakwaszania) wody, gdyż wiele insektycydów rozkłada się pod wpływem wysokiego pH wody. Niskie pH nie jest niezbędne do optymalizacji wchłaniania herbicydów. **Zollinger (2014)** podaje, że podstawowe adiuwanty herbicydowe są oparte na środkach powierzchniowo czynnych i zawierają nawóz azotowy w celu zwiększenia aktywności substancji czynnej. Adiuwanty mieszane o zasadowym pH mogą wzmacniać zwalczanie

chwastów (**Zolinger 2014**). Na rozpuszczalność herbicydów, w szczególności tych z grupy sulfonilomocznika duży wpływ wywiera pH cieczy opryskowej. Badania wykazują, że pH podniesione do poziomu 7-8 bardzo zwiększa ich skuteczność (**Grzanka et al. 2021; Matocha et al. 2006**), a umieszczenie w cieczy opryskowej odpowiedniego adiuwanta pozwala na zastosowanie herbicydów w znacznie obniżonych dawkach, ale przy zachowaniu ich wysokiej skuteczności zabiegu (**Grzanka i in. 2023; da Costa Lima i Mendes 2020; Sobiech i in. 2020; Idziak i Woźnica 2016**).

Niska konkurencyjność kukurydzy w stosunku do chwastów w pierwszych tygodniach wegetacji kukurydza wymusza eliminowanie chwastów właśnie w tym okresie (**Zamljen i Leskovsek 2024; Tursun i in. 2016; Gantoli i in. 2013**). Zwalczanie chwastów w kukurydzy oparte jest zwykle na jednym zabiegu herbicydowym, dlatego niezwykle istotnym jest precyzyjne ustalenie terminu zabiegu, do czego niezbędna jest lustracja plantacji pod kątem składu gatunkowego i ilościowego zbiorowiska chwastów, a także ich faz rozwojowych (**Mayerova i in. 2023; PORR 2023; ZORR 2020; Simon i in. 2019; Kudsk 2002**). Zastosowanie herbicydów zbyt wcześnie, gdy nie pojawiła się jeszcze większość chwastów, albo nadmiernie, wynikające z przyczyn obiektywnych bądź subiektywnych, opóźnienie zabiegu najczęściej znajduje przełożenie na późniejszy plon kukurydzy. W przypadku wczesnego zabiegu, a w późniejszym okresie sprzyjających rozwojowi chwastów warunkach pogodowych istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia zachwaszczenia wtórnego, które eliminacja wiąże się z koniecznością wykonania kolejnego zabiegu i poniesienia dodatkowych nakładów finansowych (**Idziak i Woźnica 2010**). Przyjęcie strategii polegającej na zwalczaniu chwastów mieszaninami herbicydów stosowanych w zredukowanych, a nawet silnie zredukowanych dawkach (o 50 i więcej procent w porównaniu do zaleceń producenta) z dodatkiem efektywnego adiuwanta bądź adiuwantów w systemie dawek dzielonych, gdy termin aplikacji wyznaczają kolejne wschody chwastów (do pierwszej pary liści właściwych), jest zdaniem **Idziaka i in.** (2013) rozwiązaniem pozwalającym uniknąć zachwaszczenia wtórnego plantacji kukurydzy.

Głównym celem zabiegów agrotechnicznych w roślinach uprawnych jest zapewnienie im jak najkorzystniejszych warunków do wzrostu i rozwoju. Sprzyjające rozwojowi roślin kukurydzy warunki pozwalają jej silniej konkurować z chwastami w późniejszym okresie wegetacji. Niezbędnym dla prawidłowego rozwoju roślin uprawnych jest dostępność w glebie składników pokarmowych, w tym przede wszystkim azotu (**Kocoń 2014**), którego metabolizm w roślinach uprawnych, w tym kukurydzy w dużej mierze uwarunkowany jest zaopatrzeniem roślin w cynk (**Szatanik-Kloc i Bowanko 2007**), składnik odpowiedzialny ponadto za poprawę

odporności roślin na choroby (**Bastakoti 2023; Pikula 2014; Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska 2007; Grzyś 2004**). Zabezpieczenie zapotrzebowania na cynk dla kukurydzy może mieć miejsce poprzez stosowanie nawozów cynkowych w formie zabiegu doglebowego lub dolistne dokarmianie roślin w fazie krytycznej, tj. do fazy 5-6 liści kukurydzy, w ilości 0,5-1,5 kg Zn/ha w jednym lub dwóch zabiegach (**Hisham i in. 2021; Martinez-Cuesta i in. 2020; Kaniuczak i Pruszyński 2020**). Z uwagi na dostępność, niską cenę oraz dobrą rozpuszczalność w wodzie najczęściej stosowanym nawozem cynkowym jest siarczan cynku (**Korzeniowska 2009**). **Woźnica i Idziak (2015)** zwracają uwagę, że w zmiennych warunkach glebowych i zróżnicowanym składzie zbiorowisk chwastów w kukurydzy dla zwiększenia skuteczności zabiegów niezbędnym może być nie jedno-, a dwukrotna aplikacja mieszaniny herbicydów zawierających substancje aktywne o różnych mechanizmach działania.

W hipotezie badawczej założono, że możliwym jest silnie zredukowanie dawek herbicydów wchodzących w skład cieczy roboczej a mimo tego zachowanie ich wysokiej skuteczności chwastobójczej, pod warunkiem ich aplikacji z odpowiednio dobranymi adiuwantami, w tym siarczanem cynku, w systemie dawek dzielonych. Przyjęto również, że takie rozwiązania wpływają korzystnie na plon ziarna kukurydzy.

W celu zweryfikowania hipotezy badawczej w latach 2018-2020 przeprowadzono doświadczenie polowe celem którego była ocena wpływu adiuwantów, w tym siarczanu cynku, na skuteczność chwastobójczą mieszaniny herbicydów zawierającej bromoksynil, terbutyloazynę i nikosulfuron stosowanych w systemie dawek dzielonych, w dwóch zabiegach, z dodatkiem adiuwantów, w skład których wchodził etoksyłowany alkohol izodecyłowy, estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, surfaktanty, bufor pH, humektant, czynnik antydryftowy i filtr UV. W badaniach szklarniowych oceniano na jak silnie zredukowanie dawki herbicydów pozwala umieszczenie w cieczy opryskowej adiuwantów, a celem badań laboratoryjnych była ocena wpływu wspomagaczy na właściwości fizykochemiczne cieczy opryskowej zawierającej bromoksynil, terbutyloazynę oraz nikosulfuron.

2. METODYKA BADAŃ

Podstawą realizacji pracy doktorskiej były wyniki uzyskane w wyniku zrealizowania badań szklarniowych, laboratoryjnych i polowych, które miały miejsce w latach 2018-2020. Doświadczenia laboratoryjne i szklarniowe prowadzono w laboratorium i szklarni Katedry Agronomii Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, a doświadczenie polowe w Zakładzie Doświadczalno-Dydaktycznym Gorzyń, z filią w Brodach (ZDD Brody). Wykorzystane w doświadczeniu herbicydy oraz adiuwanty i ich charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

W doświadczeniu zastosowano nikosulfuron, substancję aktywną zawartą w formulacji preparatu Nisshin 040 SC w formie koncentratu w postaci stężonej zawiesiny, zawierającego w jednym litrze formulacji 40 g nikosulfuronu (N, 40 g/l, ISK Biosciences Europe, Belgia). Nikosulfuron będący związkiem z grupy pochodnych sulfonylomocznika jest substancją charakteryzującą się działaniem układowych = systemicznym. Do rośliny przenika zarówno przez korzenie, jak i liście, gdzie następnie przemieszcza się do stożków wzrostu, w których blokuje syntezę aminokwasów, takich jak leucyna, izoleucyna i walina, zakłócając w ten sposób powstawanie białek. Wynikiem jego działania jest zahamowanie wzrostu roślin chwastów i stopniowe ich przebarwienie. Zgodnie z klasyfikacją Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) nikosulfuron zalicza się inhibitorów funkcjonowania syntazy acetolaktanowej (ALS), grupa 2 (dawniej B).

Według **PubChem (2024)** i **LGC (2024)** nikosulfuron jest substancją o nazwie chemicznej 2-[[[4,6-dimetoksyprymidyn-2-yl) aminokarbonylo] aminosulfonylo]-N, N-dimetylo-3-pirydynokarboksyamid (IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry) o wzorze sumarycznym $C_{15}H_{18}N_6O_6S$, którą CAS (Chemical Abstracts Service) opisuje numerem CAS 111991-09-4. Nikosulfuron zaklasyfikowano do słabych kwasów o stałej dysocjacji pK_a wynoszącej 4,6 (**MacBean 2008-2010**). Rozpuszczalność nikosulfuronu w wodzie uzależniona jest od jej odczynu. **O'Neil (2006)** i **Green z Cahill'em (2003)** wskazują na jego niską rozpuszczalność w wodzie o pH 3,5 (44 ppm), a bardzo wysoką w pH 8,8 – 29 200 ppm. LD_{50} charakteryzujące toksyczność ostrą danej substancji dla nikosulfuronu wynosi > 5000 mg/kg (**MacBean 2010**).

Herbicyd zawierający nikosulfuron przeznaczony jest do zwalczania niektórych chwastów dwuliściennych oraz jednoliściennych, w tym chwastnicy jednostronnej, w formie zabiegu powschodowego. Preparat zaleca się stosować w okresie, gdy kukurydza znajduje się w fazie rozwojowej BBCH 12-17, czyli w fazie od 2 do 7 liści kukurydzy. Najlepsze skuteczność stwierdza się wówczas, gdy większość chwastów dwuliściennych w momencie zabiegu ma rozwinięte 2 do 4 liści, a chwastnica jednostronna znajduje się w fazie od 3 liści do końca krzewienia (BBCH 13-29). Zalecana dawka herbicydu to 1,0 l/ha (**PORR 2023; ZORR 2020**).

W skład formułacji herbicydu Zeagran 340 SE (zawiesino-emulsja) wchodzi substancje bromoksynil i terbutylazyna (90 i 250 g/l, Nufarm GmbH & Co KG, Austria). Bromoksynil będącym związkem z grupy hydroksybenzoniuryli pobierany jest głównie przez liście i pędy chwastów, działa kontaktowo i częściowo systemicznie zakłócając i hamując procesy zachodzące w fazie świetlnej fotosyntezy. Skutkiem jego działania jest zasychanie i zamieranie roślin. Zgodnie z klasyfikacją HRAC bromoksynil zalicza się do inhibitorów fotosyntezy na poziomie fotosystemu II, grupa 6 (dawniej C3).

Według **PubChem (2024)** i **LGC (2024)** bromoksynil jest substancją o nazwie chemicznej 3,5-dibromo-4-hydroksybenzoniuryle o wzorze sumarycznym $C_7H_3Br_2NO$, numer CAS 1689-84-5. Rozpuszczalność benzoniurylu w wodzie o temperaturze 25°C wynosi 130 mg/l (**Worthing i Walker 1987**), a wartość LD_{50} równa się 365 mg/kg (**Hartley i Kidd 1987**). Bromoksynil przeznaczony jest do powschodowego zwalczania jednorocznych chwastów dwuliściennych w fazie 2-4 liści. Wycofany z rynków Unii Europejskiej po 14 września 2021 roku (**DUUE 2020**).

Terbutylazyna będąca związkem z grupy triazyn pobierana jest przez liście i korzenie chwastów, przemieszcza się ksylemem do stożków wzrostu i liści powodując zakłócenia w syntezie chlorofilu oraz transporcie elektrolitów. Pierwsze objawy w postaci chloroz liści widoczne są w przestrzeniach między nerwami oraz na brzegach i wierzchołkach liści. Zgodnie z klasyfikacją HRAC terbutylazyna zalicza się do inhibitorów fotosyntezy na poziomie fotosystemu II, grupa 5 (dawniej C1,2).

Według **PubChem (2024)** i **LGC (2024)** terbutylazyna jest substancją o nazwie chemicznej 2-N-tert-butyl-6-chloro-4-N-ethyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine o wzorze sumarycznym $C_9H_{16}ClN_5$, numer CAS 5915-57-3. Rozpuszczalność terbutylazyny w wodzie o temperaturze 20°C wynosi 5 mg/l (**Yalkowsky i in. 2010**), a wartość LD_{50} równa się 1845 mg/kg (**Lewis 2004**). Terbutylazyna przeznaczona jest przede wszystkim do zwalczania chwastów dwuliściennych w fazie 2-6 liści. Charakteryzuje się długotrwałym działaniem w glebie.

W doświadczeniu wykorzystano cztery adiuwanty oraz siarczan cynku (tab. 1).

Adiuwant **Trend 90 EC** jest preparatem w formie płynu, którego zadaniem jest wspomaganie działania niektórych herbicydów stosowanych powschodowo w roślinach uprawnych. Substancją aktywną środka jest etoksylogowany alkohol izodecylogowy w stężeniu w ilości 900 g/l (90%). Zgodnie z etykietą (**Procam 2024**) adiuwant wpływa na zwiększenie skuteczności działania środka chwastobójczego na skutek obniżenia napięcia powierzchniowego cieczy użytkowej zawierającej herbicyd, zmniejszenie zmywalności herbicydu przez opady deszczu i silną rosę, lepsze zwilżenie powierzchni opryskiwanych liści

chwastów, a także ułatwienie wnikania środka do rośliny. Dodatek adiuwanta zalecany jest szczególnie wówczas, gdy w zbiorowisku chwastów znajdują się gatunki chwastów średnio wrażliwych na stosowany herbicyd, na chwasty w starszej fazie rozwojowej oraz w sytuacji, gdy w ciągu kilku godzin po zabiegu przewiduje się wystąpienie silnych opadów deszczu. Trend 90 EC zaleca się stosować w stężeniu 0,05-0,1% czyli w dawce 50-100 ml/100 wody.

Atpolan Bio 80 EC jest adiuwantem wielofunkcyjnym o działaniu aktywująco-modyfikującym, zawierającym estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego w stężeniu 80% oraz substancje powierzchniowo czynne (surfaktanty) i bufor pH zalecanym do stosowania przede wszystkim z herbicydami sulfonilomocznikowymi wymagającymi dodatku adiuwanta olejowego. Według **Agromix (2021)** zadaniem zawartych w formulacji adiuwantów surfaktantów było umożliwienie utworzenia emulsji wodno-olejowej (emulgatory), obniżenie napięcia powierzchniowego, zwiększenie retencji kropeł cieczy opryskowej, zwiększenie zwilżenia powierzchni chwastów, a ostatecznie absorpcji substancji czynnych herbicydów do chwastów. Dzięki obecności w formulacji bufora pH możliwym jest natomiast podnoszenie i utrzymywanie pH cieczy opryskowej na poziomie 7,0 – 7,5, co zapewniało większą rozpuszczalność substancji aktywnych, przede wszystkim herbicydów z grupy pochodnych sulfonilomocznika, ich lepsze wnikanie do chwastów, a także zapobiegało tworzeniu się osadów w zbiorniku opryskiwacza, ułatwiając jego czyszczenie. Producent zaleca stosować adiuwant w dawce 1,0 – 1,5 l/ha.

Lewar Fungi pH⁻ jest adiuwantem wielofunkcyjnym, wielosystemowym zakwaszającym ciecz opryskową – obniża pH cieczy do poziomu ok. 3,5 - 4,5. Adiuwant ogranicza ujemne oddziaływanie związków mineralnych zawartych w wodach twardych (głównie kationy wapnia i magnezu) na aktywność pestycydów, obniża napięcie powierzchniowe cieczy użytkowej, zwiększa retencję (zatrzymanie) kropeł cieczy opryskowej na powierzchni, zmniejsza zmywanie preparatów przez opady deszczu i obfitą rosę, zmniejsza tempo wysychania kropeł z powierzchni, zwiększa wnikanie (absorpcję) substancji aktywnej do komórek roślinnych i jej transport do miejsca działania, ogranicza znoszenie kropeł opryskowych, co umożliwia lepsze wykorzystanie stosowanych herbicydów w miejscu ich stosowania, zmniejsza niebezpieczeństwo uszkodzenia roślin wrażliwych na sąsiadujących plantacjach oraz ryzyko skażenia środowiska (**Agromix 2021**).

Formulacja wielofunkcyjnego adiuwanta **EntoMaxx pH⁻** zawiera mieszaninę olejów, substancji powierzchniowo czynnych i buforujących pH, które wpływają zarówno na biologiczne działanie pestycydów, jak i właściwości cieczy opryskowej. Podobnie jak inne adiuwanty EntoMaxx pH⁻ obniża napięcie powierzchniowe cieczy opryskowej, utrzymuje pH

cieczy opryskowej na poziomie ok. 5,3-5,9 w zależności od stosowanej dawki adiuwanta, zwiększa ilość zatrzymanej cieczy opryskowej na opryskiwanej powierzchni, stopień pokrycia i zwilżenia opryskiwanej powierzchni, ogranicza wysychanie kropeł opryskowych i krystalizacji pestycydu na opryskiwanej powierzchni, ogranicza zmywanie i rozkład fotolityczny środka przez promienie UV dzięki zastosowaniu efektywnego filtra tych promieni oraz zwiększa szybkość i ilość substancji aktywnej wnikałej do komórek roślinnych (Agromix 2021).

Tabela 1. Herbicydy i adiuwanty wykorzystywane w eksperymentach

Nazwa handlowa	Substancja czynna i jej zawartość	Producent	Akronim
Herbicydy			
Zeagran 340 SE	bromoksynil – 90 g/l terbutylazyna – 250 g/l	Nufarm Polska	B+T
Nisshin 040 SC	nikosulfuron – 40 g/l	Sumi Agri Poland	N
Adiuwanty			
Trend 90 EC	etoksylogowany alkohol izodecylogowy – 90 %	DuPont, Geneva, Switzerland	T
Atpolan Bio 80 EC	estry metylogowe kwasów tłuszczogowych oleju rzepakogowego – 80%, substancje powierzchniowo czynne i buforujące pH cieczy opryskowej – 20%	Agromix Niepołomice, Polska	AtB
LewarFungi pH-	mieszanina modyfikogowanych olejogów, bufora pH, humektanta i czynnika antydriftogowego	Agromix Niepołomice	LF
EntoMaxx pH-	mieszanina olejogów, środkogów powierzchniowo czynnych i buforogujących pH, filtry UV i czynnika antydriftogowym	Agromix Niepołomice,	EM
Siedmiogwodny siarczan cynku	ZnSO ₄ x7H ₂ O, 99%	Pol-Aura Sp. z o.o., Polska	Zn

2.1. Doświadczenie szklarniowe

Doświadczenie szklarniowe przeprowadzono w szklarni należącej do Katedry Agronomii, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Doświadczenie założone w układzie całkowicie losowym, w 3 powtórzeniach, w 2 seriach. W badaniach określono wpływ działania adiuwantogów i siarczanu cynku na skuteczność chwastobójczą mieszaniny bromoksynilu z

terbutylazyną i nikosulfuronem stosowanej w zredukowanych dawkach. Jako roślina testowa wykorzystana była chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli* L.). Nasiona chwastnicy wysiewano do plastikowych doniczek o pojemności ok. 0,25 l, w których znajdowało się podłoże powstałe po wymieszaniu gleby z ziemią torfową w stosunku 1:1. Po wschodach, rośliny chwastnicy zostały przerwane w celu pozostawienia takiej samej ilości roślin o podobnym wzroście. W każdej doniczce zostało 5 sztuk chwastnicy. Wilgotność podłoża utrzymywana była na poziomie ok. 60-70% pełnej pojemności wodnej, poprzez uzupełnianie wody do ustalonej wcześniej wagi. Temperatura powietrza w trakcie eksperymentów wynosiła 25°C (±2) w ciągu dnia i 18-20° (±1) w nocy, przy naturalnym oświetleniu słonecznym uzupełnianym oświetleniem sztucznym o natężeniu 600 µE/m²/s. Wilgotność powietrza utrzymywano w przedziale 50-80%.

Zabieg wykonano po osiągnięciu przez rośliny chwastnicy jednostronnej fazy 2-3 liści właściwych. Użyto opryskiwacza szklarniowego (fot. 1) wyposażonego w jedną dyszę płaskostrumieniową TeeJet AIXR 11004, o wydatku cieczy roboczej na poziomie 200 l/ha oraz ciśnieniu roboczym 0,35 MPa, i prędkości 4,5 km/h.

Mieszanie herbicydów stosowano w dawce rekomendowanej przez producenta oraz dawkach zredukowanych z dodatkiem adiuwantów i siedmiowodnego siarczanu cynku, używając do ich przygotowania wody wodociągowej, zgodnie z schematem przedstawionym w tabeli 2.

Tabela 2. Schemat kombinacji w doświadczeniu szklarniowym

Lp.	Kombinacja	Dawka substancji czynnej		Dawka herbicydu* l/ha
		ml/200 l	ml/200 ml	
1	B + T + N + Zn	144 + 400 + 40	0,144 + 0,40 + 0,040	1,6 + 1,0
2	B + T + N + Zn	126 + 350 + 36	0,126 + 0,35 + 0,036	1,4 + 0,9
3	B + T + N + Zn	108 + 300 + 32	0,108 + 0,30 + 0,032	1,2 + 0,8
4	B + T + N + Zn	90 + 250 + 28	0,09 + 0,25 + 0,028	1,0 + 0,7

5	B + T + N + Zn	72 + 200 + 24	0,072 + 0,20 + 0,024	0,8 + 0,6
6	B + T + N + Zn	54 + 150 + 20	0,054 + 0,15 + 0,020	0,6 + 0,5
7	B + T + N + Zn	36 + 100 + 16	0,036 + 0,10 + 0,016	0,4 + 0,4
8	B + T + N + AtB	144 + 400 + 40	0,144 + 0,40 + 0,040	1,6 + 1,0
9	B + T + N + AtB	126 + 350 + 36	0,126 + 0,35 + 0,036	1,4 + 0,9
10	B + T + N + AtB	108 + 300 + 32	0,108 + 0,30 + 0,032	1,2 + 0,8
11	B + T + N + AtB	90 + 250 + 28	0,09 + 0,25 + 0,028	1,0 + 0,7
12	B + T + N + AtB	72 + 200 + 24	0,072 + 0,20 + 0,024	0,8 + 0,6
13	B + T + N + AtB	54 + 150 + 20	0,054 + 0,15 + 0,020	0,6 + 0,5
14	B + T + N + AtB	36 + 100 + 16	0,036 + 0,10 + 0,016	0,4 + 0,4
15	B + T + N + LF	144 + 400 + 40	0,144 + 0,40 + 0,040	1,6 + 1,0
16	B + T + N + LF	126 + 350 + 36	0,126 + 0,35 + 0,036	1,4 + 0,9
17	B + T + N + LF	108 + 300 + 32	0,108 + 0,30 + 0,032	1,2 + 0,8
18	B + T + N + LF	90 + 250 + 28	0,09 + 0,25 + 0,028	1,0 + 0,7
19	B + T + N + LF	72 + 200 + 24	0,072 + 0,20 + 0,024	0,8 + 0,6
20	B + T + N + LF	54 + 150 + 20	0,054 + 0,15 + 0,020	0,6 + 0,5
21	B + T + N + LF	36 + 100 + 16	0,036 + 0,10 + 0,016	0,4 + 0,4
22	B + T + N + Zn + AtB	144 + 400 + 401	0,144 + 0,40 + 0,040	1,6 + 1,0
23	B + T + N + Zn + AtB	126 + 350 + 36	0,126 + 0,35 + 0,036	1,4 + 0,9
24	B + T + N + Zn + AtB	108 + 300 + 32	0,108 + 0,30 + 0,032	1,2 + 0,8
25	B + T + N + Zn + AtB	90 + 250 + 28	0,09 + 0,25 + 0,028	1,0 + 0,7
26	B + T + N + Zn + AtB	72 + 200 + 24	0,072 + 0,20 + 0,024	0,8 + 0,6
27	B + T + N + Zn + AtB	54 + 150 + 20	0,054 + 0,15 + 0,020	0,6 + 0,5
28	B + T + N + Zn + AtB	36 + 100 + 16	0,036 + 0,10 + 0,016	0,4 + 0,4
29	B + T + N + Zn + LF	144 + 400 + 40	0,144 + 0,40 + 0,040	1,6 + 1,0
30	B + T + N + Zn + LF	126 + 350 + 36	0,126 + 0,35 + 0,036	1,4 + 0,9
31	B + T + N + Zn + LF	108 + 300 + 32	0,108 + 0,30 + 0,032	1,2 + 0,8
32	B + T + N + Zn + LF	90 + 250 + 28	0,09 + 0,25 + 0,028	1,0 + 0,7
33	B + T + N + Zn + LF	72 + 200 + 24	0,072 + 0,20 + 0,024	0,8 + 0,6
34	B + T + N + Zn + LF	54 + 150 + 20	0,054 + 0,15 + 0,020	0,6 + 0,5
35	B + T + N + Zn + LF	36 + 100 + 16	0,036 + 0,10 + 0,016	0,4 + 0,4

B + T – bromoksynil + terbutyloazyna (*Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (*Nisshin 040 SC)

Zn - ZnSO₄·7H₂O, 2 kg/ha, 2 mg/200 ml; AtB – Atpolan Bio 80 EC, 1,5/ha, 1,5 mg/200 ml; LF – LewarFungi pH⁻, 1,5 l/ha, 1,5 ml/200 ml

Po upływie 7, a następnie 14 dni po zabiegu wykonana była wizualna ocena skuteczności chwastobójczej zastosowanych herbicydów, która polegała porównaniu roślin z obiektów poszczególnych kombinacji z roślinami z obiektów kontrolnych. Wyniki podano posługując się skalą od 0 do 100, gdzie przyjęto, że 0% oznacza brak skuteczności środka, a 100% to ich całkowite zniszczenie.

Po 21 dniach od zabiegu pobrano rośliny chwastnicy z każdego pojemnika i zważono je. Na podstawie redukcji świeżej masy (fot. 2) roślin opryskiwanych mieszaniną herbicydów wraz z adiuwantami, w stosunku do świeżej masy z obiektów, które nie zostały poddane

zabiegowi zgodnie z poniższym wzorem (**Badowski i in. 2001**), obliczono skuteczność chwastobójczą zastosowanych mieszanin:

$$Z = 100 - (S_{mp} / S_{mk} \times 100)$$

gdzie,

Z – zniszczenie chwastów w %,

S_{mp} – masa chwastnicy z danej kombinacji,

S_{mk} – masa chwastnicy z obiektu kontrolnego.

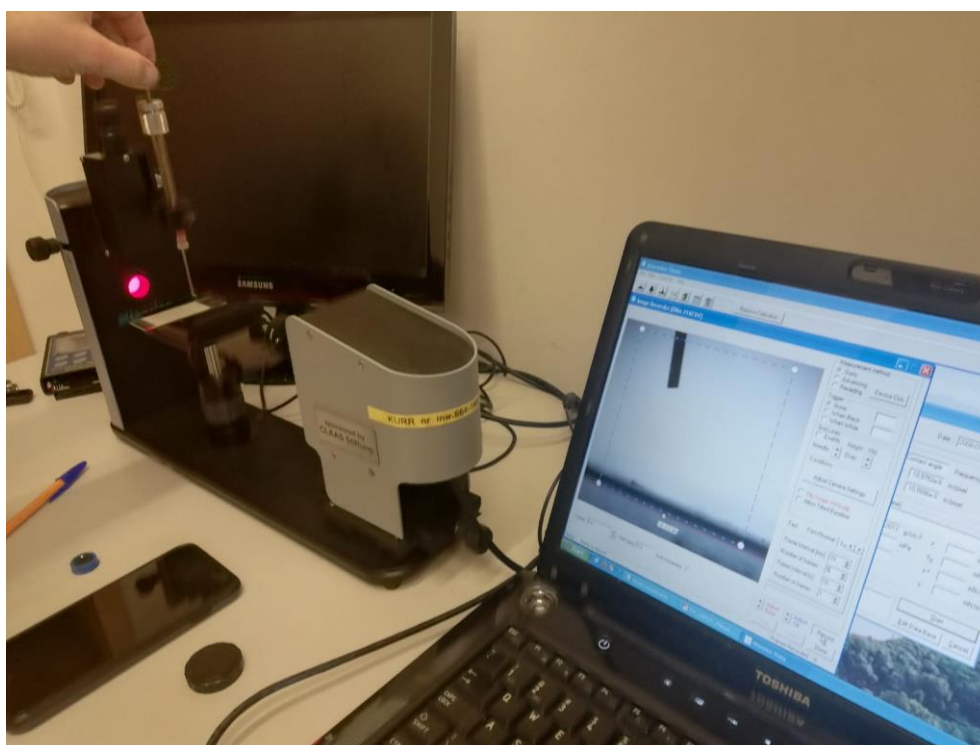


Fotografia 1. Pojemnik z cieczą opryskową podłączony do opryskiwacza szklarniowego oraz pomiar świeżej masy roślin chwastnicy jednostronnej

2.2. Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne obejmowały pomiar właściwości fizykochemicznych cieczy opryskowych, tj. napięcie powierzchniowe kropeł i kąt przylegania kropeł cieczy opryskowej do powierzchni oraz pH. W laboratorium przygotowano naważki wykorzystując 200 ml wody,

do której dodawano wybrane ilości herbicydów, adiuwantów i siarczynu cynku (tab. 2). Na powierzchnię szkiełka podstawowego nakładany był parafilm, czyli cienka folia z parafiny, specjalnie preparowanej, umieszczona na rolce cienkiej bibuły woskowej (Laboratory Film, American Can Company), która imitowała woskową powierzchnię liścia. Do pomiarów wykorzystano tensjometr optyczny Theta Lite firmy KSV, który jest wyposażony w kamerę umożliwiającą wykonywanie zdjęć co 16 ms. Mikropipetą na parafilm nanoszone były krople mieszanin wcześniej przygotowanych do oprysku. Z każdej kombinacji badane były 4 krople cieczy. Przed pomiarami tensjometr (fot. 2) był kalibrowany. Kiedy kropla cieczy opryskowej została umieszczona na parafinie, wykonana była seria zdjęć – z ustaloną wcześniej częstotliwością. Następnie z wykorzystaniem oprogramowania, w które wyposażony jest tensjometr wykonana została analiza obrazu. Napięcie powierzchniowe mierzono w mN/m , a kąt przylegania kropli do powierzchni w stopniach.



Fotografia 2. Pomiar tensjometrem w laboratorium herbologicznym Katedry Agronomii

Pomiar pH cieczy opryskowej wykonano za pomocą pH-metru CP-411 firmy Elmetron, który jest wyposażony w elektrodę EPP-3t. Badanie odczynu roztworu wykonano w sześciu powtórzeniach odrzucając przy tym wynik najwyższy i najniższy. Temperatura pomieszczenia podczas pomiarów wynosiła $21 \pm 1^\circ\text{C}$, a wilgotność powietrza utrzymywała się na poziomie 55-60%.

2.3. Doświadczenie polowe

Badania polowe przeprowadzono w latach 2018-2020 w Zakładzie Doświadczalno-Dydaktycznym Gorzyń, filia w Brodach (ZDD Brody) zlokalizowanych ok. 50 km na zachód od Poznania, należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Doświadczenie założono jako jednoczynnikowe w układzie losowanych bloków, w czterech powtórzeniach. Na terenie doświadczenia przeważała gleba płowa, klasy IVa o odczynie na poziomie 6,6. Kukurydzę odmiany PR39H32 wysiano w ilości 80000 ziaren na 1 ha. Poletka obejmowały 4 rzędy roślin w rozstawie 70 cm, o wymiarach 9 na 2,5 m (22,5 m²). Zabiegi herbicydowe wykonane były opryskiwaczem taczkowym na sprężone powietrze wyposażonym w dysze płaskostrumieniowe TeeJet DG 11002 VS, o wydatku 230 l/ha, przy ciśnieniu na poziomie 0,22 MPa. Schemat doświadczenia przedstawiony jest w tabeli 3. W doświadczeniu polowym oceniany był wpływ adiuwantów oraz siarczanu cynku na skuteczność badanych herbicydów, których wykaz znajduje się w tabeli 1.

Ocena fitotoksyczności i skuteczności działania zastosowanych kombinacji doświadczalnych przeprowadzona była dwukrotnie, po 2 i 4 tygodniach po zabiegu (oceny wizualne) i po upływie 5-6 tygodni po ostatnim zabiegu (ocena ramkowo-wagowa). Fitotoksyczność kombinacji badawczych w stosunku do kukurydzy oceniana była w skali od 0 do 100%, gdzie 0% oznacza brak uszkodzeń, a 100% rośliny całkowicie zniszczone.

Metoda ramkowo-wagowa polegała na ustaleniu składu gatunkowego zbiorowiska chwastów oraz świeżej masy chwastów pobranych z każdego poletka, z powierzchni wyznaczonej ramką o wymiarach 1,0 x 0,7 m. Na każdym poletku doświadczalnym pobrane były chwasty z ramki z dwóch losowo wybranych miejsc, następnie chwasty grupowano na gatunki i ważono. Skuteczność chwastobójczą przedstawiono jako procentową redukcję świeżej masy poszczególnych gatunków chwastów na poletkach doświadczalnych w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Klasyfikację fitosocjologiczną gatunków obecnych w trakcie prowadzenia badań na poletkach doświadczalnych opracowano na podstawie przewodnika do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski (**Matuszkiewicz 2001**), a udział gatunków (UG) chwastów w zbiorowisku w każdym roku obliczono wykorzystując formułę (**Sobiech i in. 2023**):

$$UG (\%) = \frac{\text{liczba osobników danego gatunku}}{\text{liczba osobników wszystkich gatunków}} \times 100$$

Dla porównania podobieństw zbiorowisk chwastów pomiędzy latami wykorzystano współczynnik Sorensena (S_s , współczynnik podobieństwa Sorensena), który obliczono wykorzystując równanie (**Hammond i Pokorny 2020**):

$$S_s(\%) = \frac{2a}{2a+b+c} \times 100$$

gdzie:

- a – liczba gatunków wspólna dla obu próbek,
- b – liczba gatunków próbce 1
- c – liczba gatunków w próbce 2

W przypadku, gdy wartość wskaźnika S_s przekracza 80% uznaje się, że porównywane zbiorowiska są niemal identyczne, wartości z przedziału 50-80% wskazują na wyraźne podobieństwo, a wartości niższe od 50% na podobieństwo małe (**Kapusta i in. 2019**).

Wpływ badanych czynników na rozwój roślin kukurydzy ograniczono do oznaczenia po 2 tygodniach od ostatniego zabiegu takich parametrów jak zieloność liści kukurydzy oraz zawartość białka w roślinach kukurydzy. Stan odżywienia roślin azotem oceniano za pomocą N-testera, którym określano indeks zieloności liści wyrażany wartością SPAD (ang. Soil Plant Analyses Developmenty), będący ilorazem różnicy absorpcji światła przez liść przy długości fali 650 i 940 nm. Pomiary wykonywano na z dwóch środków środkowych rzędów każdego poletka i wyrażon jako średnia dla danego obiektu. W tym samym czasie z środkowego rzędu każdego poletka pobierano 5 losowo wybranych roślin kukurydzy, które następnie były suszone i poddane analizie laboratoryjnej pod kątem zawartości azotu i białka, które oznaczono metodą Kjeldahla. Na tej podstawie obliczano zawartość białka w ziarnie (zawartość azotu [%] x współczynnik białkowy (6,25) = zawartość białka [%]).

Pomiary wysokości oraz obsady roślin kukurydzy wykonywano każdego roku w pierwszej dekadzie września przed zbiorem kukurydzy. W celu określenia wysokości roślin zmierzono rośliny od ich podstawy do najwyższej ich części. Pomiary wykonano na dwóch środkowych rzędach każdego poletka na całej ich długości. Na podstawie liczby roślin w rzędzie oraz rozstawie rzędów i ich długości obliczono obsadę roślin kukurydzy przed zbiorem. Wysokość roślin przedstawiono w cm, a obsadę w sztukach na 1 m² (szt./m²).

Po zbiorze roślin, z dwóch środkowych rzędów każdego poletka, zważano uziarnione kolby, które następnie wymłócono i zważono ziarno. Plon ziarna (przy 15% wilgotności) uzyskano po przeliczeniu masy ziarna z każdego poletka, z uwzględnieniem rzeczywistej wilgotności ziarna z każdego poletka przy zbiorze. Wilgotność ziarna (%) oraz masa hektolitra (kg/hl) zmierzona była wilgotnościomierzem elektronicznym Gac Mini Plus-Dickey John. Pomiar polegał na wsypaniu ziarna do specjalnego plastikowego pojemnika, następnie zawartość pojemnika przesypywano do analizatora i wyrównywano poziom ziarna. W celu oznaczenia masy tysiąca ziaren (MTZ) kukurydzy z próby ziarna pobranej z każdego poletka doświadczalnego odliczano 8 razy po 100 ziarniaków, które następnie zważono, a końcowy wynik przedstawiono po przeliczeniu masy ziarniaków zgodnie z normą **IRST (2019)**, w której podano formułę:

$$MTZ = \frac{\text{masa 100 ziaren}}{\text{liczba prób}} \times 10$$

Z materiału zebranego z każdego poletka pobierano także próbki ziarna do określenia zawartości azotu i białka w ziarnie kukurydzy. Analizy wykonano na całych ziarnach kukurydzy używając do tego celu analizatora InfratecTM firmy FOSS Polska, skalibrowanego do określania zawartości białka w ziarnie kukurydzy.

Tabela 3. Schemat doświadczenia polowego w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp.	Kombinacja	Kod	Dawka substancji czynnej w jednym zabiegu (ml/ha)	Termin stosowania
1	Kontrola	K	-	-
2	bromoksynil + terbutylazyna + nikosulfuron	T+B+N DP	144 + 400 + 40	A
3	bromoksynil + terbutylazyna + nikosulfuron	T+B+N DO	54 + 150 + 14	BC
4	bromoksynil + terbutylazyna + nikosulfuron	T+B+N+Zn	54 + 150 + 14 + 2 kg	BC

5	T+B+N+Tr	54 + 150 + 14 + 0,1%	BC
6	T+B+N+AtB	54 + 150 + 14 + 1,5 l	BC
7	T+B+N+LF	54 + 150 + 14 + 1,5 l	BC
8	T+B+N+EM	54 + 150 + 14 + 1,5 l	BC
9	T+B+N+Zn+Tr	54 + 150 + 14 + 2 kg + 0,1%	BC
10	T+B+N+Zn+AtB	54 + 150 + 14 + 2 kg + 1,5 l	BC
11	T+B+N+Zn+LF	54 + 150 + 14 + 2 kg + 1,5 l	BC
12	T+B+N+Zn+EM	54 + 150 + 14 + 2 kg + 1,5 l	BC

A – mieszaniny stosowane w fazie 4-6 liści kukurydzy, gdy większość widocznych gatunków chwastów znajduje się w fazie siewek, do fazy maksymalnie 2-4 liści, chwastnica jednostronna od fazy 3 liści do końca fazy krzewienia; **B** – pierwszy zabieg wykonany był na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza w fazie 2-3 liści); **C** – drugi zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza w fazie 5-7 liści); DP – dawka pełna (rekomendowana); DO – dawka zredukowana
Zn – ZnSO₄x7H₂O, Tr – Trend 90 EC, AtB – Atpolan Bio 80 EC, LF – LewarFungi pH-, EM – EntoMaxx pH-

Układ polowy doświadczenia

Blok 4

Obiekt	9	5	6	12	11	10	4	3	1	2	7	8
Poletko	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48

Blok 3

Obiekt	1	7	10	9	12	5	3	11	4	6	8	2
Poletko	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36	36

Blok 2

Obiekt	6	11	9	7	8	2	1	4	10	3	12	5
Poletko	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Blok 1

Obiekt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Poletko	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1 - 48 – numery poletek , **1 – 12** – kombinacje badawcze

2.4. Analiza statystyczna wyników

Uzyskane w trakcie badań szklarniowych i polowych wyniki poddano ocenie statystycznej przeprowadzając analizę wariancji (ANOVA) dla doświadczeń jednoczynnikowych (doświadczenie polowe) i dwuczynnikowych (doświadczenie szklarniowe) zaplanowanych w układzie losowanych bloków, w czterech powtórzeniach. Obliczenia wykonano przy pomocy programu ARM 13 (Agriculture Research Manager,

Gylling Data Managment, Inc., Brookings, South Dakota, USA), zaprojektowanego w celu prowadzenia polowych doświadczeń rolniczych, umożliwiającego przeprowadzanie analiz statystycznych oraz programu Statistica 13 (StatSoft Polska Sp. z o.o.) i pakietu programów obliczeniowych ANALWAR-5.2.FR (Rudnicki). W przypadku udowodnienia wpływu czynnika na daną cechę (odrzucenie hipotezy zerowej zakładającej brak takiego wpływu) wyznaczano grupy jednorodne stosując test Tukey`a (HSD) przy poziomie istotności $p = 0,05$.

3. Warunki prowadzenia doświadczenia polowego

3.1. Warunki pogodowe

Warunki pogodowe w trakcie prowadzenia badań polowych w uprawie kukurydzy scharakteryzowano na podstawie odczytów zebranych przez stację meteorologiczną należącą do ZDD Brody, zlokalizowaną w pobliżu poletek doświadczalnych, rejestrującą temperaturę oraz wielkość opadów. Średnie temperatury i rozkład opadów przedstawiono w poniższych tabelach 4 i 5. Charakterystykę warunków hydrotermicznych w danym okresie wegetacyjnym kukurydzy przestawiono w oparciu o różnice i podobieństwa w poszczególnych miesiącach podczas prowadzenia doświadczenia polowego w danym roku. Odniesieniem do wyników z lat 2018-2020 były średnie z wielolecia z okresu 1960-2018.

W tabelach 4 i 5 zestawiono dane meteorologiczne charakteryzujące poszczególne okresy wegetacyjne pod kątem temperatury oraz opadów atmosferycznych w ZDD Brody na tle danych z wielolecia. Pozyskane dane wskazują, że średnia temperatura w każdym okresie wegetacyjnym w latach 2018-2020 był wyższa od średniej z wielolecia, przy czym najcieplejszy był rok 2018 (+ 3,23°C), następnie rok 2020 (+1,1°C) i 2019 (+0,75°C). Wyższą temperaturę stwierdzono w każdym miesiącu pierwszego sezonu wegetacyjnego, w drugim i trzecim roku badań niższą o 1,3°C temperaturę odnotowano jedynie w maju.

Największe niedobory opadów stwierdzono w roku 2019 (-103,1 mm), 2020 (-42,2 mm) i -26,6 mm w roku 2018 (tab. 5). W 2018 roku niższe opady od miesięcznej sumy z wielolecia

odnotowano w maju, czerwcu i lipcu, w 2019 roku w kwietniu, czerwcu, lipcu i sierpniu, a w roku 2020 w kwietniu, maju, czerwcu, lipcu i wrześniu.

Tabela 4. Średnia temperatura powietrza (°C) w sezonie wegetacyjnym kukurydzy w latach 2018-2020 w ZDD Brody

Miesiąc	Lata																	
	2018					2019					2020					Odchylenie od średniej temperatury z wielolecia		
	Dekada			Średnia miesięczna temperatura powietrza		Dekada			Średnia miesięczna temperatura powietrza		Dekada			Średnia miesięczna temperatura powietrza				
	I	II	III	I-III	1960-2018	I	II	III	I-III	1960-2019	I	II	III	I-III	1960-2020	2018	2019	2020
Kwiecień	10,0	14,6	14,1	12,9	8,2	9,4	7,8	13,9	10,4	8,2	8,2	8,5	11,6	9,4	8,2	+4,7	+2,2	+1,2
Maj	15,1	16,4	19,8	17,1	13,3	9,0	12,1	14,9	12,0	13,3	12,0	10,9	13,0	12,0	13,3	+3,8	-1,3	-1,3
Czerwiec	20,8	19,4	17,0	19,1	16,7	21,2	23,2	22,6	22,4	16,8	15,4	19,9	19,3	18,2	16,8	+2,4	+5,6	+1,4
Lipiec	19,6	19,1	23,4	20,7	18,3	17,0	18,2	22,6	19,3	18,4	18,8	18,3	19,5	18,9	18,4	+2,4	+0,9	+0,5
Sierpień	24,8	21,1	18,4	21,4	17,7	20,2	19,5	22,3	20,7	17,8	21,6	21,8	18,8	20,7	17,8	+3,7	+2,9	+2,9
Wrzesień	18,1	18	11,7	15,9	13,5	16,4	13,1	14,0	14,5	13,5	15,4	16,3	14,5	15,4	13,5	+2,4	+1,0	+1,9
Średnia	-	-	-	17,85	14,62	-	-	-	16,55	14,7	-	-	-	15,8	14,7	+3,23	+0,75	+1,1

Tabela 5. Opady (mm) w sezonie wegetacyjnym kukurydzy w latach 2018-2020 w ZDD Brody

Miesiąc	Lata																Odchylenie do sumy opadów z wielolecia (2018,2019,2020)		
	2018					2019					2020								
	Dekada			Miesięczna suma opadów		Dekada			Miesięczna suma opadów		Dekada			Miesięczna suma opadów					
	I	II	III	I-III	1960-2018	I	II	III	I-III	1960-2019	I	II	III	I-III	1960-2020				
																2018	2019	2020	
Kwiecień	14,4	34,2	16,7	65,3	37,7	0,0	4,7	7,2	11,9	37,2	0,0	1,5	4,9	6,4	36,7	+27,6	-25,3	-30,3	
Maj	6,7	12,5	0,0	19,2	56,4	12,3	41,4	24,4	77,8	56,8	14,3	12,6	20,0	46,9	56,6	-37,2	+21,0	-9,7	
Czerwiec	19,7	2,2	9,6	31,5	64,8	0,7	1,4	6,3	8,4	63,9	14,6	5,5	24,6	44,7	63,6	-33,3	-55,5	-18,9	
Lipiec	10,8	124,1	0,0	134,9	84,1	5,4	25,2	32,7	63,3	83,8	42,9	13,8	1,0	57,7	83,4	+50,8	-20,5	-25,7	
Sierpień	0,1	10,4	9,5	20,0	66,9	13,1	9,7	5,4	28,2	66,2	7,9	61,7	46,6	116,2	66,2	-46,9	-38,0	+50,0	
Wrzesień	8,5	9,1	43,1	60,7	48,3	28,6	8,1	27,1	63,8	48,6	12,2	0,0	28,7	40,9	48,5	+12,4	+15,2	-7,6	
Średnia	-	-	-	331,6	358,2	-	-	-	253,4	356,5	-	-	-	312,8	355	-26,6	-103,1	-42,2	

Charakterystyka warunków meteorologicznych w ZDD Brody z wykorzystaniem współczynnika Sielianinowa pozwala wskazać poziom zabezpieczenia wody dla roślin uprawnych w powiązaniu z temperaturą danego okresu. Obliczenia wykonano posługując się opracowanym przez **Molę (1986)** wzorem:

$$K = 10P/\Sigma t$$

gdzie: K – wartość współczynnika hydrotermicznego,

P – suma opadów atmosferycznych w danym okresie (mm),

Σt – suma średnich dobowych temperatur powietrza w danym okresie (°C).

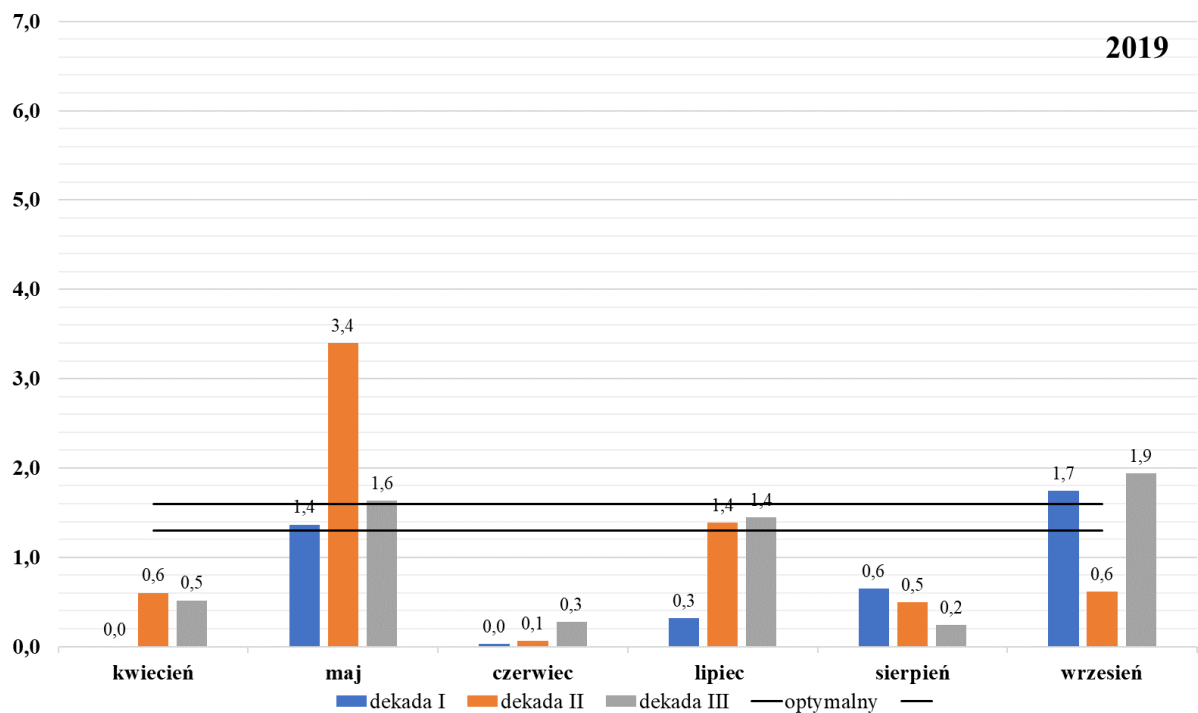
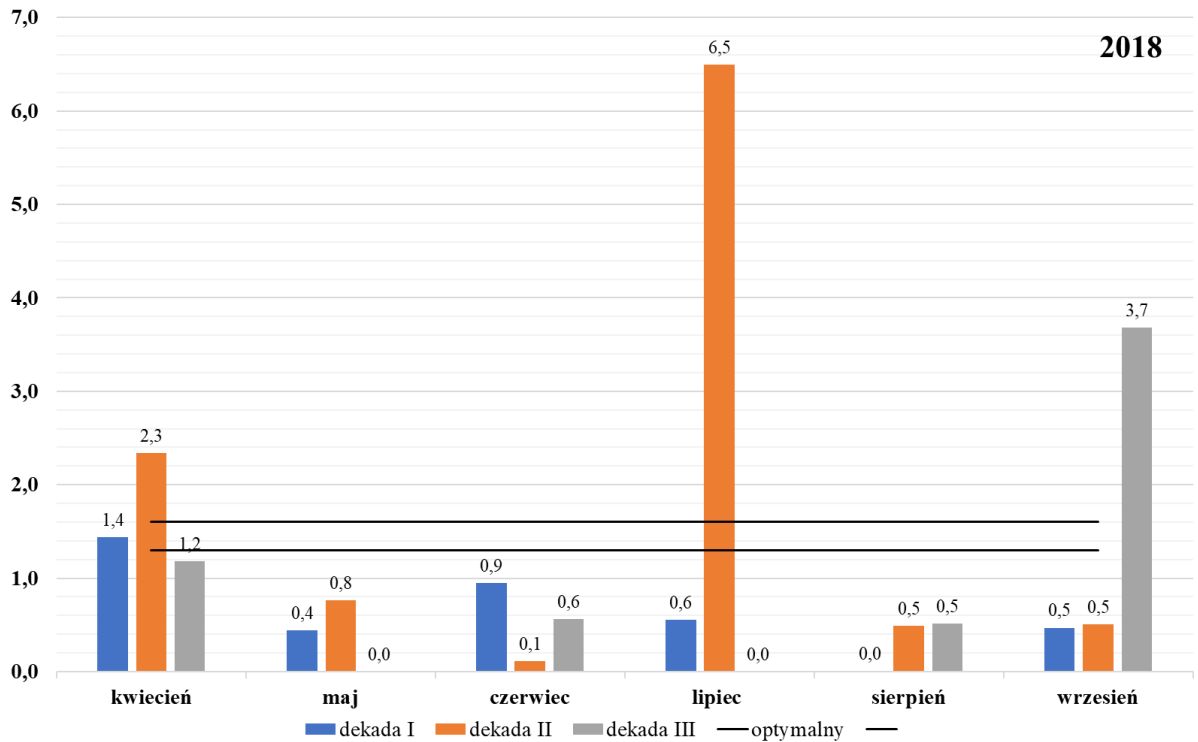
Uzyskane wyniki zinterpretowano posługując się opracowanymi przez **Skowerę i Pułę (2004)** przedziałami wartości dla współczynnika K:

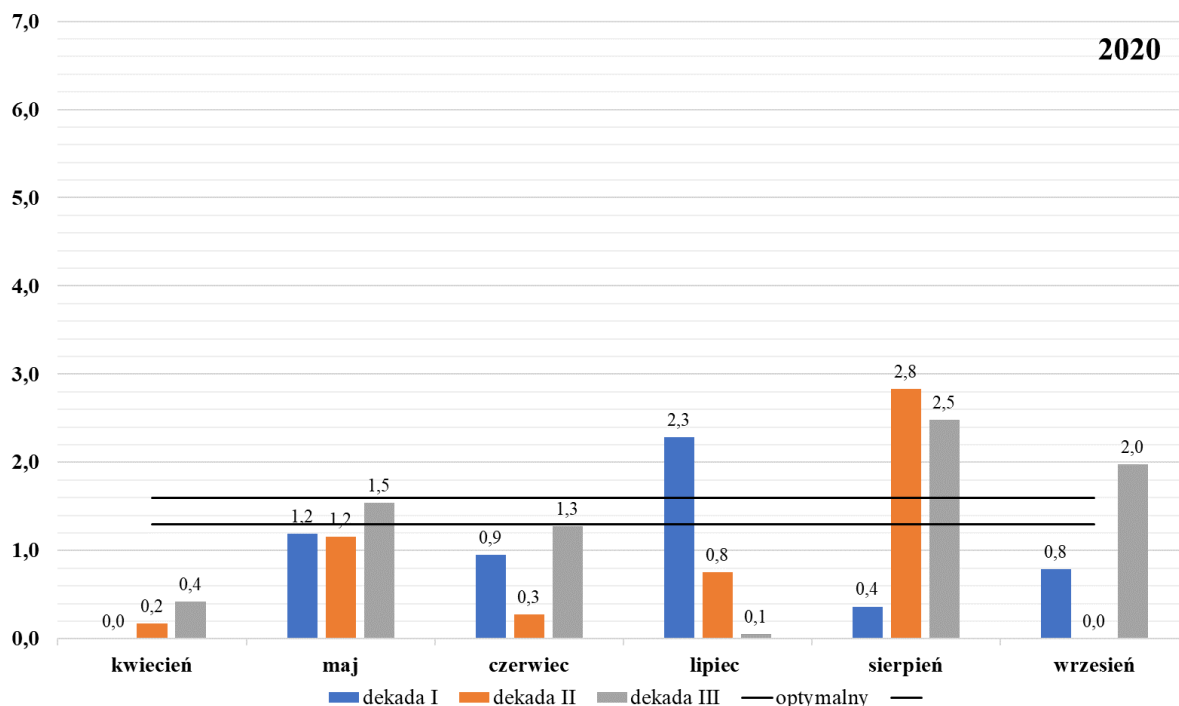
- $K \leq 0,4$ – skrajnie suchy;
- $0,4 < K \leq 0,7$ – bardzo suchy;
- $0,7 < K \leq 1,0$ – suchy;
- $1,0 < K \leq 1,3$ – dość suchy;
- $1,3 < K \leq 1,6$ – optymalny;
- $1,6 < K \leq 2,0$ – umiarkowanie wilgotny;
- $2,0 < K \leq 2,5$ – wilgotny;
- $2,5 < K \leq 3,0$ – bardzo wilgotny;
- $K > 3,0$ – skrajnie wilgotny.

Wartości współczynnika hydrotermicznego wskazują, że w roku 2018 za wilgotną należy uznać drugą dekadę kwietnia, za skrajnie wilgotną drugą dekadę lipca i trzecią września. Pierwszą i trzecią dekadę kwietnia scharakteryzowano jako dość suche, natomiast w reszta sezonu według wskaźnika była bardzo lub skrajnie sucha (ryc. 1).

Kwiecień roku 2019 był bardzo i skrajnie suchy, czerwiec skrajnie suchy, a sierpień bardzo do skrajnie suchego. W maju odnotowano optymalne warunki wilgotnościowo termiczne w pierwszej i trzeciej, a skrajnie wilgotne w drugiej dekadzie. Początek lipca był skrajnie suchy, ale kolejne dekady były optymalne dla roślin. Pierwsza i trzecia dekada września były umiarkowanie wilgotne, a druga dekada bardzo sucha (ryc. 1).

W ostatnim roku badań bardzo lub skrajnie suchymi były wszystkie dekady kwietnia, druga czerwca, druga i trzecia lipca, pierwsza sierpnia i druga września. Dwie pierwsze dekady maja i ostatnia czerwca były dość suche, trzecia dekada maja optymalna, a pierwsza dekada lipca, druga i trzecia sierpnia oraz ostatnia września wilgotne lub bardzo wilgotne (ryc. 1).





Rycina 1. Charakterystyka warunków pogodowych w sezonie wegetacyjnym kukurydzy w ZDD Brody z wykorzystaniem współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa

Warunki meteorologiczne podczas zabiegów oraz przed i po nich przedstawione zostały w tabeli 6.

Temperatura w trakcie zabiegów w 2018 roku mieściła się w granicach 17,2-21,6°C, w 2019 12,8°C oraz 20,3-22,3°C, a w 2020 14,4-15,2°C (tab. 6). Wilgotność powietrza w kolejnych latach wahała się od 50-62, 55-61 i 55-73%. W trakcie zabiegów i bezpośrednio po nich nie odnotowano opadów. Jedynie w trakcie zabiegu B 21 maja i 7 czerwca 2019 roku wystąpiły opady, ale kilka godzin po zabiegach. W każdym roku badań odnotowano opady okresie 2 tygodni przez zabiegami, jak i w 4 tygodniach po zabiegach. W zabiegami w roku 2018 zanotowano opady na poziomie 8; 23,5; 11,0 mm, w 2019 35,9; 50,7; 15,1 mm; a w roku 2020 12,6, 17,1 i 20,0 mm. Tygodnie po zabiegach w poszczególnych latach były pod względem opadów bardzo zróżnicowane. Stwierdzono bowiem opady na poziomie nie przekraczającym 10 mm, ale również zdecydowanie wyższe przekraczające 30 mm. Warunki wietrzne w trakcie zabiegów wahały się 0 do 3,1 m/s.

Tabela 6. Warunki meteorologiczne w czasie zabiegów w kukurydzy w ZDD Brody w latach 2018-2020

Termin zabiegu	B	A	C	B	A	C	B	A	C
	2018			2019			2020		
Data zabiegu	14.05.	24.05.	30.05.	21.05.	29.05.	07.06.	19.05.	27.05.	01.06.
Temperatura °C	17,7	17,2	21,6	20,3	12,8	22,3	14,4	15,4	15,2
Wilgotność powietrza [%]	49,9	60	62	61,2	65	55	72,8	69,7	54,7
Opady [mm]	0	0	0	9,4	0	0,6	0	0	0
Prędkość wiatru [m/s]	0,0	0,0	0,0	1,4	2,8	2,0	2,9	1,6	3,1
Kierunek wiatru	-	-	-	SE	WN	WN	WN	SW	NE
Suma opadów 14-7 dni przed zabiegiem [mm]	6,7	12,5	11,0	17,9	30,9	15,0	12,6	0,0	9,7
Suma opadów 7-1 dni przed zabiegiem [mm]	1,3	11,0	0,0	28,0	19,8	0,1	0,0	17,1	10,3
Pierwsze opady po zabiegu, data	15.05.	01.06.	01.06.	21.05.	01.06.	07.06.	23.05.	28.05.	02.06.
Suma pierwszych opadów po zabiegu [mm]	0,1	0,1	0,1	9,4	0,1	0,6	8,4	2,5	9,0
Suma pierwszych opadów 1-7 dni po zabiegu [mm]	11,2	0,0	0,2	9,4	0,1	2,0	17,0	11,9	11,8
Suma pierwszych opadów 8-14 dni po zabiegu [mm]	0,0	0,2	19,7	15,1	0,6	0,0	3,0	5,5	2,8
Suma opadów 15-21 dni po zabiegu [mm]	0,2	19,7	2,0	0,6	1,4	6,3	14,5	0,1	11,9
Suma opadów 22-28 dni po zabiegu [mm]	19,7	2,0	9,6	1,4	6,3	0,0	0,1	12,0	0,1

A - stosowane w fazie 4-6 liści kukurydzy, gdy większość widocznych gatunków znajduje się w fazie siewek, do fazy maksymalnie 2-4 liści, chwastnica jednostronna od 3 liści do końca fazy krzewienia
B - pierwszy zabieg wykonany był na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy 2-3 liście)
C - drugi zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści)

Średnia temperatura powietrza przed, w trakcie i po zabiegach w roku 2018 wahała się od 14,2 do 23,5 °C, a minimalna od 6,7 do 17,6 °C (tab. 7). W dwu kolejnych latach średnia dobowo i minimalna temperatura mieściły się odpowiednio w przedziałach 7,7 do 26,6 i 2,6 do 17,4 °C oraz 6,5-16,0 i 1,4-12,3 °C.

Tabela 7. Warunki termiczne (°C) w trakcie i w okresie 7 dni po zabiegach

Przebieg temperatury 1 tydzień po zabiegu w roku						
Data zabiegu	B – 14.05; A – 24.05; C – 30.05		B – 21.05; A – 29.05; C – 07.06		B – 19.05; A – 27.05; C – 01.06	
Dzień	2018		2019		2020	
	Średnia	Min.	Średnia	Min.	Średnia	Min.
07.05	15,8	8,5	-	-	-	-
08.05	17,7	9,5	-	-	-	-
09.05	19,2	11,4	-	-	-	-
10.05	20,1	14,1	-	-	-	-
11.05	17,2	14,2	-	-	-	-
12.05	18,0	13,3	-	-	6,5	1,4
13.05	19,3	12,2	-	-	8,5	3,4
14.05	17,7	13,7	8,0	2,6	9,4	3,7
15.05	15,5	12,2	7,7	4,8	9,7	0,9
16.05	17,2	13,5	11,2	8,0	11,4	7,5
17.05	15,8	13,8	13,6	9,6	12,2	7,2
18.05	15,0	10,7	16,3	8,8	14,8	10,3
19.05	14,2	7,8	16,9	10,1	14,2	10,0
20.05	14,3	6,7	17,2	11,3	12,9	6,3
21.05	16,0	7,9	17,7	10,4	12,3	7,2
22.05	16,3	8,6	14,9	12,4	12,7	6,0
23.05	18,0	9,6	13,2	10,8	11,7	8,3
24.05	18,1	10,6	14,1	5,5	11,8	8,4
25.05	18,3	11,4	14,4	10,8	11,9	9,7
26.05	19,6	11,6	14,9	7,8	12,9	8,5
27.05	21,0	14,3	18,4	14,0	14,7	7,9
28.05	23,0	14,7	14,4	11,4	13,3	9,6
29.05	22,7	15,1	11,9	7,4	12,5	6,1
30.05	21,5	14,7	12,6	3,5	12,8	6,0
31.05	23,5	14,9	16,9	9,6	16,0	9,4
01.06	23,0	16,1	20,1	13,9	16,2	8,4
02.06	22,2	17,1	20,8	13,8	15,0	9,9
03.06	22,9	17,6	22,3	14,1	14,4	6,8
04.06	22,0	15,1	22,7	14,1	16,6	8,4
05.06	19,3	15,0	23,4	16,4	15,1	11,8
06.06	15,1	8,8	22,7	17,4	14,0	10,2
07.06	-	-	19,6	16,1	15,1	9,8
08.06	-	-	18,6	13,5	15,9	12,3
09.06	-	-	18,5	8,0	-	-
10.06	-	-	23,7	17,8	-	-
11.06	-	-	26,6	19,4	-	-
12.06	-	-	26,6	18,7	-	-
13.06	-	-	20,6	17,5	-	-
14.06	-	-	21,5	14,7	-	-

3.2. Warunki glebowe i agrotechnika

Zakład Doświadczalno-Dydaktyczny Gorzyń, z filią w Brodach znajduje się w województwie wielkopolskim, w powiecie nowotomyskim. Pola należące do zakładu znajdują się w obrębie mezoregionu Pojezierza Poznańskiego, które jest częścią pojezierza Wielkopolskiego, a leżą na wysokości 100 m n.p.m. Przeważają tu gleby klasy IV o kompleksie bonitacyjnym żytnim bardzo dobrym i dobrym (SRGNT 2015). Większość to gleby biellicowe oraz brunatne, które są wytworzone z piaskowców gliniastych mocnych na podłożu gliniastym.

Podczas prowadzenia doświadczeń odczyn gleby w latach był zmienny, a wahał się w zakresie od 5,9 do 6,3. Gleba charakteryzowała się ponadto bardzo wysoką zawartością fosforu, średnią potasu i cynku (Lipiński 2013; Kęsik 2016) oraz materią organiczną od 1,1 do 1,4% (tab. 8).

Tabela 8. Zasobność gleby w składniki pokarmowe i materię organiczną w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lata	Klasy zasobności			Materia organiczna	pH
	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	%	
2018	Bardzo wysoka	Średnia	Średnia	1,4	5,9
2019	Bardzo wysoka	Średnia	Średnia	1,2	6,3
2020	Bardzo wysoka	Średnia	średnia	1,1	5,9

Po zbiorze przedplonu, przed zimą każdego roku w październiku wykonywano orkę. Wiosną poletka były kultywatorowane i włótkowane a przed samym siewem doprawiano glebę agregatem uprawowym. Poletko doświadczalne miało wymiary 2,5 x 9 = 22,5 m² a szerokość między rzędami wynosiła 70 cm. Siewnik punktowy umieszczał nasiona kukurydzy co 19 cm w rzędzie, na głębokość 4 cm. Przedplonem dla kukurydzy co roku była pszenica ozima. Nawożenie jesienne w każdym roku było bardzo podobne i składało się z jesiennego wysiewu 250 kg Agrofoski. Wiosną zaaplikowano saletrę amonową w ilości 235 kg/ha dzień przed siewem kukurydzy oraz mocznik miesiąc po siewie, w dawce 150 kg/ha. W 2020 roku zwiększono dawkę saletry amonowej do 265 kg/ha, a mocznik dostarczono na poletko niecałe dwa miesiące po siewie. Zbiór kolb z dwóch środkowych rzędów każdego poletka był wykonany 4 września 2018 roku, 10 września 2019 i 5 października w 2020 roku.

Analiza ekonomiczna odchwaszczania kukurydzy ograniczona była jedynie do oszacowania opłacalności zabiegów zwalczania chwastów w oparciu o przyrost plonu ziarna kukurydzy na obiektach traktowanych herbicydami w stosunku od obiektu kontrolnego, na którym zabiegów nie wykonywano. Dla kalkulacji przyjęto koszt zabiegu, tj. wjazdu na pole zestawu ciągnik + opryskiwacz w wysokości 40; 45; 38 zł/ha, w kolejnych latach. Koszty wykorzystywanych herbicydów oraz adiuwantów uzyskano z lokalnych hurtowni środków ochrony roślin i nawozów działających na lokalnym rynku. Ceny kukurydzy niezbędne do obliczeń przyjęto na podstawie cen skupu ziarna kukurydzy u lokalnych odbiorców. W kolejnych latach kształtowały się one na poziomie 604,60; 518,10 i 665,00 zł/t.

4. Wyniki badań

4.1. Wyniki doświadczenia laboratoryjnego i szklarniowego

4.1.1. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na właściwości fizyko-chemiczne cieczy opryskowej zawierającej mieszaninę bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem

Wyniki analizy statystycznej wskazują na wpływ zarówno adiuwantów, jak i dawki herbicydów na kąt przylegania kropeł cieczy opryskowej do powierzchni ciała stałego (tab. 9, ryc. 2). Umieszczenie w cieczy opryskowej jakiegokolwiek adiuwanta wpływało na redukcję kąta przylegania kropeł cieczy, z dodatkiem $ZnSO_4$ 75,9 – 66,3°, z AtB 61,8-42,1°, z LF 58,3-47,0°, z $ZnSO_4$ + AtB 64,9-58,4°, a z $ZnSO_4$ + LF 36,4-26,4°. Wartości średniego kąta przylegania w zależności od umieszczonego w cieczy adiuwanta wskazują, że najwyższym kątem przylegania charakteryzowała się cieczy zawierająca $ZnSO_4$, następnie $ZnSO_4$ + AtB, AtB, LF oraz $ZnSO_4$ + LF. Kąt przylegania zależał również od dawek herbicydów, stwierdzono bowiem spadek wartości tego parametru wraz z redukcją dawek środków, z 57,8 do 51,6°.

Tabela 9. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na kąt przylegania (°) kropeł cieczy opryskowej zawierającej bromoksynil z terbutylazyną i nikosulfuronem

Herbicyd B	Dawka l/ha	Adiuwant A					Średnia B
		ZnSO ₄	AtB	LF	ZnSO ₄ + AtB	ZnSO ₄ + LF	
Woda	-	— 110,1 —					
	1,6 + 1,0	75,9	56,6	58,3	61,9	36,4	57,8
	1,4 + 0,9	70,7	60,6	47,4	58,4	28,7	53,2
	1,2 + 0,8	70,2	61,8	53,9	62,7	27,6	55,0
Ze + N	1,0 + 0,7	66,3	59,7	55,1	61,5	31,2	54,9
	0,8 + 0,6	72,4	42,1	52,9	62,9	32,7	52,6
	0,6 + 0,5	66,4	50,5	53,2	64,5	29,4	52,8
	0,4 + 0,4	69,4	50,2	47,0	64,9	26,4	51,6
Średnia A		70,2	54,5	52,6	62,4	30,4	-

NIR (0,05) (test Tukey`a): A = 3,28; B = 4,19; A/B = 8,68

Ze – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; $ZnSO_4$ – siarczan cynku; AtB – Atpolan Bio ; LF –Lewar pH Fungi

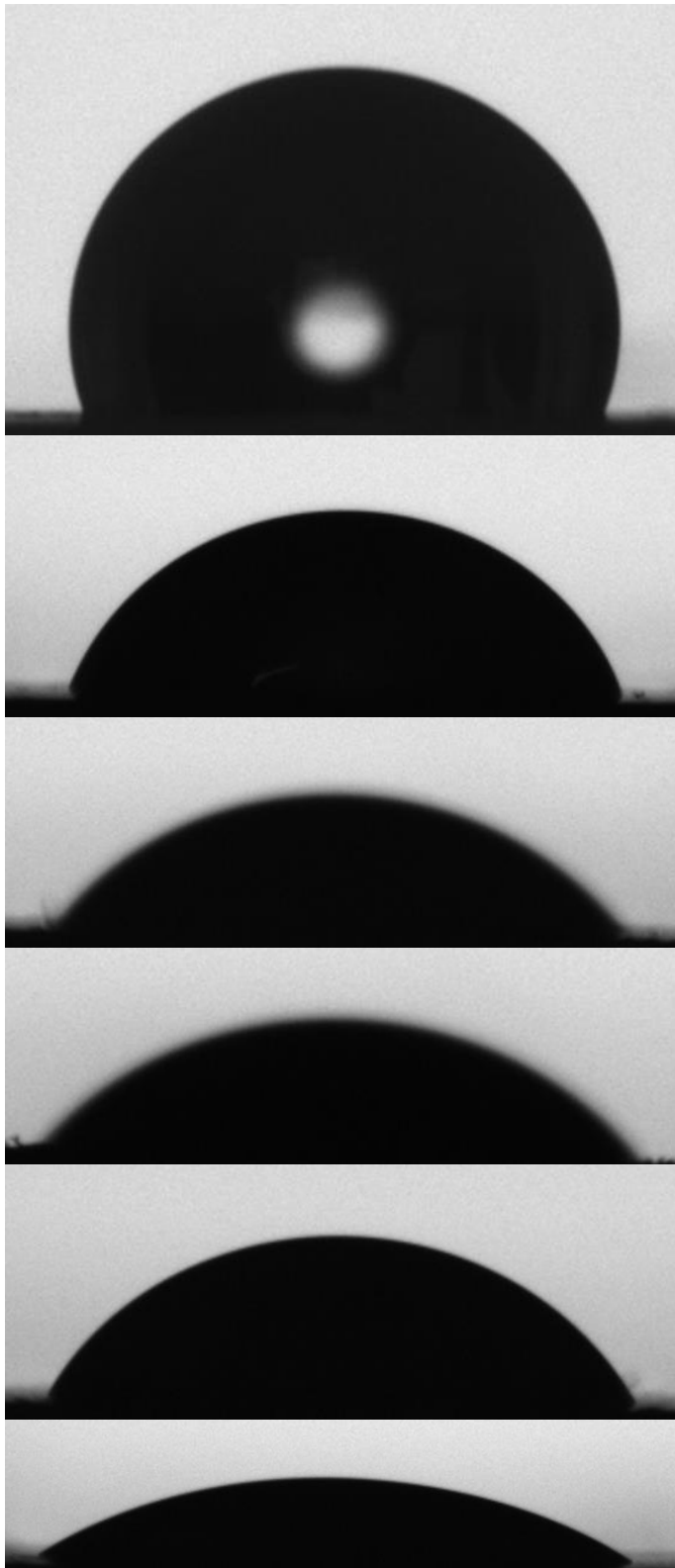
W przypadku napięcia powierzchniowego kropeł cieczy opryskowej stwierdzono zróżnicowanie tego parametru jedynie pod wpływem dodatku adiuwantów (tab. 10, ryc. 2), przy czym najwyższe wartości odnotowano pod dodatku ZnSO₄, następnie AtB, LF, ZnSO₄ + AtB i ZnSO₄ + LF. Dawka herbicydów nie wpływała na opisywany parametr, którego wartość mieściła się w przedziale 30,6-33,4 mN/m.

Tabela 10. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na napięcie powierzchniowe kropeł cieczy opryskowej zawierającej bromoksynil z terbutylazyną i nikosulfuronem

Herbicyd B	Dawka l/ha	Adiuwant A					Średnia B
		ZnSO ₄	AtB	LF	ZnSO ₄ + AtB	ZnSO ₄ + LF	
Woda	-	— 69,1 —					
	1,6 + 1,0	40,9	28,2	29,8	28,5	31,4	31,8
	1,4 + 0,9	35,2	33,3	28,7	35,0	28,7	32,2
	1,2 + 0,8	33,1	33,5	28,3	31,2	27,6	30,7
Ze + N	1,0 + 0,7	34,8	32,4	33,9	34,5	31,2	33,4
	0,8 + 0,6	33,4	33,1	33,2	30,9	32,7	32,7
	0,6 + 0,5	32,3	29,7	29,9	31,7	29,4	30,6
	0,4 + 0,4	33,7	35,9	31,9	32,2	26,4	32,0
Średnia A		34,8	32,3	30,8	32,0	29,6	-

NIR (0,05) (test Tukey`a): A = 3,15; B = n.i (nieistotne statystycznie); A/B = n.i.

Ze – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; ZnSO₄ – siarczan cynku; AtB – Atpolan Bio 80 EC; LF – Lewar pH- Fungi



Woda
 KP = 110,1°
 NP = 69,1 mN/m

Ze + N + ZnSO₄
 KP = 70,2°
 NP = 34,8 mN/m

Ze + N + AtB
 KP = 54,5°
 NP = 32,3 mN/m

Ze + N + LF
 KP = 52,6°
 NP = 30,8 mN/m

Ze + N + ZnSO₄ + AtB
 KP = 62,4°
 NP = 32,0 mN/m

Ze + N + ZnSO₄ + LF
 KP = 30,4°
 NP = 29,6 mN/m

Rycina 2. Zmiany wartości kąta przylegania (KP) i napięcia powierzchniowego (NP) kropeł cieczy opryskowej w zależności do składu mieszanin

Ze – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; ZnSO₄ – siarczan cynku; AtB – Atpolan Bio 80 EC; LF – Lewar pH- Fungi

Odczyn cieczy opryskowej niezależnie od jej składu zawsze był niższy od pH wody użytej do jego przygotowania (tab. 11). Adiuwanty wyraźnie różniły się między sobą pod względem wpływu na odczyn cieczy opryskowej. Najwyższy odczyn cieczy zawierającej mieszaninę bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (Ze + N) stwierdzono po umieszczeniu w cieczy adiuwanta AtB, 7,07 (6,82 – 7,17), następnie 6,67 (6,43 – 6,80) po dodaniu ZnSO₄, i 6,03 (6,05 – 6,30) w przypadku mieszaniny zawierającej oprócz herbicydów także ZnSO₄ + AtB. Adiuwant LF bardzo silnie obniżał odczyn cieczy do poziomu 3,39 (3,28 – 3,60), a w obecności dodatkowo ZnSO₄ do 2,81 (2,76 – 2,90).

Tabela 11. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na odczyn cieczy opryskowej zawierającej bromoksynil z terbutylazyną i nikosulfuronem

Herbicyd B	Dawka l/ha	Adiuwant A					Średnia B
		ZnSO ₄	AtB	LF	ZnSO ₄ + AtB	ZnSO ₄ + LF	
Woda	-	— 8,43 —					
	1,6 + 1,0	6,43	6,82	3,60	6,05	2,90	5,16
	1,4 + 0,9	6,62	7,03	3,28	6,10	2,82	5,17
	1,2 + 0,8	6,64	7,07	3,37	6,15	2,80	5,21
Ze + N	1,0 + 0,7	6,71	7,09	3,36	6,18	2,80	5,03
	0,8 + 0,6	6,75	7,12	3,38	6,20	2,81	5,25
	0,6 + 0,5	6,76	7,16	3,37	6,23	2,76	5,26
	0,4 + 0,4	6,80	7,17	3,35	6,30	2,80	5,28
Średnia A		6,67	7,07	3,39	6,03	2,81	-

NIR (0,05) (test Tukey`a): A = 0,184; B = 0,235; A/B = 0,486

Ze – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; ZnSO₄ – siarczan cynku; AtB – Atpolan Bio 80 EC; LF – Lewar Fungi pH⁻

4.1.2. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na skuteczność chwastobójczą mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem

Na podstawie analizy statystycznej uzyskanych wyników stwierdzono wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na skuteczność chwastobójczą mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (tab. 12, ryc. 3). Skuteczność chwastobójcza zawsze spadała wraz z redukcją dawki herbicydów, niezależnie do adiuwanta, z 81 do 57%. Skuteczność

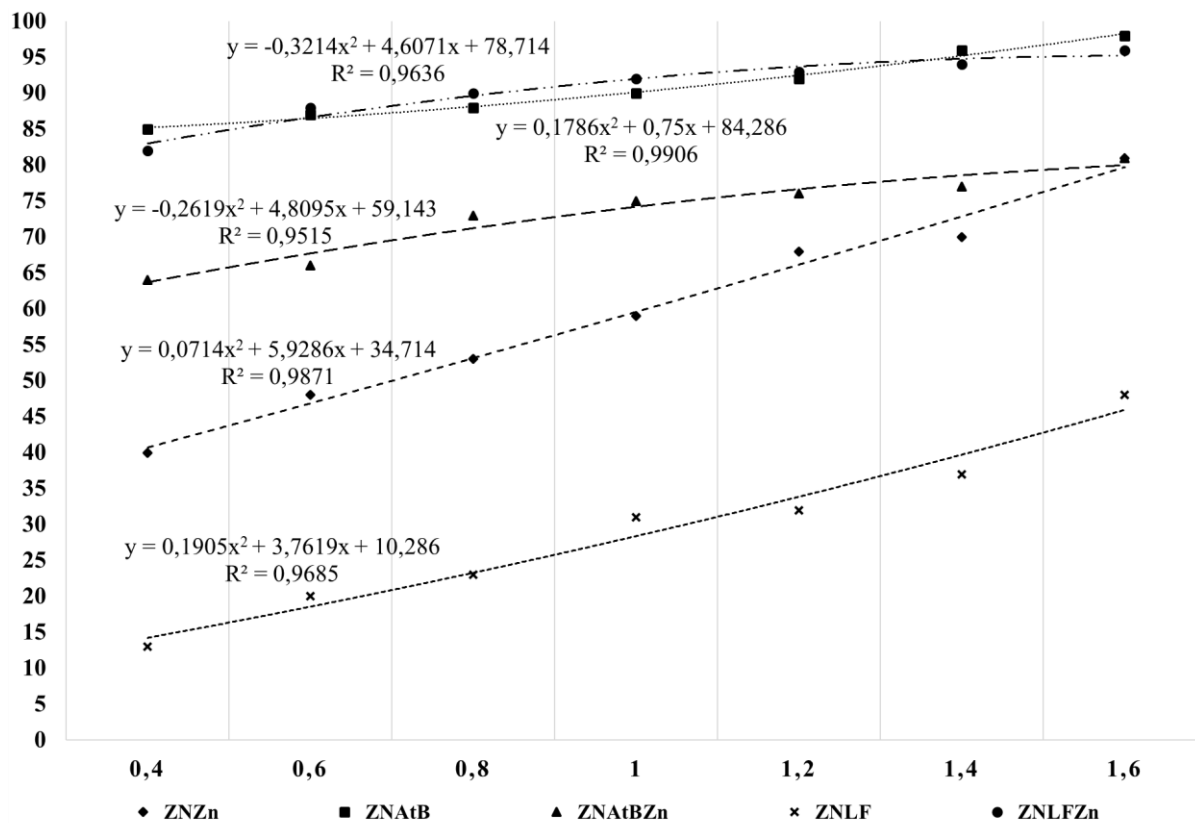
chwastobójcza herbicydów w obecności siarczanu cynku kształtowała się na poziomie 81-40%, w obecności AtB 98-85%, a z adiuwantem LF 48-13%. Umieszczenie w cieczy zawierającej już siarczan cynku adiuwanta AtB skutkowało poprawą skuteczności herbicydów (81-64%), a LF pomimo bardzo słabego działania samodzielnego, w obecności siarczanu cynku powodował wzrost skuteczności do aż 96-82%. Na podstawie wartości średniej skuteczności stwierdzono, że najkorzystniejszym rozwiązaniem był dodatek do cieczy adiuwant AtB lub siarczanu cynku z LF, gdyż w obu przypadkach utrzymano skuteczność na poziomie 91%, z siarczanem cynku i AtB jedynie 73%, z samym siarczanem 60%, a jedynie z LF tylko 29%.

Tabela 12. Skuteczność zwalczania chwastnicy jednostronnej mieszaniną bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem w zależności od dawki herbicydów i dodatku adiuwantów 2021

Herbicyd B	Dawka l/ha	Adiuwant A					Średnia B
		ZnSO ₄	AtB	LF	ZnSO ₄ + AtB	ZnSO ₄ + LF	
Kontrola	-	— 12 g —					
	1,6 + 1,0	81	98	48	81	96	81
	1,4 + 0,9	70	96	37	77	94	75
	1,2 + 0,8	68	92	32	76	93	72
Ze + N	1,0 + 0,7	59	90	31	75	92	69
	0,8 + 0,6	53	88	23	73	90	65
	0,6 + 0,5	48	87	20	66	88	62
	0,4 + 0,4	40	85	13	64	82	57
Średnia A		60	91	29	73	91	-

NIR (0,05) (test Tukey`a): A = 9,2; B = 3,1; A/B = 11,1

Ze – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; ZnSO₄ – siarczan cynku; AtB – Atpolan Bio 80 EC; LF – Lewar pH- Fungi

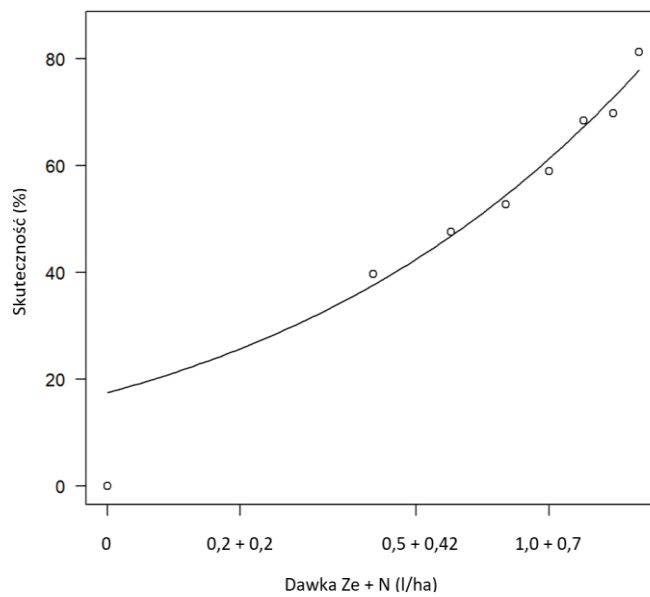


Rycina 3. Wpływ adiuwantów na skuteczność zwalczania chwastnicy jednostronnej mieszaniną bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem

Na podstawie wartości wskaźnika ED₅₀ określającego dawkę herbicydu po zastosowaniu której następuje redukcja świeżej masy chwastów (wyrażona w postaci skuteczności chwastobójczej) o 50% w porównaniu z obiektem kontrolnym stwierdzono, że najkorzystniejszymi były mieszaniny zawierające oprócz herbicydu adiuwant AtB, AtB + Zn oraz LF + Zn (ryc. 4).

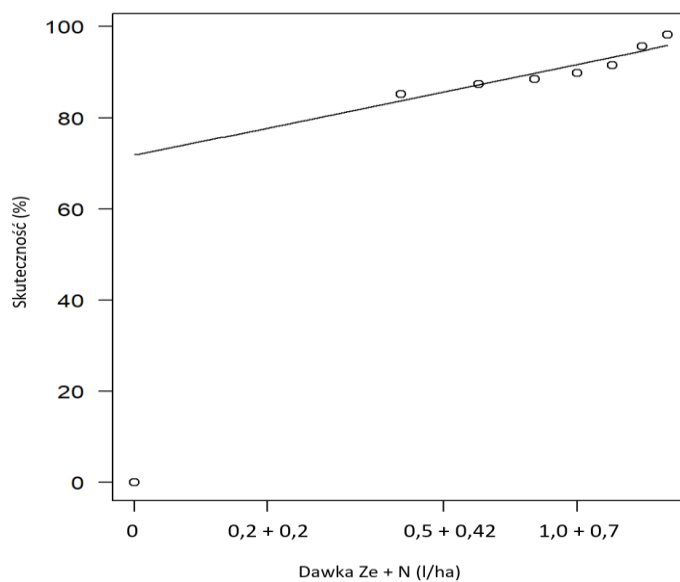
Ze + N + ZnSO₄;

ED₅₀ = 0,756



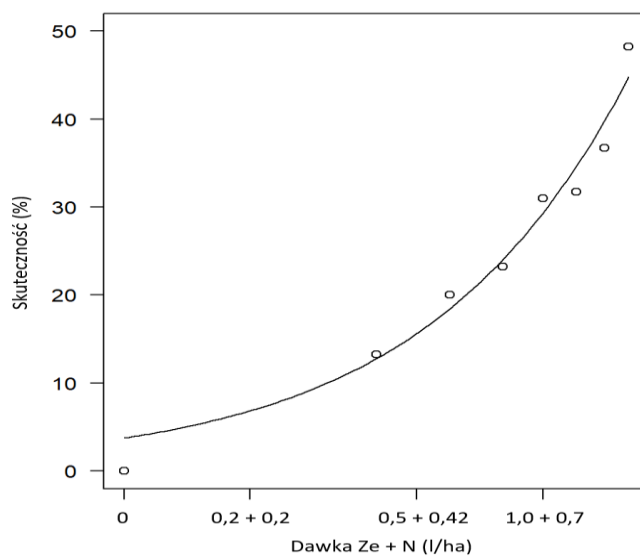
Ze + N + AtB;

ED₅₀ = 0,185



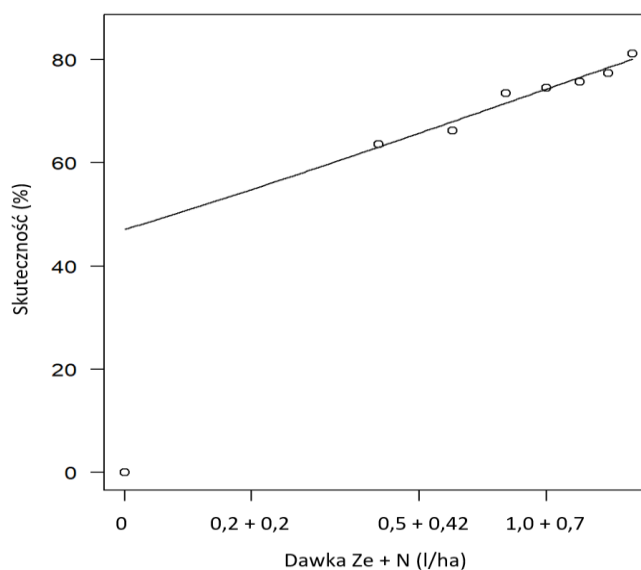
Ze + N + LF;

ED₅₀ = 0,639



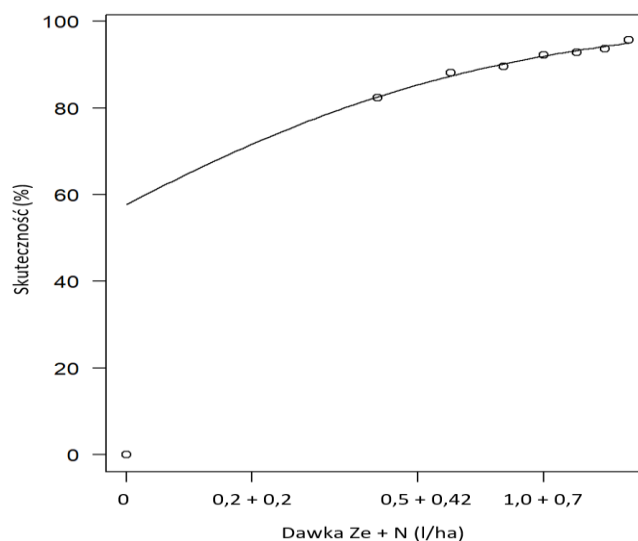
Ze + N + AtB + Zn;

ED₅₀ = 0,139



Ze + N + LF + Zn;

ED₅₀ = 0,136



Rycina 4. Wartości wskaźnika EC₅₀ dla badanych mieszanin herbicydów z adiuwantami i siarczanem cynku

Ze – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; ZnSO₄ – siarczan cynku; AtB – Atpolan Bio 80 EC; LF – Lewar pH⁻ Fungi

4.2. Wyniki z doświadczenia polowego

4.2.1. Skład gatunkowy zbiorowisk chwastów na poletkach badawczych w kukurydzy w ZDD Brody w latach 2018–2020 oraz ich klasyfikacja fitosocjologiczna

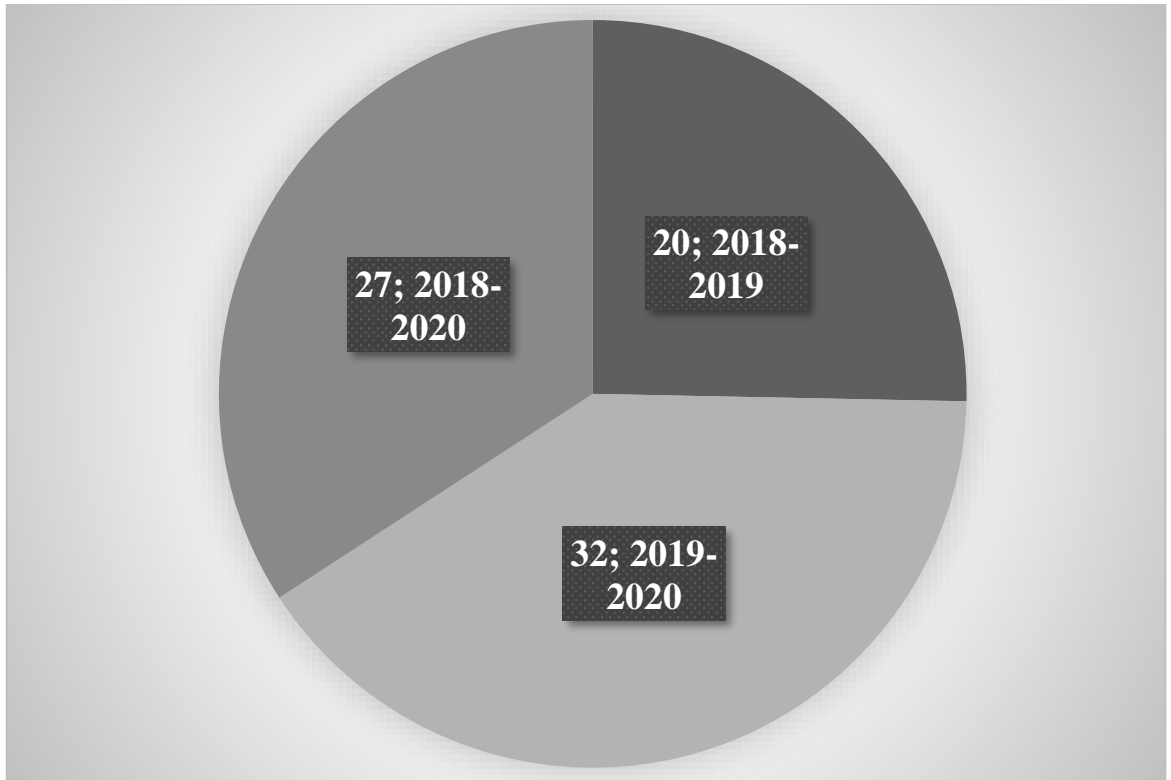
W trakcie badań polowych w ZDD Brody stwierdzono obecność łącznie 15 gatunków chwastów, przy czym w pierwszym roku wystąpiło 5, w drugim roku 6, a w trzecim 11 gatunków (tab. 13). Dominującymi gatunkami, których obecność odnotowano we wszystkich latach badań były komosa biała (*Chenopodium album* L.), chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) zaliczone do rzędu *Polygono-Chenopodietalia*. W

dwóch latach badań wystąpiły natomiast bodziszek drobny (*Geranium pusillum* L.) (rzęd *Polygono-Chenopodietalia*), fiołek polny (*Viola arvensis* Murr.) i rdest ptasi (*Polygonum aviculare* L.), należące do rzędu *Staellarietea mediae*. Pozostałe gatunki takie jak miotła zbożowa (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.), psianka czarna (*Solanum nigrum* L.), tasznik pospolity (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), mak polny (*Papaver rhoeas* L.), maruna bezwonna (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.), farbownik polny (*Lycopsis arvensis* (L.) M.Bieb.), ostrożeń polny (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), rdestówka powojowa (*Fallotopia convolvulus* (L.) A. Löve), samosiewy rzepaku (*Brassica napus* L.) oraz tobołki polne (*Thlaspi arvense* L.) wystąpiły jedynie w pojedynczych latach.

Tabela 13. Klasyfikacja fitosocjologiczna i udział gatunków chwastów w łanie kukurydzy w ZDD Brody w latach 2016-2018

Nazwa polska	Nazwa łacińska	Skrót	Udział gatunków (%)		
			2018	2019	2020
Gatunki charakterystyczne dla związku (ChAll.) <i>Aperion spicae-venti</i>					
Miotła zbożowa	<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv.	APESV	-	-	0,4
Gatunki charakterystyczne dla rzędu (ChO.) <i>Polygono-Chenopodietalia</i>					
Komosa biała	<i>Chenopodium album</i> L.	CHEAL	53,8	15,7	87,0
Psianka czarna	<i>Solanum nigrum</i> L.	SOLNI	0,8	-	-
Tasznik pospolity	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	CAPBP	-	34,6	-
Chwastnica jednostronna	<i>Echinochloa crus-gali</i> (L.) P.Beauv.	ECHCG	40,9	29,1	1,6
Bodziszek drobny	<i>Geranium pusillum</i> L.	GERPU	-	18,9	0,4
Gatunki charakterystyczne dla rzędu (ChO.) <i>Centauretalia cyani</i>					
Mak polny	<i>Papaver rhoeas</i> L.	PAPRH	-	-	0,4
Gatunki charakterystyczne dla klasy (ChCl.) <i>Staellarietea mediae</i>					
Fiołek polny	<i>Viola arvensis</i> Murray	VIOAR	-	0,8	4,5
Rdest ptasi	<i>Polygonum aviculare</i> L.	POLAV	0,8	-	2,8
Maruna bezwonna	<i>Tripleurospermum inodorum</i> (L.) Sch. Bip.	TRIIN	-	0,8	-
Farbownik polny	<i>Lycopsis arvensis</i> (L.) M.Bieb.	LYCAR	-	-	1,6
Gatunki charakterystyczne dla klasy (ChCl.) <i>Artemisietea vulgaris</i>					
Ostrożeń polny	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	CIRAR	-	-	0,4
Gatunki towarzyszące					
Rdestówka powojowa	<i>Fallotopia convolvulus</i> (L.) A. Löve	FALCO	3,8	-	-
Samosiewy rzepaku	<i>Brassica napus</i> L.	BRSNN	-	-	0,4
Tobołki polne	<i>Thlaspi arvense</i>	THLAR	-	-	0,4
Liczba gatunków w zbiorowisku			5	6	11

Wartość współczynnika Sorensena (S_s) charakteryzująca podobieństwo zbiorowisk chwastów dla lat 2018-2019 wynosiła 31%, dla lat 2019-2020 29%, a dla roku 2018 i 2020 30% (ryc. 5).



Rycina 5. Porównanie zbiorowisk chwastów w kukurydzy pomiędzy latami z wykorzystaniem współczynnika podobieństwa Sorensena (S_s).

4.2.2. Wpływ adiuwantów i siarczynu cynku na skuteczność zwalczania chwastów przez mieszaninę bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem

Mieszanina bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (T + B + N) stosowana w pełnej dawce całkowicie zwalczała rośliny komosy białej w każdym roku badań (tab. 14). Obniżenie dawki (DO) nie wpłynęło na spadek skuteczności chwastobójczej mieszaniny (99-100%). Skuteczność chwastobójcza mieszaniny T + B + N stosowanej w dawce DO z dodatkiem adiuwantów była również bardzo wysoka i niezależnie od lat nie różniła się statystycznie między obiektami (92-100%).

Tabela 14. Wpływ adiuwantów oraz dawek i terminów stosowania herbicydów na zwalczanie komosy białej w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Skuteczność chwastobójcza [%]		
					2018	2019	2020
1	Kontrola [g/m ²]	-	-	-	1199	603	3732
2	T + B + N	DP	-	A	100 a	100 a	100 a
3	T + B + N	DO	-	BC	100 a	99 a	99 a
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	100 a	100 a	100 a
5			+ Tr	BC	100 a	92 a	100 a
6			+ AtB	BC	100 a	100 a	100 a
7			+ LF	BC	100 a	100 a	100 a
8			+ EM	BC	100 a	100 a	100 a
9			+ Zn + Tr	BC	100 a	97 a	100 a
10			+ Zn + AtB	BC	100 a	100 a	100 a
11			+ Zn + LF	BC	100 a	100 a	100 a
12			+ Zn + EM	BC	100 a	100 a	100 a

* w jednym zabiegu, A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha)

Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

Zastosowanie mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (T + B + N) w pełnej dawce (DP) ograniczało masę chwastnicy jednostronnej o 94-100% (tab. 15). Zredukowanie dawki (DO) wpływało na spadek skuteczności, do 67% w 2018 roku oraz 93 i 86% w kolejnych latach badań. Dodanie adiuwantów do mieszaniny T + B + N stosowanej w obniżonej dawce wpłynęło na wzrost skuteczności chwastobójczej do poziomu 95-100%, w porównaniu do 91% z dodatkiem jedynie Zn (ZnSO₄x7H₂O). Dodanie do herbicydów zarówno Zn, jak i adiuwantów nie wpłynęło na zmianę skuteczności działania mieszaniny w przypadku AtB, LF i EM (97-99%). Stwierdzono jednak słabsze działanie herbicydów w obecności Zn i Tr (80%). W drugim roku badań skuteczność chwastobójcza kształtowała się na bardzo wyrównanym poziomie, niezależnie od dawek, terminów stosowania i dodatku adiuwantów (93-99%). W roku 2020 stwierdzono spadek skuteczności chwastobójczej mieszaniny

zastosowanej w DO, w stosunku do DP (86 do 94%). Dodatek zarówno samych adiuwantów, jak i ich mieszaniny z Zn wpłynął na wzrost skuteczności do 94-98%. Słabszą skuteczność obserwowano w przypadku mieszaniny herbicydów z Zn (88%) oraz Zn + Tr (85%).

Tabela 15. Wpływ adiuwantów oraz dawek i terminów stosowania herbicydów na zwalczanie chwastnicy jednostronnej w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Skuteczność chwastobójcza [%]		
					2018	2019	2020
1	Kontrola [g/m ²]	-	-	-	326	112	499
2	T + B + N	DP	-	A	100 a	96 a	94 a-d
3	T + B + N	DO	-	BC	67 c	93 a	86 cd
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	91 ab	95 a	88 bcd
5			+ Tr	BC	95 a	99 a	94 a-d
6			+ AtB	BC	99 a	99 a	97 ab
7			+ LF	BC	99 a	96 a	97 ab
8			+ EM	BC	100 a	99 a	96 abc
9			+ Zn + Tr	BC	80 bc	96 a	85 d
10			+ Zn + AtB	BC	98 a	98 a	98 a
11			+ Zn + LF	BC	97 a	98 a	98 a
12			+ Zn + EM	BC	99 a	98 a	98 a

* w jednym zabiegu, A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha);

Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey'a przy p = 0,05

Mieszanina bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (T + B + N) stosowana w pełnej dawce nie była całkowicie skuteczna w zwalczaniu rośliny rdestówki powojowatej w pierwszym roku badań (tab. 16). Skuteczność tej kombinacji wyniosła 94%. Obniżenie dawki (DO) wpłynęło na spadek skuteczności (80%) chwastobójczej mieszaniny przy zastosowaniu DO bez dodatków adiuwantu oraz w kombinacji T+B+N w DO z adiuwantem LF. Skuteczność chwastobójcza mieszaniny T + B + N stosowanej w dawce DO i DP z dodatkiem adiuwantów oraz cynku była bardzo wysoka i w roku 2020 nie różniła się statystycznie między obiektami (88-100%). W 2018 roku gatunek w doświadczeniu nie wystąpił.

Tabela 16. Wpływ adiuwantów oraz dawek i terminów stosowania herbicydów na zwalczanie rdestówki powojowatej w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Skuteczność chwastobójcza [%]		
					2018	2019**	2020
1	Kontrola [g/m ²]	-	-	-	81	-	166
2	T + B + N	DP	-	A	94 ab	-	97 a
3	T + B + N	DO	-	BC	80 b	-	88 a
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	100 a	-	92 a
5			+ Tr	BC	99 a	-	100 a
6			+ AtB	BC	100 a	-	98 a
7			+ LF	BC	92 ab	-	100 a
8			+ EM	BC	100 a	-	100 a
9			+ Zn + Tr	BC	100 a	-	100 a
10			+ Zn + AtB	BC	100 a	-	100 a
11			+ Zn + LF	BC	99 a	-	100 a
12			+ Zn + EM	BC	100 a	-	100 a

* w jednym zabiegu, ** gatunek nie wystąpił; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści); B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha
Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

W roku 2018 bodziszek drobny nie pojawił się na doświadczeniu. W drugim roku badań skuteczność chwastobójcza mieszaniny T+B+N zastosowanej w pełnej i obniżonej dawce była wysoka i nie różniła się statystycznie między obiektami (86-96%). Mieszanina bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (T + B + N) stosowana w pełnej dawce całkowicie zwalczała rośliny bodziszka drobnego w ostatnim roku badań (tab. 17). Obniżenie dawki (DO) wpłynęło na spadek skuteczności chwastobójczej mieszaniny (83-91%). Skuteczność chwastobójcza mieszaniny T + B + N stosowanej w dawce DO wyniosła 80% i była najniższą w tym roku badań.

Tabela 17. Wpływ adiuwantów oraz dawek i terminów stosowania herbicydów na zwalczanie bodziszka drobnego w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Skuteczność chwastobójcza [%]		
					2018**	2019	2020
1	Kontrola [g/m ²]	-		-	-	91	76
2	T + B + N	DP	-	A	-	94 a	93 a
3	T + B + N	DO	-	BC	-	91 a	80 b
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	-	92 a	88 ab
5			+ Tr	BC	-	93 a	87 ab
6			+ AtB	BC	-	94 a	89 ab
7			+ LF	BC	-	92 a	84 ab
8			+ EM	BC	-	90 a	83 ab
9			+ Zn + Tr	BC	-	91 a	85 ab
10			+ Zn + AtB	BC	-	94 a	91 ab
11			+ Zn + LF	BC	-	86 a	87 ab
12			+ Zn + EM	BC	-	96 a	89 ab

* w jednym zabiegu, ** gatunek nie wystąpił; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści); B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha
Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey'a przy p = 0,05

Mieszanina bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (T + B + N) stosowana w pełnej dawce całkowicie zwalczała rośliny rdestu ptasiego w pierwszym roku badań (tab. 18). Obniżenie dawki (DO) bez dodatku adiuwantów wpłynęło na spadek skuteczności chwastobójczej mieszaniny (82%). Skuteczność chwastobójcza mieszaniny T + B + N stosowanej w dawce DO z dodatkiem adiuwantów była bardzo wysoka i nie różniła się statystycznie między obiektami (92-100%). W drugim roku badań rdest ptasi nie pojawił się na doświadczeniu. W roku 2020 zastosowana pełna dawka zwalczała rośliny rdestu na poziomie 96%. Całkowita skuteczność chwastobójcza uzyskana została na obiekcie dawki obniżonej T+B+N w połączeniu z adiuwantem Atpolan Bio 80 EC. Słabsze działanie, na poziomie 95-96% wykazało zastosowanie herbicydów DO z Tr, AtB i EM z dodatkiem Zn. W granicach 90-93% kształtowała się skuteczność zastosowanych rozwiązań z LF, EM oraz Zn + LF. Najśłabsza skuteczność została odnotowana na obiektach DO bez dodatków wspomagaczy oraz T+B+N w pełnej dawce z TR (80%), i 83% przy połączeniu mieszaniny z DO oraz Zn.

Tabela 18. Wpływ adiuwantów oraz dawek i terminów stosowania herbicydów na zwalczanie rdestu ptasiego w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Skuteczność chwastobójcza [%]		
					2018	2019**	2020
1	Kontrola [g/m ²]	-	-	-	9	-	72
2	T + B + N	DP	-	A	100 a	-	96 ab
3	T + B + N	DO	-	BC	82 b	-	80 c
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	100 a	-	83 bc
5			+ Tr	BC	92 a	-	80 c
6			+ AtB	BC	100 a	-	100 a
7			+ LF	BC	100 a	-	91 abc
8			+ EM	BC	99 a	-	93 abc
9			+ Zn + Tr	BC	100 a	-	96 ab
10			+ Zn + AtB	BC	100 a	-	95 ab
11			+ Zn + LF	BC	100 a	-	90 abc
12			+ Zn + EM	BC	99 a	-	96 ab

* w jednym zabiegu, ** gatunek nie wystąpił; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści); B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha
Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

Mieszanina bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (T + B + N) stosowana w pełnej dawce całkowicie zwalczała rośliny tasznika pospolitego w 2019 i 2020 roku (tab. 19). W drugim roku badań obniżenie dawki (DO) wpłynęło na spadek skuteczności chwastobójczej mieszaniny (87%), ale już dodatek adiuwantów pomógł uzyskać skuteczność na poziomie 100%. Obniżona skuteczność ukazała się na obiekcie T+B+N w połączeniu z Zn + Tr (94%). W ostatnim roku badań skuteczność chwastobójcza mieszaniny T + B + N stosowanej w dawce DO z dodatkiem adiuwantów oraz adiuwantów i cynku była bardzo wysoka i nie różniła się statystycznie między obiektami (100%). W pierwszym roku badań tasznik pospolity nie wystąpił.

Tabela 19. Wpływ adiuwantów oraz dawek i terminów stosowania herbicydów na zwalczanie tasznika pospolitego w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Skuteczność chwastobójcza [%]		
					2018**	2019	2020
1	Kontrola [g/m ²]	-	-	-	-	65	13
2	T + B + N	DP	-	A	-	100 a	100 a
3	T + B + N	DO	-	BC	-	87 b	100 a
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	-	100 a	100 a
5			+ Tr	BC	-	100 a	100 a
6			+ AtB	BC	-	100 a	100 a
7			+ LF	BC	-	100 a	100 a
8			+ EM	BC	-	100 a	100 a
9			+ Zn + Tr	BC	-	94 ab	100 a
10			+ Zn + AtB	BC	-	100 a	100 a
11			+ Zn + LF	BC	-	100 a	100 a
12			+ Zn + EM	BC	-	100 a	100 a

* w jednym zabiegu, ** gatunek nie wystąpił; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści); B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha
Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

Mieszanka bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem (T + B + N) stosowana w pełnej dawce prawie całkowicie zwalczała chwasty w każdym roku badań (tab. 20). Skuteczność wynosiła 99%. Obniżenie dawki (DO) wpłynęło na spadek skuteczności chwastobójczej mieszanki w pierwszym (93%) oraz ostatnim roku badań (97%). W 2018 roku skuteczność DO z adiuwantami oraz z adiuwantami i cynkiem wahała się pomiędzy 96-100% i różniła się statystycznie między obiektami. W roku 2019 skuteczność chwastobójcza mieszanki T + B + N stosowanej w każdej kombinacji była bardzo wysoka i nie różniła się statystycznie między obiektami (94-99%). W ostatnim roku badań zastosowana mieszanka w dawce DO oraz DO z Zn wykazała najniższą skuteczność chwastobójczą i wyniosła 97%. Dodanie do mieszanki T + B + N zarówno Zn z adiuwantami oraz samych adiuwantów skutkowało wysoką skutecznością (98-100%), i różniącą się statystycznie między obiektami.

Tabela 20. Wpływ adiuwantów oraz dawek i terminów stosowania herbicydów na ogólną skuteczność chwastobójczą w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Skuteczność chwastobójcza (%)		
					2018	2019	2020
1	Kontrola [g/m ²]	-	-	-	1606	872	4676
2	T + B + N	DP	-	A	99 a	99 a	99 ab
3	T + B + N	DO	-	BC	93 c	97 a	97 b
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	98 ab	98 a	97 b
5			+ Tr	BC	99 a	94 a	99 ab
6			+ AtB	BC	100 a	99 a	100 a
7			+ LF	BC	99 a	99 a	99 ab
8			+ EM	BC	100 a	99 a	99 ab
9			+ Zn + Tr	BC	96 bc	95 a	98 ab
10			+ Zn + AtB	BC	100 a	99 a	100 a
11			+ Zn + LF	BC	99 a	98 a	100 a
12			+ Zn + EM	BC	100 a	99 a	100 a

* w jednym zabiegu, ** gatunek nie wystąpił; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści); B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha
Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

4.2.3. Wpływ adiuwantów i siarczanu cynku na rośliny kukurydzy oraz plon ziarna i jego parametry

Plon ziarna kukurydzy zebrany z obiektu kontrolnego w kolejnych latach badań wahał się od 4,8 do 5,0 t/ha (tab. 21) i był niższy w porównaniu do plonu z obiektów traktowanych

herbicydami o 59-62%. Zastosowanie herbicydów, niezależnie od dawki oraz terminu stosowania, wpłynęło na istotny wzrost plonu ziarna, który w roku 2018 kształtował się na poziomie 11,4–12,7, w 2019 11,6–13,9, a w roku 2020 11,1–12,6 t/ha. Nie stwierdzono jednocześnie istotnego statystycznie zróżnicowania w plonie ziarna kukurydzy pomiędzy obiektami, na których stosowano herbicydy.

Tabela 21. Wpływ dawek i terminów stosowania T + B + N oraz adiuwantów na plon ziarna kukurydzy w ZDD Brody

Lp	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Plon ziarna (t/ha)		
					2018	2019	2020
1	Kontrola	-	-	-	4,8 b	5,0 b	4,8 b
2	T + B + N	DP	-	A	11,7 a	12,6 a	11,5 a
3	T + B + N	DO	-	BC	11,4 a	11,6 a	11,4 a
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	11,7 a	12,6 a	11,7 a
5			+ Tr	BC	11,7 a	12,8 a	12,6 a
6			+ AtB	BC	11,1 a	13,9 a	11,4 a
7			+ LF	BC	12,7 a	13,3 a	11,9 a
8			+ EM	BC	11,2 a	13,2 a	11,3 a
9			+ Zn + Tr	BC	11,6 a	13,4 a	12,2 a
10			+ Zn + AtB	BC	12,2 a	12,8 a	11,8 a
11			+ Zn + LF	BC	11,9 a	13,3 a	11,8 a
12			+ Zn + EM	BC	11,6 a	13,5 a	11,1 a

* w jednym zabiegu; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagan 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha);

Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

W 2018 roku najniższą masą 1000 ziaren (MTZ) charakteryzowało się ziarno zebrane z obiektu kontrolnego – 278 g. Zwalczenie chwastów, niezależnie od wariantu, przełożyło się na wzrost masy ziarna kukurydzy, która wynosiła od 317 do 333 g, przy czym analiza nie wykazała istotnych statystycznie różnic pomiędzy tymi obiektami (tab. 22). W drugim roku badań ziarno o najwyższej MTZ zebrano z poletek, na których stosowano T + B + N + EM (350 g), a

najniższej z obiektu T + B + N + Zn i T + B + N + Zn + Tr (325 i 318 g). Wartości MTZ z pozostałych obiektów wahały się od 326 do 337 g. W ostatnim roku badań MTZ kukurydzy wahała się od 306 do 332 g, ale analiza statystyczna wykluczyła wpływ badanych czynników na wartość tego parametru – nieistotne statystycznie różnice pomiędzy obiektami.

Tabela 22. Wpływ dawek i terminów stosowania T + B + N oraz adiuwantów na masę 1000 ziaren (MTZ) kukurydzy w ZDD Brody

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Masa 1000 ziaren (g)		
					2018	2019	2020
1	Kontrola	-	-	-	278 b	326 ab	325 a
2	T + B + N	DP	-	A	325 a	326 ab	311 a
3	T + B + N	DO	-	BC	330 a	326 ab	324 a
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	333 a	325 b	328 a
5			+ Tr	BC	322 a	328 ab	329 a
6			+ AtB	BC	329 a	337 ab	308 a
7			+ LF	BC	322 a	328 ab	317 a
8			+ EM	BC	323 a	350 a	332 a
9			+ Zn + Tr	BC	323 a	318 b	306 a
10			+ Zn + AtB	BC	324 a	333 ab	329 a
11			+ Zn + LF	BC	328 a	327 ab	327 a
12			+ Zn + EM	BC	317 a	326 ab	318 a

* w jednym zabiegu; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha);

Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

Wyniki analizy statystycznej wskazują, że zastosowane warianty zwalczania chwastów wpłynęły na masę hektolitra (MH) ziarna kukurydzy jedynie w pierwszym roku badań (tab. 23). Najwyższą MH (74,8 kg/hl) stwierdzono po zastosowaniu w formie zabiegów dzielonych mieszaniny T + B + N + Zn + EM, najniższą na obiekcie kontrolnym (72,2 kg/ha). MH na pozostałych obiektach mieściła się w zakresie 72,5 – 74,7 kg/hl. W 2019 i 2020 nie stwierdzono

wpływu herbicydów i ich mieszanin z adiuwantami i siarczanem cynku na MH, która w kolejnych latach wahała się, odpowiednio 71,7 – 74,1 i 72,5 – 75,0 kg/hl.

Tabela 23. Wpływ dawek i terminów stosowania T + B + N oraz adiuwantów na masę hektolitra ziaren (HL) kukurydzy w ZDD Brody

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Masa hektolitra (kg/hl)		
					2018	2019	2020
1	Kontrola	-		-	72,2 c	71,7 a	72,5 a
2	T + B + N	DP	-	A	72,8 abc	73,7 a	73,9 a
3	T + B + N	DO	-	BC	74,0 abc	72,9 a	74,0 a
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	74,6 abc	72,1 a	73,9 a
5			+ Tr	BC	74,7 ab	73,9 a	74,8 a
6			+ AtB	BC	73,9 abc	72,6 a	73,8 a
7			+ LF	BC	73,4 abc	72,8 a	73,7 a
8			+ EM	BC	74,7 ab	74,1 a	75,0 a
9			+ Zn + Tr	BC	72,7 abc	71,8 a	72,8 a
10			+ Zn + AtB	BC	72,5 abc	73,3 a	73,5 a
11			+ Zn + LF	BC	74,0 abc	72,7 a	73,9 a
12			+ Zn + EM	BC	74,8 a	72,5 a	74,2 a

* w jednym zabiegu; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liści do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liści do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha);

Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey'a przy p = 0,05

Zwalczanie chwastów badanymi mieszaninami herbicydów z adiuwantami i Zn nie miało wpływu na obsadę roślin kukurydzy. W pierwszym roku badań obsada kukurydzy wahała się od 6,8 do 8,0 szt./m², w drugim od 6,4 do 7,0 szt./m², a w ostatnim roku od 7,1 do 8,4 szt./m² (tab. 24).

Tabela 24. Wpływ dawek i terminów stosowania T + B + N oraz adiuwantów na obsadę roślin kukurydzy w ZDD Brody

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Obsada (szt./m ²)		
					2018	2019	2020
1	Kontrola	-		-	7,2 a	6,5 a	7,2 a
2	T + B + N	DP	-	A	7,3 a	6,4 a	7,3 a
3	T + B + N	DO	-	BC	7,1 a	6,5 a	7,3 a
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	6,8 a	6,5 a	7,1 a
5			+ Tr	BC	8,0 a	6,7 a	7,4 a
6			+ AtB	BC	7,4 a	6,6 a	8,4 a
7			+ LF	BC	7,6 a	7,0 a	7,3 a
8			+ EM	BC	7,2 a	6,5 a	7,3 a
9			+ Zn + Tr	BC	7,5 a	6,6 a	7,5 a
10			+ Zn + AtB	BC	7,5 a	6,6 a	7,3 a
11			+ Zn + LF	BC	7,2 a	6,8 a	7,2 a
12			+ Zn + EM	BC	7,5 a	6,6 a	7,4 a

* w jednym zabiegu; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha);

Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey'a przy p = 0,05

Analiza statystyczna potwierdziła wpływ zastosowanych mieszanin herbicydów z adiuwantami i Zn na wysokość roślin kukurydzy (tab. 25). W pierwszych dwóch latach badań najniższe rośliny obserwowano na obiekcie kontrolnym, odpowiednio 137 i 133 cm. Wysokość roślin na pozostałych kombinacjach wahała się od 179 do 192 cm w 2018 roku, a w roku 2019 od 169 do 176 cm. W ostatnim roku badań nie stwierdzono wpływu badanych kombinacji na wysokość roślin, która wahała się od 174 do 188 cm.

Tabela 25. Wpływ dawek i terminów stosowania T + B + N oraz adiuwantów na wysokość roślin kukurydzy w ZDD Brody

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Wysokość roślin (cm)		
					2018	2019	2020
1	Kontrola	-	-	-	137 b	133 b	174 a
2	T + B + N	DP	-	A	184 a	171 a	181 a
3	T + B + N	DO	-	BC	192 a	170 a	183 a
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	190 a	175 a	185 a
5			+ Tr	BC	183 a	176 a	179 a
6			+ AtB	BC	182 a	173 a	181 a
7			+ LF	BC	185 a	173 a	181 a
8			+ EM	BC	181 a	175 a	186 a
9			+ Zn + Tr	BC	184 a	169 a	179 a
10			+ Zn + AtB	BC	179 a	172 a	188 a
11			+ Zn + LF	BC	184 a	170 a	179 a
12			+ Zn + EM	BC	179 a	173 a	175 a

* w jednym zabiegu; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha);

Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

Zawartość białka w ziarnie kukurydzy była modyfikowana przez kombinacje badawcze we wszystkich latach badań (tab. 26). W pierwszym roku badań polowych najwyższą zawartość białka stwierdzono w ziarnie zebranych z obiektu traktowanego mieszaniną T + B + N + Zn + AtB (8,24%), a najniższą gdy w zabiegu wykorzystano T + B + N + Tr (6,88%). Zawartość białka w ziarnie zebranych z pozostałych obiektów zawierała się przedziale od 7,00 do 7,68%. W 2019 roku ziarno zawierało o 2-3% więcej białka niż w roku poprzedzającym. Najniższą zawartość odnotowano, gdy aplikowano mieszaninę zawierającą T + B + N + LF (9,38%), a najwyższą T + B + N + AtB (10,71%). Na pozostałych obiektach zawartość białka w ziarnie wahała się od 9,81 do 10,57%. W ostatnim roku badań najniższą zawartość białka uzyskano, podobnie jak w roku 2019, na obiekcie na którym stosowano mieszaninę T + B + N + LF (8,49%), a najwyższą gdy w mieszaninie znajdowały się herbicydy oraz adiuwant AtB i Zn (9,52%). Na pozostałych kombinacjach, łącznie z kontrolą, stwierdzono w ziarnie od 8,77 do

9,22% białka. Wyniki średniej zawartości białka w ziarnie kukurydzy wskazują, że najwyższą zawartość opisywanego składnika odnotowano po zastosowaniu mieszaniny T + B + Zn + LF i T + B + Zn + Tr (ryc. 5). Zawartość białka w ziarnie z pozostałych obiektów mieściła się z kolei z zakresie 8,38-9,07%. Analiza statystyczna wyników w tym przypadku wskazuje, mimo pewnego zróżnicowania, na brak zależności pomiędzy stosowaniem siarczanu cynku a jego brakiem.

Tabela 26. Wpływ dawek i terminów stosowania T + B + N oraz adiuwantów na zawartość białka w ziarnie kukurydzy w ZDD Brody

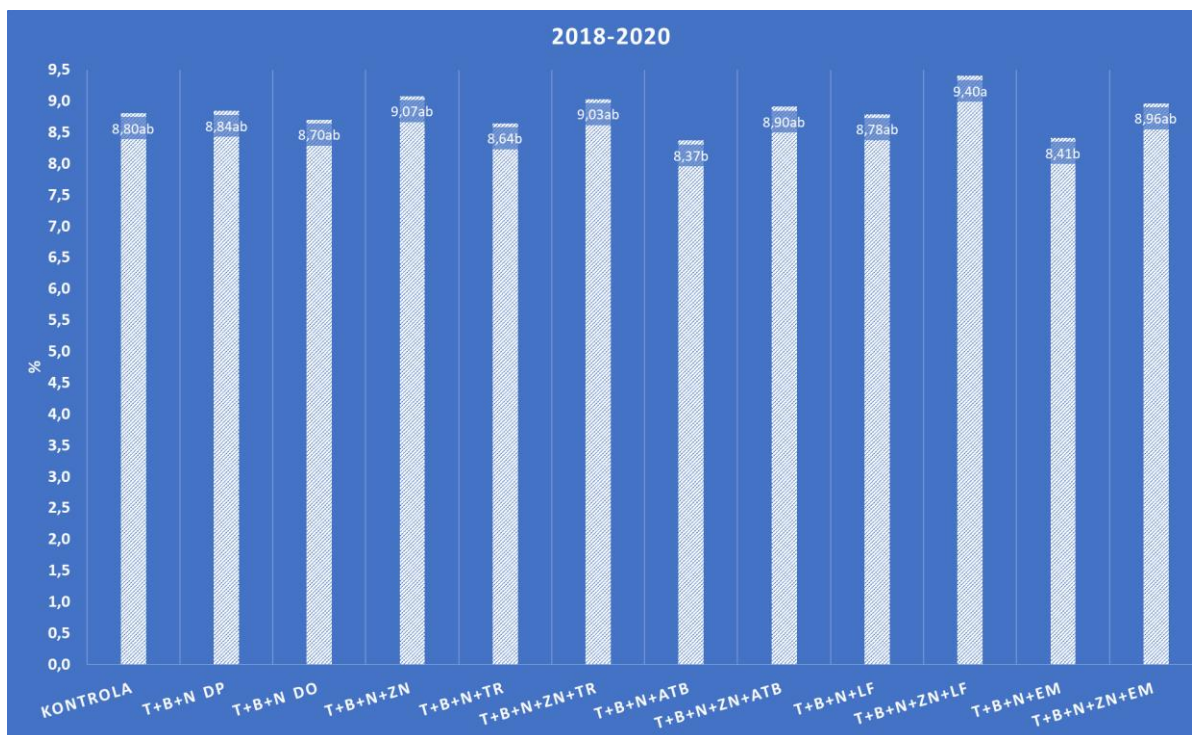
Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	Białko (%)		
					2018	2019	2020
1	Kontrola	-	-	-	7,35 bcd	10,26 ab	8,93 abc
2	T + B + N	DP	-	A	7,68 abc	10,00 ab	8,88 abc
3	T + B + N	DO	-	BC	7,23 bcd	10,17 ab	8,95 abc
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	7,58 abcd	10,57 ab	9,2 abc
5			+ Tr	BC	6,88 d	10,41 ab	8,77 bc
6			+ AtB	BC	7,35 bcd	10,71 a	9,15 abc
7			+ LF	BC	7,36 bcd	9,38 b	8,49 c
8			+ EM	BC	7,34 bcd	10,47 ab	9,03 abc
9			+ Zn + Tr	BC	7,24 bcd	10,33 ab	8,91 abc
10			+ Zn + AtB	BC	8,24 a	10,56 ab	9,52 a
11			+ Zn + LF	BC	7,00 cd	9,81 ab	8,91 abc
12			+ Zn + EM	BC	7,85 ab	10,07 ab	9,22 ab

* w jednym zabiegu; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liści do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liści do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha);

Zn – ZnSO₄x7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey'a przy p = 0,05



Rycina 5. Zawartość białka w ziarnie kukurydzy w zależności od wariantu zwalczania chwastów.

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha.

Wartości oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

Wartości indeksu zieloności liści SPAD różniły się co roku między obiektami badawczymi. W dwóch pierwszych latach zaznaczały się takie same zależności między kombinacjami i podobne w ostatnim roku (tab. 27). Najniższą zieloność liści stwierdzono na obiektach kontrolnych oraz wówczas, gdy stosowano podwójny zabieg bez dodatku adiuwantów, a najwyższą, gdy stosowano herbicydy z adiuwantem EntoMaxx pH-. Dodatek siarczanu cynku do cieczy opryskowej powodował niewielkie zmiany w zieloności liści, w większości nieistotne statystycznie.

Tabela 27. Wpływ dawek i terminów stosowania T + B + N oraz adiuwantów na indeks SPAD w blaszkach liściowych kukurydzy w ZDD Brody

Lp.	Kombinacje	Dawka substancji czynnej*	Adiuwant	Termin stosowania	SPAD		
					2018	2019	2020
1	Kontrola	-		-	415 d	436 d	402 e
2	T + B + N	DP	-	A	531 ab	547 ab	511 abc
3	T + B + N	DO	-	BC	492 c	505 c	471 cd
4	T + B + N	DO	+ Zn	BC	501 bc	517 abc	496 abcd
5			+ Tr	BC	496 c	513 c	481 bcd
6			+ AtB	BC	507 abc	524 abc	491 bcd
7			+ LF	BC	504 abc	522 abc	488 bcd
8			+ EM	BC	543 a	562 a	528 a
9			+ Zn + Tr	BC	503 abc	520 abc	488 bcd
10			+ Zn + AtB	BC	517 abc	535 abc	496 abcd
11			+ Zn + LF	BC	505 abc	517 abc	502 abcd
12			+ Zn + EM	BC	521 abc	532 abc	513 ab
Średni indeks: 5-8					513	531	497
9-12					512	526	500

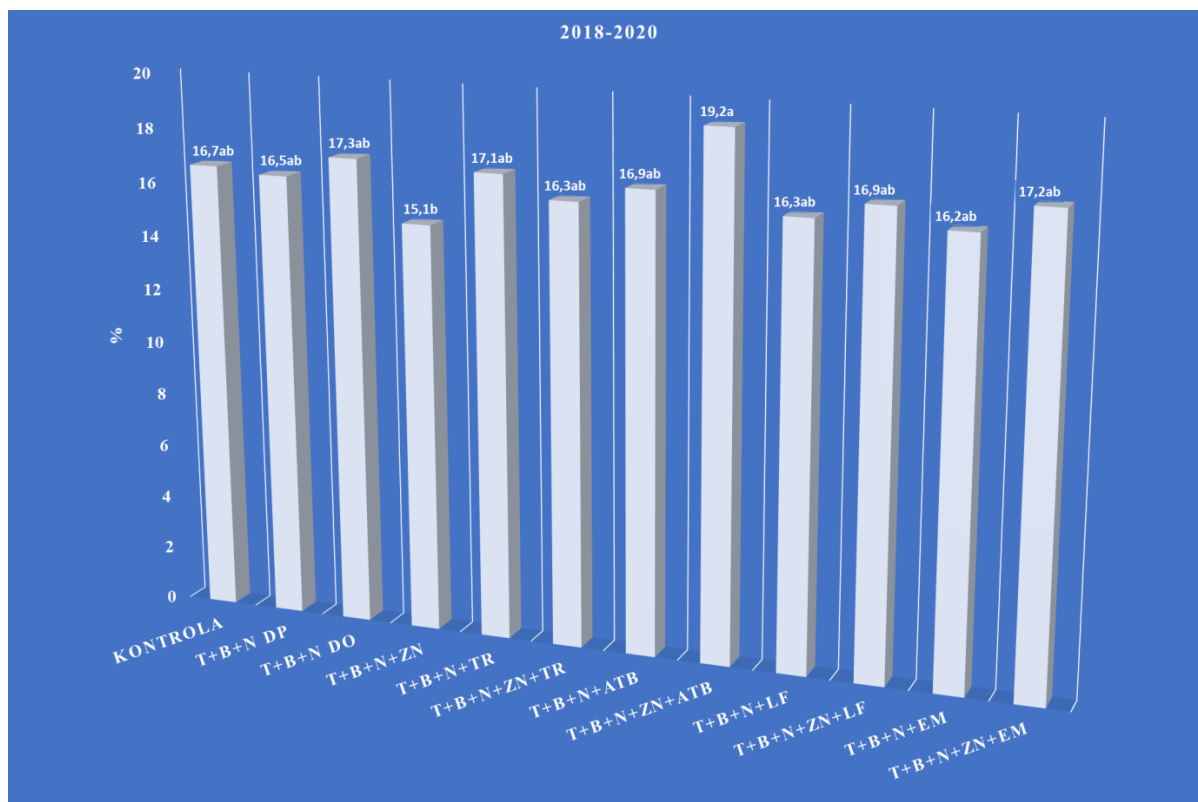
* w jednym zabiegu; A- w fazie 4-6 liści kukurydzy; B- zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C - zabieg wykonany był po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza miała wtedy około 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha);

Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey`a przy p = 0,05

Wyniki średniej zawartości białka w suchej masie roślin kukurydzy wskazują, że najwyższą zawartość opisywanego składnika odnotowano na obiekcie, na którym zastosowano mieszaniny T + B + Zn + AtB, a najniższą T + B + Zn (ryc. 6). Zawartość białka w ziarnie z pozostałych obiektów mieściła się w zakresie 16,2-17,3%. Wyniki wskazują na tendencję do wzrostu zawartości białka w roślinach, wówczas gdy w cieczy opryskowej znajdował się siarczan cynku, ale zależności te nie zostały potwierdzone statystycznie.



Rycina 6. Zawartość białka w roślinach kukurydzy w zależności od wariantu zwalczania chwastów (ok. 2 tyg. po ostatnim zabiegu).

B+T – bromoksynil + terbutylazyna (Zeagran 340 SE); N – nikosulfuron (Nisshin 040 SC); DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha.

Wartości oznaczone różnymi literami różnią się istotnie zgodnie z testem Tukey'a przy p = 0,05

4.2.4. Wpływ badanych kombinacji herbicydowych oraz dodatku adiuwantów i terminu aplikacji na opłacalność odchwaszczania kukurydzy w ZDD Brody w latach 2018-2020

Koszty zabiegów były zróżnicowane w latach, choć różnice nie były duże, maksymalnie kilkunastozłotowe (tab. 27). Najniższe koszty ponoszono, gdy stosowano herbicydy w pojedynczym zabiegu w dawce pełnej (zalecanej), 170,60 – 178,80 zł/ha. Koszty zabiegów rosły, gdy herbicydy stosowano w dwóch terminach, nawet pomimo obniżenia dawek (186,80 – 200,10 zł/ha). Koszty zabiegów zwiększał ponadto dodatek do mieszaniny adiuwantów i siarczanu cynku, tj. z siarczanem cynku 270,80 – 284,10 zł/ha; z adiuwantem Trend 90 EC 214,80 – 231,84 zł/ha; Atpolan Bio 80 EC 240,80 – 257,10 zł/ha; LewarFungi pH- 328,70 –

338,10 zł/ha, a EntoMaxx pH- 334,70 – 347,10 zł/ha. Umieszczenie w cieczy opryskowej oprócz herbicydów i adiuwantów siarczanu cynku zwiększało koszty o 42 (jeden zabieg) do 84 zł/ha (dwa zabiegi).

Zwalczanie chwastów, niezależnie od stosowanej kombinacji zawsze przekładało się wzrost plonu ziarna kukurydzy (6,3 – 8,9 t/ha) w stosunku do obiektu kontrolnego, przy czym w poszczególnych latach różnice pomiędzy obiektami badawczymi nie były istotne statystycznie. Opłacalność zwalczania chwastów wynikała z wysokości i wartości uzyskanego plonu pomniejszonego o koszty zabiegów. W roku 2018 opłacalność z obiektów traktowanych herbicydami była wyższa od wartości z obiektu kontrolnego od 632,64 (T + B + N + EM) do 1571,94 zł/ha (T + B + N + Zn + AtB), w 2019 od 628,86 (T + B + N DO) do 1763,49 zł/ha (T + B + N + AtB), a w 2020 od 573,70 (T + B + N + Zn + EM) do 1780,20 zł/ha (T + B + N + Tr).

Tabela 27. Wpływ dawek, terminów stosowania herbicydów oraz dodatku adiuwanta na opłacalność odchwaszczania kukurydzy w ZDD Brody w latach 2018-2020

Lp.	Kombinacje	Dawka	TA	Koszt zabiegu ¹ (zł/ha)			Zwyżka plonu (t/ha)			Opłacalność zwalczania chwastów (zł/ha)		
				2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
1	Kontrola	-	-	-	-	-	0,0 b	0,0 b	0,0 b	2902,1 ²	2590,50	3192,00
2	T+B+N	DP	A	170,60	178,80	172,40	6,9 a	7,6 a	6,7 a	4001,14	3758,76	4283,10
3	T+B+N	DO	BC	187,70	200,10	186,80	6,6 a	6,6 a	6,6 a	3802,66	3219,36	4202,20
4	T+B+N+Zn	DO	BC	271,70	284,10	270,80	6,9 a	7,6 a	6,9 a	3900,04	4109,46	4317,70
5	T+B+N+Tr	DO	BC	219,44	231,84	214,80	6,9 a	7,8 a	7,8 a	3952,30	3809,34	4972,20
6	T+B+N+AtB	DO	BC	241,70	257,10	240,80	6,3 a	8,9 a	6,6 a	3567,28	4353,99	4148,20
7	T+B+N+LF	DO	BC	328,70	338,10	329,30	7,9 a	8,3 a	7,1 a	4447,64	3962,13	4392,20
8	T+B+N+E	DO	BC	334,70	347,10	339,80	6,4 a	8,2 a	6,5 a	3534,74	3901,32	3982,70
9	T+B+N+Zn+Tr	DO	BC	303,44	315,84	298,40	6,8 a	8,4 a	7,4 a	3807,84	4036,20	4622,60
10	T+B+N+Zn+AtB	DO	BC	325,70	341,10	324,80	7,4 a	7,8 a	7,0 a	4474,04	3700,08	4330,20
11	T+B+N+Zn+LF	DO	BC	412,70	422,10	413,30	7,1 a	8,3 a	7,0 a	3879,96	3878,13	4241,70
12	T+B+N+Zn+EM	DO	BC	418,70	431,10	423,80	6,8 a	8,5 a	6,3 a	3692,58	3972,75	3765,70

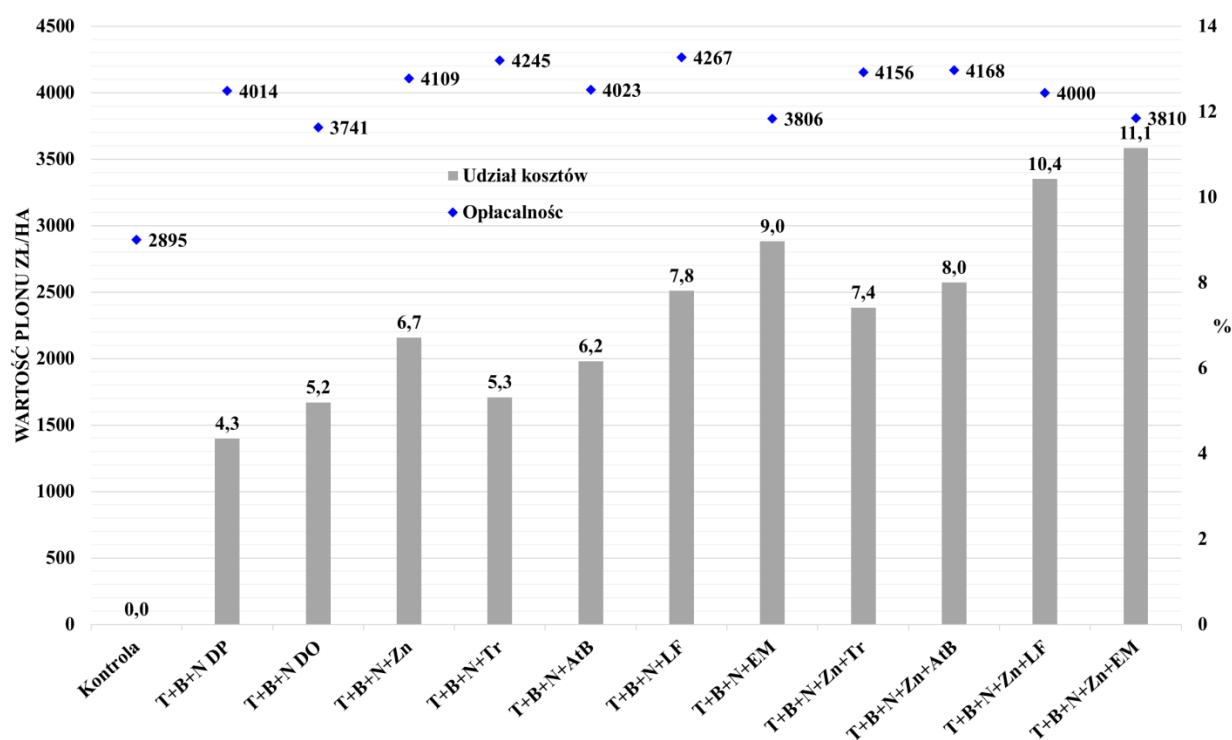
¹w jednym zabiegu, w tym koszt wykonania zabiegu i środków

²wartość zebranego plonu

Cena kukurydzy w skupie w latach 604,60; 518,10; 665,00 zł/t; koszty wykonania jednorazowego oprysku 40; 45; 38 zł/ha. Średnie ceny zakupu środków ochrony roślin i adiuwantów podano na podstawie danych z okolicznych hurtowni. A – zabieg wykonany w fazie 4-6 liści kukurydzy; B – zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C – zabieg po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400 ml/ha; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150 ml/ha; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Wartość plonu ziarna kukurydzy z obiektów badawczych traktowanych herbicydami (3741 – 4267 zł/ha) była zdecydowanie wyższa niż z obiektu kontrolnego (2895 zł/ha) (ryc. 6). Udział kosztów zabiegów zależał od składu stosowanych mieszanin, obecności w nich herbicydów i dodatkowych substancji pełniących funkcję adiuwantów. Obiekt kontrolny nie był obciążony żadnymi kosztami z uwagi na brak zwalczania chwastów, natomiast aplikacja mieszaniny T + B + N w dawce pełnej (DP) stanowiło 4,3% wartości plonu ziarna. Dołożenie do cieczy opryskowej zawierającej mieszaninę T + B + N, stosowaną dwukrotnie w dawkach zredukowanych, adiuwantów w tym siarczanu cynku sprawiało, że udział kosztów wzrastał od poziomu 5,2 – 7,8%, a z dodatkiem do adiuwantów siarczanu cynku przekładało się na jeszcze wyższy udział kosztów zabiegów w wartości plonu ziarna (7,4 – 11,1%).

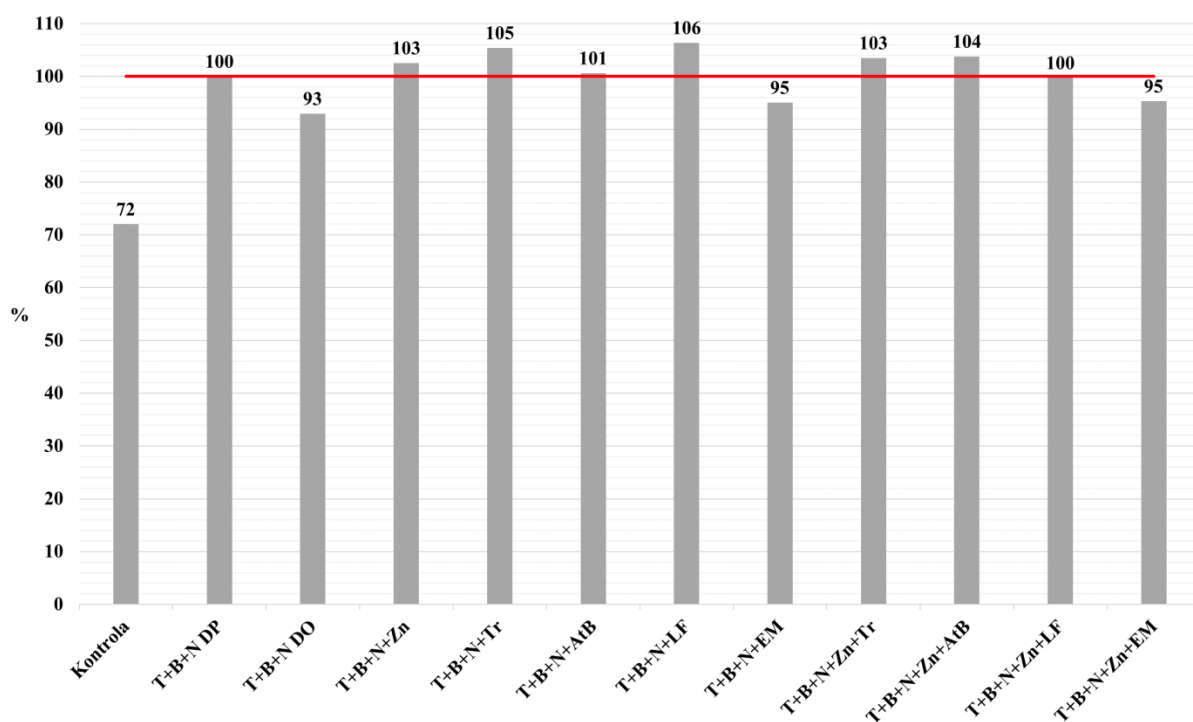


Rycina 6. Udział kosztów zabiegów w wartości plonu ziarna kukurydzy, średnia z lat 2018-2020

Cena kukurydzy w skupie w latach 604,60; 518,10; 665,00 zł/t; koszty wykonania jednorazowego oprysku 40; 45; 38 zł/ha. Średnie ceny zakupu środków ochrony roślin i adiuwantów podano na podstawie danych z okolicznych hurtowni. A – zabieg wykonany w fazie 4-6 liści kukurydzy; B – zabieg wykonany na chwasty w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 2-3 liście); C – zabieg po pojawieniu się kolejnych chwastów w fazie liścieni do 1 pary liści (kukurydza 5-7 liści);

B+T – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400 ml/ha; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150 ml/ha; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH- w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH- w dawce 1,5 l/ha

Koszty zabiegów i ich udział w plonie ziarna rośnie wraz z ilością substancji dodawanych do cieczy opryskowej oraz liczbą zabiegów (tab. 25, wyk. 3), ale pomimo tego możliwym jest uzyskanie plonu (wyższej opłacalności) także z obiektów, gdzie koszty były wyższe (ryc. 6). Wyższe koszty wynikające z dodatku adiuwantów lub siarczanu cynku do cieczy opryskowej wiązały się także lepszym działaniem środków, skutecznością chwastobójczą, co z kolei pozwoliło lepiej plonować kukurydzy i finalnie wpływało na opłacalność produkcji. Przyjmując za punkt odniesienia standardowe rozwiązanie jakim jest T+B+N DP należy stwierdzić, że dwukrotna aplikacja herbicydów z dodatkiem adiuwantów może zagwarantować wyższą o kilka procent opłacalność produkcji ziarna kukurydzy (wyk. 7).



Rycina 7. Opłacalność odchwaszczania kukurydzy w ZDD Brody w latach 2018-2020 w zależności od wariantu odchwaszczania (T+B+N DP = 100%)

B+T – bromoksynil + terbutylazyna; N – nikosulfuron; DP – dawka pełna (B+T, 144 + 400 ml/ha; N, 40 ml/ha), DO – dawka obniżona (B+T, 54 + 150 ml/ha; N, 14 ml/ha); Zn – ZnSO₄·7H₂O w dawce 2 kg/ha; Tr – Trend 90 EC w dawce 0,1%; AtB – Atpolan Bio 80 EC w dawce 1,5 l/ha; LF – LewarFungi pH w dawce 1,5 l/ha; EM – EntoMaxx pH w dawce 1,5 l/ha

5. DYSKUSJA

Zachodzące w ostatnich dziesięcioleciach zmiany demograficzne w skali świata, bardzo szybki wzrost liczby ludności (ponad 8 mld w roku 2024) do ok. 9 mld w roku 2050 (**WM 2024; UN 2017**), wymagać będzie znacznego wzrostu produkcji żywności. Równoległe z tymi zmianami dochodzi do znacznego ograniczenia powierzchni, na której odbywać się może produkcja roślinna (**Roszkowska-Mądra 2020**). Spadek powierzchni upraw przy jednoczesnym wzroście zapotrzebowania na produkcję żywności wymaga opracowywania rozwiązań, które pozwolą lepiej wykorzystać dostępne zasoby, zmaksymalizować wydajność upraw, przy jednoczesnym zminimalizowaniu negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko (**EC 2021; Góral i Rembisz 2017; Gołębiowska i Pajewski 2016**).

W skali świata największą powierzchnię uprawy zajmują pszenica, kukurydzy i ryż, których areał kształtował się na poziomie 219,2; 203,5 i 165,0 mln ha (**FAOSTAT 2022**). Również w Polsce największą popularnością cieszy się uprawa pszenicy i kukurydzy, którymi obsiano, odpowiednio 2,5 i 1,8 mln ha (**GUS 2023**).

Spośród wielu czynników agronomicznych wpływających na plon kukurydzy, gleba jest jednym z tych, na które rolnik poprzez podejmowane przez siebie działania może mieć wpływ. Kukurydza jest gatunkiem charakteryzującym się stosunkowo niewielkimi wymaganiami glebowymi, choć znacznie lepiej plonuje na stanowiskach o lepszej jakości gleb. Niezbędnym dla silnego rozwoju korzeni kukurydzy jest gleba w dobrej kulturze, która zapewni swobodny rozwój korzeniom roślin, a tym samym dostęp do wody i składników pokarmowych. Doniesienia literaturowe i praktyka wskazują, że najbardziej odpowiednimi do jej uprawy są gleby głębokie, próchniczne, przewiewne i ciepłe, o prawidłowym drenażu umożliwiającym gromadzenie zapasów wody. Rośliny kukurydzy dobrze sobie radzą na glebach o odczynie mieszczącym się w dość szerokim zakresie, tj. od 5,0 do 7,5. Najodpowiedniejszymi dla jej uprawy są zatem zarówno czarnoziemy i gleby lessowe, jak i mady, gleby brunatne, a także mocne piaski gliniaste. Zadawalającą plonuje na glebach klasy IVa i IVb zaliczanych do kompleksów żytniego bardzo dobrego i dobrego. Nieodpowiednimi do siewu kukurydzy są natomiast gleby zimne, o nadmiernej wilgotności, bardzo ciężkie, ale również suche i piaszczyste (**Dawar i in. 2022; Bereś i in. 2020; ACIAR 2015; Księżak i in. 2012; Kaniuczak i Pruszyński 2007; Plessis 2003**). Poletka doświadczalne w ZDD Brody zlokalizowano na glebie płowej kompleksu żytniego bardzo dobrego, charakteryzujących się odpowiednim dla kukurydzy odczynem (5,9-6,3). Gleby pod względem zasobności w składniki pokarmowe takie jak potas i cynk zaliczono do średniej, natomiast do bardzo wysokiej w przypadku zasobności

fosforu, również od dość wysokiej jak na warunki Wielkopolski zasobności w materię organiczną (1,1-1,4%).

Kukurydza nie jest gatunkiem szczególnie wymagającym pod względem przedplonu, szczególnie gdy uprawiana jest na żyznych glebach. Gatunek ten toleruje nawet uprawę w monokulturze, ale znacznie korzystniejszym rozwiązaniem jest umieszczenie jej w zmianowaniu (**Bereś 2023**). Dobór przedplonu uzależniony jest od jakości gleby. W przypadku słabszych stanowisk powinna być uprawiana po lepszych przedplonach takich jak rośliny okopowe, bobowate czy ich mieszanki z trawami. Jej uprawa po mniej korzystnych przedplonach jakimi są zboża jest możliwa, ale takie rozwiązanie sprawdza się na glebach żyznych kompleksów pszennych i żytnich bardzo dobrych (**Bereś i in. 2020; Kaniuczak i Pruszyński 2007**). W badaniach własnych przedplonem w każdym roku badań była pszenica ozima, która nie jest najlepszą opcją dla kukurydzy, ale dzięki zasobności gleb w składniki pokarmowe, prawidłowej agrotechnice i odpowiedniemu nawożeniu stworzono odpowiednie warunki dla jak najwyższego plonowania kukurydzy w danych uwarunkowaniach pogodowych.

Krajowe warunki glebowe, jak i warunki klimatyczne pozwalają na uprawę kukurydzy na terenie niemalże całej Polski (**Ptaszyńska i Sulewska 2008**). Niestety najgroźniejsze są dla niej przymrozki i duże zmiany w rozkładzie temperatur podczas okresu wegetacyjnego (**Sulewska 2007**). Mimo iż postęp hodowlany pozwolił znacząco zmniejszyć wymagania termiczne kukurydzy to w tym aspekcie pozostaje ona nadal wymagająca. Mowa tu o temperaturze gleby jak i powietrza. Temperatura wpływa zarówno na energię, jak i zdolność kiełkowania kukurydzy, która aby rozpocząć kiełkowanie potrzebuje temperatury 10-11°C, optymalnie 15°C (17-18°C), a maksymalnie 30°C. Jeśli temperatura osiągnie 32°C, następuje nagły spadek wzrostu łodygi i korzeni, a gdy osiągnie 40°C, kielki obumierają. Z kolei w temperaturze poniżej 9°C zatrzymuje się również wzrost korzeni (**Khaeim i in. 2022; Idikut 2013**). Zdaniem **Kaniuczaka i in.** (2015) do przerwania spoczynku nasion kukurydzy wymaga jedynie 6°C, dwa stopnie wyższą aby korzonek zarodkowy był w stanie przebić okrywą owocowo-nasienną, do wschodów roślin temperatury gleby na poziomie co najmniej 10 °C. Za średnią temperaturę jaka powinna występować w całym okresie wegetacyjnym podaje się 20-22°C (**Sánchez i in. 2014; Neild i Newman 1987**). Do optymalnego wzrostu kukurydzy potrzebne są różne temperatury w dzień i w nocy oraz przez cały sezon wegetacyjny. W ciągu dnia optymalna temperatura powinna wynosić od 25 do 33°C, natomiast w nocy od 17 do 23°C. Z kolei **Kaniuczak i in.** (2015) wskazują na zróżnicowane wymagania termiczne kukurydzy, w zależności od jej fazy rozwojowej, im rośliny starsze tym wyższej temperatury wymagają. I

tak w fazie kiełkowania optymalna temperatura powietrza powinna się mieścić w granicach 12-15°C, w trakcie wschodów 15-18°C, w trakcie formowania organów wegetatywnych 16-20°C. Zdaniem **Farooq i in.** (2008) gatunek ten jest bardzo ciepłolubny i najlepiej kiełkuje w temperaturze 25-28°C. Z kolei **Sanchez i in.** (2014) wskazują, że minimalne i maksymalne temperatury w poszczególnych fazach rozwojowych kukurydzy mieszczą się w bardzo szerokich przedziałach. I tak w czasie siew-wschody zakres temperatur progowych powinien mieścić się w zakresie 10-40°C, w okresie siew-wiechowanie 9-39°C, w trakcie kwitnienia 8-37°C, a w trakcie wypełniania ziarna 8-36°C.

Przeniesienie uprawy kukurydzy w rejony o umiarkowanym klimacie wiąże się ryzykiem spadku produktywności w niskich temperaturach na skutek spowolnienia transportu metabolitów i procesu fotosyntezy roślin (**Foyer i in. 2002**). Niska temperatura negatywnie wpływa ponadto na wymianę gazową, efektywność wykorzystania wody przez kukurydzę, ostatecznie na jej morfologię i fizjologię (**Hussain i in. 2019; Waqas i in. 2017**). Wystąpienie stresu termicznego, zwłaszcza w trakcie tzw. krytycznych faz rozwojowych powoduje spadek jakości i obniżkę plonu zarówno ziarna, jak i masy zielonej (**Izaurrealde i in. 2011; Siebers i in. 2017**).

Warunki cieplne w latach prowadzenia doświadczenia polowego w ZDD Brody generalnie sprzyjały rozwojowi roślin kukurydzy. Rok 2018 był pod tym względem najkorzystniejszy, gdyż średnia temperatura w każdym miesiącu okresu wegetacyjnego była o 2,4-4,7°C wyższa od średniej z wielolecia, a o 3,23°C w całym okresie wegetacyjnym. W dwóch kolejnych latach warunki termiczne nie były aż tak korzystne dla rozwoju kukurydzy, gdyż średnia temperatura okresu wegetacyjnego była wyższa od wielolecia o 0,75 i 1,1°C. Ponadto w obu tych latach stwierdzono, że średnia temperatura maja była o ponad 1°C niższa od średniej z wielolecia.

Okres wegetacji kukurydzy jest stosunkowo krótki lecz jej wymagania pod kątem dostępności wody i składników pokarmowych są znaczne. Wartości wskaźnika transpiracji kukurydzy (300-400 l/kg) wskazują, że gatunek tej jest wręcz oszczędny w gospodarowaniu wodą (**Majewski 2016; Kuś 2016; Kowalik i Scalenghe 2009**). Według **Weber i Waligóry** (2015) kukurydza w trakcie wegetacji potrzebuje łącznie 500 mm wody, a jej potrzeby są różne w zależności od fazy rozwojowej. Jednakże z uwagi na wysoki plon świeżej masy jej zapotrzebowanie na wodę w okresie wegetacji jest duże (**Rutkowski 2018**). Z kolei **Kuś** (2016) wskazuje, że optymalna ilość opadów dla kukurydzy w sezonie wegetacyjnym wynosi od 236 do 354 mm (mniejsza na glebach cięższych, większa na glebach lżejszych). Potrzeby wodne roślin uprawnych zmieniają się w trakcie ich wegetacji, dlatego decydującym czynnikiem jest

nie tyle suma opadów w tym okresie, a raczej ich rozkład (**Ptaszyńska i Sulewska 2008**). Według **Szulca i Kruczka (2008)** oraz **Niedziółki i in. (2004)** w początkowym oraz końcowym okresie wegetacji wymagania wodne kukurydzy mieszczą w się granicach 100 mm, natomiast w trakcie zawiązywania kolb i kwitnienia są wyższe i sięgają 150-200 mm. Wyniki badań **Ceglar A. i in. (2013)** wskazują zaś, że skumulowany deficyt wody w ciągu sezonu wegetacyjnego, który nie przekracza 100 mm, nie wydaje się istotnie zmniejszać potencjalnego plonu kukurydzy, ale deficyt w przedziale 100–300 mm ma już bardzo wyraźnie niekorzystny wpływ na plon kukurydzy.

Warunki pogodowe w trakcie trwania doświadczenia różniły się pomiędzy latami pod względem ilości opadów w sezonie wegetacyjnym, choć w latach 2018 i 2020 suma opadów była podobna (331,6 oraz 312,8 mm) i zasadniczo pokrywała zapotrzebowanie kukurydzy. W roku 2019 opady były niższe od opadów z pozostałych lat o 59-78 mm i według wskazań literaturowych mogły nie w pełni pokrywać zapotrzebowanie kukurydzy. Zgodnie z doniesieniami z literatury (**Ptaszyńska i Sulewska 2008**) ważniejszym od sumy opadów jest ich rozkład w trakcie wegetacji. Pod tym względem każdy z sezonów wegetacyjnych w ZDD Brody nie był optymalny dla kukurydzy. W pierwszym roku badań bowiem stwierdzono bowiem niskie opady w maju, czerwcu i sierpniu, a bardzo wysokie (w dużej mierze odpowiadające za wysoką sumę opadów całego okresu wegetacji) w lipcu. W roku 2019 z kolei bardzo wyraźne niedobory opadów wystąpiły w czerwcu, kwietniu i sierpniu, przy czym nie odnotowano nadmiernych opadów w żadnym z miesięcy. W ostatnim roku badań ponownie odnotowano niewielkie opady w kwietniu, a bardzo wysokie w sierpniu, natomiast wyrównane w pozostałych miesiącach.

Na wzrost i rozwój roślin uprawnych, w tym kukurydzy nie wpływają pojedyncze, odosobnione czynniki. Ostateczny wyniki uprawy jakim jest plon jest bowiem wynikiem współdziałania wielu zmiennych, w tym niezależnych od działania człowieka jakimi są temperatura i opady. Ich wzajemna relacja decyduje w dużej mierze o wysokości i jakości plonu (**Rębarz i Borówczak 2006; Skowera 2000; Michalski i in. 1999**). Wskaźnik Sielianinowa, uwzględniający zarówno warunki termiczne, jak i wilgotnościowe jest pomocą w ocenie wpływu warunków meteorologicznych na wzrost i rozwój roślin. Na podstawie wartości tego wskaźnika przez większość sezonu wegetacyjnego roku 2018 warunki termiczno-wilgotnościowe były niesprzyjające, w roku 2019 niedobory obserwowano w czerwcu i sierpniu, a w roku 2020 na końcu kwietnia, częściowo w czerwcu (2 pierwsze dekady) i lipcu (2 i 3 dekada) oraz w pierwszej dekadzie sierpnia i dwóch pierwszych września. Analiza warunków meteorologicznych wskazuje na ich zróżnicowanie w latach, ale biorąc pod uwagę

plonowanie kukurydzy (średni plon z obiektów traktowanych herbicydami w kolejnych latach wyniósł 11,7; 13,0 i 11,7 t/ha) można stwierdzić, że lata te nie były optymalne dla kukurydzy, ale też nie można przebiegu pogody w tym okresach uznać za niesprzyjające temu gatunkowi uprawnemu.

Rośliny uprawiane na polach nie są ich naturalnymi elementami, ale wynikiem celowej działalności rolnika, którego zamiarem jest stworzenie na danym obszarze jak najkorzystniejszych warunków dla ich rozwoju (**Bartosiewicz i Niedźwiecki 2021; Bilski i Pikosz 2020; Niedźwiecki i in.; Gajri i in. 2002**), w praktyce monokultury danego gatunku uprawnego. W warunkach naturalnych w każdym siedlisku występuje wiele gatunków jednocześnie, co sprawia, że siedlisko charakteryzuje się pewną bioróżnorodnością (**Henle i in. 2008**). Ma to miejsce także na polach, o czym świadczy obecność w łanie rośliny uprawnej innych towarzyszących jej gatunków roślin, określanych mianem roślinności niepożądaney. Pod wpływem warunków siedliska, ale przede wszystkim działalności człowieka skład gatunkowy tych zbiorowisk w roślinach uprawnych ulega permanentnym zmianom (**Grzelak i in. 2019; Idziak i in. 2019; Bacuła i in. 2016; Jędruszczak i Antoszem 2004**). Ich obecność nie pozostaje bez wpływu na uprawiane rośliny, czego wynikiem najczęściej jest ograniczanie możliwości uzyskiwania wysokich i dobrej jakości plonów, np. kukurydzy (**Horvath i in. 2023; Dobrzański i Adamczewski 2009; Rudnicki i Jaskulski 2006**). Z taką reakcją środowiska człowiek ma do czynienia, od kiedy zajął się uprawą roli i roślin, a te niepożądane rośliny występujące na plantacjach uprawnych wbrew woli człowieka, będące nieodłącznym składnikiem agrofitycenozy nazywane są chwastami (**CD 2024; Mohler i in. 2021; Singh i in. 2013; Dobrzański 2009**). Zdaniem **Woźnicy (2012)** chwastem może być dosłownie każda roślina, zarówno tak zwany „typowy” gatunek, jak i roślina uprawna, na przykład rzepak w buraku cukrowym, żyto w pszenicy ozimej czy jęczmień jary w rzepaku. **Ware i Whitacre (2004)** wskazują, że ok. 10% wszystkich gatunków roślin (30 tys. gatunków) można traktować jako chwasty. Jednakże poważne straty ekonomiczne w produkcji roślinnej powoduje jedynie 1800 z nich, przy czym ok. 300 gatunków stanowi realny problem w uprawach na całym świecie. Konkurencja chwastów z roślinami uprawnymi nabiera wymiernych kształtów, gdy straty w plonie przełoży się na poniesione straty finansowe, które szacowało się na 26,7 i 17,2 mld USD odpowiednio dla samej kukurydzy i soi, w USA i Kanadzie, 11 miliardów dolarów dla 10 głównych upraw w Indiach, i 2,6 miliarda dolarów dla zbóż, sorgo, rzepaku, roślin strączkowych i ugorów w Australii (**Gharde i in. 2018; Llewellyn i in. 2016; Soltani i in. 2016, 2017**). Według szacunków **Chauhan (2020)** z powodu presji chwastów straty w plonie

ziarna zbóż na świecie wynoszą ok. 200 mln ton, co z kolei przekłada się na straty ekonomiczne w wysokości ponad 100 miliardów dolarów rocznie (**Appleby i in. 2001**).

Obecność w łanie rośliny uprawnej agrofagów jest jednym z najistotniejszych czynników decydujących nie tylko o wysokości uzyskanego plonu, ale także jego jakości (**Meena i in. 2023; Donatelli i in. 2017; Manosathiyadevan i in. 2017; Tratwal i in. 2016; Praczyk i in. 2015; Mierzejewska 1993**). Ich kontrola jest niezbędna dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin uprawnych, a jej brak prowadzi do spadku plonów (**Horvath i in. 2023; Kundu i Ahmad 2022; Rudnicki i Jaskulski 2006**). Jak wskazują **Lisowicz i Tekiela (2004)** obecność patogenów i szkodników może powodować spadek plonu rzędu 20-50%, a według **Korbasa (2006)** w sprzyjających rozwojowi patogenów warunkach pogodowych straty mogą sięgać nawet 80%. Z kolei **Oerke (2006)** wskazuje, że w porównaniu do strat powodowanych przez choroby i szkodniki, chwasty powodują zwykle dwukrotnie większy spadek plon. **Michalski i in. (2018)** zwracają uwagę, że w skrajnych przypadkach niewykluczona jest nawet całkowita utrata plonu. W przypadku kukurydzy chwasty mogą jej towarzyszyć praktycznie przez cały okres wegetacji i wpływać na jej wzrost i rozwój, dlatego w praktyce stanowią one największe zagrożenie dla tego gatunku uprawnego (**Idziak i in. 2023; Dubas 2004**).

Straty plonów roślin uprawnych wynikają między innymi z obecności chwastów, ale w dużej mierze wpływają na nie także takie czynniki jak warunki pogodowe, gleba, położenie geograficzne oraz obecność innych szkodliwych organizmów (**Podstawka-Chmielewska i in. 2000**). Chwasty stanowią duży problem w produkcji roślinnej a straty w plonie kukurydzy wynikające z ich presji szacowane są na kilkanaście do nawet ponad 70% (**Naderi i in. 2024; Landau i in. 2021; Soltani i in. 2016; Staniak i in. 2015; Zystro i in. 2012**). Wielkość strat uzależniona jest składu gatunkowego zbiorowiska chwastów, liczebności poszczególnych gatunków, zabiegów agrotechnicznych i skuteczności zastosowanych metod zwalczania, a także rejonu uprawy (**Idziak i in. 2022; Imoloame i Omolaiye 2017**). W przypadku braku kontroli zachwaszczenia w kukurydzy uprawianej w Ameryce Północnej straty w plonie szacuje się na 50% (**Soltani i in. 2016**), a w soi na 52% (**Soltani i in. 2017**). Natomiast w Indiach, według **Gharde i in. (2018)** chwasty powodują 36% strat w plonie orzeszków ziemnych, 31% w soi, 25% w kukurydzy i sorgo i 19% w pszenicy. Zdaniem **Domaradzkiego (2006)** niewielki udział wielu gatunków w zbiorowiskach chwastów segetalnych wywiera nieznaczny wpływ na plonowanie roślin, a wręcz niewielka ich ilość może nawet sprzyjać plonowaniu roślin uprawnych. Straty plonu w wyniku konkurencji roślin uprawnych z

chwastami są jednak realne, a dzięki ich zwalczaniu, głównie za pomocą herbicydów możliwym są znaczne oszczędności w gospodarstwach rolnych (**FP 2005**).

Silny wpływ chwastów na rośliny uprawne jest szczególnie widoczny w gatunkach uprawianych w szerokich międzyrzędziach, niewielkiej obsadzie i wolnym początkowym tempie wzrostu, skutkującym późnym i nie zawsze całkowitym zakryciem powierzchni gleby między rzędami roślin. Takie warunki są wręcz idealne dla rozwoju chwastów, które z reguły charakteryzują się znacznie szybszym tempem wzrostu i konkurencyjnością w stosunku do gatunku uprawnego. Jednym z najbardziej narażonych na konkurencję z chwastami gatunkiem uprawnym jest kukurydza, która praktycznie w pierwszych tygodniach wegetacji nie jest w stanie skutecznie konkurować z towarzyszącymi jej uprawie gatunkami (**Skrzypczak i in. 2008**). Większość gatunków chwastów charakteryzuje się z reguły szybszym pobieraniem i zapotrzebowaniem na składniki pokarmowe niż roślina uprawna. Według **Wiater i Trąby** (2002) najgroźniejszymi pod tym względem gatunkami są pospolicie występująca w kukurydzy komosa biała, ale również znacznie rzadszy gatunek w tej roślinie jakim jest żóltlica wielokwiatowa. **Skrzyczyńska** (1998) zwraca uwagę, że chwasty lepiej niż wykorzystują zapasy wody glebowej i przewyższają rośliny uprawne pod względem jej pobierania. Efekty tej konkurencji widoczne są zwłaszcza w okresach niedoboru wody, a najlepiej radzącymi sobie w takich warunkach chwastami są owies głuchy, chwastnica jednostronna i rdest plamisty. Chwasty konkurują o wodę, ograniczają jej dostępność i przyczyniają się do stresu wodnego gatunków uprawnych (**Abouzienna i in. 2014-2015; Zimdahl 2013; Oerke 2006**). Dzieje się tak z powodu nie tylko zużycia wody przez chwasty, ale także jej strat w wyniku przesiąkania w strefie korzeniowej chwastów, transpiracji, a także zakłócania przepływu wody w systemach irygacyjnych (**Zimdahl 2013**). Mniej narażone na suszę są rośliny o głębszym systemie korzeniowym, gdyż łatwiej im penetrować profil glebowy w poszukiwaniu wody, dlatego chwasty wieloletnie zazwyczaj są w mniejszym stopniu uzależnione od opadów niż rośliny jednoroczne (**Maganti i in. 2005**). Przy czym współczynnik transpiracji niektórych pospolitych gatunków chwastów jest 2-3 krotnie wyższy niż roślin uprawnych. Według **Parkera** (2003) komosa biała zużywa 658 l wody do wyprodukowania 1 kg suchej masy, słonecznik 623 l, a ambrozja bylicolistna 912 l, w porównaniu do jedynie 349 l, których potrzebuje kukurydza i 557 l pszenicy. Skuteczna kontrola zachwaszczenia komosy białej mogłaby się przy takich założeniach przełożyć na dodatkowe 4,2 t ziarna kukurydzy i 2,6 t ziarna pszenicy.

Chwasty w kukurydzy szczególnie intensywnie rozwijają się w pierwszych tygodniach po jej siewie, gdyż nie stanowi ona dla nich w praktyce żadnej konkurencji (**Zamljen i Leskovsek 2023; Tursun i in. 2016**). Na początkowe zachwaszczenie roślin uprawnych, zwłaszcza tych uprawianych w szerokich międzyrzędziach, a więc w dużej mierze sprzyjających rozwojowi chwastów, składa się zazwyczaj do kilkunastu gatunków. Z upływem czasu w wyniku konkurencji z rośliną uprawną, ale także pomiędzy poszczególnymi gatunkami chwastów, pozostaje kilka najbardziej uciążliwym taksonów. **Domaradzki i Bortniak (2023)** zwracają ponadto uwagę na zjawisko ubożenia składu gatunkowego zbiorowisk, co prowadzi do tworzenia zbiorowisk z niewielką ich liczbą. Zdaniem **Milberga i Hallgrena (2004)** nawet przy niewielkiej liczbie gatunków w zbiorowisku nie można jednoznacznie określić udziału konkretnego taksonu w poniesionych stratach, gdyż różnią się szkodliwością i zawsze wchodzą w interakcje między sobą (**Booth i Swanton 2002**).

Silnie rozwinięte chwasty w pierwszych tygodniach po siewie kukurydzy nie tylko ograniczają jej dostęp do wody, ale także światła, co może prowadzić do nadmiernej elongacji roślin, osłabienia i wydelikacenia tkanek, czy zredukowania grubości warstwy woskowej na powierzchni liści, zmniejszenia biomasy korzeni i pędów (**Afifi i Swanton 2011; Dobrzański 2009**). W sytuacji silnego zacienienia plantacji, z uwagi na drastyczne ograniczenie ilości docierającego światła, ich metabolizm zostaje ograniczony, co znajduje odzwierciedlenie między innymi w produkcji cukrów, witamin itp. (**Butts i in. 2017**). Do konkurencji pomiędzy rośliną uprawną a chwastami dochodzi również pod powierzchnią gleby. Pod tym względem ze względu na zróżnicowany skład zbiorowisk chwastów i ich właściwości kukurydza także znajduje się w bardzo trudnej sytuacji. Jej system korzeniowy nie może bowiem stanowić większego zagrożenia dla chwastów (**Silva i in. 2014; Britschgi i in. 2009**). W zbiorowiskach chwastów mogą się znajdować gatunki chwastów, których system korzeniowy penetrować profil glebowy nawet na znaczne głębokości, co ułatwia danym gatunkom korzystanie z wody glebowej i zwiększa tym samym ich konkurencyjność. Chwastnica jednostronna jest jednym z najczęściej pojawiających się w łanie kukurydzy gatunków (**Głowacka i Flis-Olszewska 2022; Chwastek i in. 2020; Idziak i in. 2019**), którego korzenie zazwyczaj sięgają głębokości 30-50 cm, choć może to być nawet 1 m, co pozwala im korzystać z wody nawet w okresach suszy (**Rahn i in. 1968**). Według **Tymrakiewicza (1959)** również korzenie ostrożnia polnego i powoju polnego mogą docierać nawet na ponad 1 metr w głąb profilu glebowego. Według **IPCW (2024)** niektóre korzenie pionowe ostrożnia polnego mogą penetrować profil glebowy aż do głębokości 5-7 m, a powoju polnego 5-9 m (**Holm i in. 1970**).

Zdaniem **Matuszkiewicza** (2024) roślinom uprawnym towarzyszą charakterystyczne dla nich zbiorowiska chwastów, w skład których wchodzi gatunki przystosowane do warunków polowych pod względem cyklu rozwojowego i siedliskowego. Najczęściej występującymi zbiorowiskami chwastów w roślinach uprawnych w naszym kraju są zbiorowiska *Polygono-Chenopodietalia*, w którym dominuje komosa biała, jak również *Echinochloa-Setarietum* i *Polygono-Chenopodietalia*. Spośród wielu gatunków występujących na polach uprawnych Polski do najpowszechniej pojawiających się w roślinach uprawnych zaliczyć można choćby komosę białą, chwastnicę jednostronną, miotłę zbożową chaber bławatek, ostrożeń polny, perz właściwy, fiołek polny, gwiazdnicę, czy rdesty. **Dąbkowska i in.** (2007) wskazuje na dominującą rolę w kukurydzy takich gatunków jak komosa biała, chwastnica jednostronna, tasznik pospolity, maruna bezwonna, natomiast **Rola i Rola** (1987a i 1987b) perz właściwy, komosa biała, ostrożeń polny, chwastnica jednostronna, skrzyp polny, rdestówka powojowata, gwiazdnica pospolita, fiołek polny i rumian polny. W opinii **Latkowskiego** (2002) regionalnie występują natomiast przetaczniki, rumianek pospolity, owies głuchy, szarłat szorstki i tomka wonna.

Skład zbiorowisk chwastów w kukurydzy w poszczególnych latach nie był jednolity. Wyniki analiz wskazują, że pod względem liczebności gatunków dwa pierwsze lata były bardzo podobne (odpowiednio 5 i 6 gatunków), natomiast w ostatnim roku liczba gatunków była w praktyce dwukrotnie wyższa. W trakcie trzech sezonów wegetacyjnych kukurydzy, odnotowano w sumie obecność 15 gatunków chwastów, przy czym analiza składu gatunkowego potwierdziła doniesienia z literatury o dominującym udziale w zbiorowiskach chwastów w kukurydzy przede wszystkim komosy białej, a w nieco mniejszym nasileniu również chwastnicy jednostronnej. Jedynie te dwa gatunki obecne były w kukurydzy każdego roku, co tylko potwierdza, że znajdują one, niezależnie od warunków pogodowych, sprzyjające warunki do wzrostu i rozwoju właśnie w tym gatunku uprawnym. Pozostałe gatunki pojawiały się nieregularnie, w dwu lub tylko w jednym roku badań, a ich udział w zbiorowisku nie przekraczał kilku procent. Według **Gołębiowskiej** (2012) i **Sobiecha i in.** (2018) dominującymi gatunkami chwastów w kukurydzy są właśnie komosa biała i chwastnica jednostronna, które uważane są powszechnie za typowe i uciążliwe gatunki dla tej rośliny uprawnej (**Idziak i Woźnica 2009**). **Trąba i Wiater** (2007) oraz **Głowacka** (2011) wskazują, że komosa biała jest jednym z najpowszechniej spotykanych gatunków chwastów, niezależnie od typu gleby i warunków uprawy. Tak duże wysycenie zbiorowisk chwastów tym gatunkiem może, zdaniem **Gołębiowskiej i in.** (2015), wynikać z coraz większej powierzchni uprawy oraz intensyfikacji produkcji kukurydzy. W każdym roku badań na polstkach doświadczalnych

pojawiały się charakterystyczne dla kukurydzy gatunki chwastów, jednak skład gatunkowy zbiorowisk był każdorazowo na tyle zróżnicowany (zawsze pojawiały się jedynie komosa biała i chwastnica jednostronna), że na podstawie wartości wskaźnika Sorensena można stwierdzić iż podobieństwo między 2018 i 2019, 2019 i 2020 oraz 2018 i 2020 rokiem było małe (Ss na poziomie 20-32%). Wyniki badań **Sarabi i in.** (2013), że w zależności od terminu wschodów oraz zagęszczenia komosy białej może ona ograniczać plonowanie kukurydzy nawet o 70%. Z kolei w przypadku dominacji chwastnicy jednostronnej, w zależności od jej liczebności straty w plonie według **Rusu i in.** (2010) mogą osiągać 5 ton ziarna na hektar.

Należy zauważyć, że o spadku plonu rośliny uprawnej nie decyduje jedynie skład zbiorowiska chwastów, jego zróżnicowanie, ale także szereg innych czynników, takich jak lokalizacja stanowiska, uprawiany gatunek, a nawet jego odmiana. Nie może zatem dziwić, że nawet wówczas gdy skład zbiorowiska chwastów jest taki sam, reakcja rośliny uprawnej z może nie być taka sama. Straty plonu rośliny uprawnej w wyniku obecności w łanie chwastów wynika również z przebiegu warunków pogodowych. W latach charakteryzujących się niedoborami opadów wzrasta bowiem konkurencyjność chwastów w stosunku do roślin kukurydzy, wynikająca z ich lepszego przystosowania do radzenia sobie w niekorzystnych warunkach (**Steckel i Sprague 2004; Patterson 1995**). Wyniki badań własnych wskazują, że liczba gatunków w łanie kukurydzy (5 i 6) była podobna w pierwszych i drugim roku badań, pomimo znacznych różnic zarówno w temperaturze, jak i opadach. Sezon wegetacyjny roku 2018 był bowiem bardzo ciepły (+3,23°C) ze stosunkowo niewielkim deficytem wody (-26,6 mm), a rok 2019 znacznie chłodniejszy, choć mimo to cieplejszy o 0,75°C od średniej z wielolecia, ale z deficytem wody na poziomie aż 103,1 mm. Pomimo tak dużych różnic w warunkach pogodowych liczba zbiorowiska chwastów pod względem liczby gatunków były niemal identyczne, choć różniły się gatunkami które wchodziły w ich skład. W cieplejszym roku, przy stosunkowo niewielkim niedoborze wody w dobrze radziły sobie komosa biała i chwastnica jednostronna, których udział przekraczał 90%. Towarzyszyły im jeszcze psianka czarna, rdest ptasi i rdestówka powojowa, ale ich udział był w sumie zaledwie kilku procentowy. W chłodniejszym roku 2019, ale w warunkach wyraźnego niedoboru opadów wyraźnie lepiej od komosy białej poradziły sobie takie gatunki jak tasznik pospolity, chwastnica jednostronna oraz bodziszek drobny, przy śladowym udziale fiołka polnego i maruny bezwonnej. Uzyskanie wyższego plonu ziarna kukurydzy w drugim roku badań mogło wynikać właśnie z mniejszej presji komosy białej i chwastnicy jednostronnej na rośliny kukurydzy. Warunki pogodowe w roku 2020, tj. temperatura wyższa od średniej z wielolecia o 1,1°C i opadach niższych od wielolecia o 42,2 mm zdawały się sprzyjać rozwojowi chwastów, gdyż na poletkach

stwierdzono obecność aż 11 ich gatunków, choć tak spora liczba taksonów może być myląca, gdyż zdecydowanie w zbiorowisku dominowała komosa biała (87%), a udział każdego z pozostałych gatunków wahał się w przedziale od 0,4 do 1,6%. Należy zauważyć, że pomimo wyraźnych różnic w składzie gatunkowych i liczebności osobników pomiędzy pierwszymi i trzecim rokiem badań wpływ na plon był bardzo zbliżony, o czym świadczy poziom plonowania kukurydzy.

Woda jest nierozłącznym elementem zabiegów ochrony roślin, gdyż wykorzystywana jest do przygotowanie cieczy opryskowej, jest medium w którym rozpuszczane są środki ochrony roślin stanowiąc 99% objętości cieczy opryskowej (**Whitford i in. 2009**). Jej jakość zatem także ma wpływ na skuteczność chwastobójczą herbicydów. O jakości wody i jej przydatności jako rozpuszczalnika dla herbicydów decyduje między innymi jej odczyn oraz twardość (**Cunha i in. 2020; Sobiech i in. 2020; Devkota i Johnson 2016; Zollinger i in. 2010**). Odczyn cieczy opryskowej ma bardzo duże znaczenie dla herbicydów, których rozpuszczalność jest uzależniona od pH. W warunkach niskiego pH cieczy opryskowej dochodzi do hydrolizy lub ograniczenia rozpuszczania herbicydów (**Mueller i Steckel 2019**), szczególnie tych z grupy sulfonilomocznika, tak jak nikosulfuron, rimsulfuron, jodosulfuron itd. Ich rozpuszczalność wzrasta ze wzrostem pH cieczy (**Green i Hale 2005; Green Cahill 2003**) i są wówczas bardziej skuteczne (**Woźnica i in. 2003**), natomiast rozpuszczalność terbutylazyny i bromoksynilu nie jest zależna od odczynu cieczy opryskowej (**Yalkowsky i in. 2010; Worthing i Walker 1987**). Działanie samodzielnie stosowanego nikosulfuronu uzależnione jest zatem nie tylko od pH cieczy opryskowej, ale także odczynu środowiska w którym się znajduje po zabiegu (**Feng i in. 2017**). W badaniach własnych stosowano mieszaninę, w skład której wchodziły wspomniane trzy substancje. W badaniach laboratoryjnych stwierdzono, że umieszczenie w wodzie stanowiącej podstawę cieczy opryskowej, siarczanu cynku, adiuwantów lub ich mieszanin zawsze przekładało się na obniżenie pH cieczy, z tym, że adiuwant Atpolan Bio 80 EC utrzymywał się na najwyższym poziomie (średnio pH 7,07), siarczan cynku na niższym (pH 6,67), a ich mieszanina na poziomie 6,03. Wyraźny spadek pH (zgodnie z danymi z etykiety) powodował adiuwant Lewar pH- Fungi (pH 3,39), tym bardziej gdy towarzyszył mu cieczy siarczan cynku (pH 2,81). Uzyskane w badaniach szklarniowych wyniki skuteczności chwastobójczej mieszaniny bromoksynil + terbutylazyna + nicosulfuron wskazują na wyraźnie pozytywny wpływ dodatku adiuwanta Atpolan Bio 80 EC, a drastyczny spadek skuteczności po umieszczeniu w cieczy adiuwanta Lewar pH- Fungi. Wykorzystanie samego siarczanu cynku jako adiuwanta nie

wpłynęło tak pozytywnie na działanie mieszaniny jak Atpolan Bio 80 EC, jednakże zdecydowanie korzystniej niż dodatek samego adiuwanta Lewar pH- Fungi. Sytuacja uległa zmianie, gdy w cieczy opryskowej znajdował się już siarczan cynku a adiuwanty były dla niego dodatkiem. W tym przypadku pomimo tego, że w mieszaninie znajdował się także nikosulfuron, którego działanie uzależnione jest w dużej mierze od odczynu cieczy, najlepsze efekty uzyskano w przypadku cieczy, w skład której wchodził siarczan cynku i Lewar pH- Fungi i to pomimo tego, że odczyn cieczy opryskowej był bardzo niski (pH 2,76-2,90). Wyniki wskazują zatem, że praktycznie taką samą skuteczność chwastobójczą mieszaniny substancji z dodatkiem adiuwanta Atpolan Bio 80 EC oraz mieszaniny w składzie, której był siarczan cynku i Lewar pH- Fungi. Takie działanie może być wynikiem synergistycznego oddziaływania pomiędzy siarczanem cynku a adiuwantem Lewar pH- Fungi, który bardzo silnie obniżył pH cieczy, co z kolei wpływa na większą rozpuszczalność siarczanu cynku i szybszego transportu w roślinie (**Li i in. 2019; Sadeghzadeh 2013**), a przy okazji zapewne także substancji aktywnych zawartych w cieczy opryskowej. Wyniki wskazują, że niesprzyjające rozpuszczalności nikosulfuronu warunki (niskie pH) na tyle były sprzyjające działaniu pozostałych składników, że zwalczanie taką mieszaniną było najskuteczniejsze. Jak wskazują jednak **Fernández i Eichert (2009)** wszystkie czynniki wpływające na skuteczność aplikacji dolistnej cynku nie są dobrze poznane, w tym w jaki sposób forma chemiczna, w której składnik odżywczy jest stosowany wpływa na jego pobieranie, translokację i ogólną skuteczność.

Wpływ adiuwantów także na właściwości fizyczne cieczy uzależniony jest od substancji aktywnych wchodzących w ich skład. Najczęściej adiuwanty składają z kilku różnych substancji, w tym olejów lub ich pochodnych oraz emulgatora, którego funkcję spełnia surfaktant. Uzupełnieniem składu mogą być sole mineralne, np. w postaci nawozów mineralnych, głównie azotowych (**Pacanoski 2015; Penner 2000**). Skuteczne działanie herbicydów wynika zdaniem **Knezevic i in. (2009)** w głównie z możliwości ich silniejszego pobierania i wchłaniania przez roślinę. Substancje aktywne muszą bowiem być naniesione na rośliny, zatrzymać się na nich, ulec absorpcji i przemieszczenie do miejsca działania, gdzie musi się zgromadzić ich ilość wystarczająca do spowodowania śmierci rośliny (**Délye i in. 2013; Cobb i Reade 2010**). Zintensyfikowanie tych procesów możliwe jest dzięki stosowaniu adiuwantów, szczególnie tych, które dzięki zawartości kilku komponentów wykazują bardzo szerokie działanie i pozwalają zminimalizować niekorzystny wpływ szeregu czynników, które ostatecznie na skuteczność zabiegów (**Singh i in. 2002**). Zatrzymanie cieczy opryskowej na powierzchni liści, a w dalszej kolejności ich absorpcja modyfikowane są właściwościami

fizycznymi cieczy opryskowej, w tym przede wszystkim napięciem powierzchniowych i kątem przylegania kropeł do powierzchni liścia. Wartości tych parametrów mogą być kontrolowane przez dodatek adiuwantów, w skład których wchodzi surfaktant, którego głównym zadaniem jest obniżenie napięcia powierzchniowego kropeł cieczy, a tym samym również kąt przylegania, co ma znaczenie dla równomierności pokrycia liści chwastów przez ciecz opryskową (**Sobiech i in. 2020; Calore i in. 2014**). W przypadku adiuwantów opartych o oleje i ich pochodne, których działanie polega na zwiększeniu przenikania herbicydów przez przeszkody jakimi są między innymi wosk kutykularny, ściana komórkowa i aparaty szparkowe, niezbędnym dla ich rozpuszczenia w wodzie jest obecność surfaktantów (**Staiger 2019**).

Napięcie powierzchniowe, to właściwość powierzchni cieczy wynikająca z siła przyciągania wywierana na cząsteczki powierzchniowe cieczy przez cząstki znajdujące się pod nią, które starają się wciągnąć cząstki powierzchniowe do wewnątrz, sprawiając tym samym, że ciecz przyjmuje kształt o najmniejszej powierzchni (**MW 2024**), co oznacza, że dąży do układu o jak najmniejszej energii, czyli kulistego kształtu kropli (**PWN 2024b**). Obniżenie napięcia powierzchniowego osłabia przyciąganie do siebie cząstek cieczy, przez co krople zwiększają swoją powierzchnię, lepiej się rozprzestrzeniają i pokrywają większą powierzchnię ciała stałego (**Hauner i in. 2017**).

Parametr jakim jest kąt zwilżania wykorzystywany jest do scharakteryzowania kropeł osadzających się na powierzchni ciała stałego, biorąc pod uwagę czynniki interakcji cieczy rozprzestrzeniającej się na powierzchni i obszaru objętego rozpyleniem. Gdy kąt zwilżania jest mniejszy niż 90° , powierzchnia jest uważana za hydrofilowa, a w przeciwnym razie za hydrofobową. Niektóre powierzchnie mogą wykazywać super hydrofobowość, gdy kąt zwilżania kropli na powierzchni przekracza 160° (**Tang i in. 2008**). W przypadku wysokich wartości kąta zwilżenia obserwuje się odpychanie kropeł cieczy przez powierzchnię, natomiast przy niskich wartościach stwierdza się tendencję do rozprzestrzeniania i przylegania do powierzchni (**Huhtamäki i in. 2018**). Zmienną determinującą także kąt zwilżenia kropli jest także powierzchnia liści chwastów (**Menendez i in. 2010**). Zmniejszenie kąta zwilżania kropli na powierzchni liści może poprawić penetrację i wchłanianie produktów przez rośliny (**da Silva Santos i in. 2021**). Niższe kąty kontaktu rozpylonej wody lub agrochemikaliów zwiększają bowiem obszar kontaktu między cieczą a powierzchnią liścia i potencjalnie sprzyjają procesowi absorpcji dolistnej (**Jura-Morawiec i Marcinkiewicz 2020**). Umieszczenie adiuwanta w cieczy opryskowej adiuwanta wpływa na zmniejszenie zarówno napięcia powierzchniowego, jak kąta zwilżenia kropek cieczy opryskowej (**Santos i in. 2019**). Należy jednak zauważyć, że

stosowanie adiuwantów nie zawsze zapewnia jest równoznaczne z lepszym działaniem środków, zwłaszcza gdy nie bierze się pod uwagę wielkości kropli oraz różnych składów anatomicznych i wosków epikutikularnych chwastów (**Maciel i in. 2010**). Innym czynnikiem jest rodzaj zastosowanego adiuwantu, ponieważ właściwości fizyczne i chemiczne tych produktów mogą w różny sposób oddziaływać nie tylko na siebie, ale również na powierzchnię liści (**Xu i in. 2011**). Napięcie powierzchniowe mieszanin cieczy roboczych zawierających środki ochrony roślin może mieścić się w zakresie od ok. 30 do nawet ponad 70 mN/m (**Meng i in. 2021; Carvalho i in. 2018; Decaro i in. 2015**). Optymalnym wydaje się 30-40 mN/m, ale z uwagi na szereg czynników wpływających na skuteczność zabiegów herbicydowych, nie zawsze jest takie wartości przekładają się na zadowalający efekt końcowy (**Sobiech i in. 2020**).

Wyniki eksperymentu szklarniowego wskazują, że umieszczenie w wodzie jakiegokolwiek z badanych dodatków (siarczan cynku, adiuwanty lub ich mieszaniny) powodowało spadek zarówno napięcia powierzchniowego, jak i kąta zwilżania kropli cieczy opryskowej. W przypadku kąta zwilżenia stwierdzono wyraźne zróżnicowanie wartości tego parametru w zależności od dodatków. Najsilniejszą redukcję kąta otrzymano, gdy dodatkiem do była mieszanina siarczanu cynku z adiuwantem Lewar pH- Fungi, słabszą gdy dodano adiuwanty Atpolan Bio 80 EC lub Lewar pH- Fungi, które działały w podobny sposób. W jeszcze mniejszym stopniu kąt zwilżenia zmniejszał dodatek mieszaniny siarczanu cynku i Atpolan Bio 80 EC, a najslabiej pod tym kątem działało samo umieszczenie w cieczy siarczanu cynku. Jak wskazują wyniki kierunek zmian był taki sam, tzn. niezależnie od składu mieszanin wartość kąta zwilżenia była bardzo wyraźnie niższa od kropli samej wody, ale już wartości tego parametru były ściśle związane z konkretnymi dodatkami. Dodatek adiuwantów, w tym siarczanu cynku miał także istotny wpływ na wartości napięcia powierzchniowego kropli cieczy opryskowej (silna redukcja w stosunku do kropli samej wody), choć w przypadku tego parametru różnice pomiędzy dodatkami nie był aż tak wyraźne jak przy kącie zwilżenia. Wartości tego parametru mieściły się bowiem w przedziale od 29,6-32,3 mN/m dla mieszanin zawierających adiuwanty i ich mieszaninę z siarczanem cynku, do 34,8 mN/ gdy w cieczy znajdował się jedynie siarczan cynku. Badania własne wskazują, że siarczan cynku wpływał na właściwości fizyczne cieczy opryskowej, co w przypadku nawozów mineralnych pełniących funkcję adiuwanta nie zawsze się potwierdza (**Idziak i in. 2013**). Skuteczność zabiegów szklarniowych potwierdza, że nie tylko nie tylko właściwości fizyczne, ale szereg innych czynników ma wpływ na efekt końcowy, gdyż jak wskazują wyniki badań własnych nie zawsze

optymalne wartości napięcia powierzchniowego i kąta przylegania, przekładały się na bardzo dobrą skuteczność mieszanin, tak jak, np. w przypadku adiuwanta Lewar pH- Fungi.

Rośliny, których początkowy wzrost jest wolny, stwarzają korzystniejsze warunki do wzrostu i rozwoju chwastów niż gatunki, które tworzą szybkorosnący, zwarty łan. Gatunkiem charakteryzującym się niewielką konkurencyjnością w stosunku do chwastów jest między innymi kukurydza, dlatego zwalczanie chwastów na plantacji kukurydzy jest niezbędne i zazwyczaj opiera się na zastosowaniu środków chemicznych (**Idziak i Woźnica 2016**), choć zgodnie z wytycznymi Integrowanej Ochrony Roślin w podstawą w ochronie roślin powinny być metody niechemiczne. **Liszka-Podkowa i Sowiński (2009)** zwracają jednak uwagę, że niższa skuteczność metod niechemicznych powoduje, że wciąż są one znacznie mniej powszechne niż metoda chemiczna, ciągle podstawowe narzędzie w ochronie roślin większości krajów świata (**Piowar 2021**). Kontrola chemiczna jest zatem nadal jedną z najczęściej stosowanych metod zwalczania chwastów w rolnictwie. Za wykorzystywaniem tej metody przemawiają przede wszystkim łatwość użycia oraz szybkie działanie i wysoka skuteczność (**Moss 2019; Dan i in. 2011**).

Warunki pogodowe wpływają na procesy fizjologiczne chwastów, a także na skuteczność herbicydów. Wyższe temperatury zwykle zwiększają aktywność herbicydów, a optymalna temperatura dla herbicydów stosowanych powszechnie waha się w przedziale 18-29°C. Temperatura w czasie zabiegów wykonanych w trakcie prowadzenia doświadczenia w pierwszym i drugim roku badań odpowiadała zaleceniom, a w ostatnim 2020 roku była nieco niższa, choć ciągle wystarczająca wysoka aby nie ograniczać działania herbicydów. Wilgotność powietrza, zarówno wysoka (powyżej 70%, zmniejsza parowanie kropel), jak i niska (poniżej 40%, przyspiesza parowanie) zmniejsza skuteczność herbicydów. Dane ze stacji meteorologicznej wskazują, że wilgotność powietrza (50-73%) była korzystna dla działania środków. Brak opadów bezpośrednio przed wykonaniem zabiegów oraz po ich zakończeniu także był czynnikiem sprzyjającym efektywności zabiegów. Na podstawie analizy danych meteorologicznych można zatem stwierdzić, że warunki pogodowe, nie tylko nie utrudniały wykonania zabiegów, ale ich układ był wręcz korzystny dla aktywności herbicydów.

Powszechne i niemal niczym nieograniczone stosowanie herbicydów przez ostatnie dziesięciolecie sprzyjało ewolucji odporności gatunków chwastów na stosowane środki (**Chauhan 2020; Gaines i in. 2020**). Narastający problem odporności chwastów przy jednocześnie ograniczanej liczbie dostępnych i skutecznych herbicydów, i potrzebie stosowania alternatywnych składników aktywnych wpływa najczęściej na zwiększenie

kosztów zwalczania chwastów (**Barbieri i in. 2022**). Zdaniem **Beckie i Harker** (2017) oraz **Norsworthy i in.** (2012) niezbędnym jest nie tylko ograniczenie zarówno liczby, jak i częstotliwości zabiegów, ale przede wszystkim zapobieganie odporności przez stosowanie herbicydów zawierających substancje aktywne o różnych mechanizmach działania (**Bianchi i in. 2020**). Jednym z podejść do stosowania wielu substancji aktywnych o różnych mechanizmach działania jest także przygotowywanie ich w zbiorniku opryskiwacza (**Barbieri i in. 2023**).

Najczęściej w ochronie kukurydzy przed chwastami zaleca się wykonanie pojedynczego zabiegu, doglebowego lub nalistnego, znacznie rzadziej zabiegu dzielonego (**Ikley 2024, PORR 2023**). Pojedynczy zabieg nie zawsze jest na tyle skuteczny a jego działanie rozciąga się w czasie, że należy się w takich przypadkach liczyć pojawieniem się zachwaszczenia wtórnego plantacji, które także może zredukować plon rośliny (**Vahedi i in. 2013**), i z uwagi na konieczność wykonania kolejnego zabiegu powoduje wzrost kosztów ochrony i uprawy, a tym samym obniżenie opłacalności (**Idziak i Woźnica 2010**). Skuteczność zabiegów z reguły jest większa, gdy do zabiegu wykorzystywana jest mieszanina przynajmniej dwóch substancji aktywnych, najlepiej o różnych mechanizmach działania (**Kumari i in. 2018; Kudsk 2002**).

Nie wszystkie herbicydy mogą lub powinny być ze sobą mieszane. Jest to praktycznie możliwe jedynie, gdy są one chemicznie kompatybilne. Ponadto należy zwracać uwagę aby wchodzące w ich skład substancje czynne charakteryzowały się taką samą trwałością i spektrum zwalczanych chwastów, ale innym mechanizmem działania (). Według **Sørensen i in.** (2007) przygotowywanie mieszanin zbiornikowych z wykorzystaniem kilku herbicydów może wiązać się za ryzykiem wystąpienia interakcji między składnikami, powodując addytywny, synergiczny lub antagonistyczny wpływ na zwalczane chwasty. Na działanie addytywne wskazuje się wówczas, gdy działanie mieszaniny przynajmniej dwóch herbicydów nie różni się od działania herbicydów stosowanych samodzielnie (**Rustom i in. 2019**). W niektórych sytuacjach interakcje między środkami skutkują znacznymi zmianami w ich działaniu chwastobójczym, wzmagając lub ograniczając ich skuteczność. O działaniu antagonistycznym mówi się, w przypadku niepożądanego interakcji, gdy zwalczanie chwastów jest niższe w porównaniu z oczekiwanym działaniem herbicydów stosowanych pojedynczo, a do uzyskania zadowalającego wyniku konieczne jest użycie wyższych dawek herbicydów (**Meyer i in. 2021**). Z kolei synergizm opisuje dowolny rodzaj interakcji czy współpracy, która daje wyniki większe niż zwykła suma jego części (**Sukhoverkov i Mylne 2021**). W odniesieniu do synergii między chemikaliami stosowanymi między innymi w rolnictwie zasady wpływające na

interakcje są podobne do tych opisywanych dla niektórych leków (**Jia i in. 2009**), a sprowadzają się do tego, że jedna substancja chemiczna może zwiększać biodostępność innej substancji chemicznej; jedna substancja chemiczna zwiększa siłę działania drugiej substancji chemicznej; jedna substancja chemiczna zapobiega lub opóźnia degradację drugiej substancji chemicznej; dwie substancje chemiczne działają na ten sam proces fizjologiczny, ale za pomocą różnych mechanizmów; lub dwie substancje chemiczne oddziałują na ten sam szlak biosyntezy, ale hamują różne procesy w różnych miejscach. Współdziałanie substancji aktywnych na zasadach synergizmu jest powszechnie wykorzystywane w tworzeniu mieszanin przeznaczonych do zwalczania możliwie jak największej grupy gatunków chwastów występujących w różnych gatunkach chwastów. Wykorzystanie współdziałania substancji umożliwia także ograniczenie dawek herbicydów, bez negatywnego wpływu na ich skuteczność (**Idziak i in. 2012; Woźnica i Idziak 2011; Idziak i in. 2010; Idziak i in. 2009**).

Woźnica i Idziak (2015) dowiedli iż stosowanie mieszanin herbicydów przygotowywanych tuż przed zabiegiem, ale aplikowanych nie w formie pojedynczego zabiegu, ale dwóch gwarantowało bardzo dobrą skuteczność chwastobójczą (**Idziak i in. 2024; Gołębiowska i Rola 2010**). Stosowanie dwóch lub więcej herbicydów (substancji czynnych) wiąże się z wieloma korzyściami, takimi jak zwiększenie spektrum zwalczanych chwastów, zmniejszenie ryzyka uszkodzenia roślin uprawnych poprzez stosowanie zmniejszonych dawek herbicydów, ograniczając w ten sposób ich pozostałości w glebie lub uprawie, opóźniając pojawienie się odpornych gatunków chwastów, zmniejszenie zagęszczenia gleby poprzez zmniejszenie liczby przejazdów na polu oraz zmniejszenie kosztów produkcji poprzez oszczędność czasu i pracy (**Barbieri i in. 2022; Idziak i in. 2022**), czy ograniczenie ilości dostarczanych do środowiska substancji aktywnych (**Idziak i in. 2024**). Zredukowanie dawek herbicydów, nawet gdy z założenia będą to 2 zabiegi (podwójne koszty samego wjazdu na pole), daje możliwość ograniczenia kosztów, choć nie zawsze dodatni bilans jest widoczny w postaci niższych kosztów ochrony, ale raczej w formie wyższego plonu, którego wartość rekompensuje poniesione nakłady (**Idziak i Woźnica 2010**).

Działanie herbicydów aplikowanych w pełnych dawkach, a tym bardziej w dawkach zredukowanych uzależnione jest od szeregu czynników, bardzo często niesprzyjających ich działaniu. W przełamaniu tych bardziej, ograniczeń pomocne jest umieszczanie w cieczy opryskowej adiuwantów, których działanie powinno korzystnie wpływać na działanie herbicydów, a w ostatecznym rozrachunku na plonowanie roślin i opłacalność ochrony roślin, a tym samym całościową opłacalność danej uprawy (**Idziak i Woźnica 2016**). Pozytywny

wpływ adiuwantów na skuteczność chwastobójczą jest wypadkową nie tylko tego czy był on poprawnie dobrany dla danego herbicydu, ale także jego właściwości fizyko chemicznych oraz gatunków chwastów, które były celem zwalczania. Należy przy tym pamiętać, że żaden adiuwant nie jest w stanie poprawić działania herbicydu w stosunku do gatunków chwastów, które w etykiecie środka wskazane są jako odporne na dany preparat. Mając do czynienia w warunkach polowych z chwastami we wczesnych fazach rozwojowych, zdaniem **Curran i in.** (2009) w sprzyjających działaniu herbicydów warunkach należy jako adiuwanta użyć surfaktanta niejonowego. Z kolei, gdy chwasty są starsze adiuwantem powinien być preparat na bazie koncentratu olejowego. Możliwość dodania do mieszaniny jeszcze adiuwanta mineralnego, na bazie nawozu azotowego jest w takim przypadku uzależniona o odpowiedniego zapisu w etykiecie środka. Działanie adiuwantów, podobnie jak herbicydów, jest tym pełniejsze i skuteczniejsze, im więcej komponentów znajduje się w jego składzie (**Kudsk i Mathiassen 2007**).

W badaniach własnych wykorzystano adiuwanty różniące się w sposób bardzo wyraźny pod kątem wpływu na odczyn cieczy opryskowej, co jest istotne w przypadku rozpuszczalności herbicydów i trwałości formulacji. Badana mieszanina zawierała między innymi terbutylazynę i bromoksynil, na których działanie pH cieczy nie ma wpływu oraz nikosulfuron, którego działanie, jak wskazują liczne doniesienia (**Mitrić i in. 2024; Silveira i in. 2020; Green i Hale 2005; Grenn i Cahill 2003**), jest ściśle związane z odczynem cieczy opryskowej. Otrzymane wyniki wskazują jednak, że pH cieczy opryskowej nie miało decydującego wpływu na działanie mieszanin herbicydów, bowiem nawet w warunkach niskiego, a wręcz bardzo niskiego odczynu cieczy opryskowej spowodowanego dodatkiem adiuwanta Lewar pH- Fungi działanie mieszanin było bardzo skuteczne. Najprawdopodobniej taka reakcja wynika z obecności w cieczy terbutyloazyna i bromoksynilu, które w takich warunkach działały prawidłowo i bardzo dobrze wywiązały się ze swojego zadania. Być może mogło też dojść do swego rodzaju efektu synergistycznego, czyli pozytywnego wpływu niecałkowicie rozpuszczonego nikosulfuronu na działanie pozostałych substancji.

Zadaniem zabiegów odchwaszczających jest zapewnienie roślinie uprawnej jak najlepszych, najkorzystniejszych warunków dla jej dalszego wzrostu i rozwoju (**Rahayu i in. 2021; Iderawumi i Friday 2018**). Niezbędnym dla osiągnięcia wysokich plonów jest dostępność dla roślin składników pokarmowych, w tym przede wszystkim azotu, który jest w praktyce jedynym składnikiem decydującym o plonie. Obecność innych składników w glebie i ich dostępność dla rośliny uprawnej jest równie ważna, ale nie wpływa bezpośrednio na plon

roślin, a na efektywność wykorzystania innym składników, w tym przede wszystkim azotu (**Karami i in. 2016; Potarzycki 2008**). Jednym z najistotniejszych składników pokarmowych dla kukurydzy, limitującym jej wzrost i ograniczającym plonowanie jest cynk (**Zhang i in. 2013**). Zdaniem **Murawskiej i Spycha-Fabisiak (2010)** to przyswajalność cynku zależy nie od właściwości gleby, ale od głównie od gatunku rośliny uprawianej na polu, to bowiem roślina determinuje jego mobilność chemiczną.

Jak wskazuje **Szatanik-Kloc i Bowanko (2007)** od zasobności gleby w ten składnik uzależniony jest metabolizm roślin uprawnych, zwłaszcza kukurydzy. **Dryjański (2017)** wskazuje na szereg procesów, których przebieg w bezpośredni sposób uzależniony jest od obecności cynku, np. wydajność fotosyntezy, odporność roślin, gospodarka hormonalna roślin, czy jak już wspomniano wyżej, wykorzystanie azotu. Cynk może być dostarczony roślinom w formie dolistnego zabiegu, w dwu zabiegach. Aplikując cynk doglebowo należy pod roślinę dostarczyć od 4 do 10 kg składnika na hektar, ale w formie zabiegu nalistnego wystarczy już jedynie 0,5-1,5 kg Zn/ha (**Cakmak 2004**). Terminy dostarczenia cynku zbiegają się z opryskami kukurydzy herbicydami w systemie dawek dzielonych, co umożliwia jednocześnie wykonanie zadań. W ten sposób w jednym zabiegu zapewnia się kukurydzy nie tylko dobre warunki do wzrostu (brak konkurencji chwastów), ale także dostępność do istotnego składnika pokarmowego.

Wyniki uzyskane w doświadczeniu własnym wskazują, że zwalczanie chwastów w systemie dawek dzielonych jest rozwiązaniem gwarantującym wysoką skuteczność zabiegów, ale pod warunkiem umieszczenie w cieczy opryskowej także adiuwanta. Aplikacja samego herbicydu, nawet gdy jest on wieloskładnikowy, nie zapewnia bowiem satysfakcjonującej kontroli zachwaszczenia, a najczęściej kończy się wyraźnym spadkiem skuteczności zabiegu. W zależności od stosowanej substancji aktywnej zwalczanie poszczególnych gatunków chwastów także może się różnicować, co znalazło potwierdzenie we własnych wynikach, choć należy zaznaczyć, że skuteczność zabiegów, niezależnie od zastosowanych dodatków (same adiuwanty bądź ich mieszanina z siarczanem cynku) była najczęściej taka sama lub zbliżona do efektywności dawki pełnej herbicydu. Nawet wykorzystanie samego siarczanu cynku w formie $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ przyczyniało się do utrzymania wysokiej skuteczności mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem. **Idziak i in. (2014)** zwracają również uwagę na pozytywny wpływ nawozu cynkowego na działanie mieszanin herbicydów, ale jednocześnie należy mieć na uwadze, że działanie to zależy od formy w jakiej cynk jest dostarczany. Autorzy stwierdzili bowiem brak jakiegokolwiek negatywnego wpływu siarczanu cynku

($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) na rośliny kukurydzy, ale już cynk aplikowany w formie chlorku ($ZnCl_2$) przyczyniał się do uszkodzeń roślin.

Pielęgnacja roślin w trakcie sezonu wegetacyjnego ma na celu zapewnienie im jak najlepszych warunków rozwojowych, a ostatecznie uzyskanie możliwie wysokiego plonu. Zdaniem **Sypa (2015)** plonowanie kukurydzy może wzrosnąć w Polsce o ponad 20%. Wyeliminowanie lub choćby ograniczenie konkurencji ze strony chwastów w przypadku kukurydzy jest zatem bardzo istotnym elementem agrotechniki tego gatunku (**Landau i in. 2021**). W trakcie badań własnych na poletkach odnotowano obecność 15 gatunków chwastów, ale powszechnie występującymi i to w każdym roku były jedynie komosa biała i chwastnica jednostronna, które to gatunki wskazywane są jako najbardziej uciążliwe dla kukurydzy (**Bensch i n. 2023; Idziak i in. 2019; Głowacka 2011; Jensen i in. 2011; Dąbkowska i in. 2007**). To głównie z powodu ich obecności plon kukurydzy z obiektów kontrolnych nie przekraczał 4,8-5,0 ton ziarna z hektara, co w porównaniu do plonu z obiektów chronionych chemicznie oznaczało redukcję plonu w granicach 56-64%. Wyniki własne wskazują na wzrost plonowania kukurydzy niezależnie od terminu stosowania i składu mieszanin. Nie stwierdzono bowiem różnic w wysokości plonu między obiektami, na których stosowano pełną dawkę herbicydów w pojedynczym zabiegu, a ich aplikacją w dawkach zredukowanych, w dwóch terminach bez i z dodatkiem adiuwantów i siarczanu cynku. Obecność chwastów w łanie kukurydzy przekłada się nie tylko na wysokość plonu, ale także jego jakość. **Nadeem i in. (2016)** oraz **Yilmaz i Aydin (2022)** wskazują, że obecność chwastów w kukurydzy wpływała na słabsze wykształcenie ziarniaków kukurydzy, niż przy braku konkurencji z ich strony. Wyniki własne wskazują nie tak jednoznaczny wpływ zachwaszczenia na masę 1000 ziaren kukurydzy, gdyż jedynie w pierwszym roku badań stwierdzano zależność wskazaną w literaturze natomiast w kolejnych latach masa ziarniaków praktycznie nie była modyfikowana w wyniku zwalczania chwastów, co też znalazło takie samo odzwierciedlenie w masie hektolitra ziarna. Zwalczanie chwastów nie było czynnikiem decydującym o obsadzie roślin kukurydzy w doświadczeniu własnym, gdyż nie stwierdzono różnic w ilości roślin na jednostce powierzchni pomiędzy kontrolą a obiektami, gdzie chwasty zwalczano. Negatywne oddziaływanie nie dotyczyło zatem obsady roślin, ale silna konkurencja ze strony chwastów miała wpływ rozwój roślin kukurydzy i ostatecznie uwidoczniła się w wysokości plonu ziarna. Chwasty bardzo silnie konkurują z kukurydzą o miejsce i dostęp do światła, dlatego w ich obecności rośliny uprawne są zazwyczaj znacznie niższe i słabiej rozwinięte. Własne wyniki potwierdzają te zależności, bowiem rośliny z obiektów, na których zwalczano chwasty,

niezależnie który wariant stosowano, były wyraźne wyższe od roślin z kontroli, choć w ostatnim roku badań taki układ się nie potwierdził.

Cynk jest jednym z najistotniejszych składników pokarmowych w rozwoju kukurydzy a wpływa między innymi na przepuszczalność błony komórkowej, a więc bariery którą w drodze do miejsca działania musi pokonać herbicyd (**Aktas i in. 2006**). Doniesienia literaturowe wskazują jednak przede wszystkim na korzyści wynikające z nawożenia cynkiem dla plonu roślin, zwłaszcza gdy składnika tego brakuje w glebie (**Suganya i in. 2020; Hafeez i in. 2013**). Zdaniem **Capo i in. (2024)**, że zastosowanie cynku przekłada się na rozwój roślin, choć lepsze efekty uzyskuje się, gdy nawóz stosowany jest siewie. Aplikacja dolistna nawozu cynkowego może zaś nie przynieść znaczących korzyści dla rozwoju roślin. Wyniki badań własnych potwierdzają, że zastosowanie cynku nie miało bezpośredniego przełożenia na wysokość plonu ziarna kukurydzy, gdyż był on praktycznie na takim samym poziomie niezależnie od zastosowanej do zwalczania chwastów mieszanki, podobnie jak zawartość białka w ziarnie kukurydzy, która była zróżnicowana, ale nie tyle aby można było stwierdzić, że istotne dla wartości tego parametru było zastosowanie cynku. Wyniki badań nie potwierdzają w pełni korzystnego wpływu cynku na pobieranie azotu przez rośliny kukurydzy i zmagazynowanie go w ziarnie w postaci białka, co mogło mieć związek ze średnią zawartością tego składnika w glebie. **Baran (2011)** zwraca uwagę, że kukurydza jest rośliną mało wrażliwą na ponadnormatywne zwartości cynku w glebach, a bardziej wrażliwą na jego niedobór. Prawdopodobnie pozytywny wpływ cynku na zawartość białka w ziarnie byłyby znacznie lepiej widoczny i statystycznie istotny w warunkach znacznie silniejszego niedoboru cynku w glebach (**Mutambu i in. 2023**).

Ostatecznym ukoronowaniem całokształtu działań rolnika w trakcie wegetacji danego gatunku uprawnego jest wysokość uzyskanego plonu oraz kalkulacja kosztów i przychodów składające się na finalny efekt uprawy. Chwasty stanowią najpoważniejsze zagrożenie dla roślin kukurydzy, dlatego odchwaszczanie jest w praktyce jednym z najistotniejszych zabiegów agrotechnicznych w uprawie tego gatunku. Ochrona kukurydzy stanowi zwykle ok. 5-6% kosztów całkowitych uprawy (**WIR 2024**). Usprawniając zwalczanie chwastów rolnik jest w stanie ograniczyć koszty zabiegów, poprzez przede wszystkim redukcję dawek herbicydów i ich stosowanie z adiuwantami. Kolejnym krokiem może być zastosowanie zabiegów w systemie dawek dzielonych, w których wykonanie zabiegu uzależnione jest od fazy rozwojowej chwastów. Zastosowanie herbicydów w znacznie obniżonych dawkach na chwasty w fazie siewek, pierwszy raz wschody chwastów pojawią się w fazie 2-3 liści kukurydzy, kolejna

aplikacja ma natomiast miejsce po kolejnych wschodach chwastów co przypada na 5-6 liść kukurydzy. Ten sposób pozwala wydłużyć okres kontroli nad chwastami, zwykle aż do momentu, gdy rośliny kukurydzy są w stanie konkurować chwastami. Należy jednak wziąć pod uwagę, że aplikacji herbicydów w formie dwóch zabiegów jest bardzo skuteczna i pozwala z reguły utrzymać pole niemal wolne od chwastów aż do zbioru kukurydzy, ale koszty przy takim podejściu są nieco wyższe (**Idziak i Woźnica 2010**). Autorzy ci wskazują jednak, że dzięki takiemu podejściu zaistniały warunki do silniejszego wzrostu plonu kukurydzy, a dzięki temu uzyskania większej opłacalności z uwagi na relację wysokości plonu do kosztów zabiegów (**Idziak i Woźnica 2010; Woźnica i Idziak 2010**). Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają te zależności, i także wskazują na fakt, że o końcowym wyniku nie zawsze decydują wyższe koszty zabiegów (w badaniach udział kosztów, w zależności od kombinacji wahał się od 4,3 do nawet 11%), ale uzyskany dzięki skutecznym zabiegom przyrost plonu i uzyskany w ten sposób przychód. W większości kombinacji nawet przy większym udziale kosztów opłacalność odchwaszczania była bowiem równa kombinacji, na której stosowano jednokrotny zabieg pełną dawką herbicydów, bądź o 1 do 6% wyższa, pomimo konieczności dwukrotnego wjazdu na pole.

Rolnictwo jest jednym z największych zagrożeń dla różnorodności biologicznej głównie z powodu stosowania pestycydów (**Wepprich i in. 2019; Heldbjerg i in. 2018; Hallman i in. 2017**), w przypadku kukurydzy głównym źródłem emisji substancji czynnych są natomiast herbicydy (**Holka i Kowalska 2023**). Dodatek adiuwantów pozwala zmniejszyć dawki herbicydów na co wyraźnie wskazują wyniki obliczeń ED₅₀ uzyskane w trakcie prowadzenia badań. To z kolei skutkuje ograniczeniem ilości substancji wprowadzonych na pole, a ich dwukrotna aplikacja pozwala rozdzielić w czasie ilość wykorzystywanych substancji aktywnych (**Idziak i in. 2024**). Jest to istotne nawet wówczas, gdy sumarycznie dawki substancji aktywnych docierających do środowiska są takie same a nawet nieco wyższe niż w pojedynczym zabiegu. Należy w takim przypadku mieć bowiem na uwadze, że w trakcie pojedynczego zabiegu ilość substancji aktywnych jest zdecydowanie niższa i presja na środowisko w ten sposób najprawdopodobniej również jest mniejsza.

6. STWIERDZENIA I WNIOSKI

1. W trakcie badań na poletkach doświadczalnych stwierdzono obecność w sumie 15 gatunków chwastów (5 w pierwszym, 6 w drugim i 11 w trzecim roku). We wszystkich latach zbiorowiska chwastów zdominowane były przez jedynie komosę białą (*Chenopodium album* L.) i chwastnicę jednostronną (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.).
2. Dodatek do cieczy opryskowej zawierającej mieszaninę bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem siarczanu cynku, adiuwantów lub ich mieszanin obniżał napięcie powierzchniowe i kąt przylegania kropeł cieczy opryskowej w

porównaniu do wody użytej do przygotowania cieczy. Wartości obu parametrów były niższe, gdy w cieczy znajdował się adiuwant lub adiuwant i siarczan cynku. Wpływ samego siarcznanu cynku, szczególnie na napięcie powierzchniowe kropeł cieczy był wyraźnie słabszy niż pozostałych dodatków.

3. Na podstawie wartości wskaźnika ED₅₀ stwierdzono, że dobierając odpowiedni dla danego herbicydu(ów) adiuwant możliwym jest zredukowanie dawki herbicydów, ale utrzymanie jego wysokiej skuteczności.
4. Wyniki badań szklarniowych wskazują, na wysoką skuteczność zwalczanych chwastnicy jednostronnej mieszaniną bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem aplikowaną z dodatkiem adiuwanta Atpolan Bio 80 EC oraz siarcznanu cynku z adiuwantem Lewar pH- Fungi (91%). Działanie mieszaniny herbicydów z dodatkiem jedynie siarcznanu cynku lub siarcznanu cynku z adiuwantem Atpolan Bio 80 EC było wyraźnie słabsze (60 i 73%), a w obecności jedynie adiuwanta Lewar pH- Fungi bardzo słabe (29%).
5. Skuteczność chwastobójcza mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem w systemie dawek dzielonych w dwóch zabiegach, niezależnie od braku lub dodatku adiuwantów, w tym siarcznanu cynku była w stosunku do komosy białej bardzo wysoka, na poziomie zabiegu pojedynczego pełną, zalecaną przez producenta dawką.
6. Zastosowanie dwukrotne mieszaniny herbicydów bez dodatku adiuwantów wpływało na spadek skuteczności zwalczania chwastnicy jednostronnej. Umieszczenie w cieczy adiuwantów przywracało skuteczność bliską pełnej dawce herbicydów, przy czym stwierdzono słabsze działanie herbicydów w obecności jedynie siarcznanu cynku i jego mieszaniny z adiuwantem Trend 90 EC.
7. Wyniki ogólnej skuteczności chwastobójczej (po uwzględnieniu wszystkim obecnych gatunków chwastów w danym roku) potwierdzają, że dodatek adiuwantów, w tym samego siarcznanu cynku, wpływał korzystnie na działanie mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem i bardzo skutecznie ograniczał zachwaszczenie kukurydzy.
8. Zastosowanie mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem oraz siarcznanem cynku i adiuwantami było w pełni bezpieczne dla roślin kukurydzy odmiany PR39H32.
9. Plon ziarna kukurydzy zarówno po zastosowaniu pełnej dawki mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną i nikosulfuronem w pojedynczym zabiegu, jak i po

aplikacji w dwóch zabiegach w dawkach obniżonych z dodatkiem adiuwantów i siarczanu cynku był wyższy niż z obiektu kontrolnego, na którym chwastów nie zwalczano. Nie stwierdzono jednocześnie istotnego zróżnicowania plonu pomiędzy obiektami, na których stosowano herbicydy i adiuwanty.

10. Badane mieszaniny herbicydów z dodatkami w niewielkim stopniu różnicowały wartości takich parametrów ziarna kukurydzy jak masa 1000 ziaren i masa hektolitra oraz obsadę roślin kukurydzy. Różnic nie obserwowano szczególnie pomiędzy obiektami, na których stosowano herbicydy z dodatkami.
11. Kontrola zachwaszczenia, niezależnie od zastosowanych rozwiązań, wpływała korzystnie na wysokość roślin kukurydzy, która w obecności chwastów była wyraźnie niższa niż przy ich braku.
12. Zawartość białka w ziarnie kukurydzy z obiektów, które traktowane były cieczą opryskową w skład której wchodził siarczan cynku wahała się od 8,9 do 9,4%. W ziarnie z pozostałych obiektów była niższa, ale przy braku wyraźnego potwierdzenia tych zależności przez analizę statystyczną, można w tym wypadku mówić jedynie o trendzie wskazującym na lepsze wykorzystanie azotu przez rośliny kukurydzy z obiektów, na których stosowano siarczan cynku.
13. Opłacalność zwalczania chwastów wynika z wielkości i wartości zebranego plonu pomniejszonego o koszty zabiegów. Wyższy udział kosztów zabiegów wynikał z ilości stosowanych oprysków oraz składu mieszaniny i wahał się od 4,3% (zabieg pojedynczy pełną dawką herbicydów) od 11,1% (dwukrotny zabieg mieszaniną zawierającą bromoksynil z terbutylazyną i nikosulfuronem oraz siarczan cynku i Lewar pH- Fungi).
14. Wyższa skuteczność chwastobójcza mieszanin herbicydów z adiuwantami stosowanymi w dwóch terminach, pomimo wyższych kosztów zabiegów, stwarza lepsze warunki do wzrostu i rozwoju roślin kukurydzy oraz większe plonowanie, i może ostatecznie przekładać się na lepszą opłacalność produkcji.

7. WYKAZ LITERATURY

1. Abouzienna H.F., El-Saeid H.M., El-Said Amin A.A. 2014-2015. Water loss by weeds: a review. *ChemTech Res.* 07(01): 323–336.
2. ACIAR 2015. Maize production guide for Cambodian conditions. Australian Government. Australian Centre for International Agricultural Research, 74 ss.
3. Afifi M., Swanton C.J. 2011. Maize seed and stem roots differ in response to neighboring weeds. *Weed Res.* 51: 442–450.
4. Agromix 2021. Atpolan Bio 80 EC. Biodegradowalny adiuwant olejowy. Ulotka informacyjna i informacje ogólne. Agromix Niepołomice. <https://agromix.com.pl/atpolan-bio-80-ec>. [Dostęp w Internecie: 13 kwietnia 2021].

5. Aktas H., Abak K., Ozturk L., Cakmak I. 2006. The effect of zinc on growth and shoot concentrations of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. *Turk. J. Agric. For.* 30: 407–412.
6. Aldrich S.R., Scott O.W., Leng E.R., 1982. Modern corn production. *Illinois* 61820, 1–378.
7. Appleby A.P., Müller F., Carpy S. 2001. “Weed Control,” in *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Atlanta, GA: American Cancer Society).
8. Arseniuk E., Oleksiak T. 2009. Postęp w hodowli głównych roślin uprawnych w Polsce i możliwości jego wykorzystania do 2020 roku. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 14: 293–306. doi: 10.26114/sir.iung.2009.14.18
9. Bacuła A., Budek A., Kozak M., Starkel L., Wiejaczka Ł. 2016. Kierunki przemian środowiska przyrodniczego dolin gorczańskich. *Prace Geograficzne* 252: ss. 111.
10. Baran A. Reakcja kukurydzy na toksyczną zawartość cynku w glebie. *Proceedings of ECOpole* 5(1): 15
11. Barbieri G.F., Young B.G., Dayan F.E., Streibig J.C., Takano H., Merotto Junior A., Avila L.A. 2022. Herbicide mixtures: interactions and modeling. *Adv Weed Sci.* 40(Spec1): e020220051.
12. Barbieri G.F., Young B.G., Dayan F.E., Streibig J.C., Takano H., Merotto Junior A., Avila L.A. 2023. Herbicide mixtures: interactions and modeling. *Adv Weed Sci.* (Spec1):e020220051
13. Bartosiewicz B., Niedźwiecki J. 2021. Poradnik dla rolników w zakresie przeciwdziałania spadkom materii organicznej w glebie. *IUNG Puławy*, ss. 13.
14. Bastakoti S. 2023. Role of zinc in management of plant diseases: a review. *Cogent Food & Agric.* 9: 2194483. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2194483>
15. Bensch J., Pannwitt H., Gerowitt B. 2023. Traits of weed species present in maize respond to tillage and cropping systems. *Front. Agron.* 5:1284887
16. Bereś P., Strażyński P., Mrówczyński M., Kierzek R., Węgorok P., Sosnowska D., Korbas M., Adamczyk J., Szulc P., Strażyński P., Zamojska J., Warzecha R., Jajor E., Horoszkiewicz-Janka J., Matysiak K., Siekaniec Ł., Mazur E., Piecuch K., Marcinkowska K., Drzewiecki S., Krawczyk R., Trzmiel K., Nijak K., Jaskulska M., Danielewicz J., Gorzała G., Bombrys M. 2023. *Metodyka integrowanej produkcji kukurydzy*. Główny Inspektorat Ochrony Roślin i Nasiennictwa PIORIN Warszawa, 75 ss.
17. Bereś P.K., Strażyński P., Mrówczyński M. (red.). 2020. *Metodyka Integrowanej Produkcji kukurydzy*. Instytut Ochrony Roślin, Poznań, 49 ss.
18. Bianchi L., Anunciato V.M., Gazola T., Perissato S.M., de Carvalho Dias R., Tropaldi L., Carbonari C.A., Velini E.D. 2020. Effects of glyphosate and clethodim alone and in mixture in sourgrass (*Digitaria insularis*). *Crop Prot.* 2020;138:105322. 5–160.
19. Bilski Z., Pikosz M. 2020. *Zasady układania płodozmianu*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie oddział w Poznaniu: ss. 37.
20. Biskupski A., Sekutowski T.R., Włodek S., Smagacz J., Owsiak Z. 2014. Wpływ międzyplonów oraz różnych technologii uprawy roli na plonowanie kukurydzy. *Inż. Ekol.* 38: 7–16. DOI: 10.12912/2081139X.28
21. Bochenek A. 1998. Ekofizjologiczne uwarunkowania dynamiki glebowego banku nasion chwastów. *Post. Nauk Rol.* 6: 83–100.
22. Booth B.D., Swanton C.J. 2002. Assembly theory applied to weed communities. *Weed Sci.* 50(1): 2–13.

23. Britschgi D., Stamp P., Herrera J.M., Liedgens M. 2009. Spatial root interaction of maize and two important weed species. International Symposium “Root Research and Applications” RootRAP, 2–4 September 2009, Boku – Vienna, Austria.
24. Butts T.R., Miller J.J., Pruitt J.D., Vieira B.C., Oliveira M.C., Ramirez II S., Lindquist J.L. 2017. Light quality effect on corn growth as influenced by weed species and nitrogen rate. *J. Agric. Sci.* 9(1): 15–27.
25. Cakmak I. 2004. Identification and correction of widespread zinc deficiency in Turkey – a success story. *Proceedings 552, International Fertilizers Society, York, UK*: 1–26.
26. Calore R.A., Ferreira M.C., Rodrigues N.E.L., Otuka A.K. 2014. Effect of herbicides associated with adjuvants in surface tension and contact angle in leaves of *Ipomoea hederifolia*. *Aspect of Applied Biology* 122: 425-429.
27. Capo L., Battisti M., Blandino M. The role of zinc fertilization and its interaction with nitrogen and phosphorus starter fertilization on early maize development and grain yield. *F. Crop Res.* 307: id.109245.
28. Carvalho F.K., Untuniassi U.R., Chechetto R.G., Mota A.A.B., De Carvalho L.D. 2018. Viscosity, surface tension and droplet size of spray liquids containing formulations of insecticides and fungicides with oil-based adjuvants. *Aspects Apl. Biol.* 137: 183–190.
29. CD 2024. Weed. Cambridge Dictionary. <https://dictionary.cambridge.org/> [Dostęp w Internecie: 10 kwietnia 2024].
30. Ceglar A., Chukaliev O., Duvellier G., Niemeyer S. 2013. Water requirements for maize production in Europe under changing climate conditions. *Impacts World 2013, International Conference on Climate Change Effects, Potsdam, May 27-30*.
31. Chauhan B.S. 2020. Grand challenges in weed management. *Front Agron.* 1: 1–4.
32. Chauhan B.S. 2020. Grand challenges in weed management. *Front. Agron.* 1: 3.
33. Chauhan B.S., Abugho S.B. 2012. Effect of growth stage on the efficacy of postemergence herbicides on four weed species of directseeded rice. *The Scientific World J.*, article ID 123071: 1–7.
34. Chwastek E., Idziak R., Waligóra H. 2020. Bioróżnorodność zbiorowisk chwastów w uprawie kukurydzy na Pogórzu Cieszyńskim. *Prog. Plant Prot.* 60(4): 290–298.
35. Cobb A.H., Reade J.P.H. 2010. *Herbicides and plant physiology: second edition*. London, UK: Wiley-Blackwell, pp. 296.
36. Cox C., Zeiss M. 2022. Health, pesticide adjuvants, and inert ingredients: California case study illustrates need for data access. *Environ. Health Perspective* 130(8): 085001-1-7. <https://doi.org/10.1289/EHP10634>
37. Cunha J.P.A.R., Palma R., Oliveira A., Marques M.G. 2020. Water hardness na pH in the effectiveness of glyphosate formulation. *Eng. Agricola* 40(4): 555–560.
38. Da Costa Lima A., Ferreira Mendes K. 2020. Variable rate application of herbicides for weed management in pre- and postemergence. *Pests, weeds and diseases in agricultural crop and animal husbandry production*. IntechOpen. Available 13.03.2024 from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.93558>
39. Dan H.A., Barroso A.L.L., Oliveira R.S., Constantin J., Dan L.G.M., Braz G.B.P., Oliveira Neto A.M., D`Avila R.P. 2011. Selectivity of clomazone applied alone or in tank mixtures to cotton. *Planta Daninha* 29(3): 601-7.

40. Dawar K., Khan A., Mian I.A., Khan B., Ali S., Ahmad S., Szulc P., Fahad S., Datta R., Hatamleh A.A., Al-Dosary M.A., Danish S. 2022. Maize productivity and soil nutrients variations by the application of vermicompost and biochar. *PLoS ONE* 17(5): e0267483.
41. Da Silva Santos R.T., Vechia J.F.D., dos Santos C.A.M., Almeida D.P., da Costa Ferreira M. 2021. Relationship of contact angle of spray solution on leaf surfaces with weed control. *Sci. Rep.* 11: 9886.
42. Dąbkowska T., Stupnicka-Rodzynekiewicz E., Bintsanga-Malounguidi P. 2007. Wpływ warunków pogodowych i zabiegów odchwaszczających na rozwój chwastów w kukurydzy, ze szczególnym uwzględnieniem *Echinochloa crus-galli*. *Ann. UMCS Sectio E*, 42 (2): 117-126.
43. Decaro Junior S.T., Ferreira M.C., Lasmar O. 2015. Physical characteristics of oily spraying liquids and droplets formed on coffee leaves and glass surfaces. *Eng. Agric. Jaboticabal* 35(3): 588–600.
44. Délye C., Jasieniuk M., Corre V. 2013. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends Genet.* 29(11): 649–58.
45. Dereje G., Balemi T., Ashagre H. 2018. Effect of weed interference and plant density on maize grain yield. *Ethiop. J. Crop Sci.* 6(1): 63–80.
46. 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.
47. Dobrzański A., 2009. Biologiczne i agrotechniczne aspekty regulowania zachwaszczenia. Instytut Warzywnictwa Skierniewice: 3–24.
48. Dobrzański A., Adamczewski K. 2009. Wpływ walki z chwastami na bioróżnorodność agrofitycenozy. *Prog. Plant Prot.* 49(3): 982–995.
49. Domaradzki K. 2006. Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczania dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych. Wyd. IUNG, Puławy. Monografie i Rozprawy Naukowe 17: 111 ss.
50. Domaradzki K., Bortniak M. 2023. Zmiany w zbiorowiskach chwastów segetalnych wybranych roślin uprawnych na przestrzeni ostatnich 50 lat oraz prognozy na przyszłość. *Prog. Plant Prot.* 63(4): 191–204.
51. Donatelli M., Magarey R.D., Bregaglio S., Willocquet L., Whish J.P.M., Savary S. 2017. Modelling the impacts of pests and diseases on agricultural systems. *Agric Syst.* 155: 213–224.
52. Dryjański L., Harasimowicz-Hermann G., Jadczyżyn T., Pieter S., Piękała D., Schönberger H., Rębarz K., Barłóg P., Wilczewski E., Wojcieszak D. Poznań 2017. *Leksykon Nawożenia*. Polskie Wyd. Rolnicze. 199 ss.
53. Dubas A. 2004. Uprawa kukurydzy w Polsce na przełomie XX i XXI wieku - dokonania nauki i praktyki. *Mat. Konf. Nauk. "Stan obecny i perspektywy uprawy kukurydzy w Polsce"*. IUNG Puławy: 3-5.
54. DUUE 2020. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2020/1276 z dnia 11 września 2020 r. L300/32
55. Dz.U. 2013. Ustawa z dnia 8 marca 2013 r. o środkach ochrony roślin. *Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej* poz. 455. Warszawa, dnia 12 kwietnia 2013.
56. EC 2021. Transformacja upraw zaspokoii rosnące zapotrzebowanie na żywność. European Commission. [Dostęp w Internecie: 13 kwietnia 2024].

57. Ehsas J., Desai L.J., Ahir N.B., Joshi J.R. 2016. Effect of integrated weed management on growth, yield, yield attributes and weed parameters on summer maize (*Zea mays* L.) under South Gujarat Condition. *International Journal of Science, Environment and Technology* 5 (4): 2050–2056.
58. FAOSTAT 2022. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [Dostęp w Internecie: 19 kwietnia 2024].
59. Farooq M., Aziz T., Basra S., Cheema M., Rehman H. 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. *J. Agron. Crop Sci.* 194: 161–168.
60. Feng W., Wei Z., Song J., Qin Q., Yu K., Li G., Zhang J., Wu W., Yan Y. 2017. Hydrolysis of nicosulfuron under acidic environment caused by oxalate secretion of a novel *Penicillium oxalicum* strain YC-WM1. *Sci. Rep.* 7: 647.
61. Fenner M., Thompson K. 2006. *The ecology of seeds.* Cambridge University Press.
62. Fernández V., Eichert T. 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Rev. Plant Sci.* 28: 36–68.
63. Foyer C.H., Vanacker H., Gomez L.D., Harbinson J. 2002. Regulation of photosynthesis and antioxidant metabolism in maize leaves at optimal and chilling temperatures. *Plant Physiol. Biochem.* 40: 659–668.
64. FP 2005. Herbicide save farmers \$21 billion. *Farm Futures.* FarmProgress. <https://www.farmprogress.com/farm-business/herbicides-save-farmers-21-billion> [Dostęp w Internecie: 16 kwietnia 2024].
65. Gacek E.S. 2017. Potencjał hodowlany i osiągnięcia polskiej hodowli roślin rolniczych. *Biuletyn IHAR* 282: 151–160.
66. Gaines T.A., Duke S.O., Morran S., Rigon C.A.G., Tranel P.J., Küpper A., Dayan F.E. 2020. Mechanisms of evolved herbicide resistance. *J Biol Chem.* 295(30): 10307-30.
67. Gajri P.R., Arora V.K., Prihar S.S. 2002. *Tillage for sustainable cropping.* New York, Food Products Press, an imprint of The Haworth Press Inc., 195 pp.
68. Gantoli G., Ayala V.R., Gerhards R. 2013. Determination of the critical period for weed control in corn. *Weed Technol.* 27(1): 63–71. <https://www.jstor.org/stable/23358308>
69. Gao D., Song G., Omar A.A. 2023. Editorial: genetic approaches for crop yield enhancement. *Front. Plant Sci.* 14: 1176522. Doi: 10.3389/fpls.2023.1176522
70. Ghanizadeh H., Lorzadeh S., Ariannia N. 2010. Critical period for weed control in corn in the south-west of Iran. *Asian J. Agric. Res.* 4(2): 80–86.
71. Gharde Y., Singh P.K., Dubey R.P., Gupta P.K. 2018. Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. *Crop Prot.* 107: 12–18.
72. Głowacka A. 2011. Dominant weeds in maize (*Zea mays* L.) cultivation and their competitiveness under conditions of various methods of weed control. *Acta Agrobot.* 64: 119–126.
73. Głowacka A., Flis-Olszewska E. 2022. The biodiversity of weed communities of dent maize, narrow-leaved lupin and oat in relation to cropping system and weed control. *Agron. Sci.* LXXVII(3): 123–137.
74. Gołębiowska B., Pajewski T. 2016. Negatywne skutki produkcji rolniczej i możliwości ich ograniczenia. *Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczn. Nauk.* XVIII z. 3: 76–81.

75. Gołębiowska H. 2012. Problemy ograniczania chwastów wieloletnich w uproszczonej uprawie kukurydzy w warunkach Dolnego Śląska. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 52 (3): 556–562.
76. 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.
77. Gołębiowska H., Snopczyński T., Domaradzki K., Rola H. 2015. Zmiany w zachwaszczeniu kukurydzy w południowo-zachodnim rejonie Polski w latach 1963–2013. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 55 (3): 327–339.
78. Góral J., Rembisz W. 2017. Produkcja w rolnictwie w kontekście ochrony środowiska. *Rocz. Nauk Ekon. Rol. Rozwoju Obsz. Wiejskich* 104(1): 7–21. DOI: 10.22630/RNR.2017.104.1.1
79. Gracz J., Tyczewska A., Twardowski T. 2015. Perspektywy i wyzwania hodowli roślin w erze postgenomowej. *Nauka* 2: 109–126.
80. Green J.M., Cahill R. 2003. Enhancing the biological activity of nicosulfuron with pH adjusters. *Weed Sci.* 17: 338–345.
81. Green J.M., Hale T. 2005. Increasing and decreasing pH to enhance the biological activity of nicosulfuron. *Weed Technol.* 19: 468–475.
82. Grzanka M., Sobiech Ł., Idziak R., Filipczak A., Skrzypczak G. 2023. Impact of chemical weed management in Sugar beet (*Beta vulgaris*) on productivity, quality and economics. *J. Plant Prot. Res.* 63(4): 459–467. DOI: 10.24425/jppr.2023.146878
83. Grzanka M., Sobiech Ł., Skrzypczak G., Piechota T. 2021. Herbicides efficacy against volunteer oilseed rape as influence by spray solution pH. *Agronomy* 11(5), 887.
84. Grzelak M., Majchrzak L., Janyszek-Sołtysiak M., Gawęł E., Wrońska-Pilarek D. 2019. Wpływ wybranych czynników siedliska na różnicowanie florystyczne, walory przyrodnicze i wartość gospodarczą zbiorowiska z turzycą pospolitą (*Carex nigra* Reichard) w dolinie Noteci Bystrej. *Fragm. Agron.* 36(2): 27–35.
85. Grzyś E. 2004. Rola i znaczenie mikroelementów w żywieniu roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 502: 89–99.
86. GUS 2023. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Główny Urząd Statystyczny. file:///C:/Users/user/Downloads/rocznik_statystyczny_rolnictwa_2023_2_2.pdf [Dostęp w Internecie: 18 kwietnia 2024].
87. Hafeez B., Khanif Y.M., Saleem M. 2013. Role of zinc in plant nutrition - A review. *J. Exp. Agric. Int.* 3 (2): 374–391.
88. Hallman C.A., Sorg M., Jongejans E., Siepel H., Hofland N., Schwan H., Stenmans W., Müller A., Sumser H., Hörren T. et al. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12: e0185809.
89. Hammond, M.E.; Pokorný, R. Diversity of Tree Species in Gap Regeneration under Tropical Moist Semi-Deciduous Forest: An Example from Bia Tano Forest Reserve. *Diversity* 2020, 12, 301.
90. Han F.X. 2007. *Biogeochemistry of Trace Elements in Arid Environments* (1st ed. 2007.). Springer Netherlands: Imprint: Springer. 368 ss.
91. Hartley D., Kidd H. (eds.) 1987. *The Agrochemicals Handbook*. 2nd ed. Lechworth, Herts, England: The Royal Society of Chemistry, p. A045/Aug 87.
92. Hauner I.M., Deblais A., Beattie J.K., Kellay H., Bonn D. 2017. The dynamic surface tension of water. *J. Phys. Chem. Lett.* 8: 1599–1603.
93. Hazen J.L. 2000. Adjuvants – terminology, classification, and chemistry. *Weed Technol.* 14: 773–784.

94. Heldbjerg H., Sunde P., Fox A.D. 2018. Continuous population declines for specialist farmland birds 1987-2014 in Denmark indicates no halt in biodiversity loss in agricultural habitats. *Bird Conserv. Int.* 28: 278–292.
95. Henle K., Alard D., Clitherow J., Cobb P., Firbank L., Kull T., McCracken D., Moritz R.F.A., Niemela J., Rebane M., Wascher D., Watt A., Young J. 2008. Identifying and managing the conflicts between agriculture and biodiversity conservation in Europe – A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 124 (1–2): 60–71.
96. Hisham A.R.A., Ch'ng H.Y., Rahman M.M., Mat K., Zulhisyan A.K. 2021. Effects of zinc on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.) cultivated in a tropical acid soil using different application techniques. *ARCoFS IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 756: 012056. doi:10.1088/1755-1315/756/1/012056
97. Holka M., Kowalska J. 2023. Assessing the potential toxicity for freshwater ecosystem from chemical protection of maize in different soil tillage systems. *Prog. Plant Prot.* 63: 21–28.
98. Holm L.G., Plucknett D.L., Pancho J.V., Herberger J.P. 1977. *The world's worst weeds: distribution and biology*. Honolulu, HI: University Press of Hawaii. 609 p.
99. Horvath D.P., Clay S.A., Swanton C.J., Anderson J.V., Chao W.S. 2023. Weed-induced crop yield loss: a new paradigm and new challenges. *Trends Plant Sci.* 28(5): 567–582.
100. Hossain M.M., Begum M. 2015. Soil weed seed bank: importance and management for sustainable crop production – a review. *J. Bangladesh Agril. Univ.* 13(2) : 221–228.
101. Houston B. 2022. Water quality, carrier volume and droplet size effects on herbicide efficacy and drift potential.
102. Huhtamäki T., Tian X., Korhonen J.T., Ras R.H.A. 2018. Surface-wetting characterization using contact-angle measurements. *Nature Protocols* 13: 1521–1538.
103. Hussain H.A., Shengnan M., Hussain S., Ashraf U., Zhang Q., Anjum S.A., Ali I., Wang L. 2019. Individual and concurrent effects of drought and chilling stresses on morpho-physiological characteristics and oxidative metabolism of maize cultivars. *bioRxiv.*: 829309.
104. Iderawumi A.M., Friday C.E. 2018. Characteristics effects of weed on growth performance and yield fo maize (*Zea mays*). *Biomed. J. Sci. Tech. Res.* 7(3): 5880–5883.
105. Idikut L. 2013. The effects of light, temperature and salinity on seed germination of three maize forms. *Greener J. Agric. Sci.* 3(4): 246–253.
106. Idziak R., Kierzek R., Sip D., Krawczyk R. 2012. Możliwość wykorzystania pinoksadenu z florasulamem w mieszaninach z innymi herbicydami do zwalczania chwastów w pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot.* 52(4): 898–902.
107. Idziak R., Sakowicz T., Waligóra H., Szulc P., Majchrzak L., Stachowiak B., Neumann M. 2024. Influence of application timings, rates, and adjuvants on tiencarbazone-methyl plus isoxaflutole and mesotrione with nicosulfuron and rimsulfuron on weed control and yield of maize. *Agriculture* 14: 73.
108. Idziak R., Skrzypczak W., Waligóra H., Woźnica Z. 2013. The effect of mesotrione applied with adjuvants on weed control efficacy and forage sorghum tolerance. *Turk. J. Agric. For.* 37: 265–270.
109. Idziak R., Waligóra H., Skrzypczak W. 2010. Ocena skuteczności chwastobójczej mieszaniny mezotrion + nikosulfuron stosowanej z adiuwantami w kukurydzy cukrowej. *Prog. Plant Prot.* 50(1): 303–307.

110. Idziak R., Waligóra H, Skrzypczak W., Kostiw P. 2019. Dynamika zachwaszczenia wybranych gatunków segetalnych w łanie kukurydzy uprawianej na ziarno. *Fragm. Agron.* 36(1): 27-34.
111. Idziak R., Waligóra H., Szuba V. 2022. The influence of agronomical and chemical weed control on weeds of corn. *J. Plant Prot. Res.* 62(2): 215–222.
112. Idziak R., Woźnica Z., 2009. Ocena efektywności adiuwantów olejowego i mineralnego w mieszaninach herbicydów Callisto 100 SC i Maister 310 WG w ochronie kukurydzy. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 8(1): 17–26.
113. 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.
114. Idziak R., Woźnica Z. 2013. Skuteczność chwastobójcza mieszaniny nikosulfuronu, rimsulfuronu i dikamby stosowanej z adiuwantami w kukurydzy. *Prog. Plant Prot.* 53: 735–739.
115. Idziak R., Woźnica Z. 2016. Wpływ dawki oraz terminu stosowania mieszaniny mezotrionu z nikosulfuronem i adiuwantami na efektywność odchwaszczania kukurydzy. *Fragm. Agron.* 33(1): 30–37.
116. Idziak R., Woźnica Z., Cieśliski W. 2009. Odchwaszczenie buraka cukrowego z wykorzystaniem mikrodawek herbicydów. *Prog. Plant Prot.* 49(1): 330–333.
117. Idziak R., Woźnica Z., Sobczak A., Naskrent B. 2019. Wpływ adiuwantów doglebowych i RSM na skuteczność działania mieszaniny tienkarbazonu metylu z izoksafłutolem stosowanej w kukurydzy. *Fragm. Agron.* 36(1): 35–44. DOI: 10.26374/fa.2019.36.4
118. Idziak R., Woźnica Z., Sobiech Ł. 2013. Effect of oil and mineral adjuvants on efficacy and physico-chemical properties of formasulfuron and iodosulfuron spray mixture. *Pak. J. Agri. Sci.* 50(4): 671–676.
119. Idziak R., Woźnica Z., Szulc P. 2014. Efektywność mieszaniny foramsulfuronu z jodosulfuronem stosowanej z adiuwantami i nawozem cynkowym. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 54 (4): 407-411.
120. Ikley J., Christiffers M., Dalley C., Endres G., Gramig G., Howatt K., Jenks B., Law Q., Lim C., Ostlie M., Peters T., Robinson A., Thostenson A., Valenti H.H. 2024. North Dakota Weed Control Guide. NDSU Fargo, North Dakota, 136 ss.
121. Imoloame E.O., Omolaiye J.O. 2017. Weed infestation, growth and yield of maize (*Zea mays* L.) as influenced by periods of weed interference. *Adv. Crop Sci. Tech.* 5: 2.
122. IPCW 2024. *Cirsium arvense*. IPCW Plant Report. California Invasive Plant Council. <https://www.cal-ipc.org/resources/library/publications/ipcw/report29/> [Dostęp w Internecie 21 maja 2024].
123. Isik D., Mannan H., Bukan B., Oz A., Ngauajiro M. 2006. The critical period for weed control in corn in Turkey. *Weed Technol.* 20: 867–872.
124. Izaurralde R.C., Thomson A.M., Morgan J., Fay P., Polley H., Hatfield J.L. 2011. Climate impacts on agriculture: Implications for forage and rangeland production. *Agron. J.*, 103, 371–381.
125. Jastrzębska M., Wanic M., Nowicki J. 2003 Postępy Nauk Rolniczych nr 5/2003 Adiuwanty we współczesnej ochronie roślin. Katedra Systemów Rolniczych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski.

126. Jensen P.K., Bibard V., Czembor E., Dumitru S., Foucart G., Froud-Williams R.J., Jensen J.E., Saavedra M., Sattin M., Soukup J., Palou A.T., Thibord J.B., Voegler W., Kudsk P. Survey of weeds in maize crops in Europe. Aarhus University, pp. 44.
127. Jia J., Zhu F., Ma X., Cao Z.W., Li Y.X., Chen Y.Z. 2009. Mechanisms of drug combinations: interaction and network perspectives. *Nature Rev Drug Disc.* 8(2): 111–128.
128. Jura -Morawiec J., Marcinkiewicz J. 2020. Wettability, water absorption and water storage in rosette leaves of the dragon tree (*Dracaena draco* L.). *Planta* 252(2): 1–8.
129. Kaniuczak Z., Pruszyński S. (red.), Bereś P., Gaj R., Grzebisz W., Mrówczyński M., Paradowski A., Pruszyński G., Siódmiak J., Sulewska H., Tekiela A., Wachowiak H. 2015. *Metodyka integrowanej produkcji kukurydzy*. Wyd. 2. PIORIN Warszawa, ss. 44.
130. Kaniuczak Z., Pruszyński S. (red.), Bereś P., Gaj R., Grzebisz W., Mrówczyński M., Paradowski A., Pruszyński G., Siódmiak J., Sulewska H., Tekiela A., Wachowiak H. 2020. *Metodyka integrowanej produkcji kukurydzy*. PIORIN Warszawa, ss. 49.
131. Kapusta A., Perkowski J., Strzałkowski Ł., Woźniak J., Dobrowolski M., Traczuk P., Heese T. 2019. Porównanie wyników trzech metod połowu ryb wykorzystanych do oceny składu gatunkowego i struktury ilościowej zespołu ryb. *Komunikaty Rybackie* 5: 13–16.
132. Karami S., Modarres Sanavy S.A.M., Ghanehpour S., Keshavarz H. 2016. Effect of foliar zinc application on yield, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. *Notulae Sci. Biol.* 8(2): 181–191.
133. Kęsik K. 2016. Zastosowanie metody Mehlich 3 w systemie doradztwa nawozowego. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 48(2): 95–104.
134. Khaeim, H., Kende, Z., Jolánkai, M., Kovács, G.P., Gyuricza, C., Tarnawa, Á. 2022. Impact of temperature and water on seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). *Agronomy* 12, 397.
135. Kieloch R. 2020. Wpływ odmiany i agrotechniki na kształtowanie zachwaszczenia upraw rolniczych. *Studia i raporty IUNG-PIB* 61(15): 51–63. doi: 10.26114/sir.iung.2020.61.04
136. Kierzek R., Wachowiak M., Krawczyk R., Ratajkiewicz H. 2014. Skuteczność herbicydów w uprawie kukurydzy w zależności od doboru adiuwantów i rozpylaczy. *Prob. Inż. Rol.* 2(84): 29–39.
137. Kitczak T., Jarnuszewski G. 2021. *Rolnictwo i ocena stanu upraw rolniczych*. Rozdział VII Płodozmian i zachwaszczenie upraw rolniczych *anna jaroszevska*. 94-95. Rozdział V. Podstawy produkcji roślinnej na gruntach ornych. 65-68. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
138. Kocoń A. 2014. Potrzeby pokarmowe roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 37(11): 1–31. doi: 10.26114/sir.iung.2014.37.02
139. Korbas M. 2006. Głównie kukurydzy i inne choroby – szkodliwość i możliwości zwalczania. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 46 (1): 354–357.
140. Korzeniowska J. 2009. Znaczenie cynku w uprawie pszenicy. *Post. Nauk Rol.* 2: 3–17.

141. Kowalik P.J., Scalenghe R. 2009. Potrzeby wodne roślin energetycznych jako problem oddziaływania na rzec trwałego i zrównoważonego rozwoju. III Ogólnopolski Kongres Inżynierii Środowiska 3: 13–17.
142. Księżak J., Bojarszczuk J., Staniak M. 2012. Produkcyjność kukurydzy i sorga w zależności od poziomu nawożenia azotem. *Polish J. Agron.* 8: 20-28.
143. Księżak J., Staniak M., Bojarszczuk J. 2011. Ocena plonowania kukurydzy uprawianej systemem ekologicznym w zależności od sposobu pielęgnacji i dawki nawożenia organicznego. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 56(3): 227–231.
144. Kucharski M., Sadowski J. 2007. Znaczenie adiuwantów w chemicznej ochronie roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 8: 77–85.
145. Kudsk P. 2002. Optimising herbicide performance. In: *Weed management handbook*. Naylor R.E.L. (ed.), Blackwell Publishing: 323–344.
146. Kuds P., Mathiassen S.K. 2007. Analysis fo adjuvant effects and their interactions with variable application parameters. *Crop Prot.* 26(3): 328–334.
147. Kumari S., Das S., Kumar R., Kavita. 2018. Herbicide mixture for enhancing weed control efficiency and yield of onion (*Onion cepa L.*). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7: 2710–2714.
148. Kundu S., Ahmad S. 2022. Weed control in improving crop yield with technological advancements. *Inter. J. Eng. App. Sci. Technol.* 7(1): 93–105.
149. Kurdyukova O.M. 2018. Seed production capability of monocotyledonous and dicotyledonous weeds in segetal and ruderal habitats. *Ukrainian J. Ecol.* 8(1): 153–157. 7 doi: 10.15421/2018_200
150. Kuś J. 2016. Gospodarowanie wodą w rolnictwie. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 47(1): 83–104.
151. Kwiecińska E. 2004. Plenność niektórych gatunków chwastów segetalnych na glebie lekkiej. *Annales UMCS, sec. E* 59(3): 1183–1191.
152. Landau C.A., Hager A.G., Williams II M.M. 2021. Diminishing weed control exacerbates maize yield loss to adverse weather. *Glob Change Biol.* 27: 6156–6165.
153. Latowski K. 2002. Problem pospolitych chwastów segetalnych. *Prog. Plant Protect./Post. Ochr. Rośl.* 42(1): 392–399.
154. Lewis R.J. Sr. (ed). 2004. *Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials*. 11th Edition. Wiley-Interscience, Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ., p. 605.
155. LGC 2024. *Environmental Reference Materials. Pesticide & Metabolite Reference Materials and Research Chemicals. Herbicides and metabolites. Nicosulfuron. Terbutylazine. Bromoxynil.* [Dostęp w Internecie: 16 marca 2024]. <https://www.lgcstandards.com/DE/en>
156. Li C., Wang P., van der Ent A., Cheng M., Jiang H., Read T.L., Lombi E., Tang C., de Jonge M.D., Menzies N.W., Kopittke P.M. 2019. Absorption of foliar-applied Zn in sunflower (*Helianthus annuus*): importance of the cuticle, stomata and trichomes. *Ann. Bot.* 123: 57–68.
157. Lipiński W. 2013. Zasobność gleb Polski w mikroelementy. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 34(8): 121–131.
158. Lisowicz F., Tekiel A. 2004. Szkodniki i choroby kukurydzy oraz ich zwalczanie. s. 52–64. W: *Technologia produkcji kukurydzy*. (A. Dubas, red.). Wieś Jutra, Warszawa, 133 ss.

159. Liszka-Podkowa A., Sowiński J. 2009. Skuteczność różnych metod odchwaszczania kukurydzy oraz pobranie makropierwiastków przez chwasty. *Fragm. Agron.* 26(3): 109–117.
160. Llewellyn R., Ronning D., Ouzman J., Walker S., Mayfield A., Clarke M. 2016. *Impact of Weeds on Australian Grain Production: The cost of Weeds to Australian grain Growers and the Adoption of Weed Management and Tillage Practices.* Canberra, ACT: Grains Research and Development Corporation, 109 ss.
161. MacBean C. 2008-2010, ed; e-Pesticide Manual. 15th ed., ver. 5.1, Alton, UK; British Crop Protection Council. Nicosulfuron (111991-09-4).
162. MacBean C. 2010. ed. Nicosulfuron (111991-09-4). In: *The e-Pesticide Manual, 15th Edition, Version 5.0.1.* Surrey UK, British Crop Protection Council.
163. Macpherson A., Principe P., Smith E. 2009. A production function approach to regional environmental economic assessments. XI European Workshop on efficiency and productivity analysis, Pisa, Italy, June 24–26.
164. Maganti M., Weaver S., Downs M. 2005. Response of spreading Orach (*Atriplex patula*) and common lambsquarters (*Chenopodium album*) to soil compaction, drought, and waterlogging. *Weed Sci.* 53: 90–96.
165. Majewski A. 2016. Reakcja kukurydzy na stres suszy i upały. *Kukurydza* 1 (48): 40–46.
166. Małecka-Jankowiak I., Bleharczyk A., Sawinska Z., Waniorek W. 2018. Wpływ następczy łubinów i grochu na plonowanie pszenicy ozimej w zależności od uprawy roli i nawożenia azotem. *Fragm. Agron.* 35(4): 67–79. DOI: 10.26374/fa.2018.35.43
167. Manosathiyadevan M., Bhuvaneshwari V., Latha R. 2017. Impact of insects and pests in loss of crop production: a review. *Sustainable Agriculture towards Food Security;* 57–67.
168. Martinez-Cesta N., Carciochi W., Sainz-Rozas H., Salvagiotti F., Colazo J.C., Wyngaard N., Eyerabide M., Ferraris G., Barbieri P. 2020. Effect of zinc applications strategies on maize grain yield and zinc concentration in mollsols. *J. Plant Nutrition* 44: 4: 486–497. DOI: 10.1080/01904167.2020.1844754
169. 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 (*Amarnathus palmeri*) and Texasweed (*Caperonia palustris*). *Weed Sci.* 54: 969–973.
170. Matuszkiewicz W. 2001. *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski.* PWN. *Vademecum geobotanicum,* Warszawa: 158-187.
171. Matuszkiewicz W. 2024. *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski.* PWN., Warszawa: 540 ss.
172. Mayerová M., Mikulka J., Kolárová M., Soukup J. 2023. Impact of 40 years use of different herbicide strategies and crop rotations on weed communities in two sites of the Czech Republic. *Agriculture* 13: 102. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010102>
173. Meena S.D., Susank M., Guttula T., Chandana S.H., Sheela J. 2023. Crop yield improvement with weeds, pest and disease detection. *Procedia Computer Science* 218: 2369–2382.
174. Menendez J., Camacho D., Fernandez-Cerejido M. C., Bastida F. 2010. Effect of tank-mixed blended green adjuvants on glyphosate efficacy in four winter crop weed species. *Weed Res.* 51: 344–352.

175. Meng Y.H., Wang M.M., Wang Z.G., Hu H.Y., Ma Y. 2021. Surface tension and spreading coefficient of single-and mix-pesticide solutions with aerial spraying organosilicone adjuvant. *Int. J. Precis. Agric. Aviat.* 4(1): 6–13.
176. Meyer C.J., Norsworthy J.K., Kruger G.R. 2021. Antagonism in mixtures of glufosinate + glyphosate and glufosinate + clethodim on grasses. *Weed Technol.* 35(1): 12–21.
177. Michalski T., Bereś P.K., Sobiech Ł., Szczepaniak W., Potarzycki J., Szkudlarski 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., Żurawski P., Szychowiak P., Grzanka M., Śmigielski D., Wasak M., Rychter P. 2018. *Kukurydza*. Agro Wydawnictwo, Suchy Las, 112 ss.
178. Michalski T., Idziak R., Menzel L. 1999. Wpływ warunków pogodowych na plonowanie owsa. *Żywność* 1(18)Supl.: 46–52.
179. Mierzejewska W. 1993. Ekonomiczna szkodliwość agrofagów. *Post. Nauk Rol.* 4: 55–68.
180. Milberg P., Hallgren E. 2004. Yield loss due to weeds in cereals and its large-scale variability in Sweden. *Field Crops Research* 86: 199–209.
181. Mitrić S., Sunulahpašić A., Šunjka D., Vuković S., Žabić M., Hamidović S., Kelečević B. 2024. Dissipation dynamic of nicosulfuron in different types of agricultural soils. *Plant Soil Environ.* 70(4): 245–251.
182. Mohler C.L., Teasdale J.R., DiTommaso A. 2021. How to think about weeds. In: *Manage weeds on your farm. A guide to ecological strategies*. SARE 16: 14–42.
183. Moss S. 2019. Integrated weed management (IWM): why are farmers reluctant to adopt non-chemical alternatives to herbicides? *Pest Manag. Sci.* 75(5): 1205–1211.
184. Mutambu D., Kihara J., Mucheru-Muna M., Bolo P., Kinyua M. Maize grain yield and grain zinc concentration response to zinc fertilization: A meta-analysis. *Heliyon* 9:e16040.
185. Mueller T., Steckel L.E. 2019. Spray mixture pH as affected by dicamba, glyphosate, and spray additives. *Weed Technol.* 33: 547–554.
186. Murawska B., Spychaj-Fabisiak E., 2010, Stopień zakwaszenia gleby oraz zawartość przyswajalnych form cynku i miedzi jako efekt 35-letniego nawożenia azotem i potasem. 85-93 Maciel C.D.G., Guerra N., Oliveira N.A.M., Poletine J.P., Bastos S.L.W., Dias N.M.S. 2010. Tensio superficial estática de misturas em tanque de glyphosate + chlorimuron-ethyl isoladas ou associadas com adjuvantes. *Planta Daninha* 28(3): 673–85.
187. MW 2024. Surface tension. Merriam-Webster.com Dictionary. <http://www.merriam-webster.com/dictionary/surface%20tension>. Dostęp w Internecie 24 maja 2024.
188. Nadeem M.A., Tanveer A., Abbas T., Bashir F. 2016. Possibilities of reducing herbicide doses through narrowed row spacing and use of adjuvant in maize (*Zea mays* L.). *Pak. J. Weed Sci. Res.* 22(4): 543–554.
189. Naderi R., Ali K., Rehman A., Rasmann S., Weyl P. 2024. Estimating the impact on maize production by the weed *Parthenium hysterophorus* in Pakistan. *CABI Agriculture and Bioscience* 5:14.
190. Naeem M., Cheema Z.A., Ahmad A.H., Wahid A., Kamaran M., Arif M. 2012. Weed dynamics in wheat canola intercropping systems. *Chil. J. Agr. Res.* 72: 434-439.

191. Neild R.E., Newman J.E. 1987. Growing Season Characteristics and Requirements in the Corn Belt; Cooperative Extension Service, Iowa State University: Ames, IA, USA.
192. Niedziółka I., Szymanek M., Rybaczyński R., 2004. Technologia produkcji kukurydzy cukrowej. *Acta Agrophys. Rozpr. Monogr.* 114, 8.
193. Niedźwiecki J., Ukalska-Jurga A., Gałazka A., Wawer R., Nowocień E., Klimowicz-Pawlas A. Najlepsze sposoby zarządzania glebami użytkowymi rolniczo w kontekście zmian klimatycznych. *Poradnik dla doradców rolnych.* IUNG, ss. 74.
194. Nowak B. 2023. Wykorzystanie metod biotechnologicznych w hodowli kukurydzy. *Fragm. Agron.* 40(1): 25–32.
195. O'Neil M.J. 2006. The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., nicosulfuron p. 1128.
196. Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 144: 31–43.
197. Pabin J. Uprawa roli a właściwości fizyczne gleby i plonowanie roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 8: 161–176. doi: 10.26114/sir.iung.2007.08.13
198. Pacanoski, Z., 2015. Herbicides and adjuvants. *Herbicides, physiology of action, and safety*; Price, A., Kelton, J., Sarunaite, L., Eds, ss.125-147.
199. Paradowski A. 2014. Warunki skutecznego stosowania ograniczonych dawek herbicydów. *CDR Brwinów oddział Poznań*, 54 ss.
200. Parker R. 2003. Water Conservation, Weed Control Go Hand in Hand. Drought advisory. Washington State University Cooperative Extension weed scientist, WSU Prosser Irrigated Agriculture Research and Extension Center. EM4856.
201. Patterson D. T. 1995. Effects of environmental stress on weed/crop interactions. *Weed Sci.* 43(3): 483–490.
202. Pecio A., 2021, Nawożenie kukurydzy w warunkach suszy. *Uprawa kukurydzy w niekorzystnych warunkach*, Agro Profil.
203. Penner D. 2000. Activator adjuvants. *Weed Technol.* 14: 85–791.
204. Piechota T., Dach J. 2007. Zdolność kiełkowania diaspor chwastów przechowywanych w oborniku kompostowanym z napowietrzaniem i w warunkach składowania beztlenowego. *Annales UMCS, sec. E* 47(2): 177–184.
205. Pikuła D. 2014. Nawożenie kukurydzy uprawianej na ziarno. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 37(11): 99–109. doi: 10.26114/sir.iung.2014.37.08
206. Piwowar A. 2021. The use of pesticides in Polish agriculture after integrated pest management (IPM) implementation. *Environ. Sci. Pollution Res. International* 28(21): 26628–26642.
207. Plessis J. 2003. Maize production. Department Agriculture Republic of South Africa, 35 ss.
208. Poczta W., Czubak W., Muśnicki Cz., Buczyński J. 2016. Propedeutyka produkcji rolniczej. Rozdział Podstawy produkcji roślinnej. *Agrofagi roślin uprawnych i sposoby ich zwalczania.*
209. Podstawka-Chmielewska E., Kwiatkowska J., Kosior M. 2000. Plenność niektórych gatunków chwastów segetalnych w łanie różnych roślin uprawnych na glebie lekkiej i ciężkiej. *Annales UMCS, Sectio E Agricultura LV* (4): 29-39.
210. PORR 2023. Program ochrony roślin rolniczych. *Agro*, 448 ss.
211. PORR 2023. Program ochrony roślin rolniczych. Zaprawy, herbicydy, fungicydy, insektycydy, regulatory i stymulatory, inne preparaty. *Wyd. AgroProfil*: ss. 452.

212. Potarzycki J., 2008, Wpływ magnezu i cynku w nawozie wieloskładnikowym na plon ziarna kukurydzy uprawianej w monokulturze. Poznań 3.
213. Powierzchnia zasiewów kukurydzy. 2021. www.kowr.gov.pl opracowanie Biura Analiz i Strategii KOWR na podstawie danych GUS
214. Praczyk T. (red.), Kierzek R., Korbas M., Matyjaszczyk E., Mrówczyński M., Rosada J., Tratwal A., Węgorzek P. 2015. Kodeks dobrej praktyki ochrony roślin. IOR-PIB, Poznań: 37 ss.
215. Praczyk T., Skrzypczak G. 2004. Herbicydy. PWRiL Warszawa, 276 ss.
216. Procam 2024. Trend 90 EC. PROCAM Polska Sp. z o.o. [Dostęp w Internecie: 16 marca 2024].
217. Pruszyński S., Bartkowski J., Pruszyński G. 2012. Integrowana ochrona roślin w zarysie. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Poznaniu, 56.
218. Pruszyński S., Kanuczak Z. 2007. Instytut ochrony roślin, rozdział integrowana ochrona kukurydzy przed agrofagami. Poznań. 28–34.
219. Ptaszyńska G. Sulewska H. 2008. Zmienność plonowania mieszańców kukurydzy o różnej wczesności w warunkach klimatycznych środkowej wielkopolski. Acta Sci. Pol., Agricultura 7(3): 93–103.
220. PubChem 2024. Nicosulfuron. Terbuthylazine. Bromoksynil. National Institutes of Health (NIH) database. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. [Dostęp w Internecie: 16 marca 2024]. <https://www.procam.pl/produkt/trend-90ec/>
221. PWN 2024a. Adiuwant. Słownik języka polskiego. PWN. Dostęp w Internecie 13.03.2024. <https://sjp.pwn.pl/szukaj/adiuwant>
222. PWN 2024b. Napięcie powierzchniowe. PWN Encyklopedia. Dostęp w Internecie 24.05.2024. <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/napiecie-powierzchniowe;3945708.html>
223. Rahayu M., Yudono P., Indradewa D., Hanudin E. 2021. Weed extract effect on growth and yield of some corn varieties. 6th International Conference on Climate Change. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 824 012046.
224. Rahn E.M., Sweet R.D., Vengris J., Dunn S. 1968. Life history studies as related to weed control in the Northeast. 5. Barnyardgrass. University of Delaware Experiment Station Bulletin No. 368: 46 p.
225. Ramesh K., Rao A.N., Chauhan, B.S. 2017. Role of crop competition in managing weeds in rice, wheat, and maize in India: a review. Crop Prot. 95: 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.008>
226. Rębarz K., Borówczak F. 2006. Wpływ deszczowania, technologii uprawy i nawożenia azotowego na wielkość bulw, plon handlowy i występowanie strat w czasie przechowywania ziemniaków. Roczn. AR w Poznaniu, Rolnictwo 66, 305–313.
227. Rola J., Rola H. 1987a. Dynamika chwastów segetalnych na polach uprawnych. IUNG Puławy, Mat. Symp. "Dynamika zachwaszczenia pól uprawnych". Wrocław, 25-26 czerwiec 1987: 124-143.
228. Rola J., Rola H. 1987b. Dynamika chwastów segetalnych na polach uprawnych. IUNG Puławy, Mat. Symp. "Dynamika zachwaszczenia pól uprawnych". Wrocław, 25-26 czerwiec 1987: 131-148.
229. Roszkowska-Mądra B. 2020. Analiza zmian użytkowania gruntów rolnych w Polsce po 1990 roku. Wyd. Uniwersytetu w Białymstoku. [Dostęp w Internecie: 18 kwietnia 2024]. https://repozytorium.uwb.edu.pl/jspui/bitstream/11320/9266/1/B_Roszkowska-Madra_Analiza_zmian_uzytkowania_gruntow.pdf. DOI: 10.15290/isarrow.2020.09

230. Rudnicki F., Jaskulski D. 2006. Ocena wzajemnego oddziaływania konkurencyjnego pomiędzy roślinami uprawnymi a chwastami w łąkach. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 5(1): 45–52.
231. Rudnicki F., Piekarczyk M. 2018. Postęp hodowlany w polskim rejestrze odmian pszenicy ozimej w latach 1969-2016 część I. *Plon. Fragn. Agron.* 35(2): 107–125. DOI: 10.26374/fa.2018.35.20
232. Runowski H., Wicki L. 1994. Problemy tworzenia i upowszechniania postępu biologicznego w rolnictwie w warunkach gospodarki rynkowej. SGGW, Warszawa.
233. Runowski H. 1997. Postęp biologiczny w rolnictwie, Pojęcie i rodzaju postępu w rolnictwie, Warszawa. Wydawnictwo SGGW, 24-27.
234. Rustom S.Y., Webster E.P., Blouin D.C., McKnight B.M. 2019. Interactions of quizalofop-p-ethyl mixed with contact herbicides in ACCase-resistant rice production. *Weed Technol.* 33(2): 233–338.
235. Rusu T., Gus P., Bogdan I., Moraru P.I., Pop A.I., Sopterean M.L., Pop L.I. 2010. Influence of infestation with *Echinochloa crus-galli* species on crop production in corn. *J. Food Agric. & Environment* 8(2): 760–763.
236. Rutkowski J. 2018. Technologia uprawy kukurydzy - od siewu do zbioru. WMODR odział w Olecku: 21 ss.
237. Sadeghzadeh B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13(4): 905–927.
238. Sánchez B., Rasmussen A., Porter J.R. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: A review. *Glob. Chang. Biol.* 20: 408–417.
239. Santos R.T.S., Ferreira M.C., Viana R.G. 2019. Does the use of adjuvants alter surface tension and contact angle of herbicide spray droplets on leaves of *Sida* spp.? *Planta Daninha* v37: e019185603.
240. Sarabi V., Mahallati M.N., Nezami A., Mohassel M.H.R. 2013. Effects of common lambsquarters (*Chenopodium album* L.) emergence time and density on growth and competition of maize (*Zea mays* L.). *Australian J. Crop Sci.* 7(5): 532–537.
241. Silva P.S.L., Silva P.I.B., Silva K.M.B., Oliveira V.R., Pontes Filho F.S.T. 2014. Corn growth and yield in competition with weeds. *Planta Daninha, Viçosa-MG*, 29(4): 793–802.
242. Silveira R.R., Santos M.V., dos Santos J.B., Ferreira E.A., da Silva LD. 2020. The effect of spray solution storage time on nicosulfuron efficacy applied in *Urochloa brizantha* cv. Marandu. *Res. Soc. Devel.* 9(7): e778974713.
243. Şimon A., Bârdaş M., Popa A. 2019. Research on the weeds control in maize crop. In: *Agrarian Economy and Rural Development - Realities and perspectives for Romania. International Symposium. 10th Edition, The Research Institute for Agricultural Economy and Rural Development (ICEADR), Bucharest*, pp. 153–158.
244. Singh M., Tan S., Sharma S.D. 2002. Adjuvants enhance weed control efficacy of foliar-applied diuron. *Weed Technol.* 16: 74–78. Singh M., Orsenigo J.R., Shah, D.O. Surface tension and contact angle of herbicide solutions affected by surfactants. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 61(3), 596–600 (1984).
245. Singh P.K. 2013. Introduction to weed science and challenges. *JN Krishi Vishwa Vidyalaya, Jabalpur* – 482004: 1–12.

246. Skowera B. 2000. Wpływ elementów meteorologicznych na plonowanie roślin uprawnych w piętrach wysokościowych polskich Karpat Zachodnich. *Acta Agrophysica* 34: 169–180.
247. Skrzyczyńska J. 1998. Wiadomości o chwastach i metodach ich zwalczania. W: Podstawy uprawy roli i roślin (red. Starczewski J., Radecki A., Skrzyczyńska J.). WSRR Siedlce: 160-213.
248. Skrzypczak W., Waligóra H., Szulc P. 2008. Możliwości mechanicznego ograniczania zachwaszczenia w uprawie kukurydzy i sorga w rolnictwie ekologicznym. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 53(4): 67–70.
249. 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.
250. Sobiech Ł., Idziak R., Skrzypczak G., Szulc P., Grzanka m. 2018. Bioróżnorodność zachwaszczenia w uprawie kukurydzy na glebie płowej. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 58 (4): 282–287.
251. Sobiech Ł., Joniec A., Loryś B., Rogulski J., Grzanka M., Idziak R. 2023. Autumn Application of Synthetic Auxin Herbicide for Weed Control in Cereals in Poland and Germany. *Agriculture* 2023, 13, 32.
252. Sørensen H., Cedergreen N., Skovgaard I.M., Streibig J.C. 2007. An isobolebased statistical model and test for synergism/antagonism in binary mixture toxicity experiments. *Environ Ecol Stat.* 14: 383-97.
253. Soltani N., Dille J.A., Burke I. C., Everman W.J., VanGessel M.J., Davis, V.M., Sikkema P.H. 2016. Potential corn yield losses from weeds in North America. *Weed Technol.* 30: 979–984.
254. Soltani N., Dille J.A., Burke I.C., Everman W.J., VanGessel M.J., Davis V.M., Sikkema P.H. 2017. Perspectives on potential soybean yield losses from weeds in North America. *Weed Technol.* 31: 148–154.
255. Somervaille A., Betts G., Gordon B., Green V., Burgis M., Henderson R. 2012. Adjuvants - oils, surfactants and other additives for farm chemicals. Revised 2012 edition. Australian Government. Grains Research & Development Corporation, 52 ss.
256. Staiger S. 2019. Chemical and physical nature of the barrier against active ingredient penetration into leaves: effects of adjuvants on the cuticular diffusion barrier. Doctoral thesis for a doctoral degree at the Graduate School of Life Sciences, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Section Integrative Biology, 169 ss
257. Staniak M., Bojarszczuk J., Feledyn-Szewczyk B., Berbec A.K., Książak J. 2015. Zachwaszczenie kukurydzy w różnych systemach produkcji. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 44(18): 105–118.
258. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J. 2007. Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 8: 99–110.
259. Steckel L. E., Sprague C. L. 2004. Common waterhemp (*Amaranthus rudis*) interference in corn. *Weed Sci.* 52(3): 359–364.
260. Sulewska H. 2004. Wpływ zaprawiania insektycydami nasion kukurydzy na plon, skład chemiczny ziarna oraz na efekt ekonomiczny. *Pam. Puł.* 135: 295–303.
261. Sulewska H., 2007. Wymagania środowiskowe kukurydzy. W: *Integrowana produkcja kukurydzy*, pod red. Z. Kaniuczak i S. Pruszyńskiego, Wyd. IOR Poznań: 6-9.

262. Szatanik-Kloc A., Bowanko G. 2007. Wpływ pH i jonów cynku na powierzchnię właściwą korzeni żyta (*Secale cereale* L.) wyznaczaną metodą adsorpcji-desorpcji azotu. *Acta Agrophys.* 10 (3): 705–713.
263. Szulc P., Kruczek A., 2008. Wpływ wielkości opadów i temperatury na gromadzenie suchej masy i pobieranie składników mineralnych przez kukurydzę w początkowym okresie rozwoju w zależności od sposobu nawożenia. *Acta Agrophys.* 11, 3: 753–766.
264. Sukhoverkov K.V., Mylne J.S. 2021. A systematic approach for finding herbicide synergies. *BioRxiv.* doi: <https://doi.org/10.1101/2021.02.08.430187>.
265. Suganya A., Saravanan A., Manivannan N. 2020. Role of zinc nutrition for increasing zinc availability, uptake, yield, and quality of maize (*Zea mays* L.) grains: An overview. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 51: 2001–2021.
266. Syp A. 2015. Projekcja zmian wielkości plonów kukurydzy w Polsce i w Unii Europejskiej w 2030 roku. *Rocz. Nauk. Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu* 17(3): 373–378.
267. Tang X., Dong J., Li X. 2008. A comparison of spreading behaviors of Silwet L-77 on dry and wet lotus leaves. *J. Colloid Interface Sci.* 325(1): 223–227.
268. Tratwal A. (red.), Beres P. (red.), Korbas M., Danielewicz J., Jakubowska M., Horoszkiewicz-Janka J., Szulc P. 2016. *Poradnik sygnalizatora ochrony roślin.* IOR-PIB, Poznań: 193 ss.
269. Trąba C., Wiater J. 2007. Reakcja *Chenopodium album* na rodzaj nawożenia i gatunek rośliny uprawnej. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E, Agricultura* 62 (2): 23–32.
270. Tursun N., Datta A., Sakinmaz M.S., Kantarci Z., Knezevic S.Z., Chauhan B.S. 2016. The critical period for weed control in three corn (*Zea mays* L.) types. *Crop Prot.* 90: 59–65.
271. Tymrakiewicz W. 1959. *Atlas chwastów.* PWRiL Warszawa: 367 ss.
272. Tyszka M. 2019. Adiuwanty- wspomagacze zabiegów. Farmer.pl
273. UN 2017. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables.* Working Paper No. ESA/P/WP/248.
274. Vahedi A., Bakhshi Z., Fakhari R., Vahidipour H.R. 2013. Evaluation of competitiveness of corn and pigweed in nitrogen levels under pigweed densities by corn yield converse relations. *Int. J. Agric. Crop Sci.* 5: 1442–1444.
275. Wan J.Z., Wang C.J., Yu F.H. 2017. Wind effects on habitat distributions of wind-dispersed invasive plants across different biomes on global scale: assessment using six species. *Ecol. Inf.* 42: 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.09.002>
276. Waqas M.A., Khan I., Akhter M.J., Noor M.A., Ashraf U. 2017. Exogenous application of plant growth regulators (PGRs) induces chilling tolerance in short-duration hybrid maize. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24: 11459–11471.
277. Ware G.W., Whitacre D.M. 2004. *An Introduction to Herbicides* (2nd ed.). Extracted from *The Pesticide Book*, 6th ed. MeisterPro Information Resources, A division of Meister Media Worldwide, Willoughby, Ohio. Dostęp w Internecie 18 maja 2024, <https://ipmworld.umn.edu/ware-intro-herbicides>.

278. Wepprich T., Adrion J.R., Ries L., Wiedmann J., Haddad N.M. 2019. Butterfly abundance declines over 20 years of systematic monitoring in Ohio, USA. *PLoS ONE* 14: e0216270.
279. Weber A., Waligóra H. 2015. Gospodarka wodna w uprawie kukurydzy, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Portal hodowcy.pl
280. Wernecke A., Eckert J.H., Forster R., Kurlemann N., Odemer R. 2021. Inert agricultural spray adjuvants may increase the adverse effects of selected insecticides on honey bees (*Apis mellifera* L.) under laboratory conditions. *Journal of Plant Diseases and Protection* 129: 93-105. doi.org/10.1007/s41348-021-00541-z
281. Wicki L. 2018. Znaczenie postępu biologicznego we wzroście plonowania zbóż jarych w doświadczeniach odmianowych w Polsce. *Rocz. Nauk. Stow. Ekon. Rol. i Agrobiz.* XX(2): 162–168. doi: 105604/01.3001.0011.8132
282. Wiater J., Trąba Cz. 2002. Konkurencyjność pokarmowa chwastów wobec ziemniaka w warunkach następczego wpływu odpadów. *Acta Agroph.* 73: 327-337.
283. Withford F., Penner D., Johnson B., Bledsoe L., Wagoner N., Garr J., Wise K., Obermeyer J., Blessing A. 2009. The impact of water quality on pesticide performance. The Purdue Extension Education Store. Purdue Extension PPP-86.
284. WIR 2024. Kalkulacja uprawy 1 ha kukurydzy na ziarno. Maj 2024. Wielkopolska Izba Rolnicza. <https://wir.org.pl/asp/kukurydza-na-ziarno,193,,1>. Dostęp w Internecie 04.06.2024.
285. WM 2024. Worldometers. Światowa populacja. <https://www.worldometers.info/pl/> [Dostęp w Internecie: 18 kwietnia 2024].
286. Worthing C.R., Walker S.B. (eds.) 1987. *The Pesticide Manual - A World Compendium*. 8th ed. Thornton Heath, UK: The British Crop Protection Council.
287. Woźnica Z. 2008. Aplikacja, skuteczność chwastobójcza i selektywność herbicydów. s. 255–293. W: „Herbologia. Podstawy biologii, ekologii i zwalczania chwastów”. PWRiL, Poznań, 430 ss.
288. Woźnica Z. 2012. *Herbologia*. 183 s.
289. Woźnica Z. 2012. Występowanie i szkodliwość chwastów. W: *Herbologia. Podstawy biologii, ekologii i zwalczania chwastów*. PWRiL Poznań, 11-45 ss.
290. Woźnica Z. 2012a. Formułacje, nośniki i adiuwanty do herbicydów. s. 227-257. W: *Herbologia. Podstawy biologii, ekologii i zwalczania chwastów*. PWRiL Poznań, 240 ss.
291. Woźnica Z., Idziak R. 2010. Influence of herbicide application timings, rates and adjuvant type on weed control and yield of maize grown for forage. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 9 (4): 77–84.
292. Woźnica Z., Idziak R. 2011. Wpływ adiuwantów o działaniu wielokierunkowym na skuteczność chwastobójczą herbicydów stosowanych w kukurydzy. *Prog. Plant Prot.* 51(3): 1398–1401.
293. Woźnica Z., Idziak R. 2015. Wpływ obniżonych dawek herbicydów stosowanych z adiuwantami w różnych terminach na zachwaszczenie i plonowanie kukurydzy. *Fragm. Agron.* 32(2): 111–118.
294. Woźnica Z., Nalewaja J.D., Messersmith C.G., Miłkowski P. 2003. Quinclorac efficacy as affected by adjuvants and spray carrier water. *Weed Technol.* 17: 582–588.

295. Woźnica Z., Skrzypczak G., 1998. Adjuvants for foliar applied herbicides. Ann. Warsaw.
296. Xu L., Zhu H., Ozkan H.E., Bagley W.E., Krause C.R. 2011. Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants. Pest Manag. Sci. 67: 842–851.
297. Yalkowsky S.H., He Y., Jain P. Handbook of Aqueous Solubility Data Second Edition. CRC Press, Boca Raton, FL 2010, p. 616.
298. Yilmaz N., Aydin O. 2022. The effects of weeds control methods on yield and yield components for maize plant (*Zea mays* L.). Akademik Ziraat Dergisi 11(2): 295–302.
299. Zamljen S.A., Leskovsek R. 2024. Critical period of weed control in maize as influenced by soil tillage practices and glyphosate application. Agronomy 14(1): 93.
300. Zhang Y.Q., Pang L.L., Yan Pengm Liu D.Y., Zhang W., Yost R., Zhang F.S., Zou C.Q. 2013. Zinc fertilizer placement affects zinc content in maize plant. Plant and Soil 372: 81–92.
301. Zimdahl R.L. 2013. Fundamentals of Weed Science. 4th ed. Academic Press, San Diego, San Diego, California, USA, 31 ss.
302. Ziska I.H., Blumenthal D.M., Runion G.B., Hunt E.R. Jr., Diaz-Soltero H. 2011. Invasive species and climate change: an agronomic perspective. Clim. Change 105: 13–42.
303. Zollinger R.K., Nalewaja J.D., Peterson D.E., Young B.G. 2010. Effect of hard water and ammonium sulfate on weak acid herbicide activity. J. ASTM Int. 7(6): 1–10.
304. ZORR 2020. Zalecenia ochrony roślin rolniczych. T. 1. Zboża jare i kukurydza. IOR-PIB Poznań: ss. 307.
305. Zystro J.P., de Leon N., Tracy W.F. 2012. Analysis of traits related to weed competitiveness in sweet corn (*Zea mays* L.). Sustainability 4: 543-560.