

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY



**STUDIA
I
RAPORTY
IUNG - PIB**

28(2)

PROGRAM WIELOLETNI

2011–2015

PULAWY 2012

TECHNIKI I TECHNOLOGIE
STOSOWANE W PRODUKCJI
ROŚLINNEJ A ŚRODOWISKO
PRZYRODNICZE

WSPIERANIE DZIAŁAŃ W ZAKRESIE
KSZTAŁTOWANIA ŚRODOWISKA ROLNICZEGO
I ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU PRODUKCJI
ROLNICZEJ W POLSCE

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redaktor: *prof. dr hab. Stanisław Wróbel*

Recenzenci: *dr hab. Krzysztof Domaradzki*
dr hab. Jerzy Grabiński
prof. dr hab. Grażyna Podolska
prof. dr hab. Tadeusz Praczyk
prof. dr hab. Jerzy Sadowski
dr hab. Ewa Stanisławska-Głubiak
prof. dr hab. Stanisław Wróbel

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *dr Irena Marcinkowska*

ISBN 978-83-7562-103-7

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 250 egz., B-5, zam. 15/D/12
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG - PIB w Puławach
tel. (081) 8863421 w. 301 i 307; fax (081) 8864547
e-mail: iung@iung.pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

TECHNIKI I TECHNOLOGIE STOSOWANE
W PRODUKCJI ROŚLINNEJ
A ŚRODOWISKO PRZYRODNICZE

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. Krzysztof Domaradzki, Hanna Gołębiowska – Zmiany w systemach odchwaszczania buraka cukrowego i kukurydzy	9
2. Ewa Stanisławska-Głubiak, Jolanta Korzeniowska, Czesław Pietruch – Programy komputerowe jako narzędzia wspomagające efektywne i bezpieczne nawożenie roślin mikroelementami	21
3. Hanna Gołębiowska, Elżbieta Płaskowska – Wpływ agrotechniki na występowanie chorób fuzaryjnych oraz jakość i zdrowotność ziarna odmian żyta ozimego	31
4. Renata Kieloch – Wpływ herbicydów na jakość ziarna zbóż	45
5. Mariusz Kucharski, Katarzyna Marczevska-Kolasa, Henryka Rola, Krzysztof Domaradzki – Odporność chwastów na herbicydy w świetle badań IUNG-PIB w latach 1999–2010	55
6. Mariusz Kucharski, Jerzy Sadowski – Czynniki wpływające na poziom pozostałości herbicydów w glebie i materiale roślinnym	69
7. Cezary A. Kwiatkowski – Rola międzyplonów we współczesnym rolnictwie	79
8. Jerzy Sadowski, Mariusz Kucharski – Herbicydy w uprawie rzepaku – pozostałości w środowisku	97
9. Tomasz R. Sekutowski – Standardowe oraz alternatywne testy roślinne jako cenne narzędzia w badaniach ekotoksykologicznych	113
10. Ryszard Weber – Uprawa bezplużna zbóż po przedplonach zbożowych	125
11. Stanisław Wróbel, Urszula Sienkiewicz-Cholewa, Adam Kaus, Aleksandr Mickiewicz – Remediacja gleb zanieczyszczonych jako ważny element bezpieczeństwa produkcji roślinnej	141

Krzysztof Domaradzki, Hanna Gołębiowska

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

ZMIANY W SYSTEMACH ODCHWASZCZANIA BURAKA CUKROWEGO I KUKURYDZY*

Wstęp

We współczesnym rolnictwie najczęściej wyróżnia się konwencjonalny i integrowany system rolniczego gospodarowania, w zależności od stopnia zaangażowania przemysłowych środków produkcji, głównie nawozów mineralnych i środków ochrony roślin (4, 5). Podstawą systemu integrowanego jest dobrze skonstruowany płodozmian oraz prawidłowa agrotechnika uzupełniona chemicznymi środkami ochrony roślin, w tym herbicydami precyzyjnie dopasowanymi do stanu i stopnia zachwaszczania uprawy oraz ze zbilansowanymi dawkami nawozów uwzględniającymi zapotrzebowanie pokarmowe roślin i zasobność gleby (8).

Podstawowym celem stosowania herbicydów jest ograniczenie konkurencyjnego oddziaływania chwastów do takiego stopnia, by nie wpływały one ujemnie na wielkość i jakość plonów. W roślinach charakteryzujących się małą konkurencyjnością w stosunku do chwastów w początkowym okresie wzrostu, jak np. burak cukrowy lub kukurydza, zapobieganie zachwaszczeniu plantacji polega na intensywnej ochronie chemicznej. Rośliny te są bardzo wrażliwe na zachwaszczenie, zwłaszcza na początku wegetacji. Dlatego chemiczne zabiegi ochrony przed chwastami powinny zapewniać utrzymanie plantacji w czystości do momentu zwarcia międzyrzędzi (1).

Pod koniec lat osiemdziesiątych XX w. do szerokiej praktyki rolniczej zostały wprowadzone systemy chemicznej ochrony buraka cukrowego, które opierały się w głównej mierze na 3-4 zabiegach wykonanych herbicydami o działaniu nalistnym, przeciw chwastom w bardzo wczesnych fazach rozwojowych, czyli metoda tzw. dawek dzielonych (6, 7, 9). Zwalczanie chwastów w momencie ich bardzo dużej wrażliwości na herbicydy zrodziło pokusę sprawdzenia, czy istnieje możliwość obniżenia dawek stosowanych środków, a jednocześnie zachowania wymaganej skuteczności chwastobójczej. Pierwsze tego typu badania prowadzone w USA potwierdziły taką możliwość (2, 10).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Nieco inaczej przedstawia się sytuacja w ochronie kukurydzy, w której dominowały dotychczas herbicydy zawierające w swym składzie atrazynę. Substancja ta była dopuszczona do stosowania w ilości nieprzekraczającej 1000 g s.a./ha, lecz herbicydy zawierające ten związek znajdowały się w obrocie handlowym na terenie Unii Europejskiej jedynie do końca czerwca 2007 r. i po tym terminie ich stosowanie zostało zabronione. Uzupełnieniem palety środków chwastobójczych w kukurydzy są herbicydy z grupy pochodnych sulfonylomocznika.

Atrazyna, której stosowanie zostało w Polsce zabronione w 2007 r., charakteryzowała się pewnymi zaletami, jak np. brak fitotoksycznego oddziaływania na roślinę uprawną i to nawet, gdy była aplikowana w wysokich dawkach i w różnych terminach, odznaczała się też skutecznym i długotrwałym działaniem chwastobójczym. Niestety była negatywnie oceniona pod względem ekologicznym, głównie z powodu długiego zalegania w glebie, przenikania do wód gruntowych oraz zagrożenia dla upraw następnych (3). Po wycofaniu tej substancji w ochronie kukurydzy przed chwastami powstała pewna luka. Pozostałe zarejestrowane herbicydy charakteryzują się wymaganą skutecznością, są selektywne dla kukurydzy, lecz nie zapewniają długotrwałego działania, zwłaszcza na chwasty ciepłolubne, późno wschodzące. Zrodziła się zatem pilna potrzeba opracowania systemów chemicznej ochrony przed chwastami, podobnie jak ma to miejsce w buraku cukrowym. Przewiduje się, że niezbędne będą 2–3-krotne zabiegi odpowiednio dobranymi do stanu zachwaszczenia mieszaninami herbicydowymi. Przeprowadzenie tych zabiegów może być rozciągnięte u kukurydzy aż do fazy 8. liścia, co daje możliwość eliminowania pojawiających się chwastów.

Mając na uwadze zmniejszenie kosztów ponoszonych na ochronę przed chwastami oraz zminimalizowanie niekorzystnego wpływu herbicydów na środowisko coraz większego znaczenia nabiera precyzyjny wybór środków oraz ograniczanie i optymalizacja dawek stosowanych herbicydów (11).

Celem wykonanych badań była próba zoptymalizowania dawkowania herbicydów w systemach chemicznego odchwaszczania buraka cukrowego i kukurydzy poprzez stosowanie odpowiednio dobranych mieszanin herbicydowych i dodatek adiuwanta.

Działania takie zapewniają obniżenie nakładów oraz ograniczenie niekorzystnej presji środków chemicznych na środowisko.

Metodyka badań

Badania nad przydatnością herbicydów do odchwaszczania kukurydzy i buraka były przeprowadzone w latach 2008–2010. Doświadczenia prowadzono na polach produkcyjnych rolników indywidualnych w okolicach Wrocławia. Lokalizacja doświadczeń była tak dobrana, aby zapewnić typowe warunki uprawy oraz zachwaszczenia panujące na plantacjach buraka cukrowego i kukurydzy na terenie Dolnego Śląska.

Przed siewem kukurydzy i buraka oraz założeniem doświadczeń na całym polu przeprowadzano w pełnym zakresie zabiegi uprawowe i pielęgnacyjne oraz stosowano nawożenie zgodnie z zaleceniami agrotechnicznymi.

W wykonanych badaniach oceniano herbicydy i ich mieszaniny aplikowane w systemie dawek dzielonych z użyciem ograniczonych dawek środków, w porównaniu z metodami tradycyjnymi polegającymi na jednokrotnym zabiegu (kukurydza) lub w systemie dawek zalecanych (burak cukrowy). Oceniane herbicydy i ich mieszaniny podano w tabelach 1 i 2.

Badane środki aplikowano opryskiwaczem plecakowym „Gloria” wyposażonym w rozpylacz typu TeeJet XR 11003-VS, pracującym ze stałym ciśnieniem roboczym 0,25 MPa i wydatkiem cieczy użytkowej wynoszącym 250 l · ha⁻¹.

W przypadku kukurydzy herbicydy i ich mieszaniny stosowano w fazie 1-3 liści kukurydzy (BBCH 11-13) oraz metodą dawek dzielonych, tj. połowę dawki w fazie 1-3 liści kukurydzy (BBCH 11-13) na wschodzące chwasty i połowę dawki w fazie 4-5 liści kukurydzy (BBCH 14-15).

W buraku cukrowym herbicydy aplikowano w zabiegach systemowych, stosując czterokrotne opryskiwanie. Pierwszy zabieg wykonano w fazie liścieni chwastów, natomiast następne przeprowadzono na nowo wschodzące chwasty w odstępie 7-14 dni. W zabiegach systemowych oceniono mieszaniny w dawkach niższych o 50 i 67% niż są zalecane dla odchwaszczania buraka.

Wszystkie doświadczenia wykonano metodą losowanych bloków, w czterech powtórzeniach, na poletkach o powierzchni 25 m².

Zniszczenie chwastów oceniano metodą szacunkową. Ocena ta została wykonana po 3-4 tygodniach od ostatniego zastosowania herbicydów. Polegała ona na szacowaniu zniszczenia każdego gatunku chwastu w porównaniu z nieopryskaną kontrolą. Wyniki analizy wyrażono w procentach.

Korzenie buraka zbierano ręcznie w fazie dojrzałości technologicznej. W tabelach wynikowych podano plon korzeni po odjęciu zanieczyszczeń.

Kolby kukurydzy zbierano ręcznie w fazie dojrzałości pełnej, ustalając liczbę i masę kolb, plon ziarna oraz masę tysiąca ziaren (MTZ). Wartości plonu ziarna i MTZ podano w przeliczeniu na 15% wilgotności, oprócz tego zakres badań obejmował elementy struktury plonu, takie jak: długość kolb, masa ziarna z kolby.

W statystycznym opracowaniu wyników użyto metody analizy wariancji dla doświadczeń polowych i mikropoletkowych w układzie losowanych bloków. Istotność różnic testowano wykorzystując 95% półprzedział ufności Tukey’a. Obliczenia wykonano za pomocą programu komputerowego AWAR 2.0 opracowanego w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach oraz w programie Statgraphics v. 1.41 PL.

Wyniki badań

Systemy odchwaszczania buraka cukrowego

Uzyskane wyniki doświadczeń dowodzą, że czterokrotne zabiegi mieszaniną Betanal Progress 274 OF + Pyramin 65 WP + Safari 50 WG + Atpolan 80 EC wykazały wysoką skuteczność chwastobójczą wynoszącą średnio 90-95%. Mieszanina ta skutecznie eliminowała takie gatunki, jak: *Echinochloa crus-galli* (ECHCG), *Chenopo-*

dium album (CHEAL), *Amaranthus retroflexus* (AMARE), *Polygonum persicaria* (POLPE), *Galium aparine* (GALAP), *Polygonum convolvulus* (POLCO), samosiewy *Brassica napus* (BRSNX) oraz *Anthemis arvensis* (ANTAR). W obu badanych dawkach komponentów uzyskany efekt chwastobójczy znacznie przewyższał skuteczność herbicydu Betanal Progress 274 OF użytego trzy lub czterokrotnie, bez dodatku innych środków. Średnia skuteczność tych zabiegów wahała się na poziomie 78-85% (tab. 1).

Mieszaniny zawierające w swym składzie Betanal Progress 274 OF, Lontrel 300 SL i Atpolan 80 EC uzupełnione dodatkiem herbicydów Goltix 70 WP, Venzar 80 WP lub Flirt 460 SC charakteryzowały się niższą skutecznością chwastobójczą, wynoszącą 71-87%. Niższe dawki komponentów powodowały spadek skuteczności do poziomu 71-78%. W przypadku dawek wyższych skuteczność oscylowała w granicach 84-87%. Każda z mieszanin w średnim stopniu eliminowała *Echinochloa crus-galli* (ECHCG), natomiast mieszaniny w niższych dawkach również jedynie w średnim stopniu zwalczały *Chenopodium album* (CHEAL), *Amaranthus retroflexus* (AMARE), *Polygonum persicaria* (POLPE) i *Galium aparine* (GALAP). Skuteczność tych mieszanin była zbliżona do zastosowanego porównawczo herbicydu Betanal Progress 274 OF (tab. 1).

Obserwowano pewne zróżnicowanie plonowania pomiędzy obiektami, na których stosowano mieszaniny herbicydowe w różnych dawkach. Najwyższe plony uzyskano na poletkach, na których aplikowano badane środki w najwyższych dawkach. Wynosiły one $68,52 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla mieszaniny Betanal Progress 274 OF + Pyramin 65 WP + Safari 50 WG + Trend 90 EC (komponenty w dawce niższej o 50%) i były o kilkanaście ton z hektara wyższe niż uzyskane na poletkach opryskiwanych pojedynczym herbicydem (Betanal Progress 274 OF). Wraz z ograniczaniem dawki komponentów badanych mieszanin obserwowano pewne obniżenie plonowania. Jednak w każdym z przypadków plon korzeni był wyższy w porównaniu z plonem uzyskanym z poletek chronionych pojedynczym herbicydem, na których wynosił on $52,50\text{-}56,11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pozostałe mieszaniny, w których użyto komponenty w dawkach obniżonych o 50% zapewniały uzyskanie plonu korzeni na poziomie $61,21\text{-}63,94 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast w przypadku gdy dawki poszczególnych środków były niższe o 67% plony oscylowały w granicach $56,97\text{-}59,94 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 1).

Systemy odchwaszczania kukurydzy

Najwyższą skuteczność działania prowadzącą do całkowitego wyeliminowania chwastów jedno- i dwuliściennych uzyskano po zastosowaniu mieszaniny herbicydów Callisto 100 SC i Milagro 040 SC. Nieznacznie słabsze efekty zapewniało zastosowanie mieszanin Callisto 100 SC + Titus 25 WG łącznie z adjuwantem Trend 90 EC oraz Callisto 100 SC + Maister 310 WG z dodatkiem adjuwanta Actirob 842 EC. Wyniki takie osiągnięto, gdy omawiane mieszaniny stosowano w pełnych dawkach, w systemie zabiegów dwukrotnych w fazie dwóch i pięciu liści kukurydzy (tab. 2).

Obniżenie dawki tych mieszanin o 33% i 50%, z jednoczesnym zachowaniem systemu dwóch zabiegów, pozwalało zachować ich wysoką skuteczność.

Tabela 1

Wpływ systemu stosowania herbicydów na skuteczność chwastobójczą i plonowanie buraka cukrowego (IUNG-PIB Wrocław 2008-2010)

Lp.	System herbicydowy	Dawka na ha	Termin opryskiwania	Plon (t·ha ⁻¹)	średnio	Zniszczenie chwastów (%) w tym gatunków dominujących							
						ECHCG	CHEAL	AMARE	POLPE	GALAP	POLCO	BRSNX	ANTAR
						-	-	-	-	-	-	-	-
1.	Kontrola	-	-	30,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	Betanal Progress 274 OF + Pyramin 65 WP + Safari 50 WG + Atpolan 80 EC	0,5 l	T-1	68,52	95	87	91	99	96	97	96	100	99
		0,5 kg	T-2										
		15 g	T-3										
		1,5 l	T-4										
3.	Betanal Progress 274 OF + Pyramin 65 WG + Safari 50 WG + Atpolan 80 EC	0,33 l	T-1	59,94	90	83	84	94	94	95	93	98	90
		0,33 kg	T-2										
		10 g	T-3										
		1,5 l	T-4										
4.	Betanal Progress 274 OF + Venzar 80 WP + Lontrel 300 SL + Atpolan 80 EC	0,5 l	T-1	61,21	84	66	85	84	83	88	91	98	95
		0,1 kg	T-2										
		0,1 l	T-3										
		1,5 l	T-4										
5.	Betanal Progress 274 OF + Venzar 80 WP + Lontrel 300 SL + Atpolan 80 EC	0,33 l	T-1	56,97	71	48	67	75	73	80	88	98	81
		0,05 kg	T-2										
		0,05 l	T-3										
		1,5 l	T-4										
6.	Betanal Progress 274 OF + Goltix 700 SC + Lontrel 300 SL + Atpolan 80 EC	0,5 l	T-1	63,08	86	69	91	89	91	90	91	98	96
		0,5 l	T-2										
		0,1 l	T-3										
		1,5 l	T-4										
7.	Betanal Progress 274 OF + Goltix 700 SC + Lontrel 300 SL + Atpolan 80 EC	0,33 l	T-1	57,75	78	58	80	82	73	79	85	98	94
		0,33 l	T-2										
		0,05 l	T-3										
		1,5 l	T-4										
8.	Betanal Progress 274 OF + Flirt 460 SC + Lontrel 300 SL + Atpolan 80 EC	0,5 l	T-1	63,94	87	68	91	88	91	87	94	100	96
		1 l	T-2										
		0,1 l	T-3										
		1,5 l	T-4										

cd. tab. 1

Lp.	System herbicydowy	Dawka na ha	Termin opryskiwania	Plon (t·ha ⁻¹)	Zniszczenie chwastów (%)							
					średnio	w tym gatunków dominujących						
						ECHCG	CHEAL	AMARE	POLPE	GALAP	POLCO	BRSNX
9.	Betanal Progress 274 OF + Flirt 460 SC + Lontrel 300 SL + Atpolan 80 EC	0,33 l 0,5 l 0,05 l 1,5 l	T-1 T-2 T-3 T-4	58,39	76	48	75	80	77	80	87	98
10.	Betanal Progress 274 OF	1 l	T-1, T-2, T-3	56,11	85	67	87	90	78	90	91	100
11.	Betanal Progress 274 OF	1 l	T-1, T-2, T-3, T-4	52,50	78	62	77	86	57	89	91	98
												88
												83

Terminy opryskiwania: T-1 – w fazie liścieni chwastów, T-2 – 7-14 dni po poprzednim zabiegu, T-3 – po 7-14 dniach, T-4 – po 7-14 dniach
ECHCG – *Echinochloa crus-galli*, CHEAL – *Chenopodium album*, AMARE – *Amaranthus retroflexus*, POLPE – *Polygonum persicaria*, GALAP – *Gallium aparine*, POLCO – *Polygonum convolvulus*, BRSNX – samostewy *Brassica napus*, ANTAR – *Anthemis arvensis*
Źródło: dane własne autorów.

Tabela 2

Skuteczność zwalczania chwastów jedno- i dwuliściennych przez mieszaniny herbicydowe stosowane w dawkach pełnych i obniżonych oraz ich wpływ na plonowanie kukurydzy

Obiekt	Dawka środka		Termin opryskiwania	Zniszczenie chwastów (%)							Plon ziarna (t·ha ⁻¹)
	I, g na ha	%		ECHCG	SETVI	CHEAL	AMARE	THLAR	VIOAR	AETCY	SOLNI
Kontrola	-	-	-	*27	*19	*22	*11	*9	*8	*6	*4
Calisto 100 SC + Titus 25 WG + Trend 90 EC	1,2 l + 45 g + 1%	100	BBCH 15	88	86	100	100	100	100	90	100
	0,8 l + 30 g + 1%	67	BBCH 15	81	77	100	100	100	85	90	90
	0,6 l + 23 g + 1%	50	BBCH 15	78	74	100	92	100	80	88	87
Calisto 100 SC + Milagro 040 SC	1,0 + 0,8 l	100	BBCH 15	92	95	100	100	100	100	100	100
	0,67 + 0,53 l	67	BBCH 15	87	88	98	96	93	93	98	98
	0,50 + 0,40 l	50	BBCH 15	85	86	89	88	90	86	89	90
Calisto 100 SC + Maister 310 WG + Actirob 842 EC	1,0 l + 100 g + 1 l	100	BBCH 15	97	100	100	94	100	84	84	100
	0,66 l + 66 g + 1 l	67	BBCH 15	95	90	95	90	100	80	80	100
	0,5 l + 50 g + 1 l	50	BBCH 15	87	88	86	88	91	79	76	90
Calisto 100 SC + Titus 25 WG + Trend 90 EC	0,6 l + 22,5 g + 1%	100	BBCH 12	100	100	100	100	100	100	95	100
	0,6 l + 22,5 g + 1%	67	BBCH 12	91	97	100	100	100	88	92	92
	0,4 l + 15 g + 1%	50	BBCH 12	88	93	100	92	100	84	88	87
Calisto 100 SC + Milagro 040 SC	0,3 l + 11,5 g + 1%	100	BBCH 12	100	100	100	100	100	100	100	100
	0,3 l + 11,5 g + 1%	67	BBCH 12	97	98	98	96	93	94	98	98
	0,25 l + 0,20 l	50	BBCH 12	92	90	92	90	90	84	89	90
	0,25 l + 0,20 l		BBCH 15								

cd. tab. 2

Obiekt	Dawka środka		Termin opryskiwania	Zniszczenie chwastów (%)							Plon ziarna (t·ha ⁻¹)	
	l, g na ha	%		ECHCG	SETVI	CHEAL	AMARE	THLAR	VIOAR	AETCY		SOLNI
Calisto 100 SC + Maister 310 WG + Actirob 842 EC	0,5 l + 50 g + 1 l	100	BBCH 12	100	100	100	96	100	94	90	100	10,96
	0,5 l + 50 g + 1 l		BBCH 15									
	0,33 l + 33 g + 1 l	67	BBCH 12	98	95	97	95	100	87	84	100	10,79
	0,33 l + 33 g + 1 l		BBCH 15									
	0,25 l + 25g + 1 l	50	BBCH 12	92	90	88	89	90	82	82	90	10,51
	0,25 l + 25g + 1 l		BBCH 15									
NIR _(0,05)											1,122	

* na kontroli liczba chwastów w szL/m²
 ECHCG – *Echinochloa crus-galli*, SETVI – *Setaria viridis*, CHEAL – *Chenopodium album*, AMARE – *Amaranthus retroflexus*, THLAR – *Thlaspi arvense*, VIOAR – *Viola arvensis*, AETCY – *Aethusa cynapium*, SOLNI – *Solanum nigrum*
 Źródło: dane własne autorów.

Mieszaniny Callisto 100 SC + Titus 25 WG + Trend 90 EC oraz Callisto 100 SC + Milagro 040 SC aplikowane dwukrotnie w dawce obniżonej o 50% bardzo dobrze (w 87-100%) zwalczały *Echinochloa crus-galli* (ECHCG), *Setaria viridis* (SETVI), *Chenopodium album* (CHEAL), *Amaranthus retroflexus* (AMARE), *Thlaspi arvense* (THLAR), *Aethusa cynapium* (AETCY) i *Solanum nigrum* (SOLNI).

Dwukrotny zabieg mieszaniną herbicydów Callisto 100 SC + Maister 310 WG + Actirob 842 EC w dawce ograniczonej o 50% pozwolił skutecznie wyeliminować *Echinochloa crus-galli*, *Setaria viridis*, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Thlaspi arvense* i *Solanum nigrum*. Średnią wrażliwością charakteryzowały się jedynie *Aethusa cynapium* i *Viola arvensis*.

Zastosowanie powyższych mieszanin w dawkach zredukowanych o 33% w stosunku do dawek pełnych nie powodowało znaczącego wzrostu skuteczności, jedynie gatunki średnio wrażliwe były eliminowane lepiej. Zdecydowanie gorsze efekty uzyskano, gdy badane mieszaniny stosowano w postaci zabiegu pojedynczego, pomimo tego iż użyto takiej samej dawki sumarycznej środków, jak w zabiegach dzielonych (tab. 2).

Podobne efekty, jak w przypadku skuteczności chwastobójczej obserwowano w odniesieniu do plonowania kukurydzy. Wyższe plony uzyskano z obiektów chronionych w systemie dawek dzielonych niż w formie pojedynczego zabiegu. Wynosiły one od 10,51 do 10,68 l · ha⁻¹ dla dwukrotnego zabiegu dawką obniżoną o 50%, natomiast w przypadku dwukrotnej aplikacji dawki pełnej wahały się od 10,96 do 11,25 l · ha⁻¹. W odniesieniu do zabiegu pojedynczego wartości te wynosiły odpowiednio 9,56-10,66 l · ha⁻¹ oraz 10,65-11,15 l · ha⁻¹ (tab. 2).

Podsumowanie

Przeprowadzone badania dowodzą, że istnieje możliwość optymalizowania stosowania herbicydów w systemach chemicznej ochrony buraka cukrowego i kukurydzy poprzez aplikację mieszanin herbicydowych o odpowiednio dobranych – składzie komponentów oraz dawce.

Przyjmując jako główne kryterium oceny skuteczność chwastobójczą stwierdzono, że mieszaniny wykazały wysoką skutecznością chwastobójczą. W przypadku buraka wynosiła ona – zależnie od zastosowanej dawki komponentów – 84-95% dla mieszanin, w których komponenty zastosowano w dawce niższej o 50% oraz 71-90% dla dawek zredukowanych o 67%.

Aplikacja mieszanin w dawkach obniżonych w każdym przypadku zapewniała lepszy efekt chwastobójczy od skuteczności herbicydu Betanal Progress 274 OF użytego bez dodatku innych środków.

Analizując plon korzeni buraka można zauważyć, że wszystkie badane systemy odchwaszczania oparte na mieszaninach herbicydowych (3 herbicydy + adiuwant) zapewniały wyższe plonowanie w porównaniu z systemami standardowymi (Betanal Progress 274 OF stosowany 3- lub 4-krotnie). Najlepsze efekty wystąpiły, gdy stosowano mieszaniny w najwyższych dawkach.

Oceniając wszystkie parametry można stwierdzić, że najlepsze rezultaty w uprawie buraka cukrowego zarówno ze względu na bardzo dobrą skuteczność chwastobójczą, jak i wysokość plonu zapewniało stosowanie mieszaniny Betanal Progress 274 OF + Pyramin 65 WP + Safari 50 WG + Atpolan 80 EC, w której komponenty zastosowano w dawce niższej o 50%.

Przeprowadzone badania dowodzą również, że możliwa jest wysoka skuteczność niszczenia chwastów jedno- i dwuliściennych w uprawie kukurydzy mieszaninami herbicydów w dawkach obniżonych o 33% oraz 50%.

Spośród badanych środków najlepsze działanie chwastobójcze (100% skuteczności) wykazała mieszanina herbicydów Callisto 100 SC + Milagro 040 SC aplikowana w postaci dwóch zabiegów z pełną dawką komponentów. Również pozostałe mieszaniny stosowane w systemie dzielonym wykazały się wysoką skutecznością chwastobójczą. Aplikacja badanych mieszanin w dawkach zredukowanych o 33% i 50% nie powodowała znaczącego spadku skuteczności chwastobójczej i z powodzeniem może służyć do odchwaszczania kukurydzy. Opryskiwanie w jednym terminie było mniej skuteczne.

Rozpatrując poziom plonowania można stwierdzić, że wyższe plony uzyskano z obiektów chronionych zabiegami w systemie dawek dzielonych niż w formie pojedynczej aplikacji.

Literatura

1. Adamczewski K., Kawczyński J.: Efektywność zwalczania chwastów w burakach cukrowych herbicydami składającymi się z kilku substancji aktywnych. *Prace Nauk. Inst. Ochr. Rośl.*, 1987, **28(1/2)**: 379-388.
2. Dexter A. G.: History of sugar beet (*Beta vulgaris*) herbicide rate reduction in North Dakota and Minnesota. *Weed Technol.*, 1994, **8**: 334-337.
3. Gołębiowska H., Rola H.: Wpływ herbicydów sulfonylomocznikowych na zdrowotność i wybrane parametry jakościowe ziarna odmian kukurydzy uprawianych w monokulturze. *Fragm. Agron.*, 2008, **1/97**: 145-157.
4. Kuś J.: Plonowanie wybranych gatunków roślin w różnych systemach produkcji. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 2003, **89**: 7-17.
5. Kuś J., Stalenga J.: Perspektywy rozwoju różnych systemów produkcji rolniczej w Polsce. *Biul. IHAR*, 2006, **242**: 15-19.
6. Paradowski A., Adamczewski K.: Ocena wpływu zmiany technologii odchwaszczania buraka cukrowego na przestrzeni 15 lat. *Biul. IHAR*, 2002, **222**: 271-277.
7. Rola J., Rahban B. A., Marczewski K.: Porównanie systemów chemicznego odchwaszczania buraków cukrowych. *Materiały 34 Sesji Nauk. Inst. Ochr. Rośl.*, cz. 1, 1994, 96-103.
8. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 16.04.2004 r. (Dz. U., nr 85, poz. 801) wraz z późniejszymi zmianami (Dz. U., nr 48, poz. 460 oraz Dz. U., nr 108, poz. 907 z 2005 r.).
9. Wilson R. G.: New herbicides for postemergence application in sugar beet (*Beta vulgaris*). *Weed Technol.*, 1994, **8**: 807-811.
10. Wilson R. G., Smith J. A., Yonts C. D.: Repeated reduced rates of broadleaf herbicides in combination with methylated seed oil for postemergence weed control in sugar beet (*Beta vulgaris*). *Weed Technol.*, 2005, **19**: 855-860.

11. Woźnica Z., Adamczewski K., Szeleźniak E.: Stosowanie mikrodawk herbicydów w uprawie buraka cukrowego. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44**: 523-530.

Adres do korespondencji:

dr hab. Krzysztof Domaradzki, prof. nadzw.
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363 87 07 wew. 105
e-mail: k.domaradzki@iung.wroclaw.pl

Ewa Stanisławska-Głubiak, Jolanta Korzeniowska, Czesław Pietruch

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

PROGRAMY KOMPUTEROWE JAKO NARZĘDZIA WSPOMAGAJĄCE
EFEKTYWNE I BEZPIECZNE NAWOŻENIE ROŚLIN
MIKROELEMENTAMI*

Wstęp

W produkcji rolniczej uzyskanie wysokiego plonu dobrej jakości jest uwarunkowane nie tylko dobrym zaopatrzeniem rośliny uprawnej w makroelementy, ale również pokryciem jej zapotrzebowania na mikroelementy. Decydują one bowiem o efektywnym wykorzystaniu azotu, fosforu czy pozostałych makroskładników w tworzeniu biomasy. Mikroelementy jako składniki lub aktywatory enzymów uczestniczą w wielu reakcjach metabolicznych oraz spełniają bardzo ważne funkcje fizjologiczne w roślinie. Ich niedobór prowadzi w pierwszej kolejności do obniżenia odporności roślin na niekorzystne warunki środowiska, a następnie do obniżenia poziomu plonów i pogorszenia ich jakości.

Potrzeba nawożenia roślin mikroelementami w naszym kraju wynika ze stwierdzonego dużego udziału gleb o niskiej zasobności w te składniki (5). Dotyczy to zwłaszcza boru i miedzi, co zostało potwierdzone badaniami na temat potrzeb nawożenia roślin uprawnych wymienionymi pierwiastkami (6, 7, 8). Problem niedoboru mikroelementów w glebach będzie narastał w wyniku radykalnego spadku poziomu nawożenia obornikiem, zmniejszenia zużycia nawozów zawierających balast, ograniczenia emisji przemysłowych oraz uprawy wysoko plonujących odmian. Nawożenie roślin mikroelementami stanie się koniecznością, co zostało ujęte w wymaganiach rolnictwa zrównoważonego, w którym jakość produktów rolnych ma znaczenie pierwszorzędne. Podjęcie decyzji o nawożeniu mikroelementami powinno być poprzedzone diagnostyką zaopatrzenia gleby i roślin w te składniki. W nowoczesnym systemie wydawania zaleceń bardzo pomocnym narzędziem stały się różnego rodzaju programy komputerowe wspomagające doradztwo nawozowe. Efektem prac realizowanych w IUNG-PIB jest kilka takich programów. Dwa z nich dotyczą wydawania zaleceń w zakresie stosowania mikroelementów pod rośliny uprawne. Podstawowym programem jest tzw. „**Kalkulator potrzeb nawożenia mikroelementami roślin uprawnych**”, który tworzy zalecenia mikroelementowe dla zbóż, kukurydzy, rzepaku, roślin okopo-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

wych, strączkowych i motylkowatych wieloletnich. Drugi program pod nazwą „**Info-Plant**” służy do oceny odżywienia roślin składnikami mineralnymi w trakcie wegetacji, w tym również mikroelementami, w celu ewentualnej korekty nawożenia za pomocą dolistnej aplikacji brakujących składników.

Opis programów

1. Kalkulator potrzeb nawożenia mikroelementami roślin uprawnych

Użytkownik programu, zwanego w skrócie kalkulatorem mikroelementowym, wypełnia formularz, podając dane dotyczące pola i uprawianej rośliny. W zamian uzyskuje informację o braku lub konieczności nawożenia mikroelementami oraz wysokości dawki, terminu i formy aplikacji (rys. 1).

Podane dawki dotyczą tzw. soli technicznych (siarczan cynku, siarczan miedzi, boraks, molibdenian amonu itd.), a nie form chelatowych. W przypadku stosowania nawożenia formami chelatowymi należy się kierować zaleceniami producenta. W programie umieszczono również opis sposobu stosowania nawozów, przykłady nawozów mikroelementowych oraz dopuszczalne stężenia roztworów do aplikacji dolistnej.

Kalkulator mikroelementowy w ocenie potrzeb nawożenia tymi składnikami uwzględnia trzy elementy: 1) wrażliwość rośliny na niedobór mikroelementów, 2) ocenę zasobności gleby w mikroelementy, 3) czynniki glebowe modyfikujące ich przyswajalność.

Algorytm programu jest oparty o metodę krokowo-punktową, która polega na przyznawaniu na każdym kolejnym etapie oceny określonej ilości punktów za wymienione wyżej elementy (tab. 1). Na podstawie sumarycznej ilości punktów wydawana jest diagnoza o konieczności nawożenia określonym mikroelementem uprawianej rośliny lub jego braku.

Pierwszy krok stanowi ocena stopnia wrażliwości danego gatunku na niedobór każdego mikroelementu osobno. Na podstawie danych literaturowych oraz badań własnych ustalono stopień wrażliwości podstawowych roślin uprawnych na brak poszczególnych mikroelementów, który określany jest jako niski, średni bądź wysoki. Algorytm programu przyznaje określoną ilość punktów za stopień wrażliwości (tab. 2) i równocześnie zakłada, że nie ma potrzeby nawożenia mikroelementem, na którego deficyt roślina jest mało wrażliwa.

Kolejny krok w ustaleniu potrzeb nawożenia mikroelementami to ocena aktualnej zawartości przyswajalnej formy mikroelementu w glebie (oznaczonej w wyciągu 1 mol HCl · dcm⁻³), która może być wystarczająca bądź deficytowa dla roślin. Do oceny zasobności w B, Cu, Mn i Zn służą **liczby graniczne**, które pozwalają stwierdzić analitycznie zawartość mikroelementu w glebie zaliczyć do jednej z trzech klas zasobności: niskiej, średniej lub wysokiej. Kalkulator mikroelementowy oblicza konkretną dla każdego mikroelementu liczbę graniczną dla danej gleby. Do wyliczeń liczb granicznych wykorzystano wzory opracowane we wcześniejszych badaniach, oparte o korelacje wielokrotne między zawartością składnika w roślinie i w glebie z uwzględ-

Kalkulator

potrzeb nawożenia mikroelementami roślin uprawnych

Cu Zn B Mo Mn

[O kalkulatorze...](#)
[O nawożeniu mikroelementami...](#)

Rok: 2010 Gospodarstwo: Kowalski Jan Pole: AB1

Informacje o roślinie:

Gatunek rośliny:

Nawożenie N kg/ha: Nawożenie P2O5 kg/ha:

Forma nawozu azotowego: Rok ostatniego wapnowania pola(mm):

Informacje o polu uprawnym:

[Dobór dla](#)

% Frakcji < 0,02 mm:

Zawartość B mg/kg: Bor ☒

Zawartość Cu mg/kg: Miedź ☒

Zawartość P2O5 mg/100g: Mangan ☒

pH gleby: Zawartość Zn mg/kg: Cynk ☒

Czy stosowano regularnie co 4 lata obornik, kompost lub uprawy motylkowe na tym polu: ☒ Molibden ☒

Kalkulator

potrzeb nawożenia mikroelementami roślin uprawnych

Cu Zn B Mo Mn

[Opis stosowania nawozów](#) [Dopuszczalne stężenia](#) [Przykłady nawozów](#) [Terminy stosowania](#)

Rok: 2010 Gospodarstwo: Kowalski Jan Pole: AB1

Roślina uprawna: Rzepak

Zalecenia - dawki i forma nawożenia

Element	Potrzeba nawożenia	Dawka	Forma (jednostka miary)
Bor (B):	Nawożenie potrzebne	200	dolistnie (g/ha)
Miedź (Cu):	Nawożenie zbędne		
Mangan (Mn):	Nawożenie konieczne	2000	dolistnie (g/ha)
Cynk (Zn):	Nawożenie zbędne		
Molibden (Mo):	Nawożenie zbędne		

Rys. 1. Wygląd kolejnych ekranów kalkulatora mikroelementowego

Tabela 1

Algorytm kalkulatora mikroelementowego oceniającego potrzeby nawożenia mikroelementami (B, Cu, Mn, Zn) roślin uprawnych na glebach mineralnych

I	Wrażliwość roślin na niedobory (punkty wg tabeli 2)				
	0 – przerwanie procedury, nawożenie zbędne		>0 – ocena zasobności gleby w mikroelement		
II	Ocena zasobności gleby w mikroelement				
	Wyliczenie indeksów zasobności (patrz wzory):				
	niska:			średnia:	wysoka:
	indeks 0-50	indeks 51-75	indeks 76-99	indeks B:100-300 indeks Cu:100-300 indeks Mn:100-1000 indeks Zn:100-450 +1 pkt.	indeks B>300 Cu>300 Mn>1000 Zn>450 przerwanie procedury, nawożenie niezbędne
	przerwanie procedury, nawożenie konieczne; idź do tabeli z dawkami	+3 pkt.	+2 pkt.		
III	Wrażliwość roślin na niedobory (punkty wg tabeli 2)				
IV	odczyn gleby > 6,6				
	B 0 pkt.	Cu +1 pkt.	Mn +3 pkt.	Zn +2 pkt.	
V	zawartość frakcji < 0,02 mm 0-15%				
	B +0,5 pkt.	Cu 0 pkt.	Mn 0 pkt.	Zn 0 pkt.	
VI	jeżeli było wapnowanie w ciągu ostatnich 2 lat				
	B +2 pkt.	Cu +0,5 pkt.	Mn +2 pkt.	Zn +1pkt.	
VII	jeżeli nie stosowano regularnie co 4 lata obornika, kompostów lub uprawy motylkowatych				
	B +1,5 pkt.	Cu +1,5 pkt.	Mn +1,5 pkt.	Zn +1,5 pkt.	
VIII	nawożenie> 80 kg P ₂ O ₅ /ha lub zasobność gleby > 30 mg/100 g (b. wysoka)				
	B 0	Cu +0,5 pkt.	Mn 0 pkt.	Zn +1 pkt.	
IX	korekta na nawożenie azotem – N > 120 kg N/ha				
	B 0	Cu +1 pkt.	Mn 0 pkt.	Zn 0	
X	korekta na formę nawozów N przy dawce N > 100 kg/ha (punkty wg tabeli 2)				
XI	sumowanie punktów				
	>6	nawożenie konieczne – idź do tabeli z dawkami			
	3-6	nawożenie potrzebne – idź do tabeli z dawkami			
	<3	nawożenie niezbędne			

Źródło: opracowanie autorów.

Tabela 2

Punkty za wrażliwość roślin na niedobór mikroelementu

Roślina	B	Cu	Mn	Zn	Mo
Zboża					
Jęczmień	0	+3	+2	0	0
Owies	0	+3	+3	0	0
Pszenica	+1	+3	+3	+1	0
Żyto	0	0	+2	0	0
Pszenżyto	0	+1	+2	0	0
Kukurydza	+2	+2	+2	+3	0
Okopowe					
Burak cukrowy	+3	+2	+3	+1	+2
Ziemiak	+1	0	+2	+1	0
Oleiste i włókniste					
Rzepak	+3	0	+2	0	+2
Motylkowate					
Bobik	+2	+2	+1	0	+2
Groch	+2	+2	+3	0	+2
Koniczyna czerwona	+2	+2	+2	+2	+3
Lucerna	+3	+3	+2	+2	+3

Źródło: opracowanie autorów.

Tabela 3

Punkty za formę nawozu azotowego przy dawce $>100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$

Forma nawozu	B	Cu	Mn	Zn
Saletra wapniowa Saletrzak	0	-0,5	0	0
Saletra amonowa Mocznik	0	-0,5	-0,5	-0,5
Siarczan amonowy Nawozy wieloskładnikowe w postaci mieszanek z siarczanem amonowym	-0,5	-0,5	-1,5	-1

Źródło: opracowanie autorów.

nieniem cech gleby decydujących o przyswajalności mikroelementu (2, 3). Wzory te opracowano na podstawie kolekcji 170 próbek gleby i odpowiadających im próbek roślinnych (pszenica ozima, koniczyna, burak cukrowy i owies) pobranych w odpowiedniej fazie rozwojowej. Podane niżej wzory w formie równań regresji wielokrotnej pozwalają obliczyć zawartość mikroelementu w glebie, przy której zawartość tego składnika w roślinie jest zawartością dostateczną. Jako zawartość dostateczną mikroelementu w roślinie przyjęto dolną granicę przedziału zawartości „wystarczającej” (w liczniku równania) według danych B e r g m a n n a (1).

Liczba graniczna B = $31/(-0,736 \times \text{pH}^2 + 49,96)$

gdy $\text{pH} > 7$, to przyjmuje się $\text{pH} = 7$

Liczba graniczna Cu = $6/(-0,08 \times PW + 6,859)$

gdy $PW > 70$, to przyjmuje się $PW = 70$, gdy $PW < 1$, to przyjmuje się $PW = 1$

Liczba graniczna Mn = $20/(0,804) \times pH + 33,044/pH + 12,233/PW - 10,404$

gdy $pH > 6$, to przyjmuje się $pH = 6$

gdy $PW > 70$, to przyjmuje się $PW = 70$, gdy $PW < 1$, to przyjmuje się $PW = 1$

Liczba graniczna Zn = $18/(5957,138/PW^2 + 0,351)$

gdy $PW > 70$, to przyjmuje się $PW = 70$, gdy $PW < 1$, to przyjmuje się $PW = 1$

gdzie: PW (powierzchnia właściwa) = $\exp(2,035 + 0,03398 \times CS)$

CS = części spławiane (% frakcji $< 0,02$)

Po ustaleniu liczb granicznych dla poszczególnych mikroskładników program oblicza **indeksy zasobności**, które są właściwym miernikiem stopnia zaopatrzenia gleby w mikroelement. Indeks zasobności to wyrażony w procentach iloraz stwierdzonej analitycznie zawartości składnika pokarmowego do obliczonej za pomocą wzoru liczby granicznej, która uważana jest za zawartość dostateczną.

$$\text{Indeks zasobności} = \frac{\text{aktualna zawartość mikroelementu w glebie (mg \cdot kg^{-1}) \times 100}{\text{liczba graniczna mikroelementu}}$$

Indeks w zakresie od 0 do 99 świadczy o niskiej zasobności gleby w mikroelement, przy czym im niższa wartość indeksu, tym niedobór składnika w glebie jest większy.

W przypadku molibdenu (Mo) procedura oceny zasobności gleby jest inna. Nie wylicza się bowiem indeksu zasobności, ponieważ od pewnego czasu stacje chemiczno-rolnicze nie oznaczają zawartości Mo w glebie ze względu na uciążliwość oraz małą wiarygodność metody. Na podstawie wartości pH gleby możemy jednak z dużym prawdopodobieństwem wnioskować o zasobności gleby w przyswajalny Mo. W odczynie kwaśnym przyswajalność Mo jest znacznie ograniczona, podczas gdy w warunkach $pH > 6,5$ jest on dobrze przyswajalny.

W algorytmie oceny potrzeb nawożenia mikroelementami oprócz wrażliwości rośliny na ich niedobór oraz zasobności gleby uwzględniono również czynniki decydujące o przyswajalności mikroelementów dla roślin. Są to: odczyn gleby, kategoria agromiczna gleby, nawożenie obornikiem, wapnowanie, nawożenie fosforem, azotem oraz zastosowana forma nawozu azotowego.

Wpływ odczynu gleby na przyswajalność mikroelementów jest znacznie większy niż na przyswajalność makroelementów. W warunkach kwaśnego odczynu wzrasta rozpuszczalność, a tym samym przyswajalność dla roślin Mn, Zn, B i Cu, natomiast maleje dostępność Mo. Wapnowanie zmienia stopniowo odczyn gleby, a jednocześnie chroni glebę przed działaniem czynników zakwaszających, poprawiając jej właściwości buforowe. W świeżo zwapnowanej glebie dostępność Mn, Zn, B i Cu jest ograniczona, natomiast wzrasta przyswajalność Mo.

Kategoria agromiczna gleby, związana z ilością części spławialnych, ma duże znaczenie dla stopnia sorbowania i wiązania mikroelementów w formy trudno dostępne dla roślin. Im gleba lżejsza, o mniejszej pojemności sorpcyjnej, tym słabszy stopień wiązania mikroelementów i lepsza ich dostępność dla roślin.

Zastosowanie obornika wzbogaca glebę w mikroelementy, ale równocześnie może powodować przejściowe ich unieruchomienie, zwłaszcza cynku i miedzi.

Stosowanie dużych dawek azotu, szczególnie w formie siarczanu amonowego, zakwasza glebę, a tym samym zwiększa dostępność większości mikroelementów obecnych w glebie.

Dostępność niektórych mikroelementów jest związana również z interakcjami między składnikami pokarmowymi. Nadmiar fosforu może blokować pobieranie cynku i miedzi, a poprawiać dostępność molibdenu.

2. Program InfoPlant do oceny odżywienia roślin składnikami mineralnymi

Na podstawie wprowadzonych przez użytkownika wyników analizy chemicznej odpowiedniej części rośliny uprawnej (tzw. części wskaźnikowej), pobranej w określonej fazie rozwojowej, program InfoPlant dokonuje oceny aktualnego stanu jej odżywienia. Wzorzec stanowią przedziały zawartości wystarczającej według *Bergmana* (1) uzupełnione danymi dotyczącymi żelaza według *Jonesa* i in. (4). Zasadniczym elementem programu jest graficzna prezentacja wyników analizy chemicznej próbki roślinnej na tle zakresów zawartości niskiej, optymalnej i wysokiej (rys. 2). Umożliwia ona użytkownikowi szybką i kompleksową ocenę koncentracji składników pokarmowych w roślinie, ułatwia diagnozowanie potrzeb nawozowych uprawianej rośliny i sformułowanie odpowiednich zaleceń. Osoby korzystające z programu powinny posiadać pewną wiedzę z dziedziny chemii rolnej i żywienia roślin, ponieważ wykres obrazujący stan odżywienia rośliny należy odpowiednio zinterpretować. Pewne trudności w interpretacji wyników analizy roślinnej mogą wynikać w przypadku niedoborowych lub ponadoptymalnych (wysokich) zawartości jednego, a zwłaszcza kilku składników. W zaleceniach należy również uwzględnić interakcje występujące między składnikami. W sytuacji stwierdzonego niedoboru składnika należy przyjąć, że zawartość poniżej 50% zakresu zawartości niskiej stanowi sygnał alarmowy dla rolnika, szczególnie gdy deficyt dotyczy rośliny wrażliwej. Zawartość niedoborowa stanowiąca powyżej 90% zakresu, czyli bliska granicy przedziału zawartości niskiej i optymalnej, nie powinna budzić obaw, o ile zawartości innych składników nie są zbyt wysokie. Dotyczy to zwłaszcza składników antagonistycznych. Na przykład dla relacji antagonistycznych pierwiastków K:Mg, jeśli stwierdzona zawartość magnezu w roślinie stanowi 90% zakresu zawartości niskiej nie będzie wymagane interwencyjne nawożenie roślin Mg, o ile jednocześnie zawartość potasu nie jest wysoka i mieści się w zakresie optymalnym. W przypadku roślin pastewnych zbyt szeroki stosunek potasu do magnezu jest przyczyną choroby bydła zwanej ciężką pastwiskową.

Stwierdzony nadmiar składnika pokarmowego, czyli zawartość mieszcząca się powyżej zakresu optymalnego, może być toksyczny dla samej rośliny, jak również dla zwierząt i ludzi, dla których roślina ta stanowi pożywienie. O ile ocena stopnia zaopatrzenia rośliny w składnik pokarmowy w zakresie zawartości niskich lub optymalnych dokonywana jest niejako automatycznie, o tyle ocena nadmiaru składnika wymaga

dotatkowej wiedzy użytkownika programu, bowiem przedział zawartości wysokiej nie ma górnej granicy, która oddzielałaby go od zakresu zawartości toksycznej dla roślin czy zwierząt i ludzi.

Poszczególne gatunki, a nawet odmiany roślin różnią się odpornością na nadmiar pierwiastków. Pewne składniki pokarmowe mogą być toksyczne dla rośliny już przy takiej zawartości, przy której nie są jeszcze szkodliwe dla zwierząt i ludzi, i odwrotnie. Dotyczy to głównie mikroskładników. Na przykład bardziej toksyczne dla roślin niż dla ich konsumentów są bor i mangan. Z kolei mało toksyczny dla roślin, ale niebezpieczny dla zwierząt, szczególnie przeżuwaczy, może być molibden. Toksyczny poziom tego pierwiastka dla zwierząt wynosi około $10 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, podczas gdy zawartości nawet dziesięciokrotnie większe nie wywołują żadnych objawów szkodliwości u większości roślin. Zboża mogą nagromadzić nawet do $350 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$

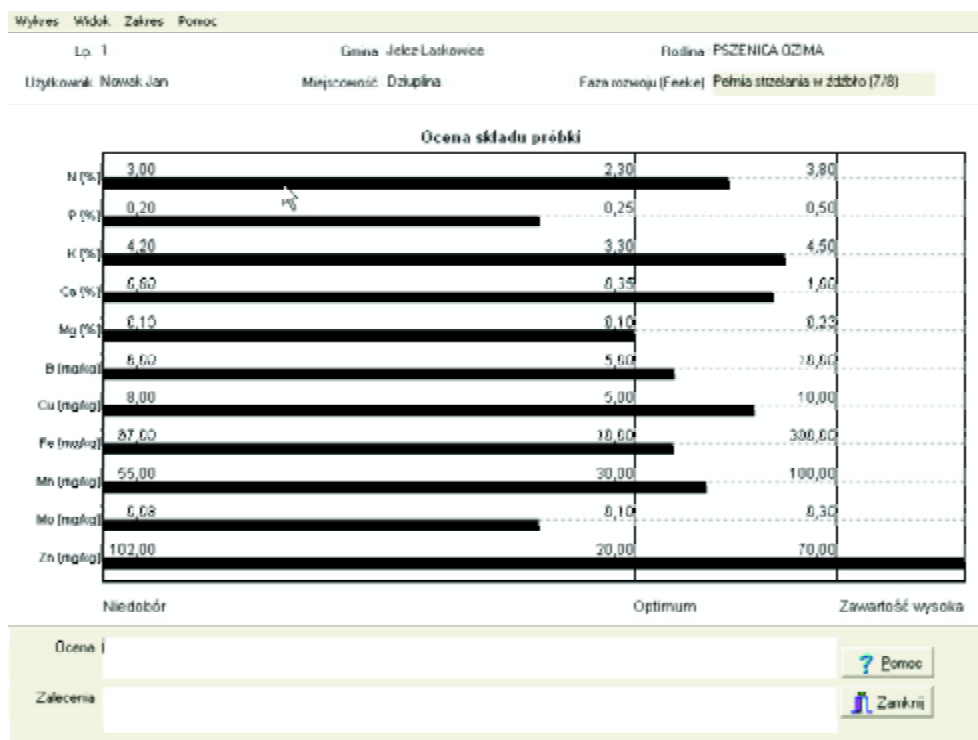
W sytuacji, gdy podczas interpretacji graficznego obrazu analizy roślinnej jeden ze słupków znajduje się w polu zawartości wysokiej należy zawartość bezwzględną pierwiastka, którą również podaje się na wykresie, porównać z liczbą graniczną fitotoksyczności lub liczbą dotyczącą bezpiecznej zawartości w pożywieniu.

W literaturze istnieją dane dotyczące liczb granicznych fitotoksyczności pierwiastków, głównie mikroskładników, ale nie zawsze można je wykorzystać do oceny koncentracji pierwiastka w analizowanej roślinie. Liczby te dotyczą różnych faz rozwojowych i części roślin, nie zawsze zgodnych z fazą, w której zostały pobrane oceniane próbki roślinne. Ponadto liczby te, opracowane przez różnych autorów, mogą znacznie różnić się dla tego samego gatunku rośliny, ponieważ zostały wyznaczone w różny sposób. Dotyczy to zarówno odmiany wziętej do badań, typu eksperymentu (doświadczenie polowe, wazonowe lub kultura wodna), jak również przyjętego kryterium toksyczności, np. 10% lub 50% obniżki plonu.

Przykładowy wydruk komputerowy (rys. 2) dotyczący analizy próbki części wegetatywnych pszenicy pobranej w fazie pełni strzelania w źdźbło można zinterpretować następująco: zawartość wszystkich makroskładników, z wyjątkiem fosforu, mieści się w przedziale zawartości optymalnych. Nieco obniżona zawartość fosforu nie byłaby niepokojąca, gdyby jednocześnie zawartość cynku nie była zbyt wysoka, są to bowiem pierwiastki antagonistyczne. W tym przypadku nawożenie fosforem, zastosowane w trakcie wegetacji, mogłoby nie tylko zwiększyć zawartość tego pierwiastka w roślinie, ale ograniczyć dalsze pobieranie cynku. Jednocześnie mogłoby ułatwić pobieranie molibdenu, którego zawartość jest w tym przypadku zbyt niska.

Podsumowanie

Prezentowane programy stanowią bardzo dobre i potrzebne w praktyce rolniczej uzupełnienie systemu komputerowego doradztwa nawozowego, jaki był systematycznie opracowywany w IUNG. Od wielu lat w naszym Instytucie prowadzono prace nad programami komputerowymi wspomagającymi doradztwo nawozowe, jednakże kolejne ich wersje (NAW-1, 2, 3, NawSald) dotyczyły wyłącznie nawożenia makro-



Rys. 2. Przykładowy wydruk komputerowy programu InfoPlant

elementami i wapnowania. We współczesnym rolnictwie duże znaczenie ma nawożenie zrównoważone, które zgodnie z wymogami ochrony środowiska zapewni opłacalny i dobry jakościowo plon. W tym kontekście stosowanie mikroelementów nie może być pomijane. W obliczu rosnącej wśród producentów rolnych świadomości na temat rolnictwa zrównoważonego są oni coraz częściej zainteresowani doradztwem dotyczącym nawożenia mikroelementami.

Planuje się bezpłatne udostępnienie programów na stronie internetowej IUNG-PIB, co umożliwi korzystanie z nich zarówno samym rolnikom, jak i doradcom rolniczym, stacjom chemiczno-rolniczym, a także placówkom edukacyjnym. Programy te mogą być wykorzystywane do celów dydaktycznych, pozwalają bowiem na zmiany wprowadzanych parametrów, co daje możliwość symulacji różnych warunków glebowych i śledzenie różnych wariantów zaleceń nawozowych. W miarę postępu prac badawczych programy mogą być korygowane i uzupełniane zgodnie ze zdobytą wiedzą merytoryczną.

Literatura

1. B e r g m a n n W.: Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Visuelle und analytische Diagnose. VEB Gustav Fisher Verlag, Jena, 1986, ss. 306.
2. G e m b a r z e w s k i H., K o r z e n i o w s k a J.: Wybór metody ekstrakcji mikroelementów z gleby i opracowanie liczb granicznych przy użyciu regresji wielokrotnej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 353-364.
3. G e m b a r z e w s k i H., K o r z e n i o w s k a J., S t a n i s ł a w s k a - G ł u b i a k E.: Wyznaczenie zawartości krytycznych niedoboru i nadmiaru mikroelementów w glebie przy użyciu regresji wielokrotnej. Mat. V KK KOWBAN, WTN Wrocław, 1998, 93-96.
4. J o n e s J. B., W o l f B., M i l l s H. A.: Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing Inc., Georgia, USA, 1991, ss. 213.
5. K u c h a r z e w s k i A., D ě b o w s k i M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 627-635.
6. S i e n k i e w i c z - C h o l e w a U., W r ó b e l S.: Rola miedzi w kształtowaniu wielkości i jakości plonów roślin uprawnych. Post. Nauk Rol., 2004, **5**: 39-56.
7. W r ó b e l S., S i e n k i e w i c z - C h o l e w a U.: Potrzeby nawożenia borem roślin uprawnych w Polsce. Post. Nauk Rol., 2003, **1**: 103-118.
8. W r ó b e l S., W e b e r R.: Need of boron fertilization for winter cereals in the light of chemical assays. Fresenius Environmental Bulletin, Parlar Sc. Publications, 2010, **19(2a)**: 335-339.

Adres do korespondencji:

dr hab. Ewa Stanisławska-Głubiak, prof. nadzw.

IUNG-PIB

Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli

ul. Orzechowa 61

50-540-Wrocław

tel.: 071 363 87 07 w. 114

e-mail: e.głubiak@iung.wroclaw.pl

Hanna Gołębiowska¹, Elżbieta Płaskowska²

¹⁾ *Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

²⁾ *Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

WPLYW AGROTECHNIKI NA WYSTĘPOWANIE CHOROÓB
FUZARYJNYCH ORAZ NA JAKOŚĆ I ZDROWOTNOŚĆ ZIARNA
ODMIAN ŻYTA OZIMEGO*

Wstęp

Uprawę żyta ozimego cechują niskie nakłady środków produkcji na jednostkę powierzchni. Gatunek ten ma stosunkowo małe wymagania glebowe, oszczędnie gospodaruje wodą, dobrze znosi lekkie zakwaszenie, a także odznacza się małą wrażliwością na przedplon. Powyższe cechy powodują, że żyto – głównie forma ozima – nadal zajmuje wysoką pozycję wśród upraw zbożowych. Spośród państw Unii Europejskiej najwięcej tego zboża uprawia się w Polsce oraz w Niemczech i we Włoszech. W 2009 roku zajmowało ono powierzchnię prawie 1,4 mln ha, co w strukturze zasiewów zbóż stanowiło 16,3%. W Polsce uprawia się żyto na około 2500 tys. ha, co stanowi ponad 26% zasiewów zbóż. Przeciętny plon ziarna to około 2,7 ton z jednego hektara (8). Szacunkowo połowa corocznych zbiorów przeznaczana jest na cele paszowe i w znacznym stopniu wykorzystywana w przemyśle młynarskim. Do najważniejszych czynników decydujących o wartości ziarna żyta ozimego jako surowca należą odmianowe cechy genetyczne oraz warunki środowiskowe dla jego wzrostu i rozwoju.

Żyto wśród roślin zbożowych odznacza się znaczną tolerancją na konkurencyjne oddziaływanie chwastów, dlatego w uprawach płuźnych zużycie środków chwastobójczych może być niewielkie. Dążenie do uzyskiwania niższych kosztów produkcji oraz postępująca degradacja środowiska glebowego coraz częściej skłaniają do wprowadzania uproszczonych, bezpłuźnych systemów uprawowych wymagających stosowania herbicydów w maksymalnych dawkach, zwłaszcza na obszarach o intensywnej produkcji rolnej (11). Uprawa bezpłuźna w porównaniu z konwencjonalno-płuźną pozostawia na powierzchni gleby około 30% resztek poźniwnych, a sukcesywne zmniejszanie głębokości penetracji gleby przez maszyny rolnicze ogranicza erozję wodną i wietrzną, stymuluje różnorodność biologiczną gleby, stabilizuje środowisko glebowe

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

oraz podwyższa zawartość substancji organicznej i makroelementów w górnych warstwach gleby, a jednocześnie spełnia zasady rolnictwa zrównoważonego (3, 17). Tak znaczna reorganizacja środowiska glebowego i ekologicznego wpływa na zmienną reakcję odmian żyta na oddziaływanie herbicydów, ale także na porażenie: siewek, podstawy źdźbła oraz kłosów przez grzyby pleśniowe z rodzaju *Fusarium* (7).

W uprawie bezpłужnej w wierzchniej warstwie gleby charakteryzującej się znacznie większą liczebnością bakterii, promieniowców oraz grzybów, np. z rodzaju *Trichoderma*, *Alternaria*, *Cladosporium* i *Nigrospora*, dochodzi w krótkim czasie do rozkładu zalegających resztek poźniwnych, co z kolei może wpływać na zmniejszenie liczby grzybów fuzaryjnych i ograniczenie występowania zgorzeli siewek (4, 6). Zagrożenie tymi patogenami wynika z faktu, że atakują uszkodzone miejsca i szybko rozmnażają się w naczyniach przewodzących, blokując w nich przepływ wody. Poza tym rozwijają się i zarodnikują, nawet w warunkach małego potencjału wodnego na zróżnicowanym materiale roślinnym, wytwarzając często mikotoksyny – toksyczne metabolity wtórne ich rozkładu (1). W ziarnie żyta najczęściej wykrywa się deoksyniwalenol, niwalenol i fumonizyny wytwarzane głównie przez *Fusarium moniliforme*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. oxysporum*. Odporne na choroby fuzaryjne kłosów i podstawy źdźbła odmiany żyta mogą zawierać niewielkie ilości deoksyniwalenolu, co wskazywałoby, że są one zdolne do hamowania syntezy toksyny lub jej rozkładu (14).

Stwierdzono również, że niektóre substancje aktywne herbicydów, takie jak np. chlorosulfuron czy 2,4-D z fluoksypirem, mogą działać fitotoksycznie w stosunku do wybranych odmian żyta ozimego, powodując uszkodzenia i deformacje roślin, a stosowane jesienią mogą silnie obniżać ich zimotrwałość, powodując przedwczesne łanu w sezonie o ostrym przebiegu zimy (2). Niska selektywność tych środków przyczyniała się często do nasilenia występowania zgorzeli siewek lub podstawy źdźbła wywołanych chorobami fuzaryjnymi. Natomiast u innych zbóż, np. u wrażliwych odmian pszenicy ozimej, 2,4-D z dikambą, powodując deformacje kłosów mógł zwiększać ich podatność na fuzariozę (13).

W każdym przypadku zarówno nieodpowiednio dobrana odmiana, jak i niska selektywność herbicydów w stosunku żyta ozimego uprawianego w różnych technologiach może mieć istotny wpływ na pogorszenie cech jakościowych ziarna, takich jak zawartości białka glutenu, skrobi, liczby opadania, wskaźnika sedymentacji itp.

Stopień porażenia upraw żyta ozimego grzybami fuzaryjnymi w zależności od sposobu uprawy można zminimalizować poprzez dobór odmian odpornych na choroby grzybowe, chroniąc jednocześnie te uprawy przed chwastami w pełni skutecznymi w ich niszczeniu herbicydami, a także selektywnymi w stosunku do tych odmian. Ograniczy to występowanie chwastów jako żywicieli pośrednich dla grzybów fuzaryjnych, co wpływa na zdrowotność roślin, poprawę cech jakościowych ziarna i ograniczy występowanie mikotoksyn.

Stan zachwaszczenia w uproszczonych systemach uprawowych żyta ozimego i jego wpływ na zdrowotność odmian

W zbiorowiskach chwastów w uprawach żyta ozimego uprawianego tradycyjnie z systemem podorywek i głęboką orką dominują na słabszych stanowiskach glebowych miotła zbożowa (*Apera spica-venti*), fiołek polny (*Viola arvensis*), chaber bławatek (*Centaurea cyanus*), przetacznik bluszczokowaty (*Veronica hederifolia*) oraz w niewielkim nasileniu tasznik pospolity (*Capsella bursa-pastoris*), przytulia czepna (*Galium aparine*), gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*), rumian polny (*Anthemis arvensis*), jasnota purpurowa (*Lamium purpureum*) i mak polny (*Papaver rhoeas*). W wielkotowarowych gospodarstwach rolnych uprawa tradycyjna zastępowana jest uprawami obejmującymi jedynie wierzchnią warstwę gleby, aż do zaniechania jakichkolwiek zabiegów spulchniających, co decyduje o zmianach zachodzących w strukturze gatunkowej chwastów. Wynika to z faktu, że większość nasion chwastów jest gromadzona na powierzchni gleby, a w przypadku błędów w doborze herbicydów następuje zwiększone zachwaszczenie gatunkami jednorocznymi oraz intensyfikacja rozwoju chwastów wieloletnich. Wyniki lustracji zachwaszczenia żyta ozimego w doświadczeniach zakładanych w uprawach uproszczonych wykazały, że skład gatunkowy tej fitocenozy był uboższy, a oprócz miotły zbożowej, fiołka polnego czy chabra bławatka występujących w znacznie większym nasileniu niż w uprawie płuźnej zaczęły pojawiać się gatunki wieloletnie, takie jak *Artemisia vulgaris* (bylica pospolita).

Eliminacja konkurencji ze strony chwastów poprzez stosowanie herbicydów wywiera korzystny wpływ nie tylko na wielkość uzyskanego plonu, ale również na wartość technologiczną ziarna zbóż przeznaczanego na cele konsumpcyjne (11, 15).

W doświadczeniach własnych zakładanych w uprawie żyta ozimego zarówno w uprawie płuźnej, jak i bezpłuźnej na podstawie ocen fitotoksyczności herbicydów w odniesieniu do badanych odmian kukurydzy, z opisem uszkodzeń oraz efektywności chwastobójczej prowadzonych metodyką obowiązującą w herbologii zgodną z wytycznymi Norm Wzorcowych EPPO nr: PP 1/152, PP 1/135, PP 1/181, PP 1/50 (2) (EPPO 1995), ustalono wpływ herbicydów na ograniczenie zachwaszczenia. Na podstawie przeprowadzonych analiz skuteczności zniszczenia chwastów po zastosowaniu chlorosulfuronu aplikowanego jesienią nie obserwowano zadowalającego efektu chwastobójczego w stosunku do miotły zbożowej i chabra bławatka, a spośród badanych odmian żyta Dańkowskie Złote zareagowało niższą tolerancją na jego działanie, co objawiło się zahamowaniem wzrostu, niewielką chlorozą oraz lekkimi deformacjami roślin. Skuteczność i selektywność tego środka była znacznie niższa w porównaniu z mieszaniną jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym (tab. 1-4).

Obserwacje porażenia kłosów roślin żyta przez grzyby z rodzaju *Fusarium* spp. potwierdziły większe ich występowanie na obiektach silnie zachwaszczonych miotłą zbożową i chabrem bławatkiem, zwłaszcza odmiany Dańkowskie Złote. Stopień porażenia kłosów w okresie przeprowadzonych badań wynosił 4 w 9-stopniowej skali, podczas gdy na pozostałych obiektach 1.

Tabela 1

Wpływ herbicydów na stan zachwaszczenia, plonowanie i porażenie grzybami fuzaryjnymi odmiany Picasso w warunkach uprawy płużnej

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Zniszczenie chwastów (%)			Fitotoksyczność (1:9)	Plon ziarna (dt·ha ⁻¹)	Stopień porażenia podstawy źdźbeł przez <i>Fusarium</i> (1:9)	Stopień porażenia kłosów przez <i>Fusarium</i> (1:9)
			APESV	CENCY	pozostałe				
Kontrola	-	-	*78	*21	*11	1	4,22	1	1
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	100	100	100	1	7,26	1	1
Glean 75 WG		25 g	83	87	95	1	7,19	2	2
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	99	95	99	1	7,90	1	1
Glean 75 WG		25 g	76	85	97	1	7,06	2	3
NIR (α = 0,05)								r.n.	

r.n. – różnice nieistotne

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2

Wpływ herbicydów na stan zachwaszczenia, zdrowotność i plonowanie odmiany Picasso w warunkach uprawy bezpłużnej

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Zniszczenie chwastów (%)			Fitotoksyczność (1:9)	Plon ziarna (dt·ha ⁻¹)	Stopień porażenia podstawy źdźbeł przez <i>Fusarium</i> (1:9)	Stopień porażenia kłosów przez <i>Fusarium</i> (1:9)
			APESV	CENCY	pozostałe				
Kontrola	-	-	*182	*69	*22	1	4,06	1	1
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	100	92	90	1	5,24	1	1
Glean 75 WG		25 g	76	82	93	1	5,19	2	3
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	99	80	90	1	5,30	1	1
Glean 75 WG		25 g	65	83	96	1	5,15	4	5
NIR (α = 0,05)								r.n.	

* na kontroli liczba chwastów w szt./m²

APESV – *Apera spica-venti*
CENCY – *Centaurea cyanus*

Źródło: opracowanie własne.

r.n. – różnice nieistotne

Tabela 3

Wpływ herbicydów na stan zachwaszczenia, zdrowotność i plonowanie odmiany Dańkowskie Złote w warunkach uprawy pląznej

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Zniszczenie chwastów (%)			Fitotoksyczność (1:9)	Plon ziarna (dt·ha ⁻¹)	Stopień porażenia podstawy źdźbeł przez <i>Fusarium</i> (1:9)	Stopień porażenia kłosów przez <i>Fusarium</i> (1:9)
			APESV	CENCY	pozostałe				
Kontrola	-	-	*66	*17	*9	1	4,92	1	1
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	100	100	100	1	7,07	1	1
Glean 75 WG		25 g	84	88	95	2	7,90	2	2
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	99	96	99	1	5,24	1	1
Glean 75 WG		25 g	74	86	97	2	6,79	3	1
NIR (α = 0,05)								0,942	

r.n. – różnice nieistotne
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4

Wpływ herbicydów na stan zachwaszczenia, zdrowotność i plonowanie odmiany Dańkowskie Złote w warunkach uprawy bezpląznej

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Zniszczenie chwastów (%)			Fitotoksyczność (1:9)	Plon ziarna (dt·ha ⁻¹)	Stopień porażenia podstawy źdźbeł przez <i>Fusarium</i> (1:9)	Stopień porażenia kłosów przez <i>Fusarium</i> (1:9)
			APESV	CENCY	pozostałe				
Kontrola	-	-	*174	*61	*15	1	3,38	1	1
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	100	92	90	1	6,42	1	1
Glean 75 WG		25 g	76	82	93	3-4	6,79	3	5
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	99	80	90	1	4,59	1	1
Glean 75 WG		25 g	65	83	96	3	5,71	5	6
NIR (0,05)								0,978	

* na kontroli liczba chwastów w szt./m²
APESV – *Apera spica-venti*
CENCY – *Centaurea cyanus*
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5

Wpływ herbicydów na plon ziarna i ciężar 1000 ziaren odmian żyta ozimego

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Plon ziarna (t·ha ⁻¹)				Ciężar 1000 ziaren (g)			
			uprawa płuzna		uprawa bezpłuzna		uprawa płuzna		uprawa bezpłuzna	
			Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote
Kontrola	-	-	4,22	4,92	4,06	3,38	38,9	38,9	35,3	34,9
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	7,26	7,07	5,24	6,42	39,3	39,3	37,5	36,7
Glean 75 WG		25 g	7,19	7,90	5,19	6,79	39,1	39,1	37,1	36,4
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	7,90	5,24	5,30	4,59	39,5	39,5	37,6	36,5
Glean 75 WG		25 g	7,06	6,79	5,15	5,71	39,0	39,0	37,3	36,2
Średnio			6,73	6,38	4,98	5,38	39,16	38,26	36,96	36,14
NIR (0,05) herbicydy			r.n.	0,942	r.n.	0,978	r.n.	r.n.	r.n.	0,12
NIR (0,05) odmiany			r.n.		1,312		r.n.		r.n.	
NIR (0,05) odmiana x herbicyd			r.n.				r.n.			

r.n. – różnice nieistotne

Źródło: opracowanie własne.

Natomiast analizy laboratoryjne wykazały, że zarówno z ziarna nieodkazanego, jak i odkazanego odmiany Dańkowskie Złote pochodzącego z poletek, na których zastosowano jesienny zabieg chlorosulfuronem wyizolowano najwięcej grzybów z rodzaju *Fusarium* spp., a wśród nich *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. oxysporum*. Z ziarna otrzymanego z pozostałych poletek doświadczalnych, bez względu na wprowadzane uproszczenia uprawowe oraz sposoby aplikacji herbicydów, grzyby te występowały w mniejszej liczbie (tab. 8-11). Izolację grzybów wykonano zgodnie z metodą opisaną przez Tempe de (7).

Badania laboratoryjne nad oceną zawartości mikotoksyn – toksycznych produktów rozkładu grzybów fuzaryjnych – z zastosowaniem wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) i wykorzystaniem detektora spektrofotometrycznego w UV wykazały, że w ziarnie odmiany żyta Dańkowskie Złote uprawianej systemem uproszczonym i traktowanej chlorosulfuronem wykryto zwiększony poziom deoxynivalenolu = 0,08 mg · kg⁻¹ zarówno w porównaniu z kontrolą, jak i na obiekcie chronionym mieszaniną jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym (tab. 11).

Wpływ systemów uprawowych i herbicydów na cechy jakościowe ziarna odmian żyta ozimego

Jak wynika z dotychczasowych doniesień literaturowych stosowanie herbicydów gwarantujących utrzymanie niezachwaszczonej plantacji na ogół korzystnie wpływa na jakość ziarna upraw zbożowych. W badaniach prowadzonych przez Urbana i in. (16) stwierdzono wyższą zawartość białka i glutenu oraz wskaźnika sedymentacji w ziarnie odmian pszenicy ozimej traktowanej herbicydami. Podobną zależność zawartości białka i glutenu od stosowanych herbicydów wykazują Narkiewicz-Jodko i in. (5) stwierdzając, że wysoka efektywność działania herbicydów również korzystnie wpływała na dorodność ziarna, tzn. masę tysiąca nasion i gęstość ziarna pszenicy ozimej.

W badaniach własnych istotnie najwyższy plon uzyskała odmiana Picasso (7,90 t · ha⁻¹) w obiekcie z użyciem mieszaniny jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metyloowym stosowanych wiosną w uprawie płuźnej w porównaniu z pozostałymi obiektami. Najniższy plon ziarna (4,39 t · ha⁻¹) otrzymano po zastosowa-

Tabela 6

Wpływ herbicydów na zawartość białka ogólnego – norma >11,5% i liczbę opadania – norma > 110 s. w ziarnie odmian żyta ozimego

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Zawartość białka ogólnego (%)				Liczba opadania (s)			
			uprawa płużna		uprawa bezpłużna		uprawa płużna		uprawa bezpłużna	
			Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote
Kontrola	-	-	9,9	10,4	9,6	8,7	206	266	203	249
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	10,3	10,6	10,0	9,6	217	262	215	250
Glean 75 WG		25 g	9,9	10,0	9,5	9,0	215	261	201	241
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	10,0	10,7	10,7	9,8	223	277	211	249
Glean 75 WG		25 g	9,9	10,5	10,1	9,2	211	257	205	242
Średnio			10	10,44	9,98	9,26	214	264	214,4	264,6
NIR (0,05) herbicydy			r.n	0,36	r.n.	0,45	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
NIR (0,05) odmiany			r.n.		r.n.		28,12		29,35	
NIR (0,05) odmiana x herbicyd			0,569				r.n.			

r.n. – różnice nieistotne
Źródło: opracowanie własne.

niu chlorosulfuronu w terminie jesiennym w bezpłuznym systemie uprawy odmiany Dańkowskie Złote. Przeprowadzona analiza statystyczna jedynie dla tej odmiany w każdym systemie uprawowym dowiodła, że wysokość plonów istotnie zależała od zastosowanych herbicydów (tab. 1-5). Również w warunkach uprawy bezpłuznej odmiana Dańkowskie Złote po zastosowaniu chlorosulfuronu, bez względu na termin aplikacji, reagowała istotnym obniżeniem wielkości masy 1000 ziaren.

Zawartość białka w ziarnie wszystkich odmian żyta ozimego oznaczona za pomocą urządzenia INSTALAB 600, wykorzystującego technikę bliskiej podczerwieni NIR, kształtowała się na podobnym poziomie. Najwyższą zawartość miała odmiana Picasso (11,1%), a najniższą odmiana Dańkowskie Złote (10,1%). Różnice te nie zostały jednak udowodnione statystycznie. Nie wystąpiły też interakcje między odmianami i herbicydami (tab. 6).

Kolejną cechą jakościową jest liczba opadania, charakteryzująca stan enzymów amylolitycznych w ziarnie żyta, określająca przydatność do wypieku uzyskanej mąki, a jednocześnie informująca o jej trwałości przechowalniczej. Gwarancją uzyskania mąki żytniej o odpowiednim dla procesu wypieku poziomie liczby opadania jest stoso-

Tabela 7

Wpływ herbicydów na wyrównanie – norma >80% i gęstość – norma >72 kg · m⁻³ ziarna odmian żyta ozimego

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Wyrównanie (%)				Gęstość (kg · m ⁻³)			
			uprawa płuzna		uprawa bezpłuzna		uprawa płuzna		uprawa bezpłuzna	
			Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote	Picasso	Dańkowskie Złote
Kontrola	-	-	72,1	69,7	71,2	70,1	71,2	69,2	70,8	62,9
Atlantis 04 WG + Actiob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	72,3	71,8	71,3	72,5	72,0	72,5	71,0	72,5
Glean 75 WG		25 g	70,8	70,1	70,8	70,8	70,3	68,9	70,1	65,2
Atlantis 04 WG + Actiob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	72,6	72,4	71,5	72,6	72,1	72,1	71,2	72,2
Glean 75 WG		25 g	72,5	72,4	71,5	71,5	72,2	69,9	71,0	66,7
Średnio			72,06	71,28	71,26	71,5	71,56	70,52	70,82	67,9
NIR (0,05) herbicydy			r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
NIR (0,05) odmiany			r.n.		1,96		r.n.		2,25	
NIR (0,05) odmiana x herbicyd			r.n.		r.n.		r.n.		r.n.	

r.n. – różnice nieistotne

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 8

Wpływ herbicydów na stan zachwaszczenia, zdrowotność i plonowanie odmiany Picasso w warunkach uprawy pląznej w latach 2007–2010

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Liczebność grzybów w ziarnie nieodkazywanym				Liczebność grzybów w ziarnie odkazywanym				Zawartość mikotoksyn (mg · kg ⁻¹)		
			<i>Fusarium avenaceum</i> w ziarnie	<i>Fusarium culmorum</i> w ziarnie	<i>Fusarium oxysporum</i> w ziarnie	Ogólna liczebność <i>Fusarium</i>	<i>Fusarium avenaceum</i> w ziarnie	<i>Fusarium culmorum</i> w ziarnie	<i>Fusarium oxysporum</i> w ziarnie	Ogólna liczebność <i>Fusarium</i>	Deoxynivalenol	Nivalenol	Zearalenon
Kontrola	-	-	5	22	3	30	4	22	3	29	n.w.	n.w.	n.w.
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	26	6	3	35	28	1	3	32	n.w.	n.w.	n.w.
Glean 75 WG		25 g	21	19	5	45	22	17	1	40	n.w.	n.w.	n.w.
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	16	18	3	37	13	14	1	28	n.w.	n.w.	n.w.
Glean 75 WG		25 g	12	10	1	23	14	9	1	24	n.w.	n.w.	n.w.

n.w. – nie wykryto
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9

Wpływ herbicydów na stan zachwaszczenia, zdrowotność i plonowanie odmiany Picasso w warunkach uprawy bezpłużnej

Obiekt	Termin oprysku	Dawka Dose (ha)	Liczebność grzybów w ziarnie nieodkazywanym				Liczebność grzybów w ziarnie odkazywanym				Zawartość mikotoksyn (mg · kg ⁻¹)		
			<i>Fusarium avenaceum</i> w ziarnie	<i>Fusarium culmorum</i> w ziarnie	<i>Fusarium oxysporum</i> w ziarnie	Ogólna liczebność <i>Fusarium</i>	<i>Fusarium avenaceum</i> w ziarnie	<i>Fusarium culmorum</i> w ziarnie	<i>Fusarium oxysporum</i> w ziarnie	Ogólna liczebność <i>Fusarium</i>	Deoxynivalenol	Nivalenol	Zearalenon
Kontrola	-	-	23	11	4	38	21	9	2	32	n.w.	n.w.	n.w.
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	9	33	10	52	11	33	4	48	n.w.	n.w.	n.w.
Glean 75 WG		25 g	35	11	8	54	37	13	4	54	n.w.	n.w.	n.w.
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	30	17	5	52	30	15	2	47	n.w.	n.w.	n.w.
Glean 75 WG		25 g	35	29	6	70	32	27	2	61	n.w.	n.w.	n.w.

n.w. – nie wykryto

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 10

Wpływ herbicydów na stan zachwaszczenia, zdrowotność i plonowanie odmiany Dankowskie Żłote w warunkach uprawy pluznej

Obiekt	Termin oprysku	Dawka (ha)	Liczebność grzybów w ziarnie nicodkażonym					Liczebność grzybów w ziarnie odkażonym				Zawartość mikotoksyn (mg · kg ⁻¹)		
			<i>Fusarium avenaceum</i> w ziarnie	<i>Fusarium culmorum</i> w ziarnie	<i>Fusarium oxysporum</i> w ziarnie	Ogólna liczebność <i>Fusarium</i>		<i>Fusarium avenaceum</i> w ziarnie	<i>Fusarium culmorum</i> w ziarnie	<i>Fusarium oxysporum</i> w ziarnie		Deoxynivalenol	Nivalenol	Zearalenon
Kontrola	-	-	28	23	11	62		31	24	3	58	0,012	n.w.	n.w.
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 12	0,15 kg + 1 l	21	28	14	63		25	31	3	59	n.w.	n.w.	n.w.
Glean 75 WG		25 g	43	17	0	60		38	3	3	44	n.w.	n.w.	n.w.
Atlantis 04 WG + Actirob 842 EC	BBCH 15	0,15 kg + 1 l	37	21	10	68		31	16	8	55	n.w.	n.w.	n.w.
Glean 75 WG		25 g	34	21	8	63		28	19	2	49	n.w.	n.w.	n.w.

n.w. – nie wykryto
Źródło: opracowanie własne.

wanie do przemiału ziarna o liczbie opadania nie niższej niż 110 sekund. W latach badań liczba opadania oznaczona w ziarnie odmiany Dańkowie Złote uprawianej w systemie bezpłunym, z użyciem chlorosulfuronu, dwukrotnie przewyższała minimalną dopuszczalną normę. Istotność różnic zarówno dla pozostałych odmian, jak i dla herbicydów oraz interakcja pomiędzy badanymi czynnikami nie została udowodniona (tab. 6).

Jedną z ważnych cech jakości przemiałowej ziarna żyta jest jego wyrównanie, czyli stosunek masy ziarna pozostającego z przesiewu na określonym sicie do ogólnej masy przesiewanego ziarna. Dopuszczalną normę dla żyta, tj. 85%, uzyskano jedynie w 2008 roku, niezależnie od badanej odmiany. W pozostałych latach, chociaż wyniki były wyrównane, ziarno wszystkich odmian nie osiągnęło wymaganej normy. Nie stwierdzono także oddziaływania na tę cechę jakościową stosowanych w doświadczeniu herbicydów. Analizowane statystycznie wyniki nie potwierdziły istotności różnic w zakresie odmian, herbicydów ani też interakcji między nimi (tab. 7).

Gęstość ziarna w stanie zsypanym, określająca jego masę w $\text{kg} \cdot \text{hl}^{-1}$, powinna dla żyta utrzymywać się na poziomie co najmniej $68 \text{ kg} \cdot \text{hl}^{-1}$. Z danych przedstawionych w tabelach 4-7 wynika, że żaden z badanych czynników doświadczenia nie wpłynął istotnie na tę cechę jakości ziarna odmiany Picasso, o czym świadczy analiza statystyczna, natomiast u odmiany Dańkowskie Złote w uprawie płunnej uzyskano istotnie niższą gęstość ziarna na obiekcie z użyciem chlorosulfuronu zarówno w porównaniu z obiektem kontrolnym, jak i z pozostałymi obiektami. Również w uprawie bezpłunnej otrzymano istotnie niższe wartości gęstości ziarna od przyjętej normy zarówno w obiekcie kontrolnym, jak i w obiekcie traktowanym chlorosulfuronem w obu terminach (tab. 7).

Podsumowanie

Uprawa uproszczona wpływa na stan ilościowy i jakościowy zbiorowisk chwastów, gdzie może dochodzić do nasilenia występowania chwastów jednorocznych, zwłaszcza jednoliściennych, oraz intensyfikacji występowania gatunków wieloletnich. Prawdłowe stosowanie herbicydów gwarantujących utrzymanie czystej niezachwaszczonej plantacji na ogół korzystnie wpływa na jakość ziarna upraw zbożowych.

W uprawie uproszczonej po zastosowaniu chlorosulfuronu aplikowanego jesienią nie stwierdzono zadowalającego efektu zniszczenia miotły zbożowej i chabra bławatka. Na tym obiekcie u odmiany Dańkowskie Złote stwierdzono większe porażenie grzybami z rodzaju *Fusarium*, zwiększony poziom deoxynivalenolu zarówno w porównaniu z kontrolą, jak i w obiekcie chronionym mieszaniną jodosulfuronu metyloso-dowego z mezosulfuronem metylowym.

Wysokość plonowania, masa 1000 ziaren oraz badane cechy jakości ziarna, takie jak zawartość białka, liczba opadania i wyrównanie nie zależały od rodzaju zastosowanych herbicydów w czasie wegetacji roślin. Natomiast u odmiany Dańkowskie Złote w uprawie bezpłunnej uzyskano istotnie niższą gęstość ziarna na obiekcie z użyciem chlorosulfuronu aplikowanego jesienią, a w uprawie bezpłunnej jesienią i wiosną w porównaniu z obiektem kontrolnym, jak i z pozostałymi obiektami.

Na podstawie oceny zawartości mikotoksyn z wykorzystaniem wysokosprawnej chromatografii cieczowej w uprawie uproszczonej wykryto w ziarnie odmiany Dańkowskie Żłote traktowanej chlorosulfuronem zwiększony poziom deoxynivalenolu = $0,08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ zarówno w porównaniu z kontrolą, jak i z obiektem chronionym mieszaniną jodosulfuronu metylosodowego z mezosulfuronem metylowym. W ziarnie badanych odmian żyta ozimego pozyskanego z pozostałych obiektów badawczych nie wykryto zwiększonego poziomu deoxynivalenolu oraz zearalenonu i nivalenolu.

Literatura

1. Clifford L. J., Qunshan J., Pestka J.: An improved method for the purification of the trichothecene deoxynivalenol (Vomitoxin) from *Fusarium graminearum* culture. J. Agric. Food Chem., 2003, **51**: 521-523.
2. Kieloch R., Rola H., Sumińska J., Marczewski K.: Chemiczna ochrona zbóż przed chwastami a jakość ziarna. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2009, **49(2)**: 938-945.
3. Kordas L.: Wpływ wieloletniego stosowania uprawy zerowej w zmianowaniu na zachwaszczenie. Progr. Plant Prot., 2004, **44(2)**: 841-844.
4. Łacicowa B., Pięta D.: Effects of temperature and rainfall on spring barley stem base diseases (*Hordeum vulgare* L.). Acta Agrobot., 1998, **51(1-2)**: 51-61.
5. Narkiewicz-Jodko M., Gil Z., Urban M.: Zdrowotność i cechy towaroznawcze ziarna czterech odmian pszenicy ozimej w zależności od stosowanych herbicydów. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2002, **42**: 530-533.
6. Perkowski J.: Badania zawartości toksyn fuzaryjnych w ziarnie zbóż. Roczn. Akad. Rol. Poznań, Rozpr. Nauk., 1999, **295**: 3-136.
7. Płaskowska E.: Effect of communities of soil fungi on the growth of some pathogens which cause foot-rot complex in wheat cultivated after different forecrops. Phytopathol. Pol., 2000, **13**: 109-132.
8. Rocznik Statystyczny. GUS Warszawa, 2009.
9. Polska Norma PN-ISO 3093. Zboża. Oznaczanie liczby opadania.
10. Polska Norma PN-ISO 7971-2. Oznaczanie gęstości w stanie zsypanym zwanej „masą hektolitra”.
11. Rola H., Domaradzki K.: Występowanie, szkodliwość i zwalczanie chwastów w uprawie żyta ozimego. Pam. Puł., 2001, **128**: 219-225.
12. Rola H., Kieloch R., Rola J.: Reakcja odmian pszenicy ozimej na herbicydy w świetle badań prowadzonych w rejonie Dolnego Śląska w latach 1971–2002. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2004, **44(1)**: 31-338.
13. Rola H., Kieloch R.: Wpływ chlorotoluronu na plonowanie oraz wybrane parametry jakościowe ziarna odmian pszenicy ozimej. Pam. Puł., 2005, **139**: 199-209.
14. Smijders C. H. A., Kretzing C. F.: Inhibition of deoxynivalenol translocation and fungal colonization in *Fusarium* head blight resistant wheat. Can. J. Bot., 1992, **70**: 1570-1576.
15. Sułek A., Podolska G.: Kształtowanie się cech jakościowych ziarna pszenicy ozimej pod wpływem herbicydów. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2006, **46(2)**: 300-304.
16. Urban M., Gil Z., Narkiewicz-Jodko M.: Wpływ herbicydów na plonowanie i jakość ziarna kilku odmian pszenicy ozimej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2001, **41**: 826-829.
17. Weber R.: Wpływ uprawy zachowawczej na ochronę środowiska. Post. Nauk Rol., 2002, **1**: 57-67.

Adres do korespondencji:

dr Hanna Gołębiowska
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363 87 07 wew. 105
e-mail: h.golebiowska@iung.wroclaw.pl

Renata Kieloch*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach***WPLYW HERBICYDÓW NA JAKOŚĆ ZIARNA ZBÓŻ*****Wstęp**

We współczesnym rolnictwie dąży się do uzyskania wysokiej jakości plonów, spełniających wymagania określone przy skupie surowca dla przemysłu spożywczego oraz bezpiecznych dla konsumenta. Mechanizmy gospodarki rynkowej oraz wymagania stawiane przez Unię Europejską powodują, że wzrasta znaczenie uzyskiwania wysokiej jakości ziarna zbóż konsumpcyjnych. Cechy jakościowe ziarna w znaczącym stopniu zależą od właściwości genetycznych odmiany danego gatunku, przy czym mogą być one modyfikowane poprzez warunki klimatyczno-glebowe oraz poziom agrotechniki. Do najważniejszych cech określających przydatność ziarna zbóż do przemiału należą gęstość ziarna w stanie zsypanym oraz jego wyrównanie, natomiast o przydatności dla piekarnictwa decydują: zawartość białka ogólnego i glutenu, liczba opadania oraz wskaźnik sedimentacji. Powinny one zawierać się w granicach norm ustalonych dla Unii Europejskiej. Przykładowo, ziarno pszenicy o zawartości białka niższej niż 10,5% nie może być skupowane z przeznaczeniem na cele konsumpcyjne. Ponadto powinno być ono zdrowe, czyste, dobrze wykształcone, wolne od żywych owadów i roztoczy (22).

W Polsce zboża uprawiane są na ok. 70% użytków rolnych, co zmusza rolników do wprowadzania znacznych uproszczeń w płodozmianach i powoduje zwiększanie areału monokultur zbożowych. Prowadzi to do wzrostu zachwaszczenia zbóż, zwłaszcza gatunkami uciążliwymi dla tych upraw oraz do nasilenia występowania chorób. Chwasty już od początku wegetacji stanowią konkurencję dla rośliny uprawnej o wodę, światło i składniki pokarmowe, przyczyniając się do istotnych strat w plonach oraz pogorszenia ich jakości. Badania wykazały, że mogą one pobierać kilka razy więcej składników pokarmowych niż roślina uprawna (15, 23). Niektóre gatunki azotolubne, takie jak gwiazdnica pospolita lub przytulia czepna mogą, zwłaszcza w dużym nasileniu, silnie wyczerpywać glebę z tego składnika, co prowadzi do jego deficytu w roślinie i ma odzwierciedlenie w niższej zawartości białka w ziarnie. W zachwaszczonym łanie obserwuje się zmniejszoną liczbę kłosów na jednostce powierzchni, a ziarno jest

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

drobne i mało wyrównane (1). Obecność chwastów odgrywa znaczącą rolę w kształtowaniu mikroklimatu w łanie zbóż, przyczyniając się do wzrostu wilgotności, a tym samym stwarzając korzystne warunki dla rozwoju grzybów i bakterii chorobotwórczych oraz do spadku zdrowotności ziarna. Ponadto chwasty jednoliścienne stanowią ogniwo w cyklu rozwojowym niektórych chorób. W związku z powyższym istotnym elementem agrotechniki jest utrzymanie pól uprawnych w stanie wolnym od chwastów. Jest to osiągalne dzięki prężnie rozwijającemu się przemysłowi chemicznemu, który oferuje bogaty asortyment herbicydów do odchwaszczania zbóż.

Wieloletnie badania prowadzone w placówkach naukowo-badawczych naszego kraju dowodzą, że chemiczna regulacja zachwaszczenia na ogół wpływa korzystnie na jakość ziarna zbóż i najczęściej nie wywiera żadnego wpływu, choć znane są przypadki ujemnego oddziaływania herbicydów na jakość ziemiopłodów. W niniejszej pracy omówione zostaną zarówno pozytywne, jak i negatywne aspekty stosowania herbicydów w odniesieniu do kształtowania parametrów jakościowych ziarna zbóż.

Pozytywny wpływ herbicydów na jakość ziarna zbóż

Przydatność ziarna dla przemysłu spożywczego jest podstawowym kryterium decydującym o jakości zbóż konsumpcyjnych. Stąd wiele prac z zakresu omawianej tematyki koncentruje się wokół oceny wpływu różnych czynników na wartość technologiczną. Wynika z nich, że intensywna ochrona roślin przed chorobami i chwastami, jak również wysoki poziom nawożenia mineralnego wpływają dodatnio na wysokość i jakość uzyskiwanych plonów zbóż (12, 21). Wyniki wieloletnich badań wskazują, że herbicydy wywierają zróżnicowany wpływ na jakość ziarna zbóż, w zależności od warunków klimatyczno-glebowych, stanu zachwaszczenia upraw oraz poziomu agrotechniki. Wpływ ten jest różny dla poszczególnych wyróżników jakościowych oraz dla odmian danego gatunku. W pracach prowadzonych przez Urbana (26) herbicydy spowodowały nieznaczny wzrost wskaźnika sedymentacji, ale obniżyły aktywność amylolityczną w ziarnie pszenicy ozimej.

Na ogół obserwuje się wpływ korzystny, co jest widoczne w postaci wzrostu zawartości białka i glutenu oraz zwiększenia wskaźnika sedymentacji, jak też poprawy innych parametrów, jak np. wodochłonność mąki, objętość chleba itp. Herbicydy, obok poziomu nawożenia, są istotnym elementem warunkującym uzyskanie ziarna dobrze wykształconego i wyrównanego – cech decydujących o jego przydatności do przemysłu młynarskiego. W niektórych przypadkach ich stosowanie może nawet decydować o tym czy ziarno może być skupowane z przeznaczeniem dla przemysłu młynarskiego i piekarniczego, czy też należy je zdyskwalifikować (tab. 1).

Dodatni wpływ herbicydów na jakość ziarna zbóż jest bardziej wyraźny na plantacjach silnie zachwaszczonych. W przypadku niewielkiego stopnia zachwaszczenia bądź też wystąpienia gatunków mało konkurencyjnych stosowanie herbicydów nie wywiera istotnego wpływu na parametry jakościowe. Wyniki badań własnych wykazały brak wpływu herbicydów na wartość technologiczną ziarna dwóch odmian psze-

Tabela 1

Wpływ herbicydów na wartość technologiczną ziarna pszenicy ozimej odmian Kobra i Tonacja

Obiekt	Dawka na 1 ha	Termin stosowania	Odmiana Kobra					
			białko (%)	gluten (%)	liczba opadania (s)	wskaźnik sedymentacji (ml)	gęstość (kg/hl)	wyrównanie (%)
Kontrola	-	-	12,3	28,5	441	33,3	77,0	93,3
Alister 162 OD	1 l	jesień	12,2	28,8	429	33,0	77,3	94,3
Huzar 05 WG	200 g	jesień	12,1	28,6	455	33,0	76,9	93,0
Huzar 05 WG	200g	wiosna	12,0	28,3	418	33,2	77,3	93,3
Chwastox Trio 540 SL	2 l	wiosna	12,1	28,5	430	34,7	77,3	94,7
Odmiana Tonacja								
Kontrola	-	-	11,5	26,6	296	35,5	77,8	94,5
Alister 162 OD	1 l	jesień	11,4	26,3	286	35,7	79,7	94,8
Huzar 05 WG	200 g	jesień	11,7	27,1	304	37,9	77,9	94,1
Huzar 05 WG	200 g	wiosna	11,8	27,3	287	37,8	77,9	94,4
Chwastox Trio 540 SL	2 l	wiosna	11,3	26,3	285	35,7	77,7	95,9

Źródło: badania własne (dane niepublikowane).

nicy ozimej, przy czym istotny w tym przypadku był fakt, że doświadczenie przeprowadzono na polu, na którym gatunkiem dominującym był mało konkurencyjny dla pszenicy fiołek polny.

W badaniach G i l a (6, 7) herbicydy: Apyros 75 WG, Attribut 70 WG, Huzar 05 WG, Gold 450 EC i Chwastox Trio 540 SL nie różnicowały cech przemiałowych ziarna (łączna wydajność mąki) oraz cech jakościowych mąki (zawartość białka i glutenu, wskaźnik sedymentacji, liczba opadania oraz maksymalna lepkość kleików mącznych) pszenicy ozimej odmian Finezja, Pegassos, Turnia i Sukces, natomiast Atlantis 04 WG wpłynął na wzrost ilości mąki uzyskanej z przemiału ziarna. Wartość przemiałowa ziarna i wypiekowa mąki w większym stopniu wynikały z cech odmianowych niż stosowania środków chwastobójczych.

W kształtowaniu wartości technologicznej ziarna zbóż znaczącą rolę odgrywa wielkość dawki herbicydu. Badania wykazały, że zastosowanie środka w dawce mniejszej niż zaleca producent nie wywiera żadnego wpływu na cechy jakościowe ziarna. Herbicyd Chwastox Extra 340 SL aplikowany w dawce zredukowanej nie wpłynął istotnie na zawartość białka i glutenu, wskaźnik sedymentacji, liczbę opadania oraz masę tysiąca nasion pszenicy jarej, natomiast aplikowany w dawce zalecanej przyczynił się do znaczącego wzrostu wskaźnika sedymentacji i masy tysiąca nasion. Również środki Granstar 75 WG i Chisel 75 WG nie wpłynęły na zawartość białka i glutenu oraz na wskaźnik sedymentacji (3, 13).

Wpływ herbicydów na poprawę jakości ziarna jest skorelowany z poziomem nawożenia azotem. W badaniach nad wpływem nawożenia i zwalczania chwastów

wykazano, że na kształtowanie kompleksu białkowego ziarna pszenicy jarej znaczący wpływ wywarł zarówno poziom nawożenia azotem, jak i zastosowany herbicyd (Chisel 75 WG), przy czym oddziaływanie nawożenia było silniejsze. Wpływ ochrony herbicydowej na poziom białka i glutenu oraz wskaźnik sedymentacji był istotny tylko na obiektach z wysokim nawożeniem azotem (tab. 2).

Tabela 2

Wpływ herbicydu Chisel 75 WG na niektóre parametry jakościowe ziarna pszenicy jarej w zależności od poziomu nawożenia azotem

Obiekt	Dawka	Białko (%)	Gluten (%)	Wskaźnik sedymentacji (ml)
Nawożenie azotem $60 + 20 = 80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$				
Kontrola	-	12,7	22,8	37,1
Chisel 75 WG + Trend 90 EC	$40 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} + 0,1\%$	12,7	22,7	37,4
Chisel 75 WG + Trend 90 EC	$20 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} + 0,1\%$	13,1	24,0	38,8
Nawożenie azotem $80 + 70 + 30 = 180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$				
Kontrola	-	14,8	28,2	47,7
Chisel 75 WG + Trend 90 EC	$40 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} + 0,1\%$	15,3	29,4	50,1
Chisel 75 WG + Trend 90 EC	$20 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} + 0,1\%$	15,0	28,8	48,2

Źródło: Pietryga i Drzewiecki, 2005 (20).

Oprócz dawki na jakość ziarna wpływa również termin nawożenia. W przypadku herbicydu Huzar 05 WG najlepsze efekty odnośnie wartości technologicznej ziarna pszenicy ozimej osiągnięto po zabiegu wykonanym w końcu krzewienia rośliny uprawnej, ale 7 dni przed zastosowaniem drugiej dawki saletry amonowej (tab. 3); (5).

Stosowanie herbicydów wpływa korzystnie na zdrowotność ziarna. Herbicydy Apyros 75 WG, Attribut 70 WG, Tolurex 500 SC ograniczyły występowanie grzybów z rodzaju *Fusarium* na ziarnie odmian pszenicy ozimej, zwłaszcza w sezonie z dużą ilością opadów, co sprzyjało mniejszemu porażeniu ziarna. Wpływ herbicydów na liczbę izolatów grzybów był uwarunkowany właściwościami odmianowymi zbóż. Równie korzystny wpływ na stan fitosanitarny ziarna pszenicy ozimej uzyskano po zastosowaniu herbicydów: Atlantis 04 WG, Chwastox Trio 540 SL, Gold 450 EC i Huzar 05 WG (16, 17, 18).

Jednym z pozytywnych aspektów odchwaszczania chemicznego jest mniejsze zanieczyszczenie zebranego ziarna nasionami chwastów oraz fragmentami ich nadziemnych części. Stwierdzono istotnie niższe, w porównaniu z obiektem kontrolnym, zanieczyszczenie ziarna pszenicy jarej po zastosowaniu herbicydów Chwastox Trio 540 SL i Granstar 75 WG. W przypadku środka Granstar 75 WG zastosowanego w dawce zalecanej istotny wpływ na zanieczyszczenie ziarna wywarł również termin jego apli-

Tabela 3

Wpływ herbicydu Huzar 05 WG na niektóre parametry jakościowe ziarna pszenicy ozimej w zależności od terminu wykonania zabiegu oraz nawożenia azotem

Obiekt	Termin zabiegu	Dawka na 1 ha	Białko (%)	Gluten (%)	Liczba opadania (s)	Wskaźnik sedimentacji (ml)
Kontrola	-	-	12,1	28,0	387	32
Huzar 05 WG	T-2	200 g	11,3	30,0	380	32
Saletra amonowa 34%	T-1, T-4, T-6	176,5+88,25+88,25 kg	13,3	39,0	409	39
Huzar 05 WG	T-2	200 g	13,6	38,0	399	41
Saletra amonowa 34%	T-1, T-4, T-6	176,5+88,25+88,25 kg	13,7	41,0	406	44
Huzar 05 WG	T-3	200 g	13,4	41,0	409	40
Saletra amonowa 34%	T-1, T-4, T-6	176,5+88,25+88,25 kg				
Huzar 05 WG	T-5	200 g				
Saletra amonowa 34%	T-1, T-4, T-6	176,5+88,25+88,25 kg				

T-1, T-2, T-3, T-4, T-5, T-6 – terminy wykonania zabiegu, odnoszące się do faz rozwojowych pszenicy ozimej:

T-1 – szpilowanie, T-2 – 1-2 liście, T-3 – 3-4 liście, T-4 – początek krzewienia, T-5 – pełnia krzewienia,

T-6 – koniec krzewienia

Źródło: Domaradzki i Sekutowski, 2004 (5).

kacji, ponieważ wczesny zabieg (początek krzewienia) spowodował szybkie i skuteczne zniszczenie chwastów, co jednak stworzyło korzystne warunki do nowych wschodów i zachwaszczenia wtórnego (13).

Ujemny wpływ herbicydów na jakość ziarna

Jak wykazują dotychczasowe badania herbicydy mogą wpływać fitotoksycznie na roślinę uprawną, powodując zmiany w morfologii roślin (np. chlorozy, deformacje roślin), obniżenie wielkości i pogorszenie jakości plonu. Zakłócają one przebieg procesów fizjologicznych roślin uprawnych już we wczesnych fazach rozwojowych, co może mieć swoje odzwierciedlenie na etapie formowania się ziarna (27). Duży wpływ na zmiany w zawartości składników pokarmowych wywierają zmienne warunki pogodowe, natomiast w mniejszym stopniu wynikają one z reakcji osobniczych odmian roślin uprawnych i rodzaju herbicydu oraz tylko nieznacznie zależą od terminu aplikacji tych środków. Wielu autorów stwierdza, że w wyniku stosowania herbicydów zachodzą istotne zmiany składu mineralnego ziarna zbóż. Ich niekorzystne oddziaływanie może uwidaczniać się znacznym obniżeniem zawartości makro- i mikroelementów oraz zmianami w składzie aminokwasowym białka w ziarnie zbóż (2, 20, 23). U odmian wrażliwych na dany herbicyd można zaobserwować w trakcie wegetacji uszkodzenia roślin, które prowadzą do obniżenia plonowania i pogorszenia jakości ziarna. Herbicyd Gold 450 EC spowodował na przykład deformację kłosów pięciu badanych

odmian pszenicy, jednak tylko u jednej wystąpiło pogorszenie jakości ziarna w postaci obniżenia wskaźnika sedymentacji do poziomu dyskwalifikującego ziarno dla przetwórstwa spożywczego. Również mieszanina herbicydów Granstar 75 WG i Chwastox Extra 300 SL spowodowała obniżenie zawartości azotu w ziarnie pszenżyta ozimego, co może wynikać z wrażliwości roślin na tę mieszaninę (2, 11).

W związku z częstymi uszkodzeniami zbóż przez herbicydy prowadzone są prace odnośnie ich fitotoksycznego oddziaływania na różne odmiany danego gatunku. Oprócz wpływu na wzrost i rozwój roślin w trakcie wegetacji badania obejmują ocenę plonowania oraz wartości technologicznej ziarna. Herbicydy starszej generacji, zawierające chlorotoluron lub izoproturon, charakteryzują się silnie fitotoksycznym oddziaływaniem na zboża. Z tego powodu były one przedmiotem długoletnich badań w zakresie ich wpływu na odmiany pszenicy ozimej. Na podstawie oceny reakcji 42 odmian pszenicy ozimej na chlorotoluron można stwierdzić, że środek ten wywierał wpływ na plonowanie oraz skład chemiczny ziarna w zależności od odmiany pszenicy oraz terminu aplikacji herbicydu. Zmiany w składzie chemicznym były jednak nieistotne i niepowtarzające się w latach. W znacznej mierze zależały od przebiegu pogody w sezonie wegetacyjnym oraz właściwości siedliska. Nie powodowały także pogorszenia jakości pszenicy jako surowca (24).

Prace nad określeniem reakcji odmian pszenicy ozimej na herbicydy wykonane w ostatnim dziesięcioleciu w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli wskazują, że środki te na ogół nie wpływają negatywnie na przydatność ziarna na cele młynarskie i piekarnicze (tab. 4). Obserwowane pogorszenie niektórych parametrów pod wpływem działania herbicydu były sporadyczne i nie dyskwalifikowały ziarna jako surowca dla przetwórstwa, a zależały głównie od odmiany i przebiegu pogody, a nie od zastosowanego środka (8, 9, 10). Prace nad wpływem herbicydów na plonowanie

Tabela 4

Wpływ herbicydów na wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej
(na podstawie doświadczeń z lat 2000–2009)

Odmiany	Herbicydy									
	Maraton 375 SC	Carat 350 SC	Glean 75 WG	Atlantis 04 WG	Chwastox Trio 540 SL	Gold 450 EC	Alister 162 OD	Lintur 70 WG	Sekator 6,25 WG	Huzar 05 WG
Tonacja	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Sukces	X	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Trend	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Kobiera	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Kobra	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Finezja	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-
Satyna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bogatka	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zyta	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-

0 – brak ujemnego wpływu herbicydów na wartość technologiczną ziarna, X – ujemny wpływ na jakość ziarna,

- brak danych

Źródło: badania własne.

odmian pszenicy ozimej są nadal kontynuowane, a ich uzasadnieniem jest wprowadzanie do praktyki nowych odmian pszenicy, dla których brak jest informacji o tolerancji na herbicydy. Powiększa się również asortyment herbicydów dostępnych na rynku, które są przeznaczone do odchwaszczania pszenicy ozimej, co stwarza konieczność ciągłego prowadzenia powyższych badań.

Ujemna reakcja na herbicydy wiąże się z nieprawidłową agrotechniką oraz błędami popełnianymi w czasie opryskiwania roślin. Zastosowanie herbicydu w dawce wyższej niż zaleca producent wiąże się ze wzrostem ryzyka uszkodzenia rośliny uprawnej, obniżenia plonowania i pogorszenia jakości ziarna. Niekorzystne oddziaływanie środków chwastobójczych na wartość technologiczną ziarna zostało udowodnione po aplikacji dwukrotnie wyższych niż zaleca producent dawek herbicydów Chwastox Extra 340 SL i Puma Universal 069 EW. Spowodowały one istotne zmniejszenie liczby opadania w ziarnie pszenicy ozimej (25).

Pozostałości substancji aktywnych herbicydów w ziarnie zbóż

W obecnych czasach duży nacisk kładzie się na produkcję tzw. zdrowej żywności. Dlatego też konsumentów mogą niepokoić sygnały mówiące o tym, że pozostałości środków ochrony roślin mogą przedostawać się do plonów i tym samym wpływać negatywnie na zdrowie człowieka. Jednak wieloletnie badania nie dowiodły nagromadzenia się substancji aktywnych środków chwastobójczych w ziarnie zbóż w stężeniu przekraczającym wartości podane w normach. Na ogół było ono znacznie niższe lub poniżej granicy wykrywalności. Obecność i poziom pozostałości herbicydów zależał głównie od przebiegu pogody w sezonie wegetacyjnym, terminu wykonania zabiegu oraz odmiany pszenicy. W badaniach nad oceną wrażliwości odmian pszenicy ozimej na herbicydy stwierdzono zwiększenie częstotliwości i poziomu występowania ich pozostałości w odmianach wrażliwych na dany środek. Obecność herbicydów stwierdzano częściej po zastosowaniu herbicydów w terminach wiosennych w porównaniu z jesiennymi, ze względu na krótszy okres od aplikacji herbicydu do zbioru ziarna, co uniemożliwiło całkowity ich rozkład (tab. 5).

Poziom pozostałości substancji aktywnych herbicydów w ziarnie zbóż zależy od rodzaju stosowanego środka, jego dawki oraz terminu aplikacji. W przypadku aplikacji herbicydów Aminopielik D 450 SL i Starane 250 EC w mieszaninach z takimi herbicydami, jak: Granstar 75 WG, Grodyl 75 WG, Puma Super 069 EW i Grasp 100 EC stężenie ich substancji aktywnych było wyższe w porównaniu z samodzielną ich aplikacją, w takiej samej dawce. Zanieczyszczenie ziarna zbóż pozostałościami substancji aktywnych herbicydów maleje wraz z obniżaniem ich dawki. Znaczący wpływ na poziom pozostałości wywiera również forma danego gatunku rośliny uprawnej. Znacznie częściej wykrywano je w jarych formach pszenicy i jęczmienia niż w formach ozimych, ze względu na krótszy okres od oprysku do zbioru ziarna. Wykazano również różnice pomiędzy poszczególnymi gatunkami zbóż ozimych, spośród których żyto było najbardziej zanieczyszczone pozostałościami MCPA i chlorotoluronu. Należy zaznaczyć fakt, że stosowanie się do zaleceń zawartych w etykietach opakowań herbicy-

Tabela 5

Maksymalne wykryte pozostałości ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w ziarnie zbóż traktowanych herbicydem Chwastox Trio 540 SL (1998–2002)

Dawka herbicydu ($\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Substancja aktywna	Pszenica		Jęczmień	
		ozima	jara	ozimy	jary
1,0	MCPA	NW	NW	NW	0,002
	dikamba	NW	NW	NW	NW
	mekoprop	NW	0,002	NW	0,002
1,5	MCPA	NW	0,008	NW	0,010
	dikamba	NW	NW	NW	NW
	mekoprop	NW	0,008	NW	0,012
2,0	MCPA	NW	0,008	NW	0,010
	dikamba	NW	NW	NW	0,002
	mekoprop	0,004	0,012	0,006	0,014

NW – nie wykryto pozostałości

Źródło: Domaradzki, 2004 (4).

dów oraz wykonywanie zabiegu zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej znacznie ogranicza możliwość uzyskania mniej wartościowego ziarna. Również zmniejszanie dawki herbicydu przyczynia się do ograniczania zanieczyszczenia ziarna zbóż pozostałościami herbicydów (4, 14).

Literatura

1. Brzozowska I., Brzozowski J., Jastrzębska M.: Wpływ zabiegów ochronnych i ochronno-nawozowych na plonowanie, zawartość i jakość białka ziarna pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.*, 1997, **2**: 32-39.
2. Brzozowska I.: Wpływ herbicydów i sposobów nawożenia azotem na zawartość makroelementów w ziarnie pszenżyta ozimego. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 10-16.
3. Cacak-Pietrzak G., Sułek A., Ceglińska A.: Wpływ substancji aktywnej i dawki herbicydu na plonowanie i cechy jakościowe ziarna pszenicy jarej. *Fragm. Agron.*, 2008, **1(97)**: 76-83.
4. Domaradzki K.: Wpływ terminu, dawki i sposobu stosowania herbicydów na stężenie pozostałości substancji aktywnych w ziarnie zbóż. *Pam. Puł.*, 2004, **135**: 45-54.
5. Domaradzki K., Sekutowski T.: Wpływ terminów nawożenia azotem i herbicydami na regulację zachwaszczenia i niektóre cechy jakościowe ziarna pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44(2)**: 657-660.
6. Gil Z., Narkiewicz-Jodko M., Urban M.: Jakość technologiczna ziarna pszenicy ozimej w zależności od środków chwastobójczych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 312-315.
7. Gil Z., Narkiewicz-Jodko M., Urban M.: Wartość przemiałowa ziarna i wypiekowa mąki odmian pszenicy ozimej w zależności od środków chwastobójczych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48(2)**: 582-585.
8. Kieloch R., Rola H., Sumisławska J.: Wpływ herbicydów na wartość technologiczną ziarna odmian pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2007, **47(3)**: 138-146.
9. Kieloch R., Sumisławska J., Rola H.: Wpływ pochodnych fenylomocznika na przydatność ziarna odmian pszenicy ozimej do celów młynarskich i piekarniczych. *Fragm. Agron.*, 2008, **1(97)**: 157-166.

10. Kieloch R., Rola H.: Ocena działania herbicydu Gold 450 EC na odmiany pszenicy ozimej na podstawie ich plonowania i wartości użytkowej ziarna. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2008, **48(2)**: 617-620.
11. Kieloch R., Rola H., Sumińska J., Marczewski K.: Chemiczna ochrona zbóż przed chwastami a jakość ziarna. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2009, **49(2)**: 938-945.
12. Kraska P.: Wpływ zróżnicowanej agrotechniki na plon i wybrane cechy jakościowe ziarna jęczmienia jarego i żyta ozimego. Pam. Puł., 2005, **139**: 75-85.
13. Krawczyk R., Kaczmarek S.: Wpływ stosowania obniżonych dawek herbicydów na plon i jakość ziarna pszenicy jarej. Fragm. Agron., 2008, **1(97)**: 188-198.
14. Kucharski M., Sadowski J.: Pozostałości substancji aktywnych herbicydów w ziarnie zbóż. Pam. Puł., 2004, **135**: 129-135.
15. Liszka-Podkowa A., Sowiński J.: Skuteczność różnych metod odchwaszczania kukurydzy oraz pobranie makropierwiastków przez chwasty. Fragm. Agron., 2009, **26(3)**: 109-117.
16. Narkiewicz-Jodko M., Gil Z., Urban M.: Wpływ herbicydów na zdrowotność i jakość ziarna pszenicy ozimej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1999, **39(2)**: 668-671.
17. Narkiewicz-Jodko M., Gil Z., Urban M.: Herbicydy a jakość i stan fitosanitarny ziarna nowych odmian pszenicy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2005, **45(2)**: 938-941.
18. Narkiewicz-Jodko M., Gil Z., Urban M., Mularczyk A.: Zmiany cech towaroznawczych i zdrowotności ziarna pszenicy ozimej pod wpływem środków chwastobójczych. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2007, **47(3)**: 220-223.
19. Ostapczuk J., Rola H., Nowicka B.: Wpływ herbicydów stosowanych w różnych terminach na zawartość białka i skład aminokwasowy w ziarnie pszenicy ozimej odmiany Arda i Juma. Pestycydy, 1997, **1-2**: 59-65.
20. Pietryga J., Drzewiecki S.: Wpływ zwalczania chwastów na wysokość i jakość plonu ziarna pszenicy jarej przy różnych poziomach nawożenia azotowego. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2005, **45(2)**: 993-996.
21. Podolska G., Stypuła G.: Plonowanie i wartość technologiczna ziarna pszenicy ozimej w zależności od sposobu ochrony przed chorobami i chwastami. Pam. Puł., 2002, **130/II**: 587-596.
22. Podolska G., Sułek A.: Jakość ziarna pszenicy w Polsce i UE. Pam. Puł., 2003, **132**: 363-369.
23. Rola H., Żurawski H.: Wpływ stopnia zachwaszczenia *Apera spica-venti*, *Avena fatua*, *Anthemideae* na zawartość azotu, fosforu i potasu w ziarnie pszenicy ozimej i jarej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1988, **349**: 47-55.
24. Rola H., Kieloch R.: Wpływ chlorotoluronu na plonowanie oraz wybrane parametry jakościowe ziarna odmian pszenicy ozimej. Pam. Puł., 2005, **139**: 199-210.
25. Sułek A., Podolska G.: Kształtowanie się cech jakościowych ziarna pszenicy ozimej pod wpływem herbicydów. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2006, **46(2)**: 300-304.
26. Urban M., Gil Z., Narkiewicz-Jodko M.: Wpływ herbicydów na plonowanie i jakość ziarna kilku odmian pszenicy ozimej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2001, **41(2)**: 826-829.
27. Wang M., Zhou Q.: Effects of herbicide chlorimuron-ethyl on physiological mechanisms in wheat (*Triticum aestivum*). Ecotoxicology and Environmental Safety, 2006, **64**: 190-197.

dr Renata Kieloch
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363 87 07
e-mail: r.kieloch@iung.wroclaw.pl

**Mariusz Kucharski, Katarzyna Marczevska-Kolasa, Henryka Rola,
Krzysztof Domaradzki**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

ODPORNOŚĆ CHWASTÓW NA HERBICYDY W ŚWIELE BADAŃ IUNG-PIB W LATACH 1999–2010*

Wstęp

Herbicydy stanowią trwały element w technologii uprawy roślin. Ich stosowanie zapewnia wysoką skuteczność regulacji zachwaszczenia, ogranicza konkurencyjność chwastów w stosunku do rośliny uprawnej, zmniejsza nakłady pracy i ułatwia pielęgnację pól. Jednakże intensywne i długotrwałe stosowanie tych samych herbicydów na określonym stanowisku może doprowadzić do wystąpienia zjawiska selekcji i nagromadzenia się w siedlisku biotypów chwastów odpornych na jeden lub kilka herbicydów w obrębie gatunku uznawanego dotychczas za wrażliwy (4, 5, 20, 30, 35). Odporność oznacza brak wrażliwości niektórych osobników danego gatunku chwastu na taką dawkę herbicydu, która stosowana w normalnych warunkach niszczy całą jego populację na odchwaszczanej plantacji (6). W warunkach naturalnych biotypy odporne stanowią znikomy odsetek w populacji. Po aplikacji herbicydu większość osobników wrażliwych ginie, a niewielka liczba biotypów odpornych kwitnie i wydaje nasiona. W przypadku stosowania tego samego herbicydu przez wiele lat następuje znaczący wzrost liczebności osobników odpornych w danej populacji (7).

Fakt pojawienia się biotypów odpornych w obrębie gatunku wrażliwego został po raz pierwszy stwierdzony w Kanadzie w 1963 roku, gdzie po kilkuletnim stosowaniu 2,4-D wrażliwa dotychczas dzika marchew (*Daucus carota* L.) przestała reagować na tę substancję (36). Jak wynika z licznych publikacji liczba biotypów wykazujących odporność na herbicydy z różnych grup chemicznych wzrasta (9, 22, 25, 38). Według najnowszych badań, prowadzonych przez różne ośrodki naukowe na świecie (9), dotychczas zidentyfikowano 200 gatunków (365 biotypów) chwastów odpornych na różne substancje aktywne herbicydów. Wśród nich 115 to chwasty dwuliścienne, a 85 jednoliścienne. Biotypy odporne zidentyfikowano na ponad 460 tysiącach pól uprawnych o łącznej powierzchni kilku milionów hektarów w ponad 40 krajach. Najliczniejszą grupę stanowią gatunki odporne na inhibitory ALS (113 biotypów) oraz na inhibitory fotosyntezy na poziomie fotosystemu II (PS II) – 94 biotypy. Inhibitory syntetazy

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

acetylomleczanowej (ALS) to grupa herbicydów, które uniemożliwiają biosyntezę aminokwasów o łańcuchach rozgałęzionych, takich jak: walina, leucyna i izoleucyna, poprzez blokowanie działania enzymu ALS. Wynikiem tego jest silne zahamowanie wzrostu korzeni oraz części nadziemnych i w efekcie obumieranie roślin.

Inhibitory fotosyntezy to grupa substancji, które zakłócają proces fotosyntezy w fazie jasnej, na poziomie fotosystemu II lub I. Herbicydy należące do tej grupy blokują swobodny przepływ elektronów przez fotosystem II w wyniku czego dochodzi do rozpadu chlorofilu i karotenoidów. Pierwszym objawem po ich zastosowaniu są chlorozy liści, pojawiające się już po kilku dniach od zastosowania herbicydu.

Mechanizmy powstawania odporności chwastów na herbicydy nie są proste i jeszcze nie w pełni poznane. Jest to problem, nad którym pracuje wielu naukowców na świecie. Często różnice pomiędzy biotypami odpornymi i wrażliwymi na herbicydy nie są widoczne, a reakcja rośliny na zastosowaną substancję może wynikać z różnic fizjologicznych lub genetycznych danej populacji. Badania zmian morfologiczno-anatomicznych oraz fizjologiczno-biochemicznych zachodzących u wrażliwych i odpornych biotypów wykazują, że zmiana miejsca działania i przyspieszony metabolizm substancji aktywnej to dwa najczęściej spotykane mechanizmy powstawania odporności.

Problem odporności chwastów na herbicydy inhibitory ALS oraz inhibitory fotosyntezy PS II dotyczy obecnie także Polski (12, 25). Pierwsze doniesienia o problemach z odpornością chwastów na herbicydy pojawiły się w połowie lat osiemdziesiątych zeszłego wieku na terenach, na których związki z grupy triazyn stosowane były corocznie w uprawie kukurydzy oraz w sadach (15, 27). Na opisywanych terenach po wielu latach stosowania tych związków zaobserwowano występowanie *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* i *Echinochloa crus-galli* odpornych na herbicydy zawierające takie substancje aktywne, jak: atrazyna, symazyna, cyjanazyna i prometryna. Zjawisko odporności różnych biotypów chwastów narasta i obejmuje nowe grupy herbicydów, do niedawna uważanych za skuteczne w walce z zachwaszczeniem (3, 10, 13, 14, 31).

Na podstawie badań prowadzonych przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy (IUNG-PIB) już w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia stwierdzono na terenie Dolnego Śląska występowanie biotypów *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Echinochloa crus-galli* odpornych na herbicydy triazynowe (27). W 2001 roku pojawiły się również pierwsze informacje o występowaniu na tym terenie biotypów *Apera spica-venti* i *Centaurea cyanus* odpornych na chlorosulfuron – substancję z grupy pochodnych sulfonilomocznika (25). Dzięki uzyskanym dotacjom w postaci finansowania projektów badawczych w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB od końca lat dziewięćdziesiątych wykonano szereg badań nad identyfikacją chwastów odpornych na herbicydy z różnych grup chemicznych oraz opracowano nowe metody biochemiczne umożliwiające identyfikację chwastów odpornych.

Metodyka badań

Badania prowadzone w latach 1999–2010 obejmowały pola uprawne położone na terenie województw dolnośląskiego i opolskiego. W sumie z blisko 900 pól (szacowana powierzchnia około 15 tys. hektarów) pobrano materiał roślinny i nasienny różnych gatunków chwastów w celu identyfikacji odporności (tab. 1).

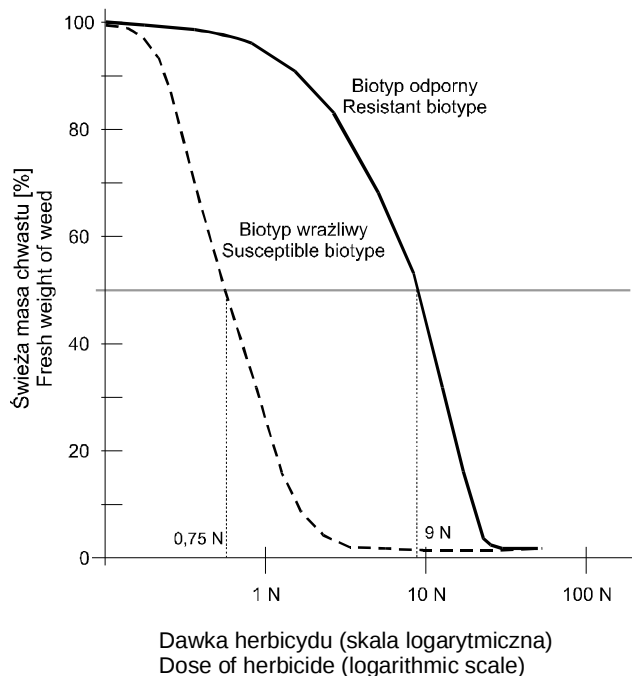
Tabela 1

Wykaz gatunków chwastów, których próbki pobrano do analiz

Skrót	Nazwa łacińska	Nazwa polska
AETCY	<i>Aethusa cynapium</i> L.	blekot pospolity
ANTAR	<i>Anthemis arvensis</i> L.	rumian polny
AMARE	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	szarłat szorstki
APESV	<i>Apera spica-venti</i>	miotła zbożowa
CAPBP	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med.	tasznik pospolity
CENCY	<i>Centaurea cyanus</i> L.	chaber bławatek
CHEAL	<i>Chenopodium album</i> L.	komosa biała
ECHCG	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	chwastnica jednostronna
GALAP	<i>Galium aparine</i> L.	przytulia czepna
GERPU	<i>Geranium pusillum</i> L.	bodziszek drobny
HSYNI	<i>Hyoscyamus niger</i> L.	lulek czarny
LAMAM	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	jasnota różowa
LAMPU	<i>Lamium purpureum</i> L.	jasnota purpurowa
MYOAR	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	niezapominajka polna
PAPRH	<i>Papaver rhoeas</i> L.	mak polny
POLAV	<i>Polygonum aviculare</i> L.	rdest ptasi
POLCO	<i>Polygonum convolvulus</i> L.	rdest powojowy
POLPE	<i>Polygonum persicaria</i> L.	rdest plamisty
SINAR	<i>Sinapis arvensis</i> L.	gorczyca polna – ognicha
SOLNI	<i>Solanum nigrum</i> L.	psianka czarna
STEME	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	gwiazdnica pospolita
THLAR	<i>Thlaspi arvense</i> L.	tobołki polne
VIOAR	<i>Viola arvensis</i> Murr.	fiołek polny
VERPE	<i>Veronica persica</i> Poiret	przetacznik perski

Na plantacjach tych rolnicy przez ostatnie 10 lat uprawiali w monokulturze kukurydzę, burak cukrowy i zboża. Z monitorowanych pól pobierano nasiona i liście chwastów, które stanowiły materiał do badania odporności na substancje aktywne herbicydów z grupy:

- inhibitorów fotosyntezy na poziomie fotosystemu II: atrazyna, symazyna, metamitron, chlorotoluron, izoproturon, metrybuzyna, linuron, bentazon, lenacil, fenmedifam, desmedifam;



Rys. 1. Wyznaczanie ED_{50} dla odpornych i wrażliwych na herbicydy biotypów chwastów
Źródło: badania własne.

- inhibitorów syntetazy acetylmleczanowej (ALS), takich jak: chlorosulfuron, tribenuron metylowy i tifensulfuron metylowy.

W dobie nasilenia zjawiska odporności chwastów na herbicydy szczególną uwagę zwraca się na poszukiwanie prostych i szybkich metod identyfikacji ekotypów odpornych. Najbardziej popularną i uniwersalną metodą jest test biologiczny (24). Pozwala on oszacować reakcję roślin na herbicydy z różnych grup chemicznych i o różnym mechanizmie działania. Umożliwia on w stosunkowo krótkim czasie oszacować reakcję roślin na różne substancje aktywne herbicydów stosowane w dawkach kilkakrotnie wyższych od zalecanych w praktyce. Dla określenia stopnia odporności na herbicydy wyznaczono wskaźnik ED_{50} , który określa taką dawkę herbicydu, pod wpływem której następuje redukcja świeżej masy roślin o 50%, w porównaniu z roślinami kontrolnymi, których nie poddawano działaniu środka. ED_{50} wyznaczono graficznie, przyjmując wartości średnie z trzech powtórzeń (12).

Iloraz ED_{50} dla biotypów odpornych i wrażliwych na daną substancję wyznacza tzw. indeks odporności (Resistance Index – RI). Na jego podstawie wyróżniamy trzy poziomy odporności: poziom niski ($2 < RI < 4$), poziom średni ($4 < RI < 8$) oraz poziom wysoki ($RI > 8$). Opisaną metodę przyjęto jako referencyjną.

W celu potwierdzenia odporności wykazanej testem biologicznym opracowano w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu metody biochemiczne

pozwalające w szybki sposób określić zmiany zachodzące w metabolizmie rośliny po zastosowaniu herbicydu o określonym mechanizmie działania i świadczących o jej odporności lub wrażliwości na zastosowaną substancję.

Identyfikacja odporności chwastów na inhibitory fotosyntezy PS II

Spektrofotometria fluorescencyjna

W przypadku odporności chwastów na inhibitory fotosyntezy na poziomie fotosystemu II wykorzystano pomiary fluorescencji liści roślin odpornych i wrażliwych biotypów chwastów. Metoda ta jest stosunkowo szybka i prosta – nie wymaga specjalnej obróbki materiału roślinnego. Do badań wykorzystuje się bowiem całe liście chwastów wcześniej moczone w roztworze substancji aktywnej herbicydu i w wodzie (obiekt kontrolny). Przygotowanie materiału oraz pomiary wykonane były zgodnie z metodą opisaną przez K u c h a r s k i e g o (12). Wynikiem analizy jest krzywa zmian fluorescencji w czasie.

Identyfikacja odporności chwastów na inhibitory ALS

Chromatografia gazowa

Metoda ta pozwala na określenie wpływu inhibitorów ALS na zawartość wolnych aminokwasów w liściach roślin odpornych i wrażliwych na herbicydy z tej grupy. Metoda polega na ekstrakcji próbek roślinnych wodą. Ekstrakt po odwirowaniu poddawany jest derywatyzacji w celu otrzymania lotnych pochodnych oznaczanych aminokwasów. Otrzymane związki oczyszcza się i oznacza na chromatografie gazowym z detekcją na spektrometrze masowym (GC/MS). Taka technika pozwala na rozdzielanie mieszaniny aminokwasów oraz ich ilościowe oznaczenie. Ponadto metoda ta odznacza się wysoką czułością i pozwala uzyskać następujące limity wykrywalności dla aminokwasów: leucyna 0,5 ng, izoleucyna 1 ng, walina 0,25 ng.

Kalorymetria izotermiczna

Metoda kalorymetrii izotermicznej opracowana została w Instytucie Fizjologii Roślin Polskiej Akademii Nauk w Krakowie (32). Pozwala ona ocenić bezpośredni wpływ zastosowanej substancji na ogólny metabolizm rośliny poprzez pomiar ilości wydzielanego ciepła przez liście odpornych i wrażliwych biotypów chwastów opryskanych herbicydem – inhibitorem ALS. Pomiary aktywności metabolicznej wykonano na kalorymetrze izotermicznym w 21°C. Długość blaszki liściowej pobieranej do pomiarów wynosiła każdorazowo 6 cm. Przed wykonaniem pomiaru fragment liścia ważono, a następnie umieszczano w ampułach pomiarowych, zanurzając liście w 1 ml wody destylowanej. Pomiary mocy cieplnej prowadzono przez 30 minut, w 9 powtórzeniach dla każdego obiektu. Wynikiem pomiaru jest ilość energii cieplnej wyrażonej w mJ · g⁻¹.

Spektrofotometria

Do pomiarów aktywności enzymu syntetazy acetylomleczanowej (ALS) wykorzystano metodę kolorymetryczną. Materiałem do badań były opryskane herbicydem najmłodsze liście odpornych i wrażliwych na inhibitory ALS biotypów chwastów. Po dodatkowym opryskaniu roślin kwasem 1,1-cyklopropanodikarbokstylowym (CPCA) następowała akumulacja acetomleczanu (produktu reakcji katalizowanej przez ALS), który ogrzewany w środowisku kwaśnym ulegał dekarboksylacji do acetoiny. Do pomiaru stężenia acetoiny wykorzystano odpowiednio zaadaptowany test Westerfelda, pierwotnie mający służyć oznaczaniu stężenia tego związku we krwi (37). Dodanie kreatyny i α -naftolu do roztworu zawierającego acetoinę powodowało formowanie się trwałego kompleksu barwnego. Po oczyszczeniu i sklarowaniu roztworu mierzono absorbancję przy długości fali 525 nm. Wyniki porównywano z roślinami kontrolnymi nieopryskanymi herbicydem, a tylko samym CPCA.

Wyniki

Odporność chwastów na inhibitory fotosyntezy PS II

Spośród badanych gatunków chwastów zebranych z pól południowo-zachodniej Polski (Dolny Śląsk i Opolszczyzna) dominowały biotypy *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* i *Echinochloa crus-gall*. Osobniki tych gatunków wykazywały odporność głównie na herbicydy z grupy triazyn: atrazynę, symazynę i metrybuzynę, a w przypadku *Chenopodium album* i *Amaranthus retroflexus* również na metamitron. Odporność wśród powyższych gatunków stwierdzono na 15-54% badanych plantacji, a liczebność osobników odpornych w zbiorowiskach na niektórych polach przekraczała nawet 75%. W stosunku do innych herbicydów z grupy inhibitorów fotosyntezy odporność wśród tych gatunków zidentyfikowano na kilku procentach pól objętych badaniami, w nasileniu nieprzekraczającym 50% w zbiorowisku. Dla gatunków *Polygonum convolvulus*, *Polygonum persicaria*, *Polygonum aviculare*, *Lamium amplexicaule*, *Anthemis arvensis*, *Capsella bursa-pastoris*, *Centaurea cyanus* i *Papaver rhoeas* liczebność osobników odpornych na herbicydy triazynowe przekraczała w kilku przypadkach 50% w zbiorowisku. Dla pozostałych taksonów udział biotypów odpornych na herbicydy triazynowe zwykle był mniejszy, a w stosunku do innych herbicydów z grupy inhibitorów fotosyntezy zjawisko odporności stwierdzono na pojedynczych polach, w nasileniu do kilkunastu procent w zbiorowisku.

Oprócz odporności prostej, na pojedyncze substancje aktywne herbicydów, wśród badanych gatunków chwastów zidentyfikowano również osobniki, które wykazywały odporność krzyżową na dwie i więcej substancji o tym samym mechanizmie działania. Analizowane biotypy wykazywały najczęściej odporność krzyżową na herbicydy triazynowe (np. atrazyna – symazyna, atrazyna – metamitron), następnie pomiędzy triazynami i innymi substancjami aktywnymi z grupy inhibitorów fotosyntezy (np. atrazyna – linuron, atrazyna – lenacil). Zidentyfikowano również pojedyncze przypadki wy-

stępowania odporności na substancje z innych grup chemicznych, np. w grupie pochodnych mocznika (linuron – chlorotoluron, izoproturon – chlorotoluron); (tab. 2).

Występowanie zjawiska odporności krzyżowej potwierdzają również w swoich pracach inni autorzy (8, 21). Głównie spotkać można przypadki odporności krzyżowej na substancje z grupy triazyn. Znane są także przykłady świadczące o występowaniu odporności krzyżowej w innych układach: triazyny – chlorydazon, triazyny – lenacyl oraz triazyny – linuron i inne pochodne mocznika (2, 22, 29, 34). Występowanie tego zjawiska nie musi być spowodowane tym, że na danym polu stosowano wszystkie herbicydy, na które zidentyfikowano odporność. T o t h C s a n t a v e r i i n. (33) zidentyfikowali biotypy *Ambrosia artemisiifolia* odporne na atrazynę (Węgry 1993). Po dziesięciu latach na tych samych polach przeprowadzono ponowne badania odporności i stwierdzono, że osobniki tego gatunku wykazują odporność nie tylko na atrazynę, ale również na inne substancje z grupy triazyn, tj. metrybuzyna, prometryna, terbutryna i terbutyloazyna, pomimo że nie były one stosowane na tych polach.

Na podstawie przeprowadzonych analiz wśród biotypów *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli* oraz *Centaurea cyanus* stwierdzono również występowanie odporności wielokrotnej na dwie grupy herbicydów – inhibitorów fotosyntezy (atrazyna) i inhibitorów ALS (chlorosulfuron, nikosulfuron,

Tabela 2

Oporność krzyżowa w grupie herbicydów – inhibitorów fotosyntezy PSII

Gatunek chwastu	Odporność krzyżowa	Liczba pól
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	atrazine – simazine	11
	atrazine – prometryne	3
	atrazine – metribuzine	1
	atrazine – metamitron	9
	atrazine – simazine - metamitron	4
	atrazine – chloridazone	6
	atrazine – linuron	3
	atrazine – bentazone	2
<i>Centaurea cyanus</i> L.	atrazine – simazine	2
	atrazine – metamitron	1
	atrazine – bentazone	1
<i>Chenopodium album</i> L.	atrazine – simazine	13
	atrazine – metamitron	17
	atrazine – prometryne	3
	atrazine – simazine – metamitron	5
	atrazine – linuron	3
	atrazine – chloridazone	7
	atrazine – lenacil	1
	metamitron – chloridazone	5
	linuron – chlortoluron	3
	isoproturon – chlortoluron	1
	chloridazone – lenacil	2

Źródło: badania własne.

rimsulfuron, jodosulfuron i foramsulfuron). Odporność wielokrotną zidentyfikowano tylko jedną metodą, tj. testem biologicznym. Dla sprawdzenia uzyskanych wyników z tych samych pól po dwóch latach ponownie pobrano materiał roślinny tych samych gatunków chwastów i poddano analizie metodą testu biologicznego. Przeprowadzone testy potwierdziły występowanie odporności wielokrotnej na inhibitory fotosyntezy i ALS. Opis przykładów występowania zjawiska odporności wielokrotnej na różne substancje aktywne herbicydów możemy odnaleźć w źródłach literaturowych (1, 8, 16).

Odporność chwastów na inhibitory ALS

W przypadku odporności chwastów na inhibitory ALS spośród wszystkich przebadanych gatunków chwastów wyselekcjonowano dwa, które wykazują odporność na herbicydy sulfonilomocznikowe stosowane w zbożach, a są to *Apera spica-venti* i *Centaurea cyanus* (17, 18). Na kilku polach uprawnych objętych monitoringiem stwierdzono obecność biotypów *A. spica-venti* odpornych na chlorosulfuron oraz mieszaninę chlorosulfuronu z flupyrsulfuronem metylowym. Biotypy miotły zbożowej z pól Dolnego Śląska charakteryzowały się wysokim stopniem odporności. Niektóre odporne na chlorosulfuron biotypy do osiągnięcia tego samego poziomu zniszczenia wymagały ponad 100-krotnie wyższej dawki chlorosulfuronu i 66-krotnie wyższej dawki jego mieszaniny z flupyrsulfuronem metylowym niż biotypy wrażliwe (tab. 3).

Tabela 3

Wyznaczanie indeksu odporności (resistance index RI) dla roślin *Apera spica-venti*

Obiekt	Pole	ED ₅₀		Indeks odporności
		ilość substancji czynnej (g)		
		S	R	R/S
Chlorosulfuron	Zagórzycze	9	309	34,3
	Prochowice	9	1276	141,8
	Laskowice	9	1034	114,9
	Wojśław	8	311	38,7
Chlorosulfuron + flupyrsulfuron metylowy	Zagórzycze	6	123	20,5
	Prochowice	7	248	35,4
	Laskowice	7	462	66,0
	Wojśław	6	134	22,3

S – biotyp wrażliwy

R – biotyp odporny

Źródło: badania własne.

W przypadku odporności *C. cyanus* problem jest nieco mniejszy, ale i tutaj stwierdzono odporność na chlorosulfuron oraz jego mieszaninę z tifensulfuronem metylowym. Bardzo niepokojący jest fakt, że tribenuron metylowy, który w normalnych warunkach niszczy ten gatunek chwastu, na badanych polach w średnim stopniu ograniczał wzrost *C. cyanus*. Nawet 90% przebadanych biotypów wykazywało średnią

wrażliwość na tę substancję. Może to świadczyć o narastającym problemie z odpornością tego gatunku chwastu na herbicydy sulfonilomocznikowe.

Od 2008 roku w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu podjęto badania w ramach projektu MNiSW (N N310 300 134) nad opracowaniem nowych metod identyfikacji odporności chwastów na herbicydy sulfonilomocznikowe. Metody te mają umożliwić ilościowy i jakościowy pomiar parametrów biochemicznych, które ulegają zmianom pod wpływem działania tych środków. Wybór metody chromatografii gazowej (w pomiarach zawartości wolnych aminokwasów) oraz spektrofotometrii (w aktywności enzymu ALS) wynikał z mechanizmu działania środków sulfonilomocznikowych. Metoda oznaczania aminokwasów z wykorzystaniem chromatografu gazowego ze spektrometrem masowym okazała się wystarczająco wydajna i szybka, aby możliwe było ilościowe i jakościowe oznaczenie zawartości aminokwasów w materiale roślinnym. Analiza zawartości wolnych aminokwasów (waliny, leucyny i izoleucyny) u odpornych na herbicydy sulfonilomocznikowe biotypów *Apera spica-venti* i *Centaurea cyanus* wykazała wzrost ich zawartości w porównaniu z roślinami kontrolnymi oraz z biotypami wrażliwymi (19). Taki wynik świadczyć może o przydatności tej metody do rozróżniania biotypów wrażliwych i odpornych na te związki.

Na obecnym etapie badań nie potwierdzono jeszcze przydatności metody spektrofotometrii w ocenie aktywności enzymu ALS. Brak powtarzalności uzyskanych wyników, jak również słaba zbieżność wyników uzyskanych tą metodą w porównaniu z klasycznym biotestem powoduje, że nie można jej polecić do identyfikacji odporności na herbicydy sulfonilomocznikowe.

Wyniki pomiarów ilości wydzielanego ciepła przez odporne i wrażliwe biotypy chwastów wskazują na możliwość zastosowania również metody kalorymetrii izotermicznej w badaniach odporności na herbicydy (19). Jak podaje S t o k ł o s a i in. (32) metoda ta znalazła już zastosowanie w badaniach odporności *Avena fatua* na inhibitory ACCazy. Prowadzone we współpracy z Instytutem Fizjologii Roślin Polskiej Akademii Nauk w Krakowie badania wskazały, że metoda ta może być przydatna w badaniach odporności jedno- i dwuliściennych gatunków chwastów na herbicydy z różnych grup chemicznych

Podsumowanie

Brak reakcji lub niedostateczne działanie niektórych herbicydów spowodowane odpornością chwastów wymusza na rolnikach zmiany w dotychczasowym systemie uprawy i ochrony plantacji. Biotypy odporne, które nie zostały zniszczone, stają się konkurencyjne względem rośliny uprawnej, co prowadzi do zmniejszenia plonu, jak również pogorszenia jego jakości. Zdarzają się przypadki, kiedy rolnik widząc słabe działanie herbicydu podwyższa jego dawkę. Takie postępowanie nie eliminuje problemu zachwaszczenia, a może powodować zagrożenie dla człowieka i środowiska poprzez pozostałości substancji aktywnej w plonie, zanieczyszczenie gleby oraz wód powierzchniowych i gruntowych (11, 28).

Niezależnie od poglądów na mechanizm powstawania odporności czynnikiem stymulującym to zjawisko jest wieloletnie stosowanie herbicydów o tym samym mechanizmie działania. Występowanie i rozprzestrzenianie się osobników odpornych można skutecznie ograniczać, między innymi, poprzez odpowiedni dobór herbicydów i ich mieszanin. W Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB prowadzone są badania, których celem jest opracowanie systemów chemicznej regulacji zachwaszczenia plantacji, na których występują chwasty odporne (26). Przeprowadzone prace wykazały, że w pierwszym etapie należy rozpoznać występujące biotypy chwastów i substancje, na które są one odporne. Dzięki tym informacjom można dobrać herbicydy o innych mechanizmach działania, które skutecznie zwalczają gatunki odporne i nie są fitotoksyczne dla rośliny uprawnej. Na większości analizowanych pól stwierdzono występowanie odporności prostej i krzyżowej. W takich sytuacjach szeroki asortyment preparatów zalecany do zwalczania chwastów w głównych uprawach umożliwia dobór herbicydów o różnym mechanizmie działania skutecznie eliminujących zachwaszczenie.

Rozpatrując zmiany w występowaniu i liczebności biotypów *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Echinochloa crus-galli* odpornych na atrazynę, można stwierdzić, że w ostatnich kilku latach nie obserwowano na obszarze objętym badaniami wyraźnych zmian ilościowych w występowaniu zjawiska odporności chwastów na ten herbicyd. W wielu przypadkach, szczególnie na plantacjach kukurydzy, można stwierdzić duże nasilenie *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Echinochloa crus-galli*, jak również innych gatunków chwastów odpornych na triazyny. Zmianowanie roślin i rotacja herbicydów o różnych mechanizmach działania nie wyeliminowała chwastów odpornych, a jedynie ograniczyła ich liczebność w zbiorowisku. W kukurydzy uprawianej w monokulturze po aplikacji herbicydu należącego do grupy o innym mechanizmie działania niż triazyny (np. herbicyd zawierający substancję aktywną z grupy pochodnych sulfonilomocznika) obserwowano wysoką skuteczność tego środka w zwalczaniu chwastów odpornych. Pomimo tego w zbiorowisku zachwaszczenia wtórnego pod koniec wegetacji kukurydzy nadal znaczący odsetek stanowiły osobniki odporne. Świadczy to o tym, że krótkotrwała zmiana asortymentu herbicydów lub ograniczone zmianowanie roślin nie eliminuje problemu odporności.

Obecnie herbicydy zawierające atrazynę zostały wycofywane z rynku środków ochrony roślin, co w najbliższych latach powinno znacząco wpłynąć na zmniejszenie występowania i rozprzestrzeniania się chwastów odpornych na te substancje. Niestety, pomimo tych zmian występowanie zjawiska odporności nie będzie malało. Corocznie przybywa informacji o pojawianiu się nowych gatunków chwastów odpornych na inne grupy herbicydów, wśród których obecnie dominują inhibitory syntezy ALS (pochodne sulfonilomocznika, np. chlorosulfuron, jodosulfuron, nikosulfuron i rimsulfuron) oraz inhibitory acetylo CoA karboksylazy - chizalofop-P, fluazifop-P, setoksydym, diklofop metylowy i inne (23). Wzrost liczebności biotypów chwastów odpornych na herbicydy wymusza na placówkach naukowych konieczność opracowania nowych,

prostych, szybkich i tanich metod analitycznych umożliwiających identyfikację roślin odpornych. Uzasadnione jest zatem prowadzenie dalszych badań, by uzyskać jednoznaczną odpowiedź o zmianach w procesach biochemicznych zachodzących u odpornych i wrażliwych na zastosowaną substancję biotypów chwastów oraz skutecznie przeciwdziałać rozprzestrzenianiu się tego zjawiska.

Literatura

1. Burnet M. W. M., Hart Q., Holtum J. A. M., Powles S. B.: Resistance to nine herbicide classes in a population of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). *Weed Sci.*, 1994, **42**: 369-377.
2. Furest E. P., Arntzen C. J., Pfister K., Penner D.: Herbicide cross-resistance in triazine – resistant biotypes of four species. *Weed Sci.*, 1986, **34**: 344-353.
3. Gawroński S. W.: Biologia i odporność na herbicydy gatunków z rodzaju *Amaranthus*. *Pam. Puł.*, 2002, **129**: 33-38.
4. Gawroński S. W., Sugita M., Sugiura M.: Mutation of *psbA* gene in herbicide resistant populations of *Erigeron canadensis*. *Research in Photosynthesis*, 1992, **17**: 405-407.
5. Glenn S., Phillips W. H., Kalnay P.: Long-term control of perennial broadleaf weeds and triazine-resistant common lambsquarters (*Chenopodium album*) in no-till corn (*Zea mays*). *Weed Technol.*, 1997, **11**: 436-443.
6. Gressel J.: Spread and action of herbicide tolerances and uses in crop breeding. *Proc. British Crop Protection Conference – Weeds*. Brighton, UK, 1983, 608-615.
7. Gressel J., Segel L. A.: Herbicide resistance in plants (eds. LeBaron M. M., Gressel J.). John Wiley & Sons, NY, USA, 1982, 325-334.
8. Hall L. M., Tardif F. J., Powles S. B.: Mechanisms of cross and multiple resistance in *Alopecurus myosuroides* and *Lolium rigidum*. *Phytoprotection*, 1994, **75**: 17-23.
9. Heap I. M.: International survey of herbicide-resistant weeds. Internet online document, 2011, <http://www.weedscience.com>. – 27.09.2011
10. Kapeluszyński J., Haliniarz M.: Ocena wrażliwości na herbicydy triazynowe kilku populacji *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Echinochloa crus-galli* z terenu województwa lubelskiego. *Pam. Puł.*, 2002, **129**: 161-167.
11. Kucharski M.: Pozostałości herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych na terenach rolniczych. *Pam. Puł.*, 2004, **138**: 89-97.
12. Kucharski M.: Odporność chwastów na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy PSII na polach uprawnych południowo-zachodniej Polski. *Monografie i Rozprawy Naukowe*, 2005, **14**: ss. 103.
13. Kucharski M., Rola H.: Identyfikacja biotypów *Amaranthus retroflexus* i *Chenopodium album* wykazujących odporność krzyżową na herbicydy – inhibitory fotosyntezy fotosystemu II. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2003, **43(1)**: 218-223.
14. Kucharski M., Rola H.: Identyfikacja wybranych biotypów chwastów odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy w uprawie buraka cukrowego. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44(2)**: 884-886.
15. Lipeccki J.: *Capsella bursa-pastoris* (L) Med. – another weed resistant to simazine? *Acta Soc. Botanic. Pol.*, 1988, **1**: 187-189.
16. Maertens K. D., Sprague C. L., Tranel P. J., Hines R. A.: *Amaranthus hybridus* populations resistant to triazine and acetolactate synthase-inhibiting herbicides. *Weed Res.*, 2004, **44**: 21-26.
17. Marczevska K., Sadowski J., Rola H.: Changes in branched chain amino acids content in leaves of *Apera spica-venti* biotypes resistant and susceptible to chlorsulfuron. *J. Plant Prot. Res.*, 2006, **46(2)**: 191-198.

18. Marczevska-Kolasa K., Skoczowski A., Kucharski M.: The gas chromatography and isothermal calorimetry as the methods to estimating resistance of *Centaurea cyanus* to chlorsulfuron. Proceedings 15th Symposium, 12-15 July, Kaposvar, Węgry, 2010, 40.
19. Marczevska-Kolasa K., Skoczowski A., Kucharski M., Sumińska J., Sadowski J.: Biochemiczne metody identyfikacji odporności chwastów na herbicydy.: Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2011, **51(3)**: (w druku).
20. Mikulka J., Chodova D.: Problems of herbicide-resistant Leeds. Agrochemia, 1988, **28**: 207-212.
21. Mikulka J., Chodova D.: The occurrence of resistance weeds in Czech Republic. Proc. International symposium on weed and crop resistance to herbicides. Cordoba, Spain, 1995, 47.
22. Mikulka J., Chodova D.: The origination of weed resistance to herbicides: present state and prospects in Czech Republic. Pam. Puł., 2002, **129**: 25-31.
23. Praczyk T., Skrzypczak G.: Herbicydy. Wyd. PWRiL Poznań, 2004, ss. 274.
24. Rola H., Kucharski M., Marczevska K., Gawroński S., Ciarka E., Szalacha E.: Metody identyfikacji biotypów chwastów odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy fotosystemu II. Wyd. IUNG - PIB. Puławy, 2006, ss. 17.
25. Rola H., Marczevska K.: Biotypy chwastów odporne na chlorosulfuron w rejonie Wrocławia. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2002, **42(2)**: 575-577.
26. Rola H., Rola J., Kucharski M., Marczevska K.: Zabezpieczenie roślin uprawnych przed chwastami odpornymi na herbicydy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2004, **44(1)**: 339-346.
27. Rola J., Rola H., Kucharczyk A.: Problem odporności chwastów na herbicydy w warunkach Polski. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1989, **29(1)**: 57-73.
28. Sadowski J., Kucharski M., Rola H.: Pozostałości herbicydów w środowisku glebowo-wodnym. Biul. Nauk. UWM, 2001, **12**: 23-32.
29. Solymosi P., Lehoczkí E.: Characterization of a triple (atrazine-pyrazon-pyridate) resistant biotype of common lambsquarters (*Chenopodium album* L.). J. Plant Physiol., 1989, **134**: 685-690.
30. Solymosi P., Lehoczkí E., Laskay G.: Difference in herbicide resistance to various taxonomic populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and late-flowering goosefoot (*Chenopodium strictum*) in Hungary. Weed Sci., 1986, **34**: 175-180.
31. Stachecki S., Adamczewski K.: *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* – występowanie i reakcja na herbicydy o różnym mechanizmie działania. Pam. Puł., 2002, **129**: 247-252.
32. Stokłosa A., Janeczko A., Skoczowski A., Kieć J.: Isothermal calorimetry as a tool for estimating resistance of wild oat (*Avena fatua* L.) to aryloxyphenoxypropionate herbicides. Thermochimica Acta, 2006, **411**: 203-206.
33. Toth Csantaveri S., Hartmann F., Gracza L., Szentey L., Toth A., Hoffmann Z.: Response of the atrazine-resistant common ragweed populations (*Ambrosia artemisiifolia* L. Syn. A. Elatior) to other trazines in Hungary. Proc. 4th International Weed Science Congress, Durban, Republic of South Africa, 2004, 52-53.
34. Van Oorschot J. L. P., Van Leeuwen P. H.: Inhibition of photosynthesis in intact plants of biotypes resistant or susceptible to atrazine and cross-resistant to others herbicides. Weed Res., 1988, **28**: 223-230.
35. Vencill W. K., Foy C. L.: Distribution of triazine-resistant smooth pigweed (*Amaranthus hybridus*) and common lambsquarters (*Chenopodium album*) in Virginia. Weed Sci., 1988, **36**: 497-499.
36. Whitehead C. W., Switzer C. M.: The different response of strains of wild carrot to 2,4-D and related herbicides. Can. J. Plant Sci., 1963, **43**: 255-262.
37. Westerfeld W. W.: Colorimetric determination of blood action. J. Biol. Chem., 1945, **161**: 495-502.
38. Woźnica Z., Adamczewski K., Manthey F. A.: Biotypy chwastów odpornych na herbicydy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1996, **36(1)**: 96-101.

Adres do korespondencji:

*dr hab. Mariusz Kucharski, prof. nadzw.
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363 87 07 wew. 105
e-mail: m.kucharski@iung.wroclaw.pl*

Mariusz Kucharski, Jerzy Sadowski

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA POZIOM POZOSTAŁOŚCI HERBICYDÓW W GLEBIE I MATERIALE ROŚLINNYM*

Wstęp

Herbicydy mogą przedostawać się do środowiska w trakcie produkcji i transportu, podczas wykonywania zabiegu ochrony roślin, płukania i mycia sprzętu opryskującego, jak również przez nieodpowiednie składowanie resztek i opakowań po preparatach. Herbicydy, podobnie jak i inne środki ochrony roślin (ś.o.r.), po ich zastosowaniu, pod działaniem czynników środowiska ulegają różnym procesom biologicznym i fizykochemicznym, w wyniku których następuje zanikanie substancji aktywnych, związane z częściowym rozkładem związku. Poza rozkładem chemicznym i mikrobiologicznym udział w procesie zanikania substancji aktywnej w glebie ma sorpcja, przemieszczanie w głębsze warstwy gleby (poniżej strefy korzeniowej, a nawet do wód gruntowych) oraz pobieranie przez roślinę (9, 18).

Dominacja poszczególnych procesów i ich szybkość zależą od rodzaju substancji aktywnej, typu i aktywności biologicznej gleby oraz od warunków pogodowych i agrotechnicznych. Natomiast od ilości i szybkości zachodzących przemian, w efekcie końcowym, zależy poziom pozostałości poszczególnych substancji aktywnych i ich metabolitów w roślinie, wodzie i glebie. Zgodnie z definicją pozostałości to część substancji aktywnej preparatu i (lub) jego toksycznych metabolitów, która nie uległa rozkładowi (16).

W warunkach polowych trudno jest rozdzielić wpływ warunków pogodowych i agrotechniki na występowanie pozostałości herbicydów w glebie, czy materiale roślinnym. Mogą one wzajemnie się znosić, jak też powodować wystąpienie nadmiernych pozostałości. Dzięki badaniom prowadzonym w warunkach kontrolowanych istnieje możliwość doboru warunków prowadzenia doświadczeń tak, aby wyróżnić pojedyncze parametry mogące mieć wpływ na rozkład herbicydu i w efekcie końcowym na stężenie pozostałości.

Na podstawie wyników badań prowadzonych zarówno w warunkach polowych, jak też kontrolowanych można scharakteryzować wpływ poszczególnych param-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

trów wpływających na szybkość rozkładu i pozostałości substancji aktywnych herbicydów w glebie i uprawianej roślinie.

Omówienie wyników

Typ i aktywność biologiczna gleby

Główną rolę w procesie rozkładu substancji biologicznie czynnej herbicydu odgrywają mikroorganizmy glebowe. W glebach bogatych w mikroorganizmy rozkład herbicydu jest wyraźnie szybszy niż w glebach jałowych (ubogich w mikroorganizmy). Ponadto prace nad oddziaływaniem herbicydów na właściwości gleby i rozwój mikroflory nie wykazały, by związki te, stosowane w zalecanych dawkach, w sposób trwały wpływały ujemnie na środowisko glebowe. Obserwowane zmiany liczebności poszczególnych grup mikroorganizmów są na ogół okresowe i po pewnym czasie następuje powrót do stanu pierwotnego.

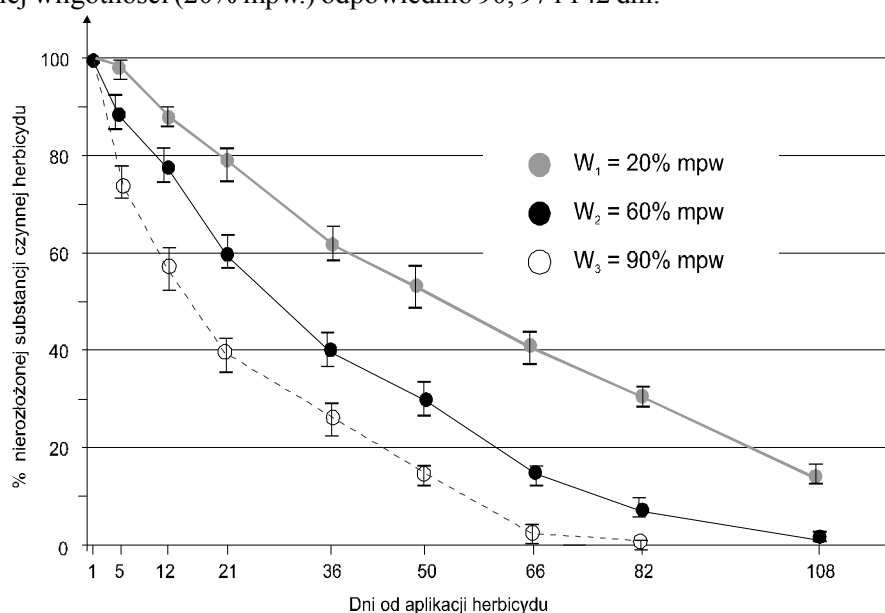
Jak wynika z badań (2, 3, 5, 6, 8) na glebach zasobnych w substancję organiczną (węgiel organiczny, próchnica) następuje znacząco szybszy rozkład herbicydów, co skutkuje mniejszymi pozostałościami oznaczanymi w czasie zbioru uprawianej rośliny. Natomiast w glebach ubogich w substancję organiczną, jak również posiadających w swym składzie granulometrycznym wysoki udział frakcji piasku obserwowany jest wolniejszy rozkład herbicydów. Gleby piaszczyste (lekkie) umożliwiają łatwiejszy transport herbicydu w głąb profilu glebowego, aż do wód gruntowych, co powoduje, że w warstwie ornej (w obszarze dostępności dla systemu korzeniowego rośliny) pozostałości są bardzo małe (zarówno w glebie, jak też w uprawianej roślinie). W przypadku gleb ciężkich obserwowane jest zjawisko sorpcji – molekuly substancji aktywnej w wyniku reakcji fizykochemicznych zostają wbudowane w cząsteczki gleby i nie są one dostępne (lub dostęp jest ograniczony) dla roślin.

Temperatura i wilgotność gleby

W wyższych temperaturach i przy odpowiedniej wilgotności gleby rozkład s.o.r. jest szybszy, a tym samym mniejsze są pozostałości (17). Odpowiednie warunki klimatyczne przyspieszają rozkład chemiczny, jak również sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów uczestniczących w rozkładzie biologicznym. Jak udowodniono w badaniach wystąpienie suszy w okresie dojrzewania zbóż powoduje zwiększoną kumulację pozostałości herbicydów w ziarnie (18). W sezonach, w których nie obserwowano w tym okresie nadmiernego spadku wilgotności pozostałości występujące w ziarnie zbóż były znacząco niższe od tych, które wykrywano w glebie i słomie. Natomiast niska wilgotność gleby w okresie wykonywania zabiegów herbicydowych daje słabe działanie preparatów (rozwój roślin i chwastów jest znacząco spowolniony), co powoduje, że konieczne jest wykonanie zabiegów uzupełniających, wprowadzających dodatkową dawkę herbicydów do środowiska.

Na podstawie wyników uzyskanych z doświadczenia prowadzonego w warunkach kontrolowanych (komora klimatyczna), w którym oceniano rozkład fluazifopu

w glebie o różnej wilgotności (13) stwierdzono, że najszybszy rozkład obserwowany był przy najwyższym uwilgotnieniu gleby (90% maksymalnej pojemności wodnej – mpw.). Porównując wyniki tego doświadczenia (rys. 1) można zauważyć, że różnice w czasie połowicznego rozkładu (DT_{50}) tej substancji w zależności od wilgotności gleby sięgają 37 dni. Wartość DT_{50} dla wilgotności = 20% mpw. wynosił 54 dni, dla wilgotności = 60% mpw. 29 dni, a dla wilgotności = 90% mpw. tylko 17 dni. Po 82 dniach od aplikacji herbicydu nie stwierdzono wykrywalnych pozostałości w glebie o wilgotności równej 90% mpw. Po 108 dniach od rozpoczęcia eksperymentu pozostałości fluazifopu w pozostałych próbach wynosiły – dla wilgotności = 20% mpw. 14% dawki początkowej i 1% dla gleby o wilgotności = 60% mpw. Podobne wyniki uzyskali również inni badacze. W a l k e r i A l l e n (21) badając rozkład propyzamidu, metribuzyny i linuronu stwierdzili, że półokres rozpadu tych związków w glebie, w temperaturze 20°C i przy wilgotności równej połowie maksymalnej pojemności wodnej wynosił dla propyzamidu 35, metribuzyny 36 i linuronu 74 dni, a przy niskiej wilgotności (20% mpw.) odpowiednio 90, 97 i 142 dni.

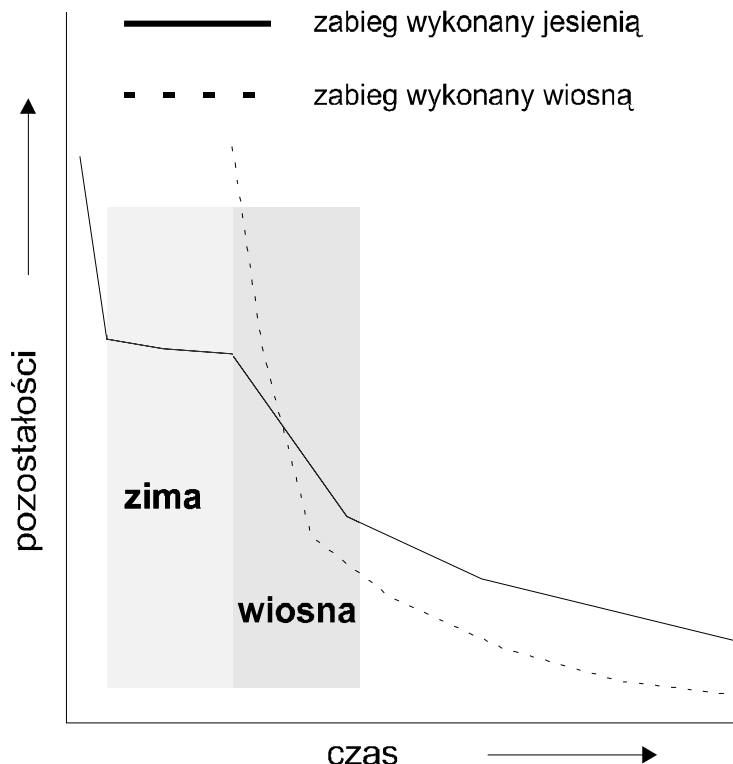


Rys. 1. Rozkład fluazifopu w glebie

Źródło: badania własne.

Termin wykonania zabiegu herbicydowego

W uprawie ozimin istotny wpływ na tempo rozkładu ma także termin stosowania herbicydu. Po wykonaniu zabiegu w okresie jesiennym, w początkowym okresie zdecydowana większość preparatu dostaje się do gleby. Do momentu, gdy temperatura gleby jest dostatecznie wysoka rozkład substancji biologicznie czynnej zachodzi stosunkowo szybko (rys. 2). W okresie zimowym, gdy temperatura gleby wyraźnie się



Rys. 2. Wpływ terminu wykonania zabiegu na rozkład herbicydu w glebie
Źródło: wykres poglądowy na podstawie badań własnych.

obniża procesy życiowe mikroorganizmów ulegają zahamowaniu, a rozkład herbicydu praktycznie zostaje zatrzymany. Wiosną w miarę ogrzewania się gleby aktywność mikroorganizmów glebowych wzrasta i proces rozkładu herbicydu ponownie ulega przyspieszeniu. Jeżeli porównamy przebieg dynamiki rozkładu tej samej substancji aktywnej herbicydu aplikowanej wiosną i jesienią, to można zauważyć, że herbicyd stosowany jesienią w okresie wiosny rozkłada się wolniej niż zastosowany wiosną. Powodowane jest to tym, że w okresie późnojesiennym i zimowym rozkład ulega zatrzymaniu, ale w tym czasie cząsteczki substancji aktywnej w wyniku reakcji fizykochemicznych zostają wbudowane w cząsteczki gleby. Sprawia to, że na wiosnę są one trudniej dostępne dla mikroorganizmów. W takim przypadku, pomimo znacznie wcześniejszego terminu aplikacji herbicydu, pozostałości oznaczone w czasie zbioru rośliny nie muszą być znacząco różne. Potwierdzają to badania prowadzone przez B a d o w s k i e g o i K u c h a r s k i e g o (1).

Na podstawie badań prowadzonych w latach 2007–2010 na plantacjach pszenicy ozimej (15), gdzie aplikowano herbicyd zawierający izoproturon powschodowo jesienią i na obiektach nieopryskiwanych wcześniej, wiosną po ruszeniu wegetacji stwierdzono, że stosowanie herbicydów wiosną powodowało, w większości przypadków,

znaczący wzrost stężenia substancji aktywnych herbicydów w glebie, w stosunku do obiektów, na których herbicyd aplikowano jesienią (tab. 1). Podobną zależność obserwowano w próbkach ziarna pszenicy. W przypadku zabiegów wykonanych wiosną okres od aplikacji herbicydu do zbioru jest o około 5-6 miesięcy krótszy, co powoduje, że substancja aktywna herbicydu nie zdąży się rozłożyć w takim stopniu, jak po zabiegu wykonanym jesienią. Okres od jesiennej aplikacji do zbioru pszenicy ozimej jest na tyle długi, by spodziewać się, że analiza chemiczna nie wykaze pozostałości w glebie i ziarnie lub ich stężenie będzie na poziomie oznaczalności metody analitycznej. Wpływ terminu aplikacji i warunków pogodowych na rozkład i pozostałości herbicydów opisano również w innych publikacjach (1, 7).

Jak wykazały przeprowadzone badania termin stosowania herbicydów może różnicować poziom pozostałości substancji aktywnych w glebie i materiale roślinnym, jednak głównym czynnikiem decydującym o wyborze odpowiedniego sposobu jest skuteczność stosowanego środka w zwalczaniu chwastów.

Tabela 1

Wpływ terminu aplikacji herbicydu na pozostałości izoproturonu

Substancja aktywna (s.a.)	Dawka s.a. (g · ha ⁻¹)	Rok badań	Średnie pozostałości (mg · kg ⁻¹)			
			ziarno pszenicy		gleba	
			zabieg jesienny	zabieg wiosenny	zabieg jesienny	zabieg wiosenny
Izoproturon	1500	2008	0,0006	0,0012	0,0014	0,0021
NIR _{0,05}			0,00052		0,00092	
Izoproturon	1500	2009	0,0012	0,0022	0,0024	0,0036
NIR _{0,05}			0,00094		0,00102	
Izoproturon	1500	2010	0,0016	0,0030	0,0028	0,0040
NIR _{0,05}			0,00124		0,00106	

Źródło: badania własne.

Uprawa roli

W ostatnich latach prowadzonych jest wiele badań nad ograniczeniem zabiegów uprawowych. Eliminacja lub znaczne ograniczenie uprawy gleby powoduje, że wykluczamy jeden z ważniejszych zabiegów ograniczających zachwaszczenie. W efekcie musimy wprowadzić dodatkową ochronę chemiczną, co może mieć wpływ na wielkość oznaczanych pozostałości w glebie i materiale roślinnym. Z drugiej strony nienaruszanie struktury gleby powoduje, że zachowuje ona więcej wilgoci, a powstałe wcześniej kanaliki odprowadzające wodę służą przemieszczaniu się herbicydu w głąb profilu glebowego (poza strefę dostępu dla uprawianej rośliny). W tym przypadku oba efekty częściowo się znoszą, a wpływ ograniczeń uprawowych na pozostałości herbicydów nie jest jednoznaczny.

Obecność innych agrochemikaliów

Na szybkość i przebieg rozkładu, jak również pozostałości końcowe (w glebie i roślinie uprawnej) ma wpływ obecność innych substancji chemicznych znajdujących się już w glebie lub zastosowanych w zabiegu łączonym z herbicydem. Do substancji takich należą fungicydy, insektycydy, inne herbicydy, nawozy i adiuwanty. Wpływ poszczególnych związków na pozostałości herbicydu są zróżnicowane. W wielu badaniach udowodniono, że łączne stosowanie herbicydów z innymi agrochemikaliami, a w szczególności z adiutantami, powoduje zahamowanie rozkładu i wzrost pozostałości w glebie i roślinie uprawnej (10).

W doświadczeniu polowym prowadzonym na plantacjach produkcyjnych buraka cukrowego (14) stosowano w zabiegach przed- i powstchodowych herbicyd Goltix 70 WP (70% metamitron) w dawkach: 4,9 kg s.a. · ha⁻¹ (dawka pełna) bez adiuwanta i 3,5 kg s.a. · ha⁻¹ (dawka obniżona) bez adiuwanta oraz z dodatkiem adiuwantów Atpolan 80 EC i Olbras 88 EC (obydwa adiuwanty w dawce 1,5 l · ha⁻¹).

Próbki gleby i korzeni buraka pobierano w momencie zbioru. Pozostałości metami-tronu oznaczano metodą chromatografii cieczowej (HPLC) z detekcją UV. W bada-nych próbach zaobserwowano tendencję do wzrostu pozostałości po stosowaniu her-bicydu z adiuwantami (tab. 2 i 3). Wzrost ten był statystycznie istotny w ponad 30% prób gleby i 25% korzeni buraka. Ponadto stwierdzono, że stosowanie herbicydu przed-wschodowo powoduje zwykle wyższy poziom pozostałości w glebie, natomiast w ko-rzeniach buraka obniżenie poziomu pozostałości. Podobne wyniki uzyskali inni autorzy (19, 20).

Tabela 2

Pozostałości metamitronu w glebie

Dawka (kg s.a. · ha ⁻¹)	Pozostałości (mg · kg ⁻¹)					
	zabieg przedwstchodowy			zabieg powstchodowy		
	M	M + A	M + O	M	M + A	M + O
I rok badań						
4,9	0,098	NIR (0,05) = 0,0123		0,076	NIR (0,05) = 0,0091	
3,5	0,061	0,073	0,083	0,053	0,058	0,062
II rok badań						
4,9	0,102	NIR (0,05) = 0,0228		0,096	NIR (0,05) = 0,0108	
3,5	0,063	0,091	0,073	0,048	0,052	0,061
III rok badań						
4,9	0,156	NIR (0,05) = 0,0384		0,126	NIR (0,05) = 0,0096	
3,5	0,082	0,088	0,136	0,079	0,082	0,086

M – metamitron

A – adiuwant Atpolan 80 EC

O – adiuwant Olbras 88 EC

NW – pozostałości nie wykryto (<0,005 mg kg⁻¹)

Źródło: badania własne.

Tabela 3

Pozostałości metamitronu w korzeniach buraka cukrowego

Dawka Dose (kg s.a. · ha ⁻¹)	Pozostałości (mg · kg ⁻¹)					
	zabieg przedwzchodowy			zabieg powzchodowy		
	M	M + A	M + O	M	M + A	M + O
I rok badań						
4,9	0,007	–		0,010	NIR (0,05) = 0,0032	
3,5	NW	NW	0,005	0,005	NW	0,007
II rok badań						
4,9	0,012	NIR (0,05) = 0,0026		0,031	NIR (0,05) = 0,0082	
3,5	0,008	0,009	0,010	0,012	0,016	0,022
II rok badań						
4,9	0,071	NIR (0,05) = 0,0116		0,092	NIR (0,05) = 0,0106	
3,5	0,048	0,056	0,062	0,065	0,068	0,076

Objaśnienia – patrz tabela 2

Źródło: badania własne.

Ograniczanie dawek herbicydów

W wielu krajach o zintensyfikowanym poziomie rolnictwa pojawiła się tendencja zmierzająca do racjonalnego ograniczania stosowania środków ochrony roślin, a zwłaszcza herbicydów. Działania te wynikają z proekologicznej polityki lansowanej w krajach Unii Europejskiej, a związane są z wprowadzeniem nowej strategii w ochronie roślin, polegającej na redukowaniu dawek oraz zmniejszaniu ilości zabiegów do niezbędnego minimum. W ślad za decyzjami rządowymi nadeszła pora na opracowanie konkretnych rozwiązań praktycznych. W USA i krajach unii europejskiej rozpoczęto intensywne badania naukowe mające na celu wypracowanie, dla lokalnych warunków, właściwych metod umożliwiających zmniejszenie zużycia środków, z jednoczesnym zachowaniem pożądanego skutecznego ich działania. Poszukiwanie rozwiązań proekologicznych ukierunkowane zostało w stronę zmian w asortymencie stosowanych herbicydów (nowa generacja substancji aktywnych oparta na związkach pochodnych sulfonilomocznika, które stosowane są w dawkach rzędu 20-100 g · ha⁻¹, herbicydy wieloskładnikowe itp.) oraz zmian w technice i sposobie aplikacji środków chwastobójczych. Do najważniejszych działań wpływających na redukcję sumarycznej dawki herbicydów wprowadzanej do środowiska należą: wykorzystanie właściwości środków wspomagających (adiuwantów) oraz stosowanie systemu dawek dzielonych i mikrodawek (4, 10, 22). Działania takie umożliwiają obniżenie stężenia pozostałości substancji aktywnych herbicydów w glebie i roślinach nawet o 30-70% (burak cukrowy) w porównaniu z tradycyjnymi zabiegami ochrony roślin stosowanymi w tej uprawie, bez straty poziomu skuteczności chwastobójczej (11).

Podsumowanie

Reasumując należy stwierdzić, że elementy agrotechniki i warunki pogodowe wpływają na zachowanie się herbicydów w środowisku rolniczym i mogą być przyczyną zróżnicowania w poziomie pozostałości oznaczanych w glebie i materiale roślinnym. Jednak wynika z badań prowadzonych w ostatnim dwudziestolecu na plantacjach głównych upraw rolniczych nie stwierdzono obecności pozostałości substancji aktywnych herbicydów w stężeniach przekraczających wartości dopuszczalne, podane w normach (12).

Przestrzeganie zaleceń producentów środków ochrony roślin, jak również zasad dobrej praktyki rolniczej znacząco ograniczają możliwości wystąpienia pozostałości herbicydów w glebie czy produktach roślinnych.

Literatura

1. B a d o w s k i M., K u c h a r s k i M.: Graminicydy w uprawie rzepaku ozimego - wpływ terminu aplikacji na skuteczność i pozostałości. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2010, **50(2)**: 851-855.
2. C a o J., G u o H., Z h u H. M., J i a n g L., Y a n g H.: Effects of SOM, surfactant and pH on the sorption-desorption and mobility of prometryne in soils. Chemosphere, 2008, **70(11)**: 2127-2134.
3. C u e v a s M. V., C o x L., C a l d e r o n M. J., H e r m o s i n M. C., F e r n a n d e z J. E.: Chloridazon and lenacil dissipation in a clayey soil of the Guadalquivir river marshes (southwest Spain). Agric. Ecosyst. Environ., 2007, **124(3-4)**: 245-251.
4. D e x t e r A. G., Z o l l i n g e r R. K.: Weed control guide for sugarbeet. Sugarbeet Research Extend Report, 2001, **32**: 3-22.
5. K a u s h i k M., N e e r a S.: Effect of soil amendments on sorption and mobility of metribuzin in soil. Chemosphere, 2007, **66(4)**: 630-638.
6. K o s k i n e n W. C., C a l d e r o n M. J., R i c e P. J., C o r n e j o J.: Sorption-desorption of flucarbazone and propoxycarbazon and their benzenesulfonamide and triazolinone metabolites in two soils. Pest Management Sci., 2006, **62(7)**: 598-608.
7. K o s t o w s k a B., K r a m e r H., P i a s e c k a - G r z e s z e k A.: Wpływ terminu stosowania preparatu Cresopur na pozostałości benazoliny w glebie i rzepaku. Pam. Puł., 1982, **78**: 179-188.
8. K u c h a r s k i M.: Degradation of phenmedipham in soil under laboratory conditions. Veg. Crops Res. Bull., 2004, **60**: 63-70.
9. K u c h a r s k i M.: Pozostałości herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych na terenach rolniczych. Pam. Puł., 2004, **138**: 89-97.
10. K u c h a r s k i M.: Łączne stosowanie herbicydu z adiuwantem – wpływ na pozostałości w glebie i materiale roślinnym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2006, **508**: 97-102.
11. K u c h a r s k i M.: Changes in application system – Influence on herbicides residue in soil and sugarbeet roots. J. Plant Prot. Res., 2009, **49(4)**: 385-389.
12. K u c h a r s k i M., D o m a r a d z k i K.: Pozostałości herbicydów w wybranych roślinach uprawnych – badania z lat 2000–2008. Fragm. Agron., 2009, **26(4)**: 74-80.
13. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J.: Wpływ wilgotności gleby na rozkład herbicydu – badania laboratoryjne. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2006, **46(2)**: 750-753.
14. K u c h a r s k i M., S a d o w s k i J., D o m a r a d z k i K.: Wpływ adiuwantów na pozostałości metamitronu stosowanego przed- i powstochodowo w uprawie buraka cukrowego. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2004, **44(2)**: 887-889.

15. Kucharski M., Sadowski J., Domaradzki K.: Pozostałości herbicydów w glebie i materiale roślinnym zależnie od techniki i terminu ich stosowania. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 243-250.
16. Sadowski J., Kucharski M.: Wpływ czynników agrometeorologicznych na pobieranie i fitotoksyczność pozostałości herbicydów zawartych w glebie. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44(1)**: 355-363.
17. Sadowski J., Kucharski M., Domaradzki K.: Wpływ wilgotności gleby na translokację herbicydów fenoksyoctowych w glebie. *Rocz. Glebozn.*, 2011, **61(1)**: 136-141.
18. Sadowski J., Kucharski M., Rola H.: Pozostałości herbicydów w środowisku glebowo-wodnym. *Biul. Nauk. UWM*, 2001, **12**: 23-32.
19. Sumisławska J., Kostowska B.: Wpływ wspomagaczy (adiuwantów) na pozostałości fenmedifamu. *Materiały 31 Sesji Nauk. Inst. Ochr. Rośl.*, 1991, 152-156.
20. Swarczewicz M., Muliński Z., Zbieć I.: Influence of spray adjuvants on the behavior of trifluralin in the soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1998, **60**: 569-576.
21. Walker A., Allen R.: Influence of soil and environmental factors on pesticide persistence. *BCPC Monography*, 1984, **27**: 36-49.
22. Woźnica Z., Idziak R., Waniorek W.: Mikrodawki herbicydów – nowa opcja odchwaszczania buraków cukrowych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2007, **47(3)**: 310-315.

Adres do korespondencji:

dr hab. Mariusz Kucharski, prof. nadzw.
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363 87 07 wew. 105
e-mail: m.kucharski@iung.wroclaw.pl

Cezary Andrzej Kwiatkowski

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

ROLA MIĘDZYPLONÓW WE WSPÓŁCZESNYM ROLNICTWIE

Wstęp

Międzyplony to rośliny uprawiane w czystym siewie bądź w mieszkankach, w zmianowaniu pomiędzy dwoma plonami głównymi, celem uzyskania w ciągu dwóch lat trzeciego dodatkowego plonu z pola (50).

Wyróżniamy trzy rodzaje międzyplonów:

Międzyplony ścierniskowe – wysiewane latem, zbierane zaś jesienią na zielonkę, koszone i przyorywane lub przyorywane bez skoszenia (zielony nawóz), a także pozostawiane po skoszeniu na zimę w formie mulczu. Najpopularniejsze gatunki uprawiane w poplonie ścierniskowym to:

- rośliny kapustne (gorczyca biała, gorczyca czarna, rzepak, rzodkiew oleista, rzepa ścierniskowa),
- rośliny strączkowe (bobik, łubin żółty, łubin wąskolistny, groch siewny, peluszką, wyka jara),
- inne gatunki (facelia błękitna, słonecznik, owies) oraz mieszanki roślin strączkowych i mieszanki zbożowo-strączkowe;

Międzyplony wsiewki (wsiewki poplonowe) – wsiewane wiosną w zboża jare, najczęściej w jęczmień (lub wysiewane łącznie z nimi), rzadziej wsiewane w zboża ozime (żyto); użytkowane na jesieni, podobnie jak międzyplony ścierniskowe (zielona pasza, biomasa na przyoranie, mulcz). Najczęściej uprawiane wsiewki to: trawy (kupkówka pospolita, życica trwała, życica wielokwiatowa, życica westerwoldzka, rajgras wyniosły, stokłosa bezostna), jak również rośliny bobowate drobnonasienne (seradela, lucerna chmielowa, koniczyna czerwona i biała) oraz ich mieszanki z trawami;

Międzyplony ozime – wysiewane na przełomie sierpnia i września, a zbierane wiosną następnego roku. Rośliny uprawiane po ich zbiorze noszą nazwę plonu wtórego (np. ziemniak, kukurydza). Międzyplony ozime dzielimy na:

- wczesne (rzepak ozimy, rzepik ozimy),
- średniego terminu zbioru (żyto ozime, żyto + wyka kosmata, mieszanka swojecka – żyto + wyka + inkarnatka),
- późne (życica westerwoldzka, inkarnatka, mieszanka poznańska – życica trwała + wyka + inkarnatka, mieszanka gorzowska – życica wielokwiatowa + wyka + inkarnatka oraz życica trwała + wyka, pszenica ozima + wyka); (46, 50).

Uprawa międzyplonów, pełniących dużą rolę fitosanitarną, jest jedną z metod łagodzenia niekorzystnego następstwa roślin (5, 10). Zasiewy te ograniczają także procesy erozyjne, poprawiają jakość środowiska glebowego i są czynnikiem ograniczającym straty azotu z gleby (11, 37). Wielu autorów postuluje powrót do uprawy międzyplonów, które stają się integralnym komponentem w systemie rolnictwa integrowanego i ekologicznego (21, 42, 44). Biorąc pod uwagę powyższe przesłanki w opracowaniu przedstawiono najważniejsze aspekty związane z produktywnością międzyplonów oraz roślin następczych, oddziaływaniem tych kultur na środowisko glebowe i agrofagi, a także aspekty ekonomiczne i energetyczne uprawy międzyplonów.

Omówienie wyników

W ostatnich latach udział zbóż w strukturze zasiewów w Polsce znacznie przekracza tzw. biologiczny próg ich koncentracji. Rezultatem tego jest nieprzestrzeganie przyrodniczych zasad zmianowania. Zboża, nawet gatunki wrażliwe na uprawę w monokulturze, takie jak pszenica ozima i jęczmień jary wysiewane są w stanowiskach po kłosowych (7, 55, 63).

Uprawa roślin w monokulturze prowadzi, zwłaszcza w pierwszych latach jej trwania, do zmniejszenia produktywności gleby określanej mianem „zmęczenia gleby”.

Przyczyny tego zjawiska są złożone:

- obserwuje się daleko idące zmiany właściwości fizycznych i chemicznych gleby, a zwłaszcza zachwianie równowagi biologicznej,
- często towarzyszy temu pogorszenie struktury gleby,
- zmniejszenie zawartości węgla organicznego,
- spadek zasobności w makroelementy (3, 50, 62).

Szczególną rolę w „zmęczeniu gleby” przypisuje się kumulacji związków allelopacyjnych o działaniu inhibitorów:

- ograniczają one aktywność mikroorganizmów oraz kiełkowanie i wzrost roślin,
- w glebach „zmęczonych” zmniejsza się różnorodność organizmów,
- maleje ilość i aktywność bakterii, a wzrasta grzybów (szczególnie patogenicznych),
- wzrasta populacja pozostałych agrofagów,
- dochodzi do gradacji szkodników i kompensacji zachwaszczenia (2, 4, 7, 57).

W rezultacie następują niekorzystne zmiany elementów plonowania, zwłaszcza liczby i masy ziarna w kłosie i znaczne, sięgające 20-30%, obniżki plonu ziarna. Skala tych zjawisk zależy w dużej mierze od indywidualnych cech gatunkowych i odmianowych roślin, lokalnych warunków siedliskowych oraz poziomu stosowanej agrotechniki (4, 7, 10, 63). Powyższe stwierdzenie znajduje swoje uzasadnienie w wynikach badań Kwiatkowskiego (42); (tab. 1).

Z zestawienia wynika, że już w drugim roku monokultury zanotowano mniejszą (około 9%) produktywność jęczmienia jarego w porównaniu z produktywnością roślin uprawianych ze stosowaniem płodozmianu. W kolejnych latach monokultury regres

Tabela 1

Plon ziarna jęczmienia jarego w monokulturze w zależności od sposobu pielęgnacji
(100% plonu w płodozmianie)

Lata	Liczba lat monokultury	Pielęgnacja ekstensywna	Pielęgnacja intensywna	Średnio
		%		
2002	2	93,9	88,9	91,4
2003	3	82,4	93,6	88,0
2004	4	79,3	78,7	79,0
2005	5	67,5	69,4	68,4
2006	6	64,8	71,1	67,9
Średnio		77,5	80,3	—

Źródło: Kwiatkowski, 2009 (42).

plonowania pogłębiał się. W konsekwencji w 5 i 6 roku uprawy jęczmienia jarego w monokulturze obniżka plonu ziarna w porównaniu ze stosowaniem płodozmiaru przekraczała 30%. Warto zauważyć, iż nie zapobiegało tej negatywnej tendencji zastosowanie intensywnego poziomu pielęgnacji jęczmienia jarego (herbicydy, fungicydy, insektycyd, antywylegacz).

Uwarunkowania ekonomiczno-energetyczne oraz troska o środowisko skłaniają do poszukiwania możliwie niskonakładowych sposobów łagodzenia skutków częstej uprawy zbóż – głównie poprzez zwiększenie bioróżnorodności agrobiocenozy. Jednym ze sposobów jest wnoszenie do gleby materii organicznej resztek pozbiorowych przedplonu, słomy oraz biomasy międzyplonów po to, aby utrzymać jej dodatni bilans, dostarczyć źródła energii dla mikroorganizmów i zintensyfikować aktywność biologiczną (15, 19, 23, 37).

Dawniej międzyplony postrzegano głównie jako źródło dodatkowej paszy dla zwierząt (pod względem walorów paszowych oceniano przydatność poszczególnych gatunków); (46). Obecnie międzyplony rozpatrujemy wieloaspektowo, a główne znaczenie mają ich wartości fitosanitarne, nawozowe, strukturotwórcze i ochronne. Stąd też wzrosła ranga kiedyś niedocenianych międzyplonów ścierniskowych i wsiewek poplonowych, natomiast zmalało znaczenie międzyplonów ozimych z racji dużego wysycenia zmianowań zbożami i ograniczonej uprawy roślin plonu wtórnego (38, 42, 67).

Od 2004 roku w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) realizowanego w ramach UE wprowadzono dopłaty rolnicze do uprawy międzyplonów (płatności rolnośrodowiskowe – pakiet „Ochrona gleb i wód”) w wysokości 330-420 PLN/ha, co znacznie poprawia rachunek ekonomiczny uprawy tych roślin (54).

Stosowanie międzyplonów nabiera istotnego znaczenia w aspekcie coraz powszechniejszego dążenia do tzw. „ekologizacji rolnictwa” (rolnictwo zrównoważone) i zwiększania bioróżnorodności agrofitocenozy. W zmianowaniu międzyplony poprawiają właściwości sorpcyjne, buforowe, filtracyjne i retencyjne gleby. Pełnią rolę sorbentów, zwłaszcza dla niewykorzystanych przez przedplon składników pokarmowych. Ogra-

niczają erozję gleby i wymywanie składników pokarmowych do głębszych jej warstw (1, 21, 28, 34).

Międzyplony przyczyniają się do ochrony środowiska rolniczego i wód przed eutrofizacją. Pozwalają wykorzystać „zakumulowane” składniki pokarmowe roślinom następczym (zwłaszcza azot, już w formie amonowej). Biologicznej sorpcji azotu mineralnego sprzyjają przede wszystkim międzyplony z udziałem roślin kapustnych oraz wsiewki międzyplonowe traw lub motylkowatych drobnonasiennych (15, 31, 32, 44).

Międzyplony ograniczają procesy erozyjne gleby: międzyplony ścierniskowe i ozieme – przedłużając okres trwania okrywy roślinnej, a wsiewki międzyplonowe – zwiększając zwartość łanu. Zwarte łany międzyplonów skutecznie ograniczają zachwaszczenie zmianowań wysyconych zbożami (kiedy wysokiej inwazyjności chwastów nie zapobiega stosowanie herbicydów). Stąd też międzyplony uważa się za czynnik wspomagający chemiczne zabiegi odchwaszczające (58, 60, 61).

Uprawa międzyplonów zakłóca cykle rozwojowe patogenów i szkodników zbóż. Szczególną rolę w ograniczaniu występowania chorób podsuszkowych pszenicy i jęczmienia pełnią międzyplony ścierniskowe (zwłaszcza gatunki z rodziny *Brassicaceae*). Międzyplony mogą rekompensować działanie niektórych zabiegów uprawy roli w systemach bezorkowym i zerowym (13, 53, 65).

Międzyplony (szczególnie gatunki z rodziny *Brassicaceae*) mogą stymulować wzrost rośliny następczej lub hamować wzrost chwastów poprzez swoje wydzieliny. Chwastobójcza aktywność związków występujących w roślinach kapustnych trwa z reguły 2-3 tygodnie i po tym czasie obserwuje się efekt nawozowy. Potencjał allelopatyczny tych roślin ujawnia się głównie w obumarłych łodygach oraz liściach i jest większy, gdy części roślin wymieszane są z glebą (przyorana biomasa międzyplonów); (48, 51). Interesujące badania na ten temat przeprowadzili A s c a r d i J o h a n s s o n (1991, 1994) cytowani przez O l e s z k a i in. (51); (tab. 2).

Tabela 2

Wpływ makuchu gorczycy ($1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na wzrost chwastów występujących w uprawie kapusty i na polu ugorowanym. Pomiary wykonano po 3-6 tygodniach od zastosowania makuchu

Gatunek	Liczba roślin na 1 m^2	
	kontrola	po zastosowaniu makuchu
Doświadczenie z kapustą		
<i>Chenopodium album</i>	14,9	0,3
<i>Matricaria maritima</i> ssp. <i>inodora</i>	4,0	0,1
<i>Capsella bursa pastoris</i>	3,0	0,0
Całkowita liczba chwastów	270	120
Gleba nieuprawiana		
<i>Sonchus arvensis</i>	17,9	1,7
<i>Senecio vulgaris</i>	35,4	5,4

Źródło: Oleszek za Ascard i Johansson, 1994 (51).

Autorzy zanotowali całkowitą (*Capsella bursa pastoris*) lub niemal całkowitą redukcję (*Chenopodium album*, *Matricaria maritima* ssp. *inodora*) liczby dominujących gatunków chwastów występujących w doświadczeniu z kapustą, jak również znaczny ubytek (7–10-krotny) liczby chwastów w warunkach gleby ugorowanej. Należy mieć jednak na uwadze to, że badania te prowadzono na szalkach Petriego, a w naturalnych warunkach glebowych (sorpcja i inne procesy) może dochodzić do innych zależności.

Powszechnie sądzono, że źródłem aktywności allelopatycznej roślin kapustnych są glukozynolany występujące w formie glukozydów. Jednak to izotiocyjaniiny (ITC) – produkty enzymatycznej degradacji glukozynolanów – wykazują znacznie większą aktywność, zwłaszcza ITC allilowy (51).

Z innych badań Oleszka (52) wynika, że również dodanie do gleby resztek żyta ozimego może wpływać na znaczącą redukcję liczby niektórych uciążliwych gatunków chwastów (tab. 3). Stwierdzono bowiem znaczną (*Setaria viridis*, *Amaranthus retroflexus*) lub całkowitą (*Portulaca oleracea*) eliminację gatunków chwastów w wyniku inkorporacji z glebą resztek żyta ozimego.

Tabela 3

Wschody niektórych uciążliwych gatunków chwastów w obecności dodanych do gleby resztek żyta ozimego

Gatunek chwastu	Bez żyta	Z żytem	Redukcja (%)
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	21	12	43
<i>Amaranthus retroflexus</i>	36	2	95
<i>Portulaca oleracea</i>	58	0	100
<i>Setaria viridis</i>	54	11	80
<i>Setaria lutescens</i>	30	29	NS

Źródło: Oleszek, 1995 (52).

W warunkach uprawy polowej (np. zbóż jarych) wpływ międzyplonów na zmniejszenie liczby dominujących gatunków chwastów w łanie jest nieco mniejszy (17, 38). Liczba chwastów jest wówczas ujemnie skorelowana z ilością biomasy wytworzonej przez międzyplony (42). Największą redukcję liczby chwastów w łanie obserwuje się pod wpływem roślin kapustnych, takich jak gorczyca biała (42) i rzepak (18) oraz udanych zasiewów mieszanek roślin strączkowych, na przykład łubinu wąskolistnego z peluszką lub wyki jarej z peluszką (16, 38). Wyraźniejszy efekt odchwaszczający uprawy międzyplonów występuje w przypadku powietrznie suchej masy chwastów w łanie (42). Potwierdzeniem pozytywnego wpływu międzyplonów ścierniskowych na redukcję powietrznie suchej masy dominujących chwastów w łanie zbóż jarych (jęczmień, pszenica, owies) są wyniki badań Gawędy (16, 17, 18); (tab. 4).

Autorka stwierdziła istotne zmniejszenie masy chwastów w łanie zbóż jarych pod wpływem uprawy roślin z rodziny *Brassicaceae* (gorczyca biała, rzepak) w porównaniu z obiektem bez międzyplonów.

Tabela 4

Powietrznie sucha masa chwastów (g m^{-2}) w łanie jęczmienia jarego, pszenicy jarej i owsa w zależności od międzyplonu (średnio z 3 lat)

Roślina uprawna	Międzyplon ścierniskowy					
	A*	B	C	D	E	NIR
Pszenica jara	18,3	7,4	5,7	8,1	8,0	4,20
Jęczmień jary	9,9	8,9	13,0	5,6	7,9	3,51
Owies	11,8	7,9	10,3	12,9	12,7	r.n.
Średnio	13,3	8,1	9,7	8,9	9,5	3,85

*Objaśnienie:

A – bez międzyplonu – obiekt kontrolny

B – gorczyca biała

C – facelia błękitna

D – rzepak ozimy

E – łubin wąskolistny + peluszką

Źródło: Gawęda, (16, 17, 18).

K w i a t k w s k i (42) dowodzi z kolei, iż poprzez wprowadzenie do uprawy monokulturowej jęczmienia jarego „przerwywnika” w postaci międzyplonów można znacząco ograniczyć porażenie podstawy źdźbła zboża kompleksem chorób grzybowych (tab. 5).

W monokulturze bez międzyplonu w fazie dojrzałości młecznej obserwowano ponad 30% porażenie podstawy źdźbła tego zboża. Wprowadzenie międzyplonu z gorczycy białej wpływało natomiast na prawie trzykrotnie mniejsze występowanie grzybów patogenicznych. Nieco mniejszy efekt fitosanitarny przynosiła uprawa mieszanki roślin strączkowych, natomiast wsiewka z życicy westerwoldzkiej posiadała znikomy wpływ na poprawę zdrowotności jęczmienia jarego.

Biomasa całych roślin międzyplonu wielostronnie (z reguły korzystnie) oddziałuje na właściwości fizykochemiczne i aktywność biologiczną gleby. Stosowanie między-

Tabela 5

Indeks porażenia podstawy źdźbła jęczmienia jarego kompleksem chorób grzybowych w zależności od międzyplonów (średnio z lat 2002–2006)

Wyszczególnienie	%
Rośliny w fazie dojrzałości młecznej	
I. Płodozmian	6,1
II. Monokultura	
A – bez międzyplonu	30,3
B – gorczyca biała	13,4
C – wyka jara + peluszką	17,7
D – życica westerwoldzka	24,1
NIR (0,05): następstwo roślin (dla I i IIA) = 5,94 międzyplony (dla A–D) = 5,82	

Źródło: Kwiatkowski, 2009 (42).

plonów zwiększa zawartość azotu, fosforu, potasu, magnezu i wapnia w glebie. Sprzyja także wzrostowi pH gleby. Biomasa międzyplonów stanowi bogate źródło węgla organicznego w glebie (podstawowego wskaźnika jej żyzności); (14, 27, 28). Wyniki badań Kwiatkowskiego (42) w większości potwierdzają powyższe tezy (tab. 6).

Uprawa międzyplonów (zwłaszcza gorczycy białej i mieszanki roślin strączkowych) pozwoliła na otrzymanie w 6 roku uprawy jęczmienia jarego w monokulturze wyników oznaczeń chemicznych warstwy ornej gleby (pH, zawartość próchnicy, P, K i Mg) na poziomie przyrodniczo poprawnego zmianowania. Natomiast „czysta monokultura” (bez międzyplonu) wpływała na obniżenie odczynu gleby, mniejszą zawartość próchnicy i wybranych makroskładników.

Tabela 6

Wyniki niektórych oznaczeń chemicznych warstwy ornej gleby (0–30 cm)
w doświadczeniu z jęczmieniem jarym

Lata	Następstwo roślin	pH (w 1 mol KCl)	P (mg/1 kg gleby)	K (mg/1 kg gleby)	Mg (mg/1 kg gleby)	Próchnica (%)
2001	Plodozmian i monokultura	6,5	174	293	73	1,54
2006	Plodozmian	6,4	175	295	71	1,55
	Monokultura					
	A – bez międzyplonu	6,2	169	289	68	1,50
	B – gorczyca biała	6,6	174	284	72	1,55
	C – wyka jara + peluszką	6,5	175	287	70	1,56
	D – życica westerwoldzka	6,3	168	283	69	1,52

Źródło: Kwiatkowski, 2009 (42).

Dopływ dodatkowej ilości węgla organicznego w formie biomasy międzyplonów pozwala w monokulturach zbożowych utrzymywać odpowiedni poziom substancji organicznej, aktywność biologiczną oraz korzystny stan fitosanitarny gleby. Przyorana biomasa międzyplonów dostarcza glebie tyle suchej masy organicznej, co 1/2 dawki obornika (9, 47).

Z kolei międzyplony pozostawione na zimę w formie mulczu zapewniają korzystną temperaturę gleby i utrzymują jej wilgoć na wyższym poziomie (59).

Wnoszona do gleby materia organiczna stanowi źródło energii dla mikroorganizmów. Pod jej wpływem zwiększa się różnorodność, liczebność i aktywność drobnoustrojów (w tym nadpasożytów i saprofitów), co przeciwdziała dominacji organizmów patogenicznych (zwłaszcza wywołujących zgorzel siewek i podstawy źdźbła oraz łamliwość źdźbła zbóż i traw). W wyniku zwiększonej aktywności mikrobiologicznej gleby (stymulowanej dopływem materii organicznej) następuje jej mineralizacja i humifikacja. Zmieniają się właściwości chemiczne gleby – uwalniają się składniki mineralne

zwiększające zasobność gleby oraz substancje swoiste (o potencjalnym oddziaływaniu allelopatycznym); (36, 45).

Biomasa roślinna w glebie wpływa na zmianę jej właściwości fizycznych (gęstość, zwężłość, porowatość i stosunki wodno-powietrzne). Sposób (kierunek) przemian materii organicznej w glebie oraz ich tempo wynikają ze wzajemnego oddziaływania właściwości biomasy roślinnej, czynników siedliskowych i agrotechnicznych. Bardzo ważny jest zwłaszcza skład biomasy, głównie zawartość ligniny, celulozy, węgla i azotu. Spośród czynników siedliskowych o szybkości przemian materii organicznej w glebie decydują głównie: wilgotność, dostępność tlenu i temperatura (56, 57).

Międzyplony bezsprzecznie wpływają na zwiększenie produktywności roślin uprawianych w niekorzystnym stanowisku (12, 19, 38, 40, 66). Kwiatkowski (42) dowiódł, iż wprowadzenie do monokultury jęczmienia jarego międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej wpływało na istotne zwiększenie plonu ziarna tego zboża w porównaniu z monokulturą „czystą” o $0,63 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 7). Mniejszy efekt plonotwórczy zanotowano w przypadku międzyplonu ścierniskowego z mieszanki roślin strączkowych (przyrost plonu ziarna jęczmienia średnio o $0,34 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), a minimalne zwiększenie plonów jęczmienia jarego uzyskano w stanowisku po wsiewce poplonowej z życicy westerwoldzkiej ($0,16 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Tabela 7

Plon ziarna jęczmienia jarego ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zależności od międzyplonów
(średnio z lat 2002–2006)

Wyszczególnienie	Plon ziarna
$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	
I. Płodozmian	5,18
II. Monokultura	
A – bez międzyplonu	4,16
B – gorczyca biała	4,79
C – wyka jara + peluszką	4,50
D – życica westerwoldzka	4,32
NIR (0,05): następstwo roślin (dla I i IIA) = 0,602 międzyplony (dla A–D) = 0,409	

Źródło: Kwiatkowski, 2009 (42).

Międzyplony ścierniskowe mogą być również doskonałym sposobem na zwiększenie produktywności niektórych roślin zielarskich uprawianych w gorszych stanowiskach (np. po roślinach zbożowych). Z badań Kwiatkowskiego (41) oraz Kwiatkowskiego i Juszcza (43) wynika, że wprowadzenie międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej po zbiorze jęczmienia jarego przyniosło pozytywny efekt w postaci istotnego zwiększenia plonowania ziela bazylii pospolitej (średnio o $0,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) w porównaniu ze stanowiskiem po zbożu (pszenica ozima) bez międzyplonu. Autor zanotował również istotny wzrost plonów ziela tymianku właściwego (śred-

nio o 0,23 t·ha⁻¹) pod wpływem uprawy w stanowisku po jęczmieniu jarym międzyplonu z facelii błękitnej (tab. 8).

Tabela 8

Plon powietrznie suchej masy ziela bazylii pospolitej i tymianku właściwego (t·ha⁻¹)
w zależności od przedplonu i międzyplonu

Przedplon	Plon ziela bazylii t·ha ⁻¹	Plon ziela tymianku
Pszenica ozima	1,88	-
Jęczmień jary + gorczyca biała	2,17	-
Jęczmień jary	-	1,96
Jęczmień jary + facelia błękitna	-	2,29
NIR (0,05)	0,264	0,278

Źródło: Kwiatkowski, 2007 (41), Kwiatkowski i Juszcak, 2011 (43).

Z niektórych badań naukowych (29, 30, 35, 39, 42) wynika, że zwiększenie plonowania roślin uprawianych w stanowisku po międzyplonach jest proporcjonalne do ilości biomasy wytworzonej przez te rośliny. Dlatego też bardzo ważne jest określenie wielkości oraz wierności plonowania gatunków poplonowych w konkretnych warunkach glebowo-klimatycznych danego regionu.

W tabeli 9 przedstawiono przeciętne plony wybranych gatunków międzyplonów ścierniskowych i wsiewek poplonowych uprawianych w warunkach glebowo-klimatycznych środkowej Lubelszczyzny. Najwierniejszym plonowaniem, średnio w trzyleciu, charakteryzowała się gorczyca biała, następnie facelia błękitna, mieszanka wyki jarej z peluszką oraz rzepak jary (wszystkie gatunki uprawiano w międzyplonie ścierniskowym). Nieco gorsze plony powietrznie suchej masy międzyplonów uzyskano z uprawy mieszanki owsa, wyki jarej i grochu, a zawodna okazała się mieszanka łubinu wąskolistnego z peluszką (głównie z uwagi na bardzo słabe wschody łubinu). Słabiej niż oczekiwano plonowała wsiewka koniczyny czerwonej, zaś najmniejsze plo-

Tabela 9

Plon powietrznie suchej masy międzyplonów (t·ha⁻¹) uzyskany w warunkach glebowo-klimatycznych
środkowej Lubelszczyzny (średnio z 3 lat)

Gatunek rośliny i rodzaj międzyplonu	Plon (t·ha ⁻¹)
Gorczyca biała (międzyplon ścierniskowy)	4,26
Facelia błękitna (międzyplon ścierniskowy)	3,98
Wyka jara + peluszką (międzyplon ścierniskowy)	3,46
Rzepak jary (międzyplon ścierniskowy)	3,40
Owies + wyka jara + groch (międzyplon ścierniskowy)	3,22
Łubin wąskolistny + peluszką (międzyplon ścierniskowy)	2,04
Koniczyna czerwona (wsiewka poplonowa)	2,69
Życica westerwoldzka (wsiewka poplonowa)	2,01

Źródło: Gawęda, 2009, 2011 (16, 19), Kwiatkowski, 2009 (42, dane niepublikowane)

ny uzyskano z wsiewki życicy westerwoldzkiej (nierównomierne wschody, zachwaszczanie się wsiewki po zbiorze zboża).

Według Małickiego i Michałowskiego (46) przyrost biomasy międzyplonów ma ścisły związek z ilością i rozkładem opadów. Suma opadów poniżej 140 mm w trakcie ich wegetacji znacznie ogranicza tempo wzrostu (27). Duże znaczenie dla rozwoju roślin uprawianych w międzyplonach ma także termin i technika siewu, nawożenie oraz żyzność i kultura gleby (9, 22). Zdaniem Nowakowskiego i Szymczak-Nowak (49) oraz Kisielewskiej i Harasimowicz-Herman (35) największe plony biomasy gorczyicy białej zapewnia siew w 2-3 dekadzie sierpnia, ponieważ gwarantuje duży udział liści w plonie ogólnym, a niewielki organów generatywnych. W warunkach krótszego okresu wegetacji gatunki strączkowe plonują gorzej niż rośliny kapustne (38, 59). Rośliny kapustne lepiej znoszą jesienne przymrozki i odznaczają się niewielkimi wymaganiami termiczno-światłymi i w rezultacie plonują wierniej. Ich plony może jednak obniżać przedłużająca się susza (8, 22, 33).

Z punktu widzenia praktyki rolniczej bardzo ważna jest efektywność ekonomiczna uprawy międzyplonów. W tabeli 10 przedstawiono uproszczony rachunek ekonomiczny (nadwyżka bezpośrednia) uzyskany z uprawy jęczmienia jarego w płodozmianie i monokulturze, w której wprowadzono wybrane gatunki międzyplonów. Nadwyżka bezpośrednia jest to roczna wartość produkcji uzyskana z 1 ha uprawy, pomniejszona o koszty bezpośrednie poniesione na wytworzenie tej produkcji. Wartość produkcji określana jest według rynkowych cen sprzedaży lub według cen sprzedaży loco gospodarstwo (tzn. na terenie gospodarstwa). Zależy więc od wysokości plonu poszczególnych roślin oraz od ceny ich sprzedaży. Do kosztów bezpośrednich produkcji ro-

Tabela 10

Nadwyżka bezpośrednia (zł·ha⁻¹) uzyskana z uprawy jęczmienia jarego
(średnio z lat 2002–2006)

Wyszczególnienie	Nadwyżka bezpośrednia (zł·ha ⁻¹)
Płodozmian	1566
– pielęgnacja ekstensywna	
Płodozmian	1307
– pielęgnacja intensywna	
Monokultura bez międzyplonu	1091
– pielęgnacja ekstensywna	
Monokultura bez międzyplonu	837
– pielęgnacja intensywna	
Monokultura + gorczyca biała	969 + dopłaty (330-420 zł)
– pielęgnacja intensywna	
Monokultura + wyka jara i peluszk	747 + dopłaty (330-420 zł)
– pielęgnacja intensywna	
Monokultura + życica westerwoldzka	772 + dopłaty (330-420 zł)
– pielęgnacja intensywna	

Źródło: Kwiatkowski, 2009 (42).

ślinnej zalicza się: materiał siewny, nawozy z zakupu, środki ochrony roślin, ubezpieczenia dotyczące bezpośrednio danej działalności, a także koszty specjalistyczne (np. koszty nośników energii zużytych do suszenia produktów, przygotowania produktów do sprzedaży, wykonanie analiz potrzeb nawozowych roślin). Od kilku lat w obliczaniu nadwyżki bezpośredniej uwzględnia się także zmiany w systemie dopłat (np. do uprawy międzyplonów), jakie wprowadziła reforma Wspólnej Polityki Rolnej zatwierdzona w czerwcu 2003 roku (6, 54).

Dane zawarte w tabeli 10 obrazują, iż najlepszy efekt ekonomiczny przyniosła uprawa jęczmienia jarego w przyrodniczo poprawnym zmianowaniu z zastosowaniem pielęgnacji ekstensywnej (wyłącznie mechaniczne zabiegi pielęgnacyjne oraz zaprawianie nasion przed siewem). Intensywna pielęgnacja zasiewów jęczmienia jarego polegająca na zaprawianiu nasion, stosowaniu herbicydów, fungicydów, antywylegacza i insektycydu przyniosła gorszy wynik ekonomiczny zarówno w płodozmianie, jak i w monokulturze ze względu na wysokie koszty chemicznej ochrony, której nie był w stanie zrównoważyć przyrost plonu ziarna jęczmienia i związane z tym zyski. Uprawa międzyplonów w monokulturze jęczmienia jarego, jeśli nie uwzględnimy możliwości dopłat z UE do uprawy tych roślin, nie przyniosła zadowalającego wyniku finansowego. Z wyjątkiem uprawy gorczycy białej (nadwyżka bezpośrednia większa o 132 zł·ha⁻¹ w porównaniu z monokulturą bez międzyplonu) siew mieszanki roślin strączkowych i wsiewki z życicy westerwoldzkiej był nieopłacalny, głównie ze względu na wysoką cenę nasion trawy, wyki i peluszek. Dopiero po uwzględnieniu dopłat rolniczych do uprawy międzyplonów w ramach „płatności rolnośrodowiskowych” uprawa tych roślin staje się bardziej opłacalna. Trudno przewidzieć, jak przedstawiałby się efekt ekonomiczny uprawy międzyplonów w sytuacji ekstensywnej pielęgnacji jęczmienia jarego (bez stosowania środków ochrony roślin). Należy przypuszczać jednak, że produktywność zboża mogłaby być mocno ograniczona ze względu na wysoką inwazyjność agrofagów, zwłaszcza zwiększoną liczbę i masę chwastów w łanie. Z aktualnych badań nad uprawą pszenicy jarej w kilkuletniej monokulturze (K w i a t k o w s k i, dane niepublikowane) wynika, że korzystny efekt finansowy (nadwyżka bezpośrednia w granicach 1500 zł·ha⁻¹) przynosi uprawa międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej lub facelii błękitnej w wariantcie z oszczędną pielęgnacją zasiewów rośliny zbożowej (zaprawianie nasion, dawki fungicydu i herbicydu zredukowane o 50%).

Ocena produkcji roślinnej bywa ograniczana do kryteriów produkcyjno-ekonomicznych. Podstawę do wyboru rozwiązań najbardziej racjonalnych dają jednak analizy energetyczne. Z powodu częstych zmian cen, a głównie relacji między cenami środków produkcji i cenami ziemiopłodów, wyniki analiz w mierniku pieniężnym szybko się dezaktualizują i zmieniają w czasie. W tej sytuacji za bardziej obiektywny miernik nakładów i efektów produkcji uznaje się wskaźnik energochłonności produkcji. Analiza energetyczna jest wykorzystywana również w ocenie efektywności produkcji wybranych ziemiopłodów i poszczególnych zabiegów agrotechnicznych. Porównuje się wówczas stosunek energii zawartej w uzyskanych produktach do poniesionych nakładów energii w postaci paliwa, nawozów, nasion, środków ochrony roślin, maszyn

i urządzeń oraz pracy żywej (20, 24). Wskaźnik efektywności energetycznej jest wyraźnie uzależniony od wielkości uzyskanego plonu (64). Zaletą rachunku energetycznego jest możliwość porównywania wyników w czasie, niezależnie od relacji cen, a także stosowania go do ocen kompleksowych gospodarstw rolnych i rolnictwa (25). Syntetycznym wskaźnikiem efektywności energetycznej produkcji roślinnej jest stosunek energii zawartej w plonach do poniesionych nakładów energetycznych. Obliczamy go według wzoru:

$$Ee = \frac{Ne}{Pe} \quad (1)$$

gdzie:

Ee – wskaźnik efektywności energetycznej,

Pe – wartość energetyczna plonu uzyskanego z 1 ha (MJ),

Ne – wielkość nakładów energetycznych poniesionych na uzyskanie produkcji (plonu) z 1 ha (MJ).

W nakładach energetycznych uwzględnia się cztery strumienie energii:

- bezpośrednie nośniki energii (paliwo, smary, energia elektryczna),
- surowce i materiały (nawozy, nasiona, środki ochrony roślin),
- środki inwestycyjne (zużycie maszyn i narzędzi w czasie eksploatacji oraz części zamienne i maszyny do napraw),
- nakłady pracy ludzkiej.

Harasim i Gawęda (26) wykazują, iż uprawa zbóż (jęczmień jary, owies, pszenica jara) bez międzyplonów cechowała się większą efektywnością energetyczną niż w warunkach ich stosowania (tab. 11). W gronie obiektów z międzyplonem w uprawie zbóż jarych korzystniejsze efekty (wyższy wskaźnik efektywności energetycznej) uzyskano na obiekcie z facelią, a także z mieszkanką roślin strączkowych. Największą efektywnością energetyczną wyróżniła się produkcja ziarna jęczmienia jarego bez międzyplonu ścierniskowego. Warto jednak podkreślić, że uprawa między-

Tabela 11

Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji zbóż jarych (średnio z lat 2006–2008)

Roślina uprawna	Międzyplon ścierniskowy					średnio
	A*	B	C	D	E	
Pszenica jara	3,93	3,80	3,97	3,81	3,67	3,84
Jęczmień jary	4,94	4,56	4,71	4,52	4,82	4,71
Owies	4,75	4,55	4,67	4,63	4,64	4,65
Średnio	4,54	4,30	4,45	4,32	4,38	4,40

*Objaśnienie:

A – bez międzyplonu – obiekt kontrolny

B – gorczyca biała

C – facelia błękitna

D – rzepak ozimy

E – łubin wąskolistny + peluszką

Źródło: Harasim i Gawęda, 2010 (26).

plonów ścierniskowych, powodująca w większości przypadków przyrost plonu ziarna, tylko w niewielkim stopniu obniża efektywność energetyczną produkcji zbóż jarych. Do korzystnych efektów należy zaliczyć również ekologiczne oddziaływanie międzyplonów na środowisko, co w rachunku energetycznym jest trudne do wycenienia (26).

Uprawa międzyplonów może nieść ze sobą pewne negatywne aspekty. Międzyplony ścierniskowe, szczególnie w latach posusznych, pobierają z gleby znaczącą ilość wody, co obniża jej wilgotność i podnosi zwężłość w warstwie od 0 do 20 cm. Międzyplony ścierniskowe ze względu na krótki okres wegetacji, występujące w tym czasie niedobory wilgoci oraz wrażliwość na błędy popełniane w ich agrotechnice często zawodzą (8, 46).

Wsiewki międzyplonowe konkurują o elementy siedliska z rośliną plonu głównego. Ponadto plonowanie wsiewek międzyplonowych z udziałem roślin motylkowych drobnonasiennych bywa zadowalające tylko w wyjątkowo korzystnych warunkach wilgotnościowych (60, 61). Wsiewki poplonowe (np. życica) mogą ulegać zachwaszczeniu po zbiorze zboża, co w konsekwencji przekłada się na dużą masę chwastów pod koniec wegetacji międzyplonu (42). Niezależnie od rodzaju poplonu międzyplony utrudniają staranną uprawę roli w systemie płużnym. W sytuacji niedoboru wilgoci w glebie może dochodzić do przedłużenia okresu rozkładu biomasy międzyplonów i immobilizacji azotu glebowego w czasie intensywnego wzrostu zbóż (28).

Rośliny strączkowe uprawiane w międzyplonie ścierniskowym wymagają wczesnego siewu, co z uwagi na późniejszy termin zbioru nowych odmian zbóż staje się problematyczne. Opłacalność stosowania roślin strączkowych jako międzyplonów może pomniejszać wysoka cena materiału siewnego (23, 42).

Podsumowanie

1. Znaczenie międzyplonów we współczesnym rolnictwie jest coraz większe. Międzyplony stają się ważnym elementem rolnictwa zrównoważonego i wpływają na zwiększenie bioróżnorodności agrofitycenozy. Wpływają one pozytywnie na żyzność gleby, a w monokulturach utrzymują ją na poziomie zbliżonym do gleby, gdzie stosowano płodozmian.

2. Duże nadzieje należy wiązać z fitosanitarną (allelopatyczną) rolą międzyplonów, wpływających w naturalny sposób na ograniczenie występowania chorób grzybowych zbóż i regulację zachwaszczenia. Powyższe zagadnienie wymaga jednak dalszych szczegółowych badań.

3. Wynik ekonomiczny uprawy międzyplonów (nadwyżka bezpośrednia) jest korzystniejszy, biorąc pod uwagę istniejące płatności z UE (Pakiet Rolnośrodowiskowy) do uprawy tych roślin.

4. Przyoranie przed zimą biomasy międzyplonów ścierniskowych z roślin kapustnych lub strączkowych wpływa korzystnie na produktywność zbóż (jęczmień jary, pszenica jara). Podobne znaczenie może mieć przyoranie biomasy udanych zasiewów wsiewek międzyplonowych. Mniejszy efekt plonotwórczy ma inkorporacja mulczy z glebą na wiosnę (bezpośrednio przed siewem zbóż jarych).

5. Przyrost plonu ziarna zbóż zależy od gatunku rośliny poplonowej i ilości wytworzonej biomasy.

6. Udań zasiewy międzyplonów mają ścisły związek z warunkami pogodowymi (zwłaszcza ilością i rozkładem opadów) oraz rodzajem gleby.

7. Międzyplony ścierniskowe (szczególnie gatunki z rodziny *Brassicaceae*) skutecznie zmniejszają porażenie zbóż przez kompleks patogenów uszkadzających podstawę źdźbła oraz ograniczają zachwaszczenie ładu.

8. Godnym polecenia jako „przerywnik” w monokulturze zbóż wydaje się międzyplon ścierniskowy z gorczycy białej, z uwagi na zadowalające plony biomasy, właściwości fitosanitarne i relatywnie niską cenę materiału siewnego w stosunku do nasion roślin strączkowych czy traw.

9. Międzyplony ścierniskowe oraz wsiewki poplonowe pomimo ryzyka niepowodzenia uprawy (warunki siedliskowe) należy polecać, zwłaszcza w sprawnych organizacyjnie gospodarstwach.

10. Międzyplony ozime cechują się małą zawodnością, dużą wydajnością zielonki, posiadają działanie przeciwerozyjne, a ze względów ekonomicznych (i allelopatycznych) należy preferować w nich żyto.

Literatura

1. Abdin O.A., Coulman B.E., Cloutier D.C., Faris M.A., Smith D.L.: Establishment, development and yield of forage legumes and grasses as cover crops in grain corn in eastern Canada. *J. Agron. Crop Sci.*, 1997, **179**: 19-27.
2. Adamiak E.: Weed infestation of cereals grown in specialized cereal rotations and monocultures. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olszt.*, 1992, **55**: 115-128.
3. Adamiak E.: Struktura zachwaszczenia i produktywność wybranych agrocenoz zbóż ozimych i jarych w zależności od systemu następstwa roślin i ochrony ładu. UW-M w Olsztynie, Rozprawy i Monografie, 2007, **129**: ss. 146.
4. Adamiak J., Adamiak E., Balicki T.: Wpływ wieloletniej monokultury na występowanie chorób podstawy źdźbła w czterech zbożach. *Fragm. Agron.*, 2005, **2(86)**: 7-13.
5. Akemo M., Regnier E., Bennet M.: Weed suppression in spring-sown rye (*Secale cereale*) – pea (*Pisum sativum*) cover crop mixes. *Weed Technol.*, 2000, **14**: 545-549.
6. Augustyńska-Grzymek I., Goraj L., Jarka S., Pokrzywa T., Skarżyńska A.: Metodyka liczenia nadwyżki bezpośredniej i zasady klasyfikacji gospodarstw rolniczych. FAPA, 2000, Warszawa.
7. Bleharczyk A., MałECKA I., Pudełko J.: Reakcja roślin na monokulturę w wieloletnim doświadczeniu w Brodach. *Fragm. Agron.*, 2005, **2(86)**: 20-29.
8. Bochniarz J.: Warunki i możliwości rozwoju poplonów ścierniskowych w Polsce. IUNG Puławy, 1977, ss. 16.
9. Bruce R.R., Langdale G.W., West L.T.: Modification of soil characteristics of degraded soil surfaces by biomass input and tillage affecting soil water regime In *Trans. 14th Int. Conf. of Soil Sci.* VI, 1990, 17-21.
10. Deryło S.: Badania nad regenerującą rolą poplonów ścierniskowych w płodozmianie o różnym udziale zbóż. *Rozprawy Nauk. AR Lublin*, 1990, **127**: ss. 64.
11. Deryło S.: Wpływ międzyplonów ścierniskowych w zróżnicowanych płodozmianach na zdrowotność pszenicy ozimej i jęczmienia jarego. *Mat. Konf. Nauk. „Synteza i perspektywa nauki o płodozmianie”*. Zbiór prac źródłowych. Cz. II, ART Olsztyn – VŠZ Brno, 1991, 35-43.

12. D e r y ł o S.: Wpływ międzyplonu ścierniskowego i płodozmianów zbożowych na plonowanie i zachwaszczenie jęczmienia jarego. Ann. UMCS, Sect. E, 1997, **52**: 69-76.
13. D ł u ż n i e w s k a J., N a d o l n i k M., S z a f r a ń s k i W.: Wpływ roślin poplonowych i nawożenia azotowego na stan zdrowotny i plon pszenicy jarej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2004, **44(2)**: 651-653.
14. D u e r I.: Wpływ międzyplonu ścierniskowego na plonowanie i zachwaszczenie jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 1994, **4**: 36-45.
15. D u e r I.: Mulczujący wpływ międzyplonu na plonowanie jęczmienia jarego oraz zawartość wody i azotanów w glebie. Fragm. Agron., 1996, **1**: 28-43.
16. G a w ę d a D.: Wpływ międzyplonów ścierniskowych na zachwaszczenie jęczmienia jarego uprawianego w monokulturze. Fragm. Agron., 2009, **26(1)**: 34-41.
17. G a w ę d a D.: Wpływ międzyplonów ścierniskowych na zachwaszczenie pszenicy jarej uprawianej w monokulturze. Ann. UMCS sec. E, 2009, **64(3)**: 21-28.
18. G a w ę d a D.: Zachwaszczenie owsa uprawianego w monokulturze w zależności od międzyplonów ścierniskowych. Ann. UMCS sec. E, 2010, **65(4)**: 12-19.
19. G a w ę d a D.: Yield and yield structure of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in monoculture after different stubble crops. Acta Agrobot., 2011, **64(1)**: 91-98.
20. G a w ę d a D., S z y m a n k i e w i c z K., H a r a s i m E.: Efektywność energetyczna różnych systemów uprawy roli w 3-polowym zmianowaniu. Pam. Puł., 2006, **142**: 105-116.
21. G o n d e k K., Z a j ą c T.: Skład frakcyjny próchnicy czarnoziemiu zdegradowanego w zależności od gatunku przyoranych roślin poplonowych. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 2003, **41**: 3-12.
22. G o n e t Z.: Porównanie agroekologicznych warunków uprawy poplonów ścierniskowych w ostatnim 20-leciu. Mat. Sem. Nauk., KUR PAN, Szczecin, 1990, 45-51.
23. H a r a s i m A.: Kompleksowa ocena płodozmianów z różnym udziałem roślin zbożowych i okopowych. IUNG Puławy, Monografie i Rozprawy Naukowe, 2002, **1**: ss. 89.
24. H a r a s i m A.: Przewodnik ekonomiczno-rolniczy w zarysie. IUNG-PIB, Puławy, 2006, ss. 171.
25. H a r a s i m A., B u j a k K., F r a n t M.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli i poziomowi nawożenia mineralnego na efektywność energetyczną produkcji roślinnej w płodozmianie 4-polowym. Fragm. Agron., 2007, **1**: 64-71.
26. H a r a s i m E., G a w ę d a D.: Wpływ międzyplonów ścierniskowych na plonowanie i efektywność energetyczną produkcji zbóż jarych. Ann. UMCS sec. E, 2010, **65(1)**: 64-72.
27. H a r a s i m o w i c z - H e r m a n G., H e r m a n J.: Funkcja międzyplonów w ochronie zasobów mineralnych i materii organicznej gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2006, **512**: 147-155.
28. H a u g g a a r d - N i e l s e n H., A m b u s P., J e n s e n E. S.: Interspecific competition, N use interference with weeds in pea-barley intercropping. Field Crops Res., 2001, **70**: 101-109.
29. J a s k u l s k i D.: Reakcje zbóż jarych na eksudaty z biomasy zbóż. Mat. Konf. nt. „Teoretyczne i praktyczne aspekty allelopatii”. Wyd. IUNG Puławy, 1996, **K(10)**: 133-138.
30. J a s k u l s k i D.: Wpływ wsiewek międzyplonu na produktywność ogniwa jęczmień jary – pszenica ozima. Acta Sci. Pol., Agricultura, 2004, **3(2)**: 143-150.
31. J a s k u l s k i D., J a s k u l s k a I.: Wpływ międzyplonów ścierniskowych, nawożenia słomą i zróżnicowanej uprawy uprawy roli na jęczmień jary w stanowisku po pszenicy ozimej. BTN Prz. Kom. Nauk Rol. i Biol., ser. B, 2004, **52**: 99-109.
32. J a s k u l s k i D., J a s k u l s k a I.: Wpływ nawożenia słomą, międzyplonów ścierniskowych i zróżnicowanej uprawy roli na niektóre właściwości gleby w ogniwie zmianowania pszenica ozima – jęczmień jary. Acta Sci. Pol., Agricultura, 2004, **3(2)**: 151-163.
33. J a s k u l s k i D., T o m a ł a k S., R u d n i c k i F.: Regeneracja stanowiska po pszenicy ozimej dla jęczmienia jarego poprzez rośliny międzyplonu ścierniskowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **470**: 49-57.
34. J e n s e n E. S.: Nitrogen accumulation and residual effects of nitrogen catch crops. Acta Agric. Scand., 1991, **41**: 333-344.
35. K i s i e l e w s k a W., H a r a s i m o w i c z - H e r m a n G.: Wpływ terminu siewu na plon biomasy gorczycy białej uprawianej w międzyplonie. Fragm. Agron., 2008, **2(98)**: 72-80.

36. K u r o w s k i T. P.: Studia nad chorobami podsuszkowymi zbóż uprawianych w wieloletniej monokulturze. UWM w Olsztynie, Rozprawy i Monografie, 2002, 7-86.
37. K u ś J., J o Ń c z y k K.: Regenerująca rola międzyplonów w zbożowych członach zmianowania. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **470**: 49-57.
38. K w i a t k o w s k i C.: Wpływ międzyplonu na plonowanie i zachwaszczenie jęczmienia jarego uprawianego w monokulturze. Ann. UMCS sec. E, 2004, **59**: 809-815.
39. K w i a t k o w s k i C.: Wpływ międzyplonu oraz sposobu pielęgnacji łąnu na plonowanie i zdrowotność jęczmienia jarego uprawianego w monokulturze. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2005, **45**: 841-843.
40. K w i a t k o w s k i C.: Wpływ międzyplonu na wybrane elementy struktury plonu i jakości ziarna jęczmienia jarego uprawianego w czteroletniej monokulturze. Pam. Puł., 2006, **142**: 263-276.
41. K w i a t k o w s k i C.: Zachwaszczenie i plonowanie tymianku właściwego (*Thymus vulgaris* L.) w zależności od sposobu pielęgnacji i przedplonu. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2007, **47(3)**: 187-190.
42. K w i a t k o w s k i C.: Studia nad plonowaniem jęczmienia jarego nagoziarnistego i oplewionego w płodozmianie i monokulturze. Rozprawy Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, 2009, **336**: ss. 117.
43. K w i a t k o w s k i C., J u s z c z a k J.: The response of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) to the application of growth stimulators and forecrops. Acta Agrobot., 2011, **64(2)**: 69-76.
44. L a l R., R e g n i e r E., E c k e r t D. J., E d w a r d s W. M., H a m m o n d R.: Expectation of cover crops for sustainable agriculture. Soil and Water Conservation Society. Jackson Ed. 1991, 21-25.
45. L e p i a r c z y k A.: Koncentracja związków fenolowych i aktywność mikrobiologiczna gleby w zależności od rośliny regenerującej i stosowanej uprawy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **470**: 191-197.
46. M a l i c k i L., M i c h a ł o w s k i C.: Problem międzyplonów w świetle doświadczeń. Post. Nauk Rol., 1994, **4**: 1-16.
47. M a r s h a l l E. J. P., B r o w n V. K., B o a t m a n N. D., L u t m a n P. J. W., S q u i r e G. R., W a r d L. K.: The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. Weed Res., 2003, **43**: 77-89.
48. M u r a w a D., P y k a ł o I., B a n a s z k i e w i c z T.: Kompleksowa ocena chwastobójcza substancji aktywnych w gorczycy białej (*Sinapis alba* L.). Rośliny Oleiste, 2004, **25**: 521-531.
49. N o w a k o w s k i M., S z y m c z a k - N o w a k J.: Dynamika wzrostu, plonowanie i antymatwikowe działanie wybranych odmian rzodkwi oleistej i gorczycy białej uprawianych w międzyplonie ścierniskowym. Rośliny Oleiste, 1998, **19**: 671-678.
50. Ogólna uprawa roślin (Wesołowski M. red.) Wyd. AR w Lublinie, 2007, ss. 164.
51. O l e s z e k W., A s c a r d J., J o h a n s s o n H.: *Brassicaceae* jako rośliny alternatywne umożliwiające kontrolę zachwaszczenia w rolnictwie zachowawczym. Fragn. Agron., 1994, **4(44)**: 5-19.
52. O l e s z e k W.: Kwasy hydroksamowe żyta (*Secale cereale* L.) i ich aktywność allelopacyjna. Fragn. Agron. 1995, **3(47)**: 9-20.
53. P a r y ł a k D.: Wpływ przyoranego międzyplonu ścierniskowego na niektóre właściwości gleby i plonowanie pszenżyta ozimego w krótkotrwałej monokulturze. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Rolnictwo, 1996, **67**: 199-207.
54. Praca zbiorowa: Produkcja, koszty i nadwyżka bezpośrednia wybranych produktów rolniczych w 2007 roku. IERiGŻ - PIB Warszawa, 2008.
55. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2010. GUS Warszawa.
56. S m o l i Ń s k i S., K o t w i c a K., J a s k u ł s k i D., T o m a ł a k S.: Wpływ poplonu ścierniskowego na aktywność mikrobiologiczną gleby. Zmiany liczebności bakterii uczestniczących w przemianach C i N. Konf. Nauk. Drobnoustroje w środowisku. Występowanie, aktywność i znaczenie. AR Kraków, 1997, 625-630.

57. Stopes C., Millington S., Woodward L.: Dry matter accumulation by three leguminos green manure species and the yield of a following wheat crop in an organic production system. *Agric. Ecosyst. & Environ.*, 1996, **57**: 189-196.
58. Stupnicka-Rodzyńkiewicz E.: Rośliny fitosanitarne oraz różne sposoby regeneracji stanowisk w płodozmianach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **470**: 9-11.
59. Wagger M. G., Mengel D. B.: The role of non leguminous cover crops in the efficient use of water and nitrogen. *Spec. Pub. No 51, Am. Soc. Agron., Madison*, 1988, 25-28.
60. Wanic M., Jastrzębska M., Nowicki J.: Wsiewki międzyplonowe a zachwaszczenie jęczmienia jarego uprawianego w różnych stanowiskach. *Fragm. Agron.*, 2005, **2**: 238-248.
61. Wanic M., Majchrzak B., Waleryś Z.: Wsiewka poplonowa a plonowanie i choroby podstawy źdźbła jęczmienia jarego w wybranych stanowiskach. *Fragm. Agron.*, 2006, **2(90)**: 149-161.
62. Wesołowski M., Kwiatkowski C.: Reakcja niektórych odmian jęczmienia jarego na uprawę w krótkotrwałej monokulturze. *Fragm. Agron.*, 1997, **4**: 36-42.
63. Wesołowski M., Kwiatkowski C.: Plonowanie i zachwaszczenie mieszanek międzyodmianowych jęczmienia jarego w kilkuletniej monokulturze. *Rocz. AR Poznań, CCCXXV, Rol.*, 2000, **58**: 135-144.
64. Wielicki W.: Energochłonność produkcji roślinnej. *Służba Rol.*, 1990, **1-2**: 1-6.
65. Wojciechowski W.: Oddziaływanie przyorywanych międzyplonów ścierniskowych i nawożenia azotem na zdrowotność roślin pszenicy jakościowej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(2)**: 1197-1199.
66. Wojciechowski W., Parylak D.: Oddziaływanie międzyplonów ścierniskowych na plonowanie żyta ozimego w płodozmianach uproszczonych na glebie lekkiej. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 575-584.
67. Zając T., Antonkiewicz J.: Zawartość i nagromadzenie makroelementów w biomase międzyplonów ścierniskowych i wsiewek śródplonowych w zależności od doboru gatunków i sposobu ich siewu. *Pam. Puł.*, 2006, **142**: 595-606.

Adres do korespondencji:

dr hab. Cezary Andrzej Kwiatkowski
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Katedra Herbologii i Technik Uprawy Roślin
20-950 Lublin
ul. Akademicka 13
tel.: (81) 445-60-34
e-mail: czarkw@poczta.onet.pl

Jerzy Sadowski, Mariusz Kucharski

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*HERBICYDY W UPRAWIE RZEPAKU – POZOSTAŁOŚCI
W ŚRODOWISKU*

Wstęp

Rzepak należy do roślin uprawnych o dużym znaczeniu gospodarczym. Jest surowcem dla przemysłu spożywczego, produkcji pasz oraz biopaliw. Do odchwaszczania rzepaku stosowane są preparaty zawierające pojedyncze substancje aktywne oraz ich mieszaniny. Wprawdzie brak jest odpowiednich danych statystycznych, ale można przyjąć, że w zdecydowanej większości upraw tej rośliny w kraju stosowane są herbicydy. W chwili obecnej zarejestrowanych jest w Polsce kilkanaście preparatów bazujących na 7 substancjach aktywnych (tab. 1). Ponadto listę herbicydów można uzupełnić środkami z grupy antywylegaczy (CCC), jak również preparatami nieselektywnymi (glifosat) stosowanymi przed siewem rzepaku. Prawidłowo stosowane herbicydy stanowią istotny element stabilizacji plonowania w produkcji roślinnej i przyczyniają

Tabela 1

Substancje aktywne i preparaty stosowane do odchwaszczania upraw rzepaków

Substancja aktywna	Herbicyd
Alachlor	Lasso 480 EC
Chlomazon	Command 480 EC
Chlopyralid	Lontrel 300 SL, Galera 334 SL
Dimetachlor	Colzor Trio 405 EC
Fluazifop-P-butylu	Fusilade Forte 100 E
Karfentrazon etylowy	Spotlight Plus 060 EO
Kwizalofop etylu	Targa
Kwizalofop-P-etyl	Targa Super 5 EC
Kwizalofop-P-tefurylu	Pantera 040 EC
Metazachlor	Butisan Star 416 EC, Metazanex 500 SC
Napropamid	Colzor Trio 405 EC, Devrinol 450 SC
Propyzamid	Kerb 50 WP

 – stosowane obecnie

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

nią się do uzyskania jakościowej i ilościowej zwyżki plonów. Chemiczna ochrona roślin, tak jak i pozostałe elementy warsztatu rolnika, wymaga przestrzegania zasad dobrej praktyki. Uchybienia i odstępstwa od tych zasad prowadzą do strat w plonach i skażeń środowiska. Dobra praktyka rolnicza w tym względzie jest wręcz nieodzowna. Kontrola i badania pozostałości stosowanych agrochemikaliów mają na celu ochronę zdrowia konsumenta i dbałość o środowisko, są również jednym z elementów zasad dobrej praktyki w rolnictwie.

Cel badań

W swojej działalności Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG we Wrocławiu poświęcał wiele uwagi zagadnieniom pozostałości i zachowania się herbicydów w środowisku, w tym również herbicydom stosowanym w uprawach rzepaku.

Badania z tego zakresu obejmują następujące zagadnienia:

- pozostałości w glebie, nasionach i słomie rzepaku,
- dynamika rozkładu substancji biologicznie aktywnej w glebie i roślinie uprawnej oraz w wodzie,
- przenikanie pozostałości do wód powierzchniowych i gruntowych,
- zagrożenie pozostałościami upraw następczych w płodozmianie.

Taki zakres badań pozwala na ocenę poziomu zanieczyszczeń herbicydowych, jakie potencjalnie mogą powstawać w wyniku chemicznego odchwaszczania upraw rzepaku.

Ze względu na specyfikę uprawy rzepaku ozimego oraz warunki klimatyczne panujące w Polsce niejednokrotnie mogą mieć miejsce przypadki uszkodzeń roślin uprawnych w zimie. Jeżeli skala uszkodzenia plantacji jest na tyle znaczna, że zachodzi konieczność jej przeorania i zastąpienia inną uprawą znaczenia nabiera problem poziomu zawartości w glebie zastosowanego wcześniej herbicydu. Dlatego też ważne jest określenie dynamiki rozkładu herbicydów stosowanych jesienią w uprawach rzepaku ozimego.

Metodyka badań

Badano pozostałości alachloru, chlomazonu, chlopyralidu, kwizalofopu-etylu, kwizalofop-P-etylu, kwizalofop-P-tefurylu, dimetachloru, karfentrazonu etylowego, fluazifopu, metazachloru, napropamidu i propyzamidu. Substancje te stosowano w formie preparatów w maksymalnych dopuszczalnych dawkach. Materiałem do badań były próbki pochodzące z doświadczeń herbicydowych prowadzonych przez Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG w latach 2000–2010 na terenie Dolnego Śląska. Do badań pobierano głównie nasiona i glebę w momencie zbioru rzepaku ozimego. W ograniczonej skali przeprowadzono również badania słomy oraz gleby pobieranej w momencie zbioru rzepaków. Pobierane w ramach monitoringu zanieczyszczeń herbicydowych na terenach zlewni rzek: Ślęzy, Bystrzycy, Oławy i Widawy próbki wód powierzchniowych i studziennych analizowano również na zawartość wymienionych substancji aktywnych. Pozwoliło to na ocenę zanieczyszczeń środowi-

ska wodnego wnoszonego z upraw rzepaku. Uzupełnieniem badań były próbki pochodzące z terenu całego kraju, w których, w ramach ekspertyz zleczanych przez różne instytucje (inspektoraty ochrony roślin, towarzystwa ubezpieczeniowe, policję oraz rolników indywidualnych), wykonywano analizy niezbędne do ustalenia przyczyn uszkodzenia upraw. Oznaczenia pozostałości w wyżej wymienionych rodzajach próbek wykonywano w laboratorium chemicznym Zakładu Herbologii i Technik Uprawy Roli z wykorzystaniem techniki chromatografii gazowej i wysokosprawnej chromatografii cieczowej (1, 5-9).

Tabela 2

Charakterystyki metod analitycznych oznaczania pozostałości

Substancja aktywna	Wykrywalność (ng)	Oznaczalność (mg·kg ⁻¹)
Alachlor	0,08	0,02
Chlomazon	0,01	0,002
Chlopyralid	0,01	0,002
Dimetachlor	0,08	0,002
Fluazifop-P-butylu	0,10	0,006
Karfentrazon etylowy	0,50	0,008
Kwizalofof etylu	0,01	0,002
Kwizalofof-P-etylu	0,01	0,002
Kwizalofof-P-tefurylu	0,10	0,006
Metazachlor	0,08	0,006
Napropamid	0,10	0,002
Propyzamid	0,10	0,006

Źródło: badania własne.

Wyniki

Dynamika rozkładu i pozostałości w glebie substancji aktywnych stosowanych herbicydów

Degradacja substancji aktywnej herbicydu zależy od bardzo wielu czynników. Wpływ na ten proces mają właściwości fizykochemiczne samej substancji, jak również warunki środowiskowe (temperatura, nasłonecznienie, wilgotność, zasobność gleby w mikroorganizmy, kwasowość gleby itp.). Finalnymi produktami degradacji są substancje proste (woda, dwutlenek węgla, tlenki azotu itp.). Zanim jednak dojdzie do całkowitego rozkładu w środowisku i roślinach uprawnych pojawiają się różne produkty rozpadu substancji aktywnej, które określamy ogólnym mianem pozostałości.

Pozostałości substancji aktywnych zawarte w glebie mogą być pobierane przez system korzeniowy rośliny. Działanie herbicydu jest determinowane stopniem wrażliwości rośliny oraz tym, czy substancja aktywna zawarta w glebie znajduje się w zasięgu systemu korzeniowego i stopniem jej dostępności dla rośliny.

Właściwości sorpcyjne gleby powodują, że jedynie część herbicydu zawartego w glebie jest dostępna dla roślin. Stopień uwilgotnienia gleby i jej kompleks sorpcyjny decydują w jakim stopniu substancja aktywna będzie pobierana przez rośliny. Wymienione czynniki decydują również o stopniu i tempie przemieszczania się herbicydu w profilu glebowym, a tym samym umiejscowienia substancji aktywnej względem systemu korzeniowego.

Warunki meteorologiczne, takie jak wielkość i rozkład w czasie opadów oraz zmiany temperatury wpływają na procesy umiejscowienia w profilu glebowym i dostępności dla roślin pozostałości substancji aktywnych herbicydów, a tym samym decydują o ich fitotoksyczności.

Podatność na rozkład, czyli persystencja substancji aktywnych zależą w znacznym stopniu od właściwości fizykochemicznych tych substancji. Miara ich trwałości w środowisku jest okres połowicznego rozkładu (DT_{50}). W tabeli 3 przedstawiono dane odnoszące się do okresów połowicznego rozkładu związków, które stosowane są w formie preparatów chwastobójczych w uprawie rzepaku.

W ostatnim dziesięcioleciu zaszły zmiany w asortymencie stosowanych środków chwastobójczych. Część z nich została w ciągu ostatniej dekady wycofana z zaleceń herbicydowych. Niemniej jednak w prezentowanym opracowaniu przedstawiono również wyniki badań substancji stosowanych w pierwszej połowie lat 2000–2010, a obecnie już wycofanych z użycia.

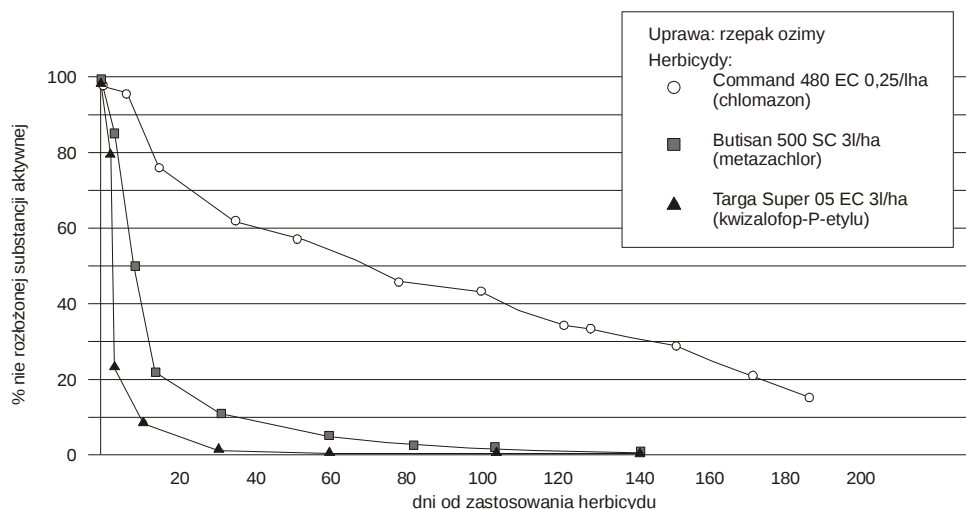
Badania dynamiki rozkładu pozwalają na ocenę zachowania się substancji aktywnej w środowisku glebowym. Wyniki tych badań są niezbędne do określenia trwałości danej substancji w glebie. Prezentowane w tabeli 3 dane podają wartości średnie. Na rysunku 1 przedstawiono przebieg typowych dynamik zanikania w glebie trzech substancji aktywnych (chlomazonu, metazachloru i kwizalofopu-P-etylu). Substancje te charakteryzują się różną podatnością na rozkład, co w konsekwencji przekłada się na

Tabela 3

Okresy połowicznego rozkładu w glebie w warunkach polowych

Substancja aktywna	DT_{50} (dni)
Alachlor	14
Chlomazon	83
Chlopyralid	34
Dimetachlor	7
Fluazifop-P-butylu	1
Karfentrazon etylowy	2
Kwizalofop etylu	60
Kwizalofop-P-etylu	2
Kwizalofop-P-tefurylu	1
Metazachlor	8
Napropamid	70
Propyzamid	47

Źródło: FOOTPRINT project <http://www.eufootprint.org> (2).



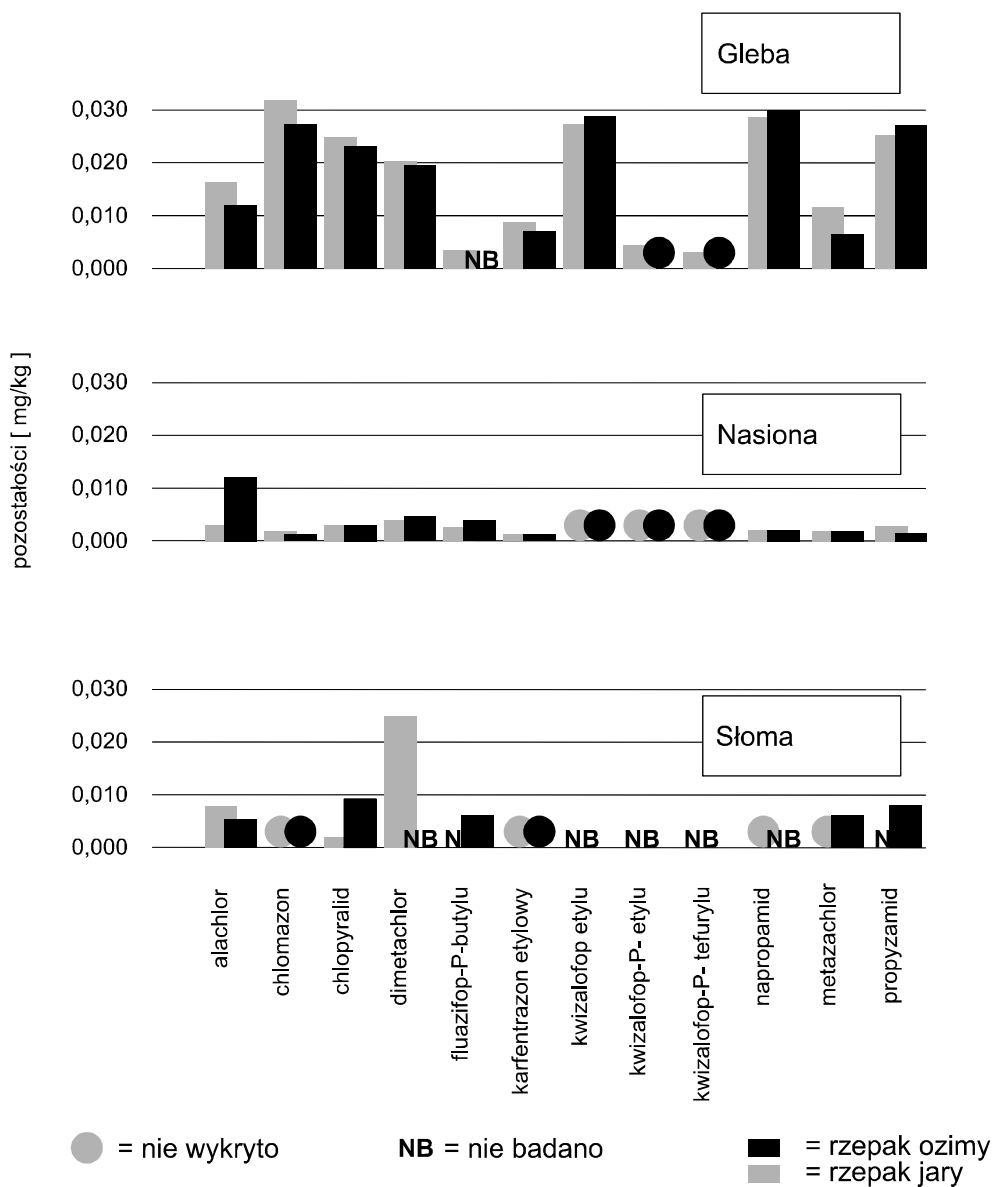
Rys. 1. Przykładowe dynamiki rozkładu w glebie wybranych herbicydów stosowanych do odchwaszczania rzepaku

Źródło: badania własne.

zróznicowany przebieg ich zanikania w glebie. Chlomazon to substancja bardziej trwała od pozostałych i jej rozkład był wyraźnie wolniejszy. Spadek stężenia początkowego w glebie dla tego związku odnotowano po 70 dniach. Pozostałe dwie z badanych substancji rozkładały się wyraźnie szybciej. W przypadku metazachloru spadek stężenia o 50% obserwowano po 12 dniach. Natomiast połowa ilości kwizalofopu-P-etylu ulegała rozkładowi już po 2 dniach. W przypadku tej ostatniej substancji niską trwałość posiada właśnie izomer optyczny, który oprócz szybkiego rozkładu odznacza się pożądanym działaniem fitotoksycznym w stosunku do chwastów. Stosowana wcześniej mieszanina racemiczna obydwu izomerów tego związku ulegała degradacji znacznie wolniej (drugi z izomerów jest w glebie znacznie bardziej trwały), ponadto potrzeba było użycia wyższych dawek dla uzyskania odpowiedniego efektu chwastobójczego. Podobny efekt (szybki rozkład i zachowanie działania chwastobójczego) uzyskano, stosując flauzifop-P-butyli.

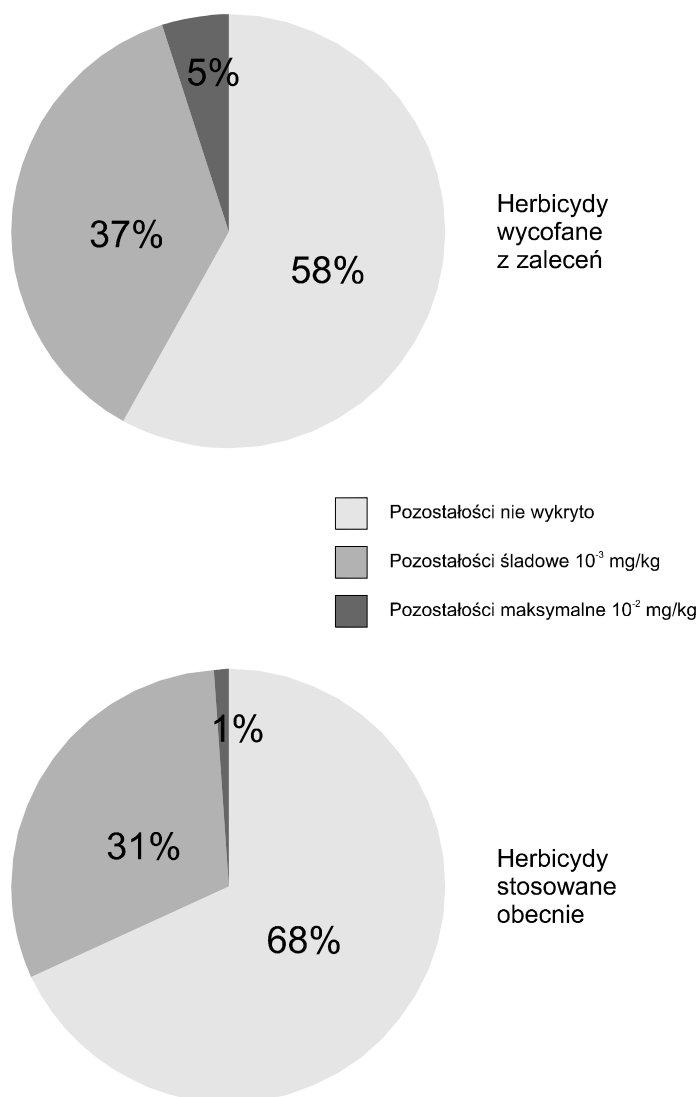
Przebieg dynamik zanikania wskazuje, że w przypadku chlomazonu po około 180 dniach od aplikacji w glebie pozostaje około 20% początkowej ilości tej substancji. Jak wykazano w przeprowadzonych badaniach (13) taki poziom pozostałości może być problemem dla upraw następnych w płodozmianie. Na rysunku 2 przedstawiono maksymalne wykryte w glebie w okresie ostatniej dekady pozostałości substancji aktywnych herbicydów stosowanych w uprawie rzepaków. Jak wynika z prezentowanych danych pozostałości powyżej $0,020 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dawały substancje w większości wycofane już z praktyki rolniczej (kwizalofop etylu, napropamid czy propyzamid). Nie stwierdzono również istotnych różnic pomiędzy maksymalnym poziomem pozostałości w rzepakach ozimych i jarym.

Informacja o maksymalnych pozostałościach wykrytych w glebie na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia jest niepełna. Dopiero podanie częstotliwości występowania



Rys. 2. Maksymalne pozostałości w glebie i plonie herbicydów stosowanych w uprawach rzepaków
Źródło: badania własne.

nia wraz z podziałem na poziomy tych pozostałości daje miarodajny obraz skażenia gleb w uprawach rzepaków. Na rysunku 3 przedstawiono odnośne dane uzyskane na przestrzeni lat 2000–2010. Dodatkowo wprowadzono podział na herbicydy wycofane w tej dekadzie z praktyki i stosowane w chwili obecnej.



Rys. 3. Częstotliwość występowania i poziomy pozostałości herbicydów w glebie z upraw rzepaków jarego i ozimego w latach 2000–2010

Źródło: badania własne.

Z prezentowanych danych wynika, że ponad połowa przypadków to brak pozostałości w glebie (nawet w odniesieniu do herbicydów już wycofanych). Jedynie 5% badanych próbek zawierało pozostałości rzędu 10^{-2} mg $\cdot$ kg $^{-1}$, a obecnie stosowane herbicydy dawały pozostałości na tym poziomie jedynie w przypadku 1% badanych prób.

Mówiąc o pozostałościach w glebie celowo nie prezentowano odrębnych wyników dla upraw rzepaków jarego i ozimego. Pomimo że okresy od aplikacji herbicy-

dów do zbioru rzepaku są różne w przypadku obu tych roślin, to jednak poziom pozostałości oznaczanych w czasie zbioru jest zbliżony. Po jesiennym stosowaniu herbicydów w okresie zimy procesy biologicznej degradacji ulegają zahamowaniu, a dalszy rozkład rusza ponownie dopiero wiosną (3, 4). Stwarzać to może problem dla roślin następnych w przypadku konieczności likwidacji plantacji (np. po wymarznieniu roślin). W takim przypadku rolnik zmuszony jest do uprawy roślin odpornych na substancję aktywną zastosowanego herbicydu. Najczęściej jest to uprawa rzepaku jarego.

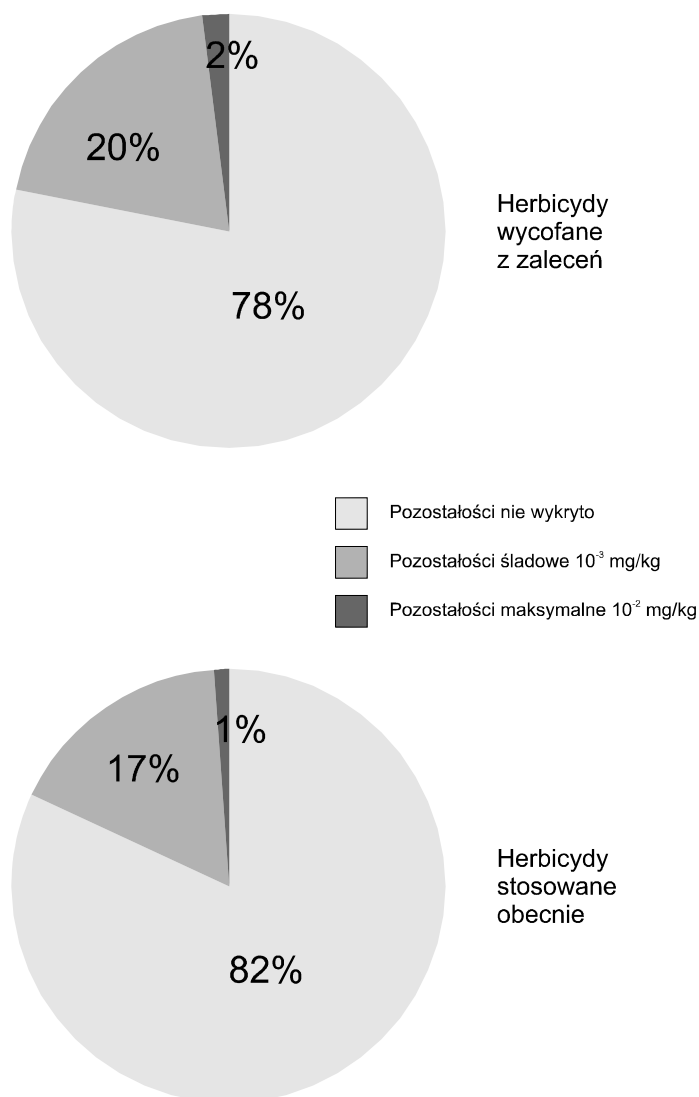
Pozostałości w roślinach rzepaków

Z punktu widzenia konsumenta mówiąc o roślinach mamy na myśli zbierany plon. Konsumenta i odbiorcę interesują głównie ewentualne pozostałości w nasionach rzepaku. Słoma rzepakowa, pomimo że jest składową plonów, jest mniej istotnym elementem. Z tego względu nie przedstawiono dynamiki zanikania herbicydów w roślinach rzepaku, a jedynie wyniki badań pozostałości w nasionach i słomie. Ponadto dopuszczalny poziom pozostałości jest normowany odpowiednimi przepisami (10), określającymi najwyższe dopuszczalne pozostałości (NDP), które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub na ich powierzchni.

Podobnie jak dla gleby na rysunku 2 przedstawiono maksymalne wykryte pozostałości herbicydów na przestrzeni lat 2000–2010 w nasionach i słomie rzepaków. Poza alachlorem, którego pozostałości maksymalne nieznacznie przekraczały $0,01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ wszystkie pozostałe z oznaczanych substancji niezależnie czy analizowane były nasiona rzepaków jarego, czy ozimego występowały w ilościach nieprzekraczających $0,01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Dopuszczalny poziom pozostałości jest dziesięciokrotnie wyższy i wynosi $0,10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Taki rezultat jest dowodem na efektywne wprowadzanie zasad rolnictwa zrównoważonego i znaczącą poprawę w dziedzinie technik chemicznej ochrony roślin.

Analiza uzyskanych na przestrzeni lat 2000–2010 wyników wskazuje, że 78%, a w przypadku herbicydów stosowanych obecnie nawet 82% próbek nasion rzepaków nie zawiera wykrywalnych pozostałości (rys. 4). Pozostałości śladowe (na poziomie $10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) herbicydów już wycofanych wykryto w 20% próbek, a stosowanych obecnie w 17% prób. Pozostałości maksymalne (rzędu $10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) zawarte były w 2% prób herbicydów wycofanych starszej generacji i w 1% prób w przypadku herbicydów stosowanych obecnie.

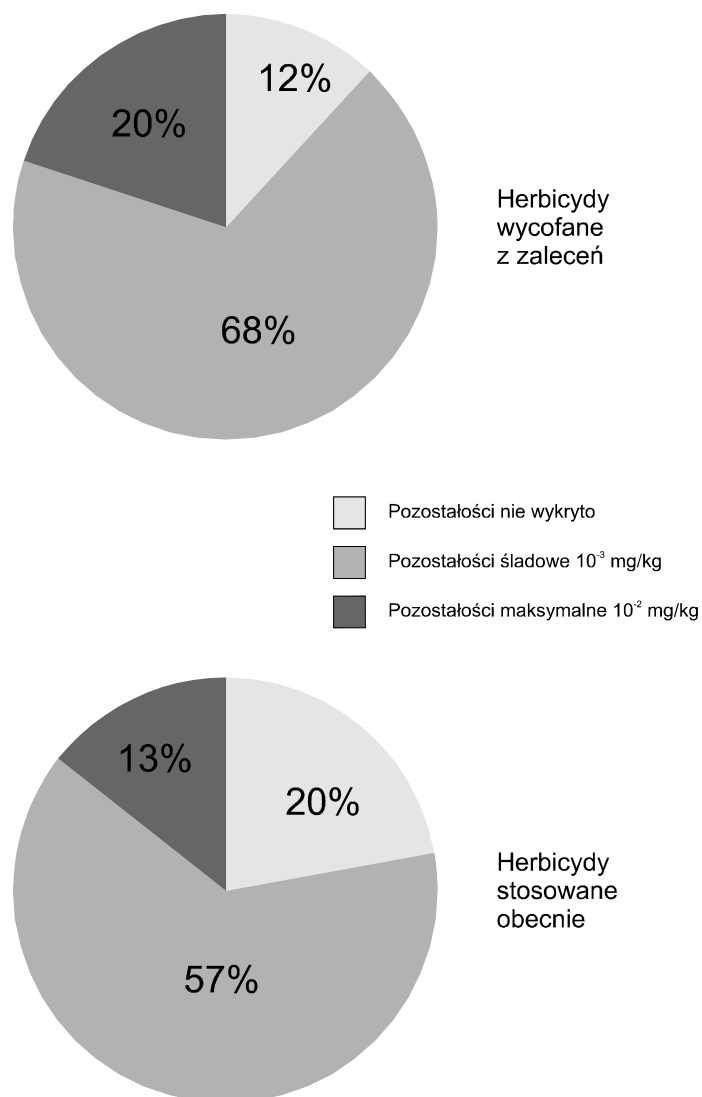
W słomie rzepakowej (rys. 2) jedynie w przypadku rzepaku jarego wykryto pozostałości dimetachloru nieco ponad $0,02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. W pozostałych badanych próbkach pozostałości nie wykryto lub nie przekraczały one wartości $0,01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nie stwierdzono również istotnych różnic pomiędzy słomą rzepaku jarego i ozimego. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że 12% prób słomy nie zawierało wykrywalnych pozostałości (w przypadku gdy stosowano preparaty obecnie już wycofane). Odsetek ten był wyższy i wynosił 20% dla zalecanych obecnie substancji aktywnych (rys. 5).



Rys. 4. Częstotliwość występowania i poziomy pozostałości herbicydów w nasionach rzepaków jarego i ozimego w latach 2000–2010

Źródło: badania własne.

Pozostałości na poziomie śladowym (rzędu 10^{-3} mg $\cdot$ kg $^{-1}$) stwierdzono w 68% prób dla herbicydów już wycofanych, a w 57% przebadanych prób słomy wykryto ślady substancji aktywnych stosowanych obecnie. Pozostałości rzędu 10^{-2} mg $\cdot$ kg $^{-1}$ wykryto w 20% przypadków dla substancji już niestosowanych i w 13% dla herbicydów zalecanych obecnie.



Rys. 5. Częstość występowania i poziomy pozostałości herbicydów w słomie rzepaków jarego i ozimego w latach 2000–2010

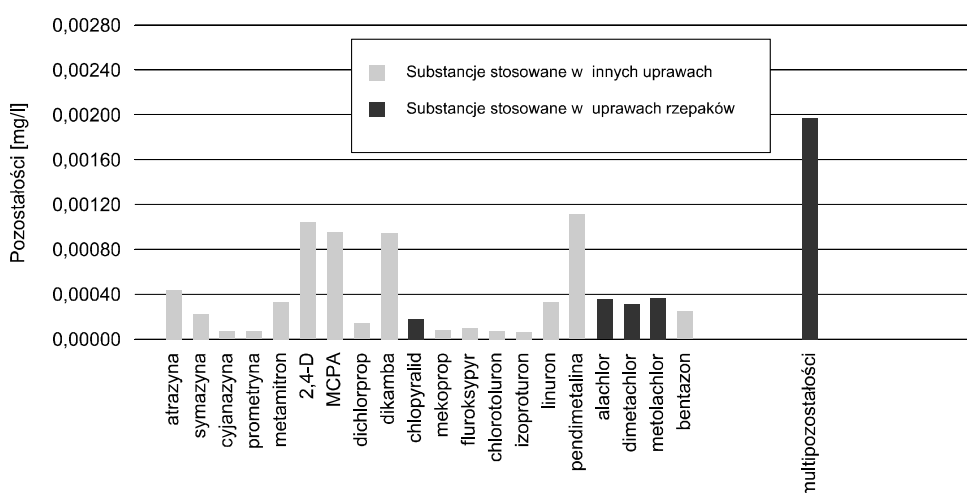
Źródło: badania własne.

Pozostałości herbicydów stosowanych w rzepakach w wodach na terenach rolniczych

Szacując ryzyko zanieczyszczenia wód środkami ochrony roślin, należy pamiętać, że znacznie bardziej niż wody gruntowe na zanieczyszczenia narażone są wody otwarte. Herbicydy mogą się tam dostawać wskutek spłukiwania cząsteczek gleby ze skłonów, a przede wszystkim jako wynik nieprawidłowości w czasie wykonywania opry-

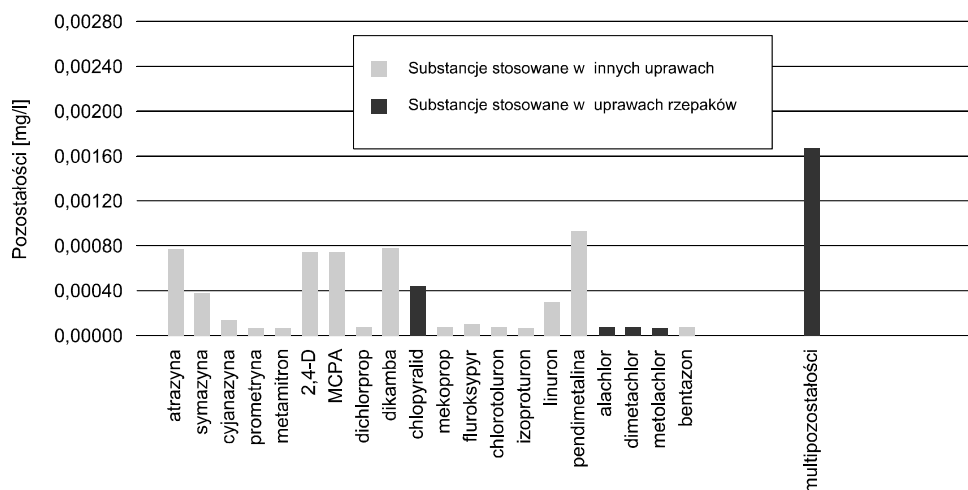
sków (znoszenie cieczy opryskowej, wylanie resztek cieczy roboczej, mycie opryskiwaczy itp.). Przenikanie agrochemikaliów do wód podziemnych powiązane jest między innymi z warunkami geologicznymi, konfiguracją terenu, wielkością i rozłożeniem w czasie opadów atmosferycznych. Wyniki uzyskane w toku dotychczasowych badań (15, 16) wskazują na tendencję spadkową występowania pozostałości pochodnych triazyn, a wzrost zanieczyszczeń wód pozostałościami pochodnych kwasów fenoksyalkanokarboksylowych. Obserwowane zjawiska skłaniają do prowadzenia dalszych badań pod kątem poszukiwania powiązań ochrony roślin na danym terenie, a zwłaszcza asortymentu stosowanych herbicydów, w tym stosowanych w uprawach rzepaków, a poziomem skażenia wód. W tym celu rozszerzona została lista monitorowanych substancji aktywnych o takie związki, jak chlopyralid, pendimetalina oraz pochodne chloroacetamidów, które ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne oraz trwałość w środowisku mogą przenikać do wód podziemnych. Związane jest to również ze zmianami w asortymencie stosowanych środków chwastobójczych i wycofaniem niektórych substancji aktywnych z listy dopuszczonych do stosowania.

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono maksymalne wykryte w latach 2006–2010 w wodach powierzchniowych i studziennych pozostałości substancji aktywnych herbicydów stosowanych w uprawach rzepaku. Prezentowane wyniki pokazują, że preparaty chwastobójcze stosowane na plantacjach rzepaku dają również wykrywalne pozostałości w wodach powierzchniowych i podziemnych. W próbkach wód pozostałości wykrywano głównie w okresie wiosennych zabiegów herbicydowych. W porównaniu z wodami powierzchniowymi w wodach gruntowych nie obserwowano znaczącej sezonowości (wiosna-jesień) zróżnicowania częstotliwości i poziomu występowania zanieczyszczeń herbicydowych. Spośród stosowanych do ochrony rzepaku związków



Rys. 6. Maksymalne pozostałości herbicydów w latach 2006–2010 w wodach powierzchniowych terenów rolniczych Dolnego Śląska

Źródło: badania własne.



Rys. 7. Maksymalne pozostałości herbicydów w latach 2006–2010 w wodach studziennych terenów rolniczych Dolnego Śląska

Źródło: badania własne.

ków stwierdzono obecność takich substancji, jak: chlopyralid, alachlor, dimetachlor i metolachlor. Substancje te są również składową tak zwanych multipozostałości, jednak na tle innych, np. stosowanych w zbożach, nie odznaczają się nadmiernym poziomem pozostałości. Oceny wielkości wykrywanych pozostałości herbicydowych w wodach gruntowych dokonano, porównując uzyskane wyniki do norm europejskich określających dopuszczalny poziom skażeń w wodzie pitnej (11). Dyrektywa UE określa jako dopuszczalny poziom pozostałości $0,0001 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ dla pojedynczej substancji i $0,0005 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ pozostałości sumarycznych lub stosowane do celów statystyki urzędowej wskaźniki syntetyczne określające w $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ średni stopień zanieczyszczenia wód. W roku 2010 wskaźnik ten wyniósł $0,32 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ dla wód powierzchniowych i $0,24 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ dla wód gruntowych. W ostatnim pięcioleciu odnotowywano stały spadek wielkości multipozostałości herbicydowych, jak również obniżenie wykrywanych stężeń pojedynczych substancji. Jedną z przyczyn było nasilenie ekstremalnych opadów atmosferycznych, które powodowały znaczne rozcieńczenia zanieczyszczeń występujących w wodach powierzchniowych i gruntowych.

Należy również pamiętać, że maksymalny poziom pozostałości dotyczy z reguły przypadków incydentalnych i odnosi się do znikomego odsetka badanych prób (na poziomie 1%). Niemniej jednak grupa herbicydów stosowanych w uprawach rzepaków ze względu na ciągły wzrost ich arealu może stanowić w przyszłości rosnące źródło zanieczyszczeń wód na terenach rolniczych. Z tego względu redukowanie dawek herbicydów i stała poprawa techniki i precyzji zabiegów chemicznej ochrony roślin jest podstawowym wymogiem nowoczesnego rolnictwa.

Uszkodzenia herbicydowe upraw rzepaków

Lista czynników mających wpływ na prawidłowe i bezpieczne stosowanie herbicydów jest dość obszerna. Różny jest też ich „ciężar gatunkowy”. W praktyce może wystąpić działanie kilku czynników równocześnie. Wymienione przyczyny, które mogą spowodować uszkodzenie upraw bądź zanieczyszczenie środowiska mają miejsce na całym świecie, niezależnie od stopnia rozwoju agrotechniki w poszczególnych krajach. Istotne różnice dotyczą skali i częstotliwości występowania niekorzystnych zjawisk.

Ekspertyzy i konsultacje przeprowadzane od wielu lat przez Zakład (12, 14) w sprawach dotyczących tej dziedziny ochrony roślin posłużyły jako materiał do oceny przyczyn uszkodzeń upraw i stanu kultury stosowania herbicydów w Polsce. Analiza przyczyn uszkodzeń bądź zniszczenia roślinności pozwoliła na wyodrębnienie przypadków, w których czynnikiem sprawczym były herbicydy. Zebrany materiał wskazuje, że w około 90% przypadków uszkodzenia roślin można powiązać ze stosowaniem herbicydów. Nie oznacza to, że sam herbicyd jest odpowiedzialny za powstałe szkody.

Z reguły przyczyną jest nieprawidłowe zastosowanie herbicydu lub błędy w jego aplikacji. Wymienione na wstępie czynniki decydujące o wystąpieniu szkód w uprawach związane są głównie z zaniechaniem stosowania zasad dobrej praktyki w chemicznym zwalczaniu chwastów.

W uprawach rzepaków odnotowywano również przypadki uszkodzeń plantacji z powodów wyżej wymienionych. Na przestrzeni lat 2000–2010 obserwowano jednak zachodzące zmiany w tej mierze. Przyczyn tych zmian jest kilka. Wzrost arealu upraw rzepaków sprawia, że prawdopodobieństwo niekorzystnych zjawisk w tych uprawach wzrasta. Zmiany w asortymencie herbicydów stosowanych w roślinach uprawianych przed rzepakami lub na sąsiednich plantacjach były przyczyną powstawania różnych uszkodzeń fitotoksycznych. Jeszcze w pierwszej połowie lat 2000–2010 dominowały w uprawach zbóż substancje pochodne kwasów fenoksyalkanokarboksylowych, w konsekwencji ta grupa substancji aktywnych była diagnozowana w sprawach związanych z uszkodzeniami upraw rzepaków. Obok tej grupy związków, jako przyczynę uszkodzeń dość często wskazywano fluorochloridon. Większość przypadków powodowana była znoszeniem cieczy opryskowej.

W drugiej połowie dekady 2001–2010 zaobserwowano wzrost przypadków fitotoksycznych uszkodzeń rzepaków przez pochodne sulfonilomocznika. Ta grupa substancji aktywnych zaczyna być dominująca w takich uprawach, jak kukurydza oraz znajduje coraz szersze zastosowanie w odchwaszczaniu zbóż. Pochodne sulfonilomocznika działają bowiem już w śladowych ilościach (17). Te zmiany przekładają się również na mechanizm powstawania uszkodzeń. Obecnie znacznie częściej stwierdza się działanie następce herbicydów, a także zanieczyszczenia zbiornika opryskiwacza w wyniku niestaranego umycia po wcześniejszym zabiegu. Wiosenny termin zabiegów chwastobójczych w zbożach zbiega się często z terminami oprysków w innych uprawach. Powoduje to, że ta sama aparatura jest w krótkim odstępie czasu

wykorzystywana w różnych uprawach. Daje się zaobserwować wyraźny spadek liczby przypadków, w których uszkodzenia roślin związane są ze stosowaniem preparatów z grupy pochodnych triazynowych i fenylo-mocznikowych. Wynika to głównie z faktu ograniczeń w stosowaniu tych grup substancji aktywnych, a zastępowania ich innymi preparatami.

Należy dodać, że przypadki uszkodzenia upraw, choć odnotowywane, nie są zjawiskiem masowym. W chwili obecnej do Zakładu Herbologii i Technik Uprawy Roli dociera rocznie około 30-40 takich sygnałów, a wykonania badań eksperckich wymaga rocznie kilka spraw. Pomimo że nie jest to zjawisko masowe, to jednak sygnały o takich przypadkach docierają z terenu całego kraju i świadczą o konieczności korekt lub uzupełnień w zaleceniach stosowania herbicydów, a także o celowości działań edukacyjnych.

Wnioski

Zabrany na przestrzeni lat 2000–2010 materiał z wykonanych badań pozwala na ocenę poziomu zanieczyszczeń herbicydowych jakie wnoszone są do środowiska i plonu w wyniku chemicznego odchwaszczania upraw rzepaków.

1. Wzrost częstotliwości wykrywania w glebie i wodach na terenach rolniczych śladowych ilości herbicydów stosowanych w uprawach rzepaku jest wynikiem zwiększenia ich uprawy.

2. Substancje aktywne herbicydów stosowanych w zalecanych dawkach w uprawie rzepaków jarego i ozimego ulegają degradacji do ilości śladowych niestwarzających istotnego ryzyka dla upraw następnych.

3. Przypadki nadmiernych pozostałości w glebie dotyczyły głównie herbicydów już wycofanych z praktyki i zdarzały się incydentalnie.

4. Zdecydowana większość nasion rzepaku (78-82% badanych prób) nie zawierała wykrywalnych pozostałości.

5. W słomie rzepakowej w ponad 70% prób poziom pozostałości nie przekraczał wartości $0,004 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a pozostałości rzędu $0,024 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ wykryto w 18% prób, przy czym maksymalna wartość dotyczyła głównie chlopyralidu.

6. W wodach powierzchniowych i podziemnych wykrywane są śladowe ilości herbicydów stosowanych do odchwaszczania rzepaków. Stwierdzone stężenia nie przekraczają norm i uznawane są za dopuszczalne dla ujęć wody pitnej. W zdecydowanej większości (ponad 95% badanych prób) pozostałości tej grupy herbicydów nie są wykrywane.

Literatura

1. Cserháti T., Forgács E., Deyl Z., Miksik I., Eckhardt A.: Chromatographic determination of herbicide residues in various matrices. *Biomed. Chromatogr.*, 2004, **18**: 350-359.
2. FOOTPRINT project <http://www.euf footprint.org>
3. Kucharski M., Sadowski J.: Herbicide application – influence on soil environment and residues. *Plant Prod.*, 2003, **96**: 272-276.

4. Kucharski M., Sadowski J., Domaradzki K.: Pozostałości herbicydów w glebie i materiale roślinnym zależnie od techniki i terminu ich stosowania. Mat. IX Konf. Nauk. IUNG „Efektywne i bezpieczne technologie produkcji roślinnej”. IUNG Puławy, 2005, 193-195.
5. Kucharski M., Sadowski J., Michnik A.: Wielopozostałościowa metoda oznaczania herbicydów z grupy chloroacetanilidów. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2010, **50(4)**: 1910-1913.
6. Polska Norma – PN-R-04109: Materiał roślinny i gleba. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – chlopyralid. Wyd Norm., Warszawa, 1994.
7. Polska Norma – PN-94/R-04114 Gleba i materiał roślinny. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna - napropamid. Wyd Norm., Warszawa, 1994.
8. Polska Norma – PN-94/R-04117 Gleba i materiał roślinny. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna - propyzamid. Wyd Norm., Warszawa, 1994.
9. Polska Norma – PN-93/R-04104 Gleba i materiał roślinny. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – chlomezone. Wyd Norm., Warszawa, 1994.
10. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 16 maja 2007 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości pestycydów, które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub na ich powierzchni (Dz. U. 2007, nr 119, poz. 817 z późn. zm.)
11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. (Dz. U. Nr 72, poz. 466 z późniejszymi zmianami). Uwzględnia przepisy Dyrektywy Rady Unii Europejskiej 98/83/WE.
12. Sadowski J., Kucharski M., Rola H.: Nieprawidłowości w technice zabiegów herbicydowych i ich skutki. Recenzowane Materiały IX Międzynarodowego Sympozjum – „Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej”, IBMER Warszawa, 2002, 321-328.
13. Sadowski J., Kucharski M., Sekutowski T.: Ocena zagrożeń upraw następczych przez pozostałości wybranych herbicydów stosowanych w uprawach rzepaku. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2007, **47(3)**: 246-253.
14. Sadowski J., Kucharski M.: Skutki niewłaściwego, w tym celowego stosowania herbicydów. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2005, **45(1)**: 429-434.
15. Sadowski J., Kucharski M.: Monitoring pozostałości herbicydów stosowanych w uprawie zbóż w wodach na terenach rolniczych. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2006, **46**: 520-526.
16. Sadowski J., Kucharski M.: Monitorowanie stanu zanieczyszczeń herbicydowych w wodach powierzchniowych i gruntowych na terenach rolniczych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **8**: 87-98.
17. Sadowski J., Sekutowski T.: Ocena ryzyka fitotoksycznego działania pozostałości herbicydów na uprawy następcze. Ekotoksykologia w ochronie środowiska. Wyd. PZITS, 2008, 349-354.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jerzy Sadowski
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363 87 07 wew. 105
e-mail: j.sadowski@iung.wroclaw.pl

Tomasz R. Sekutowski

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

STANDARDOWE ORAZ ALTERNATYWNE TESTY ROŚLINNE JAKO CENNE NARZĘDZIA W BADANIACH EKOTOKSYKOLOGICZNYCH*

*...nauka prowadzi nas do zrozumienia tego, jaki jest świat, a nie tego,
jaki chcielibyśmy, by był...*
Carl Edward Sagan (1934–1996)

Wstęp

Nadmierna chemizacja środowiska rolniczego, spowodowana stosowaniem przez rolników często w sposób niekontrolowany środków ochrony roślin, doprowadziła do pojawienia się niepokojących zjawisk. Jednym z nich jest coraz częściej obserwowany problem związany z przedostawaniem się do gleby, osadów, wód gruntowych oraz produktów spożywczych pozostałości pochodzących ze środków ochrony roślin (17, 18, 36, 38, 39, 40).

Każda substancja chemiczna, która dostaje się do środowiska glebowego podlega zarówno procesom biofizycznym, jak i biochemicznym. W momencie przedostania się do gleby następuje jej rozdzielenie na fazę stałą oraz wodną. Nie inaczej jest z substancjami aktywnymi herbicydów. W środowisku glebowym dla rośliny dostępna jest jedynie ta część substancji aktywnej, która znajduje się w fazie ciekłej. Natomiast cząsteczki herbicydu zaadsorbowane lub związane chemicznie z fazą stałą tworzą tzw. pozostałości związane (ang. bond residue), które nie są w tym momencie dla rośliny dostępne. Jednak w wyniku zjawiska desorpcji pozostałości te mogą być uwalniane z fazy stałej do fazy ciekłej lub gazowej. Równowaga pomiędzy zjawiskiem sorpcji i desorpcji jest stale zakłócana, występuje tutaj tzw. zjawisko histerezy, świadczące o nierównocенności tych dwóch procesów. Efekty tego zjawiska bardzo dobrze są widoczne w warunkach polowych, gdzie równowaga ta jest stale zakłócana w wyniku działalności edafonu (drobnych organizmów roślinnych i zwierzęcych, żyjących w warstwie ornej gleby, których obecność wpływa na strukturę i żyzność gleby) oraz poprzez zmiany warunków wilgotnościowo-termicznych gleby (24 32, 35, 58, 63).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

W zależności od zawartości koloidów glebowych (frakcja ilasta), substancji organicznej, zastosowanej agrotechniki oraz warunków wilgościowo-termicznych panujących w danym sezonie wegetacyjnym tylko część pozostałości herbicydów znajdujących się w glebie może być dostępna dla roślin. W zależności od warunków mogą one wykazywać mniejszą lub większą fitotoksyczność niż produkt wyjściowy w odniesieniu do roślin wrażliwych (wskaźnikowych); (5, 37, 41, 64, 66, 67).

Przy wyborze techniki detekcji za najważniejsze kryterium oceny uważa się poziom stężenia pozostałości, w jakim występuje badana substancja w próbce gleby. Metody instrumentalne, takie jak chromatografia gazowa (GC) z detektorem masowym oraz cieczowa (HPLC) z detektorem spektrofotometrycznym (UV) pozwalają na oznaczenie całkowitej zawartości substancji w glebie w momencie aplikacji lub w okresie po zastosowaniu herbicydów (1, 22, 26, 35, 36). Problem pojawia się wtedy, kiedy herbicyd jest stosowany jedno- lub kilkakrotnie w sezonie wegetacyjnym w niewielkich dawkach podstawowych lub zredukowanych ($<50 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$), ponieważ już w momencie aplikacji poziom pozostałości substancji aktywnej herbicydu jest niewielki i nie przekracza wartości $10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (19, 27, 37, 49, 50, 56, 59).

Metody chemiczne do oceny stopnia pozostałości herbicydów w agrocenozie mogą być z dużym powodzeniem uzupełniane przez badania ekotoksykologiczne. W badaniach tych poziom pozostałości herbicydów ocenia się na podstawie specyficznej całościowej reakcji standardowych organizmów wskaźnikowych na zróżnicowaną pod względem chemicznym substancję aktywną oraz na poziom jej stężenia w badanej próbce. W tego rodzaju badaniach stosuje się metodę biotestu z wykorzystaniem np. biodetektora roślinnego. Metody te mają za zadanie określenie efektywnego biologicznego stężenia substancji aktywnej zaraz po aplikacji, jak również śledzenie dynamiki zanikania tej substancji w środowisku w perspektywie kolejnych kilku czy kilkunastu miesięcy. Biotesty pozwalają również ocenić w sposób obiektywny poziom pozostałości ze względu na fakt posiadania przez wszystkie rośliny wyżej swojej wrażliwości na różne ksenobiotyki znajdujące się w środowisku. Fitotoksyczny wpływ substancji chemicznych można stwierdzić na podstawie dynamiki kiełkowania, wzrostu siewek, redukcji suchej i świeżej masy korzeni lub koleoptyla roślin testowych. Na podstawie niektórych parametrów, takich jak np. obniżenie zdolności kiełkowania, można określić fitotoksyczny wpływ badanej substancji już po upływie około 24 h od momentu rozpoczęcia testu. Natomiast dynamikę wzrostu korzeni po 2-3 dniach, podczas gdy redukcję świeżej i suchej masy łodyg oraz liści po upływie około 10-14 dni (4, 9, 10, 12, 16, 37, 45, 46, 48, 49, 52, 54, 56, 57).

Metody wykorzystywane w badaniach środowiskowych

Metody analityczne wykorzystujące materiał biologiczny stają się powoli konkurencją dla klasycznych metod analitycznych, a w niektórych przypadkach mogą wręcz je zastąpić (20). Powszechne zastosowanie zawdzięczają głównie swojej specyficzności oraz niskim kosztom jednostkowym.

Gadzała - Kopicuch i in. (14) w badaniach toksykologicznych wyróżniają dwie grupy zastosowań metod biologicznych w ocenie wpływu ksenobiotyków na agrocenozę:

- bioanalityka, która związana jest z wykorzystaniem organizmów biologicznych jako receptorów określonych substancji chemicznych, np. herbicydów. Ze względu na sposób wykorzystania składnika biologicznego wyróżniamy:
 - bioczujniki, których elementem aktywnym jest część biologiczna (np. enzym, przeciwciała – test ELISA, IMA, RIA, EIA); (21, 25, 31, 61),
 - biotesty (fitotesty), których elementem kontrolno-pomiarowym jest cały organizm roślinny lub jego część (np. nasiona, korzenie, koleoptyl); (19, 20, 52, 65).
- biomonitoring, który może przebiegać dwutorowo:
 - poprzez tworzenie pasywnych próbników akumulacyjnych w oparciu o typowe badania chemiczne próbek biologicznych (9, 62),
 - poprzez obserwację bioindykatorów roślinnych czy zwierzęcych (2, 13).

Biotesty

Biotest (gr. *bios* – życie + łac. *testari* – świadczyć) można zdefiniować jako eksperymentalną próbkę biologiczną (cały organizm lub jego część), której celem jest wykrycie toksycznej substancji znajdującej się w środowisku lub poznanie jej szkodliwego działania poprzez ilościowe oznaczenie wpływu badanej substancji w porównaniu z obiektem kontrolnym (niepoddanym działaniu ksenobiotyków).

W literaturze spotyka się również pojęcie fitotesu (gr. *phyton* – roślina + łac. *testari* – świadczyć), które jest zawężeniem pojęcia biotestu, gdyż odnosi się tylko do roślin jako biodekretów służących do wykrywania różnych związków chemicznych.

W badaniach prowadzonych z użyciem biotestów powszechnie uznawane są trzy sposoby ich przeprowadzania, dwa prowadzone są w warunkach kontrolowanych, natomiast trzeci sposób przeprowadzany jest z wykorzystaniem populacji organizmów żyjących w warunkach naturalnych.

- testy fitotoksyczności wykonywane w laboratorium – substancja wykazująca działanie fitotoksyczne wprowadzana jest sztucznie do badanego obiektu (np. gleby). Następnie zostaje wykonany test z odpowiednio dobranym organizmem wskaźnikowym, np. roślinnym (fitotest). Uzyskane w ten sposób wyniki są źródłem informacji na temat toksyczności danej substancji w warunkach kontrolowanych. Głównym celem takiego testu jest przeprowadzenie wzorcowania (kalibracji) biotestu, który następnie będzie wykorzystany do oszacowania fitotoksyczności próbek właściwych (np. pobranych z obszarów zanieczyszczonych); (51).

- testy fitotoksyczności wykonywane w laboratorium na bazie próbek właściwych (np. glebowych) pobranych z obszarów zanieczyszczonych. Fitotoksyczność takich próbek jest porównywana z fitotoksycznością próbek (biotestów) wzorcowych. Na tej podstawie ustala się przedział, w którym pozostałości, np. herbicydów, mogą wywierać niekorzystny wpływ na rośliny uprawne (np. następcze); (15, 42, 43).

- testy fitotoksyczności przeprowadzane w miejscu występowania populacji organizmów wrażliwych (warunki naturalnego występowania); (23, 28).

W ekotoksykologii do badań pozostałości różnych ksenobiotyków (np. herbicydów) najczęściej wykorzystywane są rośliny i ich nasiona, ze względu na specyfikę działania badanych preparatów oraz ze względu na aspekt humanitarny, ekonomiczny i praktyczny.

Na podstawie zależności dawka a jej wpływ na roślinę, który może być wyrażony np. redukcją świeżej lub suchej masy rośliny testowej (w porównaniu z obiektem kontrolnym), można wyznaczyć wartości wskaźników będących ilościową miarą fitotoksyczności badanej substancji. Fitotoksyczne oddziaływanie substancji aktywnych herbicydów można określić przy użyciu wskaźników ED_{10} , ED_{50} czy ED_{90} (ang. effective dose), czyli wyznaczenia stężenia substancji aktywnej w wysokości 10%, 50% czy 90% powodującej określoną reakcję rośliny. Innym stosowanym wskaźnikiem jest index IC_{50} lub IC_{90} (ang. inhibitor concentration), czyli stężenie np. herbicydu w środowisku glebowym, które powoduje redukcję świeżej lub suchej masy rośliny testowej (korzeni, łodyg, liści) o 50% lub 90% w porównaniu z obiektem kontrolnym (45, 47, 55).

Zależność dawka – reakcja rośliny może również służyć przewidywaniu ryzyka, tzn. wyznaczeniu dawki i czasu zalegania pozostałości substancji aktywnej herbicydu, przy której prawdopodobieństwo wystąpienia objawów szkodliwego wpływu badanych substancji jest odpowiednio duże lub niewielkie. Przykładem ukazującym tę zależność są badania przeprowadzone przez S a d o w s k i e g o i n. (42) oraz S a d o w s k i e g o i S e k u t o w s k i e g o (43), odnoszące się do fitotoksycznego działania pozostałości substancji aktywnych herbicydów na rośliny następce. Autorzy ci za pomocą biotestów dowiedli, że pozostałości herbicydów w glebie mogą stwarzać zagrożenie dla upraw następnych w dwu krytycznych momentach. Pierwszy odnosi się do przesiewów, czyli sytuacji, kiedy to z różnych przyczyn, najczęściej niezależnych od plantatora, następuje likwidacja plantacji i wprowadzenie następnej rośliny uprawnej. Natomiast drugi moment odnosi się do pozostałości zalegających w glebie i wykazujących fitotoksyczne działanie tuż po zbiorze rośliny uprawnej lub nawet jeszcze przez kilka kolejnych miesięcy. Na polach, na których był stosowany chlorosulfuron i metasulfuron obserwowano podobne zjawisko w postaci rozległego zniszczenia zasiewów buraka cukrowego i rzepaku ozimego występujące w okresie kolejnych 2 lat (59, 60). Obserwowanie szkodliwego wpływu tych substancji było możliwe tylko dlatego, że rośliny uprawne, tj. burak cukrowy i rzepak ozimy, odznaczają się bardzo dużą wrażliwością na herbicydy z grupy ALS. Gatunki roślin o wąskim zakresie tolerancji (stenobionty) wykazujące dużą wrażliwość na określone grupy substancji określa się jako gatunki wskaźnikowe lub bioindykatory. Stąd biotesty bardzo często wykorzystywane są w biomonitoringu do oceny skutków jakie ksenobiotyki mogą wywierać na poszczególne elementy agrofitocenozy (np. roślinę uprawną, glebę czy wodę); (6, 9).

Jakie kryteria powinien spełniać bioindykator roślinny

Gatunki roślin wskaźnikowych powinny charakteryzować się wąskim zakresem reakcji oraz wykazywać wysoką wrażliwość na konkretne substancje chemiczne, a ich reakcja powinna być specyficzna i adekwatna do stężenia substancji chemicznej i łatwa do zaobserwowania (np. silne zahamowanie wzrostu korzeni).

Bioindykatory roślinne (fitotesty) powinny posiadać następujące cechy:

- małe i równe nasiona,
- wyrównaną siłę i energię kiełkowania nasion,
- krótki okres wschodów (24-48 h),
- krótki okres wegetacji,
- dużą biomasę łodyg, liści i korzeni,
- wysoką czułość względem określonej grupy substancji,
- stałość i powtarzalność reakcji,
- niski koszt jednostkowy i łatwość w hodowli laboratoryjnej (10, 49, 53).

Biotesty I generacji – klasyczne (kuwetowe, doniczkowe)

Konwencjonalny biotest, który służy do wykrywania obecności substancji aktywnych herbicydów w glebie polega na wysianiu nasion rośliny testowej (odpowiednio wrażliwej na pojedynczą substancję lub grupę substancji) w badaną próbkę glebową. Czas trwania biotestu konwencjonalnego zależy w dużej mierze od rośliny testowej, a właściwie testowanej części bioindykatora (korzenie, liście) i substancji aktywnej herbicydu, i może wahać się od 7 do 14 dni (test doniczkowy); (fot. 1-2) lub od 21 do 28 dni (test kuwetowy); (fot. 3). Po okresie 7-14 lub 21-28 dni od momentu założenia testu określa się świeżą, a później suchą masę korzeni lub liści i łodyg (poprzez ścięcie i wysuszenie w temperaturze 105°C oraz zważenie na wadze analitycznej). Następnie oblicza się procentowy ubytek świeżej i suchej masy w stosunku do roślin kontrolnych, a otrzymane w ten sposób wyniki zależności pomiędzy ubytkiem masy rośliny testowej a stężeniem substancji aktywnej herbicydu w glebie mogą posłużyć do graficznego przedstawienia tej zależności. Przykładem wykorzystania biotestów klasycznych mogą być badania przeprowadzone przez D o m a r a d z k i e g o i in. (11), R o l e i S e k u t o w s k i e g o (33), S a d o w s k i e g o i S e k u t o w s k i e g o (44) oraz S e k u t o w s k i e g o i S a d o w s k i e g o (49).

Biotesty II generacji – mikrobiotest Phytotoxkit

Konieczność wykonywania analiz wielu próbek glebowych w stosunkowo krótkim czasie doprowadziła do pojawienia się zminiaturyzowanych testów fitotoksyczności zwanych mikrobiotestami lub testami drugiej generacji, jako alternatywa dla testów klasycznych. Przykładem takiego mikrobiotestu jest szybki (72 h) test Phytotoxkit™ (8, 30, 51, 52). Zasada działania tego fitotestu oparta jest na kiełkujących nasionach *Sorghum saccharatum*, *Lepidium sativum* i *Sinapis alba*, które w wyniku kontaktu

roślina testowa: *Pisum sativum*roślina testowa: *Cucumis sativus*

Fot. 1. Klasyczny biotest I generacji (doniczkowy) – wyznaczanie progów fitotoksyczności

roślina testowa: *Fagopyrum esculentum*roślina testowa: *Sinapis alba*

Fot. 2. Klasyczny biotest I generacji (doniczkowy) – wyznaczanie dynamiki rozkładu



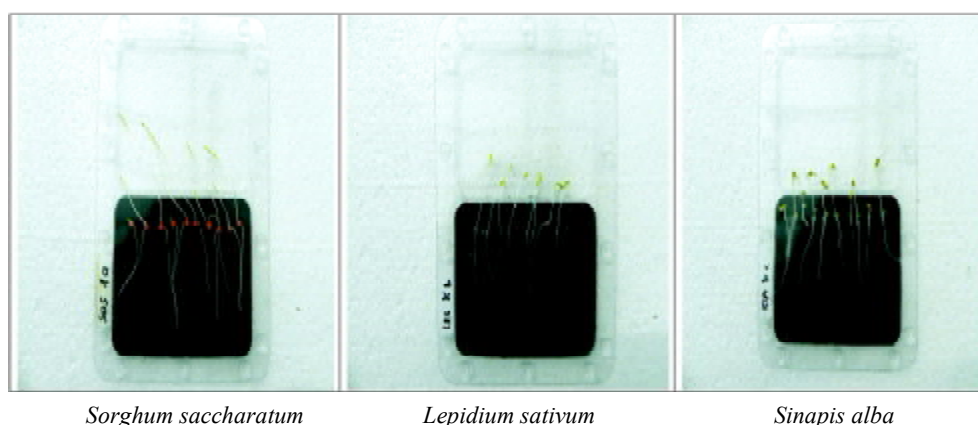
kontrola

pendimetalina (100% dawki)

pendimetalina (50% dawki)

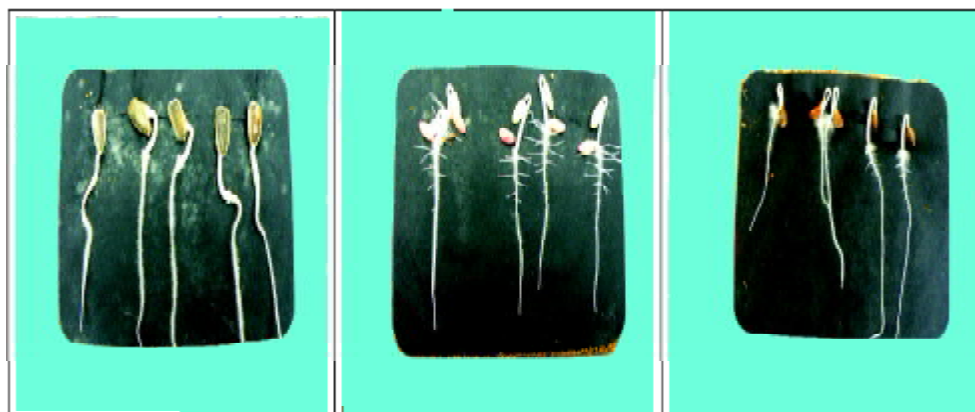
Fot. 3. Klasyczny biotest I generacji (kuwetowy) – wyznaczanie progu wrażliwości

z badaną substancją aktywną herbicydu znajdującą się w glebie wykazują specyficzną reakcję (brak kiełkowania lub redukcja długości korzeni). Wykorzystanie zalecanych nasion (dostarczonych wraz z testem) umożliwia standaryzację testu i otrzymanie powtarzalnych wyników niezależnie od laboratorium, w którym wykonywane są badania (3). Specyfika testu Phytotoxkit omija wszystkie pracochłonne czynności związane z biotestami klasycznymi, przez co znacznie skraca się czas, jaki jest potrzebny do uzyskania odczytu (z 14 do 3 dni). Ponadto test ten umożliwia bezpośredni pomiar długości korzeni lub koleoptyla metodą analizy obrazu (image tools), przez co graficzne przedstawienie zależności pomiędzy redukcją długości korzeni fitodetektorów a fitotoksycznym stężeniem badanych substancji aktywnych herbicydów jest szybsze i zdecydowanie łatwiejsze w porównaniu z biotestem klasycznym (I generacji). Przykładowy test Phytotoxkit wykonany przy użyciu standardowego zestawu roślin przedstawiono na fotografii 4.



Fot. 4. Biotest II generacji – Phytotoxkit ze standardowymi roślinami testowymi

Zróznicowany charakter chemiczny herbicydów uniemożliwia stosowanie tylko jednego rodzaju mikrobiotestu Phytotoxkit zawierającego standardowe fitodetektory dostarczone w zestawie. Ze względu na specyficzną reakcję różnych gatunków roślin na obecność substancji aktywnych herbicydów należących do różnych grup chemicznych konieczne staje się uzupełnienie wiedzy na temat możliwości wykorzystania innych roślin. Dlatego bardzo często przeprowadza się modyfikację testu, polegającą na zastąpieniu standardowych roślin testowych innymi gatunkami, np. *Helianthus annuus*, *Cucumis sativus* czy *Fagopyrum esculentum* (7). Przykładowy test Phytotoxkit wykonany przy użyciu alternatywnego zestawu roślin przedstawiono na fotografii 5.

*Helianthus annuus**Cucumis sativus**Fagopyrum esculentum*

Fot. 5. Biotest II generacji – Phytotoxkit z alternatywnymi roślinami testowymi

A może przyszłość leży w „bateriach” różnych testów?

Wybór odpowiedniego biotestu do badań agrofitycenozy zależy od rodzaju poszukiwanych informacji, stężenia pozostałości substancji aktywnych herbicydów w analizowanej próbce gleby, osadu czy wody oraz wrażliwości gatunkowej testowanej rośliny. W przypadku zastosowania tylko jednego gatunku detektora roślinnego oszacowana fitotoksyczność odzwierciedla wrażliwość tego jednego testowanego gatunku. Postępowanie takie stwarza możliwość popełnienia błędu niedoszacowania wyniku fitotoksyczności zespołu czynników w odniesieniu do całej agrocenozy. Ryzyko to można zminimalizować poprzez zastosowanie zestawu biotestów, których działanie oparte jest na wykorzystaniu gatunków roślin o różnej wrażliwości na ksenobiotyki. Takie zestawy testów mogą być tworzone w obrębie jednego testu (np. Phytotoxkit), który może obejmować kilka gatunków roślin testowych o różnej wrażliwości na daną grupę ksenobiotyków. Ponadto mogą być tworzone grupy zestawów w obrębie kilku testów wykorzystujących różne biodektory o zmiennej czułości na tę samą grupę substancji (20, 29, 34).

Podsumowanie

W ekotoksykologii powszechnie przyjętymi metodami oznaczania stopnia pozostałości różnych ksenobiotyków w środowisku glebowym są biotesty. Testy z zastosowaniem szybko kiełkujących nasion posiadają kilka bardzo ważnych zalet, a mianowicie są tanie i łatwe w użyciu, nie wymagają drogiego sprzętu laboratoryjnego oraz są proste do obserwacji i dają powtarzalne wyniki. Fitotoksyczny wpływ substancji chemicznych można stwierdzić na podstawie dynamiki kiełkowania, wzrostu siewek, redukcji suchej i świeżej masy korzeni lub koleoptyla roślin testowych. Na podstawie niektórych parametrów, takich jak redukcja długości korzeni i toksyczny wpływ kse-

nobietyków można określić już po upływie około 24 h, dynamikę wzrostu korzeni po 3 dniach, a redukcję długości koleoptyla po 5 dniach od momentu rozpoczęcia testu (mikrobiotest Phytotoxkit). Podczas gdy redukcję świeżej lub suchej masy nadziemnych części roślin (łodygi, liście) po upływie około 7-14 dni (biotest doniczkowy) lub 21-28 dni (biotest kuwetowy).

Do mankamentów tego rodzaju metod należy zaliczyć przede wszystkim brak możliwości identyfikacji czynnika fitotoksycznego. Problem ten można jednak rozwiązać poprzez wykorzystanie różnych czynników biologicznych tworzących zestawy biotestów, które pozwolą na dokładne określenie różnych ksenobietyków.

Przypuszczalnie obszar zastosowania biotestów I i II generacji w ciągu najbliższych kilku lat będzie się sukcesywnie zwiększał, a uzyskane w ten sposób informacje będą mogły stanowić podstawę do podjęcia badań z wykorzystaniem klasycznych metod analitycznych, takich jak chromatografia gazowa (GC) i cieczowa (HPLC).

Literatura

1. Ahmad I., Crawford G.: Trace residual analysis of the sulfonylurea herbicide chlorsulfuron in soil by gas chromatography-electron capture detection. *J. Agric. Food Chem.*, 1990, **38**: 138-141.
2. Alonso-Prados J.L., Hernandez-Sevillano E., Llanos S., Villarroja M., Garcia-Baudin J. M.: Effects of sulfosulfuron soil residues on barley (*Hordeum vulgare*), sunflower (*Helianthus annuus*) and common vetch (*Vicia sativa*). *Crop Protect.*, 2002, **21**: 1061-1066.
3. Baud R.: Report on the international interlaboratory comparison on the Phytotoxkit. CNR. Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Italy, 2011, pp. 115.
4. Blacklow W. M., Pheloung P. C.: Sulfonylurea herbicides applied to acidic sandy soils: a bioassay for residues and factors affecting recoveries. *Aust. J. Agric. Res.*, 1991, **42**: 1205-1216.
5. Blasioli S., Braschi I., Gessa C. E.: The fate of herbicides in soil. *Herbicides and environment*. Ed. A. Kortekamp. Rijeka, InTech, 2011, 175-194.
6. Bierkens J., Klein G., Corbisier P., Van Den Heuvel R., Verschaeve L., Weltens R., Schoeters G.: Comparative sensitivity of 20 bioassays for soil quality. *Chemosphere*, 1998, **37**: 2935-2947.
7. Bortniak M., Sekutowski T.: Wykorzystanie mikrobiotestu Phytotoxkit w badaniach pozostałości w glebie herbicydów z grupy inhibitorów syntetazy ALS. W: *Wielokierunkowość badań w rolnictwie i leśnictwie*. Kraków, UR, 2008, **2**: 201-206.
8. Czerniawska-Kulesza I., Cieszelczuk T., Kusza G., Cichon A.: Comparison of the Phytotoxkit microbiotest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments. *Wiley Periodicals, Inc. Environ. Toxicol.*, 2006, **21**: 367-372.
9. Dećkowska A., Pierścieniak M., Gworek B., Maciaszek D.: Wybrane gatunki roślin jako wskaźniki zmian w środowisku. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.*, 2008, **37**: 128-138.
10. Demczuk A., Sacała E., Grzyś E.: Zmiany aktywności syntazy acetylomleczanowej (ALS) pod wpływem herbicydu Titus 25 DF u różnych odmian ogórka. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.* 2004, **44(2)**: 645-647.
11. Domaradzki K., Sekutowski T., Rola H.: Agroekologiczne skutki stosowania herbicydów sulfonilomocznikowych. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 100-107.
12. Eliason R., Schoenau J. J., Szmigielski A. M., Lavery W. M.: Phytotoxicity and persistence of flucarbazone-sodium in soil. *Weed Sci.*, 2004, **52**: 857-862.
13. Fahl G. M., Kreft L., Altenburger R., Faust M., Boedeker W., Grimme L. H.: pH-Dependent sorption, bioconcentration and algal toxicity of sulfonylurea herbicides. *Aquat. Toxicol.*, 1995, **31**: 175-187.

14. Gadzała-Kopciuch R., Berecka B., Bartoszewicz J., Buszewski B.: Some considerations about bioindicators in environmental monitoring. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2004, **13(5)**: 453-462.
15. Geisel B.G.L., Schoenau J.J., Holm F.A., Johnson E.N.: Interactions of ALS inhibiting herbicide residues in three prairie soils. *Weed Sci.*, 2008, **56**: 624-627.
16. Günther P., Pestemer W., Rahman A., Nordmeyer H.: A bioassay technique to study the leaching behaviour of sulfonylurea herbicides in different soils. *Weed Res.*, 1993, **33**: 177-185.
17. Gnusowski B., Nowacka A.: Pozostałości środków ochrony roślin w polskich płodach rolnych pochodzących z różnych systemów gospodarowania. *Fragm. Agron.*, 2007, **3(95)**: 121-125.
18. Gnusowski B., Nowacka A., Łozowicka B., Szpyrka E., Walorczyk S.: Pozostałości środków chemicznej ochrony roślin w roślinnej produkcji ekologicznej. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 2011, **56(3)**: 102-107.
19. Hernández-Sevillano E., Villarroja M., Alonso-Prados J.L., García Baudín J.M.: Bioassay to detect sulfosulfuron and triasulfuron residues in soil. *Weed Res.*, 2001, **15**: 447-452.
20. Hollaway K.L., Kookana R.S., McQuinn D.J., Moerkerk M.R., Noy D.M., Small M.A.: Comparison of sulfonylurea herbicide residue detection in soil by bioassay, enzyme-linked immunosorbent assay and HPLC. *Weed Res.*, 1999, **39**: 383-397.
21. Jun-Dong W., Hua-Jun B., Hai-Yan S., Ming-Hua W.: Development of an enzyme-linked immunosorbent assay for quantitative determination of cyhalofop-butyl. *Pest. Bioch. Physiol.*, 2010, **98**: 68-72.
22. Kucharski M., Sadowski J.: Wpływ wilgotności gleby na rozkład herbicydu – badania laboratoryjne. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 750-753.
23. Kuczyńska A., Wolska L., Namieśnik J.: Application of biotests in environmental research. *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 2005, **35(2)**: 135-154.
24. Lesan H.M., Bhandari A.: Atrazine sorption on surface soils: time-dependent phase distribution and apparent desorption hysteresis. *Water Res.*, 2003, **37**: 1644-1654.
25. Maargit S., Erich D., Klaus B.: Enzyme immunoassay and fluoroimmunoassay for the herbicide diclofop-methyl. *J. Agric. Food Chem.*, 1984, **32**: 734-741.
26. Michel M.: Łączone techniki chromatograficzne w badaniach pozostałości środków ochrony roślin. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2002, **42(1)**: 249-253.
27. Moyer J.R.: Sulfonylurea herbicide effects on following crops. *Weed Tech.*, 1995, **9**: 373-379.
28. Namieśnik J., Szefer P.: Analytical measurements in aquatic environments. CRC Press, 2010, pp. 489.
29. Pandard P., Devillers J., Charissou A.M., Poulsen V., Jourdain M.J., Féraud J.F., Grand C., Bispo A.: Selecting a battery of bioassays for ecotoxicological characterization of wastes. *Sci. Total Environ.*, 2006, **363**: 114-125.
30. Phytotoxkit.: Seed germination and early growth microbiotest with higher plants. Standard Operational Procedure. Nazareth, Belgium, MicroBioTest Inc., 2004, pp. 24.
31. Płaza G., Ulfing K., Tien A.J.: Immunoassays and environmental studies. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2000, **9(4)**: 231-236.
32. Praczyk T., Skrzypczak G.: Herbicydy. PWRiL, Poznań, 2004, ss. 274.
33. Rola H., Sekutowski T.: Wpływ systemów uprawy na dynamikę rozkładu wybranych herbicydów sulfonylomocznikowych stosowanych w kukurydzy. *Pam. Puł.*, 2005, **140**: 239-243.
34. Rojickova-Padrtova R., Marsálek B., Holoubek I.: Evaluation of alternative and standard toxicity assays for screening of environmental samples: selection of an optimal test battery. *Chemosphere*, 1998, **37(3)**: 495-507.
35. Sadowski J.: Wpływ terminu stosowania na dynamikę rozkładu herbicydów w glebie. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2001, **41(1)**: 134-139.

36. Sadowski J., Kucharski M., Rola H.: Pozostałości herbicydów w środowisku glebowo-wodnym. Biul. Nauk., 2001, **12**: 23-32.
37. Sadowski J., Rola H., Kucharski M.: Zastosowanie biotestów do oceny poziomu pozostałości herbicydów w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2002, **42(1)**: 152-158.
38. Sadowski J., Kucharski M.: Zagrożenia powodowane pozostałościami herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych. X Kraj. Sem. „Stosowanie ciekłych agrochemikaliów”, cz. 2. Upowszechnianie Zasad Dobrej Praktyki Rolniczej, IUNG, Puławy, 2002, 117-132.
39. Sadowski J., Kucharski M.: Monitoring of herbicidal pollution in ground and surface water on arable land of South-West Poland. J. Plant Prot. Res., 2003, **43(3)**: 241-245.
40. Sadowski J., Kucharski M.: Pozostałości herbicydów w roślinach zbożowych. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2003, **43(1)**: 359-369.
41. Sadowski J., Kucharski M.: Wpływ czynników agrometeorologicznych na pobieranie i fitotoksyczność pozostałości herbicydów zawartych w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2004, **44(1)**: 355-363.
42. Sadowski J., Kucharski M., Sekutowski T.: Ocena zagrożeń upraw następczych przez pozostałości wybranych herbicydów stosowanych w uprawach rzepaku. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2007, **47(3)**: 246-253.
43. Sadowski J., Sekutowski T.: Ocena ryzyka fitotoksycznego działania pozostałości herbicydów na uprawy następcze. W: Ekotoksykologia w ochronie środowiska. PZITS, Wrocław, 2008, **884**: 349-354.
44. Sadowski J., Sekutowski T.: Wpływ uproszczeń w technice uprawy na degradację i transport pozostałości w glebie herbicydów z grupy pochodnych sulfonilomocznika. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2008, **48(4)**: 1241-1249.
45. Sandín-España P., Loureiro I., Escorial C., Chueca C., Santín-Montañá I.: The bioassay technique in the study of the herbicide effects. Herbicides, theory and applications. Ed. S. Soloneski, M. L. Larramendy. Rijeka, InTech, 2011, 431-454.
46. Sarmah A. K., Kookana R. S., Alston A. M.: Degradation of chlorsulfuron and triasulfuron in alkaline soil under laboratory conditions. Weed Res., 1999, **39**: 83-92.
47. Seefeldt S. S., Jensen J. E., Fuerst E. P.: Log-logistic analysis of herbicide dose response relationships. Weed. Technol., 1995, **9**: 218-227.
48. Sekutowski T., Sadowski J.: Wpływ technologii uprawy na dynamikę rozkładu pozostałości nikosulfuronu. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2005, **45(2)**: 1065-1068.
49. Sekutowski T., Sadowski J.: Use of bioassays for assessment of residues level of herbicides active ingredients in soil. Pesticides/Pestycydy, 2006, **(1-2)**: 59-64.
50. Sekutowski T.: Effect of different tillage systems on maize yield and degradation dynamics of rimsulfuron in soil. Acta Sci. Pol., Agricul., 2009, **8(2)**: 9-20.
51. Sekutowski T., Bortniak M.: Ocena przydatności *Fagopyrum sagittatum* jako fitodetektora w wykrywaniu pozostałości herbicydów w glebie. Pam. Puł., 2009, **149**: 65-72.
52. Sekutowski T., Sadowski J.: PHYTOTOXKIT™ microbiotest used in detecting herbicide residue in soil. Environ. Prot. Eng., 2009, **35(1)**: 105-110.
53. Shim S. I., Lee B. M., Ryu E. J., Kang B. H.: Response of leaf acetolactate synthase from different leaf positions and seedling ages to sulfonilurea herbicide. Pesti. Biochem. Physiol., 2003, **75**: 39-46.
54. Stork P., Hannah M. C.: A bioassay method for formulation testing and residue studies of sulfonilurea and sulfonanylide herbicides. Weed Res., 1996, **36**: 271-280.
55. Streibig J. C., Rudemo M., Jensen J. E.: Dose-response curves and statistical models. Herbicide bioassays. Ed. J. C. Streibig, P. Kudsik. Boca Raton, FL: CRC Press., 1993, 29-55.
56. Szmigielski A. M., Schoenau J. J., Geisel B. G. L., Holm F. A., Johnson E. N.: Application of a laboratory bioassay for assessment of bioactivity of ALS-inhibiting herbicides in soil. Herbicides and environment. Ed. A. Kortekamp. Rijeka, InTech, 2011, 217-228.
57. Vasilakoglou I. B., Eleftherohorinos I. G., Dhima K. B.: Activity, adsorption and mobility of three acetanilide and two new amide herbicides. Weed Res., 2001, **41**: 535-546.

58. Vicari A., Catizone P., Zimdahl R. L.: Persistence and mobility of chlorsulfuron and metsulfuron under different soil and climatic conditions. *Weed Res.*, 1994, **34**: 147-156.
59. Walker A., Welch S. J.: The relative movement and persistence in soil of chlorsulfuron, metsulfuron-methyl and triasulfuron. *Weed Sci.*, 1989, **29**: 375-383.
60. Walker A., Cotterill E. G., Welch S. J.: Adsorption and degradation of chlorsulfuron and metsulfuron-methyl and triasulfuron. *Weed Sci.*, 1989, **29**: 281-287.
61. Wang J. D., Shi H. Y., Ye Y. H., Wang M. H.: An enzyme-linked immunosorbent assay for detection of fenoxaprop-p-ethyl. *Chin. J. Anal. Chem.*, 2009, **37**: 82-86.
62. Wardencki W., Namieśnik J.: Biomonitoring zanieczyszczeń środowiska. *Inż. Ochr. Środ.* (Eng. Prot. Environ.), 2001, **4(3-4)**: 301-322.
63. Woźnica Z.: *Herbologia. Podstawy biologii, ekologii i zwalczania chwastów*. PWRiL, Poznań, 2008, ss. 430.
64. Wyszowska J., Kucharski J.: Biochemical and physicochemical properties of soil contaminated with herbicide Triflurotox 250 EC. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2004, **13(2)**: 223-231.
65. Van Wyk L. J., Reinhardt C. F.: A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. *Weed Technol.*, 2001, **15(1)**: 1-6.
66. Ye Q., Sun J., Wu J.: Causes of phytotoxicity of metsulfuron-methyl bound residues in soil. *Environ. Pollut.*, 2003, **126**: 417-423.
67. Zawadzki B., Jabłczyński W.: Adsorpcja i desorpcja chlorosulfuronu w dwu glebach określona biotestem z rośliną *Wolffia arhiza* (L.) Wim. *Rocz. Nauk Rol.*, 1994, **110(3-4)**: 41-51.

Adres do korespondencji:

dr Tomasz R. Sekutowski
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
e-mail: t.sekutowski@iung.wroclaw.pl

Ryszard Weber*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

UPRAWA BEZPŁUŻNA ZBÓŻ PO PRZEDPLONACH ZBOŻOWYCH*

Wstęp

Na obszarze kraju zboża zajmują obecnie w strukturze zasiewów około 70-80% powierzchni uprawnej. Duże koszty tradycyjnej uprawy roli związane ze znaczną pracochłonnością i istotnie wyższym zużyciem paliwa spowodowały, że w coraz większym stopniu uwzględnia się alternatywne systemy uprawy bezpłужnej (17). Uprawa bezpłужna – konserwująca – to taki system uprawy roli, który w porównaniu z uprawą konwencjonalną – płужną – pozostawia na powierzchni gleby przynajmniej 30% resztek poźniwnych. Tradycyjny – płужny – system uprawy roli prowadzi do negatywnych zmian środowiska glebowego. Wieloletnie badania intensywnej konwencjonalnej uprawy roli wykazały znaczną redukcję substancji organicznej w wierzchniej warstwie gleby, ograniczenie bioróżnorodności mikroorganizmów glebowych oraz zwiększoną erozję wodną i wietrzną, szczególnie na dużych plantacjach pozbawionych zadrzewień śródpolnych lub w dużych odległościach od obszarów leśnych. Uprawa konserwująca – zachowawcza – może być z powodzeniem stosowana nie tylko na terenach zagrożonych erozją wodną lub wietrzną, lecz także na stanowiskach o uregulowanych stosunkach wodno-powietrznych (12). Wieloletnie badania z obszaru Niemiec przeprowadzone na różnych typach gleb potwierdziły brak istotnych różnic w plonach roślin uzyskiwanych w warunkach siewu bezpośredniego i innych bezpłужnych sposobach w porównaniu z konwencjonalną uprawą roli (3, 35, 46). Stosowanie uproszczonych wariantów uprawy, a szczególnie siewu bezpośredniego, stwarza jednak dodatkowe problemy związane z dużą ilością słomy pozostającą na powierzchni gleby.

Siew jest podstawowym czynnikiem w uproszczonych sposobach uprawy, który przy nieprawidłowej agrotechnice lub złych warunkach wilgotnościowych gleby może przyczynić się do znacznych spadków plonu (11). Niezadowalająca jakość siewu stosowanych obecnie siewników do siewu bezpośredniego wynika głównie z dużych ilości słomy na powierzchni gleby oraz ze zbytniego uwilgotnienia i spulchnienia warstwy uprawnej. Często pozostałości poźniwne nie ulegają rozdrobnieniu i są wciskane do gleby, powodując niekorzystne warunki kiełkowania.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Rodzaje redlic wysiewających w siewnikach do siewu bezpośredniego

Mniejsze plony odmian pszenicy ozimej w warunkach siewu bezpośredniego i niskiego ścierniska mogą być spowodowane nieodpowiednim typem siewnika lub nieodpowiednią wilgotnością górnych warstw gleby. Redlice talerzowe w suchej glebie warunkują dobrą jakość wysiewu nasion, jednak przy glebie wilgotnej następuje jej zagęszczenie na dnie i bocznych ścianach rowka siewnego. Również nadmierna wilgotność gleby lub słabe spulchnienie mogą spowodować nieprawidłowe zakrycie bruzdy siewnej. Przy dużej ilości słomy istnieje niebezpieczeństwo wprowadzenia pociętych źdźbeł na dno rowka siewnego. Czynniki te powodują niewyrównane wschody i obniżają plonowanie roślin (43, 44). Redlice dłutowe (np. siewnik Amazone) są lepiej dostosowane do niskiego ścierniska i równomiernie rozłożonej, pociętej na sieczkę słomy (14). Redlice te zachowują precyzyjnie odległość między poszczególnymi nasionami na dnie rowka siewnego. Niezależne zawieszenie redlic z odrębnym nastawianiem głębokości siewu w tym typie siewnika umożliwia dobre ich dopasowanie do nierówności powierzchni gleby. Dokładność wysiewu nasion poprzez redlice w postaci gęsiostópki (np. siewnik Claydon V – Grill) jest gorsza. Redlice te spulchniają glebę poniżej głębokości wysiewu. Tworzą one szeroką bruzdę siewną, umieszczając nasiona w strumieniu spulchnionej gleby. Zróżnicowaną głębokość siewu zwiększa sprężynowe zawieszenie redlic, które umożliwia ich odchylanie na glebach kamienistych (14). Skrzydełka redlicy wysiewającej siewnika Baker No-Tillage, uzbrojonego w redlice „krzyżowe” typu Cross Slot, przyczyniają się do zwiększonego oporu gleby, jednak boczne umieszczenie nasion i nawozu po obu stronach redlicy, obok kroju nożowego, umożliwia dokładne utrzymanie głębokości wysiewu. System utrzymania głębokości wysiewu jest odporny na zakłócenia, ponieważ po obu stronach redlicy są umocowane koła utrzymujące określoną głębokość wysiewu. W warunkach występowania dużych ilości słomy kombinacja talerza i noża redlicy wysiewającej umożliwia precyzyjny wysiew. Istnieje również możliwość nastawiania odrębnej siły nacisku na poszczególne redlice wysiewające. Podstawową wadą siewnika Baker No-Tillage, uzbrojonego w redlice „krzyżowe”, jest potrzeba użycia ciągnika o 4-krotnie większej mocy niż w pozostałych typach siewników (14). Przedstawione porównanie trzech typów redlic wysiewających wskazuje, że wybór odpowiedniego siewnika może sprawiać poważne trudności. Należy podkreślić, że nie ma w pełni uniwersalnych siewników do siewu bezpośredniego lub uprawy bezplużnej. Dobór siewnika powinien być uzależniony od planowanego płodozmianu, rodzaju gleby i warunków klimatycznych panujących na obszarze działania gospodarstwa. W przypadku stosowania w zmianowaniu gatunków roślin o znacznym zróżnicowaniu wielkości nasion lub rozstawy rzędów zakup siewnika uniwersalnego może przysporzyć wiele problemów.

Bruzda wytworzona przez redlicę typu zębatego (rzadziej stosowana w siewnikach na terenie kraju) wypełniona jest mieszaniną gleby i części słomy, w której umieszczone są nasiona. Brak bezpośredniego kontaktu nasion z glebą może powodować znaczne opóźnienia wschodów. Redlice talerzowe (najczęściej stosowane w siewni-

kach w Polsce) spulchniają glebę w istotnie mniejszym stopniu. Bruzda wytworzona przez ten przyrząd wysiewający może być jednak w znacznym stopniu zapychana przez nierozcięte źdźbła słomy, które tworzą zwartą warstwę ograniczającą kontakt nasion z wilgotną glebą. Duża ilość resztek poźniwnych na polu wpływa również na brak zachowania odpowiedniej głębokości wysiewu (43). Przy dużych ilościach słomy pociętej na sieczkę, w wyniku wprasowania resztek poźniwnych, wytwarza się również szczelina w kształcie litery V, która nie jest przykrywana ziemią przez sekcję kół zagarniających. Rozgarniacze słomy w stosowanych obecnie siewnikach spełniają swoje zadanie jedynie przy siewie roślin odznaczających się dużą rozstawą rzędów (np. wysiew kukurydzy). Natomiast brak jest siewników do siewu bezpośredniego wyposażonych w redlice wysiewające typu talerzowego, które odznaczają się dobrą precyzją wysiewu nasion zbóż. Efektywność rozdrobnienia słomy przez redlice talerzowe uzależniona jest od wielu czynników. Istotną rolę przypisuje się strukturze, stopniu zdrewnienia i wilgotności materiału roślinnego. Zróżnicowanie zdrewnienia słomy może wynikać z różnych technologii pielęgnacji plantacji (regulatory wzrostu, herbicydy, fungicydy). W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów wytrzymałości słomy różnych gatunków roślin na rozerwanie, ściskanie lub cięcie. Wytrzymałość na rozcinanie jest ściśle skorelowana z wilgotnością słomy. Rozkład słomy powodował zmniejszenie odporności na rozcinanie o około 35%.

Rozdrobnienie słomy na polu uzależnione jest nie tylko od odporności źdźbła na rozcinanie, lecz również od właściwości fizycznych gleby. Siła nacisku warunkująca rozcięcie słomy musi być porównywalna z siłą oporu gleby na odkształcenia wywołane krojem talerzowym. Gdy siła ta będzie mniejsza nastąpi wgniecenie słomy w bruzdę siewną. Siłę oporu gleby w wielu publikacjach określa się poprzez kohezję. Gleby zwięzłe wykazują wartości tego parametru w granicach 0,5-1 N/mm², natomiast odporność słomy na cięcie waha się w granicach 3-6 N/mm². Dlatego prawidłowe rozcięcie lub rozerwanie słomy przez kroje tarczowe lub redlice wysiewające jest w trakcie siewu w większości przypadków niemożliwe do uzyskania. W celu poprawy efektywności siewu bezpośredniego rośliny następcej na terenie Niemiec propaguje się obecnie zmodyfikowany zbiór zbóż.

Tabela 1

Odporność słomy na cięcie, rozerwanie i ściskanie

Autor	Gatunek słomy	Parametr	Wartość (N/mm ²)
Cakir i in. (8)	kukurydza	wytrzymałość na cięcie	0,75–1,65
	bawełna	wytrzymałość na cięcie	6–10
	soja	wytrzymałość na cięcie	3,8–5,8
	pszenica	wytrzymałość na cięcie	2,8–6,4
Kushwaha i in. (24)	pszenica	wytrzymałość na ściskanie	7–23

Wpływ wysokości ścierni na zbiór i wysiew zbóż w warunkach uprawy bezplużnej

Kombajn jest najbardziej energochłonną maszyną i może w znacznym stopniu podwyższyć nakłady na zbiór roślin uprawnych. Dlatego na obszarze Niemiec zaleca się nowy sposób zbioru zbóż, w dużym stopniu ograniczający koszty żniw. Zbiór ten polega na wysokim przycinaniu słomy i pozostawianiu ścierniska w wysokości około 30-40 cm. Badania na uniwersytecie w Kiel wykazały, że słoma w zależności od wysokości cięcia różni się znacznie wilgotnością. Ściernisko o wysokości 10 cm zwiększa wilgotność masy słomy o 31% w porównaniu ze ścierniskiem o wysokości 20 cm. Również zwiększona grubość żdźbła słomy przy ziemi (niska wysokość cięcia – 10 cm) wpływa na większe nakłady energetyczne przy zbiorze w porównaniu ze ścierniskiem wysokim. Stwierdzono, że grubość słomy zmniejsza się o 1 mm na każdy 10-centymetrowy odcinek pomiaru od powierzchni ziemi. Wysokie cięcie słomy wpływa więc na poprawę pracy części młócących i doczyszczających kombajnu, ograniczając wielkość strumienia słomy wprowadzanego do kombajnu. Mniejsza masa słomy o istotnie niższej wilgotności zmniejsza również wilgotność i zanieczyszczenie zbieranego ziarna (42).

Niższe koszty zbioru ziarna mogą być w dużym stopniu niwelowane poprzez zwiększone nakłady na uprawę poźniwną. Często jednokrotny przejazd broną talerzową i kultywatorem na polu nie przykrywa resztek poźniwnych warstwą ziemi. W celu prawidłowego przykrycia ziemią nierozdrobnionej po żniwach słomy stosuje się rozdrabniacz słomy (cięcie słomy na odcinki 5 cm i równomierne rozprowadzenie na polu), a następnie konwencjonalną uprawę poźniwną. Jednak badania z obszaru Niemiec wskazują, że w przypadku odpowiedniej wilgotności gleby uprawa wysokiego ścierniska nie nastręcza większych problemów (31). Przy wysokim ściernisku znaczna redukcja kosztów omłotu wpływa na obniżenie ogólnych kosztów, łącznie z uprawą poźniwną.

Zalety wysokiego ścierniska :

- zwiększona wydajność kombajnu o 40-100%
- dłuższy czas żniw + 1 godzina rano + 2 godziny wieczorem
- zmniejszenie wilgotności ziarna o 1-4%
- mniejsze zużycie paliwa o 5-7 l · ha⁻¹
- mniejsze obciążenie części pracujących kombajnu
- mniejsze straty ziarna o 3-4%
- zmniejszone koszty o 30-70 euro · ha⁻¹

Wysokie ściernisko odznacza się również istotnymi zaletami w przypadku stosowania siewu bezpośredniego (20). Jakość siewu siewnikami do siewu bezpośredniego jest lepsza, ponieważ długa słoma układa się wzdłuż jazdy siewnika i nie występuje znaczne nagromadzenie resztek poźniwnych w rowku siewnym.

Wykazane zalety wysokiego ścierniska wskazują, że istnieje duże prawdopodobieństwo podwyższenia plonowania określonych odmian pszenicy (przystosowanych do niekorzystnych warunków środowiska) przy stosowaniu uprawy „zerowej” i wy-

sokiej ścierni. Niższe koszty zbioru przedplonu oraz większe plony odmian pszenicy przystosowanych do gorszych warunków środowiskowych mogą przyczynić się do opłacalności ich uprawy w warunkach siewu bezpośredniego. Nieodpowiednia agrotechnika zbioru przedplonu może być głównym powodem istotnych różnic w plonowaniu pszenicy ozimej w warunkach siewu bezpośredniego w Polsce, w porównaniu z uprawą w Niemczech (np. Saksonii), gdzie uzyskuje się porównywalne plony zbóż w uprawie zerowej i płuznej.

Plonowanie pszenicy ozimej w warunkach uprawy bezpłuznej i zróżnicowanej wysokości ścierni

Plonowanie roślin w pierwszych latach stosowania konserwującej uprawy roli może być niższe w porównaniu z uzyskiwanym w uprawie konwencjonalnej (6). Natomiast wieloletnie stosowanie bezpłuznych systemów uprawy z grubą warstwą mulczu na powierzchni gleby przyczynia się do uzyskiwania porównywalnych plonów (4, 41).

Badania wskazują, że pozostawiając wysokie ściernisko i stosując dobór odpowiednich odmian można uzyskać plony pszenicy porównywalne z uzyskanymi w warunkach nisko przyciętej słomy (tab. 2). Analizując poszczególne komponenty plonu można stwierdzić, że duży wpływ na plony odmian wywarła liczba kłosów na 1 m² (tab. 3). Plony pszenicy na obiektach z większą liczbą kłosów na jednostce powierzchni były wyższe niż w warunkach mniejszej obsady roślin porównywalnych odmian pszenicy. Odmiana Rapsodia odznaczała się mniejszą masą tysiąca ziaren niezależnie od systemu uprawy i sposobu zagospodarowania ścierni. Mniejszy wpływ na plonowanie wywierały masa tysiąca ziaren, masa ziarna i liczba ziaren z kłosa, o czym świadczą zróżnicowane wartości tych komponentów plonu na obiektach z istotnie niższym lub wyższym plonem pszenicy. Rapsodia, w porównaniu z innymi odmianami, pomimo istotnie mniejszej masy ziarna z kłosa w warunkach uproszczonych systemów uprawy roli plonowała wyżej. Nieodpowiedni wybór odmiany w warunkach dużej ilości resz-

Tabela 2

Średnie plony pszenicy ozimej (t · ha⁻¹) w zależności od systemu uprawy i wysokości ścierniska – średnia

Odmiana	Niska ściern				Wysoka ściern				Średnia ogólna
	system uprawy			średnia	system uprawy			średnia	
	zerowa	bezpłuzna	płuzna		zerowa	bezpłuzna	płuzna		
Legenda	4,6	5,19	5,99	5,26	5,16	4,88	5,04	4,96	5,11
Rapsodia	4,98	5,27	5,24	5,16	5,23	5,23	5,53	5,33	5,25
Mewa	4,53	4,82	4,84	4,73	5,22	4,80	5,28	5,04	4,89
Średnia	4,70	5,09	5,36	5,05	5,20	4,97	5,28	5,15	

NIR wysokość ścierni – różnice nieistotne

NIR systemy uprawy = 0,254

NIR odmiany = 0,205

NIR uprawy x wysokość ścierni = 0,258

NIR odmiany x wysokość ścierni = 0,245

NIR odmiany x systemy uprawy = 0,372

Źródło: badania własne.

Tabela 3

Średnie wartości struktury plonu odmian pszenicy ozimej w zależności od systemu uprawy i wysokości ścierniska

Systemy uprawy	Wysokość ścierni	Odmiany	Legenda	Mewa	Rapsodia	NIR	Średnia	
Zerowa	niska	wys.	109,0	93,5	80,0	14,3	94,2	
		LK	485	429	543	62,4	485,5	
		LZK	45,49	43,24	44,4	r.n.	44,38	
		MZK	1,83	2,03	1,72	0,21	1,86	
		MTZ	43,55	46,35	41,75	3,1	43,88	
Uprawa bezpłuzna		wys.	109,5	99,5	83,5	11,6	97,5	
		LK	384	364	460	79,2	402,9	
		LZK	46,62	43,45	43,63	r.n.	44,57	
		MZK	2,05	1,71	1,7	0,27	1,82	
Uprawa płuzna		MTZ	43,6	43,13	41,68	r.n.	42,8	
		wys.	108,5	98,5	85,0	12,1	97,3	
		LK	382	457	493	68,1	444	
		LZK	51,64	45,8	41,87	5,35	46,44	
		MZK	1,99	1,92	1,77	0,18	1,9	
		MTZ	45,1	45,8	44	r.n.	44,97	
	Zerowa	wysoka	wys.	109,0	96,0	81,5	14,1	95,5
			LK	424	469	548	86,2	480,5
			LZK	48,37	42,74	45,07	4,07	45,39
MZK			2,05	1,83	1,77	0,24	1,88	
MTZ			44,0	43,73	41,75	r.n.	43,16	
Uprawa bezpłuzna	Wys.		106,5	98,5	85,0	17,4	96,7	
	LK		462	432	481	37,6	458,4	
	LZK		49,29	43,17	47,88	5,21	46,78	
	MZK		1,99	1,89	1,76	0,19	1,88	
Uprawa płuzna	MTZ		43,35	44,5	40,6	r.n.	42,82	
	wys.		108,0	91,0	77,0	12,4	92	
	LK		462	432	481	r.n.	458,4	
	LZK		49,29	43,17	47,88	5,21	46,78	
	MZK		1,99	1,89	1,76	0,2	1,88	
	MTZ		43,35	44,5	40,6	r.n.	42,82	

Oznaczenia : wys. – wysokość
 LZK – liczba ziaren z kłosa (szt.)
 MZK – masa ziaren z kłosa (g)
 MTZ – masa tysiąca ziaren (g)
 LK – liczba kłosów na m² (szt.)
 r.n. – różnica nieistotna
 Źródło: R. Weber, 2011 (44).

tek późniejszych może jednak skutkować mniejszymi plonami pszenicy ozimej (34). Niższe koszty zbioru ziarna mogą być w dużym stopniu niwelowane poprzez zwiększone nakłady na uprawę późniejszą i przedsięwziętą. Dlatego niektórzy autorzy preferują uprawę płuzną jako lepszy sposób zagospodarowania pozostałości późniejszych (39).

Zachwaszczenie w warunkach zróżnicowanej wysokości ścierni

Podstawową przyczyną, która w dużym stopniu ogranicza rozwój bezpłuznych systemów uprawy jest problem zachwaszczenia. Szczególne w pierwszych latach stosowania uproszczonych wariantów uprawy roli obserwuje się wzrost zachwaszczenia plantacji (30, 36). Przyczyną zwiększonej liczebności chwastów może być mniejsza skuteczność herbicydów wynikająca z utrudnionego działania w grubej warstwie mulczu pozostałości poźniwnych (38). Również nagminne stosowanie herbicydów nieselektywnych w uprawie uproszczonej lub siewie bezpośrednim spowodowało uodpornienie się niektórych gatunków chwastów na poszczególne substancje czynne (9, 32).

Zróżnicowany płodozmian jest podstawą sukcesu w bezpłuznej uprawie roli. Natomiast monokultura lub płodozmiany zbożowe sprzyjają kompensacji niektórych gatunków chwastów (25). Jak podaje G a w ę d a (16) jednym ze sposobów ograniczania zachwaszczenia w płodozmianach zbożowych może być stosowanie międzypłonów ścierniskowych. Wyniki badań wykazały (tab. 4 i 5), że w warunkach wysokiej ścierni przedplonu wystąpiło większe zachwaszczenie pszenicy. Stwierdzono również znacznie zróżnicowany wpływ odmian pszenicy ozimej na ograniczenie zachwaszczenia w warunkach wysokiej lub niskiej ścierni. Zwiększona liczebność analizowanych gatunków chwastów po uprawach bezpłuznych jest potwierdzona w innych badaniach. N a k a m o t o i in. (27) wykazali, że w uproszczonych systemach uprawy roli liczba nasion zgromadzonych w wierzchniej warstwie gleby znacznie przewyższa ich liczbę w uprawie płuznej. Wysokie ściernisko w mniejszym stopniu hamuje wzrost zachwaszczenia. Natomiast gęsta warstwa mulczu w warunkach siewu bezpośred-

Tabela 4

Zmienność liczebności wybranych gatunków chwastów w zależności od systemu uprawy roli w latach 2008–2010

System uprawy	Gatunki chwastów – wysoka ścierni								
	ANTAR	CAPBP	GERPU	LAMPU	APESV	SINAR	VERPE	VIOAR	Razem
Zerowa	67	56	48	71	30	10	36	384	702
Uproszczona	25	14	41	86	7	156	28	284	641
Płuzna	15	6	13	27	5	120	14	319	519
Razem	107	76	102	184	42	286	71	987	1855
System uprawy	Gatunki chwastów – niska ścierni								
	ANTAR	CAPBP	GERPU	LAMPU	APESV	SINAR	VERPE	VIOAR	Razem
Zerowa	68	36	50	70	18	13	90	348	693
Uproszczona	49	4	51	13	10	197	18	173	515
Płuzna	32	21	24	28	15	127	31	226	504
Razem	149	61	125	111	43	337	139	747	1712

Oznaczenia: ANTAR – *Anthemis arvensis*; CAPBP – *Capsella bursa-pastoris*; GERPU – *Geranium pusillum*; LAMPU – *Lamium purpureum*; APESV – *Apera spica-venti*; SINAR – *Sinapis arvensis*; VERPE – *Veronica persica*; VIOAR – *Viola arvensis*
 Źródło: Weber i in., 2011 (45).

Tabela 5

Zmienność liczebności wybranych gatunków chwastów w zależności od odmiany pszenicy ozimej w latach 2008–2010

Odmiany	Gatunki chwastów – wysoka ścierń								
	ANTAR	CAPBP	GERPU	LAMPU	APESV	SINAR	VERPE	VIOAR	Razem
Legenda	27	18	36	76	12	122	23	374	688
Rapsodia	55	27	34	69	15	77	31	295	603
Mewa	25	31	32	39	15	87	17	318	564
Razem	107	76	102	184	42	286	71	987	1855
	Gatunki chwastów – niska ścierń								
	ANTAR	CAPBP	GERPU	LAMPU	APESV	SINAR	VERPE	VIOAR	Razem
Legenda	49	22	47	39	10	138	67	227	599
Rapsodia	57	18	35	43	19	85	42	267	566
Mewa	43	21	43	29	14	114	30	253	547
Razem	149	61	125	111	43	337	139	747	1712

Źródło: Weber i in., 2011 (45).

niego może znacznie zmniejszyć liczebność chwastów w porównaniu z zachwaszczeniem w uprawie płuznej (2, 13). Przypisuje się jej również pewne działanie allelopacyjne stymulujące rozwój niektórych gatunków chwastów (33). Znacznie mniejsze ilości *Sinapis arvensis* uzyskane przez Webera i in. (45) w siewie bezpośrednim mogą potwierdzać tę teorię. Natomiast badania Kravczyka i in. (23) wykazały znaczne ograniczenie liczebności *Apera spica-venti* i *Matricaria maritima* przy stosowaniu siewu bezpośredniego w porównaniu z uprawą konwencjonalną lub powierzchniową. Uprawa płuzna w porównaniu z wariantami uproszczonymi zmniejsza zachwaszczenie plantacji, jednak przedłuża żywotność nasion chwastów w glebie. Na podstawie wieloletnich badań na obszarze Niemiec wykazano w środowisku siewu bezpośredniego znaczne ograniczenie liczebności chwastów dwuliściennych i form wykazujących reakcję świetlną (37). Natomiast wyniki badań na obszarze Indii wykazały zwiększoną masę chwastów w uprawie zerowej niż w uprawie płuznej (15). W warunkach siewu bezpośredniego wykazano istotnie większe zachwaszczenie plantacji analizowanymi gatunkami roślin w porównaniu z uprawą płuzną. Również Wesołowski i Bujak (47) podkreślają, że wprowadzenie uprawy bezpłuznej zwiększa zachwaszczenie takimi gatunkami, jak: *Chenopodium album*, *Viola arvensis*, *Stellaria media*, *Apera spica-venti*, *Veronica persica*.

Duży wpływ na odmienne wyniki cytowanych badań wywarły zróżnicowane warunki środowiska, odmiana, przedplon oraz typ siewnika do siewu bezpośredniego.

Zmienność nasilenia chorób liści kłosa i podstawy źdźbła odmian pszenicy ozimej w zależności od wysokości ścierni przedplonu i sposobu uprawy

Septorioza plew pszenicy wywoływana jest najczęściej przez grzyb *Septoria nodorum*, natomiast septorioza liści spowodowana jest przez grzyby z rodzaju *Septoria*: *Mycosphaerella graminicola* (Fuck) Schrot. st. kon. *Septoria tritici* Rob. ex Desm.

i *Phaeosphaeria nodorum* (Muller) Hedjaroude, st. kon. *Stagonospora nodorum* (Berk.) Castellani et Germano (syn. *Septoria nodorum* Berk.). *Septoria nodorum* jest grzybem powodującym często istotne obniżki plonów, szczególnie w mokre i ciepłe lata. *Septoria* paskowana liści pszenicy występuje we wszystkich fazach rozwoju, jednak głównie poraża liście zbóż. Grzyb *S. tritici* Rob. Ex Desm. może spowodować porażenie odmian w warunkach 20-godzinnej nawilżenia liści, dlatego w Polsce spotyka się sporadycznie epidemiologiczne występowanie tej choroby. Badania wykazały u niektórych odmian pszenicy odporność częściową, jak również wysoce specyficzną na niektóre izolaty *M. graminicola* (7, 10).

Wprawdzie część publikacji donosi o zwiększonym niebezpieczeństwie infekcji pszenicy grzybami wywołującymi kompleks chorób podstawy źdźbła w uprawach bezpłuznych, jednak Krat (22) stwierdza, że istotnie większe nasilenie grzybów z rodzaju *Fusarium* w uprawie bezpłuznej może nastąpić przy współdziale kilku niekorzystnych czynników, jakimi są np. przedplon, wrażliwa odmiana i sprzyjające warunki atmosferyczne.

Analiza nasilenia septoriozy liści i plew, pomimo znacznej zmienności w latach, nie wykazała istotnych różnic w zależności od sposobu uprawy roli i wysokości ścierni (tab. 6 i 7). Jednak odmiany wykazywały istotną zmienność pod względem odporności na analizowane choroby grzybowe. W warunkach zróżnicowanej wysokości ścierni odmiana Mewa odznaczała się zwiększoną wrażliwością na septoriozę liści w porównaniu z pozostałymi odmianami. Natomiast odmiana Rapsodia charakteryzowała się większym porażeniem przez grzyb *Septoria nodorum* niż odmiany Mewa i Legenda.

Wyższa ścierni spowodowała mniejsze porażenie odmian pszenicy ozimej grzybami warunkującymi kompleks chorób podstawy źdźbła (tab. 8). W warunkach siewu bezpośredniego, w porównaniu z innymi systemami uprawy, odnotowano niewielkie nasilenie chorób podsuszkowych. Zróżnicowana wrażliwość odmian pszenicy na choroby grzybowe wskazuje, że w warunkach systemów uprawy bezpłuznej szczególną uwagę należy zwrócić na prawidłowy dobór odmian odznaczających się podwyższoną odpornością na grzyby chorobotwórcze. Niektóre z publikacji podkreślają zwiększone

Tabela 6

Nasilenie septoriozy liści w zależności od wysokości ścierni i systemu uprawy roli w latach 2009–2011

Odmiana	Niska ścierni				Wysoka ścierni				Średnia ogólna
	system uprawy			średnia	system uprawy			średnia	
	zerowa	bezpłuzna	płuzna		zerowa	bezpłuzna	płuzna		
Legenda	7,08	7,17	7,00	7,07	7,00	6,83	6,50	6,77	6,94
Mewa	5,17	5,83	4,83	5,28	5,33	5,00	5,50	5,29	5,27
Rapsodia	6,92	6,33	6,33	6,52	6,25	6,00	5,83	6,03	6,27
Średnia	6,39	6,44	6,07	6,30	6,20	5,94	5,94	6,02	6,16

NIR system uprawy – różnice nieistotne; NIR wysokość ścierni – różnice nieistotne

NIR odmiany – 0,73; NIR odmiany x wysokość ścierni – 0,96;

NIR odmiany x system uprawy – 1,21

NIR system uprawy x wysokość ścierni – różnice nieistotne

Źródło: badania własne.

Tabela 7

Nasilenie septoriozy plew w zależności od wysokości ścierni i systemu uprawy roli w latach 2009–2011

Odmiana	Niska ściern				Wysoka ściern				Średnia ogólna
	system uprawy			średnia	system uprawy			średnia	
	zerowa	bezpłuzna	płuzna		zerowa	bezpłuzna	płuzna		
Legenda	7,5	8,0	7,8	7,8	6,8	7,7	8,1	7,5	7,7
Mewa	7,5	6,7	6,7	6,9	7,0	6,8	7,3	7,0	7,0
Rapsodia	6,3	5,7	6,3	6,1	4,7	6,5	6,5	5,9	6,0
Średnia	7,1	6,8	6,9	7,0	6,2	7,0	7,5	6,8	6,9

NIR System uprawy – różnice nieistotne; NIR wysokość ścierni – różnice nieistotne

NIR odmiany – 0,84; NIR odmiany x wysokość ścierni – różnice nieistotne

NIR odmiany x system uprawy – 1,31

NIR system uprawy x wysokość ścierni – różnice nieistotne

Źródło: badania własne.

Tabela 8

Liczebności brzegowe porażonych źdźbeł przez grzyby warunkujące kompleks chorób podstawy źdźbła w zależności od badanych czynników doświadczenia

Odmiana	Niska ściern				Wysoka ściern				Suma ogólna
	system uprawy				system uprawy				
	A	B	C	suma	A	B	C	suma	
Legenda	192	182	180	554	188	133	166	487	1041
Rapsodia	195	185	195	575	183	192	173	548	1123
Mewa	184	186	158	528	177	149	154	480	1008
Suma	571	553	533	1657	548	474	493	1515	3172

A – zerowa

B – bezpłuzna

C – pluzna

Źródło: badania własne.

występowanie chorób podstawy źdźbła w warunkach bezpłuznych systemów uprawy roli (21, 28). Inne doniesienia nie wykazują istotnych różnic w liczebności grzybów chorobotwórczych na zbożach przy stosowaniu zróżnicowanych sposobów uprawy roli (5, 19).

Zmienność zwięzłości i wilgotności gleby w uprawie bezpłuznej

Stosowanie ciężkich maszyn rolniczych prowadzi do silnego zagęszczenia nie tylko warstwy ornej, lecz także podglebia. Ugniatanie gleby wpływa na strukturę porów glebowych. Zmiany dotyczą porów aeracyjnych, prowadząc do zakłóceń w gospodarce wodno-powietrznej, niszczenia makro- i mikroporów glebowych oraz dostępności składników pokarmowych (1). Ograniczenie negatywnych skutków intensywnej uprawy roli można osiągnąć, stosując różne systemy bezpłuznej uprawy konserwującej. Czynnikiem, który w dużym stopniu zmniejsza plony roślin w okresie przejściowym

wym, od uprawy płuznej do uprawy konserwującej, jest zwiększająca się zwięzłość lub gęstość gleby (18). Natomiast w wieloletnich uprawach bezpłuznych wzrost zawartości materii organicznej i podwyższenie stabilności agregatów glebowych powodują zmniejszenie zwięzłości i gęstości gleby (6). Duża ilość resztek poźniwnych na powierzchni w uprawie bezpłuznej podwyższa wilgotność gleby w porównaniu z konwencjonalnym sposobem uprawy (26). Wieloletnie badania na obszarze Niemiec wykazały, że konserwująca – bezpłuzna – uprawa warunkuje wzrost zawartości makroelementów w górnych warstwach gleby, podwyższa pojemność powietrzną i zdolność infiltracyjną gleby. Większa liczba makroporów glebowych łączących górne poziomy uprawne z warstwą podorną przyczynia się do ograniczenia spływów powierzchniowych dewastujących strukturę gleby (48).

Istotne różnice w zwięzłości i wilgotności gleby w bezpłuznych systemach uprawy roli (tab. 9 i 10) wskazują na zróżnicowaną penetrację systemu korzeniowego górnych poziomów gleby przez analizowane odmiany pszenicy. Zdolność retencyjna gleby uzależniona jest od jej składu granulometrycznego, zawartości substancji organicznej oraz struktury gleby (29). W trzyletnim doświadczeniu wilgotność gleby była porównywalna w badanych systemach uprawy roli niezależnie od wysokości ścierni (tab. 5).

Tabela 9

Średnia zwięzłość gleby (MPa) w zależności od odmiany i sposobu uprawy roli

Odmiany	Uprawa płuzna			
	głębokość pomiaru (cm)			
	0-5	5-10	15-20	średnia
Legenda	1,92	3,61	3,45	2,99
Mewa	1,89	2,19	2,31	2,13
Rapsodia	1,69	2,40	3,39	2,49
Średnia	1,83	2,73	3,05	2,54
Uprawa uproszczona				
Odmiany	głębokość pomiaru (cm)			średnia
	0-5	5-10	15-20	
Legenda	1,52	3,00	3,75	2,76
Mewa	1,78	3,57	4,39	3,24
Rapsodia	1,66	2,50	3,32	2,49
Średnia	1,65	3,02	3,82	2,83
Siew bezpośredni				
Odmiany	głębokość pomiaru (cm)			średnia
	0-5	5-10	15-20	
Legenda	1,64	2,69	4,07	2,80
Mewa	1,17	2,61	3,83	2,54
Rapsodia	1,47	4,15	4,51	3,37
Średnia	1,43	3,15	4,14	2,90

NIR odmiany = 0,31; NIR uprawy = 0,24; NIR głębokości = 0,56

NIR odmiany x uprawy = 0,43; NIR głębokości x uprawy = 1,37; NIR odmiany x głębokości = 0,82

Źródło: badania własne.

Tabela 10

Średnia wilgotność gleby (w % suchej masy) w zależności od odmiany i sposobu uprawy roli

Uprawa płuzna				
Odmiany	głębokość pomiaru (cm)			średnia
	0-5	5-10	15-20	
Legenda	10,6	9,6	9,7	10,0
Mewa	12,2	10,0	10,1	10,8
Rapsodia	11,1	10,2	9,2	10,1
Średnia	11,3	9,9	9,6	10,3
Uprawa uproszczona				
Odmiany	głębokość pomiaru (cm)			średnia
	0-5	5-10	15-20	
Legenda	11,5	9,9	9,2	10,2
Mewa	10,8	10,1	10,4	10,4
Rapsodia	10,3	9,9	9,4	9,9
Średnia	10,8	10,0	9,6	10,1
Siew bezpośredni				
Odmiany	głębokość pomiaru (cm)			średnia
	0-5	5-10	15-20	
Legenda	10,3	9,8	8,7	9,6
Mewa	10,4	9,9	10,5	10,3
Rapsodia	10,4	9,7	10,0	10,0
Średnia	10,4	9,8	9,8	10,0

NIR odmiany = brak różnic; NIR uprawy = brak różnic; NIR głębokości = 0,91

NIR odmiany x uprawy = brak różnic; NIR głębokości x uprawy = 1,31;

NIR odmiany x głębokości = 1,20

Źródło:

Najczęściej przyjmuje się, że zwięźłość w granicach 1 MPa nie powinna na żadnej glebie stwarzać ograniczeń dla rozwoju roślin. Wykazane w tabeli 9 średnie wielkości zwięźłości gleby wskazują więc, że czynnik ten mógł być jednym z głównych powodów zmniejszających plony roślin w warunkach uprawy uproszczonej. Zwiększoną zwięźłość i gęstość gleby w warunkach uprawy uproszczonej uzyskano również w innych badaniach (40). Plon zależy od stopnia zagęszczenia gleby, chociaż nie zawsze wzrost zagęszczenia prowadzi do obniżenia poziomu plonowania roślin. Istnieje pewne optimum zagęszczenia gleby, które zmienia się w zależności od typu gleby i warunków wilgotnościowych. Natomiast duża zmienność wilgotności gleby w zależności od wysianej odmiany może być wynikiem różnego efektu zacieniania powierzchni gleby przez liście analizowanych odmian (tab. 10).

Podsumowanie

Przedstawiony przegląd literatury oraz badania z ostatnich lat wskazują, że wybrane odmiany pszenicy ozimej zarówno w warunkach wysokiej jak i niskiej ścierni mogą wykazywać porównywalne plony. Stosowanie tego systemu uprawy bezpłużnej musi być jednak powiązane z odpowiednio zróżnicowanym płodozmianem. Szczególnie dużą

rolę w tym sposobie uprawy odgrywa zwarta warstwa mulczu, która ogranicza rozwój populacji chwastów oraz wpływa na poprawę wilgotności gleby. Dlatego w warunkach siewu bezpośredniego należy bezwzględnie stosować międzyplony, które zapewniają zwiększoną masę organiczną na powierzchni gleby i powodują wzrost zawartości próchnicy w wierzchnich jej warstwach. Wysokie plony pszenicy ozimej w warunkach bezpłuznej uprawy roli można osiągnąć jedynie poprzez wybór odmian odznaczających się dobrym przystosowaniem do niekorzystnych warunków środowiskowych i wykazujących dużą odporność na grzyby patogeniczne występujące w dużym nasileniu na obszarze danego gospodarstwa. Zarówno zbiór przedplonu, jak również siew rośliny następczej należy wykonywać w sprzyjających warunkach atmosferycznych przy małej wilgotności gleby. Zbyt duża wilgotność gleby w trakcie żniw, jak również zbyt duże obciążenie kół maszyn żniwnych (>6 T przy glebie wilgotnej; >10 T przy glebie suchej) może spowodować trudne do usunięcia szkody w postaci nadmiernej zwieźłości warstwy ornej i podglebia. Należy nadmienić, że duża zwieźłość i gęstość gleby w systemach uprawy bezpłuznej jest jednym z głównych powodów mniejszych plonów pszenicy ozimej w porównaniu z konwencjonalną uprawą roli.

Literatura

1. Akker J. J. H., Arvidsson J., Horn R.: Introduction to special issue on experiences with the impact and prevention of soil compaction in the European Union. *Soil Till. Res.*, 2003, **73**: 1-8.
2. Anderson R. L.: Impact of subsurface tillage on weed dynamics in the central great plains. *Weed Tech.*, 2004, **18(1)**: 184-192.
3. Anken T., Heusser J., Weisskopf P., Mozafar A.: Bodenbearbeitungssysteme – Direktsaat stellt höchste Anforderungen. *FAT Berichte - Switzerland*, 1997, **501**: 1-13.
4. Anken T., Weisskopf P., Zihlmann U., Forrer H., Jansa J., Perhacova K.: Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil Till. Res.*, 2004, **78**: 171-183.
5. Batman G. L., Gutteridge R. J., Gherbawy Y., Thomsett M. A., Nicholson P.: Infection of stem bases and grains of winter wheat by *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum* and effects of tillage method and maize – stalk residues. *Plant Pathol.*, 2007, **56**: 604-615.
6. Berner A., Hildermann I., Fiessbach A., Pfiffner L., Niggli U., Mäder P.: Crop yield soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil Till. Res.*, 2008, **101**: 89-96.
7. Börner A., Simon M. R., Roder M. S., Ayala F. M., Cordo C. A.: Molecular mapping of QTLs determining resistance/tolerance to biotic and abiotic stress in hexaploid wheat. *Proc. Tenth International Wheat Genetics Symposium, Pastum, Italy*, 1-6 September 2003, **1**: 331-333.
8. Cakir E., Johnson C. E., Raper R. L., Schafer R. L.: The mechanics of cutting plant residue on a rigid surface. St. Joseph, Michigan ASAE – Paper. American Society of Agricultural Engineers, 1994, **94**: ss. 1003.
9. Cerdeira A. L., Duke S. O.: The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops. *J. Environ. Qual.*, 2006, **35**: 1633-1658.
10. Chartrain L., Brading P. A., Makepeace J. C., Brown J. K. M.: Sources of resistance to *Septoria tritici* blotch and implications for wheat breeding. *Plant Pathol.*, 2004, **53**: 454-460.
11. Dobers E. S., Roth R., Meyer B., Becker K. W.: Leitfaden für die Umstellung auf Systeme der nicht wendenden Bodenbearbeitung. Ministerium für Landwirtschaft und Raumordnung des Landes Brandenburg, 2004, 3-57.

12. Dzienia S., Zimny L., Weber R.: Najnowsze kierunki w uprawie roli i technice siewu. *Fragm. Agron.*, 2006, **2(90)**: 227-241.
13. Faltyn U., Kordas L.: Wpływ uprawy roli i czynników regenerujących stanowisko na zachwaszczenie pszenicy jarej. *Fragm. Agron.*, 2009, **26(1)**: 19-24.
14. Gall Ch., Köller K.: Directsaat im Systemvergleich DLG-Mitteilungen. 2009, **7**: 54-56.
15. Gangwar K. S., Singh K. K., Dharm S. K., Tomar K.: Alternative tillage and crop residue management in wheat after rice in sandy loam soils of Indo-Gangetic plains. *Soil Till. Res.*, 2006, **88(1-2)**: 242-252.
16. Gawęda D.: Wpływ międzyplonów ścierniskowych na zachwaszczenie pszenicy jarej uprawianej w monokulturze. *Ann. UMCS, Agricultura*, 2009, **64(3)**: 21-28.
17. Idkowiak M., Kordas L.: Wpływ sposobów uprawy roli na nakłady energetyczne i plonowanie pszenżyta ozimego. *Fragm. Agron.*, 2007, **3(95)**: 187-191.
18. Imaz M. J., Mirto I., Bescansa P., Enrique A., Fernandez-Ugale O., Karlen D. L.: Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi – arid Mediterranean cropland. *Soil Till. Res.*, 2010, **107**: 17-25.
19. Koch H. J., Pringas Ch., Maerlaender B.: Evaluation of environmental and management effects on *Fusarium* head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat. *Eur. J. Agron.*, 2006, **24**: 357-366.
20. Köller K., Linke Ch.: Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. Verlag DLG, 2001, 7-173.
21. Kurowski T. P., Marks M., Orzech K., Kowalska E.: Stan sanitarny i plonowanie pszenicy ozimej w zależności od sposobu uprawy roli. *Z. Probl. Nauk Rol.*, 2008, **53**: 95-103.
22. Kraatz M.: Ohne Pflug mehr Pilze? *DZL Agrarmagazin*, 2003, **3**: 48-52.
23. Krawczyk R., Kubsik K., Kierzek R.: Efektywność odchwaszczania pszenicy ozimej w warunkach różnych systemów agrotechniki i zmienności glebowej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2009, **49(4)**: 1804-1809.
24. Kushwaha R. S., Vaishnav A. S., Zoerb G. C.: Shear strength of wheat straw. *Can. Agric. Engin.*, 1983, **25**: 163-167.
25. Kwiatkowski C.: Struktura zachwaszczenia i produktywność biomasy pszenicy ozimej oraz chwastów w zależności od systemu następstwa roślin i sposobu pielęgnacji. *Ann. UMCS, Agricultura*, 2009, **64(3)**: 69-78.
26. López-Fando C., Dorado J., Pardo M. T.: Effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil properties and crop yields in a semi-arid soil from central Spain. *Soil Till. Res.*, 2007, **95**: 266-276.
27. Nakamoto T., Yamagishi J., Miura F.: Effect of reduced tillage on Leeds and soil organisms in winter wheat and summer maize cropping on Humic Andosols in Central Japan. *Soil Till. Res.*, 2006, **85**: 94-106.
28. Oldenburg E., Brunotte J., Weinert I.: Strategies to reduce DON contamination of wheat with different soil tillage and variety systems. *Micotoxin Res.*, 2007, **23**: 73-77.
29. Owczarzak W.: Struktura gleb mineralnych Polski. Badania modelowe. *Rocz. AR Poznań*, 2002, **338**: 5-180.
30. Ozpinar S.: Effects of tillage systems on weed population and economics for winter wheat production under the Mediterranean dryland conditions. *Soil Till. Res.*, 2006, **87**: 1-8.
31. Pfeiffer A., Mehner Ch.: Kurze oder lange Stoppel? *Neue Landwirtschaft*, 2006, **6**: 43-45.
32. Preston C.: Herbicide resistance in weeds endowed by enhanced detoxification : complications for management. *Weed Sci.*, 2004, **52(3)**: 448-453.
33. Ramsdale B. K., Kegode G. O., Messersmith C. G., Nalewaja J. D., Nord C. A.: Long-term effects of spring wheat – soybean cropping systems on weed populations. *Field Crops Res.*, 2006, **97**: 197-208.
34. Rasmussen P. E., Rickman R. W., Klepper B. T.: Residue and fertility on yield of no-till wheat. *Agron. J.*, 1997, **89(4)**: 563-567.
35. Rogasik J., Schroetter S., Schnug E., Kundler P.: Langzeiteffekte ackerbaulicher Massnahmen auf die Bodenfruchtbarkeit. *Arch. Acker Pfl. Boden*, 2001, **47**: 3-17.

36. Samarajeewa K. B. D. P., Horiuchi T., Oba S.: Weed population dynamic in wheat as affected by *Astragalus sinicus* L. (Chinese milk vetch) under reduced tillage. *Crop Prot.*, 2005, **24(10)**: 864-869.
37. Sturny W. G., Chervet A., Maurer-Troxler C., Rasmuseier L., Müller M., Shafflützel R.: Directsaat und Pflug im Systemvergleich – eine Synthese. *Agrar Forschung*, 2007, **14(8)**: 350-357.
38. Torresen K. S., Skuterud R., Tandsaether H. J., Hagemo M. B.: Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. I. Effects on weed flora seedbank and grain yield. *Crop Prot.*, 2003, **22**: 185-200.
39. Turley D. B., Phillips M. C., Johnson P., Jones A. E., Chambers B. J.: Long-term straw management of effects on yields of sequential wheat (*Triticum aestivum*) crops in clay and silty clay loam soils in England. *Soil Till. Res.*, 2003, **71**: 59-69.
40. Viegas E., Choudhary M. A.: Tillage effects on physical characteristics and yield of a silt loam soil under five years of continuous cropping. *Agricult. Eng. J.*, 2002, **11(2/3)**: 107-119.
41. Vogeler I., Rogasik J., Funder U., Panten K., Schnug E.: Effect of tillage systems and P-fertilization on soil physical and chemical properties, crop yield and nutrient uptake. *Soil Till. Res.*, 2009, **103(1)**: 137-143.
42. Vossenhric H., Reckleben Y., Gattermann B.: Stopellänge: Technische Lösungen und wirtschaftliche Entscheidungen. *Neue Landwirtschaft*, 2006, **8**: 34-37.
43. Weber R.: Efektywność siewu bezpośredniego w warunkach dużych ilości pozostałości poźniowych. *Post. Nauk Rol.*, 2000, **1**: 57-69.
44. Weber R.: Wpływ wysokości ścierniska przedplonu i sposobu uprawy roli na plonowanie kilku odmian pszenicy ozimej. *Probl. Inż. Rol.*, 2011, **1(71)**: 31-38.
45. Weber R., Gołębiowska H., Bortniak M.: Log-linear and correspondence analysis of variability of weed infestation of several winter wheat cultivars in relation to tillage system and preceding crop stubble height. *J. Plant Protec. Res.*, 2011, **51(4)**: 399-404.
46. Wegner U., Koch H. J.: Ausgereifte Verfahren. *DLG-Mitteilungen*, 1999, **7**: 36-38.
47. Wesółowski M., Bujak K.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli na zapas nasion chwastów w erodowanej glebie lessowej. *Acta Agrobotanica*, 2006, **59(2)**: 353-363.
48. Zimmermann M., Schmidt W., Börner H.: Untersuchungen zu acker und pflanzenbaulichen Auswirkungen einer dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung. *Mehrländer-projekt Agrarbezogener Bodenschutz Schriftenreihe*, 2010, **15**: 48-63.

Adres do korespondencji:

dr hab. Ryszard Weber, prof. nadzw.
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363 87 07
e-mail: rweber@iung.pulawy.pl

Stanisław Wróbel, Urszula Sienkiewicz-Cholewa, Adam Kaus, Aleksandr Mickiewicz

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

REMEDIACJA GLEB ZANIECZYSZCZONYCH JAKO WAŻNY ELEMENT BEZPIECZEŃSTWA PRODUKCJI ROŚLINNEJ*

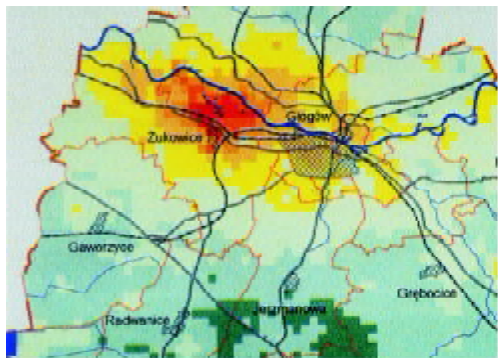
Wstęp

Zasadniczym celem nowoczesnego rolnictwa zrównoważonego jest produkcja bezpiecznej żywności o pożądanych przez konsumentów i przemysł parametrach jakościowych. Osiąganie tego celu uwarunkowane jest utrzymaniem odpowiedniego potencjału produkcyjnego gleb, w tym ograniczenie lub eliminacja zagrożeń dla środowiska rolniczego. W aktualnej strategii rolnictwa zrównoważonego cel produkcyjny stracił swoją priorytetową pozycję i stał się tylko jednym z kilku celów, które obecnie powinien zrealizować producent rolny. Należą do nich cele ekonomiczne, społeczne, ale przede wszystkim środowiskowe – ekologiczne. Aby sprostać tym wymogom w produkcji roślinnej niezbędne jest szczegółowe rozpoznanie warunków środowiska glebowego, szczególnie na obszarach narażonych na zanieczyszczenia antropogeniczne.

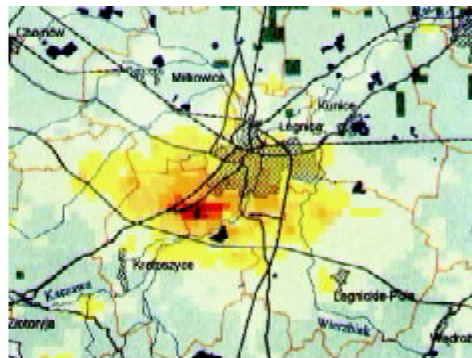
Jednym z ważniejszych problemów ekologicznych w rejonie Dolnego Śląska jest zanieczyszczenie gleb metalami śladowymi pochodzenia antropogenicznego, w których pierwszoplanową rolę odgrywają emisje przemysłu miedziowego KGHM Polska Miedź S.A. – z ośrodkami górnictwa miedzi i hutami „Legnica” oraz „Głogów I i II”. W ocenie IUNG-PIB problem zanieczyszczenia gleb nadmiarem metali na Dolnym Śląsku dotyczy przede wszystkim miedzi i cynku. Na podstawie stosowanych w IUNG-PIB kryteriów (13) szacuje się, że 13,2% gleb użytkowanych rolniczo na Dolnym Śląsku wykazuje I stopień oraz 6,45% II i wyższe stopnie zanieczyszczenia miedzią. Zanieczyszczenie cynkiem wynosi odpowiednio 22,5% oraz 1,55%. W znacznie mniejszym zakresie problem dotyczy niklu, ołowiu i kadmu (26).

Wyniki dotychczasowych badań wskazują na lokalny charakter zanieczyszczeń i występowanie wysokich stężeń miedzi na obszarach w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji związanych z wydobywaniem i przeróbką rud (rys. 1 i 2). W znacznie mniejszym stopniu gleby te uległy zanieczyszczeniu cynkiem, ołowiem i kadmem.

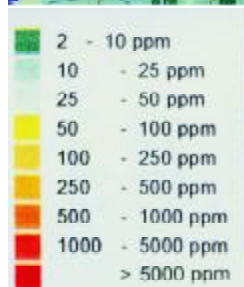
* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG - PIB



Rys. 1



Rys. 2



Zawartość miedzi w glebach pól uprawnych, w najbliższym sąsiedztwie hut miedzi „Głogów” (rys. 1) i „Legnica” (rys. 2)
Źródło: Atlas geochemiczny PIG (20).

Na Dolnym Śląsku, zwłaszcza w Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim, prócz zanieczyszczeń antropogenicznych metalami w rejonie Legnicy i Głogowa jest wiele obszarów, na których dominują gleby antropogeniczne, dość często wzbogacone w różne substancje, na przykład w metale ciężkie. Związane jest to z występowaniem na niewielkich głębokościach rud metali, które eksploatowane były niekiedy już od średniowiecza – najpierw metodami odkrywkowymi, a później – podziemnymi (5).

Gleby takie, nawet jeśli uznane zostaną za spełniające standardy jakości, powinny być użytkowane ze szczególną ostrożnością. Gleby antropogeniczne charakteryzują się bowiem często mało stabilnymi warunkami, a wytworzona w nich równowaga chemiczna i biologiczna może zostać łatwo zachwiana w wyniku działania niekorzystnych czynników zewnętrznych (4, 12).

Do najważniejszych czynników decydujących o rozpuszczalności, a więc i dostępności dla roślin metali śladowych zdeponowanych w glebach zanieczyszczonych zaliczyć należy:

- zmiany odczynu gleby;
- zmiany zawartości i rodzaju substancji organicznej;
- zmiany warunków tlenowych (potencjału redox), np. warunki zalewowe;
- sposoby użytkowania gleb, uprawy i nawożenia;
- warunki atmosferyczne itp.

Dość skutecznym i niedrogim sposobem detoksykacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi jest ich wapnowanie. Metoda ta jest więc od wielu lat stosowana na obszarach rolniczych podlegających emisji KGHM Polska Miedź S.A. Wapnowanie powoduje częściowe unieruchomienie w glebie i ogranicza fitoprzyswajalność nadmiarów metali, nie likwidując jednak całkowicie problemu. Metale unieruchomione

tym sposobem w glebie stanowią bowiem nadal potencjalne ich źródło dla roślin. Przyczyną ich remobilizacji może być szereg czynników związanych z warunkami środowiska glebowego, w tym zmiany odczynu, zmiany warunków tlenowych (potencjału redox), zawartości i rodzaju substancji organicznej o różnej zdolności kompleksowania metali ciężkich itp. (8, 15, 32).

Także czynniki meteorologiczne i uprawowe, jak np. stosowane nawożenie i system uprawy gleby, mogą wpływać na zwiększenie dostępności metali dla roślin. Z chwilą zaistnienia takich warunków uzyskiwane plody rolne w pierwszej kolejności mogą cechować się zwiększonym poziomem zawartości w nich metali, nie spełniając wymogów określonych w Białej Księdze ds. bezpieczeństwa żywności EUBŻ (White Paper of Food Safety EFSA); (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady WE, Nr 178/2002 z 28 stycznia 2002 r.); (6). W następnym etapie fitotoksyczność metali ciężkich ograniczać może również poziom uzyskiwanych plonów.

Zakres i metody badań

Miedź i cynk należą do grupy podstawowych mikroelementów pełniących ważne funkcje metaboliczne w organizmach żywych. Szkodliwość tych metali wynika wyłącznie z ich występowania w środowisku w nadmiernych ilościach. Powyższe przesłanki zadecydowały o podjęciu w pierwszej kolejności badań nad fitotoksycznością ich nadmiarów w środowisku glebowym.

Cykl badań zrealizowanych w ZHiTUR IUNG-PIB nad zagadnieniem fitotoksyczności metali ciężkich dla roślin uprawianych na glebach zanieczyszczonych oraz skutecznością ich remediacji oparto na dwóch seriach doświadczeń przeprowadzonych w hali wegetacyjnej Stacji Doświadczalnej IUNG-PIB w Jelczu-Laskowicach. Oceniano dostępność i fitotoksyczność dla roślin metali z gleb zanieczyszczanych symulacyjnie. Uwzględniano zagadnienie przeciwdziałania stwierdzanym zjawiskom fitotoksyczności metali ciężkich poprzez dodatki sorbentów organicznych, węgla wapnia lub związków fosforowych. Każda z dwóch serii doświadczeń obejmowała trzy jednoroczne doświadczenia wazonowe, powtarzane w kolejnych latach. Oceniano w nich fitotoksyczność symulacyjnego zanieczyszczenia gleby lekkiej (piasek gliniasty lekki) nadmiarem miedzi (seria 1 z pszenżytem jarym) oraz nadmiarem miedzi i cynku (seria 2 z gorczycą białą).

Doświadczenia założono jako dwuczynnikowe według schematu:

Czynnik I rzędu:

- **seria 1:** poziomy zanieczyszczenia gleby miedzią w mg Cu·kg⁻¹ suchej masy gleby, n = 5: A1 – 0; A2 – 75; A3 – 150; A4 – 300; A5 – 450;
- **seria 2:** poziomy zanieczyszczenia gleby miedzią względnie cynkiem w mg Cu (Zn)·kg⁻¹ suchej masy gleby, n = 4: A1 – 0; A2 – 150; A3 – 300; A4 – 450.

Czynnik II rzędu (seria 1 i 2): remediacja, dodatki torfu (T) lub humusu koprolitowego (HK) oraz CaCO₃, n = 9: B1 – 0; B2 – T 3% suchej masy gleby; B3 – HK 3%

suchej masy gleby; B4 – CaCO_3 wg pojedynczej kwasowości hydrolitycznej gleby (1Hh); B5 – CaCO_3 wg 2Hh; B6 – CaCO_3 wg 1Hh + T 3%; B7 – CaCO_3 wg 1Hh + HK 3%; B8 – CaCO_3 wg 2Hh + T 1,5%; B9 – CaCO_3 wg 2Hh + HK 1,5%.

Jednostkami doświadczalnymi były wazony typu Wagnera mieszczące 6 kg gleby. Do badań użyto warstwy próchnicznej gleby płowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego i kwaśnym odczynie. Była to gleba o wysokiej zawartości fosforu oraz średnio zasobna w pozostałe makro- i mikroelementy (K, Mg, B, Cu, Mn, Mo oraz Zn); (31).

Glebę zanieczyszczano, dodając metale przedsięwzię w postaci roztworu $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ względnie $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ w ilościach według schematu doświadczenia (warianty czynnika I rzędu: A).

Do remediacji stosowano torf wysoki – pH_{KCl} 5,7 – zawierający 56% substancji organicznej oraz humus koprolitowy wytworzony z obornika bydłęcego przez dżdżownicę kalifornijską (*Eisenia foetida*); (22,9% substancji organicznej, pH_{KCl} 6,2). Określano plony uprawianych roślin oraz wykonywano analizy chemiczne roślin i gleby po zakończeniu doświadczeń. Wyniki opracowano statystycznie, wykonując analizy wariancji, korelacji i regresji.

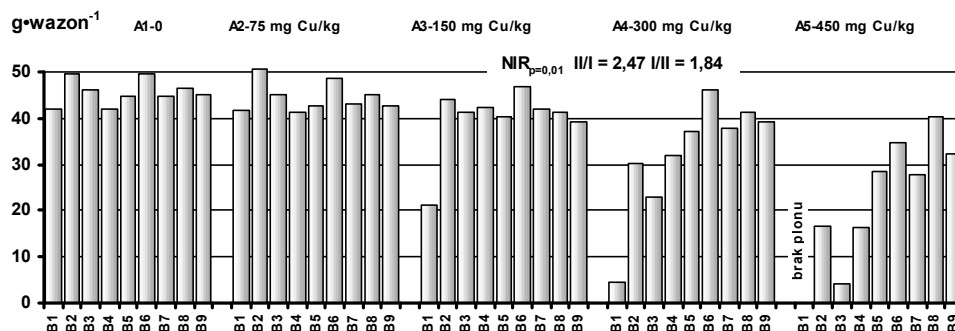
Obliczano następujące wskaźniki fitotoksyczności: indeks tolerancji roślin (T_i) = iloraz masy plonu uzyskanego na glebie zanieczyszczonej i masy plonu na glebie naturalnej (kontrolnej), indeks koncentracji metalu (C_i) = stosunek zawartości metalu w roślinie uprawianej na glebie zanieczyszczonej do zawartości metalu w roślinie uprawianej na glebie naturalnej, indeks bioakumulacji metalu (B_i) = iloraz przyrostu zawartości metalu w roślinie uprawianej na glebie zanieczyszczonej i przyrostu jego koncentracji w tej glebie w stosunku do gleby naturalnej.

Wyniki badań i dyskusja

Pierwsza seria doświadczeń. W doświadczeniach wegetacyjnych z pszenżytem jarym odmiany Wanad oceniano fitotoksyczność czterech poziomów zanieczyszczenia gleby nadmiarem miedzi oraz skuteczność różnych metod jej detoksykacji.

Słabe zanieczyszczenie gleby miedzią ($75 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$) nie wpłynęło na plonowanie pszenżyta. Przy kolejnych trzech wyższych poziomach, w obiektach bez remediacji, spadki plonów ziarna wynosiły odpowiednio 63%, 93% i 100%, w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Stosowana remediacja istotnie zwiększała plony ziarna pszenżyta, przy czym najbardziej skuteczne w przywracaniu zdolności plonotwórczej gleby było łączne stosowanie torfu i węglanu wapnia (obiekty B6 i B8). Tym sposobem możliwe było odzyskanie utraconego plonu w zakresie od 81% w podbloku A5 ($450 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$) do 94% przy zanieczyszczeniu $150 \text{ mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ (podblok A3); (rys. 3).

Brak plonu w obiekcie A5B1 uniemożliwił ocenę zawartości miedzi w ziarnie uzyskanym na najsilniej zanieczyszczonej glebie bez remediacji. Wykonując taką ocenę w obiektach poddanych remediacji na wszystkich poziomach zanieczyszczenia można zauważyć, że nasilające się zanieczyszczenie gleby w doświadczeniu nie powodowało

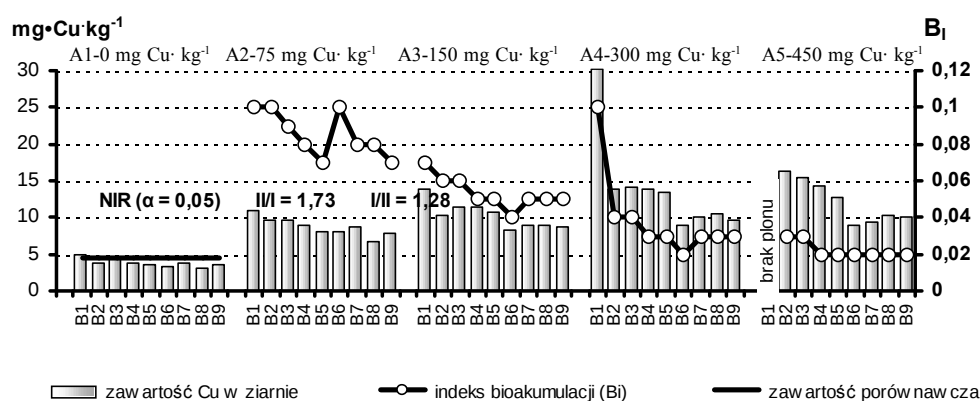


Rys. 3. Plony ziarna pszenżyta jarego z obiektów doświadczenia (średnio z 3 lat)

Źródło: Nowak-Winiarska K., 2009 (23).

proporcjonalnych przyrostów koncentracji miedzi w ziarnie pszenżyta (rys. 4). Efekt ten wiąże się z właściwościami przystosowawczymi roślin uprawnych, polegającymi na zdolności regulowania dopływu substancji niepożądanych do organów generatywnych. Do najważniejszych mechanizmów regulacji pobierania nadmiarów miedzi zaliczyć należy zdolność tkanek korzeni do ograniczania transportu nadmiernych jej ilości do części nadziemnych (11, 17, 18, 22). W wyniku tego wzrost poziomu zanieczyszczenia gleby w doświadczeniu nie powodował proporcjonalnych przyrostów koncentracji miedzi w ziarnie pszenżyta.

Potwierdzeniem istnienia bariery na drodze transportu miedzi z gleby do rośliny są obliczone indeksy bioakumulacji miedzi (B_i). Wskaźnik B_i jako iloraz przyrostu zawartości metalu w roślinie uprawianej na glebie zanieczyszczonej do przyrostu jego koncentracji w tej glebie informuje o zdolności roślin do kumulowania polutanta. W kolejnych podblokach doświadczenia, mimo wyraźnego wzrostu zanieczyszczenia gleby miedzią, wartości B_i układały się na zbliżonym poziomie (rys. 4).



zawartość porównawcza wg Fotymy i Mercika, 1995 (7): 4,4 mg Cu·kg⁻¹

Rys. 4. Indeks bioakumulacji miedzi (B_i) na tle zawartości miedzi w ziarnie pszenżyta jarego z obiektów doświadczenia (średnio z 3 lat)

Źródło: Nowak-Winiarska K., 2009 (23).

Najmniejsze wartości wskaźnika B_1 występowały w obiektach B6-B9, w których użyto torfu i humusu koprolitowego łącznie z CaCO_3 .

Z wyjątkiem obiektu B1 (bez remediacji) w podbloku A4 – 300 mg $\text{Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ (oraz z całą pewnością w podbloku A5 – 450 mg $\text{Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$, gdzie brak plonu uniemożliwił analizę chemiczną) zawartości Cu w ziarnie nie przekraczały 20 mg $\text{Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$, tj. dopuszczalnego poziomu koncentracji Cu w płodach rolnych przeznaczanych na cele konsumpcyjne (13).

Uzyskane wyniki wskazują, że pszenżyto jare może być uprawiane na glebach zanieczyszczonych miedzią bez remediacji do poziomu 150 mg $\text{Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$, bez obawy zanieczyszczenia ziarna nadmiarem tego metalu. Przy wyższym poziomie zanieczyszczenia miedzią (do 450 mg $\text{Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$ włącznie) należy przeciwdziałać transferowi nadmiaru tego metalu z gleby do roślin poprzez stosowanie sorbentów organicznych i wapnowanie. W obu przypadkach należy jednak liczyć się z podwyższoną zawartością Cu w ziarnie oraz spadkiem plonowania w porównaniu z uprawą na glebie o naturalnej koncentracji tego pierwiastka.

Analiza chemiczna gleby po zakończeniu doświadczeń potwierdziła korzystny wpływ stosowanych środków remediacji na właściwości chemiczne gleby. Stosowany dodatek torfu zwiększał zawartość substancji organicznej w zakresie 111-136%, natomiast humus koprolitowy w zakresie 7-41%. Wapnowanie wg 2 Hh zastosowane łącznie z humusem zwiększało wartość pH_{KCl} o ponad 2 jednostki. Zmiany tych właściwości decydowały o immobilizacji nadmiaru Cu w glebie. Oznaczając tzw. miedź przyswajalną (tj. rozpuszczalną w 1 mol HCl dm^{-3}) wykazano, że 67-92% tego pierwiastka wprowadzonego do gleby uzyskuje najniższe wartości w obiektach z łącznym stosowaniem torfu i CaCO_3 . Wprawdzie fizjologicznie kwaśny charakter torfu nie sprzyjał immobilizacji Cu, jednak przeważały tutaj bardzo dobre właściwości sorpcyjne substancji organicznej zawartej w tym sorbencie (19); (tab. 1).

Druga seria doświadczeń. Według podobnego schematu jak w serii 1 przeprowadzono kolejną serię trzech jednorocznych doświadczeń wazonowych. Różnice polegały na włączeniu do schematu gleby zanieczyszczonej symulacyjnie cynkiem oraz rezygnacji z najniższego poziomu zanieczyszczenia (75 mg $\cdot \text{kg}^{-1}$ gleby miedzi względnie cynku).

Użyto takiej samej gleby oraz materiałów do remediacji. Tym razem do badań wybrano roślinę dwuliścienną – gorczycę białą odmiany Salvo. Gorczycę zebrano w fazie przed kwitnieniem i określono wielkość plonu zielonej masy części nadziemnych.

W obiektach doświadczenia, gdzie nie stosowano remediacji obserwowano mocno opóźnione wschody gorczycy w stosunku do obiektu kontrolnego, przy wszystkich trzech poziomach zanieczyszczenia metalami. W ciągu kilku następnych dni w wazonach tych nastąpiło żółknięcie, a następnie zamieranie roślin. Fitotoksyczność miedzi dodanej do gleby lekkiej już w ilości 150 mg $\cdot \text{kg}^{-1}$ redukowałą plon gorczycy średnio o 92% ($T_i = 0,08$). Zbliżoną toksyczność cynku ($T_i = 0,10$) stwierdzano dopiero przy dwukrotnie silniejszym zanieczyszczeniu (300 mg $\text{Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$). Wyższe stężenia obu badanych metali w glebie powodowały całkowitą redukcję plonu gorczycy białej (tab. 2).

Tabela 1

Charakterystyka chemiczna gleby po zakończeniu doświadczenia (średnio z 3 lat badań)

Czynnik II rzędu	Czynnik I rzędu – poziom zanieczyszczenia gleby nadmiarem miedzi ($\text{mg Cu} \cdot \text{kg}^{-1}$)														
	A1 – 0			A2 – 75			A3 – 150			A4 – 300			A5 – 450		
	pH _{KCl}	mg Cu · kg ⁻¹	so %	pH _{KCl}	mg Cu · kg ⁻¹	so %	pH _{KCl}	mg Cu · kg ⁻¹	so %	pH _{KCl}	mg Cu · kg ⁻¹	so %	pH _{KCl}	mg Cu · kg ⁻¹	so %
B1	5,2	3,5	1,35	5,4	67,0	1,30	5,0	133	1,24	5,1	251	1,22	5,3	395	1,22
B2	4,9	2,8	2,92	4,9	58,5	2,76	4,7	114	2,88	4,8	217	2,83	4,6	331	2,84
B3	5,5	3,4	1,71	5,8	63,5	1,46	5,2	109	1,71	4,9	224	1,43	4,7	335	1,50
B4	6,5	2,7	1,37	6,8	66,5	1,29	6,1	115	1,28	5,9	232	1,15	5,7	353	1,29
B5	6,9	2,9	1,50	7,2	63,0	1,30	7,0	113	1,32	6,8	234	1,25	6,8	353	1,25
B6	6,3	2,6	2,47	6,2	57,5	2,49	5,9	110	2,44	6,1	210	2,68	5,8	316	2,94
B7	6,6	3,5	1,68	6,6	66,0	1,55	6,3	112	1,45	6,2	217	1,47	6,0	348	1,57
B8	6,9	2,5	1,76	7,1	60,5	1,92	6,8	117	2,06	6,7	223	1,96	6,6	343	1,96
B9	7,0	2,6	1,48	7,3	59,5	1,34	7,0	118	1,38	7,0	238	1,40	6,8	362	1,31
NIR p=0,01	0,7	r.n.	0,51	0,2	5,9	0,74	0,7	8,0	0,49	0,5	6,0	0,47	0,6	7,0	0,50

Cu oznaczona w 1 mol HCl · dm⁻³

so – substancja organiczna

Źródło: Nowak-Winiarska K., 2009 (21).

Tabela 2

Indeksy tolerancji (T_i)* gorczycy białej (wyniki średnie)

Remediacja czynnik II	Poziomy zanieczyszczenia gleby w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (czynnik I rzędu)						
	A1 gleba naturalna Plon (g-na wazon)	A2 – 150		A3 – 300		A4 – 450	
		Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
B1	106,2	0,08	0,28	0,00	0,10	0,00	0,00
B2	168,1	0,44	0,46	0,21	0,13	0,02	0,00
B3	139,3	0,30	0,49	0,15	0,37	0,01	0,15
B4	136,2	0,48	0,64	0,12	0,38	0,01	0,16
B5	140,9	0,51	0,56	0,20	0,45	0,07	0,49
B6	181,1	0,79	0,63	0,47	0,56	0,33	0,24
B7	166,2	0,70	0,73	0,30	0,67	0,13	0,55
B8	162,6	0,58	0,56	0,48	0,65	0,31	0,33
B9	163,9	0,64	0,82	0,35	0,77	0,16	0,53

* Indeks tolerancji rośliny (T_i) = stosunek masy plonu uzyskanego na glebie skażonej do uzyskanego na glebie naturalnej (3).

Źródło: S. Wróbel, 2007 (25).

Dodatki torfu i humusu oraz wapnowanie skutecznie łagodziły toksyczność nadmiarów metali w glebie, poprawiając warunki rozwoju gorczycy. W warunkach najsilniejszego zanieczyszczenia gleby, tj. 450 mg metalu·kg⁻¹ gleby, możliwe było odzyskanie do 33% przy skażeniu miedzią oraz do 55% przy skażeniu cynkiem plonu z gleby naturalnej. Działanie detoksykacyjne torfu było lepsze w obiektach skażonych miedzią, podczas gdy humus koprolitowy okazał się bardziej efektywny na glebie skażonej cynkiem. Wapnowanie istotnie poprawiało skuteczność działania obu sorbentów (tab. 2 i 3).

Zanieczyszczenie na poziomie 150 mg Cu·kg⁻¹ gleby spowodowało wielokrotny przyrost jej zawartości w biomasie gorczycy (500-700%), jednak kolejne dawki nie wywołały już tak dużych zmian (tab. 4). W wyniku tego zawartość miedzi rzadko przekraczała 50 mg Cu·kg⁻¹ suchej masy określonej jako wartość progowa dla roślin pastewnych (13). Zawartość cynku w roślinach zwiększała się natomiast wraz ze wzrostem poziomu zanieczyszczenia, znacznie przekraczając dopuszczalną wartość graniczną (100 mg Zn·kg⁻¹) i osiągając poziom ponad 3000 mg Zn w kg suchej masy roślin (tab. 4). Przy tej koncentracji cynku w gorczycy uzyskiwano jeszcze mocno zredukowane plony zielonej masy (tab. 2 i 4).

Krytyczny poziom toksycznej zawartości cynku dla roślin w glebach lekkich jest niski i w warunkach kwaśnego odczynu może kształtować się już na poziomie około

Tabela 3

Reakcja gorczycy białej w obiektach najsilniej zanieczyszczonych (450 mg Cu/Zn·kg⁻¹) na zastosowaną remediację

Czynnik II remedycji	Czynnik I i dawka zanieczyszczenia gleby		
	450 mg naturalna	450 mg Cu·kg ⁻¹	450 mg Zn·kg ⁻¹
B1 - 3 (bez remediacji)			
B3 - CaCO ₃ wg 1 Hb + 100 g Ss			
B5 - CaCO ₃ wg 1 Hb + torf + humus koprolitowy 1%			

Źródło: badania własne.

Tabela 4

Zawartość miedzi i cynku ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w częściach nadziemnych gorczycy białej z obiektów doświadczenia (wyniki średnie)

Czynnik II (remediacja)	Czynnik I rzędu (zanieczyszczenie gleby)							
	A1		A2		A3		A4	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
B1	6,20	230	44,8	b.m.	b.m.	b.m.	b.m.	b.m.
B2	4,52	175	34,6	1932	36,5	3085	44,5	b.m.
B3	4,80	122	25,6	1018	44,2	2795	b.m.	2230
B4	4,33	70,4	30,9	627	55,2	1914	b.m.	2082
B5	3,97	38,9	25,4	344	54,9	791	50,2	1237
B6	4,13	92,4	22,5	573	28,7	1567	33,7	3026
B7	4,41	61,9	22,3	217	38,2	597	30,3	1401
B8	4,20	53,8	22,5	188	39,6	640	36,0	1709
B9	4,29	44,5	24,8	166	41,8	448	41,1	1249

b.m. – brak materiału roślinnego do analiz

Źródło: Wróbel S. i in. 2005 (26), Wróbel i Nowak 2005 (27).

40 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$, oznaczonego w roztworze 1 $\text{mol HCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ (27). Również wysokie stężenia Zn w biomasie roślin znacznie częściej obserwuje się na glebach lekkich skażonych tym metalem niż na glebach bardziej zwięzłych, co wykazali Spiek i in. (25).

Potwierdzeniem opisanych zależności są również obliczone indeksy bioakumulacji (B_i), które jako stosunek przyrostu zawartości metalu w roślinie z danego wariantu doświadczenia do przyrostu jego zawartości w glebie (w odniesieniu do gleby naturalnej) obrazują zakres przemieszczania się metalu z gleby do tkanek roślinnych (16). Ograniczona zdolność gorczycy do kumulowania miedzi w częściach nadziemnych ujawniała się w postaci stopniowego spadku poziomu wartości B_i w warunkach największej kontaminacji gleby (podbloki A3 i A4); (rys. 5). Zależność ta nie dotyczyła wariantów doświadczenia z glebą zanieczyszczoną cynkiem (rys. 6).

Opisane efekty remediacji były wynikiem zmian chemicznych gleby spowodowanych wprowadzaniem sorbentów i CaCO_3 . Najważniejsze z tych zmian to spadek zawartości przyswajalnych form metali, wzrost wartości pH i udziału substancji organicznej (tab. 5).

Negatywne oddziaływanie nadmiaru cynku na plonowanie gorczycy oraz dodatni wpływ poprawy odczynu ujęto w zależność funkcyjną określoną równaniem regresji wielokrotnej:

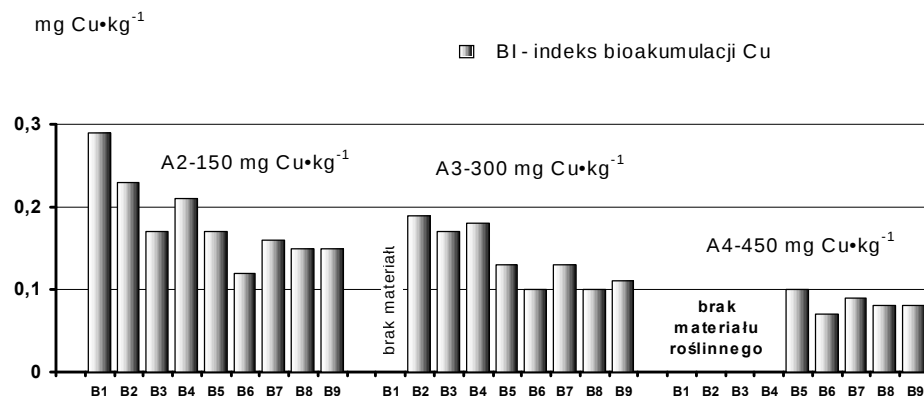
$$y = 33,97 + 19,77 \text{ pH}_{\text{KCl}} - 0,30 \text{ Zn} \quad R^2 = 0,68; p = 0,001$$

gdzie:

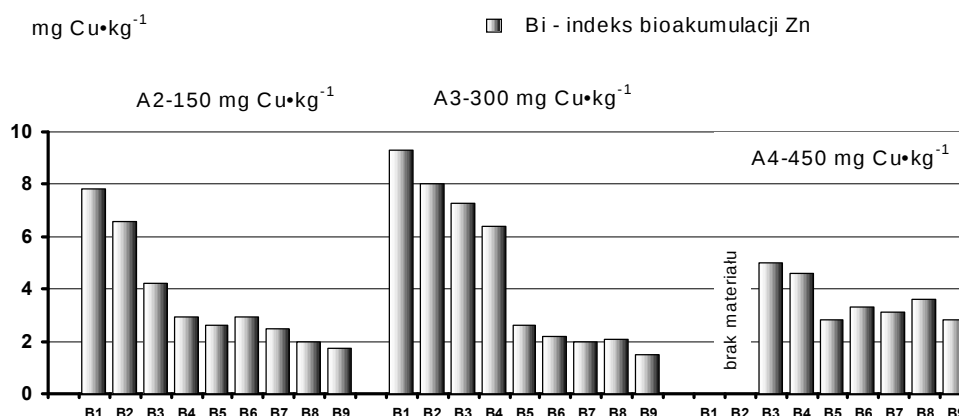
y – plon gorczycy ($\text{g}\cdot\text{wazon}^{-1}$)

pH_{KCl} – odczyn gleby (w 1 $\text{mol KCl}\cdot\text{dm}^{-3}$)

Zn – zawartość w glebie cynku rozpuszczalnego w 1 mol HCl dm^{-3} ($\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$).



Rys. 5. Wartości indeksów bioakumulacji (Bi) miedzi w obiektach doświadczenia (wyniki średnie)
Źródło: badania własne, S. Wróbel, 2007 (30).



Rys. 6. Wartości indeksów bioakumulacji (B_i) cynku w obiektach doświadczenia (wyniki średnie)
Źródło: badania własne, S. Wróbel, 2007 (30).

Podsumowanie

Gleba jest podstawowym źródłem składników mineralnych dla roślin uprawnych, które obok energii słonecznej, wody i powietrza warunkują właściwy ich rozwój i odpowiedni poziom plonowania. Zanieczyszczenie środowiska glebowego stanowi zagrożenie łańcucha troficznego gleba – roślina – zwierzę – człowiek. Miedź i cynk w naturalnych stężeniach to ważne dla organizmów żywych mikroelementy, spełniające ważne funkcje metaboliczne. Jednak ich nadmiary wiążą się nie tylko z niebezpieczeństwem fitotoksyczności, lecz również zagrożeniem zdrowia ludzi i zwierząt. Opracowanie skutecznych i niedrogich sposobów przeciwdziałania tym zjawiskom jest zagadnieniem aktualnym, uzasadnionym licznymi aktami ustawodawstwa krajowego i unijnego (2, 9).

Tabela 5

Charakterystyka chemiczna gleby z obiektów najsilniej zanieczyszczonych po zakończeniu doświadczenia (średnio z 3 lat)

Czynnik II (remediacja)	Czynnik I rzędu (zanieczyszczenie gleby)							
	A3 – 300 mg·kg ⁻¹				A4 – 450 mg·kg ⁻¹			
	pH	Cu	Zn	C org.	pH	Cu	Zn	C org.
B1	4,4	270	249	1,27	4,6	380	442	1,13
B2	4,7	215	223	2,70	4,7	296	346	2,72
B3	4,8	216	216	1,41	4,7	354	434	1,45
B4	5,5	236	180	1,16	5,3	366	418	1,30
B5	6,8	235	176	1,21	6,8	374	381	1,15
B6	6,1	200	187	2,99	6,6	313	391	2,88
B7	5,9	215	146	1,45	6,8	352	394	1,41
B8	6,8	204	198	2,05	5,8	317	344	1,94
B9	6,6	221	173	1,65	6,1	324	375	1,33

Źródło: Wróbel, 2007 (25).

W obu seriach doświadczeń przeprowadzonych na glebie lekkiej symulacyjnie zanieczyszczanej nadmiarem Cu i Zn potwierdzona została teza o decydującej roli substancji organicznej i odczynu w immobilizacji nadmiarów tych metali w glebach mineralnych, prezentowana w licznych doniesieniach tematycznych (1, 8, 10, 14, 19, 21, 24). Wykazano większą skuteczność torfu niż humusu koprolitowego w ograniczaniu fitodostępności nadmiarów miedzi z gleby lekkiej. Produkcyjność gleby zanieczyszczonej cynkiem ulegała natomiast wyraźnej poprawie, gdy stosowano humus. Najbardziej skutecznym rozwiązaniem w stabilizacji nadmiarów badanych metali w glebie okazały się kombinacje obu tych sorbentów z CaCO₃. Potwierdziła to ocena porównawcza plonowania gorczycy w doświadczeniu wykonana za pomocą indeksów tolerancji roślin (T_p), a także ocena translokacji Cu i Zn z gleby do rośliny poprzez obliczenie indeksów bioakumulacji metali (B_p). Znaczenie praktyczne badanej metody przeciwdziałania fitotoksyczności gleby lekkiej zanieczyszczonej metalami ciężkimi należy ocenić w warunkach polowych (np. w rejonie oddziaływania emisji hutnictwa miedzi), gdzie możliwe byłoby również określenie efektów następnych zastosowania sorbentów organicznych.

W badaniach wykazano również, że metoda ekstrakcji Cu i Zn z gleby przy zastosowaniu 1 mol HCl·dm⁻³, używana rutynowo w stacjach chemiczno-rolniczych do oznaczania tzw. przyswajalnych form mikroelementów, może być stosowana w diagnostyce zanieczyszczenia gleb lekkich tymi metalami.

Literatura

1. Adhikari T., Mandal B.: Effect of lime and organic matter on distribution of zinc, copper, iron, and manganese in acid soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1999, **30**, **13 & 14**: 1819-1829.
2. Bailey S. E., Olin T. J., Bricka R. M., Adrian D. D.: A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Res.*, 1999, **33(11)**: 2469-2479.
3. Beckett P. H. T., Davis R. D.: Upper critical levels of toxic elements in plants. *New. Phytol.*, 1997, **79**: 95-106.
4. Bender J., Gilewska M.: Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń, *Rocz. Glebozn.*, 2004, **55(2)**: 29-46.
5. Dziekoński T.: Wydobycie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od połowy XIII do połowy XX wieku. PAN, Wrocław, 1972, 309-315.
6. Dziennik Urzędowy U.E: Rozporządzenie (WE) nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28.01.2002 r. ustanawiające ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołujące Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności oraz ustanawiające procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności. 2002, 463-486.
7. Elkhatab E. A., Mahdy A. M., Saleh M. E., Batak N. H.: Kinetics of copper desorption from soils as affected by different organic ligands. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2007, **4(3)**: 331-338.
8. Fotyma M., Mercik S.: *Chemia rolna*. PWN, Warszawa, 1995, 1-356.
9. Gorlach E., Gambuś F.: The effect of liming adding peat and phosphorus fertilization on the uptake of heavy metals by plants. *Pol. J. Soil Sci.*, XXIV, 1991, **2**: 199-204.
10. Gunkel P., Jezequel K., Fabre B.: Temporal evolution of copper distribution in soil fractions, influence of soil pH and organic carbon level on copper distribution. *Environ. Technol.*, 2002, **23(9)**: 1001-1008.
11. Islam E., Yang X., He Z., Mahmood Q.: Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *J. Zhejiang University, Science B*, 2007, **8**: 1-13.
12. Jisu B., Hesterberg D.: Dissolution of trace element contaminants from two coastal plain soils as affected by pH. *J. Environ. Qual.*, 2003, **33(3)**: 891-901.
13. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. IUNG Puławy, 1993, **P(53)**.
14. Kabata-Pendias A.: Effect of lime and peat on heavy metal uptake by plants from soils contaminated by an emission of copper smelter. *Rocz. Glebozn.*, 1979, **30(3)**: 323-328.
15. Karczevska A.: Formy miedzi w silnie zanieczyszczonych glebach LGOM-u oraz ich przemiany związane z warunkami zawodnienia. Miedź i molibden w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. *Zesz. Nauk. Kom. „Człowiek i Środowisko”*, 1996, **14**: 240-246.
16. Kiekens L., Camerlynck R.: Determination of upper critical level heavy metals in plants. *Prot. VD LUFA Congress, Munster*, 1992, 255-261.
17. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E., Igras J.: Applicability of energy crops for metal phytostabilization of soils moderately contaminated with copper, nickel and zinc. *J. Food Agric. Environ.*, 2011, **9(3-4)**: 132-136.
18. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.: Copper concentration in the top plant tissue as an indicator of Cu toxicity. *EJPAU*, 2003, **6(1)**: Ser. Environmental Development.
19. Kyzioł J.: Sorpcja i siła wiązania wybranych jonów metali ciężkich z substancją organiczną na przykładzie torfów. PAN IPIŚ Zabrze, 2002, 1-97.
20. Lis J., Pasieczna A.: *Atlas geochemiczny Polski 1:2500 000*. PIG Warszawa, 1995, 1-34.
21. Ma Y., Lombi E., Nolan A. L., McLaughlin M. J.: Short-term natural attenuation of copper in soils: Effects of time, temperature and soil characteristics. *Environ. Toxic. Chem.*, 2006, **25**: 652-658.
22. Nan Z., Zhao C., Li J., Fahu Chen F., Sun W.: Relation between soil properties and selected heavy metals concentration in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on contaminated soils. *Water Air & Soil Poll.*, 2002, **133(1-4)**: 205-213.

23. Nowak - Winiańska K.: Skuteczność substancji organicznej i wapnowania w ograniczaniu dostępności miedzi dla pszenżyta jarego. Rozpr. doktorska. ZHiTUR IUNG-PIB Wrocław, 2009, 1-119.
24. Rijkenberg M. J. A., Depre C. V.: Heavy metal stabilization in contaminated road-derived sediments. *Sci. Total Environ.*, 2010, **408**: 1212-1220.
25. Spiak Z., Romanowska M., Radoła J.: Toksyczna zawartość cynku w glebach dla różnych gatunków roślin uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 1125-1134.
26. Stan i zmiany właściwości gleb użytkowanych rolniczo w województwie dolnośląskim w latach 2000–2005. Praca zbiorowa pod red. T. Stuczyńskiego. IUNG-PIB Puławy-Wrocław, 2007, 1-223.
27. Stanisławska - Głubiak E., Wróbel S., Gembarzewski H.: Wyznaczenie liczb granicznych toksycznej dla roślin zawartości w glebie cynku rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³. *Rocz. Glebozn.*, LII., 2001, **3/4**: 53-60.
28. Wróbel S., Hryńczuk B., Nowak K.: Nawożenie organiczne i regulacja odczynu gleby jako czynniki ograniczające fitotoksyczność miedzi w uprawie gorczycy białej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2005, **506**: 541-547.
29. Wróbel S., Nowak K.: Działanie torfu i wermikompostu w przywracaniu produktywności gleby lekkiej skażonej cynkiem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2005, **506**: 549-556.
30. Wróbel S.: Interaction of organic sorbents and liming in remediation of light soil contaminated with copper and zinc. *Biogeochemistry of trace elements*. Tsinghua University Press, Bei Jing., 2007, 931-933.
31. Zalecenia nawozowe. Cz. I: Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Praca zbiorowa. Wyd. IUNG Puławy, 1990, **P (44)**: 1-34.
32. Zhou L. X., Wong J. W. C.: Effect of dissolved organic matter from sludge and sludge compost on soil copper sorption. *J. Environ. Qual.*, 2001, **30(3)**: 878-883.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Stanisław Wróbel
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel./fax: 71 363 87 07 w. 122
e-mail: s.wrobel@iung.wroclaw.pl

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej „STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB” publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programu wieloletniego pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej”. W zeszytach problemowych o charakterze monografii, wydawanych w ramach tej serii, mogą być zamieszczane również prace autorów spoza IUNG - PIB, które merytorycznie mieszczą się w tematyce zadań programu wieloletniego. **Publikowane są prace problemowe, głównie mające charakter przeglądowy, z podkreśleniem znaczenia omawianych zagadnień dla rolnictwa polskiego.**

Wydruk tekstu do recenzji:

czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie, literatura

tekst

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- umieszczone w oddzielnych plikach
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na dyskietce w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t · ha⁻¹)

literatura

- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony,
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy składać w 2 egzemplarzach. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany i ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, składać do Redakcji w 1 egzemplarzu i na dyskietce lub przesłać e-mailem na adres:

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
e-mail: imarcinkowska@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej „**RAPORTY PIB**”, a od 2007 r. „**STUDIA I RAPORTY IUNG - PIB**” ukazały się następujące pozycje:

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne różnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.
4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich*. Puławy, 2007.
5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach*. Puławy, 2007.
6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2007.
7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Puławy, 2007.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.
11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Puławy, 2008.
12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.
13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu*. Puławy, 2008.
14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020*. Puławy, 2009.
15. *Wybrane elementy regionalnego różnicowania rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2009.
16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej*. Puławy, 2009.
17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2009.
18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia*. Puławy, 2009.
19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu*. Puławy, 2010.
20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach*. Puławy, 2010.
21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013*. Puławy, 2010.
22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2010.
23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu*. Puławy, 2010.
24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.
25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych*. Puławy, 2010.
26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2010.

27(1). *Srodowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa.* Puławy, 2011.

